

Építési ismeretek

Sorozatszerkesztő: Dr. Lámer Géza

3. kötet

Dr. Lámer Géza
Szoboszlai Béla

Bevezetés a geotechnikába

Általános ismeretek



Debreceni Egyetem Műszaki Kar
Műszaki Menedzsment
és Vállalkozási Tanszék

DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
MŰSZAKI MENEDZSMENT
ÉS VÁLLALKOZÁSITANSZÉK

Dr. Lámer Géza–Szoboszlai Béla

BEVEZETÉS A GEOTECHNIKÁBA
Általános ismeretek

3. kötet

Egyetemi tankönyv



Debreceni Egyetemi Kiadó
Debrecen University Press

2019

Építési ismeretek
Sorozatszerkesztő: Dr. Lámer Géza

Lektor:
Kecskés Gábor
SZIE Ybl Miklós Építéstudományi Kar,
Építőmérnöki Intézet

© Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press,
beleértve az egyetemi hálózaton belüli elektronikus terjesztés jogát is

© Készült: a Debreceni Egyetem, Műszak Kar,
Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék gondozásában

ISBN 978 963 318 781 4

Kiadta: a Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press
Felelős kiadó: Karácsony Gyöngyi
Nyomdai munkálatokat
a Debreceni Egyetem sokszorosítóüzeme végezte 2019-ben
www.dupress.hu

ELŐSZÓ

Az építmény, értelmezése szerint, helyhez, azaz a Földhöz kötött műszaki alkotás. Ezért az építmény megvalósításához ismeretekkel kell rendelkezünk arról a Földről, amelyen az építményt megépítjük. Az építményeink időtállóak, a külső behatás alatt is közvetlen kapcsolatban maradnak az Földdel, sőt, abban nem süllyednek el. Azaz az építmény és a Föld kapcsolata biztosítja, hogy mind az építmény, mind a Föld nem tesz kárt a másikban. Ez a kapcsolat a döntő többségében mindösszesen annyi, hogy az építmény rátámaszkodik a Földre úgy, hogy a Földben létrejövő elváltozások (például a belső erők és a Földet alkotó anyagok átrendeződése/mozgása) sem a Földben, sem az építményben nem tesznek kárt. Ez az együttműködés korántsem egyértelmű: gondoljunk egy felázott talajon közlekedő – legalábbis azt megkísérlő – gépjárműre: az el-süllyed a talajban, és netán maga a gépjármű is károsodik. Tehát ahhoz, hogy az építmény és a Föld kapcsolatát megérthessük, ismeretekkel kell rendelkezünk az építményt a „hátán hordó” Földről, mint olyan anyagról, amely képes a rajta létrehozott építményeket megtartani. Az építmények a Föld felszínével, vagy felszíne alatt néhány tíz, ritkább esetben néhány száz méteres mélységben érintkeznek a Föld szilárd anyagával. A Földnek a felszínéhez közeli rétegeket talajokként, illetve kőzetekként tartjuk számon. Az épített mérnöki szerkezetek és a talajok, illetve kőzetek közötti kapcsolatra, valamint egymásra hatására vonatkozó ismereteket elsősorban a geotechnika foglalja össze.

A jelen *Egyetemi tankönyv*ben a bevezető jellegű geotechnikai ismereteket foglaltuk össze.

A *Bevezetés a geotechnikába* az alábbi témaköröket foglalja magába.

- A geotechnikához kapcsolódó alapfogalmak
- A geotechnikai tevékenység általános bemutatása
- A talajok és kőzetek terepi és laboratóriumi vizsgálata
- A földfelszín és a kőzetek, talajok kialakulásának földtani folyamatai
- Kőzetek minősítése, besorolása, osztályozása, tulajdonságai és terepi felismerése
- Talajok minősítése, besorolása, osztályozása, tulajdonságai és terepi felismerése
- Vizek
- A geotechnika és az építési folyamat viszonya

Jelen *Egyetemi tankönyv* ezekben a témakörökben nyújt *bevezető* ismereteket.

Budapest, 2018. augusztus hó 20.

Dr. Lámer Géza

okleveles híd- és alagútépítő mérnök
a műszaki tudomány kandidátusa
Európa-mérnök
fősikolai tanár

Szoboszlai Béla

építőmérnök
geotechnikai tervező és szakértő
tartószerkezeti tervező

DUPress

TARTALOM

ELŐSZÓ	3
TARTALOM	5
1. BEVEZETÉS	13
2. A GEOTECHNIKÁHOZ KAPCSOLÓDÓ ALAPFOGALMAK.....	25
2.1. A természetes környezetünk elemei	25
2.1.1. Természetes (természeti) környezet.....	25
2.1.2. Földöv (geoszféra), ezen belül a tűzöv (piroszféra) és a kőzetöv (litoszféra).....	26
2.1.3. Vízöv (hidroszféra)	27
2.1.4. Levegőöv (atmoszféra vagy aeroszféra)	28
2.1.5. Életöv (bioszféra vagy ökoszféra).....	29
2.2. A mesterséges (épített) környezet elemei	29
2.2.1. Mesterséges (épített) környezet	30
2.2.2. Építési folyamat (építési tevékenység)	30
2.2.3. Építmény	30
2.2.4. Épület	31
2.2.5. Műtárgy.....	31
2.2.6. Létesítmény.....	31
2.2.7. Vonalas létesítmény	31
2.2.8. Közművek	32
2.2.9. Földművek.....	32
2.3. A geotechnika és szorosan kapcsolódó társtudományai.....	32
2.3.1. Geotechnika.....	32
2.3.1.1. Talaj.....	33
2.3.1.2. Talajmechanika	34
2.3.1.3. Geotechnikai környezet.....	34
2.3.1.4. Geotechnika.....	34
2.3.1.5. Geotechnikai hatásterület	35
2.3.1.6. Geotechnikai kölcsönhatás.....	35
2.3.1.7. Geotechnikai veszélyhelyzet.....	36
2.3.1.8. Geotechnikai szerkezet.....	36
2.3.2. Földtan.....	36
2.3.2.1. Földtan (geológia)	36
2.3.2.2. Kőzetmechanika.....	37
2.3.2.3. Építésföldtan vagy műszaki földtan (mérnökgeológia)	37

2.3.2.4. Építésföldtani alapréteg	38
2.3.2.5. Vízföldtan (hidrogeológia)	38
2.3.2.6. Üledékföldtan (szedimentológia)	39
2.3.2.7. Vulkanikus jelenségek földtana (vulkanológia)	40
2.3.2.8. Ásvány	40
2.3.2.9. Ásványtan (mineralógia)	41
2.3.2.10. Kőzet	42
2.3.2.11. Kőzettan (litológia)	42
2.3.3. Földfizika	42
2.3.3.1. Földfizika (geofizika)	42
2.3.3.2. Mérnökgeofizika	43
2.3.4. Víztan (hidrológia)	44
2.3.5. Vízérőtan (hidraulika vagy hidromechanika)	45
2.3.5.1. Hidrosztatika	45
2.3.5.2. Hidrodinamika (áramlástan)	46
3. A GEOTECHNIKAI TEVÉKENYSÉG ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA	47
3.1. A geotechnika és társtudományainak kapcsolata	47
3.2. A geotechnikai tevékenység célja és a geotechnikai szolgáltatás	47
3.3. A geotechnika néhány sajátossága	48
3.4. A geotechnikai feladatok megoldásának általános folyamata, lépései	50
3.5. A geotechnika gyakorlati alkalmazási területei	55
3.5.1. Előkészítő tevékenységek	55
3.5.2. Föld- és sziklaművek	59
3.5.3. Rézsű- és lejtőbiztosítás	60
3.5.4. Gátak	61
3.5.5. Talajjavítás, talajstabilizálás	61
3.5.6. Szivárgók, drének	64
3.5.7. Földfelszíni, nyitott munkaterék	67
3.5.8. Végleges és ideiglenes földmegtámasztó szerkezetek (tám- és bélésfalak, dúcolatok)	69
3.5.9. Alapozások	69
3.5.10. Melléépítések és ráépítések	70
3.5.11. Földfelszín alatti, zárt munkaterék	70
3.5.12. Közúti, vasúti, légi és vízi közlekedés építményei és műtárgyai	71
3.5.13. Közművek és műtárgyai	73
3.5.14. Környezeti geotechnika	74
4. TALAJOK ÉS KŐZETEK TEREPI ÉS LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA	77
4.1. A geotechnikai szabványok alkalmazásának alapelvei	77
4.2. A geotechnikai kategória meghatározása	79
4.3. Talajok és kőzetek terepi (in situ) vizsgálatának leggyakoribb geotechnikai módszerei	85

4.3.1. A terepi (in situ) módszerekkel meghatározható geotechnikai paraméterek és egyéb jellemzők	85
4.3.1.1. Talajok és kőzetek geotechnikai paraméterei és jellemzői	85
4.3.1.2. A talajszondázás paraméterei	89
4.3.1.3. Szondatípusok	89
4.3.2. A szondázásos vizsgálatok	89
4.3.3. Statikus nyomószondázás (<i>CPT</i> és <i>CPTu</i>).....	90
4.3.4. Presszióméteres vizsgálatok (<i>PMT</i>)	91
4.3.5. Standard penetrációs vizsgálat (<i>SPT</i>).....	91
4.3.6. Dinamikus verőszondás vizsgálat (<i>DP</i>)	91
4.3.7. Fúrószondás vizsgálat (<i>WST</i>)	92
4.3.8. Terepi nyírószondás vizsgálat (<i>FVT</i>)	92
4.3.9. Lapdilatométeres vizsgálat (<i>DMT</i>).....	92
4.3.10. Terhelőlapos vizsgálat (<i>PLT</i>)	92
4.4. Talajok és kőzetek terepi (in situ) vizsgálatának leggyakoribb geofizikai módszerei	93
4.4.1. Természetes (spontán) potenciál mérés (<i>SP</i> vagy <i>PS</i>).....	95
4.4.2. Vertikális elektromos szondázás (<i>VESZ</i>)	95
4.4.3. Horizontális elektromos szelvényezés (<i>HESZ</i>)	96
4.4.4. Gerjesztett (indukált) polarizációs mérés (<i>GP</i> vagy <i>IP</i>)	96
4.4.5. Rádiófrekvenciás (földradar) mérés (<i>GPR</i>)	96
4.4.6. Rádiófrekvenciás elektromágneses (<i>VLF</i>) mérés.....	96
4.4.7. Fúrás–fúrás közötti szeizmikus átvilágítás (Cross-hole)	97
4.4.8. Felszín–fúrás közötti szeizmikus mérés (Down-hole).....	98
4.5. Talajok és kőzetek geotechnikai laboratóriumi vizsgálatának leggyakoribb módszerei	98
4.5.1. Természetes víztartalom vizsgálata	98
4.5.2. Térfogatsűrűség vizsgálata.....	99
4.5.3. Szemcse- vagy anyagsűrűség vizsgálata.....	99
4.5.4. Szemeloszlás vizsgálata	99
4.5.5. Konzisztencia- vagy Atterberg-határok vizsgálata	102
4.5.6. Durvaszemcsés talajok tömörségi indexének vizsgálata	103
4.5.7. Hézagterfogató és hézagtenyező vizsgálata.....	103
4.5.8. Relatív telítettség vizsgálata.....	104
4.5.9. Fázisos összetétel (az alkotórészek térfogataránya) vizsgálata	105
4.5.10. Ásványos összetétel vizsgálata	105
4.5.11. Diszperzibilitás vizsgálata.....	105
4.5.12. Fagyérzékenység vizsgálata	106
4.5.13. Talajok egyirányú (szabad, oldalnyomás nélkül végzett) nyomóvizsgálata.....	106
4.5.14. Talajok triaxiális (zárt, oldalnyomás mellett végzett) nyomóvizsgálata	106
4.5.15. Talajok közvetlen, nyíródobozos vagy körgyűrűs nyíróvizsgálata..	107

4.5.16. Kompressziós vizsgálat	107
4.5.17. Tömörítési vagy Proctor vizsgálat.....	108
4.5.18. Permeabilitás vagy vízáteresztő képesség vizsgálata.....	108
4.5.19. Lineáris zsugorodás vizsgálata	108
4.5.20. Duzzadási nyomás vizsgálata	108
4.5.21. Talajok és talajvíz vegyvizsgálata	109
4.5.22. Kőzetek egyirányú (szabad, oldalnyomás nélkül végzett) nyomóvizsgálata	110
4.5.23. Kőzetek triaxiális (zárt, oldalnyomás mellett végzett) nyomóvizsgálata	110
4.5.24. Kőzetek közvetlen nyíróvizsgálata.....	110
4.5.25. Kőzetek brazilvizsgálata.....	111
4.6. Helyszíni geotechnikai mintavétel talajból és kőzetből.....	111
4.6.1. Nagytérű fúrások	111
4.6.2. Kisátérű fúrások	112
4.6.3. Nyílt (gödör, árok, rés) feltárások	112
4.6.4. Mintavételi kategóriák, talaj- és kőzetmintavételi eljárások.....	112
4.6.5. Mintavételi kategória, a talajminta minőségi osztálya és az elvégezhető laboratóriumi vizsgálatok kapcsolata.....	114
4.6.6. A talaj- és kőzetmintavételek módjának és kezelésének általános szabályai	115
4.6.7. Talajvízmérések.....	116
4.7. A helyszíni és a laboratóriumi geotechnikai vizsgálatok megtervezése.....	117
4.7.1. A feltárások száma és távolsága.....	118
4.7.2. A feltárások helyszínrajzi elhelyezése	120
4.7.3. A feltárások ajánlott mélysége	120
4.7.4. A terepi feltárások és vizsgálatok alkalmazhatósága	121
5. A FÖLDFELSZÍN, A KŐZETEK ÉS TALAJOK KIALAKULÁSÁNAK FÖLDTANI FOLYAMATAI	124
5.1. A Föld belső erői (endogén folyamatok)	124
5.1.1. Globális lemeztectonikai folyamatok.....	125
5.1.2. Magyarország általános földtani, szerkezeti és földrengési adatai ...	127
5.2. A Föld külső erői (exogén folyamatok)	131
5.2.1. Az üledékképződés első fázisa: mállás	131
5.2.1.1. A kőzetanyag aprózódása, a fizikai mállás	132
5.2.1.2. A kőzetek vegyi átalakulása, a kémiai mállás.....	133
5.2.1.3. A kőzetek biológiai (szerves vagy organikus) mállása	135
5.2.2. Az üledékképződés második fázisa: lepusztulás (lehordás vagy letarolás) és elszállítás	135
5.2.3. Az üledékképződés harmadik fázisa: lerakódás, felhalmozódás	142
5.2.4. Emelkedő és süllyedő területek.....	142
5.2.4.1. Emelkedő területek, hegyvidékek	142

5.2.4.2. Süllyedő területek, völgyek, folyóvízi síkságok (medencék)	143
5.2.5. Lejtők	147
5.3. A kőzetek osztályozása földtani szempontból	154
5.3.1. Mélységi magmás (magmatitok) és vulkanikus (vulkanitok) kőzetek	154
5.3.2. Üledékes kőzetek (szedimentumok)	157
5.3.3. Átalakult kőzetek (metamorfitok)	157
6. KŐZETEK MINŐSÍTÉSE, BESOROLÁSA, OSZTÁLYOZÁSA, TULAJDONSÁGAI ÉS TEREPI FELISMERÉSE	159
6.1. A kőzetek mérnökgeológiai minősítési, besorolási szempontjai	159
6.1.1. Szín	159
6.1.2. Kőzetalkotó ásványok szemnagysága	159
6.1.3. Ásványi összetétel	159
6.1.4. Mésztartalom	160
6.1.5. Az elváltozások mértéke, a mállottsági fok	160
6.1.6. Környezeti hatásokkal (víz és levegő) szembeni ellenálló képesség	161
6.1.7. Fagyállóság	162
6.1.8. Kőzetek és talajok fejtési osztálya és lazulása	163
6.1.9. Egyirányú nyomószilárdság	164
6.1.10. Tagoltság és a tagoltságok jellemzői	167
6.1.11. Szerkezetesség és rétegzettség	172
6.1.12. Kőzettestek osztályozása az általános szilárdsági, kőzetmechanikai tulajdonságok alapján	173
6.2. A kőzetek mérnökgeológiai osztályozása	177
6.3. Legelterjedtebb hazai kőzeteink tulajdonságai és terepi felismerése	178
6.3.1. Mélységi magmás (magmatitok) és vulkanikus kőzetek (vulkanitok)	178
6.3.1.1. Mélységi magmás és szubvulkanikus kőzetek	178
6.3.1.2. Vulkanikus kiömlési kőzetek	180
6.3.1.3. Vulkanikus törmelékes kőzetek (piroklasztitok)	182
6.3.2. Üledékes kőzetek (szedimentumok)	182
6.3.3. Metamorf kőzetek (metamorfitok)	185
7. TALAJOK MINŐSÍTÉSE, BESOROLÁSA, OSZTÁLYOZÁSA, TULAJDONSÁGAI ÉS TEREPI FELISMERÉSE	187
7.1. A talajok geotechnikai minősítési, besorolási szempontjai	187
7.1.1. Szín	187
7.1.2. Természetes víztartalom	187
7.1.3. A talajok szemcseméret szerinti besorolása, megnevezése	189
7.1.4. Szemcsealak	189
7.1.5. Szemeloszlási görbe (szemcseösszetétel vagy szemszerkezet)	190
7.1.6. Tömörégi index és tömörségi állapot	191

7.1.7. Plaszticitás	192
7.1.8. Konzisztencia index.....	193
7.1.9. Tőzeges és szerves talajok.....	193
7.1.10. Szervesanyag-tartalom	194
7.1.11. Mész tartalom	194
7.1.12. Talajok és a talajvíz vegyi agresszivitása.....	195
7.1.13. Drénezetlen nyírószilárdság és egyirányú nyomószilárdság.....	195
7.1.14. Összenyomhatóság (kompresszibilitás)	197
7.1.15. Vízvezető vagy vízáteresztő képesség (permeabilitás)	197
7.1.16. Fagyveszélyesség	197
7.1.17. Erózióveszélyesség (eróziós hajlam).....	198
7.1.18. Térfogatváltozó tulajdonság (térfogatváltozási hajlam).....	199
7.1.19. Tömöríthetőség.....	199
7.1.20. Teherbírási modulus és <i>CBR</i> érték	200
7.1.21. Földműépítési alkalmasság.....	202
7.1.22. Folytonosságot megszakító diszkontinuitások	203
7.1.23. Talajok fejtési osztálya	204
7.1.24. Talajok minősítése földrengési szempontból	204
7.2. Talajok geotechnikai azonosítása és osztályozása.....	205
7.3. Hazánk jellemző talajainak és üledékegyütteseinek jellemzése és terepi felismerése	208
7.3.1. Gyakran előforduló talajok és üledékegyüttesek jellemzése.....	208
7.3.2. Talajok terepi felismerése és azonosítása.....	224
8. VIZEK.....	227
8.1. Felszíni vizek általános jellemzése és sajátosságai.....	229
8.1.1. Folyóvíz.....	229
8.1.1.1. A vízfolyásokkal kapcsolatos alapfogalmak, magyarázatok	229
8.1.1.2. A vízfolyások szakaszjellegének meghatározása a munkavégző képesség szerint	231
8.1.1.3. Vízfolyások osztályozása kialakulásuk szerint	232
8.1.1.4. Vízfolyások osztályozása és elnevezése vízhozam szerint	232
8.1.2. Állóvíz.....	234
8.1.2.1. Tavak osztályozása vízháztartásuk szerint.....	234
8.1.2.2. Tavak osztályozása keletkezésük szerint	234
8.1.2.3. Tavak osztályozása a tómedence kialakulásának eredete szerint.....	234
8.1.2.4. A tavak pusztulásának (elhalásának) folyamata.....	236
8.1.3. Belvíz.....	236
8.1.4. Árvíz.....	237
8.1.4.1. Villámárvíz	237
8.1.5. Forrás.....	237
8.2. Felszínközeli vizek általános jellemzése és sajátosságai.....	242

8.2.1. Csurgalékvíz.....	243
8.2.2. Felszínközeli szivárgó víz.....	243
8.2.3. Talajvíz.....	245
8.2.3.1. Az osztályozás szempontjai	245
8.2.3.2. A talajvízes területek jellemzése.....	245
8.2.3.3. A talajvízszint helyzetét és vízjárását befolyásoló körülmények.....	248
8.2.3.4. A talajvíz szintingadozásának jellemzői.....	250
8.2.3.5. A talajvíz vegyi összetételének jellegzetességei.....	250
8.2.3.6. Talajvíz általános jellemzői, tulajdonságai.....	251
8.2.4. Általajvíz.....	253
8.3. Felszín alatti vizek általános jellemzése és sajátosságai.....	254
8.3.1. Rés- és hasadékvíz.....	254
8.3.2. Karsztvíz.....	255
8.3.2.1. A legjellemzőbb karsztjelenségek.....	256
8.3.2.2. A karsztosodás feltételei és folyamata.....	257
8.3.2.3. A karsztvíz egyéb jellemzői.....	258
8.3.2.4. A magyarországi karsztrendszerek osztályozása.....	259
8.3.2.5. A karsztosodott területek vízjárásának általános jellemzése.....	261
8.3.3. Mélységi rétegvíz.....	261
9. A GEOTECHNIKA ÉS AZ ÉPÍTÉSI FOLYAMAT VISZONYA.....	265
9.1. Az általánosan használt geotechnikai dokumentációk tartalma.....	265
9.1.1. Geotechnikai Talajvizsgálati Jelentés (<i>TVJ</i>).....	267
9.1.2. Geotechnikai Tervezési Beszámoló (<i>TB</i>).....	270
9.1.3. Geotechnikai Terv (<i>GT</i>).....	272
9.1.4. Egyéb geotechnikai dokumentációk.....	272
9.2. A geotechnika helye, szerepe és feladata az építési folyamatban.....	273
9.2.1. Az építési folyamat vázlatos áttekintése.....	273
9.2.2. A geotechnikai szolgáltatás formái, célja és tárgykörei.....	275
9.2.3. A tervfázisok és a geotechnikai szolgáltatások kapcsolata.....	279
9.2.4. Az építési folyamat egyes szakaszaihoz kapcsolódó tervfázisok és geotechnikai szolgáltatások.....	281
IRODALOMJEGYZÉK.....	290
ÁBRAJEGYZÉK.....	294
TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	296
TÁRGYMUTATÓ.....	298
SZÖVEGBEN EMLÍTETT SZABVÁNYOK ÉS MÉRNÖKI KAMARAI DOKUMENTUMOK.....	307
MELLÉKLETEK.....	308
SZÍNES TÁBLÁK.....	340

DUPress

1. BEVEZETÉS

A történelem hajnalának archaikus időszakában (őskor) az emberi közösség még a természet szerves része volt, így igényei és szükségleteinek kielégítése is azzal szoros kapcsolatban és összhangban állt. Később, már az írott történelem időszakában a társadalom folyamatosan zajló, s időben egyre gyorsuló változásai közül talán a műszaki–technikai tudományok fejlődése volt a legszembetűnőbb. Ennek eredményeként ma már olyan mesterségesen épített (pl. metropoliszok, városok, falvak) vagy többé-kevésbé mesterségesen (pl. mezőgazdaság, nagyipar, bányászat, terület- és tájrendezés, erdőirtás, folyószabályozás stb. által) átalakított világban élünk, melyben igényeinket és szükségleteink kielégítését közvetlenül már a társadalom – a természeti környezetünktől látszólag független, egyfajta mesterséges burokként működő – műszaki–technikai lehetőségei, adottságai határozzák meg. Az előbbi „látszólag független” kifejezést úgy kell érteni, hogy amint az archaikus korban az ember, úgy manapság a mesterséges burokként kialakított műszaki–technikai világunk függ *közvetlenül* a természettől. Vagyis a természet „leigázása”, vagy a természet feletti „uralmunk” csak látszólagos. Lehet, hogy mi magunk egyre kevesebbet vagyunk a természettel közvetlen kapcsolatban, mivel az általunk létrehozott épített környezetet magunk és a természet közé „ékeljük”, de az épített környezeten keresztül ugyanúgy függünk a természettől, mintha az épített környezet jelen sem lenne, legfeljebb egyes természeti hatások nagyságát, netán következményét az épített környezet tompítja, de megszüntetni nem tudja. Gondoljunk az esőre: az épület az esőt nem szünteti meg, legfeljebb olyan teret hoz létre, amelyben az eső hatása (közvetlenül) nem érvényesül. Ha a gravitációs, mágneses erőterre, vagy a kozmikus sugárzásra gondolunk, akkor nyilvánvaló, hogy az épített környezet ezeket a hatásokat még módosítani sem képes, nemhogy kizárni.

E műszaki–technikai világunk látható, tapintható alapelemeit a mesterséges építményeink jelentik, melyekkel lépten-nyomon találkozhatunk. Ezekben lakunk (pl. lakóépületek), ezeken utazunk munkahelyünkre (pl. utak, vasutak, hidak, alagutak), ezekben dolgozunk (pl. irodaházak), ezekben vásárolunk (pl. üzletházak), ezek vezetnek lakóházainkba a vizet, az elektromos áramot, a gázt, (közmű vezetékek), ezekben szórakozunk és művelődünk (pl. mozik, színházak, múzeumok), ezek védnek az árvizektől (pl. gátak) és ezekben állítják elő anyagi javainkat (pl. üzemek, gyárak) is, s a felsorolást még hosszasan folytathatnánk. Ezeket szokás összefoglalóan épített környezetnek nevezni.

A sokféle rendeltetésű, formájú, anyagú, méretű építmények közös jellemzője, hogy születésük közben mindig ott serénykedik a különböző szakágakat képviselő mérnökök népes tábora. E mérnöki szakágak közül legtöbbször az alábbiakkal találkozhatunk:

- az *építészmérnök* (feladata általában a különböző rendeltetésű épületek, valamint települések tervezése; a tervezés és kivitelezés irányítása, koordinálása és ellenőrzése; a hatósági munkával, valamint az üzemeltetéssel kapcsolatos teendők ellátása),
- az *építőmérnök* (feladata általában a szerkezeti vagy építéstechnológiai szempontból bonyolultabb építmények – pl. ipari épületek, hidak, alagutak, vízepítési műtárgyak, közművek – tartószerkezeti tervezésével, kivitelezésével és üzemeltetésével kapcsolatos teendők ellátása),
- az *épületgépész mérnök* (feladata általában az épületgépészeti berendezések és közmű-hálózati rendszerek – pl. fűtés, hűtés, szellőzés, víz- és gázellátás, csatornázás – tervezésével, kivitelezésével és üzemeltetésével kapcsolatos teendők ellátása),
- az *épületvillamossági mérnök* (feladata általában az épületek elektromos – pl. energia ellátással, távközléssel, szórakoztatással, biztonsággal, informatikával, távirányítással kapcsolatos – berendezéseinek, készülékeinek, hálózatainak és közmű rendszereinek tervezésével, kivitelezésével és üzemeltetésével kapcsolatos teendők ellátása),
- a *közlekedésépítő mérnök* (feladata általában a vízi, légi, közúti és vasúti közlekedési rendszerek építményeinek és műtárgyainak tervezésével, kivitelezésével és üzemeltetésével kapcsolatos teendők ellátása),
- a *földmérő mérnök* (feladata általában a terepen és a terepfelszín alatt található természetes és mesterséges alakzatok, építmények és műtárgyak helyszíni felmérése és ezek térképi ábrázolása; a térképeken feltüntetett földfelszíni és földalatti létesítmények pontos helyének terepi kitűzése; az építmények mozgásainak mérése; a légi- és műholdfelvételek, illetve a terepi mérések és egyéb térképi és földmérési adatok kiértékelése, s ezek alapján különböző célú térképek előállítás; az ingatlanrendezési és földhivatali feladatok elvégzése),
- a *bányamérnök* (feladata általában a földtani szerkezetek, valamint az ásványi nyersanyagok, energiahordozók és vízkészletek lelőhelyeinek földtani, geofizikai és mérnöki módszerekkel történő felkutatása; a hasznosítható készletek térbeli lehatárolása, mennyiségi és minőségi jellemzőinek meghatározása; a bányászati folyamatokkal – főként vágathajtás, alagútépítés – kapcsolatos tervezési, szervezési, üzemeltetési és irányítási feladatok elvégzése).

Ebben a – feladatokat és a szakismereteket tekintve egymással szoros kapcsolatban álló és néha egymást kissé átfedő – mérnöki körben a geotechnikus mérnök az építőmérnökök közé tartozik. A geotechnikus mérnök az építmények tervezésével és kivitelezésével foglalkozó mérnök kollégák kiszolgálását célzó fő tevékenységei az alábbiak: a helyszíni talajfeltárások és laboratóriumi talajvizsgálatok elvégzése; a talajok fizikai tulajdonságainak meghatározása; a vizsgált környezetnek az adott építmény szempontjából fontosabb építésföldtani sajátosságainak ismertetése; az építés szempontjából lényeges környezeti hatások és veszélyek feltárása és az azok elleni védekezés lehetőségeinek elemzése. Ezek mellett, egyes esetekben, a speciális geotechnikai szerkezetek statikai tervezése is feladatát képezi.

Ebben az *Egyetemi tankönyv*ben ismertetjük a geotechnikához szorosan kapcsolódó alapfogalmakat; röviden bemutatjuk a geotechnikai tevékenység sajátosságait és alkalmazási területeit; leírjuk a talajok és kőzetek terepi és laboratóriumi vizsgálatait; szót ejtünk a kőzetek és talajok kialakulásáról; ismertetjük a kőzetek és a talajok minősítésének, besorolásának, osztályozásának, tulajdonságainak és terepi felismerésének körülményeit; jellemezzük a vizek geotechnikai szempontból fontosabb sajátosságait; bemutatjuk a geotechnika és az építési folyamat egymáshoz való viszonyát; s végül – kiegészítésként – egyéb, a geotechnika területén jól hasznosítható ismeretekkel is szolgálunk.

Ha a korábban felsorolt építményekre gondolunk, könnyen belátható, hogy azok mindegyike elválaszthatatlanul kapcsolódik a természethez, vagyis közvetlenül érintkezik a földdel, a vízzel és a levegővel, s ezek (vagyis a tűzzel együtt a ma már kissé misztikusnak tűnő – de egykor nagyon is hétköznapi – őselemek) hatása alatt áll. Mindezekből az is egyértelműen következik, hogy egy jól (vagyis a természeti körülmények és folyamatok figyelembe vételével, azokkal összhangban) megtervezett és elkészített építmény nemcsak a tőle megkívánt emberi igényeket szolgálja ki, hanem – a hatás–ellenhatás elve alapján – a vele kapcsolatban álló földtani közeggel egymást kiegészítő, segítő, de legalábbis egymást csak a legszükségesebb mértékben befolyásoló (mintegy „szimbiotikus”) egységet alkot.

A geotechnika tudománya tehát egyrészt az építménnyel kapcsolatban álló talajkörnyezet tulajdonságainak vizsgálatával, másrészt a talajkörnyezet és a vele szoros kapcsolatban álló építmény egymáshoz való viszonyával foglalkozik. Vagyis kapcsolatot létesít a térben és időben változó, a maga teljességében soha meg nem ismerhető tulajdonságokkal rendelkező természeti közeg, valamint a többé-kevésbé állandó és jól ismert tulajdonságokkal rendelkező építőanyagokból létrehozott mesterséges építmény között, meghatározva és befolyásolva ezáltal azok jövőbeli közös sorsát is.

A geotechnika tárgya – a talajok és a kőzetek – a természet képződményei. A talajok és kőzetek kinézetük, tulajdonságaik, viselkedésük alapján osztályozhatók, és így különböző helyszínen, a földfelszíntől különböző mélységekben „azonos” talajokat és kőzeteket különíthetünk el. Így például talajok esetében megkülönböztetünk agyagot, homokot, kavicsot, vagy kőzetek esetében gránitot, bazaltot, márványt, homokkövet, mészkövet, hogy csak a legismertebbeket említsük. Ugyanakkor tapasztalati tény, hogy az azonosnak tekintett talajok, illetve kőzetek különböző területen, de egy-egy területen belül, egymástól akár néhány méteres távolságban, sőt egy függőleges mentén, a mélységi elhelyezkedés függvényében is eltérő fizikai-mechanikai, vagyis geotechnikai tulajdonságokkal bírnak. Továbbá, a talajok és kőzetek tulajdonságai a földi környezet folyamatos változása okán folyamatosan változnak. Ennek okán „pontos”-nak tekinthető ismeretek a talajokról és a kőzetekről csak egy-egy időpillanathoz köthetőek. Hasonlóan ehhez, mivel a talajok és a kőzetek tulajdonságainak felderítéséhez pontonként veszünk mintát, ezért „pontos”-nak tekinthető ismeretek egyedi térbeli pontokhoz, a mintavételi helyekhez köthetőek. A fentiek miatt a talajok és kőzetek geotechnikai tulajdonságai „pontosan” elvi okokból nem ismerhetőek meg. Ezzel összhangban a geotechnikának kettős fel-

adattal kell szembenéznie. Az egyik, hogy derítse fel az építmény geotechnikai környezetének jellemzőit, a másik, hogy ennek során vegye figyelembe azt is, hogy a nyert ismeretek nem mindenben fedik a valóságot, hétköznapi szóval élve, a nyert adatok nem kellően pontosak.

Az építőanyagaink jelentős részét – a természeti képződményekkel ellentétben – mesterségesen állítjuk elő (pl. égetett kerámia, beton, acél). A nyert építőanyagok jellemzői – műszaki paraméterei – függenek a felhasznált alapanyagtól is és az alkalmazott technológiától is. Ennek megfelelően az építőanyagaink jellemzői nem azonosak, azok értékei egy átlag körül mozognak, szórnak. Ugyanakkor az előállítás során alkalmazott minőségi ellenőrzés lehetővé teszi, hogy az építőanyagainkat a numerikusan jellemezhető műszaki paraméterek alapján osztályozzuk, és olyan minőségi osztályokra bontsuk, amely osztályokon belül az anyagi viselkedés gyakorlatilag azonosnak tekinthető legyen. Ennek okán egy-egy építménybe beépített építőanyagok alapján maguk az építmények homogén szerkezetűeknek tekinthetőek. A természetben ilyen ellenőrzési folyamat nem létezik. Tehát egy-egy mintavételi pontban a talaj, illetve kőzet jellemzésére kimért numerikus értékekből a mintvételi helyeken kívül, illetve azok között lévő talaj, illetve kőzet jellemzésére extra-, illetve interpolálással meghatározott numerikus értékeket csak fenntartások mellett szabad elfogadni. Az nyilvánvaló, hogy a talaj és a kőzet minden pontjában nem végezhetünk feltárásokat, mert akkor a leendő építési területet „feltúrjuk”, magát a természetes talajt, illetve kőzetet, mint pl. az építményeinket hordó alapozási szerkezetet szüntetjük meg. Ebből a szempontból mondjuk azt, hogy az építés környezetében lévő természeti közeg a maga teljességében soha meg nem ismerhető tulajdonságokkal rendelkezik.

Az előbbi megállapításból – miszerint a geotechnika által vizsgált talaj-, illetve kőzetkörnyezet a maga teljességében soha meg nem ismerhető tulajdonságokkal rendelkezik – következik, hogy a geotechnikus mérnök mindenkor szem előtt tartja az alábbiakat.

- A geotechnikus mérnök tiszteli a Természetet, mert tudja, és szem előtt tartja, hogy a Természet romboló erői képesek az ember által létrehozott építményt károsítani, valamint, hogy tudja, hogy nem minden esetben képes a Természetben lezajló folyamatokat azok várható sorrendjében, megjelenési formájában, lezajlásának idejében előre jelezni.
- A geotechnikus mérnök elismeri, hogy bármennyit is tanul, a természetes talaj-, illetve kőzetkörnyezetről összegyűjtött ismeretei hiányosak maradnak. Ezért az elméleteket és a számítások eredményeit (különösen azok pontosságát) mindig fenntartással veszi tudomásul és csak a tapasztalat szűrőjén átengedve fogadja el. Ezt a hozzáállást, a „talajmechanika atyja”-ként tisztelt Karl von Terzaghi ironikusan az alábbiakban fogalmazta meg: *„Az elméletre egy cédulát kéne függeszteni: Figyelemmel, óvatossággal használandó! Nem több, mint egy csepp egy liter tapasztalathoz.”*
- A geotechnikus mérnök tudatában van annak, hogy a teljes körű ismeretek – egyébként a fenntebb ismertetett okokkal magyarázható – hiánya miatt a geotechnikában minden más műszaki–technikai tudományhoz viszonyítva na-

gyobb jelentősége van a gyakorlati tapasztalatnak, az ezzel összefüggésben kialakult empiriának, valamint a szubjektív szakmai érzéknek (melyet nevezhetünk akár műszaki intuíciónak is). Az eredményekben a tizedes vessző után megadott minden számérték rendszerint csak a pontosság *látszatát kelti*, annak minden valós tartalma nélkül.

- A geotechnikus mérnök, mint minden szellemiekben gazdagon felvértezett ember, szakmai munkája során szem előtt tartja Reinhold Niebuhrnak (1892–1971, amerikai teológus, filozófus és politológus) tulajdonított bölcsességet, mellyel Heinz Brandl a bécsi műegyetem professzora is útjára szokta bocsátani végzős hallgatóit, s amely szerint: *„Istenem, adj nekem türelmet, hogy elviseljem, amit nem tudok megváltoztatni, bátorságot, hogy megváltoztassam, amit tudok, és bölcsességet, hogy e kettőt meg tudjam különböztetni.”*

Ahogy a történelemben vagy az emberi sorsokban, úgy a tudományok történetében is ezer szállal kapcsolódik egymáshoz a múlt, a jelen, s a jövő. Az összefüggéseket ugyan sokan és sokféleképp értelmezik, ám az bizonyos, hogy a jelent csak az értheti, s a jövőt csak az sejtheti, aki a múltat már jól ismeri. E felfogás szellemében vessünk egy pillantást a talajmechanika (manapság használatos tágabb értelmű kifejezéssel: a geotechnika) múltjába.

Bár évezredekkel ezelőtt élt őseink ennek még nem voltak tudatában, de e tudomány gyakorlati alapismereteit már ők is alkalmazták, amikor a folyópartok vízzel telített, alacsony hordképességű, puha talajaiban facölöpöket vertek le kezdetleges épületeik támaszául; a falut körülvevő földsáncot keménnyé száradó agyagból, vesszőfonatok közé döngölve készítették; a nehéz kőből készült templomaikat a mély talajvízű, szilárd talajokból álló dombokra, váraikat pedig a hegyek szikláira építették; vagy a puhább talajra szélesebb, a keményebb talajra keskenyebb alapokat raktak. Mint minden tudomány, a geotechnika is őseink gyakorlati tapasztalatain fogant, majd a későbbi korok gondolkodó elméi és gyakorlatias, kísérletező kedvű feltalálói sorának szorgalmas munkájával teljesedett ki, s érte el mai színvonalát. A következőkben ismerkedjünk meg – a teljesség igénye nélkül – néhány kiemelkedő külföldi és hazai mérnök életútjával, akik jelentős mértékben járultak hozzá a talajmechanikai és a geotechnikai ismeretek feltárásához és rendszerezéséhez, valamint oktatásához.

Charles Augustin de Coulomb (1736–1806)

Charles Augustin de Coulomb jómódú francia család sarjaként Angoulemben született 1736. június 14-én. Miután Párizsban befejezte matematikai és természettudományi tanulmányait, műszaki-katonai pályára lépett. Szolgálatának ellátása mellett azonban tudományos kérdésekkel is foglalkozott, s főleg a műszaki mechanika és a statika problémái érdekelték. A Francia Tudományos Akadémia 1782-ben beválasztotta tagjai sorába, s ettől kezdve válik ismertté a nemzetközi tudományos világban is. Hírnevét először a tengeri iránytű tökéletesítésével és a később róla elnevezett torziós mérleg létrehozásával, majd az elektromosság és a mágnesség vizsgálatával, illetve ezek törvényszerűségeinek feltárásával alapozta meg. 1806. augusztus 23-án halt meg Párizsban.

1776-ban a boltozatok statikájáról és a földnyomásról készített értekezésével hívta fel magára először a tudós körök figyelmét, s ezt az időpontot tekintjük a mai modern talajmechanikai tudományok kezdetének is. Később Christian Otto Mohr az általa kidolgozott talajtörési elmélettel párosította, így kialakítva a geotechnika egyik mai napig meghatározó módszerét a Mohr–Coulomb elméletet.

Christian Otto Mohr (1835–1918)

Christian Otto Mohr gazdag német földbirtokosok gyermekeként született Wesselburenben, 1835. október 8-án. Felsőfokú tanulmányait 1851-ben kezdte el a Hannoveri Műszaki Egyetemen, majd annak elvégzése után azonnal az államvasutaknál (Hannover és Oldenburg) kezdett dolgozni, mint vasúti mérnök. Munkája során érdeklődéssel fordult a mechanika és a szilárdságtan elméletei, valamint a hídépítés, illetve az ezekkel kapcsolatos műszaki kérdések vizuális, grafikus megoldásainak lehetőségei felé. 1867-ben kezd tanítani a Stuttgarti Műszaki Egyetemen, ahol a mechanika első professzora lett. Később 1873-tól a Drezdai Műszaki Egyetemen tanított, s innen ment nyugdíjba 1900-ban. Ezt követően Drezdában maradt és 1918. október 2-án bekövetkezett haláláig ott dolgozott.

Mohr a mechanika és a szilárdságtan területén folytatott kiemelkedő elméleti és gyakorlati munkássága számos eredményének egyike az volt, hogy 1882-ben kidolgozta az anyagok síkbeli feszültségi állapotainak szemléltetésére szolgáló grafikus ábrázolási módszerét (Mohr-kör), mely Coulomb földnyomási elméletével párosítva a geotechnika egyik mindmáig meghatározó módszerévé (Mohr–Coulomb elmélet) vált.

Wolmar Knut Axel Fellenius (1876–1957)

Wolmar Knut Axel Fellenius 1876. szeptember 10-én született Svédország fővárosának közelében fekvő Salem községben. 1894-ban felvételt nyert a Stockholmi Királyi Műszaki Egyetem Építőmérnöki Tanszékére, ahol 1898-ban végzett. A diploma megszerzését követően tanszéki mérnökként dolgozott, majd 1899–1903 között Norrköping város építési osztályán mérnök asszisztensként tevékenykedett. 1903–1905 között Härnösand város építési vezetője, 1905–1911 között pedig Göteborgban a Svéd Állami Vasút mélyépítési tervezési osztályát vezette és egyben a kikötő főmérnöke volt. 1911–1943 között a Stockholmi Királyi Műszaki Egyetem professzoraként mérnöki tudományokat oktatott, 1915-től pedig a Mélyépítési Kar igazgatója volt. 1919-től elnöke a svéd Geotechnikai Bizottságnak. Szerteágazó munkássága során – 1957-ben bekövetkezett haláláig – számos külföldi egyetem levelező tagja és díszdoktora, több Svéd és nemzetközi mérnöki egyesület tagja, titkára és elnöke, továbbá műszaki bíráló bizottságok tagja volt, de még a Svéd Hadsereg Műszaki Hadtestének alezredeseként is figyelemre méltó munkát végzett.

Fellenius igen behatóan és részletesen foglalkozott a gátak rézsúinek és a lejtők állékonysági vizsgálatával. Neki köszönhetjük azt az 1926-ban publikált körcsúszólapos állékonyságvizsgálati módszert (Fellenius-féle svéd módszer), mely a földtest egyensúlyának vizsgálata során a csúszólap mentén fellépő súrlódást és a kohéziót egyaránt figyelembe veszi, s a biztonságot a ténylegesen meglévő nyírószilárdság és az elmozduláshoz szükséges nyíróerők hányadosaként értelmezi. A Fellenius ve-

zette vizsgáló bizottság 1916–1922 között mintegy 300 svédországi töltéskárosodás utólagos vizsgálatát végezte el, s ennek során ő használta először a „geotechnika” kifejezést.

Karl Anton von Terzaghi (1883–1963)

Karl Anton von Terzaghi 1883. október 2-án született az osztrák hadsereg alezredese, az olasz Anton von Terzaghi és a cseh Amalia Eberle első gyermekeként. Már 10 évesen katonai bentlakásos iskolába került, ahol különösen a földrajz és a csillagászat iránt érdeklődött. 14 éves korában a morvaországi Hranice katonai iskolájába került, ahol a kitűnő tanulót főleg a matematika és a geometria érdekelték, az iskolát 17 éves korában kitüntetéssel végzett el. Felsőfokú tanulmányait 1900-ban a Grazi Műszaki Egyetemen kezdte, s az elméleti mechanikában elmélyülő fiatalember 1904-ben kitüntetéssel gépészmérnöki diplomát szerzett. Ezt követően egy évre kötelező katonai szolgálatra vonult be, majd egy újabb évet töltött az egyetemen. E két év alatt főként a geológiai tudományokkal foglalkozott. 1906–1912 között, mint fiatal és tehetséges mérnök, Bécsben, Horvátországban és Szentpéterváron több jelentős építkezésen dolgozik. 1912-ben az USA-ba ment, ahol a nagyobb gátépítésekben vett részt. 1916-tól az Isztambuli Műszaki Egyetem professzora, és ott létrehozott egy talajmechanikai laboratóriumot. 1924-ig számos talajvizsgálati módszert dolgozott ki és végül 1925-ben megírta átfogó talajmechanikai könyvének első változatát „*Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*” címmel, mely lökést adott a talajmechanika fejlődésének és nemzetközi hírnevet is szerzett számára. Ennek eredményeként még 1925-ben meghívták a Massachusetts Institute of Technology (MIT) oktatói közé, ahol 1928-ig fényes karriert futott be. 1929-ben visszaköltözött Ausztriába, ahol a Bécsi Műszaki Főiskolán tanított és korábbi nagy sikerű könyvét aktualizálta és kétkötetessé bővítette. 1938-ban politikai okokból az USA-ba emigrált, ahol a Harvard Egyetemen professzora egészen 1953-ig, a nyugdíjba vonulásáig. Az 1943-ban megjelent „*Theoretical Soil Mechanics*” című könyve mindmáig használt és a talajmechanika első, mechanikai alapokra helyezett összefoglalása.

Az 1963. október 25-én bekövetkező haláláig számos országban és nemzetközi nagyberuházáson dolgozott és több nemzetközi szervezetben végzett aktív tevékenységet, többek között a szakma legmagasabb szintű nemzetközi szervezetének az ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering) alapító elnöke. Ezen kívül több szakmai kitüntetés tulajdonosa és több egyetem díszdoktora. A talajmechanika, a kőzetmechanika, a vízépítés, az alapozás tárgykörében és általában az építőmérnöki tudományokban elért kimagasló elméleti és gyakorlati teljesítményéért, valamint e tudományok széleskörű ismereteit teljes körűen összefoglaló könyvének elkészítéséért az építőmérnökök még ma is a modern geotechnika tudományának megalapozójaként, a „talajmechanika atyja”-ként tisztelik.

Jáky József (1893–1950)

Jáky József (1934-ig Janicsek József) Szegeden született, 1893. július 15-én. Középiskoláit a Budapest-józsefvárosi Főreáliskolában végezte, majd 1911-ben beiratkozott az akkori József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemre

(JNMGE), ahol 1915-ben kapta meg kultúrmérnöki oklevelét. Munkáját a Műegyetemen kezdte el, s ott is dolgozott az 1950. szeptember 13-án váratlanul bekövetkezett haláláig. A Műegyetemen először Zielinski Szilárd professzor tanszékén (Közlekedésügyi és Vasútépítéstani Tanszék) tanársegédként, majd – az I. Világháború miatt 17 hónapos katonai szolgálatát követően – 1918-tól adjunktusként tevékenykedett. 1924-ben szerezte meg műszaki doktori oklevelét. 1927–1928 között egy évre Jeremiah Smith-ösztöndíjjal Cambridge-be (USA) került, ahol Terzaghi professzor mellett (Massachusetts Institute of Technology) folytatta kutatásait. Hazatérése után, 1928-ban a földépitmények mechanikája című tárgykör magántanárává nevezték ki. 1933–1938-ban a talajmechanika előadója volt. 1936-tól a közlekedésügy és vasútépítéstani nyilvános rendkívüli, 1939-től nyilvános rendes tanárként oktatott. 1941-ben – egészen haláláig – a vasútépítés és földművek (a későbbi geotechnikai) tanszék tanszékvezető tanára lett, s a közlekedésügy, a vasútépítés, a talajmechanika és alapozástani professzoraként tevékenykedett. 1942-ben az MTA levelező, majd 1949-től rendes tagja, s munkásságának elismeréseként 1948-ban az elsők között kapta meg a Kossuth-díjat.

Jáky József vitathatatlanul a magyarországi talajmechanikai kutatások megindítója, s egyben a talajmechanika európai szaktekintélye, aki a világon mindmáig az egyik legtöbbet idézett magyar geotechnikus. A talajmechanikai problémák iránti érdeklődése 1925-ben, Terzaghi könyvének hatására kezdődött. Életműve és munkássága középpontjában a korszerű talajmechanikai kutatások álltak, amelyek elméleti és gyakorlati eredményeit Magyarországon elsőként állította az út- és a vasútépítés szolgálatába. Fáradhatatlanul kísérletezett, előadások sokaságát tartotta a Műegyetemen, a Magyar Mérnök- és Építész-Egyletben, nemzetközi kongresszusokon. Behatóan foglalkozott számos talajmechanikai problémával, melynek eredményeként egymás után jelentek meg tudományos publikációi és tanulmányai az anyagvizsgálatról, a rézsúállékonyságról és a rézsúcsúsúzásról, a nyugalmi földnyomásról és a földtömegek képlékeny határállapotáról, a feszültségeloszlás és a szilárdságtan kérdéseiről. Az USA-ban töltött időszakban egy új rézsúvizsgálati módszert dolgozott ki, illetve 1934-től egészen haláláig dolgozott új földnyomás elméletén. Az 1930-as évek második felétől nemzetközileg is korszakos jelentőségű eredményeket ért el az útépítések elméleti és gyakorlati kérdéseinek kutatásában (főleg a fagy és a térfogatváltozás elleni védekezésben, a burkolatok méretezésében), s részt vett az első magyarországi betonút építésében is. 1938-ban megjelentette az első, magyar nyelven írt talajmechanikai tárgyú könyvet „*A talajmechanika, alapfogalmi és technikai alkalmazásuk*” címmel, ami később több nyelvre is lefordítva szakmai világhírnevet hozott számára. Ugyanebben az évben szervezte meg a Műegyetemen Közép-Európa első talajmechanikai laboratóriumát is. Módszeresen népszerűsítette az új, még fiatal tudományágat, melynek köszönhetően 1936-ban kötelezővé tették minden mérnöki építmény kivitelezésekor az előzetes talajmechanikai vizsgálatokat. Figyelemre méltó anyagot nyújtott be az első, 1936-os talajmechanikai és alapozási konferenciára, amelyen személyesen is részt vett. Ebben az évben lett a Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Egyesület magyar csoportjának az elnöke. 1944-ben adta ki a talajmechanika tárgykörének első magyar nyelv-

ven írt összefoglaló tankönyvét „*Talajmechanika*” címmel, mely hosszú ideig az egyetlen ilyen témájú magyar tankönyv volt. 1951-ben jelentette meg a „*Földnyomás*” című művét. Éveken keresztül tagja volt az Anyagvizsgálók Közlönye című szakfolyóirat szerkesztőbizottságának. A II. Világháborút követő években – 1945–1950. között – szakértőként működött közre több nagyjelentőségű hazai létesítmény (pl. Ferihegyi Repülőtér, Budapesti Földalatti Vasút, Dunai Vasmű) alapozási kérdéseinek megoldásában.

Széchy Károly (1903–1972)

Széchy Károly 1903. december 27-én született Budapesten. Kultúrtechnológiai oklevélét 1926-ban szerezte a budapesti József Műegyetemen. Egy évig még a Műegyetemen tanársegéd, majd 1927–1928 között a London University College ösztöndíjasa. Hazatérve 1928–1932 között magánmérnökként (építésvezető) működött. Ezt követően a Kereskedelmi és Közlekedésügyi Minisztérium Hídosztályának mérnöke (1932–1935), főmérnöke (1935–1940), műszaki tanácsosa (1940–1943), miniszteri osztálytanácsosa (1943–1946), szakosztályvezető főmérnöke (1946–1951). Eközben miniszteri tanácsosi (1946–1947), majd miniszteri osztályfőnöki rangban (1947–1949) is tevékenykedik. Minisztériumi munkája mellett a budapesti Pázmány Péter Tudományegyetemen jogi (1933), majd a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen műszaki doktorátust (1944) is szerzett. Részt vett a Petőfi híd tervezésében és építésében, a Margit híd 1935–1937 évi kiszélesítésében és megerősítésében, 1939–1943 között az Árpád híd tervezésének és megépítésének pedig már központi irányítója volt. A II. Világháború után a romba döntött hidjaink újjáépítésében is jelentős szerepe volt, mint a munkák szervezője és irányítója. Az új Kossuth-híd felépítésében, a Dunán, a Tiszán és egyéb folyókon lerombolt hidak újjáépítésében szervezőként, műszaki vezetőként, irányítóként vett részt. Ezért 1947-ben a Köztársasági Érdemrend tiszti keresztjével, 1948-ban Kossuth-díjjal tüntették ki. 1950–1953 között a Földalatti Vasút Beruházási Vállalat vezérigazgatójaként részt vett a budapesti METRO építésének előkészítésében, megindításában. 1953–1954 között a Földalatti Vasútépítő Vállalat igazgatója, 1954–1957 között a Közlekedési és Postaügyi Minisztérium (KPM) Műszaki Tanácsának vezető titkára. A József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, illetve az ÉME (a műegyetemből szervezetileg kivált Mérnöki és Építészmérnöki Kar önállósult Építőipari Műszaki Egyetem néven) magántanára (1948–1952), egyetemi tanára (1952–1953), valamint az ÉKME (az ÉME-hez közlekedésmérnökök csatlakozásával létrejött Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem), illetve a BME Építőmérnöki Kar Alagútépítés, Földművek és Talajmechanikai Tanszékének egyetemi tanára (1957–1967), majd a Geotechnikai Tanszék tanszékvezetője (1967–1972). 1950-ben a műszaki tudományok kandidátusa, 1952-ben az MTA levelező tagja, 1970-ben az MTA rendes tagja lett. 1952-ben a közlekedés kiváló dolgozója, 1966-ban a felsőoktatás kiváló dolgozója, 1970-ben a Fővárosi Tanácstól „Pro Urbe” kitüntetést kapott a budapesti hidak újjáépítésében és a METRO építésének előkészítése, majd megvalósítása során játszott kiemelkedő tevékenységéért.

A magyar alagút- és hídépítés nemzetközileg is elismert, meghatározó elméleti és gyakorlati szakembere. Elméleti és gyakorlati munkásságában egyaránt újszerű számítási eljárásokat, építési módszereket, eredeti szerkezeti megoldásokat alkalmazott. Tudományos szakterületén (mérnökgeológia és talajmechanika) belül főként a talaj változó tulajdonságait figyelembe véve, az építmény és az altalaj kapcsolatát vizsgálta, s e kutatásai során a síkalapok, a mélyalapok és a földalatti műtárgyak tudományos kérdéseivel foglalkozott. A gyakorlatból adódó problémák lényeges elemeit laboratóriumi modellkísérletekkel vizsgálta. Eredményeit nemzetközileg is elismerték. Az „*Alapozás I–II.*” (1952.), az „*Alagútépítéstan*” (1961.), valamint az úttörő jellegű és korát megelőző „*Alapozási hibák*” (1963.) című műveit több nyelvre is lefordították. Tudományos kutatásainak elismeréseként 1966-ban a helsinki, majd 1970-ben a wroclawi Műszaki Egyetem is díszdoktorává avatta. Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya mérnöki, építészeti és közlekedéstudományok szakcsoportjának vezetője, valamint a Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Egyesület Magyar Nemzeti Bizottságának elnöke volt. Sok nagy, hazai és külföldi (pl. Egyiptomban a heluáni, Szíriában az Orontes, Budapesten az Erzsébet) híd munkálataiban működött közre, mint szakértő. Számos nemzetközi hídépítési és talajmechanikai konferencián vett részt tanulmányokkal, előadásokkal. Egyetemi vendégelőadó volt Csehszlovákiában, Lengyelországban, Jugoszláviában, az NSZK-ban, Kanadában, a skandináv államokban, vendégprofesszor 1964-ben kétszer az egyiptomi Kairói Egyetemen és 1968-ban fél évig a kanadai Western Ontario Egyetemen. Hivatásához 1972. május 22-én bekövetkező hirtelen haláláig hű maradt: a METRO déli pályaudvari befejező szakaszának építése közben, az ottani munkahelyen kapott szívinfarktust. Emlékére a Magyar Mérnök Kamara (MMK) Geotechnikai Tagozata (GeoT) 2000-ben „Széchy Károly” emléklakettet alapított.

Kézdi Árpád (1919–1983)

Kézdi Árpád (1947-ig Kalcher Árpád) 1919. november 19-én született Komáromban. Elemi iskoláit Győrött, középiskoláit Miskolcon végezte, ahol 1937-ben érettségizett. Mérnöki oklevelét a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mérnöki és Építészmérnöki Kar, Mérnöki Osztályán szerezte 1942-ben. Egyetemi évei után a BME Mérnöki és Építészmérnöki Kar, Közlekedésügyi és Vasútépítéstani Tanszékén 1941–1942 között gyakornok, majd 1942–1943 között a Vasútépítés és Földművek Tanszékén (a későbbi Geotechnikai Tanszéken) Jáky professzor mellett végezte oktatói és kutatói munkáját tanársegédként. 1943-tól adjunktus, 1951-től tanszékvezető docens, majd 1961-től a haláláig tanszékvezető egyetemi tanár. Az ÉKME-n 1961–1965 között rektorhelyettesként tevékenykedett. 1972–1975 között a BME rektorhelyettesi tisztségét is ellátta. 1952-ben megkapja a kandidátusi fokozatot, 1958-ban pedig a műszaki tudományok doktora címet. 1962-ben Jáky József-díjjal, 1966-ban Állami Díjjal jutalmazták, 1979-ben a Munka Érdemrend arany fokozatával, 1983-ban pedig a Szocialista Magyarországért érdeméremmel tüntetik ki. 1971-től az MTA levelező, majd 1976-tól rendes tagja.

Kutatási területe a geotechnika volt, tudományos munkássága elsősorban a talajfizika és a földművek területén jelentős. A földnyomás elméleteinek összefoglalásával és továbbfejlesztésével, a rézsűk és lejtős földtömegek állékonyságának, a talajok teherbírásának, a külső dinamikus hatások (pl. földrengés) előidézte tranziens folyamatok vizsgálatával jelentősen járult hozzá a földművek, az alapozási és talajjavítási munkák elméleti megalapozásához. E talajfizikai vizsgálatok mellett behatóan foglalkozott a talajok anyagi összetételével és vízforgalmával, a talajjal, mint építőanyaggal, az útstabilizálás és a teherbírás-javító cölöpalapozás módszertanával. Az MTA Talaj- és Közetmechanikai Bizottságának elnöke, számos magyar és külföldi tudományos társaságban viselt vezető tisztséget. Tudományos munkásságának nemzetközi elismerését jelzi, hogy 1971-ben tiszteletbeli doktora lett a Drezdai Műszaki Egyetemnek (itt 1962-ben vendégprofesszorként is oktatott), 1972-ben a bécsi Talajművelési Főiskolának, valamint tiszteletbeli professzora a Lima és Ica egyetemnek (Peru). 1963–1964 között az USA-ban geotechnikai kutatásokat folytatott. A Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Egyesületnek 1973–1977 között európai alelnöke, 1973–1983 között pedig a Magyar Nemzeti Bizottságnak elnöke volt. 1972-ben a bécsi Talajművelési Főiskola is tiszteletbeli doktorrá fogadja. Részt vett a madridi METRO tervezésére, valamint a pisai ferde torony megmentésére kiírt pályázat bíráló bizottságában. 1960-tól a Közlekedéstudományi Egyesület választmányi tagja, a Talajmechanikai Szakosztály elnöke. 1956-tól a Német Földművek és Alapozások Egyesülete tiszteletbeli tagja. Tagja volt a Brit Mérnökegyeletnek (British Engineers Club) és 1956-tól tiszteleti tagja a Német Földmű- és Alapozástudományi Társaságnak (Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau). Legnagyobb sikereit a geotechnika legújabb eredményeit magas színvonalon összefoglaló könyveivel érte el, amelyek magyar, angol, német és spanyol nyelven jelentek meg. Pályája során mintegy másfél száz tanulmányt és közel félszáz könyvet írt, amelyek közül kiemelkedik a négy kötetben, német és angol nyelven megjelent talajmechanikai monográfiája. A számos nyelvre lefordított „*Talajmechanika I–II.*” (1952.) könyvét mindmáig használják itthon és szerte a világban. A talajmechanika és geotechnika terén kifejtett elméleti és gyakorlati munkásságának eredményeként az alapozási mérnöki munkálatok világszerte elismert szakembere és Jáky professzor méltó követője 1983. október 20-án hunyt el Budapesten.

Varga László (1928–2006)

Varga László 1928-ban született. Diplomáját a Budapesti Műszaki Egyetemen szerezte meg. Munkásságának első szakasza ehhez az egyetemhez köthető. Az ugyancsak itt megszerzett műszaki doktori és kandidátusi minősítése mellett az akadémikus professzorok – Kézdi Árpád és Széchy Károly – munkatársaként vált a mérnöki hivatás elismert szakértőjévé, kutatóvá. Itt nyerte el az egyetemi docensi kinevezést is. 1972-ben a győri főiskola akkor szerveződő oktatói karához csatlakozott. Részt tanárként, részt vezetőként (előbb tanszékvezető, majd főigazgató helyettes) jelentős részt vállalt a főiskola oktatási és tudományos tevékenységében, az egyetemmé fejlődés megalapozásában. Közéleti munkásságának fő színtere a környezetvédelem volt, különösen a Bős–Nagymaros Vízlépcső vitatott kérdéseiben

keresett, talált és képviselt olyan álláspontokat, amelyekben az építés és a környezet harmóniája érvényesült.

Varga László professzor szakmai felkészültségét, széles látókörét és elemző gondolkodását, kiváló gyakorlati érzékét számtalan, esetenként idegen nyelvre is lefordított – a geotechnika, a földművek, az alapozások, a közmű- és műtárgyépítés tárgykörében írt – tankönyve és tanulmánya (pl. „*Szádfalak méretezése*” (1956.), „*Rugalmas ágyazású, kör keresztmetszetű, monolitikus alagútfalazatok méretezése*” (1961.), „*Rugalmas ágyazáson alapuló számításaink megbízhatósága*” (1967.), „*Geotechnika I–IV.*” (1977-1986)) mutatja be. Részt vett az útépitések geotechnikai tervezési szabályzatának kidolgozásában, továbbá az Eurocode szabványsorozat magyarra fordításában és annak magyarországi bevezetésében. Varga László emléket a róla elnevezett egyetemi ösztöndíj is őrzi. Varga László professzor 2006-ban hunyt el.

2. A GEOTECHNIKÁHOZ KAPCSOLÓDÓ ALAPFOGALMAK

Mielőtt mélyebben belemerülnénk a geotechnikai ismeretek tanulmányozásába, meg kell ismernünk e tárgykör alapfogalmainak értelmét, magyarázatát. Egyrészt, mert ez segíti a jobb tájékozódást és a későbbiekben leírtak megértését, másrészt, mert a fogalmak elnevezése vagy geotechnikai szempontú értelmezése esetenként nem feltétlen egyezik meg mindenben a más tudományok által használatos elnevezéssel vagy értelmezéssel. Ez a geotechnika sokszor sajátos szemléletmódjával, egyéni szempontjaival magyarázható. A geotechnika esetében, hasonlóan bármely tudományághoz, egy fogalom tartalmát, meghatározását jelentősen befolyásolja az adott tudományág, de még az azt képviselő szakember aktuális ismeretanyaga, eszköztudása, szemléletmódja is.

E fejezet paragrafusaiban először a természetes környezetnek, majd a mesterséges (vagyis az épített) környezetnek, végül a geotechnikának és a társtudományoknak a geotechnikával összefüggésbe hozható fogalmait járjuk körül. Csak a leggyakrabban előforduló és a legáltalánosabb fogalmakat vesszük sorra. A későbbiek során említésre kerülő ritkábban alkalmazott, vagy speciális szakkifejezések és fogalmak magyarázatai az adott helyen, illetve szövegrészben magyarázatként olvashatók. Az általános jellegű, közismert vagy a szakirányú tanulmányok során más tárgykörökben is használt fogalmakat, azok tartalmát és jelentését pedig már ismertnek tételezzük fel.

Elsőnek a természeti környezet elemeit tekintjük át. Ezt követi a mesterséges, vagyis az épített környezet elemeinek az ismertetése. Végül áttekintjük a geotechnika, mint tudomány „környezetét”, azaz a geotechnikához szorosan kapcsolódó tudományokat.

2.1. A természetes környezetünk elemei

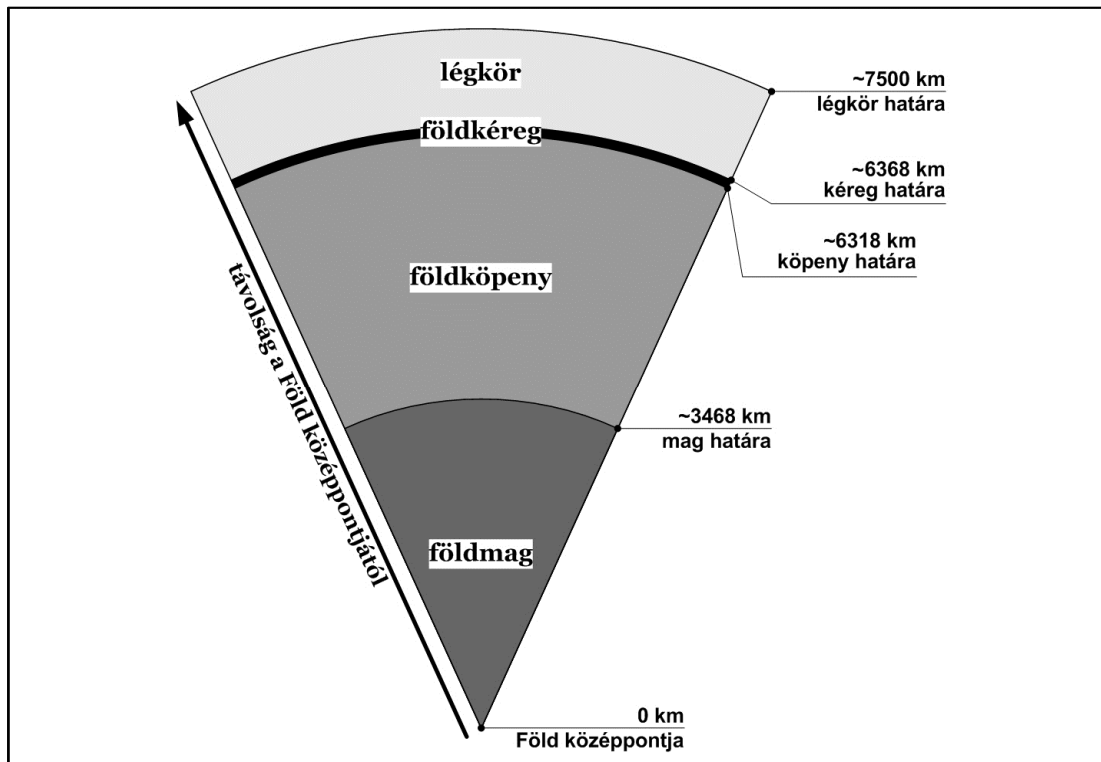
Mivel a geotechnika tudománya közvetlen és elválaszthatatlan kapcsolatban áll a természetes földi környezettel, ezért először az ehhez kapcsolódó alapfogalmak értelmezésével kell kezdenünk.

2.1.1. Természetes (természeti) környezet

A természetes (természeti) környezet alatt értjük az embert körülvevő, természetes úton keletkezett élettelen és élő földi környezetünket, vagyis a Föld egészét. Ide sorolhatjuk a Föld mélyének és felszínének (geoszféra), a felszíni vizeknek (hidroszféra), a légkörnek (atmoszféra) anyagát, képződményeit és jelenségeit, valamint az élővilág (bioszféra) összességét. A szférák sajátossága, hogy ezek egyrészt további övezetekre, gömbhéjas szerkezetű szintekre tagolhatóak, másrészt egymástól

többnyire nem különíthetők el éles határvonallal, hanem e határok mentén keverednek, mintegy „átfolynak” egymásba.

Első közelítésben a Földet három övezetre osztjuk, kívülről befelé haladva: *földkéreg*, *földköpeny*, és *földmag*. A Földet a *léggör* övezi. A közelítően 50 km vastagsággal jellemezhető földkéreg az a tartomány, amely az óceánokat és a hegységeket magába foglalja, s az életnek is helyet ad. Ez a tartomány szinte hártávkonyságú rétegben öleli körül a földköpeny és a földmag izzó, nyughatatlan tömegét (1. ábra).



1. ábra. A Föld és léggöre övezetei, vastagságának arányai

A Föld övezetei vastagságának arányait a 1. ábra szemlélteti, a teljesség kedvéért kiegészítve az egyébként konkrétan meghúzható határvonallal nem rendelkező légkör gyakorlati szempontból számításba vehető vastagságával is. A feltüntetett adatok átlagértékek, azok a Föld dinamikus belső folyamatainak eredményeként korlátozottan ugyan, de térben és időben is állandóan változnak.

2.1.2. Földöv (geoszféra), ezen belül a tűzöv (piroszféra) és a kőzetöv (litoszféra)

Természetes környezetünk legnagyobb kiterjedésű és életünket alapjaiban meghatározó eleme a Föld egészét alkotó földöv vagy geoszféra. Ennek döntő zömét a belső, forró tűzöv vagy piroszféra (a mag és a köpeny) képezi. Az ezt körülölelő, relatíve igen vékony (arányaiban almahéj vastagságú) külső szilárd kéreg a kőzetöv vagy litoszféra, melyben mindazok a földtani folyamatok zajlanak, amelyek mai földi környezetünket alakították ki és alakítják még ma is.

A Föld felépítését és a földtani folyamatok hatalmas méreteit, arányait és ezáltal

hatásuk nagyságát és erejét a 2. ábra ([KECSKÉS–SZOBOSZLAI, 2015] alapján átdolgozva) mutatja be. Az ábra áttekintő képet ad Földünk középpontjától annak felszínéig tartó övezetes felépítéséről, s az egyes övezetek legfontosabb kémiai, fizikai tulajdonságairól (az ábra a mélységi beosztást tekintve nem arányos).

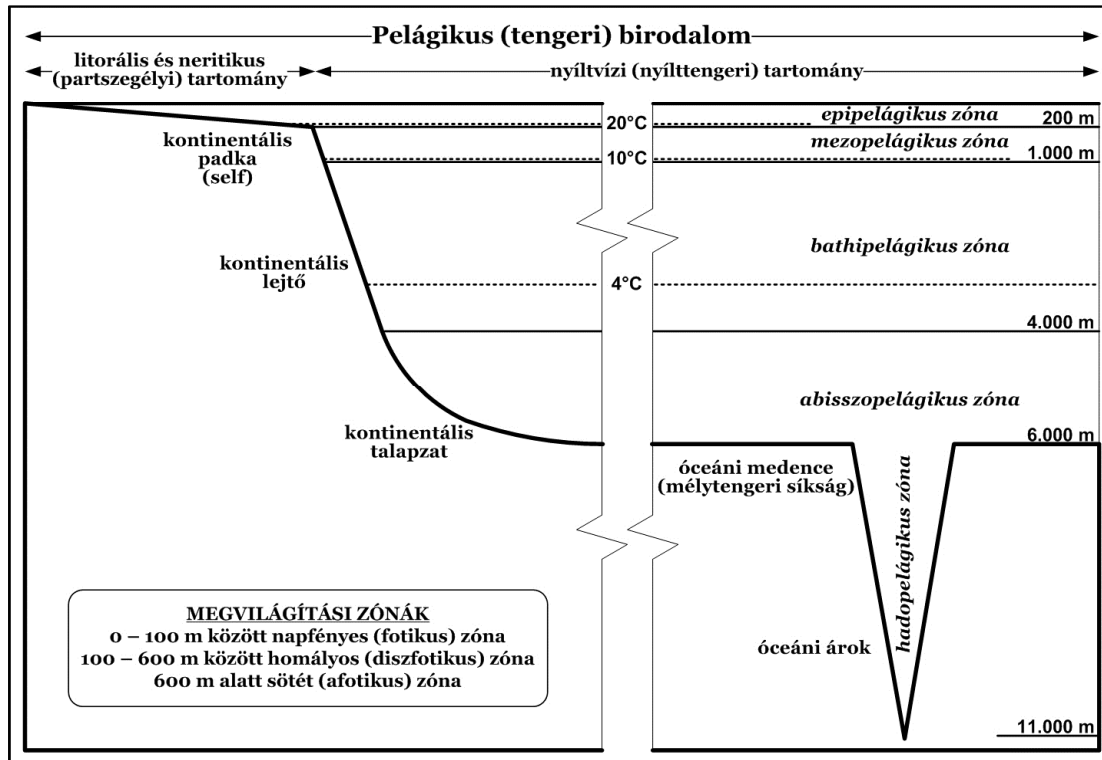
Mélység (km)	Földöv	Szféra	Zóna, réteg	Felület	Halmazállapot	Hőmérséklet (°C)	Sűrűség (g/cm ³)	Nyomás (MPa)	Összetétel / Kőzetek					
0	KÉREG	litoszféra	(-)	Conrad	szilárd	16	2,5	0,1	SiAl gránit, gneisz					
25						500	2,9		SiMg gabbró, bazalt					
50						800	3,2							
150	KÖPENY	aszte-no-szféra	átmeneti zóna	Byerly	visz-közus	1.200	3,4	4.000	peridotit, eklogit, kimberlit					
410						1.800	4,4	18.000	(-)					
660		mezoszféra			(-)	Repetti	szilárd – képlékeny				CrFeSiMg			
1.000														
2.700														
2.900														
5.100	MAG	centroszféra	(-)	Lehmann	szilárd	3.700	5,5 10,2	140.000	NiFeSiMg					
6.368						4.300	12,1 13,0	320.000	NiFe					
						5.800	13,5	360.000						

2. ábra. A geoszféra övezetes felépítése és fontosabb jellemzői

2.1.3. Vízöv (hidroszféra)

Földünk összes – különböző halmazállapotban (légnemű vízgőz, folyékony víz és szilárd jég) megjelenő – víztömegét a vízöv vagy hidroszféra foglalja magában. A geoszféra hatalmas tömegében található vegyileg kötött vizet nem soroljuk a hidroszférához, annak ellenére, hogy a vulkáni tevékenység során felszabaduló tömegei vízgőz alakjában folyamatosan növeli a vízövet alkotó víztömeg mennyiségét.

A Föld össztömegének csupán 0,03 %-át kitevő víztömeg döntő része (kb. 97,5 %-a) a felszínen található, a világoceán 3,5 %-os sótartalmú sós vízének alakjában. A fennmaradó kb. 2,5 % édesvíz formájában lelhető fel. Az édesvíz nagy részét (kb. 68,9 %-a) a hó- és jégtakarók (gleccserek és a sarkvidéki hó- és jégmezők) adják, kisebbik hányadát (kb. 29,9 %-át) pedig a felszín alatti vizek (talajvíz, karsztvíz, rétegvíz), elenyésző részét (kb. 1,2 %-át) pedig a felszíni vizek (vízfolyások és állóvizek), a légköri nedvesség és a talajok nedvességtartalma képezik. A vízöv légkörrel (légköri nedvességként) mintegy 5–10 km-es magasságig, a kőzetövvvel (felszín alatti vízként) kb. 2–5 km-es mélységig keveredik. A 3. ábra (a szakirodalmi adatok felhasználásával újraserkesztve) a földi vízöv legterjedelmesebb, meghatározó tömegét kitevő világoceán övezetes felépítését és fontosabb tulajdonságait mutatja be.



3. ábra. A hidroszféra tömegének zömét alkotó világóceán övezetes felépítése és fontosabb jellemzői

2.1.4. Levegőöv (atmoszféra vagy aeroszféra)

A Földet körülvevő gázburok a levegőöv, másként az atmoszféra vagy aeroszféra, mely a Föld felszínétől mintegy 10–60 ezer km-es távolságig terjed. Határát gyakorlati szempontok alapján 10–16 ezer km-es magasságban szokták figyelembe venni. Pontos felső határa azért nem állapítható meg, mert felsőbb régióiban folyamatosan keveredik a napszél korpuszkuláris áramával, illetve folyamatosan ritkulva, szinte észrevehetetlenül megy át a világűr terébe. De ugyanígy az alsó határa sem ismert (feltehetően több km), hiszen a mélybe nyúló barlangokban, de a litoszféra üledékes kőzeteiben is található némi levegő. Tömegének mintegy 90 %-a az alsó 20 km vastag rétegében található. Térfogatának közel 78 %-át N_2 gáz, mintegy 21 %-át O_2 gáz, a maradék alig 1 %-át pedig nemesgázok (Ar, Ne, He, Kr, Xe), valamint CO_2 , NH_4 , és H_2 , illetve N_2O és O_3 gázok, továbbá vízgőz teszik ki. A földi atmoszféra réteges felépítését és fontosabb tulajdonságait – a szakirodalmi adatok felhasználásával újraserkesztve – a 4. ábrán mutatjuk be.

Magassági határok és szintek elnevezése		Sűrűség (g/cm ³)	Nyomás (hPa)	Hőmérséklet (°C)	Egyéb sajátosságok
10.000 km	EXOSZFÉRA	↑ folyamatosan csökken 0 g/cm ³ -re	↑ folyamatosan csökken 0 hPa-ra	↑ folyamatosan csökken csökken -270°C-ra	600 - 1.200 km műholdpályák
690 km					
	TERMOZFÉRA (IONOSZFÉRA)				100 - 200 km sarki fény
100 km	Kármán-vonal	92 km: 4,4×E-6	92 km: 0,001	110 km: +10	
	mezopauza	80 km: 2,0×E-5	80 km: 0,01	100 km: -70	
85 km	MEZOSZFÉRA		65 km: 0,1	90 km: -90	50 - 70 km meteorok elhamvadása
	sztratopauza	48 km: 1,4×E-3	48 km: 1	80 km: -92	30 - 40 km meteorológiai léggömbök
48 km	SZTRTOSZFÉRA	32 km: 1,5×E-2	32 km: 10	50 km: 0	20 - 25 km ózonréteg sűrűsödése
	tropopauza	18 km: 1,6×E-1	18 km: 100	20 km: -40	
12 km	TROPOSZFÉRA	12 km: 3,6×E-1	12 km: 225	12 km: -55	8 - 10 km repülőgépek
5 km		5 km: 6,8×E-1	5 km: 500		
0 km		0 km: 1,2×E0	0 km: 1013	0 km: +16	

4. ábra. Az atmoszféra övezetes felépítése és fontosabb jellemzői

2.1.5. Életöv (bioszféra vagy ökoszféra)

Az 1960-as évekig elfogadott klasszikus meghatározás szerint a *bioszféra* a Föld kőzetburkának (litoszféra), vízburkának (hidroszféra) és levegőburkának (atmoszféra) azon része, ahol van élet, és amelyben a biológiai folyamatok zajlanak.

Az 1960-as években kialakult szélesebb körű és általánosabb megfogalmazás szerint a bioszféra olyan globális ökológiai rendszer (röviden *ökoszféra*), amely magában foglalja az élőviág (biológiai összetevők), valamint a velük szoros kölcsönhatásban lévő élettelen földi környezet (fizikai összetevők) összességét.

Az élővilág elterjedésének pontos határai nehezen húzhatók meg. Amit közvetlenül, és nap mint nap láthatunk, az lényegében a földfelszíni makroszkópikus élőlényeket foglalja magában, ám az élővilág átszövi az azzal határos szférákat is. Láttak már karvalykeselyűt 11.300 m magasan repülni, találtak a litoszféra kőzeteinek több kilométeres mélységében vízben oldott hidrogént hasznosító baktériumokat, s bizonyítékok vannak arra vonatkozóan is, hogy az óceánok 9–10 ezer méteres mélységében is élnek biológiai szervezetek.

2.2. A mesterséges (épített) környezet elemei

A mesterséges környezet geotechnikai szempontból legfontosabb elemeinek fogalmával a következő néhány pontban ismerkedhetünk meg. Először a mesterséges környezet és az azt létrehozó építési folyamat, majd a mesterséges környezetet alkotó építmény, épület, műtárgy, létesítmény, vonalas létesítmény, közmű és földmű fogalmát tisztázzuk.

A mesterséges környezet elemei között számos átfedést, közös ismertetőjegyet is felfedezhetünk, melyek egyúttal e fogalomkör szoros kapcsolatrendszerét is érzékelteti.

2.2.1. Mesterséges (épített) környezet

A mesterséges vagy épített környezet a földi környezetnek az a – tudatos építési folyamat eredményeként létrehozott, illetve a természeti környezettől építménnyel elhatárolt – mesterséges része, amely elsődlegesen az egyéni és a közösségi lét feltételeinek megteremtését szolgálja. Az épített környezetet tehát mindig a természeti környezetből kiragadott és/vagy attól mesterséges építmények által elkülönített térrészként kell felfogni, melynek működését – s ezen belül az ember egyéni és közösségi létének fenntartását, igényeinek kielégítését – az a folyamatos anyag- és energiafelhasználás biztosítja, melynek forrása maga a természeti környezet.

Az előbb leírtak szerint mesterséges környezetünk építményei mintegy beleágyazódnak földünk természetes környezetébe. Ebből pedig egyenesen következik, hogy mesterséges környezetünk kialakításakor létfontosságú annak ismerete, hogy az milyen módon illeszkedik természeti környezetébe. Ha azzal harmóniában áll, akkor feladatát zavartalanul teljesíti, ha viszont a kapcsolat diszharmonikus, akkor sok esetben már az építés alatt is – de azt követően bizonyosan – problémák és nehézségek sokaságával kell szembenéznünk.

2.2.2. Építési folyamat (építési tevékenység)

Építési folyamat vagy építési tevékenység alatt értjük az építmény megépítése, átalakítása, bővítése, felújítása, helyreállítása, korszerűsítése (fejlesztése), rekonstrukciója (felújítása), karbantartása (állagmegóvása), javítása, bontása vagy elmozdítása (elszállítása) érdekében végzett mindennemű emberi tevékenységet. Ide értve továbbá a tervezést, a kivitelezést és az ezekhez kapcsolódó egyéb szakipari- és technológiai-szerelési, valamint kárelhárítási munkákat. Az építési folyamatokhoz soroljuk a kivitelezést megelőző beruházói döntéseket és a finanszírozási kérdéseket is.

Vagyis az építési folyamat az adott építménnyel közvetlen kapcsolatban álló – és a megvalósítás eldöntésétől a fizikai megszüntetéséig terjedő időszakban végzett – mindennemű üzleti, gazdasági, pénzügyi, műszaki tervezési és kivitelezési, valamint hatósági ellenőrzési, felügyeleti és irányítási tevékenység. Az építési folyamat legjellemzőbb és legmeghatározóbb része természetesen a műszaki tervezés és kivitelezés.

2.2.3. Építmény

Építménynek nevezzük az építési folyamat által létrehozott, illetve késztermékként az építési helyszínre szállított – rendeltetésére, szerkezeti megoldására, anyagára, készültségi fokára és kiterjedésére tekintet nélkül – minden olyan helyhez kötött mesterséges mérnöki–műszaki alkotást (pl. épület, műtárgy, létesítmény, vonalas létesítmény, közmű, földmű) amely a földtani közeg és többnyire a felette lévő légtér természetes állapotának tartós megváltoztatásával, beépítésével jön létre.

A meghatározásból következően az építmények alapvető jellegzetessége, hogy építésük és üzemeltetési idejük alatt mindvégig kölcsönhatásban állnak a természeti

és/vagy épített környezetükkel. Általános és közös jellemzőjük tehát, hogy a földtani közeggel valamilyen módon kisebb-nagyobb mértékben összeépültek, s az összépítés során a földtani közeg természetes állapota megváltozik.

2.2.4. Épület

Az épület olyan jellemzően emberi tartózkodás céljára szolgáló építmény, amely szerkezeteivel részben vagy egészben teret, helyiséget vagy ezek együttesét zár körül, meghatározott rendeltetés vagy rendeltetésével összefüggő tevékenység, illetve rendszeres munkavégzés vagy tárolás (raktározás) céljából. Ilyenek általában a települések lakó- és középületei.

2.2.5. Műtárgy

A műtárgyak közé sorolható mindazon építmény, amely nem minősül épületnek, illetve épület funkciót jellemzően nem tartalmaz, s abban vagy azon emberek csak ideiglenesen, többnyire karbantartási, közlekedési céllal vagy rendkívüli esetben tartózkodnak.

A műtárgyak igen sokfélék lehetnek. Ilyenek általában pl. a tartályok, silók, bunkerek, támfalak, hidak, csatornák, átereszek, alul- és felüljárók, utak és vasutak alagutjai, bányá- és pincevágatok, szellőző-, menekülő- és közműaknák, tároló medencék, metróhálózatok állomásai és alagutjai, közúti és vasúti mérlegek, vagonbuktorok, mozdonyfordítók, víztornyok, hűtőtornyok, adó- és átjátszó tornyok, kilátók, világító tornyok, tartóoszlopok és póznák, gátak, partvédő művek, zsilipek, kikötők, mólók.

2.2.6. Létesítmény

Létesítmény alatt értünk minden önálló szerkezeti és funkcionális egységet képező építményt, vagy annak egy részét (építményrész), illetve azok funkcionális együttesét (építményegyüttes), valamint minden egyéb önálló rendeltetési egységként kialakított helyiséget, amelyet meghatározott célra (pl. sport tevékenységre, szolgáltatásra, termelésre, közlekedésre) használnak.

A létesítmények közé sorolhatók pl. az ipari gyárak és üzemek, a mezőgazdasági telepek, erőművek, pályaudvarok, repülőterek, sportcsarnokok, bevásárló központok, irodaházak, közutak és vasutak.

A létesítményhez tartoznak annak rendeltetészerű és biztonságos használatához, működéséhez, működtetéséhez szükséges alapvető műszaki és technológiai berendezések is.

2.2.7. Vonalas létesítmény

A létesítmények egyik speciális változata a vonalas létesítmények, melyek viszonylag csekély (legfeljeb néhányszor tíz m-es) szélességük és magasságuk mellett igen jelentős hosszúsággal (ez a néhány száz m-től akár több ezer km-ig is terjedhet) rendelkeznek.

A vonalas létesítmények általában a közlekedést (közutak és vasutak) szolgálják, vagy folyékony és gáznemű anyagok, illetve az energia szállítását, elvezetését és szétosztását (pl. közművek, drótkötélpályák, szállítószalagok) végzik.

2.2.8. Közművek

A létesítmények másik speciális változata (melyek nagy része a vonalas létesítmények kategóriájába is besorolható) a közművek, melyek alatt azokat a központi berendezésekkel rendelkező elosztó, illetve gyűjtő vezetékrendszereket, illetve egyéb termékvezetéseket vagy szállítórendszereket, és az ezekkel kapcsolatos kiegészítő műtárgyakat (pl. aknák, medencék) értjük, amelyek a fogyasztók víz-, gáz-, olaj-, hő- és villamos-energia ellátásához, továbbá a keletkező szennyvizek és/vagy csapadék vizek elvezetéséhez, valamint a hírközléshez és a telekommunikációhoz kapcsolódó időszakos vagy folyamatos igényeit (közüzemi ellátását) elégíti ki.

2.2.9. Földművek

A földművek a természetes terepfelszíni formák (pl. magaslatok, mélyedések, lejtők) alakjának mesterséges megváltoztatásával létrehozott és szabályos felületekkel (jellemzően síklapokból álló rézsűfelületekkel) határolt földtestből (talajból) álló építmények.

A terepfelszíni formák megváltoztatásának kivitelezése földmunkákkal történik, melyek során bevágások és feltöltések épülnek. A bevágások a helyben lévő, eredeti településű talajok eltávolításával (földkiemelés), a feltöltések (egyszerűbben: töltések) pedig a máshonnan (pl. anyagnyerő hely, építési terület) hozott talajok réteges elterítésével és tömörítésével készülő földtestek. A földművek kialakítása általában más építményekhez kapcsolódóan történik, de készülhetnek önállóan (pl. tereprendezési vagy területrendezési célból) is.

2.3. A geotechnika és szorosan kapcsolódó társtudományai

A következőkben közvetlenül a talajmechanikával és geotechnikával kapcsolatos, illetve a geotechnikát közvetlenül segítő társtudományok (geológia, geofizika, hidrogeológia, mérnökgeológia, kőzetmechanika, hidrológia, hidraulika) közvetlenül a geotechnikához kapcsolódó alapfogalmait járjuk körül. S ezek közül is elsősorban azokat ismertetjük, melyek a geotechnikai feladatok megoldásának szempontjából a legtöbb vagy a leghasznosíthatóbb információkat szolgáltatják. Egyúttal rámutatunk a geotechnikának a társtudományokkal fennálló meglehetősen szerteágazó kapcsolatrendszerére is, amely lehetővé teszi egyrészt a tágabb kitekintésű és átfogóbb jellegű geotechnikai szemlélet kialakítását, másrészt segít a társtudományok mélyebb és részletesebb ismereteinek feldolgozásában is.

Az előbb említett tágabb kitekintésű és átfogó jellegű geotechnikai (általánosságban: mérnöki) szemlélet alatt azt kell érteni, hogy egy adott feladattal kapcsolatban felmerülő geotechnikai (mérnöki) probléma esetében nem csak annak rövidtávú és gazdaságos (a lehetőségekhez mérten gyors, olcsó és eredményes) megoldására kell törekedni, hanem a probléma olyan optimális megoldását kell keresni, mely az említett gazdaságossági kívánalmakon felül figyelembe veszi a tervezett beavatkozás hosszútávú környezeti (vagyis a természeti és az épített környezetre gyakorolt) hatásait és következményeit is.

2.3.1. Geotechnika

A következőkben a talaj, a talajmechanika, a geotechnikai környezet, a geotech-

nika, a geotechnikai hatásterület, a geotechnikai kölcsönhatás és a geotechnikai veszélyhelyzet fogalmait tekintjük át.

2.3.1.1. Talaj

Geotechnikai értelemben a talaj a Föld felszínén s annak közelében elhelyezkedő természetes eredetű, a köztette válási folyamat legelején tartó (geológiai értelemben véve többnyire fiatal), inhomogén összetételű és anizotrop tulajdonságú, alapvetően szemcsés szerkezetű és viszonylag laza (vagyis kézi szerszámokkal vagy egyszerű munkagépekkel könnyen fejthető) üledékes kőzet, mely általánosan a szilárd közetek fizikai és kémiai mállásának, esetenként a biológiai szervezetek élettevékenységének eredménye, s amely térben és időben viszonylag gyorsan változó tulajdonságú, két- (szilárd + víz) vagy három- (szilárd + víz + levegő) fázisú, polidiszperz rendszert alkot. (*Polidiszperz rendszer*: azok a legalább két komponensből álló keverékek, melyek közül az egyik összefüggő komponensben a másik diszpergált komponens apró, de egymástól jelentősen eltérő méretű „szemcsékre” (esetünkben talajszemcsékről van szó) szétoszlatva van jelen.) A talajok jellemzően $q_u < 600$ kPa egyirányú nyomószilárdsággal és $c_u < 300$ kPa drénezetlen nyírószilárdsággal (mindkét fogalom értelmezését lásd a **4.3.1. pontban**) rendelkeznek, ennél nagyobb értékek esetében az anyagot geotechnikai szempontból már kőzetként kell kezelni. A szilárdság szempontjából tehát az eredeti természetes talajfelszínre helyezett vagy terített mesterséges anyagok (pl. talajfeltöltés, háztartási és ipari hulladék) is talajnak (pontosabban mesterséges talajnak) számítanak. Ezen az alapon talajnak minősíthetők az olyan, földtani értelemben egyébként kőzetnek számító képződmények is (pl. egyes vulkáni tufák, puha agyagmárgák), amelyek nyomószilárdságuk és drénezetlen nyírószilárdságuk alapján geotechnikai szempontból kielégítik a talaj fogalmát.

A talaj tehát különböző minőségű és halmazállapotú anyagokból felépülő bonyolult rendszer, mely nagyrészt abiotikus (élettelen), esetenként biotikus (biológiai szervezetek bomlástermékei) összetevőket is tartalmaz. A szilárd fázis (a talajszemcsék vagy talajváz) kristályos és amorf ásványi anyagokból, illetve az elhalt élő szervezetek szerves maradványaiból (pl. csontok, héjak, növényi rostok, szerves törmelékek) áll. A folyékony fázis oldott ásványi sókat, kis molekulású oldható szerves anyagokat, fémkomplexeket és adszorbeált gázokat tartalmazó víz (bonyolult összetételű elektrolit oldat), a légnemű fázis (talajlevegő) pedig CO₂-ot, O₂-t, N₂-t és tekintélyes mennyiségű vízgőzt tartalmaz.

A változó (a néhány dm és a legfeljebb néhány 100 m közötti) vastagságú felszíni földtani képződmény a szemcseösszetétel (szemszerkezet), a szín és a talajfizikai jellemzők szerint egyaránt eltérő vastagságú és kiterjedésű szintekre, rétegekre tagolódik. A talajrétegek fizikai alaptulajdonságait – s így a benne megépített mérnöki szerkezetek és a talaj közötti kölcsönhatás sajátosságait is – döntően a szilárd részt alkotó anyagtömeg szemeloszlása (a különböző méretű szemcsék tömegaránya), a szemcsék alakja, egymáshoz viszonyított elhelyezkedése és tömörsége, valamint a szemcsék közötti víz mennyisége, egyes esetekben pedig a talajszemcsék anyaga, vegyi felépítése határozza meg. A talaj tulajdonságai – a természetes és

mesterséges antropogén környezeti hatások, valamint a benne elhelyezkedő mesterséges létesítménnyel való kölcsönhatás függvényében – térben és időben is változnak. A talajrétegekben állandó anyag- és energiaáramlás zajlik, s a fizikai (pl. hőingadozás, aprózódás, vízáramlás), kémiai (pl. vegyi mállás, oxidáció és redukció) és biológiai (pl. a szerves anyagok lebomlása és szintézise) folyamatok csak nehezen különíthetők el. A talaj és az alapkőzet (a helyben maradt rétegek esetében anyakőzetnek, az elszállított és újra lerakott üledékek esetében alaprétegnek nevezik) határa abban a mélységben húzható meg, ahol az említett fizikai, kémiai és biológiai folyamatok már megszűnnek, s már csak a regionális méretű, nagyléptékű földtani folyamatok hatására zajló kőzetátalakulási folyamatok működnek.

2.3.1.2. Talajmechanika

Az eredeti klasszikus [JÁKY, 1944 és KÉZDI, 1972] értelmezés szerint talajmechanika az a mérnöki tudomány, mely a talajok fizikai jellemzőinek meghatározásával, a talajok tulajdonságainak és viselkedésének leírásával, valamint a talaj és a vele kapcsolatban álló építmények fizikai kölcsönhatásainak vizsgálatával foglalkozik.

A talajmechanika, önálló mérnöki tudományként és fogalomként is viszonylag újkeletű, 1776-ban történt megjelenése Charles Augustin de Coulomb nevéhez köthető.

2.3.1.3. Geotechnikai környezet

A *geotechnikai* és az azzal szorosan összefüggő *építésföldtani* szempontokat egyesítve, geotechnikai környezet alatt mindazokat a föld felszínén és a föld felszíne alatt lévő természetes eredetű, élettelen képződményeket értjük (függetlenül azok megjelenési körülményeitől, fizikai és vegyi sajátosságaitól), amelyekre az emberi tevékenység hatással van, vagy amelyek az emberi tevékenységet bármilyen módon befolyásolják, illetve amelyekkel az építmények közvetlenül vagy közvetve kölcsönhatásba léphetnek.

Vagyis a geotechnikai környezet a talaj- és kőzetrétegek, az ásványok, valamint a felszínen (pl. vízfolyások, tavak) és a felszín alatt (pl. talaj-, réteg- és karsztvíz) elhelyezkedő víztestek és minden egyéb folyékony (pl. kőolaj, láva) vagy gáznemű (pl. földgáz, vulkáni gázok és gőzök) anyag, illetve ezek átmeneti formáinak összessége. Mindezek alapján tehát a geotechnikai környezet a természeti környezet szerves része.

Mivel az építmények geotechnikai környezetének nagyobbik és tulajdonságait leginkább meghatározó része a geoszférához – e tekintetben pedig a földtan tárgykörébe – tartozik, ezért számos esetben (és a szakmai körökben is elfogadottan) földtani közegként is említik.

2.3.1.4. Geotechnika

A szakmai körökben általánosan elfogadott megfogalmazás szerint ([SZEPESHÁZI, 2002] és [SZEPESHÁZI, 2010]) és a hétköznapi gyakorlat szerint is a geotechnika az a műszaki tudomány, mely az építmények, építési tevékenységek és a geotechnikai környezet közötti kölcsönhatások vizsgálatával, elemzésével és értékelésével, valamint a kölcsönhatásokból eredően akár az építményt, akár annak termé-

szeti vagy épített környezetét veszélyeztető károk megelőzésével, a fellépő veszélyhelyzetek kezelésével, illetve a már létrejött károk helyreállításával foglalkozik. Magába foglalja az említett kölcsönhatások elméleti és gyakorlati (technikai–technológiai) kezelését, vagyis szükséges geotechnikai jellegű helyszíni, laboratóriumi és egyéb környezeti vizsgálatokat, valamint az alkalmazandó geotechnikai megoldások és szerkezetek tervezését, kivitelezését, műszaki felügyeletét, megfigyelését és fenntartását.

Kiegészítésként említjük meg, hogy a technikai–technológiai változások miatt a geotechnika feladatai is folyamatosan változnak. Napjainkban már a geotechnika tevékenységi körébe tartoznak a természeti erőforrások feltárására és kiaknázására, továbbá környezetbarát használatára irányuló mérnöki módszerek és technológiák egy része is. Ezek során főként a környezetvédelmi geotechnika kérdései (mint például a depóniaépítés és a hulladéklerakók kialakítása, a földhő hasznosítása és a szennyeződések feltárásával, lokalizálásával, eltávolításával kapcsolatos – főként szivárgási – vizsgálatok) kerülnek előtérbe.

A geotechnika kifejezés először 1922-ben hanzik el Wolmar Knut Axel Fellenius egyik előadásában, vagyis a geotechnika, mint fogalom, csak az elmúlt évszázadban született. Lényegét tekintve azonban nem más, mint a talajmechanikának – annak tárgyi eszközeit, elméleti ismereteit, tevékenységi körét és technikai–technológiai eszköztárát kibővítve – a jelenkor igényeihez igazodó módon történő kiterjesztése, továbbfejlesztése.

2.3.1.5. Geotechnikai hatásterület

A geotechnikai hatásterület a geotechnikai környezet és/vagy az épített környezet azon térrésze, amelyben a – folyamatosan működő, illetve a rendszeresen visszatérően, vagy csak időszakosan jelentkező – geotechnikai kölcsönhatások lejátszódnak és amelyek eredményeként fizikai vagy kémiai állapotváltozások jönnek létre.

Ezek az állapotváltozások az épített környezetet és a geotechnikai környezetet egyaránt érintik, s azokat számunkra előnyösen vagy hátrányosan befolyásolják, esetleg közömbösnek minősíthetők.

2.3.1.6. Geotechnikai kölcsönhatás

Geotechnikai kölcsönhatás alatt értjük az építmény és az azt körülvevő geotechnikai vagy épített környezet közötti olyan jellegű kapcsolatokat vagy folyamatokat, amelyek során azok egymás fizikai vagy kémiai állapotát, illetve tulajdonságait időlegesen vagy véglegesen megváltoztatják.

Egy adott építmény építési és működési (üzemelési) ideje alatt számos eltérő jellegű, nagyságú, időbeli és térbeli kiterjedésű kölcsönhatással lehet, illetve kell számolni. Ezek közül a leggyakrabban az olyan kölcsönhatásokat kell vizsgálnunk, amelyek a geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezet nedvességtartalmának drasztikus megváltozását (kiszáradás, átázás) okozzák vagy okozhatják, s ezáltal az építmény és/vagy a geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezet mechanikai stabilitását (állékonyságát), erőhatásokkal szembeni ellenállását (szilárdságát, teherbírását) és elmozdulásait (süllyedés, dőlés) befolyásolják. Az egyes építmények esetében természetesen még egyéb (pl. vegyi, hő, elektromos, di-

namikus, vibrációs stb.) kölcsönhatások vizsgálatára is szükség lehet.

2.3.1.7. Geotechnikai veszélyhelyzet

Geotechnikai veszélyhelyzet alatt értjük egy építmény és/vagy az annak geotechnikai hatásterületén belüli geotechnikai környezet olyan jellegű kölcsönhatását (vagyis az építmény és/vagy a geotechnikai környezet állapotának, tulajdonságainak olyan irányú változását), mely az építmény és/vagy a geotechnikai környezet meg nem engedhető elváltozását vagy károsodását idézi vagy idézheti elő. Tehát egyrészt az érintett építmény továbbépítését, vagy annak stabilitását, szerkezeti épségét, üzemszerű működését veszélyezteti, korlátozza és esetleg anyagi károkat vagy személyi sérülést, halált okozhat; másrészt az érintett geotechnikai környezet eredetileg meglévő természetes fizikai, kémiai állapotát olyan mértékben változtatja meg (pl. stabilitásvesztés, átázás, elszennyeződés), hogy az a továbbiakban egy már meglévő vagy a későbbiekben létesülő építményt is veszélyeztethet.

A geotechnikai hatásterületen belül geotechnikai kölcsönhatásokkal mindig számolni kell, s azt kell gondosan és körültekintően mérlegelni (szükséges esetben számításokkal igazolni), hogy ezek a kölcsönhatások milyen jellegűek: számunkra, vagy a kölcsönható elemek valamelyikére nézve, valamilyen előre rögzített szempontrendszer szerint, előnyösek, hátrányosak vagy közömbösek). Mérlegelni kell azt is, hogy a prognosztizált értékek vajon átlépik-e azt a határértéket, mely a kölcsönható elemek bármelyikét olyan irányban és olyan mértékben befolyásolja, hogy azt már akár műszaki okokból (pl. szerkezeti, állékonysági, szilárdsági, használati szempontból), akár környezetvédelmi okokból (pl. szennyeződési, felszínmozgási, vízrendezési, területhasználati szempontból) nem tartjuk megengedhetőnek.

2.3.1.8. Geotechnikai szerkezet

Geotechnikai szerkezetnek nevezzük egy adott építmény létesítéséhez és/vagy működéséhez szükséges ideiglenes vagy végleges műszaki alkotásokat, melyek az építmény és a geotechnikai környezet között megkívánt kölcsönhatásokat biztosítják, illetve a geotechnikai veszélyhelyzetek során fellépő nem kívánt kölcsönhatások következtében felmerülő problémákat kiküszöbölik vagy hatásukat a kívánt szintre csökkentik. A geotechnikai szerkezetek közé sorolhatók elsősorban az alapok, a munkatereket megtámasztó ideiglenes és végleges támszerkezetek, a víztelepítő rendszerek, a földművek és a speciális építési eljárásokkal, technológiákkal létrehozott javított talajzónák.

2.3.2. Földtan

A geológia területén belül az alábbi alpontokban a földtan, kőzetmechanika, építésföldtan és építésföldtani alaprég, vízföldtan, üledékföldtan, vulkanikus jelenségek földtana, ásvány és ásványtan, kőzet és kőzettan fogalmait ismertetjük.

2.3.2.1. Földtan (geológia)

A földtan a Földre ható erőket, a Föld kialakulását és fejlődését (fejlődéstörténetét), valamint annak anyagi összetételét, belső szerkezetét, felépítését és folyamatait tanulmányozó természettudomány.

Legfontosabb rész tudományai:

- a történeti földtan (geokronológia),

- az ásványtan (mineralógia),
- a kőzettan (litológia, másként petrológia vagy petrográfia),
- az őslénytan (paleontológia),
- a rétegtan (sztratigráfia),
- az üledékföldtan (szedimentológia),
- a szerkezeti földtan (tektonika),
- a teleptan (a hasznosítható ásványi nyersanyagok telepei kialakulásának körülményeit vizsgáló tudomány),
- a vízföldtan (hidrogeológia),
- a felszínalaktan (geomorfológia),
- a földrengéstan (szeizmológia),
- a vulkánikus jelenségek földtana (vulkanológia),
- az építésföldtan vagy műszaki földtan (mérnökgeológia).

2.3.2.2. Kőzetmechanika

A kőzetmechanika a kőzetek fizikai jellemzőinek (főleg mechanikai anyagjellemzőinek), tulajdonságainak és viselkedésének meghatározásával, ezek leírásával, elemzésével és értékelésével, valamint a kőzet és a vele kapcsolatban álló építmények fizikai kölcsönhatásainak vizsgálatával (jellemzően a földalatti létesítmények, üregek, vágatok szelvénykialakításának és azok megtámasztási, biztosítási szerkezeteinek, valamint a kőzetsfalak állékonyságának kérdéseivel) foglalkozó műszaki tudomány. Vagyis a geotechnikától lényegében csak abban különbözik, hogy a vizsgálgatások „tárgyát” most nem a talaj, hanem a kőzet képezi.

2.3.2.3. Építésföldtan vagy műszaki földtan (mérnökgeológia)

Az építésföldtan a geológia azon ága, mely a földtan és a geotechnika ismereteinek és módszereinek alkalmazásával feltárja, vizsgálja, tanulmányozza, elemzi és megoldja a geotechnikai környezet földtani elemei, folyamatai és jelenségei, valamint az emberi tevékenységek közötti kölcsönhatások miatt felvetődő mindazon mérnöki és környezeti problémákat, amelyek a földtani eredetű károsító tényezők és veszélyek előre jelzéséhez, azok megelőzéséhez és az azokból eredő károk helyreállításához szükségesek.

A tudományok újkori történetének „hőskorában” a geológiai és az építőmérnöki tudomány (s ezen belül a talajmechanika) még egymástól függetlenül működött. A technika–technológia rohamos fejlődése által lehetővé vált nagyarányú természet-átalakító tevékenység hatására azonban egyre többen ismerték fel e tudományok együttműködésének lehetőségét és egyben szükségességét. Ennek eredményeként alakult ki az építésföldtan vagy mérnökgeológia, mely mintegy az említett tudományok egyre bővülő ismeret-halmazainak metszete. A még viszonylag fiatal műszaki mérnöki tudomány célja és feladata röviden az alábbiakban foglalható össze ([KLEB, 1998] és [DÁVID, 2012]).

Az építésföldtan célja elsősorban a geotechnikai környezetben lévő földtani képződmények és/vagy alakzatok emberi beavatkozás eredményeként várható viselkedésének, tulajdonságainak szükség szerinti pontossággal történő feltárása, elemzése, előrejelzése.

Feladata pedig alapvetően a konkrét műszaki–tervezési alapadatok szolgáltatása, főként az alábbiakra vonatkozóan:

- az építmények elhelyezésére legalkalmasabb hely kijelöléséhez,
- a számításba vett telepítési hely földtani–geotechnikai sajátosságainak megismeréséhez,
- a tervezéshez, a méretezéshez és az optimális építési technológia meghatározásához,
- a szükséges környezeti beavatkozásokhoz,
- az üzemeltetés során várható változások előrejelzéséhez,
- az építési kő-, adalék- és nyersanyagok felhasználhatóságához.

Hogy az építésföldtani ismeretek geotechnikában betöltött szerepét jobban érthessük, azt is meg kell említenünk, hogy a mérnöki építményeink szerkezeti stabilitását és tartósságát döntő mértékben a geotechnikai környezet (melybe a 2.3.1.3. alpontban leírtak szerint a földtani sajátosságok is beletartoznak) földtani adottságai, valamint az építmény és a földtani körülmények közötti kölcsönhatások jellege és minősége határozza meg. Ebből fakadóan a földtani környezet fizikai (pl. rétegződési körülmények, talaj- és kőzetfizikai jellemzők) és kémiai (pl. az épített szerkezetekkel szembeni korróziós hatás) tulajdonságainak, illetve e tulajdonságok számszerűsíthető értékeinek ismerete a geotechnikus munkáját segíti. Ezen ismeretek nagy része a helyszíni feltárások és a laboratóriumi vizsgálatok segítségével megszerezhető. Ám, hogy ezek az információk a körülmények adta lehetőségeken belül a legkevesebb számú és legkisebb mélységű feltárással, s a legkevesebb számú laboratóriumi vizsgálattal legyenek kinyerhetők (illetve, hogy egy adott mennyiségű feltárás és laborvizsgálat alapján a legtöbb hasznosítható információhoz juthassunk), ahhoz a vizsgált terület rész és annak szűkebb környezetének építésföldtani viszonyainak ismerete is szükséges.

2.3.2.4. Építésföldtani alapréteg

Az építésföldtani alapréteg az a viszonylag nagy vastagságú, homogén anyagú, a fedőrétegekhez képest markánsan nagyobb teherbírású és alacsonyabb összenyomhatóságú, s többnyire vízzáró tulajdonságú földtani képződmény, mely a vizsgált terület egészére jellemző és közel azonos mélységben vagy szinten (illetve jól követhető lejtéssel) mindenhol megtalálható. Ilyen építésföldtani alapréteg például a Kisalföld terasz kavicsa, a folyók hordalékai alatt települő kemény, tengeri agyag réteg vagy a fedőüledékek alatti kőzetanyag.

2.3.2.5. Vízföldtan (hidrogeológia)

A vízföldtan a földtan azon leíró és egyben analitikus tudományága, amely a litoszféra földtani képződményei és az azokban tárolt víz közötti kölcsönhatásokat tanulmányozza, vagyis a Föld felszíne alatt elhelyezkedő vizek keletkezésének és mozgásának folyamatait, fizikai és vegyi tulajdonságait, törvényszerűségeit és körülményeit vizsgálja és elemzi.

A hidrogeológia feladata tehát kideríteni azokat a folyamatokat és törvényszerűségeket, amelyek a kőzetekben és talajokban, pontosabban azok pórusaiban, repedéseiben raktározott, illetve áramló vízre vonatkozik. A felszín alatti vizek mozgását

és kémiai összetételét tehát alapvetően határozzák meg az azt befogadó, tároló földtani képződmények tulajdonságai. E tudományág tárgykörébe tartozik a vizek felszíni elnyelődésének és felszínre kilépésének vizsgálata is. Mindezek alapján a hidrogeológia szorosan kapcsolódik a hidrológiához (lásd: **2.3.4. pont**) is, annak részeként, hiszen e folyamat által a felszín alatti vizek is a teljes földi vízkörforgalom szerves részét képezik. A hidrogeológia jelentős szerepet játszik továbbá egy-egy terület fenntartható módon kinyerhető geotermikus energiája nagyságának meghatározásában is. Mindezekből következően pedig a vízföldtan szoros kapcsolatban áll a geotechnikával, az építésföldtannal és a környezetvédelemmel is.

A hidrogeológia, mint tudományág további két nagy fejezetre bontható:

- a víz teleptanára, mely vizsgálja a vízáadó és víztartó rétegek kialakulását, elhelyezkedését, a víz és a kőzet viszonyát, a víz és a benne oldott gázok tulajdonságait, a felszín alatti vizek eredetét és több szempontú osztályozásukat, valamint a kőzet és a porusaiban lévő víz nyomásviszonyait, valamint
- a geohidrológiára, mely foglalkozik a víz körforgalmával, a felszín alatti vizek mozgásával, vízháztartási vizsgálatokkal és vízkészlet számításokkal.

Kiegészítésként említjük meg, hogy a rétegződési adottságokhoz hasonlóan a felszín alatti vizekre vonatkozó mérhető és számszerűsíthető információk is csak a feltárási pontokon ismerhetők meg. Ahogyan a pontszerű rétegződési adatokból az építésföldtani ismeretek által válik lehetővé a valóság-hű térbeli rétegfelépítés meghatározása, úgy a vízföldtani ismeretek teszik lehetővé, hogy a pontszerű vízszint észlelések alapján is tisztázhassuk a vizsgált terület felszín alatti vizeinek térbeli elhelyezkedését, valamint következtethessünk áramlási és mennyiségi viszonyaira. Az építésföldtani és a vízföldtani sajátosságok között szoros kapcsolat van. A felszín alatti vizek mozgása ugyanis főként a durvaszemcsés (kötörmelék, kavics, homok) rétegekhez kötődik, így azok települési viszonyai alapvetően befolyásolják a hidrogeológiai körülményeket is. E tekintetben tehát egy terület építésföldtani felépítésének ismerete egyúttal a vízföldtani adottságok megismerését is segíti. S ezen hidrogeológiai adottságok alapján tudjuk eldönteni, hogy egy adott területen milyen típusú és milyen tulajdonságokkal rendelkező felszín alatti vizekre számíthatunk, s hogy ezek milyen hatással lehetnek építményeinkre.

2.3.2.6. Üledékföldtan (szedimentológia)

Az üledékföldtan a geológia azon ága, mely a természetes eredetű üledékek és üledékes kőzetek keletkezésének és tulajdonságainak vizsgálatával, elemzésével, rendszerezésével és átalakulásainak sajátosságaival foglalkozik.

Mivel a talaj is üledékes kőzet, ezért az üledékföldtan a geotechnikának olyan társtudománya, amely különösen a rétegződési körülmények jobb megismeréséhez, valamint a vizsgált terület (különösen, ha az nagy kiterjedésű, vagy ha a feltárások egymástól viszonylag nagy távolságra vannak) rétegződési és települési viszonyainak értelmezéséhez nyújt segítséget. Ezen kívül az üledékföldtan ismereteket szolgáltat az üledékek keletkezési körülményeiről és ezáltal a talajfizikai sajátosságaik jobb megismerését, esetenként pedig egy még feltáratlan, de a későbbiekben vizsgálandó terület várható rétegződési körülményeinek előrejelzését teszi lehetővé.

2.3.2.7. *Vulkanikus jelenségek földtana (vulkanológia)*

A vulkanológia a geológia azon tudományága, mely a vulkáni tevékenységgel, a vulkáni működés folyamataival és a hozzá kapcsolódó jelenségekkel foglalkozik, s amely tanulmányozza, vizsgálja, elemzi, rendszerezi és leírja

- a vulkanizmus lemeztektonikai okait,
- a magma képződését és fő jellemzőit,
- a vulkáni működések típusait,
- a tűzhányók által létrehozott vulkáni formák kialakulását, csoportosítását, azok felépítését és felszínfejlődését,
- a vulkáni kőzetek keletkezését és tulajdonságait.

2.3.2.8. *Ásvány*

A klasszikus definíció szerint az ásvány a litoszférának meghatározott folyamatai során képződött homogén, természetes és jellemzően szervetlen eredetű építőköve, mely határozott kémiai összetétellel és térrács-szerkezettel rendelkező, túlnyomó többségében kristályos állapotú és szilárd vegyület (ritkábban elem). Részletesebben:

- kialakulása természetes eredetű, meghatározott fizikai és kémiai földtani folyamatokhoz kötődik,
- szinte mindig szilárd halmazállapotú, de kivételes esetekben lehet folyékony (pl. terméshigany) is,
- jól meghatározott, konkrét fizikai tulajdonságokkal jellemezhető,
- homogén (egynemű) kémiai összetételű, azaz vegyületekből, illetve igen ritkán elemekből (pl. a terméselemek esetében) álló anyaga konkrét vegyi képlettel leírható,
- rendezett, rá jellemző belső térrács-szerkezettel (diszkontinuális térkitöltéssel) rendelkezik (a folyékony halmazállapotú ásványok kivételével), azaz a kristályt felépítő atomok az illető kristályra jellemző szigorú rendben, egymástól meghatározott irányban és távolságra helyezkednek el,
- a térrács-szerkezete általában anizotrop, tehát a térrácsot felépítő atomok a térben meghatározott háromdimenziós forma szerint rendeződnek, mely valamely tengely vagy tengelyek irányában eltérő tulajdonságú, s ez a forma egyben a kristály jellemző alakja is,
- a megfelelő lapok által bezárt szög állandó és ez a szög a kristályra jellemző,
- szinte mindig kristályos szerkezetűek (meghatározott kristályforma), vagyis anizotrop (a tengelyirányoktól függően változó) tulajdonságúak, s ez alól csak a szabályos rendszerbeli és a szabályos belső szerkezettel nem rendelkező üvegszerű, amorf ásványok (pl. opál) képeznek kivételt, melyek a tér minden irányában egyforma tulajdonságokkal bírnak, vagyis izotropok,
- külső megjelenési formája poliéder (konvex lapszögű sík lapokkal határolt mértani test), melynek alakját a kristály belső szerkezete határozza meg.

A leggyakoribb kőzettípusok tömegének több mint 90 %-a csak viszonylag kevés, úgynevezett kőzetalkotó ásványból áll. Az ezeknél kisebb mennyiségben, de azért rendszeresen megtalálható ásványokat járulékos ásványoknak nevezzük. A

rendszeresen együtt előforduló ásványok együttese az ásványtársulás. Jelenleg mintegy 4400 ásványfajtát ismerünk, számuk azonban évről-évre mintegy 40–50 fajttal nő. Az ásványok nagysága a mikroszkopikustól (néhány ezred mm-től) a tíz m-ig (pl. a mexikói Kristálybarlang 11 m-es gipszkristályai) terjedhet.

2.3.2.9. Ásványtan (*mineralógia*)

Az ásványtan a földtannak az ásványokat leíró, vizsgáló, fizikai és vegyi tulajdonságaikat meghatározó, keletkezésüket és átalakulásukat kutató tudományága.

A kristályokat általában síklapok határolják. Ezek a kristály növekedése során jönnek létre és az anyag szerkezetét, képződési viszonyait tükrözik. A kristályformákat alkotó lapok, élek, csúcsok – alakjuk, kristálytani tengelyekhez való elhelyezkedésük, illetve számuk szerint – az egyes kristályrendszerekre jellemző szimmetria viszonyok által meghatározottak. A kristályok térrácsát alkotó elemi cellák alakja (éleinek és lapjainak nagyság és irány szerinti helyzete) határozza meg az egyes kristályrendszerek tengelykeresztjét. A tengelykereszttek alapján [KOCH–SZTRÓKAY, 1968] az alábbi hét kristályrendszert különböztetjük meg:

- háromhajlású (triklin),
- egyhajlású (monoklin),
- rombos,
- négyzetes (tetragonális),
- háromszöges (trigonális),
- hatszöges (hexagonális),
- szabályos (kübös).

Az ásványokat fizikai és vegyi tulajdonságaik alapján ismerik fel, határozzák meg. Ezek közül a legfontosabbak:

- a kristályforma (kristályrendszer),
- a vegyi összetétel,
- a keménység (1–10 között),
- a fény,
- a szín,
- a karszín (felületén ejtett karcolt árok színe),
- az átlátszóság,
- a hasadás,
- a sűrűség,
- a lumineszcencia (a külső – pl. UV fényvel történő – gerjesztésekkel kiváltott fényjelenségek),
- a hő- és elektromos vezetőképesség.

Az ásványok osztályozása a jellemző vegyi összetétel (jellemzően az anionok) alapján, ásványcsoportokba sorolással történik, az 1. táblázat [KOCH–SZTRÓKAY, 1968] szerint.

Megjegyzés. Az ásványtani ismeretek segítik a kőzetek meghatározását és a durvaszemcsés lepusztulási termékek (pl. kötörmelék, kavics, homok) származási helyének felderítését, s ezek segít(het)ik a geotechnikai körülmények részletesebb megismerését is.

1. táblázat. Ásványcsoportok

A csoport száma	Az ásványcsoport megnevezése	Jellemző anion(ok)
1.	Terméselemek	nincs
2.	Szulfidok és rokon vegyületek	S^{2-}
3.	Oxidok és hidroxidok	O^{2-} , $[OH]^{-}$
4.	Szilikátok	$[SiO_4]^{4-}$
5.	Foszfátok, arzenátok, vanadátok	$[PO_4]^{3-}$, $[AsO_4]^{3-}$, $[VO_4]^{3-}$
6.	Szulfátok és rokon vegyületek	$[SO_4]^{2-}$
7.	Karbonátok, nitrátok, borátok	$[CO_3]^{2-}$, $[NO_3]^{-}$, $[BO_3]^{3-}$, $[BO_4]^{5-}$
8.	Halogenidek	F^{-} , Cl^{-} , Br^{-} , I^{-}
9.	Szerves (organikus) ásványok	nincs

2.3.2.10. Kőzet

Kőzetnek nevezzük a természetes földtani folyamatok által keletkezett és a Föld szilárd kérgét alkotó, szilárd, mechanikailag nagyjából egységes, tömeges megjelenésű és különféle ásványokból, valamint ásványi jellegű természetes anyagokból (mineraloidokból) álló ásványegyütteseket.

Általában a nagyobb földtani egységeket (pl. hegyeket, fennsíkokat, síkságokat, szárazföldi és óceáni medencéket) egymástól eltérő eredetű, anyagú és jellegű kőzetek építik fel. Jelenleg kb. 150 kőzettípust ismerünk. Az azonos ásványból álló kőzeteket (pl. mészkő, kvarcit) monomineralikusnak, a több ásványból álló kőzeteket (pl. gránit, gneisz) polimineralikusnak nevezik.

Az ásványfajták számbeli gazdagságához képest a kőzetalkotó ásványok száma csupán 15–20 körüli! A kőzetalkotó ásványok közé sorolhatók a földpátok (pl. anortit, albit, ortoklász), a földpátpótlók (pl. nefelin, leucit), az olivinek (pl. fayalit, forsterit), a piroxének (pl. diopszid, augit), az amfibolok (pl. aktinolit, glaukofán), a csillámok (pl. biotit, muszkovit), a kvarc, a kalcit, az aragonit, a dolomit, a kősó, a gipsz és az agyagásványok (pl. kaolin, illit, montmorillonit).

2.3.2.11. Kőzettan (litológia)

A kőzettan a geológia azon tudományága, mely a Föld szilárd kérgét felépítő kőzetek leírásával, keletkezésének földtani folyamataival, szerkezeti felépítésével, anyagi összetételével, valamint fejlődéstörténetével foglalkozik. A kőzetekkel kapcsolatos további fontosabb információkat az **5. fejezet** tartalmazza.

2.3.3. Földfizika

A következőkben a geofizika és ezen belül a mérnökgeofizika általános fogalmait adjuk meg.

2.3.3.1. Földfizika (geofizika)

A geofizika – mely, mint a földtani kutatás egyik alappillére, s így a geológia mellett a földtudományok másik fontos ága – alapvetően a Föld egészét, annak öve-

zetes szerkezetét és felépítését, lemeztektonikai folyamatait, valamint a belsejében, illetve közvetve (a geofizikai jelenségek távolhatása miatt) annak szűkebb környezetében (a légkörben és a vele határos magnetoszférában) zajló fizikai jelenségeket, azok mérhető fizikai jellemzőit vizsgálja, különböző léptékekben. Tágabb értelemben azonban a geofizika része a bolygótudományoknak (planetológia) is. A geofizika vizsgálati módszerei roncsolásmentes és nagy hatótávolságú eljárások.

Az általános geofizika által vizsgált jelenségek:

- a nehézségi erő (gravitáció),
- a mágnesség (földmágnesség vagy geomagnetika),
- az elektromágnesség (elektromagnetikus földáramok vagy magnetotellurika),
- az elektromosság (ellenállás, vezetőképesség),
- a földrengés hullámok (szeizmika),
- a radioaktív földsugárzás (radiometria),
- a földhő (geotermika).

A geofizika legfontosabb alkalmazási területei:

- a Föld alakjának és gravitációs erőterének vizsgálata (szoros kapcsolatban a geodéziával),
- a földmágnesség vizsgálata (ide értve a Nap–Föld kapcsolatok megfigyelését és a paleomágnesség kutatását is),
- a szeizmológiai kutatások (földrengések előre jelzése, földtani szerkezetek kutatása),
- az általános geotermika és radiometria (földhő hasznosítása, környezetvédelem),
- a szilárd (pl. szén, érc), a folyékony (pl. kőolaj, víz) és a gáznemű (pl. földgáz) nyersanyagok kutatása,
- a hidrogeológiai viszonyok felderítése (pl. vízkutatás, vízföldtan),
- a mérnökgeofizikai (pl. földradar) vizsgálatok elvégzése a műszaki–mérnöki és az egyéb környezeti (pl. építésföldtani, kőzetmechanikai, geotechnikai, régészeti, környezetvédelemi stb.) feladatok megoldásához,
- az aeronómia (felső légköri fizika) és a Föld körüli térség fizikájának kutatása (a felső légkör és a Nap elektromágneses, illetve részecskesugárzása közötti kölcsönhatás tanulmányozása),
- a mélyfúrás geofizika (más néven karotázs geofizika),
- a geoelektromos kutatás (geotellurika).

2.3.3.2. Mérnökgeofizika

A mérnökgeofizika – mint a geofizika egyik ága – a földfelszín viszonylag vékony (legfeljebb 30–50 m vastagságú) felső rétegét érintő műszaki–mérnöki feladatokhoz, az ezekkel összefüggésben felmerülő egyéb járulékos vagy kiegészítő munkákhoz kapcsolódó, valamint a geofizika eszköztárának felhasználásával megválaszolható más, hasonló gyakorlati jellegű műszaki–mérnöki kérdések megoldásával foglalkozó tudomány.

A mérnökgeofizika néhány legáltalánosabban alkalmazott területe:

- az optimális hely kijelölése különböző jellegű építmények (pl. nagyobb műtárgyak és épületek vagy hulladéklerakók) elhelyezéséhez,
- a már korábban felhagyott és ismeretlen kiterjedésű hulladéklerakók vagy meddőhányók, bányászati objektumok (külszíni fejtések, bányagödrök, vágatok, aknák, üregek) lehatárolása, hatásvizsgálata,
- a környezetre káros rezgések (pl. városi közlekedés, bányászati robbantás) hatásainak vizsgálata és/vagy folyamatos nyomon követése,
- a földrengési állékonysági és méretezési eljárásokhoz szükséges talaj- és kőzetfizikai jellemzők meghatározása (pl. fúrólukban végzett mérések),
- a szennyeződések elterjedésének behatárolása,
- az iszapvastagság mérése, mederkutatás és földtani szerkezetkutatás az álló- és folyóvizekben,
- a vízbázisvédelemmel és a vízbáziskutatással kapcsolatos kutatások (pl. a víztartó és vízzáró rétegek felderítése),
- a régészeti célú geofizikai mérések végrehajtása,
- az eltemetett fémtárgyak, épületalapok, műtárgyak, föld alatti és ismeretlen kiterjedésű pincék, üregek, barlangok kutatása és lehatárolása,
- a rézsúállékonysági és partfal-állékonysági vizsgálatok,
- a mérnöki szerkezetek (pl. épületek, műtárgyak) állapotvizsgálata,
- a vasutak és közutak, autópályák töltéseinek, valamint árvízvédelmi töltések, feltöltések, talajcserék és ágyazatok minőségének, illetve a tömörítési munka hatékonyságának (pl. tömörség, inhomogenitás) vizsgálata,
- a kis mélységű földtani szerkezetkutatás nyomvonalas létesítmények mentén,
- az altalaj homogenitásának (tömörség, rétegződés, feküréteg) vizsgálata,
- a kőzettömegek homogenitásának (vetők, kőzetrések, tagoltság) és kőzetfizikai jellemzőinek meghatározása.

2.3.4. Víztan (hidrológia)

A hidrológia a víz leíró és egyben analitikus tudománya, mely a Föld és a víz kapcsolatával, tehát a Földön fellelhető összes víz, vagyis a hidroszféra fizikai, vegyi és műszaki kérdéseivel foglalkozó tudomány.

A legszélesebb értelemben foglalkozik a földi vízkészletek időbeli és térbeli előfordulásával, eloszlásával, mozgásával és kémiai összetételével. Ezen belül vizsgálja és elemzi a teljes földi vízkörforgalom folyamatait, jelenségeit, törvényszerűségeit, valamint a szállítódó, áramló víztömegek mennyiségi és minőségi kérdéseit, továbbá a víz és a vele érintkező szférák (a litoszféra és az atmoszféra) közötti kölcsönhatásokat, a globálistól egészen a lokális léptékig.

Mivel a földi vízkészlet igen nagy hányada a Föld felszínén található és meghatározó szerepet játszik a talajképződési folyamatokban, valamint jelentősen befolyásolja a már kialakult talajok tulajdonságait és viselkedését, ezért a hidrológia (a hidrogeológiához hasonlatosan) szoros kapcsolatban áll a geotechnikával, az építés-földtannal és a környezetvédelemmel is.

Kiegészítésként kell megemlíteni, hogy a geotechnika a hidrológia tudományából leginkább a felszíni vizekkel kapcsolatos ismereteket (pl. a felszíni lefolyás iránya, a meder méretei és helyzete, a vízfolyás sebessége, a víz mennyisége és jellemző szintjei) hasznosítja. Ezen ismeretek jelentőségét különösen a napjainkban zajló éghajlatváltozás szélsőséges csapadék viszonyainak következményei érzékeltetik. Manapság azt tapasztalhatjuk, hogy a csapadékmennyiség eloszlásának eddigi többé-kevésbé szabályos, periodikus (éves, évszakos és napi) menete – lokális és regionális értelemben egyaránt – egyre inkább hektikussá és egyben szélsőségessé válik. Geotechnikai szempontból ezek közül különösen a hosszan tartó száraz és aszályos periódusok és az azokat felváltó erősen csapadékos időszakok érdemelnek figyelmet, melyek eredményeként számos károkozó hatás érheti építményeinket. Az említett károkozó hatások nagyságának és egyéb jellemzőinek, illetve a vizek mennyiségének és/vagy szintjeinek megbízható prognosztizálását a hidrológiai viszonyok ismerete segíti.

2.3.5. Vízerőtan (hidraulika vagy hidromechanika)

A hidraulika vagy hidromechanika a folyadékok (ezeken belül elsősorban a víz) mechanikájának tudománya, amely tudomány a folyadékok tanulmányozásával, tulajdonságaival, jelenségeinek és törvényszerűségeinek leírásával, vizsgálatával és elemzésével, összefüggéseinek megértésével, valamint gyakorlati mérnöki alkalmazásuk lehetőségeivel, körülményeivel foglalkozik.

Ilyen értelemben tehát szoros kapcsolatban van a hidrológiával, a hidrogeológiával, az építésföldtannal és így a geotechnikával is.

A geotechnikai vizsgálatok során a felszín alatt elhelyezkedő vizek általános tulajdonságainak ismerete és helyi sajátosságainak felderítése is feladat. Míg a felszíni vizek esetében azok jellemzői általában közvetlenül láthatók, illetve mérhetők, addig a felszín alatt található vizek jellemzői (pl. az áramlás iránya és sebessége, a vízkészlet mennyisége és jellemző szintjei, a feltöltődés vagy utánpótlódás és a leürülés vagy elnyelődés időbeli, térbeli és mennyiségi folyamatai) általában csak az egymástól kisebb-nagyobb távolságban pontszerűen elhelyezkedő vizsgálati helyeken és többnyire csak egy adott időpontban vagy csak rövid időtartamon keresztül mérhetők. Márpedig ezen információk nem nélkülözhetők a talajszint alá nyúló építmények, illetve a nagyobb területre kiterjedően végzett mesterséges terepalakítások során. Ugyanis ezen ismeretek birtokában végezhetők el a tervezéshez és ellenőrzéshez szükséges vizsgálatok és számítások, mint pl. a mélyben elhelyezkedő műtárgyak felúszása vagy visszaduzzasztó hatása, a víztelenítések leszívási felszín görbéi és távolhatása, a gátak alatti talajkimosódás és buzgárosodás veszélyei, a hidraulikus talajtörés lehetőségei, a szennyező anyagok térbeli és időbeli elterjedésének feltérképezése és prognosztizálása, a terepalakítások vízszintemelő vagy vízszint-süllyesztő hatása.

2.3.5.1. Hidrosztatika

A hidrosztatika a hidraulikának az a résztudománya, mely a nehézkedés által létrehozott és a magasság szerint változó hidrosztatikai nyomás jelenségeit, egyensúlyának törvényszerűségeit tanulmányozza.

A geotechnikai szempontjából elsősorban a talaj felszíne alatt megépített mérnöki szerkezetekre ható víznyomásokot és felhajtóerőt vizsgáljuk.

2.3.5.2. Hidrodinamika (áramlástan)

A hidrodinamika vagy áramlástan a hidraulikának az a rész tudománya, mely a folyadékoknak az egyensúlyi állapot megbomlása következtében fellépő áramlását, a természetes és mesterséges vízfolyásokban és áramlatokban végbemenő fizikai folyamatokat, jelenségeket és azok törvényszerűségeit vizsgálja.

Az alapvető összefüggések a fizika anyag- és energiamegmaradás törvényeiből, valamint az impulzus tétel alapelveiből vezethetők le, de szoros kapcsolatban vannak a külső (az áramlást vezető külső közeg) és a belső (viszkozitás) súrlódást okozó tényezőkkel is.

A geotechnika szinte kizárólag a permanens (állandó, folyamatos) és lamináris (réteges, vagyis párhuzamos áramvonalú) áramlásokkal, s az áramlások alapján számítható szivárgási irányok, sebességek és vízmennyiségek, valamint a leszívási felszín görbék meghatározásával, továbbá a szennyeződések időbeli és térbeli kiterjedésének feltérképezésével és prognosztizálásával, illetve a műtárgyak vízáramlásra gyakorolt hatásaival foglalkozik.

3. A GEOTECHNIKAI TEVÉKENYSÉG ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA

Ebben a fejezetben néhány olyan fogalomról, körülményről és folyamatról beszélünk, melyek alapján általános, összefoglaló jellegű képet alkothatunk a geotechnika és társtudományainak kapcsolatáról, a geotechnikai tevékenység céljáról és a geotechnikai szolgáltatásról, a geotechnika néhány sajátosságáról, a geotechnikai feladatok megoldásának általános folyamatáról, lépéseiről, s végül a geotechnika gyakorlati alkalmazási területeiről.

3.1. A geotechnika és társtudományainak kapcsolata

A geotechnika hazai (pl. [SZEPESHÁZI, 2000] és [FAUR–SZABÓ, 2011]) és nemzetközi (pl. [FLOSS–GUDEHUS–KATZENBACH, 2000]) képviselői részletesen áttekintették a geotechnikának a mai építési–műszaki életben elfoglalt helyzetét, tevékenységének céljait és feladatait, valamint a geotechnika és társtudományainak kapcsolatát.

A **2.3. paragrafusban** már áttekintettük a geotechnikához szorosan kapcsolódó társtudományokat. Az ennél szélesebb interdiszciplináris kapcsolati rendszert vázlatosan a [FLOSS–GUDEHUS–KATZENBACH, 2000] alapján elkészített 5. ábra mutatja be.

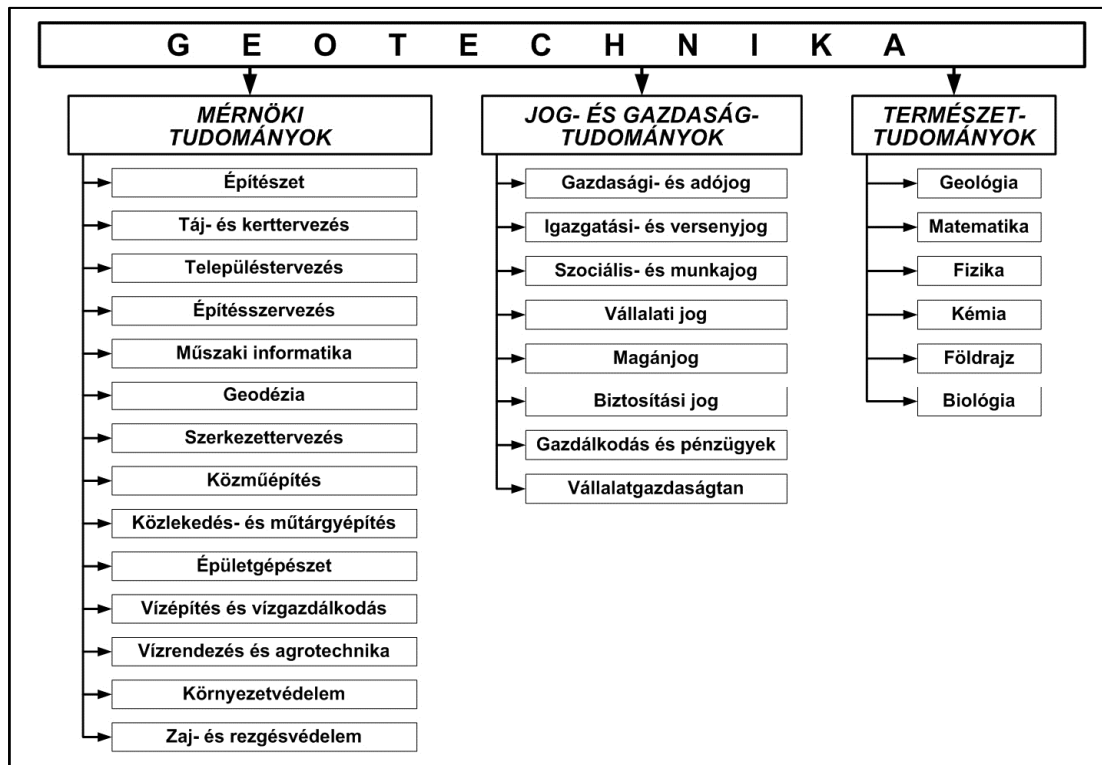
3.2. A geotechnikai tevékenység célja és a geotechnikai szolgáltatás

A geotechnikai tevékenység céljával és ezzel összefüggésben a geotechnikai szolgáltatással a Magyar Mérnöki Kamara (MMK) Geotechnikai Tagozata (GeoT) (pl. [SZEPESHÁZI, 2010] és [MÓCZÁR, 2015]) is több ízben foglalkozott. A következőkben a Kamara által elfogadott szemlélet és megfogalmazás szerint ismertetjük a geotechnikai tevékenység célját és a geotechnikai szolgáltatást.

A *geotechnikai tevékenység célja* olyan geotechnikai szerkezetek és egyéb geotechnikai eljárások vagy technológiák kialakítása, melyek a megvalósítani szándékozott új építmény létesítéséhez, vagy egy már meglévő építményen végrehajtandó további építési tevékenységhez, továbbá a vélelmezhető geotechnikai veszélyhelyzetek elhárításához, valamint más egyéb geotechnikai munkát igénylő (pl. műszaki, gazdasági, környezetvédelmi) feladatok gazdaságos és szakszerű megoldásához szükségesek, a mesterséges és a természetes környezet hosszútávú harmonikus „együttélése” érdekében.

Geotechnikai szolgáltatás alatt az előbb említett célokat szolgáló vagy azokat segítő geotechnikai műszaki tervdokumentumot (esetleg a szóbeli tanácsadást) értjük,

melyek elkészítése (illetve szóbeli közlése) a szakmai ismeretek, valamint az érvényes jogszabályok és műszaki előírások betartásával, továbbá a valós környezeti adottságok és lehetőségek figyelembe vételével történik.



5. ábra. A geotechnika és társtudományai interdiszciplináris kapcsolatrendszerének vázlata

3.3. A geotechnika néhány sajátossága

Manapság – a technikai–technológiai lehetőségek tágabbá válásával és az egyéni–társadalmi igények növekedésével arányosan – egyre többször kerül sor az eddigieknél nagyobb léptékű vagy igényesebb szerkezetű, esetleg környezetvédelmi szempontból érzékenyebb beruházásokra. A tudományos–technikai fejlődés ütemében pedig egyre újabb és nagyobb teljesítményű építőipari gépek, gépláncok, eljárások és építési technológiák jelennek meg, s ezáltal egyre hatékonyabbá, intenzívebbé válik az ember környezetátalakító munkja. Ugyanakkor az építési tevékenységek egyre nehezebb körülmények között (pl. nagyvárosi beépítettségű környezet, rossz talajviszonyok) folynak. E folyamat eredményeként egyre növekszik a tartószerkezetekre és így az alapokra jutó terhelés nagysága; a mozgásra érzékeny technológiai szerkezetek vagy a nagy pontosságot igénylő építési technológiák miatt csökkennek az építmények megengedett elmozdulásai; s egyre nő az építmények geotechnikai hatásterületének nagysága, amelyen belül megváltoztatjuk a már meglévő és többé-kevésbé egyensúlyban lévő eredeti állapotokat. Tovább színezi a képet, hogy napjainkban egyre inkább előtérbe kerül – sőt alapkövetelménnyé válik – az építési tevékenység környezeti hatásainak vizsgálata, elemzése is. Ezekből a kö-

rülményekből és követelményekből következően a geotechnikai jellegű munkák értéke növekszik, annak ellenére, hogy egy beruházás összköltségének többnyire csak kisebbik költséghányadát teszik ki. Ugyanakkor az esetleges hibák utólagos megszerzése és eredményes javítása vagy károsodások utáni helyreállítása már igen költséges, sokszor az eredeti építési költségeket is eléri. A tapasztalatok és a statisztikai adatok pedig azt mutatják, hogy a létesítmények károsodásának oka legtöbbször valamely geotechnikai feladattal összefüggő szerkezethez (pl. alapozás, szigetelés, földmunkák) kapcsolódó szervezési, tervezési vagy kivitelezési hiba volt. Jelentősen megnőtt tehát a geotechnikával kapcsolatos feladatok jelentősége, hiszen ezek alapvetően befolyásolják a létesítmény és környezetének stabilitását, a létesítmény későbbi zavartalan működését.

A geotechnikai munkákat érintő feladatok esetében a megbízói igényeket (pl. építmény funkciója és mérete, kivitelezési határidő, építési költség), az építési helyszín természetes (pl. domborzat, talajviszonyok) és mesterséges (pl. beépítettség) adottságait, valamint az egyéb műszaki körülményeket (pl. kivitelezői felkészültség, építéstechnológiai vagy szerkezeti kötöttség, környezetvédelem) is figyelembe vevő legalkalmasabb (optimális) műszaki megoldás kidolgozása a geotechnikus feladata. Ez esetben az optimális műszaki megoldás azt jelenti, hogy az építmény a megbízó által prioritásként meghatározott célokat a lehető legteljesebb mértékben kielégíti, miközben minden más szempont (a helyszíni adottságok, a geotechnikai körülmények, a környezetvédelmi követelmények és a gazdaságossági elvárások) esetében a hátrányos körülményeket vagy a káros hatásokat a még elviselhető szintre csökkenti, vagyis a lehető legkisebb mértékben zavarja meg az építmény mesterséges és természetes környezetének folyamatait, illetve egyensúlyát.

A geotechnikai feladatok megoldása során mindig szem előtt kell tartani, hogy mesterséges építményeink kialakítása során kisebb-nagyobb mértékben megváltoztatjuk az eredeti természetes és a mesterséges környezet állapotát, s az azokban zajló folyamatokat. Az ilyenkor fellépő hatások és az általuk kiváltott válaszreakciók általában meglehetősen bonyolult és összetett rendszert alkotnak, melynek elemei egymástól eltérő sebességgel változnak, s a változások eredményei sokszor csak hosszú évek múltán válnak érzékelhetővé.

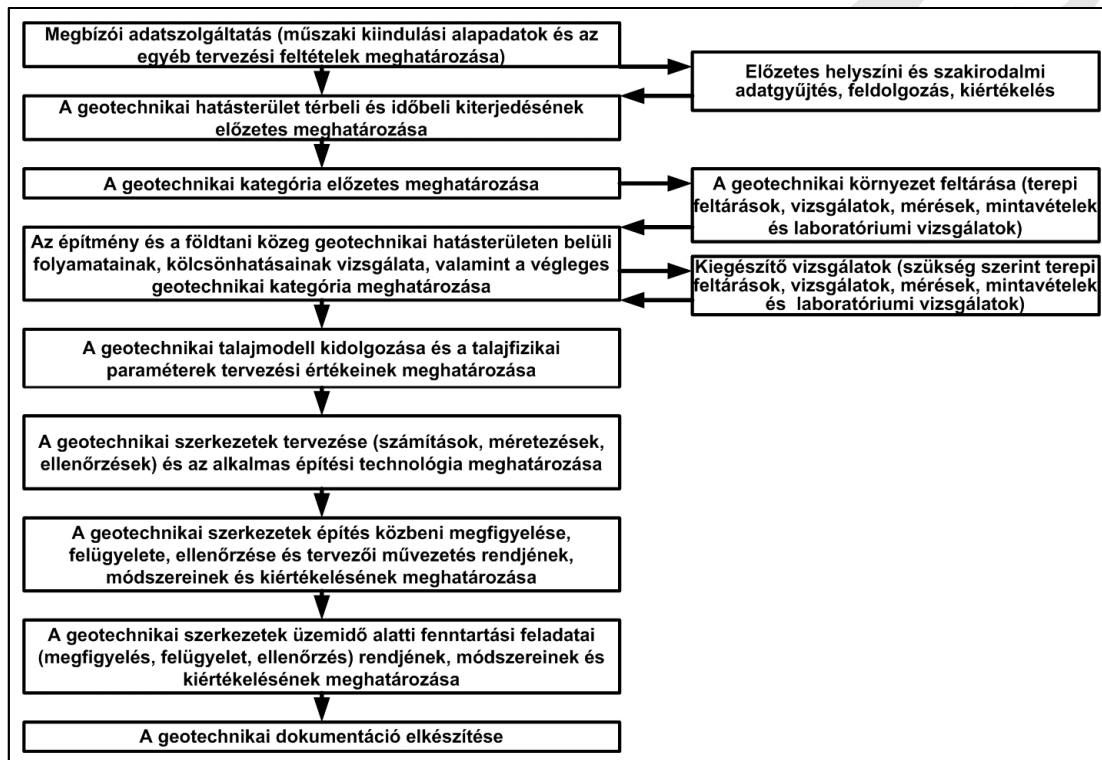
A korábbi évtizedek gyakorlata szerint a vizsgálatokkal rendszerint csak a tervezett létesítmény alatti geotechnikai viszonyokat tárták fel, időben pedig csak a kivitelezés időtartama alatt vizsgálták az építmény és környezete közötti kölcsönhatásokat. Az előbbieken említett igények és elvárások azonban a geotechnikai vizsgálatok térbeli és időbeli kiterjesztését igénylik, ezzel együtt pedig a szokásosnál nagyobb időintervallumot és térrészt átölelő folyamatokat és kölcsönhatásokat egységes eszközként értelmező (vagyis komplex és átfogó jellegű) látásmódot követelnek.

A geotechnikai munkák során nem illik szem elől téveszteni, hogy a geotechnikai környezet olyan időben és térben változó (szinte „élő”) környezet, melynek tulajdonságai csak a mintavételi/vizsgálati helyeken, s ott is csak többé-kevésbé közelítő módon és „pillanatfelvétel” jelleggel ismerhetők meg, s a számítások során figyelembe vett térrész minden pontjára kiterjedő pontos felépítése és tulajdonságai nem határozhatók meg. Ez utóbbiakra csak a feltárt és megismert tulajdonságú pontok

közötti interpolációval következtethetünk. A konkrét ismeretek hiányát többnyire a megszerzett tudással, szakmai gyakorlattal, az empíriák és a műszaki intuíció segítségével pótolhatjuk. Ennek kapcsán a geotechnika tudományának egy kissé fanyar és önironikus, de mindenképp elgondolkodtató, és a felemás sajátosságát kiemelő meghatározása szerint [PÉTERFALVI, 2015] „*A talajmechanika sajátos szemi empirikus tudomány. A valós helyzet leegyszerűsítésével, laboratóriumi kísérletekkel, helyszíni megfigyelésekkel azt tudja megmagyarázni, hogy az épület mitől dőlt össze, de azt nem tudja megmondani, hogy mitől áll.*”

3.4. A geotechnikai feladatok megoldásának általános folyamata, lépései

A geotechnikai feladatok megoldásának általános folyamatát, az egyes lépések (lásd az egyes bekeretezett szövegrészt) sorrendiségét és egymáshoz való kapcsolódásait a 6. ábra (a szerzők összeállítása) szemlélteti.



6. ábra. A geotechnikai feladatok elvégzésének általános sorrendje és kapcsolati rendszere

A geotechnikai munkákat – mint megannyi más probléma megoldásához hasonlóan – lényegében egy előre meghatározott általános eljárási rend szerint kell végezni. A geotechnikai feladat jellegétől és céljától, az építmény műszaki sajátosságaitól és a geotechnikai kategóriától függően az eljárási rend egyes lépéseinek konkrét tartalma, jellege vagy az azon belül elvégzendő munkarészek mennyisége, részletessége természetesen változhat, s egyes lépések részlegesen vagy teljesen esetleg el is maradhatnak. A geotechnikai feladatok megoldásának fontosabb lépé-

seit sorrendben a következőkben foglaljuk össze.

Megjegyzés. A mérnöki tervezés folyamata alatt mindvégig szükséges a környezet és a létesítmény között kialakuló azonnali és az esetleges jövőbeli kölcsönhatások megbízható, a valóságot legjobban megközelítő prognosztizálása és ezen kölcsönhatások figyelembe vétele.

Megbízói adatszolgáltatás (műszaki kiindulási alapadatok és az egyéb tervezési feltételek meghatározása)

A hatékony és eredményes munkavégzés alapfeltétele a vizsgált új vagy a már meglévő építményre, illetve annak közvetlen szomszédságában lévő építményekre vonatkozó kiindulási tervezési műszaki alapadatok megismerése és az egyéb feltételek tisztázása, a kapott adatszolgáltatás, illetve az előzetes egyeztetés alapján. Ezek az adatok és információk általában a következők:

- a megbízás pontos tárgya, megnevezése, esetleges azonosító adatai,
- a tervszint (pl. tanulmányterv, engedélyezési terv, kiviteli terv),
- a megbízó, a társtervezők, a kapcsolattartók adatai (pl. név, cím, telefon és fax, e-levél),
- a vizsgált terület helye (pl. település, utca, házszám, helyszínrajzi szám),
- a vizsgált terület helyszínrajzi adottságai (pl. geodézia, helyszínrajz, térkép),
- az építmény megnevezése, funkciója (pl. épület, raktár, közúti híd, vasúti pálya),
- az építmény alaprajza, metszete,
- az építmény méretei (pl. szélesség, hosszúság, magasság, mélység, szintek száma),
- az építmény szintadatai (pl. padlóvonal, rendezett terepszint, fenékszint, folyásszint, koronaszint),
- az építmény szerkezeti kialakítása (pl. főfalas, pilléres),
- az építmény szerkezeteinek anyaga (pl. fa, kő, égetett kerámia, vasbeton, acél, műanyag),
- az építmény terhelései (pl. függőleges és vízszintes erők, nyomatékok),
- az építmény egyéb jellegű igénybevételei (pl. vegyi, hő, dinamikus hatások) és azok jellemző értékei,
- az építmény megengedett alakváltozási határértékei (pl. süllyedés, billenés),
- a vizsgált területre vonatkozó egyéb információk (pl. korábbi területhasznosítás, alábányászottság, beépítési előzmények),
- az egyéb megbízói igények és/vagy feltételek (pl. határidő, példányszám, hatósági eljárásban történő részvétel, adatszolgáltatások és hatósági engedélyek beszerzése).

Az előzetes helyszíni és szakirodalmi adatgyűjtés, feldolgozás, kiértékelés

Az adatgyűjtés célja a feladat megoldásához szükséges vagy annak megoldását segítő egyéb helyszíni körülmények megismerése és az elérhető szakirodalmi adatok, információk összegyűjtése, felkutatása és azok rendszerezése, értelmezése és kiértékelése. Ezek részint a vizsgált létesítmény és/vagy terület előzetes helyszíni bejárása, szemrevételezése és a helybeli lakosság kikérdezése útján, részint az

egyéb írott dokumentumok (pl. szakmai és önkormányzati kiadványok, szakmai adattárak, térképek, történelmi leírások) tanulmányozása, illetve szakemberek, társtervezők információi, valamint az elektronikus világhálón fellelhető információk alapján nyerhetők.

Az adatgyűjtés szerepe egyrészt, hogy segítségével előzetesen felmérhetők legyenek a környezeti viszonyok és geotechnikai adottságok, ezek valószínű hatásai a vizsgált építményre, s ebből következően a várható problémák köre és azok megoldásának lehetőségei, illetve, hogy meghatározhassuk azokat a területrészeket, melyeket a helyszíni vizsgálatok alkalmával ténylegesen vagy részletesen fel kell deríteni, vagy azokat a körülményeket, amelyek egyértelműen tisztázni kell. Az adatgyűjtés szerepe másrészt, hogy a felesleges helyszíni feltárásokat vagy vizsgálatokat elkerülhessük, s így a tervezési munka hatékonyabb, gazdaságosabb legyen. Az adatgyűjtés alkalmával olyan ismeretek birtokába juthatunk (pl. korábbi felszínmozgás, felszínközeli talajvíz vagy belvíz, betemetett pincék, feltöltött bányagödörök, alacsony teherbírású vagy erősen összenyomódó rétegek, helyi kőzetkibúvás, vegyi szennyezés, régészeti vagy háborús maradványok), melyek más módon nem lennének beszerezhetők, ugyanakkor a további mérnöki munkát is jelentős mértékben befolyásol(hat)ják. Ezen információk birtokában a helyszíni feltárásokat már a geotechnikai szempontból előnytelen vagy bizonytalan területekre lehet telepíteni.

A geotechnikai hatásterület térbeli és időbeli kiterjedésének előzetes meghatározása

A geotechnikai hatásterület térbeli és időbeli kiterjedésének *előzetes* meghatározása során az *előzetesen* megismert kiindulási alapadatok, adatgyűjtés eredményei, környezeti adottságok, egyéb feltételek és az ezek alapján megépítendő geotechnikai szerkezetek valószínűsíthető sajátosságainak figyelembe vételével jelölik ki a műszaki feladattal érintett terület határait. E határok kijelölésének célja, hogy meghatározható legyen a helyszíni feltárások típusa (pl. fúrás, szondavizsgálat, geofizikai vizsgálat) helye és mélysége.

A geotechnikai kategória előzetes meghatározása

A geotechnikai kategória előzetes meghatározása a vizsgált építmény műszaki adataitól (pl. szintek száma, várható terhelések nagysága, építési magassági szintek, építmény funkciója), a vizsgált terület sajátosságaitól (pl. lejtési viszonyok, várható rétegződés) a feladat jellegétől (pl. új építmény létesítése, meglévő építmény átalakítása, kárvizsgálat) és a tervezési fázistól (pl. tanulmányterv, engedélyezési terv, kiviteli terv) függően változik. Egyszerűbb esetekben végleges jelleggel már ebben a fázisban is meghatározható. Célja, hogy a feltárások típusa és a mintavételezés során nyert minták típusa (pl. kevert vagy átgyúrt, zavart, zavartalan), valamint a laboratóriumi vizsgálatok típusa (pl. azonosító és osztályozó vizsgálat, szilárdsági és alakváltozási vizsgálat) eldönthető legyen.

A geotechnikai környezet feltárása (terepi feltárások, vizsgálatok, mérések, mintavételek és laboratóriumi vizsgálatok)

A feltárások célja az építmény geotechnikai hatásterületén belüli geotechnikai környezet sajátosságainak és tulajdonságainak feltárása, vizsgálata, megismerése,

elemzése és kiértékelése a geotechnikai kategóriától, az építmény műszaki–tervezési paramétereitől, a tervezési fázistól és a feladat jellegétől függően.

Az eddig leírtak szerint rendelkezésre álló ismeretek birtokában készíthető el a feltérési terv, mely tartalmazza a helyszíni feltérások helyét, típusát és mélységét, valamint a feltérési helyek kitűzésének módját és vázlatát, továbbá a mintavételi tervet (mintavételi mélységek és minták típusa) és a talajminták laboratóriumi vizsgálatának (melyik mintából mit és hogyan vizsgáljanak) tervét. A feltérési terv alapján egyrészt egy korrekt árajánlat adható, másrészt ennek alapján végezhető el a tényleges helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok.

A feltérési terv alapján kerülhet sor a helyszíni vizsgálatokra (pl. fúrások, szondavizsgálatok, vízmérések), melyek a geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezet építésföldtani (pl. talaj- és/vagy kőzetrétegződés), valamint hidrogeológiai (pl. talajvíz, szivárgó víz, karsztvíz) viszonyainak felderítését szolgálja. A vizsgálatnál nyert információkat irodai feldolgozás keretében kell értelmezni és kiértékelni. A helyszíni vizsgálatok adatait jegyzőkönyvbe kell foglalni az egyéb vizsgálati körülményekkel együtt.

A helyszíni vizsgálatok során nyert talaj- és kőzetminták, építőanyag és vízmin-ták fizikai, vegyi tulajdonságainak, illetve egyéb sajátosságainak vizsgálatát – a már említett talajvizsgálati terv alapján – az arra felkészült szaklaboratóriumokban (pl. talaj- és/vagy kőzetmechanikai, vegyi, környezetvédelmi laboratóriumok) végzik. Ezeket az információkat szintén az irodai feldolgozás keretében kell értelmezni és kiértékelni. A laboratóriumi vizsgálatok adatait jegyzőkönyvben kell rögzíteni, jelezve az egyéb vizsgálati körülményeket is.

Az építmény és a földtani közeg geotechnikai hatásterületen belüli folyamatainak, kölcsönhatásainak vizsgálata, valamint a végleges geotechnikai kategória meghatározása

Ez a lépés a geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezetben lejátszódó térbeli és időbeli folyamatok, valamint az építmény és a geotechnikai hatásterületen belüli földtani közeg kölcsönhatásainak meghatározását, elemzését és mindezek kiértékelését foglalja magába.

A kölcsönhatások és a geotechnikai hatásterület végleges megismerése után kerülhet sor a végleges geotechnikai kategória meghatározására.

Kiegészítő vizsgálatok (szükség szerint terepi feltérások, vizsgálatok, mérések, mintavételek és laboratóriumi vizsgálatok)

Amennyiben az előbb említett kiértékelés alapján kiderül, hogy a geotechnikai feladatok megoldásához vagy a geotechnikai szerkezetek méretezéséhez az elvégzett helyszíni feltérások vagy laboratóriumi vizsgálatok nem szolgáltatnak elegendő információt, akkor még további kiegészítő vizsgálatok elvégzésére, esetleg egyéb kiegészítő információk beszerzésére van szükség.

A kiegészítő vizsgálatok után „vissza kell térni” „Az építmény és a földtani közeg geotechnikai hatásterületen belüli folyamatainak, kölcsönhatásainak vizsgálata, valamint a végleges geotechnikai kategória meghatározása” lépéshez, és meg kell határozni a végleges geotechnikai kategóriát. Amennyiben ez egyértelműen megtehető,

akkor „át kell térni” a geotechnikai feladatok következő lépésére (lásd a geotechnikai modellt, 6. ábra), ellenkező esetben ismételt kiegészítő vizsgálatokat kell végezni, azaz az ismeretek megszerzését addig kell folytatni, amíg elvárt pontossággal meg nem lehet határozni a végleges geotechnikai kategóriát.

A geotechnikai talajmodell kidolgozása és a talajfizikai paraméterek tervezési értékeinek meghatározása

A talajmodell kidolgozása lényegében azt jelenti, hogy a tervezési feladat megoldásához szükséges részletességgel és pontossággal meghatározzuk a vizsgált geotechnikai környezet rétegfelépítését, rétegződési és víz viszonyait, valamint a rétegek jellemző talaj- és/vagy kőzetfizikai paramétereit (azok feltáráskori statisztikus, valamint karakterisztikus és tervezési értékeit), illetve egyéb jellemző tulajdonságait, végül kiválasztjuk a feladathoz legjobban illeszkedő anyagmodellt. Ezek azok a geometriai és agyagtulajdonsági jellemzők, melyeket a számítások során alkalmazni fogunk.

A geotechnikai szerkezetek tervezése (számítások, méretezések, ellenőrzések) és az alkalmas építési technológia meghatározása

A geotechnikai szerkezetek tervezése

A geotechnikai szerkezetek tervezése a méretezési és ellenőrzési számítások elvégzését, valamint vélemények, értékelések, elemzések, utasítások, előírások és egyéb kiegészítő információk rögzítését jelenti, esetlegesen a szükséges társtervezői és hatósági tervegyeztetésekkel együtt.

A tervezési, méretezési és ellenőrzési számításokat, elemzéseket a rendelkezésre álló vizsgálati adatok és információk birtokában, a műszaki céloknak és a tervezési fázisnak, illetve a megbízói és/vagy társtervezői igényeknek megfelelő részletességgel kell elvégezni. Ez alapvetően és általában a modellalkotásból, majd az ennek megfelelően elvégzett kézi vagy számítógépes programok segítségével történő számításokból, végül azok rajzi és szöveges dokumentációban történő rögzítéséből áll.

Az alkalmas építési technológia meghatározása

A bonyolultabb, műszakilag jelentős vagy az egyéb okokból (pl. az építés közbeni állékonyság szempontjából) kritikus geotechnikai szerkezetek esetében meg kell határozni az optimális építési technológiát is, mely a megbízói igényeknek, a helyszíni adottságoknak, a geotechnikai körülményeknek, a környezetvédelmi követelményeknek és a gazdaságossági elvárásoknak valamilyen értelemben egyidejűleg leginkább megfelelő építési eljárás kiválasztását jelenti.

A geotechnikai szerkezetek építése közbeni megfigyelése, felügyelete, ellenőrzése és a tervezői művezetés rendjének, módszereinek és kiértékelésének meghatározása

Az egyes geotechnikai szerkezetek építése közbeni és azok előre meghatározott kivitelezési fázisaihoz kötött műszaki–geotechnikai nyomon követésének kidolgozása a kivitelezés közbeni megfigyelés (monitoring), felügyelet (supervision) és a megvalósulási folyamat ellenőrzése (controll) módszereinek és körülményeinek meghatározását jelenti. Ezzel kapcsolatban meg kell határozni a mérések (pl. vízszintek, süllyedések), ellenőrzések (pl. építési magassági szintek, anyagminőségek),

mintavételek (pl. talajból vagy talajvízből) tárgyát, módját, körülményeit, az eredmények kiértékelésének módszereit és a jelentések vagy értesítések körülményeit is.

A valamilyen szempontból érzékeny vagy kritikus geotechnikai szerkezetek (pl. víztelenítések, kihorgonyzások) esetében az esetlegesen bekövetkező káresemények megelőzésével kapcsolatos, illetve a bekövetkező káresemények során alkalmazandó beavatkozási előírások ismertetésére is szükség lehet.

Esetenként (pl. építési fázishoz kötve) szükség lehet még az építés közbeni helyszíni tervezői művezetések, ellenőrzések vagy tervegyeztetések meghatározására is.

A geotechnikai szerkezetek üzemidő alatti fenntartási feladatai (megfigyelés, felügyelet, ellenőrzés) rendjének, módszereinek és kiértékelésének meghatározása

Egyes esetekben (pl. gazdaságilag vagy társadalmilag nagyobb jelentőségű építményeknél) szükség lehet – az építmény működési ideje (üzemeltetési idő) alatt – a geotechnikai szerkezetekkel kapcsolatos felügyeleti, ellenőrzési és fenntartási feladatok meghatározására is. Ilyen feladat lehet például a magas súlypontú, torony jellegű építmények dőlésének mérése, a különösen nagy terhelésű vagy erősen öszszenyomható talajokon álló építmények süllyedésének mérése, a különösen magas támfalak kibillenésének mérése, a magas rézsűfelületek vagy a felszíni vízvezetés ellenőrzése stb.

A geotechnikai dokumentáció elkészítése

Az esetek túlnyomó többségében a tervezéssel vagy szakértéssel, tanácsadással kapcsolatos geotechnikai feladatok megoldásának végeredményeként – az építési folyamatban résztvevő felek számára egyértelműen és közérthetően megfogalmazott formában – geotechnikai dokumentációt (pl. vizsgálati jelentés, terv, tervrészlet, szakértői vélemény) kell készíteni, mely egyben a geotechnikai mérnöki munka legáltalánosabban használt szolgáltatási formája.

3.5. A geotechnika gyakorlati alkalmazási területei

E paragrafus keretein belül a geotechnikai mérnöki tevékenység során a különböző természetes vagy mesterséges környezetben, de más-más céllal elvégzendő geotechnikai feladatokról, vagyis a geotechnika gyakorlati alkalmazási területeiről ejtünk szót, megadva azok általános és rövid jellemzését. Ezeket a tárgyköröket és az ezekhez kapcsolódó alapfogalmakat részint a későbbiekben, részint a tankönyvsorozat más, az adott témával foglalkozó köteteiben még részletesebben is tárgyaljuk, most csak – az építési tevékenység egyik sokszínű mérnöki szakágának egyféle áttekintéseként – felsorolás szerűen érintjük.

A geotechnika gyakorlati alkalmazási területei: az előkészítő tevékenységek, a föld- és sziklaművek, a rézsű- és lejtőbiztosítás, a gátak, a talajjavítás, a szivárgók, a földfelszíni, nyitott munkaterek, a végleges földmegtámasztó szerkezetek (tám- és bélésfalak), az alapozások, a mellépítések és ráépítések, a földfelszín alatti, zárt munkaterek, a közúti, vasúti, légi és vízi közlekedés építményei és műtárgyai, a közművek és műtárgyai, s végül a környezetgeotechnika.

3.5.1. Előkészítő tevékenységek

A legtöbb építési tevékenység alapfeltétele az általa érintett, illetve befolyásolt

geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezet sajátosságainak felderítése, vagyis az előkészítő tevékenységek elvégzése. Ezek szolgáltatják mindazokat az alapinformációkat, melyek segítségével megismerhetővé válnak a természetes és mesterséges környezet közötti kölcsönhatások, s elvégezhető a tervezés és a kivitelezés geotechnikai feladatai. Az általában szükséges előkészítő tevékenységeket, s a velük kapcsolatos legfontosabb információkat – az elvégzés sorrendjében – az alábbiakban ismertetjük.

Szakirodalmi adatgyűjtés, kutatás

E tevékenység alapvető célja a területen végzett korábbi geotechnikai és földtani vizsgálatok adatainak, valamint a területre vonatkozóan rendelkezésre álló egyéb információk összegyűjtése, rendszerezése, feldolgozása és kiértékelése. Segítségével csökkenhet a redundáns (ismételt) vizsgálat, valamint a feladathoz nem kapcsolódó (felesleges) vizsgálatok kizárhatók, illetve olyan rejtett információkat nyerhetünk, melyek a helyszíni vizsgálatokból nem derül(het)nek ki, de a későbbiekben mégis fontosak lehetnek. A szakirodalmi adatgyűjtés, kutatás eredményeit sok esetben már az árajánlat elkészítésekor hasznosíthatjuk, de általában is segítik a terepi vizsgálati adatok kiértékelését, feldolgozását. A szakirodalmi adatgyűjtés, kutatás eredményeit a dokumentáció összeállításakor jellemzően a beszerzett adatok jellegéhez, tárgyköréhez kapcsolódó fejezetekben ismertetjük, vagy a kiindulási adatoknál említjük.

Geodéziai terepfelmérés

A vizsgált terület tényleges felszíni viszonyainak (terepmagasságok, természetes és mesterséges tereptárgyak) felmérése során olyan térbeli terepmodell alakítható ki, mely tartalmazza mindazokat a síkrajzi és magassági információkat, mely a feladat elvégzéséhez szükségesek. A terepfelmérést az érvényes előírások értelmében Magyarország területén EOVS síkrajzi vetületi és Balti magassági rendszerben kell elvégezni. Geotechnikai szempontból általában elegendő a ± 5 cm-es mérési pontosság. Egyes alárendelt jelentőségű munkák esetében alkalmazható a helyi síkrajzi vetületi és a relatív magassági rendszer is. Ez utóbbi esetben a síkrajzi és magassági alappontot úgy kell kiválasztani, hogy az az építési tevékenység területén kívülre essen és az építési tevékenység befejezéséig garantáltan mozdulatlan és érintetlen legyen. Magasságaként célszerű az 50,00 m Relatív szintet kell választani, hogy jelentősebb szintdifferenciák esetében se lehessen összetéveszteni az építészeti $\pm 0,00$ m-es Relatív, illetve a Magyarországon legalacsonyabb terepszint 75,8 m-es Balti magasságával. A síkrajzi és magassági mérések ma már szinte kizárólag a komplex műholdas technológiával (GPS) történnek. Esetenként azonban még a hagyományos vagy digitális optikai módszereket is alkalmazzák (poláris méréssel a tachiméter vagy szintező segítségével, az irányszög és a távolsági, magassági értékek leolvasásával). A geodéziai alapfogalmakról az Építési ismeretek sorozat 2. kötete tartalmaz áttekintést [VARGA, 2018]. A geodéziai terepfelmérésről rendszerint önálló dokumentum nem készül, ezért a geodéziai felmérés eredményei jellemzően és általában a különböző digitális térképeken, helyszínrajzokon vagy metszeteken jelennek meg, amelyek a geotechnikai dokumentáció mellékleteit képezik.

Térképezés

Geotechnikai vagy építésföldtani szempontból a térképezés az előre meghatározott szempontoknak (pl. alakzat, anyag, méret) megfelelő terepi objektumok (pl. morfológiai elem, tereptárgy, feltárási hely) vagy vizsgálati adatok (pl. vízszint, kémiai összetétel) helyének és egyéb adatának a már korábban elkészített geodéziai terepfelmérésen (helyszínrajzon) történő ábrázolását jelenti. Ilyen módon készíthetők a gyakorlati tervezésben, környezetvédelemben jól használható és az adott feladat szempontjából lényeges információkat szemléletesen bemutató tematikus műszaki térképek. Ezek elkészíthetők a szakirodalmi adatok vagy a terepi bejárások, megfigyelések és mérések, illetve a helyszíni vizsgálatok adatainak tematikus feldolgozása alapján. A térképezés eredményét térképeken, helyszínrajzokon dokumentálják, melyek (a térképek és a helyszínrajzok) szintén a geotechnikai dokumentáció mellékleteit képezik

Kitűzés

A szakirodalmi adatgyűjtés, a geodéziai terepfelmérés (és egyes esetekben a térképezés) alapján kerülhet sor a feltárási terv elkészítésre. Az ebben megjelölt feltárási és vizsgálati pontokat a helyszínen – az előre meghatározott módszerekkel és méretekkkel – kell kijelölni, azaz kitűzni. A kitűzés általában a geodéziai terepfelmérési módszerekkel történhet. Egyes esetekben (pl. jól felmért, részletdús környezet) azonban a térkép–térp azonos (vagyis a térképen és a terepen is egyértelműen felismerhető) pontok alapján mérés nélkül (pl. burkolatsarok mellett, homlokzati vonalak összemetsződésében, fasorok vonalában) is kitűzhetők. A kitűzési pontosság esetében geotechnikai szempontból általában elegendő a $\pm 0,5$ m, de a közművekkel zsúfolt területen csak ± 5 cm lehet. A kitűzött pontok megjelölésére olyan ideiglenes pontjelek használhatók, melyek épsége a helyszíni feltárások és vizsgálatok teljes ideje alatt biztosítható. Erre a célra földterületeken a feltűnő színre festett (pl. sárga, vörös) vagy színes zászlóval, szalaggal ellátott levert fakarók vagy betonacél cövekek, esetleg leásott fa- vagy betonoszlopok alkalmasak. A burkolattal ellátott területeken a feltűnő színnel burkolatra festett jelek (pl. kör, kereszt) alkalmazhatók. Egyes esetekben (pl. alapfeltárások) a falra festett jelek (pl. vonal, nyíl) is megfelelőek. A kitűzésről ugyancsak az Építési ismeretek sorozat 2. kötete tartalmaz áttekintést [VARGA, 2018].

Fúrás és mintavétel

A helyszíni geotechnikai vizsgálatokat az esetek döntő többségében a feladattól (pl. kicsi vagy nagy terhelések, süllyedésre érzékeny vagy nem érzékeny létesítmény) és a várható talajadottságoktól (pl. könnyen vagy nehezen fúrható, állékony vagy nem állékony) függően különböző mélységű (általában 2–30 m), változó átmérőjű (általában 40–280 mm) fúrásokkal végzik. A fúrásokból minden esetben a feltárási tervben meghatározott mélységekből és rétegekből, meghatározott típusú (zavartalan, zavart, kevert) talajmintákat vesznek, s azokat további vizsgálatok céljára a laboratóriumba szállítják. A fúrás dokumentuma a fúrási jegyzőkönyv, amelyen minden technikai és személyi adatot, valamint a fúrással és a talajmintákkal kapcsolatos minden egyéb megfigyelési, tapasztalati eredményt is pontosan fel kell tüntetni.

Szondázás

A különböző mintavételi és laboratóriumi vizsgálati eljárások során a talajminták olyan szerkezeti változásokat (pl. tömörödés, fellazulás, átgyúrás, vázszerkezet károsodása) szenved(het)nek, melyek – néha számottevő mértékben – meghamisítják a méréseket, helytelen eredményeket szolgáltatnak, torzítják a geotechnikai talajkörnyezet eredeti állapotáról alkotott képünket, s ezáltal lerontják a további tervezési és kivitelezési munkák eredményességét. E hibák kiküszöbölését, illetve mérséklését célozzák a különféle „in situ” szondavizsgálatok. A szondavizsgálatok egyik jellemzője, hogy szinte cm-es felbontásban mérik a talaj- vagy kőzetkörnyezet egy-egy fizikai paraméterének valós, a rétegek eredeti állapotára és adott mélységi zónájára jellemző értékét, de egy adott szondatípussal csak egy, esetleg néhány fizikai paraméter mérhető. A szondavizsgálatok másik jellemzője, hogy az anyagi összetétel – és ezáltal jó néhány egyéb paraméter – ilyen módszerekkel egyáltalán nem, vagy csak tájékoztató jelleggel ismerhető meg. Ennek tükrében érthető tehát azon alapelv, mely szerint – néhány kivételes esettől eltekintve – a szondavizsgálatok önmagukban (vagyis fúrások nélkül) nem elegendők egy adott geotechnikai talajkörnyezet megismeréséhez, azok legfeljebb csak a feltárási sűrűség növeléséhez használhatók fel. És ez a módszer is csak akkor alkalmazható eredményesen, ha – a feladat által megkívánt számban – biztosított az azonosítás és az ellenőrzés lehetősége, vagyis lehetőleg ugyanazon a helyen, de egymástól legfeljebb 1–2 m-es távolságban készített szonda/fúrás párok mélyítése. A szondázás dokumentuma a szondavizsgálati jegyzőkönyv, amelyen minden technikai, személyi adatot pontosan fel kell tüntetni.

Geofizikai vizsgálatok

A fúrásos és szondázásos vizsgálatok lokális jellegűek, ami azt jelenti, hogy az adott geotechnikai talajkörnyezetet – érthető technikai és gazdasági okokból – csak az egymástól viszonylag távol elhelyezkedő feltárások által vizsgált függőleges vonalszakaszok (vizsgálati függvények) mentén ismerhetjük meg. A vizsgálati függvények közötti térrész geotechnikai jellemzőire pedig csak műszaki becsléssel következtetünk. Ebből következően a feltárások közötti – és a további munkákat esetleg jelentős mértékben befolyásoló – lokális eltérések (pl. talaj-, kőzet- vagy vízlencsék, üregek, pincejáratok, betemetett gödrök, eltemetett műtárgyak) nem deríthetők fel. Ha az ilyen körülmények gyanúja vagy reális lehetősége áll fenn, akkor sor kerülhet a különböző (pl. elektromos, mágneses, szeizmikus, szonikus) geofizikai vizsgálatok alkalmazására és azok geotechnikai, építésföldtani jellegű kiértékelésére. Ezek alapján a vizsgálatok határmélységéig (ez 2–5 m-től a 20–50 m-es mélységig terjedhet) folyamatos, összefüggő, térbeli képet kaphatunk, mely a felbontástól függően minden változást érzékeltet (a felbontás általában 5–20 cm közötti). Egyes esetekben szükség lehet az egyes talajfizikai jellemzők értékeinek csak a vizsgálati függvények mentén, vagy a függvények közötti síkban bekövetkező változásának folyamatos meghatározása is. Ilyenkor a különböző jellegű (pl. elektromos, radioaktív, szeizmikus) geofizikai lyukszelvényezés vagy karotázs-vizsgálat elvégzése szükséges. A geofizikai vizsgálatokról általában önálló részletes leírást és kiértéke-

lést tartalmazó jelentés készül, melyet a geofizikus állít össze és bocsát a megbízó (ez többnyire a geotechnikus) rendelkezésére. Ez a jelentés kiadható a geotechnika mellett önálló munkarészként, de beépíthető a geotechnikai dokumentációba is.

Talaj- és kőzetmechanikai laboratóriumi vizsgálatok

Az előzőekben már említést tettünk egyes talaj- és kőzetfizikai jellemzők geotechnikai szondázások vagy geofizikai mérések útján történő meghatározásáról. Jeleztük ugyanakkor, hogy ezek az értékek csak a hagyományos fúrások és az azokból nyert minták laboratóriumi vizsgálatainak adataival együtt használhatók és értelmezhetők. Általánosságban és a legnagyobb számban tehát a talaj- és kőzetmechanikai laboratóriumi vizsgálatok elvégzése szükséges. A laboratóriumi vizsgálat dokumentuma a laborvizsgálati jegyzőkönyv, amely a fúrási jegyzőkönyvhöz hasonlóan minden technikai, személyi adatot és minden megfigyelési eredményt tartalmaz.

Vízvizsgálatok

A geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezet (vagyis a földtani közeg) legjellemzőbb építőelemét a talaj- és kőzetrétegek alkotják. A fontossági sorrendet és a tömegarányt tekintve is a második helyen a felszínen és a felszín alatt elhelyezkedő víztípusok állnak, melyek vizsgálatára szintén szükség van. Ezek esetében az említett víztípusok áramlási- és szintviszonyainak, valamint vegyi összetételének, s mindezek időbeli és térbeli változásainak felderítése, meghatározása és egyes esetekben megbízható prognosztizálása szükséges. A vízvizsgálatok dokumentuma a vízszintmérési és a vegyvizsgálati jegyzőkönyv, amelyeken minden technikai, személyi adatot és minden megfigyelési eredményt fel kell tüntetni.

3.5.2. Föld- és sziklaművek

A föld- és sziklaművekkel érintett fogalmak a következők.

Földmunka: A föld kitermelésével, szállításával, deponálásával és újra beépítésével kapcsolatos tevékenység.

Földmű: Az eredeti terep és a földmunkával kialakított, szabályos földfelületekkel (rézsűkkel), vagy megtámasztó szerkezetekkel határolt építmény.

Feltöltés: Az eredeti természetes terepfelületre ráépített földmű.

Bevágás: Az eredeti természetes terepfelület alá mélyített földmű.

Építési tevékenységünket az esetek túlnyomó részében a földfelszínen vagy az alatt, de annak közvetlen közelében végezzük. Ilyenkor – általában az építési folyamat első lépéseként, néha annak záró aktusaként (főként a lejtős terepfelület környezetben) – *felszínrendezést* végzünk, vagyis a természetes terepfelületet kisebb-nagyobb mértékben átalakítjuk. A felszínrendezéssel összefüggésben földműveket, vagyis feltöltéseket és bevágásokat készítünk. Mivel ezeket a többnyire viszonylag nagy területre kiterjedő földmunkákat jellemzően föld (talaj) anyagú környezetben végezzük és földből készítjük, ezért ezeket földműveknek nevezzük. Az említett építményeket ritkán szikla (kőzet) anyagú környezetben vagy ebből az anyagból alakítjuk ki, ilyenkor *sziklaművekről* beszélünk.

Felszínrendezés (terep- és területrendezés)

Az előbbieken említett felszínrendezési munkákhoz általánosan azokat a kisebb területű tereprendezési, illetve nagyobb területre kiterjedő területrendezési földmunkákat soroljuk, melyek célja a kisebb-nagyobb létesítmények eredeti természetes földfelszíni környezetének olyan jellegű és mértékű átalakítása, mely megteremti egyrészt a felszíni vízelvezetés morfológiai alapjait (pl. felszínesések iránya és nagysága), másrészt kiszolgálja az építmény- vagy a területhasználat rendeltetészerű működésének egyéb környezeti igényeit (pl. felszínstabilitás, megközelíthetőség, megvilágítás, beláthatóság, megművelhetőség, környezetvédelem). Ezekhez a munkákhoz tartozik tehát alapvetően a feltöltések és bevágások készítése, de ide sorolhatók a helyi jellegű, kisebb területeken (pl. kisebb-nagyobb gödrökben és üregekben, vagy az alapok és műtárgyak melletti munkaterekben) végzett földviszszatöltések és tömedékelések is.

Feltöltés

A földviszszatöltések és tömedékelések minden esetben, a feltöltések pedig általában az arra alkalmas helyi talajokból vagy az előzetesen kiválasztott és laboratóriumban bevizsgált (talajazonosító és tömörítési vizsgálat), célszerűen jól tömöríthető, hozott (anyagnyerő helyről beszállított) talajokból készülhetnek, rétegesen elterítve és rétegenként több járatban, a talajnak megfelelő tömörítőeszközzel bedolgozva. Amennyiben többféle anyag áll rendelkezésre, akkor a feltöltés rétegeit úgy kell kialakítani, hogy azok szemszerkezete alulról felfelé fokozatosan finomodjon. A stabilitást (elcsúszás, süllyedés ellen) a felszíni csapadékvizek és a felszínközeli szivárgó vizek, illetve talajvíz elvezetésével (pl. vízelvezető árkok, drénezés) kell biztosítani. Ha a feltöltés szükséges állékonysága nem biztosított, akkor a feltöltés megerősítésére is szükség lehet. Ez a lejtős terepfelszín esetén a töltésalap „fogazásával”, a rossz minőségű altalaj (ilyen lehet a főként a vizenyős–mocsaras, felázott felszínű vagy laza, illetve erősen összenyomódó altalajú terület) esetében pedig az altalaj javításával, cseréjével vagy a töltésalap erősítésével oldható meg.

Bevágás

A bevágások elkészítése általában egyszerűbb, hiszen csak a kitermelt anyag elszállítására van szükség. Ilyenkor azonban – természetesen a felszíni csapadékvizek elvezetésén kívül – elsősorban az átvágott és felszínre kerülő rétegek összetételét, rétegzettségét és dőlésirányát, valamint a talajvíz és az esetlegesen felszín közelében szivárgó vizek jelenlétét kell vizsgálni, mivel a bevágás felé mutató rétegdőlés és a víz jelenléte együttesen igen erősen veszélyezteti a bevágás oldalrészüinek stabilitását.

3.5.3. Rézsű- és lejtőbiztosítás

A lejtős területeken végzett felszínrendezési munkák alkalmával kialakított feltöltésekhez és bevágásokhoz kapcsolódóan szinte minden esetben készülnek rézsűk is. Részint a felszínrendezés területe körüli vagy annak során kialakított lejtők, részint a felszínrendezés területén belül megépített rézsűk biztosítása (vagyis stabilitásuk, épségük és geometriai viszonyaik megőrzése) egyrészt tervezői és kivitelezői, másrészt üzemeltetői feladat.

Erózió elleni védelem

Erózió: A víz felszínromboló, letaroló munkája.

A lefolyó felszíni csapadékvizek hatására főként az erózióra hajlamos – vagyis nagyrészt homok és iszap keverékéből álló – talajokból felépült meredekebb lejtőkön vagy rézsűfelületeken alakulhatnak ki eróziós károk. Az ilyen helyeken először csak kisebb, legtöbbször néhány cm mély eróziós barázdák jelennek meg, melyek – megfelelő intézkedés hiányában – később eróziós árkokká, végül (a hosszabb lejtőkön) nagyobb vízmosásokká fajulhatnak, idővel teljesen tönkre téve a lejtőt vagy a rézsút. Ezek a problémák viszonylag egyszerűen (pl. kellő tömörítés, a rézsű laposítása és/vagy padkásítása, burkolás, vízelvezetés, növénytelepítés) megelőzhető.

Felszínmozgás elleni védelem

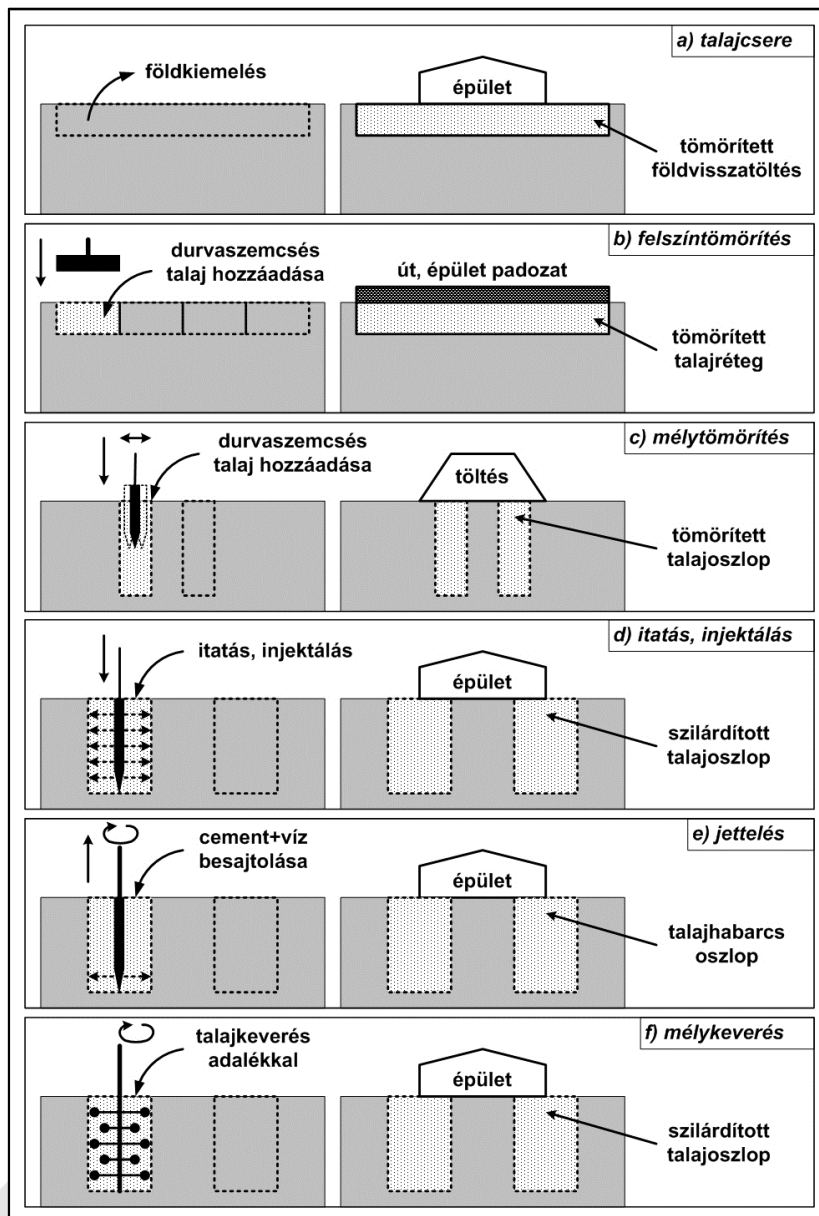
A felszínmozgások (vagyis a talaj meghatározott részeinek a környethez viszonyított, gravitációs erő hatására történő elmozdulásai) általában a finomszemcsés (iszap és agyag) talajokból álló meredek rézsűkön, illetve az ilyen jellegű meredekebb lejtőkön alakulnak ki. A felszínmozgások – a sokszor évtizedeken keresztül zajló kúszás kivételével – általában váratlanul jelentkeznek, az előjelek nem, vagy csak közvetlenül a mozgásokat megelőző napokban, órákban jelentkeznek, s többnyire igen gyorsan (néhány perc vagy óra alatt) lejátszódnak. A felszínmozgások másik sajátossága, hogy előrejelzésük meglehetősen bizonytalan. A felszínmozgások általában csak igen költséges módon (részletes helyszíni mérésekkel és laboratóriumi vizsgálatokkal, valamint gondos számításokkal és elemző munkával) jelezhetők előre. Rézsűk esetében a megelőzés viszonylag egyszerű és az erózió elleni védelemnél már említett módszerekkel többnyire meg is oldható, a nagyobb kiterjedésű lejtők esetében azonban általában nehéz és költséges (pl. növény telepítés, terprendezés, vízrendezésvízelvezetés, szivárgók építése), néha szinte lehetetlen (pl. egy egész hegyoldalra kiterjedő csúszás esetében).

3.5.4. Gátak

A gát alapértelmezés szerint akadályt jelent. Geotechnikai szempontból gát alatt általánosan azt a földből vagy kőből épült és szabályos rézsűfelületekkel határolt földművet, illetve betonból készített építményt értjük, melyet többnyire a víz elleni védelem (pl. árvíz, belvíz) vagy a vízmozgás szabályozása (pl. duzzasztás, partvédelem), esetleg valamilyen más (pl. mezőgazdasági, környezetvédelmi, kármentesítési) célból létesítünk. Ezek építésére csak ritkán, általában speciális okok miatt kerül sor.

3.5.5. Talajjavítás, talajstabilizálás

A geotechnika manapság talán legdinamikusabban változó alkalmazási területei közé tartozik a talajjavítás és a talajstabilizálás. Ezek célja valamely talajfizikai tulajdonság (pl. szilárdság, összenyomhatóság, vízvezető képesség, állékonyság) javítása, esetenként a már kialakult üregek, hézagok, járatok, repedések utólagos kitöltése, valamint a megsüllyedt burkolatok és alapok megemelése. *Talajjavításról* beszélünk, ha a viszonylag kis talajtömegek gyors, rendszerint empiriákon alapuló javítását végezzük; és *talajstabilizálásról*, ha nagyobb talajtömegek vizsgálatokon alapuló és tervezett javítását kell megoldani. Ezeket az alábbiakban mutatjuk be.



7. ábra. Az általánosan alkalmazott talajjavítási módszerek sematikus vázlata

Statikus előterhelés

Olyan egyszerű, bár igen hosszú ideig (néhány hónapig, esetleg egy-két évig) tartó beavatkozás, melynek során, a szükséges területeken nagy súlyú anyagokat (pl. az építkezéshez később felhasznált vb. építőelemek, homok és kavics talajok) halmoznak fel. Ezek súlyuknál fogva előterhelik az altalajt, így annak konszolidációja – vagyis időben elnyúló süllyedései – már az építés előtt lezajlanak.

Talajcsere

A legrégebben használt és legegyszerűbben elvégezhető talajjavítási módszer, mellyel a felszíni vagy a felszínhez közeli kedvezőtlen teherbírású talajrétegeket

eltávolítják, s azok helyére egy mesterségesen odahordott, jó teherbírású, rétegesen tömörített, durvaszemcsés talaj- vagy kötőrmelék-réteggel helyettesítik (7a. ábra).

Felszinttömörítés

Az előbbi módszernek egy úgy módosított változata, amelyben földkiemelés nélkül a felszíni alacsony hordképességű (laza vagy átázott, puha) talajréteget egy nagy tömegű eszköz (pl. síklap, golyó, kúp, tömb) ejtegetésével döngölve tömörítik. A tömörítés a felület egészére vonatkozik. A munka közben a tömörítőeszköz folyamatosan halad (vízszintesen) a felszínen, miközben durvaszemcsés talajt vagy kötőrmelékterítetnek a döngölt felületre. Ennek szerepe egyrészt, hogy pótolja a tömörítés során a talaj hézagaiba bedöngölt talajmennyiséget, másrészt, hogy a talajba nyomódva – egyfajta vázszerkezetet kialakítva – tömörítse, erősítse azt (7b. ábra).

Mélytömörítés

A mélytömörítés az előbb említett felszinttömörítési módszer továbbfejlesztett változata. Ebben a változatban a tömörítő eszközzel egyhelyben állva – döngöléses vagy vibrációs eljárással – tömörített kavicsból vagy kötőrmelékből álló talajcsere oszlopokat (pl. kötőrmzs, kavicscölöp) készítenek. A tömörítés nem a felület egészére, hanem pontszerű részeire vonatkozik, melyeket mélységben tömörít. Jellemzője, hogy a kezelt talajtömeg teherbírásának növelése és a süllyedések csökkentése mellett gyorsítja az altalaj konszolidációját lecsökkentve a süllyedési időt. A döngöléses módszernél a talajcsere anyaga a döngölés hatására egyre mélyebbre nyomódik, miközben a döngöléssel kialakított üreget folyamatosan a cseretalaj anyaggal pótolják. Így végül egy szabálytalan palástfelületű oszlop alakul ki. A vibrációs módszer esetében egy túszerű vibrációs eszközt víz- vagy légöblítéses eljárással a kívánt mélységig juttatnak le. Az így kialakított lyukba homok, kavics vagy kőzetzúzalék anyagot szórnak, melyet a vibrátor folyamatos visszahúzása mellett betömörítenek. Ennek eredményeként szintén egy szabálytalan palástfelületű oszlop alakul ki. A talajtömörítés hatására „süllyedési tölcser” jöhet létre, melynek határait számításba kell venni (7c. ábra).

Itatás és injektálás

A már meglehetősen régóta használt eljárással perforált csöveken keresztül – nagy nyomással injektálással vagy kisebb nyomáson itatással – a talaj hézagait, repedéseit, járatait, illetve üregeit kitöltik az ott később megszilárduló folyadék halmazállapotú anyaggal. Ezáltal növeljük a talaj teherbírását, egyúttal csökkentjük a talaj vízvezető képességét, szükség szerint megemeljük a megsüllyedt és kis terhelésű burkolatokat vagy alapokat (7d. ábra).

Talajhabarcsosítás (jettelés)

A talajhabarcsosításnak, mint az utóbbi néhány évtizedben elterjedt közkedvelt mélyépítési technológiájának mára már számos, különböző célokra (pl. alapozás, alapok utólagos megerősítése, munkaterek lehatárolása és megtámasztása, vízzáró szerkezetek építése, talajszilárdítás) felhasználható változatát ismerjük. Közös jellemzőjük, hogy egy forgatható és függőleges irányban le-fel mozgatható rudazat fűvókáin keresztül nagynyomású cement+víz, esetenként levegő+cement+víz keve-

rékét juttatják az altalajba, mellyel így talaj+cement összetételű – és később megszilárduló – talajhabarcs elemeket (oszlop, fal, lemez) képeznek. Az így elkészített elemek szükség szerint vasalással is erősíthetők (7e. ábra).

Felszíni talajkeverés

Esetenként (pl. utak, felvonulási területek, nagyobb kiterjedésű földművek helyén) szükség lehet a rossz állapotú felszíni talajok nagy területen, de viszonylag kis vastagságban történő szilárdítására. Ez az átázott agyagos talajoknál égetett mész vagy mészhidrát, a laza homokos és kavicsos talajoknál pedig cement hozzákeverésével oldható meg.

Mélykeverés

Ha az előző módszer esetében említett talajok mélyebben helyezkednek el, akkor az égetett mész vagy mészhidrát, cement, esetleg gipsz anyagot mélykeverő berendezéssel juttatják a mélyebb rétegekbe (7f. ábra).

Talajerősítés (tervezett talajjavítás)

Amikor a talajból épített szerkezetek (pl. feltöltés, talajcsere, gát) erősítésére van szükség, akkor erre a célra számos műanyag fólia, lemez, szalag, szőtt vagy nemezelt textília, rács (geoműanyagok), valamint acél anyagú erősítő elem (pl. talajszeg, szalag, háló) áll rendelkezésre. Ezek természetesen csak a réteges tömörítésű, mesterséges kialakítású földművekbe építhetők be, ellenőrzött körülmények között.

Különleges eljárások

Végül szót kell ejteni még néhány speciális és manapság már csak igen ritkán használt eljárásról, melyek főként a mélyebben fekvő földtömegek tulajdonságainak végleges vagy ideiglenes javítását célozzák. Ezek közé sorolhatók az égetéses (pl. lösz, iszap és agyagtalajoknál), a fagyasztásos (pl. vízzel telített kavics-, valamint homoktalajoknál), továbbá a robbantásos (pl. laza durvaszemcsés talajoknál) technológiák.

3.5.6. Szivárgók, drének

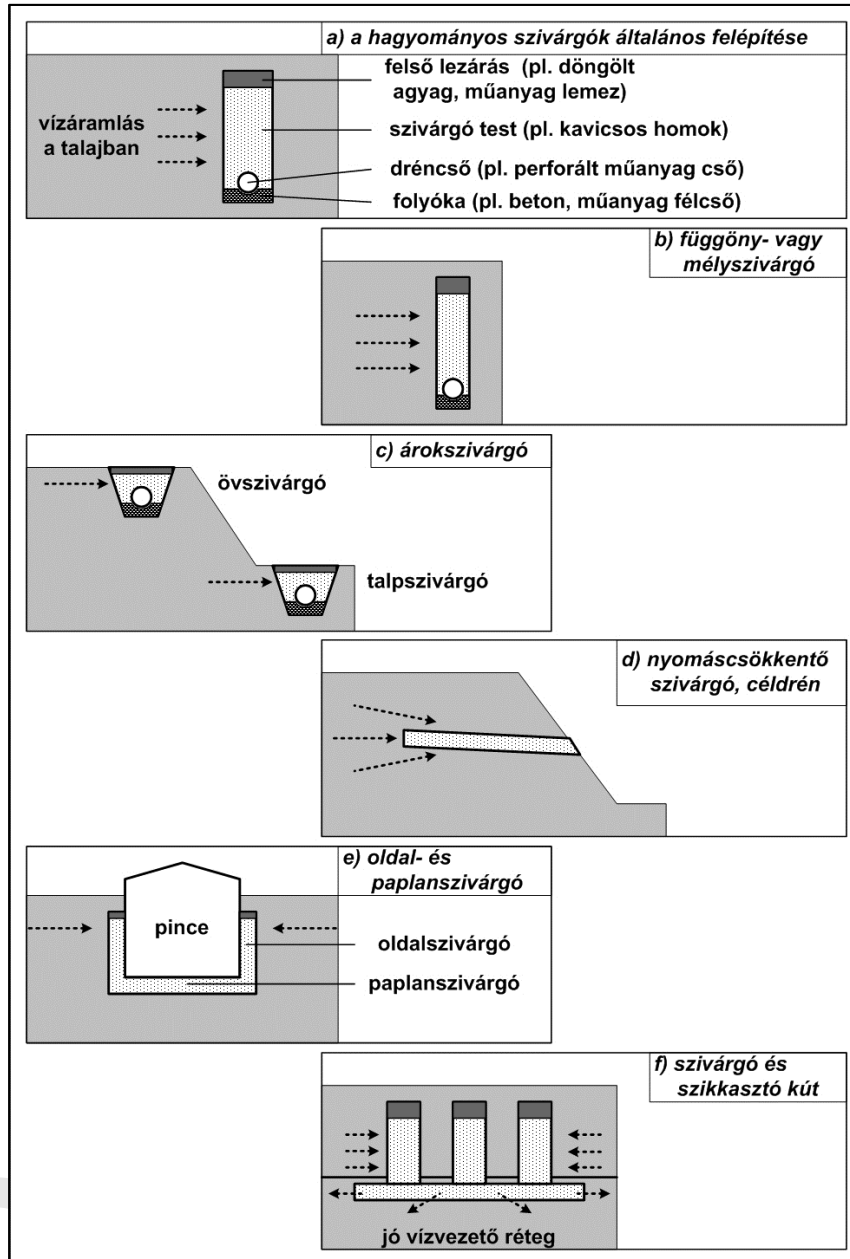
Szivárgó, szivárgótest, dréntest: A talajban mozgó víz gravitációs összegyűjtésére és elvezetésére szolgáló és a terepfelszín alatt kiképzett, vízvezető anyaggal kitöltött, a célnak megfelelő formájú, geometriájú (pl. árok, kút, lemez, paplan) építmény.

Drén, dréncső: A szivárgóban összegyűjtött víz elvezetésére szolgáló cső.

Szűrőréteg: Az áramló víz talajszemcséket elsodró hatását, illetve a finomabb talajszemcséknek a szivárgótestbe vagy a dréncsőbe történő bemosódását megakadályozó réteg.

Elszikkasztás: A felszínen vagy a felszín alatt összegyűjtött vízmennyiség mélyebb talajrétegekbe történő elvezetése. Az ebből a célból készülő szikkasztótestek felépítése a dréntesttel azonos, csupán funkciójukban térnek el egymástól.

Bizonyos esetekben (pl. a talaj teherbírásának növelése, a talajvízszint csökkentése, a felszínmozgások megakadályozása, a konszolidáció és a süllyedések gyorsítása miatt) szükség van a kisebb-nagyobb kiterjedésű talajtömegeknek a bennük lévő víz elvezetésével történő javítására is. Ez a céloknak és a körülményeknek megfelelően kialakított szivárgókkal oldható meg.



8. ábra. Szivárgók és drének általánosan alkalmazott felépítése, típusai (sematikus vázlat)

A szivárgótestek kialakíthatók függőleges vagy vízszintes síkban, vonal mentén, de egymáshoz közeli, függőlegesen leszúrt vonalszakaszok mentén is. Anyaguk általában durvaszemcsés talaj (homok, kavics) vagy kőzetzúzalék, de készülhetnek más anyagból (pl. agyagkavics, műanyag golyó, porózus műanyag lap) is. A dréntest által összegyűjtött vizet általában lyukacsos falú műanyag csővel (dréncső) vezetik el. Részint a szivárgó, részint a dréncső finomabb talajszemcsék által történő eltömődését szűrőréteggel akadályozzák meg.

Általában a felszínhez közeli vizek (pl. talajvíz), esetenként a lokális felszíni vizek teljes elvezetése vagy megcsapolása és szintjének csökkentése, esetenként a mé-

lyebb rétegbe történő elszivárogatása (elszikkasztása) céljából különböző típusú szivárgókat építenek. Minden esetben alapvető feltétel a helyszínrajzi elhelyezés és a geometriai méretek helyes megválasztása, a jó vízvezető képesség és az eltömődés elleni védelem biztosítása, illetve az összegyűjtött vizek megfelelő befogadóba történő elvezetése is. A szivárgók és drének általános felépítését a 8a. ábra mutatja. Általában az alábbi típusok építésére kerül sor.

Vízáramlást megszakító függöny- vagy mélyszivárgó

A lejtős felszínű területeken (pl. domb- és völgyoldalak) állandóan egy irányban (többnyire lejtésirányban) migráló talajvizek és szivárgó vizek elleni teljes körű, komplex védelmet biztosítja, de természetesen csak akkor, ha a felszíntől kellő mélységig (ideális esetben a relatíve vízzáró rétegig) készül. A függőleges lemez (függöny) jellegű dréntest szélessége a nagyobb mélységek esetében elérheti az 1,5–2 m-t is (8b. ábra).

Árokszivárgó

Árkos jellegű geometriával kialakított szivárgó. Általában a nagyobb rézsűk vagy támfalak stabilitásának biztosítását szolgálja, s azokkal párhuzamosan építik. Ha a rézsű vagy a támfal tetejének közelében (de mindig a csúszólapon kívül) készül, akkor övszivárgónak, ha a rézsű vagy a támfal lábánál készül, akkor talpszivárgónak nevezik (8c. ábra).

Csúszólap: Az elmozduló földtömeget határoló sík, görbe vagy összetett törési felület, melynek mentén a talajban keletkező belső feszültségek átlépik a talaj nyírószilárdságát, ezért az érintett lokális talajtömeg e felület mentén – többé-kevésbé egyben maradó tömbként – elmozdul a nyugalomban maradó globális földtömeghez képest.

Talajstabilizáló szivárgó-, szárító- és támasztóbordák

A mozgásveszélyes lejtőkön vagy rézsűkön részint megelőzőként, részint a már kialakult talajmozgások esetén azok helyreállításához kapcsolódóan épülnek. Feladatuk egyrészt az altalaj átázását okozó vizek megcsapolása, elvezetése és ezáltal a talajtömegek kiszárítása, másrészt a mozgásra hajlamos talajrétegek megtámasztása, stabilizálása. Kialakításuk csoportosan, egymástól néhányszor tíz m-es távolságra történik, a lejtő irányával párhuzamosan és a felszín közeléből indulóan olyan mélységig, hogy folyásszintük a már kialakult vagy a későbbiekben lehetséges csúszólap alá kerüljön. Szélességük általában 2–3 m közötti.

Vízszint- és/vagy nyomáscsökkentő szivárgó

Kialakításukra az olyan speciális esetekben kerül sor, amikor a víztelenítendő réteg térbeli helyzete (vastagsága, dőlése, mélysége, kiterjedése) és anyaga, vízvezető képessége is jól ismert, de az egyéb körülmények miatt (pl. mélységi helyzete, meglévő vagy tervezett felszíni beépítettség, domborzati viszonyok) miatt más megoldás nem alkalmazható. Ezek általában eredményesnek bizonyulnak a viszonylag mélyen elhelyezkedő, de lokális kiterjedésű, lencses megjelenésű vagy a nagy kiterjedésű, de vékony víztartó/vízvezető rétegek esetén. Feladatuk a vízkészlet lecsapolása, illetve a víz szintjének és/vagy nyomásának csökkentése. Általában mély hely-

zetük miatt mélydréneknek, de ha kifejezetten egy-egy lokális kiterjedésű és jól lehatárolható talajkörnyezet víztelenítést szolgálja, céldréneknek is nevezik.

Egyik változatuk a gerendaszivárgó vagy szivárgó csáp, mely mélységtől függetlenül területi és helyi védelemre egyaránt alkalmazható. Elkészítése általában egy aknából indított és irányított fúrással vagy csősajtólással (hossza több tíz m lehet) elkészített kör keresztmetszetű ($D \approx 0,5\text{--}0,8$ m) drén kialakításával történik (8d. ábra).

A felszínhez közeli elhelyezés esetében az esetleg több száz m-es hosszúságban megépített szekrényszivárgó is alkalmas megoldás lehet. Ez lényegét tekintve olyan részleges árokszivárgó, melyet csak a felszín alatti néhány méterig építenek meg, fölötté hagyományos földvisszatöltés készül.

Függőleges drénezés

A vízzel telített finomszemcsés (iszap és agyag) talajokra történő építés (pl. út- és vasúti töltések, tárolósilók) esetében az alacsony vízvezető képességből eredő viszonylag hosszú konszolidációs idő okozhat problémákat. A terhelés által érintett talajtömegben a vízelszívás sebessége, s ezáltal a konszolidációs idő jelentősen csökkenthető a függőleges drénezéssel. A konszolidációs időt néha már az alapozást segítő mélytömörítéses talajstabilizációval (pl. kavicsölöpök), de legtöbbször a geotextília csíkok talajba sajtolásával végzett függőleges (legtöbbször 5–15 m-es mélységig történő) szalagdrénezéssel csökkenthetjük.

Építmények körüli vízlevezető szivárgó rendszerek

Az esetek döntő részében a különböző dréntesteket a talajszint alatt kialakított és különböző szárazsági és/vagy stabilitási követelményeket támasztó létesítmények (pl. épületek pincéi, alagutak, támasztó szerkezetek) víz elleni védelme céljából készítik. Ezek anyagukat tekintve készülhetnek az általában 0,4–0,6 m vastagsággal durvaszemcsés talajokból megépített hagyományos szivárgótesként vagy az előre gyártott és szerelt jellegű műanyag felületszivárgókból egyaránt. Elhelyezésüket, funkciójukat tekintve leggyakrabban hátszivárgókat (pl. ideiglenes vagy végleges, függőleges, szabadon álló megtámasztó szerkezetek, támfalak mögé), oldalszivárgókat (pl. épületek pincetereinek oldalfalai mellé) és lemez- vagy paplanszivárgókat (pl. épületek pincetereinek padlólemeze alá) építenek (8e. ábra).

Szivárgó/szikkasztó kút vagy kútsor

Ritkán ugyan, de előfordulhat, hogy a felszínhez közeli szivárgó vizeket vagy talajvizet a vízzáró réteg alatti mélyebb rétegek felé kell elvezetni, gyűjtés vagy éppen elszikkasztás céljából. Ilyenkor a felső víztartó réteget (szikkasztás esetén az alatta lévő vízzáró réteget is) ejtőkutakkal átfúrva, a vizet mélyebbre vezetik. A kutak fenékén összegyűlt vizet azután onnan elvezetik (általában a kutak fenékszintjét összekötő gerendaszivárgóval vagy szivárgó csáppal), vagy ott helyben elszikkasztják (8f. ábra).

3.5.7. Földfelszíni, nyitott munkaterek

A földfelszín felől megnyitott munkaterek (vagyis az olyan gödrök, árkok és aknák, melyekben valamilyen építési tevékenység folyik) kialakítása a geotechnika

leggyakoribb alkalmazási területeinek egyike, mely részfeladata lehet a különböző közművek, műtárgyak és az alapozási szerkezetek építésének egyaránt. A munkaterek kialakítása jellemzően ideiglenes jelleggel (vagyis legfeljebb 2 éves időtartamra) történik, mivel a szerkezetépítést követően azokat megszüntetik, visszatöltik. Minden esetben alapkövetelmény azonban, hogy a kialakított munkatér oldalainak és fenéksíkjának geometriai jellemzői és az oldalak stabilitása a munkavégzés ideje alatt mindvégig biztosított legyen. Nem minden esetben ugyan, de – ha abban emberi munkavégzés, szerkezetépítés történik, akkor mindenképp – a munkatér szárazon tartásáról is gondoskodni kell.

A beruházások geotechnikai előkészítése során nem csak a létesítmény tervezésére kell gondolni, de figyelembe kell venni annak építése, munkatérének határolása és megtámasztása, valamint víztelenítése során várható geotechnikai hatásterület kiterjedését is. Vagyis nem csak a létesítmény helyén, hanem az előbb említett geotechnikai feladattal érintett hatásterületen is vizsgálni kell a talajadottságokat.

Munkaterek ideiglenes határolása és megtámasztása

A munkaterek oldalai az építési–műszaki körülményektől és a geotechnikai adottságoktól függően lehetnek függőlegesek (partfal) vagy ferde hajlásúak (rézsű), s állhatnak szabadon (vagyis megtámasztás nélkül), de alkalmazhatnak különböző ideiglenes megtámasztó szerkezeteket is. Egységes követelmény azonban, hogy a munkatér nyitvatartásának ideje alatt (a tapasztalat szerint a szokásos körülmények között még a nagyberuházások esetében sem haladja meg a 2 évet) a várható külső és belső hatásokkal szemben a munkatér oldalainak stabilitása biztosított legyen. Ez esetben a megtámasztást ideiglenes szerkezetként méretezik. Amennyiben a munkatert eleve 2 évnél hosszabb ideig akarják nyitva tartani, akkor már végleges szerkezetként kell méretezni. Ha egy ideiglenes szerkezettel megtámasztott munkatér nyitvatartására – valamilyen előre nem látott ok miatt – 2 éven túl is szükség van, akkor a megtámasztó szerkezetek felülvizsgálata és esetleges megerősítése, átépítése szükséges. Általános követelmény, hogy a határolás módjának meghatározásakor és a megtámasztó szerkezetek méretezésekor a földnyomásokon kívül az egyéb külső járulékos terheket (pl. szomszédos alapok, gépek, berendezések), valamint ezek és a megtámasztó szerkezet közötti kölcsönhatásokat is figyelembe kell venni.

Munkaterek víztelenítése

A munkaterek víztelenítési módjának kiválasztása során az altalaj hidraulikai sajátosságain (pl. vízvezető képesség, folyósodási hajlam) kívül a környezeti adottságokat (pl. beépítettség, közművek helyzete) és a víztelenítés lehetséges környezeti hatásait (pl. tömörödés, utólagos süllyedések) is számításba kell venni. A víztelenítésre vonatkozóan – a talaj hidraulikai tulajdonságainak, valamint a munkatérben megkívánt depresszió (a külső nyugalmi és a belső leszívott vízszintek különbsége) nagyságának függvényében – számos eljárás ismert, melyek közül a körülmények ismeretében (pl. kivitelezői felkészültség, idő- és költségtényezők) választható ki az optimális megoldás.

Megjegyzés. A szivárgási vizsgálatok és számítások szokásosnál nagyobb bizonytalansága, valamint annak környezeti hatásai miatt az ilyen esetekben a geo-

technikai és a környezeti adottságok pontos feltérképezése elengedhetetlen. Ezen ismeretek és a kivitelezési munkák egyéb műszaki igényeinek figyelembe vételével pedig Víztelenítési Keretterv elkészítése szükséges.

3.5.8. Végleges és ideiglenes földmegtámasztó szerkezetek (tám- és bélésfalak, dúcolatok)

Támfal: A feltöltések földanyagát megtámasztó végleges építmény.

Bélésfal: A bevágások földanyagát megtámasztó végleges építmény.

Dúcolat: A munkaterek (árkok, gödrök, aknák) függőlegesen vagy közel függőlegesen földfalát megtámasztó ideiglenes építmény.

A végleges földmegtámasztó szerkezetekre a továbbiakban az egyszerűség kedvéért a közbeszédben elterjedt *támfal* elnevezést használjuk. Készülhetnek egyszerű súlytámfalként (ha stabilitását a súlya biztosítja) vagy szögtámfalként (ha stabilitását a talpát leterhelő földtömeg biztosítja), esetleg homlok- vagy kéregfalként (ha stabilitását a megtámasztott földtömegben elhelyezett vagy ott kialakított lehorogonyzó elemek biztosítják), de esetenként lehetnek összetett szerkezetűek is. Magasságuk általában a 0,5–15 m, vastagságuk a 0,1–3 m között változhat. Anyagukat tekintve általában fából (pl. rönktámfal), előregyártott vb. elemekből (pl. növény-támfal) vagy zúzottkővel kitöltött acélháló-kosarokból (pl. gabiontámfal), természetköből (pl. kőtámfal) épülnek, de kialakíthatók monolit vb. szerkezetként (pl. vb. támfal), talajjal kitöltött elemekből (pl. máglyafal), torkrétozással (pl. löttbeton kéregfal) és talajból (pl. vasalt talajtámfal) is. Bárhogyan is készüljenek, építésüknél a lokális (kibillenés, elcsúszás, talp alatti talajtörés elleni) stabilitásukat és a globális (vagyis a támfalat is magába foglaló rézsű- vagy lejtő elcsúszással szembeni) állékonyságukat egyaránt biztosítani kell.

Az ideiglenes *dúcolatok* általában a vízszintesen vagy függőlegesen elhelyezett és hízagosan vagy zárt sorúan kialakított, fa vagy fém pallókból, illetve táblákból, és az ezeket egymáshoz kitámasztó fa vagy fém dúcelemekből (pl. fagerenda, acélcső, acél keret) állnak. A pallók vagy táblák helyett előre levert szádlemezeket, a kitámasztás helyett pedig kihorgonyozást is alkalmazhatnak. Az ideiglenes földmegtámasztó szerkezetek egyéb speciális kialakítással is készülhetnek, ilyen például a manapság gyakran alkalmazott szegezett, löttbetonos acélháló, illetve az előre levert acél I tartók közé beépített pallósor (Siemens-dúcolat) is.

3.5.9. Alapozások

Az alapozás a geotechnika valószínűleg legrégebbi és legelterjedtebb alkalmazási területe. Ma már a legváltozatosabb építési technológiával, méretekkel és anyagokból, sokféle (a talajadottságokat, a környezeti kívánalmakat és a műszaki igényeket egyaránt kielégítő) alapozási szerkezet építhető. A legközismertebbek a síkalapok, a mélyített síkalapok, a mélyalapok, valamint a talajerősítési eljárásokkal készített alapok. Az alapok síkrajzi mérete a 0,15–0,2 m-től (pl. mikrocölöp) a több tíz m-ig (pl. lemezalap) terjedhet. Formájuk lehet álló vagy fekvő hasáb, lemez, henger vagy kúp egyaránt. Ugyanígy a mélységük is a 0,5–0,8 m-től a több tíz m-ig változhat. Készülhetnek fagerendából, téglából, kőből, úsztatott kőbetonból, csömöszölt betonból, vasbetonból, de akár műanyagból vagy fémből is. Jellemzően helyszíni mo-

nolit szerkezetként készülnek, de lehetnek részlegesen vagy teljesen előre gyártottak is. Alapkövetelmény azonban, hogy az alapozási szerkezetek tervezésekor nem csak az altalaj és az alapok szilárdságát (talajtörés, alaptörés), hanem az alapok relatív és abszolút süllyedéseinek megengedhető értékeit is figyelembe venni.

3.5.10. Melléépítések és ráépítések

Főként a városias, zárt sorú beépítésű vagy az egyéb okokból helyhiányos területek egyik jellegzetessége, hogy a hasznosítható területek növelése csak közvetlen melléépítéssel (pl. foghíjtelkek) vagy újabb szint(ek) ráépítésével oldható meg. Az ilyen esetekben az épület- és közműkarok is nagyobb számban jelentkeznek a szokásosnál. Ebből következően tehát az általában szokásos geotechnikai feladatok a geotechnikai hatásterületen belüli építmények állapotfelmérésével, az érintett épületek alapjainak feltárásával és azok terhelhetőségének, többlet süllyedéseinek meghatározásával, továbbá az alapozási, illetve az alapok utólagos megerősítési lehetőségeinek részletes vizsgálatával, valamint az építés alatti megfigyelési, felügyeleti és ellenőrzési feladatok (pl. a szerkezetek vízszintes és függőleges elmozdulásainak mérése) meghatározásával és elvégzésével bővülnek.

3.5.11. Földfelszín alatti, zárt munkateretek

A földfelszín alatti zárt terek kialakítása a geotechnikai, mérnökgeológiai feladatok egyik speciális, már inkább a bányaműveléssel határos területe. Míg általában felszín felől megnyitott munkatereteket alakítunk ki, s ezt döntően talajkörnyezetben és hagyományos építési módszerekkel tesszük, addig a föld felszíne alatti zárt tereket többnyire kőzetkörnyezetben és bányászati módszereket alkalmazva alakítunk ki. A geotechnikusok szakmai felkészültsége és rutinja sokszor már nem elegendő e feladatok megoldásához, ezért – főként a kőzetkörnyezetben végzett munkák esetében – a kőzetmechanikában, építésföldtanban és a bányászatban járatos szakemberek (pl. bányamérnök, alagútépítő mérnök) segítségére is szükség lehet.

Alagutak, lejtaknák és függőleges aknák

Nem csak a bányászati tevékenység során, de néha a közlekedési (pl. út, vasút, metró) vagy energiatermelési (pl. vízerőművek) létesítmények kialakítása során is mélyen a felszín alatt vagy a hegyek mélyén elhelyezkedő zárt terek építésére van szükség. Az ilyen esetekben közel vízszintes alagutak (pl. közúti vagy vasúti alagút), vagy ferde lejtaknák (pl. vízerőművek, metró mozgólépcső lejtaknája), esetleg függőleges aknák (pl. metró szellőző, légakna) készülnek. Ezek a jellemzően néhány méteres magasságú és szélességű járatok a néhányszor tíz métertől a néhányszor ezer méterig terjedő hosszúsággal létesülnek, a funkcióhoz, építési technológiához és a környezeti adottságokhoz igazodó keresztmetszettel (pl. négyszög, kör, ellipszis).

Föld alatti terek (tárolóterek és pincék)

Ezeket zömmel az egyéb (nem geotechnikai feladatokhoz kapcsolódó) építményekkel, mint pl. épületekkel együtt, általában azok alatt alakítják ki. Ám az esetek egy részében, amikor valamilyen egyéb ok miatt relatíve nagy méretű és/vagy nagy

mélységű terekre (pl. radioaktív hulladék tároló) van szükség, akkor az ilyen igényeket az előbb (lásd az alagutaknál) említett létesítményekhez hasonló föld alatti zárt terek kialakításával szolgálhatjuk ki. Általában a néhány méteres magassághoz képest jelentősebb (néhányszor tíz esetleg száz méteres) szélességű és hosszúságú termek formájában készülnek (pl. víztározó), de épülhetnek egymás melletti vágatok rendszereként (pl. borospince) is alagutas kialakítással.

Biztosítás (megtámasztás)

Vágot: A földben vagy kőzetben bányászati módszerekkel, rendszerint járható keresztmetszettel kialakított járat.

Főte: A vágatot felülről határoló, a vágat mennyezetét alkotó felület.

Talp: A vágatot alulról határoló, a vágat járósíkját (padozatát) alkotó felület.

A földfelszín alatti zárt terek oldalfala megtámasztásának oka a földfelszíni nyitott munkateretekhez hasonlatos, ám annál bonyolultabb feladat. Az ilyen esetekben ugyanis nem csak a vágatok oldalfalainak, hanem főte- és a talpsíkjainak megtámasztásával is foglalkozni kell, így ezek minden tekintetben igazi térbeli feladatok, melyek megoldását az esetleges felszíni beépítettség csak tovább nehezíti. Az üregnyitás ugyanis minden esetben – még a leggondosabb megtámasztás esetében is – felszíni süllyedéseket („horpaképződést”) eredményez, mely az üregnyitás feletti létesítmények károsodását okozhatja.

Víztelenítés, szigetelés

A földfelszín alatt megnyitott tereket nem csak a beomlás ellen, hanem az altalajban vagy kőzetekben lévő víz behatolása ellen is védeni kell. Ez folyamatos víztelenítéssel vagy szigeteléssel érhető el.

A víztelenítés egyik megoldásként megengedjük ugyan, hogy a víz bejusson a megnyitott belső térbe, de gondoskodunk annak folyamatos összegyűjtéséről és a felszínre történő kiszivattyúzásáról. A másik megoldást az jelenti, hogy a megnyitott belső tér körüli talaj- vagy kőzettömegben lévő vízszintet csökkentjük le olyan mértékben, hogy a talajban, illetve a kőzetben lévő víz már nem tud a vágatba befolyani. Az intenzív víztelenítés következményeként a vágatnyitásnál már említett felszín-süllyedési problémák is jelentkezhetnek.

A szigetelés során olyan megoldást (vízzárást) alkalmazunk, mely meggátolja, hogy a megnyitott belső teret körülvevő víz behatolhasson. Ez történhet a vágat vagy a föld alatti tér körüli talaj- vagy kőzetzóna vízzáró kiinjektálásával, illetve a megnyitott tér külső, vagy belső felületének vízzáró (pl. bitumenes, illetve acéllemezes) burkolásával, szigetelésével.

3.5.12. Közúti, vasúti, légi és vízi közlekedés építményei és műtárgyai

A közúti, vasúti, légi és vízi közlekedés legfontosabb építményei és műtárgyai az alábbiak:

- út- és térburkolatok, kifutópályák,
- vasúti pályák,
- hidak és átereszek,
- alagutak,

- felszíni csatornák,
- kikötők, zsilipek, mederműtárgyak.

Út- és térburkolatok, kifutópályák

Ezen építmények nem csak a közúti közlekedés fő létesítményeit, valamint a légi közlekedés földi bázisát képezik, hanem ezen közlekedési eszközök ideiglenes elhelyezését, tárolását, javítását szolgáló építmények (pl. parkolóterek, garázsok, hangárok) fontos részeit is képezik. Sajátosságuk, hogy relatíve vékony, lemez jellegű kialakításuk mellett jelentős nagyságú pontszerű, ismétlődő (dinamikus jellegű) terheléseket kell jelentősebb károsodás nélkül hordaniuk, ellenállva az időjárás károsító hatásainak is. Az utakra jellemző továbbá, hogy a jelentős vonal menti kiterjedésük miatt mindezen kritériumokat a legváltozatosabb geotechnikai, környezeti és éghajlati viszonyok között kell hosszú ideig – viszonylag kis alakváltozások és a szerkezeti épség megőrzése mellett – teljesíteni.

A burkolatok általában szálerősítésű beton vagy vasbeton, esetenként beton térkő, terméskő vagy aszfalt anyagúak. Általános rétegrendjük fentről lefelé: *burkolat* → *ágyazat* → *védőréteg* → *földmű* → *altalaj*, s ezek közül – ideális körülmények között – legfeljebb a védőréteg (szerepe pl. a fagyvédelem, vízelvezetés) és a földmű (feltöltés) hiányozhat. Geotechnikai szempontból az ágyazat, a védőréteg és a földmű kialakítása igényel figyelmet.

Vasúti pályák

A nagy statikus és dinamikus terhelések melletti kötött pályás kialakítás és az acél szerkezetű kapcsolatok (sínzsal–kerék) miatt nem csak az építés, hanem a fenntartás során is folyamatosan biztosítani kell a sínpálya szigorú geometriai (sínzsalak távolsága, iránytartás, lejtések és magassági eltérések) követelményeit.

Általános rétegrendjük fentről lefelé: *sínzsal* → *alj* → *ágyazat* → *földmű* → *altalaj*, s ezek közül – ideális körülmények között – legfeljebb a földmű (feltöltés vagy bevágás) hiányozhat. A sajátosságokat, jellemzőket és az egyéb követelményeket tekintve az utaknál leírtak vehetők figyelembe.

Hidak és átereszek

A közutak és vasutak jellemző műtárgyai a hidak, melyek a völgyek, szakadékok, folyóvizek, illetve más közutak vagy vasutak feletti átvezetést szolgálják. Az egyébként is jelentős nagyságú és rendszeresen jelentkező közlekedési terheken felül időszakosan igen nagy természeti erőhatásokat (pl. erős széllekeések, földrengés, árvizek) is károsodás nélkül viselniük kell. Geotechnikai szempontból a támaszok (pillérek és hídfők) alapozása jelent feladatot, mivel ezek stabilitását – mint az utak és vasutak esetében is – a legváltozatosabb geotechnikai, környezeti és éghajlati viszonyok között kell hosszú ideig biztosítani.

Az áteresz fogalmilag elsősorban a felszíni vizeket vasúti, vagy közúti töltésen „áteresztő” „hídszerkezet”. Általános megfogalmazás szerint a két métenél kisebb nyílású híd az áteresz.

Alagutak

Az utak és vasutak további jellemző műtárgyai az alagutak. Ezek a hegytömege-

ken keresztül, illetve folyóvizek alatti átvezetést szolgálják, illetve városi területen a felszíni közlekedéstől független közlekedési hálózat létrehozását teszik lehetővé. Hasonlóan a hidakhoz, az alagutaknak jelentős nagyságú és rendszeresen jelentkező közlekedési terheket, a hidaktól eltérően a kőzetnek, amelyben az alagút épült, nyomását kell felvenniük. Geotechnikai szempontból az alagútfalazatok szilárdsági méretezése, valamint az alagút víztelenítése jelent feladatot. Az alagutak rendszerint igen változatos geotechnikai viszonyok között létesülnek.

Felszíni csatornák

A felszíni csatornák közé főként a mezőgazdasági vízellátás (öntözés), a nagyobb területekre kiterjedő vízrendezési munkák (vízelvezetés), vagy a közlekedés (hajózás) igényeinek kielégítését szolgáló mesterséges vízmedrek sorolhatók. Az egyéb kisebb, alárendelt jelentőségű csatornák (pl. megkerülő árapasztó csatorna, átkötő csatorna) többnyire a nagyobb vízügyi létesítmények kisebb, kiegészítő részeiként foghatók fel. Geotechnikai szempontból az általános és legfontosabb követelmény a partoldalak állékonyságának és a meder szükséges nagyságú fenékesésének (vagyis a víz gravitációs áramlásának) biztosítása. Egyes esetekben azonban más speciális követelményt (pl. öntözésnél a meder vízzárását) is ki kell elégíteni.

Kikötők, zsilipek, mederműtárgyak

Az összefoglalóan vízépítési műtárgyaknak nevezett építmények széles körébe tartoznak mindazok a műszaki létesítmények, amelyek valamilyen vízgazdálkodási (árvízvédelmi, folyószabályozási, vízrendezési, víztárolási, vízellátási, vízhasznosítási, szennyvízkezelési) célt szolgálnak, s működésükben jelentős szerepe van a hidraulikai tényezőknek is. A változatos feladatot ellátó vízépítési műtárgyak leggyakoribb típusai a vízszint szabályozásának műtárgyai (pl. duzzasztóművek, árvízkapuk, árapasztó és egyéb zsilipek, tiltók), a víz tározását szolgáló műtárgyak (pl. völgyzárógáták, víztornyok, medencék, aknák, tartályok), a vízi közlekedés műtárgyai (pl. hajózsilipek, hajóemelők, hallépcsők, kikötők), az energiaátalakítás műtárgyai (pl. szivattyútelepek, vízerőtelepek, kiegyenlítő medencék), az energiamegtörő, sebességcsökkentő műtárgyak (pl. surrantók, energiatörő medencék, utófenekek), a vízkivételi művek (pl. artézi- és csökutak, csáposkutak, forrásfoglaló művek), a vízelosztó és vízmérő művek (pl. szifonok, zsilipek és vízmérő berendezések), a keresztező műtárgyak (pl. átereszek, bújtatók, hidak), a mederstabilitást biztosító műtárgyak (torkolati és a partvédő művek, partfalak). A vízépítési műtárgyak általában a különböző jellegű és méretű vízfolyásokhoz (a kisebb és időszakos vízfolyásoktól – pl. vízmosások – a nagyobb folyamokig) köthetők, de szép számmal épülnek a nagyobb állóvizek (tavak) partján, s esetenként azoktól távol is. Geotechnikai szempontból a földnyomáson kívül figyelembe kell venni a közvetlen víznyomást, a felhajtóerőt, a jég- és fagyhatásokat, valamint az áramló víz hatásait (pl. hordalékszállítás, hidraulikus talajtörés, kimosódás, roskadás) is.

3.5.13. Közművek és műtárgyai

A közművek és műtárgyaik közé jellemzően az alábbiakat soroljuk: vezetékek, aknák, medencék, közműalagutak és csőhidak

Közmű vezetékek

A vezetékek keresztmetszeti méretei a néhány cm-től a néhány m-ig változhatnak. A jellemzően néhány m-es mélységben húzódó vezetékek az utakhoz és vasutakhoz hasonlóan vonalas létesítmények, vagyis kialakításuknál igen változatos geotechnikai és környezeti adottságokra kell számítani. Mivel súlyuk minimális, ezért általában a talaj teherbírása (kivéve a tőzeges-lápos területek lágy talajait) ha nem is elhanyagolható, de alárendelt jelentőségű kérdés. Ugyanakkor a viszonylag kis merevség miatt a talajmozgásokra (pl. lejtőmozgások, térfogatváltozás, süllyedés, roskadás) nagyon érzékenyen reagálnak. Az ilyen mozgások károsító hatásai (vagyis a repedések, törések, szakadások) az erős és rugalmas csőanyagokkal (acél, műanyag), csőkialakítással (csőlíra, kompenzátor) vagy a viszonylag nagy szögelfordulást is megengedő rugalmas csőkapcsolatokkal, hegesztéssel, valamint a jól tömörített vezeték körüli ágyazat kialakításával megelőzhetők.

A közművek műtárgyai: aknák, medencék, közműalagutak és csőhidak

A közművekhez legtöbbször különböző funkciójú (pl. elosztás, gyűjtés, szabályozás, irányváltás, ellenőrzés, tisztítás, karbantartás, javítás) szerelvényeket és egyéb segédberendezéseket tartalmazó aknák és medencék tartoznak, melyeket a vezetékek mentén, egymástól eltérő (de általában viszonylag nagy) távolságokban helyeznek el. Ezeket ma már többnyire vasbetonból építik, s méretük az 1–2 m-től a néhányszor tíz m-ig terjedhet. Kialakításuknál lényegében a vezetékek esetében már említett geotechnikai szempontokat kell figyelembe venni, azzal a könnyebbséggel, hogy ezek merevsége már kellően nagy ahhoz, hogy ne okozon problémákat.

Ha azt a körülmények megkívánják, az egymás mellett, csoportosan vezetett közművek (csőcsorda) esetében gyakran alkalmazzák a földben kialakított közműalagutak vagy közműfolyosók, illetve a légvezetésű csőhidas kialakítást, mely lényegesen leegyszerűsíti a vezetékek felügyeletét és karbantartását.

3.5.14. Környezeti geotechnika

A geotechnikai és az építésföldtan fiatal, csak az utóbbi 2–3 évtizedben elterjedt ága a környezetvédelem és a környezetrendezés. A környezetvédelem elterjedését egyrészt az éghajlati, és a biológiai környezeti tényezők érezhető mértékű megváltozása, másrészt az utóbbi évtizedekben ugrásszerűen megnövekvő kommunális hulladékok és ipari szennyezőanyagok korszerű kezelésének hiánya és az ebből eredő szennyeződések károsító hatásainak növekedése, harmadrészt az ezirányú tudományos ismereteink és technikai lehetőségeink bővülése idézte elő. A környezetrendezés előretörését egyfelől az előbb említett körülmények, másfelől a manapság már rendszeresen visszatérően kialakuló aszályok és hatalmas esőzések, árvizek, belvizek, valamint az ezekkel együtt járó kártételek (pl. kiszáradás, talajlepusztulás, vízelöntések) elleni védekezés szükségessége eredményezte.

Szennyeződések lokalizálása és tisztítása

A környezeti geotechnika feladata a szennyezett altalajú területek feltárása és lokalizálása (vagyis a szennyezett talajtömegek területi és mélységi kiterjedésének, valamint a szennyezőanyagok vegyi összetételének és koncentrációjának meghatározása), továbbá a mentesítés (ártalmatlanítás) módjának, technológiájának (pl.

helyszíni közömbösítés vagy kitermelés, elszállítás és végleges deponálás vagy utókezelés) meghatározása és elvégzése. A feladat megoldása szerteágazó ismereteket igényel, ezért a problémák megoldásához több tudományág és mérnöki szakág szakembereinek összefogása szükséges. A klasszikus geotechnikai és építésföldtani feladatot a feltárások elkészítése és a szükséges talajfizikai, hidraulikai paraméterek (főleg a rétegek helyzete, hidraulikai jellemzői és adszorpciós tulajdonságai, valamint a felszín alatti vizek áramlási viszonyai) meghatározása képezi, míg a többi munkarészben már inkább a kémia, a biológia és a technológia veszi át a vezető szerepet.

Hulladéklerakók és depóniaépítés

A kommunális és ipari hulladékok ideiglenes elhelyezését (gyűjtését) szolgáló hulladéklerakók és a már nem hasznosítható kommunális szemét és egyéb ipari szennyezőanyagok végleges elhelyezését szolgáló depóniák kialakítása lényegében az előbbieken leírtak szerint történik, csak épp ellenkező értelemben. Vagyis ez esetben nem a már meglévő szennyeződést kell felkutatni, megismerni és ártalmatlanítani, hanem a már ismert minőségű és mennyiségű szennyeződés lerakására alkalmas helyet kell megkeresni és annak biztonságos befogadóként történő kialakítását kell elvégezni. A geotechnika szempontjából tehát lényegében ugyanazon feladatok végrehajtására van szükség.

Földhő hasznosítása és tárolása

A hőszivattyú alapelvét már régóta ismerjük, a hőszivattyúkat fordított működésű hőerőgépeknek lehet tekinteni; vagy olyan hűtőgépeknek, amelyben nem a hűtött, hanem a melegített oldalán használjuk fel a módosított hőtartalmú levegőt. A hőszivattyú elvén működnek az újabban kifejlesztett, *földhőt hasznosító technológiák*, amelyekben a Föld hőjét hasznosítják. Ehhez 10–150 m mélységig lenyúló kútpárt (az egyik kitermeli, a másik visszasajtolja a vizet), vagy zárt szondacsövet, esetleg a felszín alatt 2–5 m mélységben talajhő kollektort (csőkígyót) helyeznek el. A földhő kienyeréséhez a helyi rétegek és a felszín alatti vizek típusának és helyzetének ismeretére is szükség van, melyek csak geotechnikai és/vagy mérnökgeológiai módszerekkel deríthetők fel.

A földhő kihasználásának legegyszerűbb módszere a feltörő meleg vagy forró hévizek hasznosítása, ám erre csak igen kevés helyen van lehetőség. Ugyanakkor a *föld alatti hőtárolás* lehetőségeinek kiaknázásával ez már szinte mindenhol megvalósítható. Hazánkban például a 2000–3000 m mélységben lévő repedezett, de mélységi vizeket nem tartalmazó kőzetek felhasználásával. Az ezekbe beszajtott tiszta víz felmelegszik, majd a tárolóból később a szükséges időben és ütemben – mint hévíz – megújuló energiaforrásként ismét visszanyerhető. Ez a technológia már a szűken vett geotechnika alkalmazási körén kívül esik, s leginkább mélyfúrási, földtani és geofizikai ismereteket igényel.

Erózióvédelem

Geotechnikai szempontból a vízerózió okozza a legtöbb problémát, a szélerózió szinte elhanyagolható mértékű. Helyenként – főleg a meredek, nagy esésű és homokos–iszapos talajokkal borított felszíneken – még a kisebb esőzések alkalmával is,

de a manapság egyre gyakrabban előforduló heves záporok és felhőszakadások alkalmával a már szinte mindenhol fellépő erős felszíni vízlefolyás hatására – a felszíni talajok összetételétől és a lejtés nagyságától függően – jelentős mértékű felszíni talajleomosódás (areális erózió) vagy árkos talajkimosódás (lineáris erózió) alakul ki. A beépített területek egyre növekvő kiterjedése (urbanizáció) miatt ez napjainkban már nem csak a felszíni termőréteg leomosódásából eredő mezőgazdasági károkat okoz, hanem egyre inkább veszélyezteti a lejtőoldalak állékonyságát és építményeink épségét és használhatóságát is. A szükséges geotechnikai előkészítéssel és szakszerű beavatkozásokkal (pl. korszerű földhasznosítási és földművelési módszerek, szakszerű területrendezés és vízrendezés) ezek a problémák nagyrészt megelőzhetők, illetve orvosolhatók.

Vízrendezés és vízgazdálkodás

A már említett kedvezőtlen csapadékviszonyok, az egyre növekvő beépítések és a mezőgazdasági, környezetvédelmi követelmények miatt egyre inkább előtérbe kerül a vízrendezés és vízgazdálkodás kérdésköre. Ezek feladata alapvetően a felszíni és a felszín alatti vizek szintjének, mennyiségének és mozgásának átgondolt, szakszerű irányítása, visszatartása, szabályozása. Céljuk ugyan az emberi igények kiszolgálása, de eredményesen csak akkor végezhetők, ha a természeti környezet sajátosságait is figyelembe vesszük. Ide sorolhatók az ipari–mezőgazdasági jellegű (pl. víz- és energiaigények kielégítése, melioráció), környezetvédelmi jellegű (pl. árvíz és belvíz elleni védekezés, vízszintek szabályozása) és az egyéb társadalmi célokot szolgáló (pl. ivóvízellátás, csapadékvíz-elvezetés) beavatkozások. A feladatok komplexitása miatt nem csak geotechnikai előkészítést, de bonyolultabb esetekben hidrogeológiai, hidrológiai és környezetvédelmi ismereteket (esetleg ezek szakembereinek bevonását) is igényel.

4. TALAJOK ÉS KÖZETEK TEREPI ÉS LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA

Ebben a fejezetben a geotechnikai szabványok alkalmazásának alapelveivel, a geotechnikai kategória meghatározásával, a helyszíni és a laboratóriumi geotechnikai vizsgálatok megtervezésével, a talajból és kőzetből történő helyszíni geotechnikai mintavétellel, a talajok és kőzetek terepi (in situ) vizsgálatának leggyakoribb geotechnikai és geofizikai módszereivel, végül pedig a talajok és kőzetek geotechnikai laboratóriumi vizsgálatának leggyakoribb módszereivel foglalkozunk.

4.1. A geotechnikai szabványok alkalmazásának alapelvei

A szabványosítás célja a gazdasági–műszaki–technikai termékek, körülmények és folyamatok (pl. anyagok, eszközök, berendezések, eljárások, megoldások, tevékenységek, szolgáltatások) egységes, nemzetközi rendszerének kialakítása.

Magyarországon a geotechnikai munkákkal kapcsolatos feltárási, vizsgálati, számítási, méretezési, tervezési és dokumentálási alapelveket és tevékenységet a 2000-es évek elejéig az MSZ (Magyar Szabvány), illetve egyes esetekben ennek ágazati kiegészítéseként az ME (Műszaki Előírás) és az MI (Műszaki Irányelv) jelzetű előírások szabályozták. Ezt követően folyamatosan áttértünk az Európai Unió országában használatos szabványok alkalmazására. Ennek eredményeként tehát napjainkban az Európai Unió szabványokkal harmonizált (vagyis honosított) Magyar Szabványokat kell alkalmazni. Ezek jelzete általában MSZ EN (Európai Unió szabvány honosítása), de ezen kívül számos MSZ ISO (nemzetközi szabvány honosítása) és MSZ EN ISO (az Európai Unióban is elfogadott nemzetközi szabvány honosítása) jelzetű előírással is találkozhatunk.

Az említett harmonizációs folyamat eredményeként a geotechnikában 2011. január 1-től kezdődően véglegesen áttértünk az Európai Unió országában már korábban is használatos Eurocode (EC) szabványsorozat alkalmazására, mely egyébként alapvetően a tartószerkezetek tervezését szabályozza. Ezek közül számunkra legfontosabbak a kifejezetten a geotechnikai munkákra vonatkozó Eurocode 7 (EC7) előírások, melyek harmonizált magyarországi megfelelői:

- az MSZ EN 1997-1:2006 (Eurocode 7–1: Geotechnikai tervezés 1. rész. Általános szabályok), mely tartalmazza a geotechnikai szerkezetek tervezésére vonatkozó általános szabályokat,
- az MSZ EN 1997-2:2008 (Eurocode 7–2: Geotechnikai tervezés 2. rész. Geotechnikai vizsgálatok), mely tartalmazza a geotechnikai terepi vizsgálatokra, mintavételezésre és laboratóriumi vizsgálatokra vonatkozó szabályokat.

Ezek tartalmazzák az EC7-hez csatlakozó és az azt kiegészítő más EC és hazai (pl. Nemzeti Alkalmazási Dokumentum) előírások felsorolását is. Az említett szab-

ványok előírásain kívül, a Magyar Mérnöki Kamara (MMK) Geotechnikai Tagozata (GeoT) korábban már közzé tett kiadványaiban tovább részletezte és pontosította a geotechnikai szolgáltatások tartalmi követelményeit, a geotechnikai tevékenységek szabályait, a tervezési munkák eljárásrendjét, a helyszíni vizsgálatok ajánlott mélységét és sűrűségét, a mérnöki munka költségeinek elszámolásának szabályait és a mérnöki munka egyéb körülményeit is.

Az általánosan elfogadott alapelvek szerint:

- A szabványok kötelező alkalmazásának alapelve az, hogy egy adott tervezési, szakértési munka egészét mindig egy adott – és az abban résztvevő felek (megbízó, társtervezők) által közösen kiválasztott – szabványrendszer előírásai szerint kell végezni.
- Az előbb említett és az egész feladatra kötelezően és egységesen alkalmazott szabványrendszer a Magyarországon jelenleg érvényes EC7-től eltérő bármely más szabványrendszer is lehet. Ebben az esetben azonban mindig bizonyítani kell azt is, hogy az EC7-től eltérő eredmények minden esetben a biztonság növekedését szolgálják.

Az előbbi alapelvekből következik, hogy a magyarországi geotechnikai tervezési, szakértési feladatoknál kizárólag az MSZ EN 1997 előírásait kell/érdemes alkalmazni. Az EC7 bevezetésével az eddigi számítási–méretezési–ellenőrzési eljárások elméleti alapjai ugyan szinte alig változtak, ugyanakkor az elnevezések és fogalmak, a biztonsági tényezők alkalmazása, a geotechnikai dokumentumok tartalma, valamint a tevékenységi, illetékességi és felelősségi körök terén alapvető változás állt be.

Az EC7 szabványok következetesen és szigorúan elválasztják egymástól a geotechnikai szakágakon belüli feladatokat és felelősséget egyaránt. Ennek szellemében az egyébként egymással szoros kapcsolatban álló geotechnikai feladatok (helyszíni vizsgálatok és feltárások → laboratóriumi vizsgálatok → talajvizsgálati dokumentum → tervezési vagy szakértési dokumentum) mindegyike egy-egy önálló kompetencia (illetékességi) kört alkotnak, szigorúan meghatározott tartalmi követelményekkel, felelősségi területtel, s a megfelelő képzéshez és engedélyhez kötve.

Említésre érdemes még, hogy az EC7 előírásai csak a tervezéshez szükséges geotechnikai alapadatokat, alapinformációkat és vizsgálati eredményeket szolgáltató Talajvizsgálati Jelentést (a későbbiekben: *TVJ*), illetve az ennek alapján készülő és lényegében már a geotechnikai szerkezetek konkrét terveit tartalmazó egyszerűbb Tervezési Beszámolót (a későbbiekben: *TB*) és a részletesebb Geotechnikai Tervet (a későbbiekben: *GT*) nevesítik. Az EC7 szövegének sorai közül kiolvasható ugyan – s erre az Eurocode értelmezésével és gyakorlati alkalmazásával foglalkozó írások is utalnak –, hogy az előbbi három alapidokumentumon kívül egyes speciális esetekben és speciális igények kielégítésére vagy egyes részfeladatok megoldásával kapcsolatban készíthető még Geotechnikai Adatszolgáltatás (a későbbiekben: *GA*), továbbá Geotechnikai Előtanulmány vagy Geotechnikai Tanulmányterv (a későbbiekben: *GE*), valamint Geotechnikai Szakértői Vélemény (a későbbiekben: *GSZ*) is, mint lehetséges geotechnikai dokumentum, de ezek tartalmi, formai vagy kompetencia követelményeit az EC7 már nem, vagy csak nagy vonalakban rögzíti.

4.2. A geotechnikai kategória meghatározása

Az EC7 előírásai szerint az építmények tervezéséhez szükséges geotechnikai vizsgálatok és dokumentációk típusát, tartalmát és részletességét, valamint a tervezési folyamathoz kapcsolódó tevékenységeket és eljárásokat alapvetően a geotechnikai kategória szabályozza, mely több különböző jellegű tényező eredőjeként határozható meg. Az előkészítési és az engedélyezési fázisban többnyire csak előzetes jelleggel adható meg, de a későbbi tervezési fázisokban már véglegesen eldönthetők. Előfordulhat azonban, hogy a tervezés egy későbbi fázisában olyan körülmények válnak ismeretessé, melyek a korábban meghatározott besorolás megváltoztatását teszik szükségessé. A geotechnikai kategória meghatározása geotechnikai feladat és a vizsgált építmény tervezési–kivitelezési szempontjainak és körülményeinek figyelembe vételével történik, s kétféle módon végezhető el.

Az egyik módszer szerint geotechnikai kategória meghatározása a 2. táblázat segítségével végezhető el a körülmények mérlegelése alapján úgy, hogy a táblázatban megadott szempontok szerinti geotechnikai kategóriák közül a legmagasabb kategória lesz a mértékadó. A táblázatot az EC7 szabvány, illetve [SZEPESHÁZI, 2008], [SZEPESHÁZI, 2010], [MÓCZÁR, 2015], valamint [KECSKÉS–SZOBOSZLAI, 2015] szakkönyvekben szereplő adatok, táblázatok és információk felhasználásával állítottuk össze. A táblázat ugyan meglehetősen részletességgel mutatja be az osztályozási szempontokat, a gyakorlatban azonban ennek rugalmas alkalmazása ajánlott, a tényleges körülmények és a lehetséges geotechnikai veszélyhelyzetek figyelembe vételével és elemzésével.

2. táblázat. Geotechnikai kategóriák meghatározása a körülmények alapján

Körülmények, adottságok	GC-1	GC-2	GC-3
<i>Geotechnikai adottságok mérlegelése</i>			
Rétegződési viszonyok	Kedvező (nincs erősen kompresszibilis, roskadó vagy térfogatváltozó tulajdonságú réteg), a rétegződési viszonyok már jól ismertek és van összehasonlító tapasztalat	Átlagos (nagyjából ismert és/vagy jól feltárható rétegződés)	Kedvezőtlen (erősen térfogatváltozó vagy kompresszibilis altalaj, csúszás vagy roskadásveszély), bonyolult és nehezen feltárható rétegződés
Talajvíz viszonyok	Nincs vagy kismértékű a vízszint változás, nincs vagy elhanyagolható vízborítás várható	Átlagos mértékű vízszint változás, átlagos vízborítás várható	Nagymértékű vízszint változás, bonyolult vízáramlási viszonyok, nagymértékű vízborítás vagy víznyomás kialakulása várható
Csúszásveszély	Nincs	Kicsi, elhanyagolható	Jelentős
Ár- vagy belvízveszély	Nincs	Kicsi, elhanyagolható	Jelentős
Omlás vagy ta-	Nincs	Kicsi, elhanyagolható	Jelentős (omlás- vagy

Körülmények, adottságok	GC-1	GC-2	GC-3
lajbeszakadás lehetősége			roskadásveszély, alábányászottság, alápincézettség vagy karsztos terület)
Élővíz vagy erősen áramló talajvíz hatása	Nincs	Kicsi, elhanyagolható	Jelentős
Talajvizsgálat (feltárás és labor)	Egyszerű feltárások és minősítő jellegű, azonosító laborvizsgálatok	Szokásos, rutinszerű feltárások és laborvizsgálatok	Részletes, speciális feltárások, mérések és speciális laborvizsgálatok
<i>Egyéb környezeti adottságok mérlegelése</i>			
Földrengés veszély	Nincs vagy kicsi	Közepes	Nagy
Tereplejtés	10 % alatt	10–25 % között	25 % felett
<i>Terhelési és szerkezeti adottságok mérlegelése</i>			
Építmény és tartószerkezet	Kisméretű, 1–3 szintes építmény és/vagy kis terhelésű, egyszerű, hagyományos szerkezet	Átlagos méretű, 4–10 szintes építmény és/vagy átlagos terhelésű és bonyolultságú, hagyományos szerkezet	Nagyméretű, 10 szintnél magasabb vagy magas súlypontú (toronyszerű) építmény és/vagy nagy terhelésű, bonyolult vagy újszerű és szokatlan, illetve a külső hatásokra különösen érzékeny szerkezet
Süllyedési érzékenység	Süllyedésre és süllyedési különbségekre nem érzékeny szerkezet	Süllyedésre és süllyedési különbségekre kevésbé vagy átlagosan érzékeny szerkezet	Süllyedésre és süllyedési különbségekre fokozottan érzékeny szerkezet
Alapozás	250 kN alatti terhelésű pilléralapok, 100 kN/fm alatti terhelésű sávalapok, 100 kN/m ² alatti terhelésű lemezalapok	A GC-1 kategóriában jelzettnél nagyobb terhelésű pillér-, sáv- és lemezalapok, illetve 3 MN alatti terhelésű cölöp- vagy résalapok	A GC-2 kategóriában jelzettnél nagyobb terhelésű cölöp- vagy résalapok
<i>Építési körülmények mérlegelése</i>			
Kivitelezési módszer	Rutinszerű, egyszerű építési módszerekkel (pl. kézi szerszámok, kisebb munkagépek)	Szokásos építési módszerekkel és technológiákkal (pl. szokásos munkagépek)	Speciális építési módszerekkel és technológiákkal (pl. speciális munkagépek)

Körülmények, adottságok	GC-1	GC-2	GC-3
Víztelenítés módja	Víztelenítésre nincs szükség, illetve egyszerű nyílt víztartás végezhető	Talajvízszint süllyesztés szükséges, de annak kockázata elhanyagolható	Bonyolult, nem szokványos, ezért kockázatos víztelenítés szükséges
Víztelenítés nagysága	300 m ² -nél kisebb munkatér víztelenítése 1 m-nél kisebb vízszint csökkentéssel	300 m ² -nél kisebb munkatér 1 m-nél nagyobb, illetve 300 m ² -nél nagyobb munkatér víztelenítése 1 m-nél kisebb vízszint csökkentéssel	300 m ² -nél nagyobb munkatér víztelenítése 1 m-nél nagyobb vízszint csökkentéssel
Építés alatti felügyelet módja	Rutinszerű szemrevételezés	Szemrevételezés és szokásos ellenőrző vizsgálatok, mérések	Szakértői felügyelet és folyamatos műszeres megfigyelés vagy speciális mérés
Speciális mélyépítési technológia	Nem alkalmaznak	Már ismert és jól bevált technológiát alkalmaznak	Újszerű vagy bonyolult és kevésbé ismert technológiát alkalmaznak
Munkatér mélysége	Beépítetlen területeken 2 m-nél kisebb mélységű munkaterek	Beépítetlen területeken 2 m-nél mélyebb, illetve beépített területeken 6 m-nél kisebb mélységű munkaterek	Beépített területeken 6 m-nél mélyebb munkaterek
Megtámasztó szerkezetek nagysága	2 m-nél alacsonyabb szerkezetek	2–6 m közötti magasságú szerkezetek	6 m-nél magasabb szerkezetek
Felöltések és bevágások nagysága	2 m-nél alacsonyabb feltöltések és 2 m-nél kisebb mélységű bevágások	2–10 m közötti magasságú feltöltések és 2–15 m közötti mélységű bevágások	10 m-nél magasabb feltöltések és 15 m-nél nagyobb mélységű bevágások
Hidak	Hidak és áthidalások 5 m-es fesztáv alatt	Hidak és áthidalások 5–10 m-es fesztáv között	Hidak és áthidalások 10 m-es fesztáv felett
Felszíni vízrendezés	1 km ² -es vízgyűjtő terület alatt	1–10 km ² -es vízgyűjtő terület között	10 km ² -es vízgyűjtő terület felett
Földalatti műtárgyak általában	<i>(nem értelmezett)</i>	10 m ² -nél kisebb hasznos keresztmetszetű földalatti műtárgyak	10 m ² -nél nagyobb hasznos keresztmetszetű földalatti műtárgyak
Közművek általában	Általában az 1 m-nél kisebb átmérőjű közművek és műtárgyaik	Általában az 1 m-nél nagyobb átmérőjű közművek és műtárgyaik	<i>(nem értelmezett)</i>

Körülmények, adottságok	GC-1	GC-2	GC-3
Utak és vasutak	Sík- és dombvidéki utak és vasutak az autópályák kivételével	Sík- és dombvidéki autópályák, valamint hegyvidéki utak és vasutak az autópályák kivételével	Hegyvidéki autópályák
Tereprendezés és földmunkák	<i>(nem értelmezett)</i>	Tereprendezések általában és a nem veszélyes hulladéktárolók földmunkája	A veszélyes hulladékok tárolóinak földmunkája
Horgonyzások, talajerősítések	<i>(nem értelmezett)</i>	Szokásos talajhorgonyzások és talajerősítések	Speciális talajhorgonyzások és talajerősítések
Töltések és gátak	<i>(nem értelmezett)</i>	Közlekedési töltések és árvízvédelmi gátak	Völgyzáró gátak
Egyéb kivitelezési körülmények	<i>(nem értelmezett)</i>	<i>(nem értelmezett)</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Talajszilárdítások, talajerősítések és talajtámfalak – Földművek és tereprendezett területek felszín alatti víztelenítése, szivárgók építése – Vízépítési műtárgyak – Környezeti szennyeződések lokalizálása és mentesítése – Városi foghíjak beépítése – Alagutak
<i>Kockázatok mérlegelése</i>			
Építési kockázat	Kicsi, elhanyagolható	Közepes, átlagos	Nagy, kivételes
A környezet sérülékenysége	Nem sérülékeny vagy nem veszélyeztetett	Átlagosan sérülékeny vagy kis mértékben veszélyeztetett	Kiemelten sérülékeny vagy nagymértékben veszélyeztetett
Környezeti kölcsönhatások kockázata	Nincs vagy elhanyagolható (vizsgálata nem szükséges)	Átlagos vagy még elfogadható (vizsgálata egyszerű módszerekkel elvégezhető)	Jelentős vagy bonyolult (vizsgálata külön tervezést, megelőzése speciális intézkedést igényel)

Körülmények, adottságok	GC–1	GC–2	GC–3
<i>Egyéb tervezési sajátosságok mérlegelése</i>			
Szükséges tervezői szakértelem	Tervezők általában (geotechnikai szakismeretekkel rendelkező statikus, illetve közmű- vagy mélyépítő tervező)	Geotechnikus szaktervezők általában	Specialista (nagy gyakorlattal rendelkező geotechnikus tervező vagy vezető tervező, illetve szakértő)
Geotechnikai tervezés bonyolultsága	Egyszerű, rutinszerű (szokáson és empiriákon alapuló tervezés, a meglévő tapasztalati adatok vagy analógiákkal már igazolt adatok alapján)	Átlagos, szokásos (rutinszerű vagy próbatelheléssel igazolható számítások alapján)	Bonyolult, speciális (részletes és speciális számítások, elemzések, modellezés és/ vagy megfigyelés alapján)
Meglévő építmények átalakítása, helyreállítása	<i>(nem értelmezett)</i>	Új feladatként a GC–1 kategóriába tartozó építmény átalakítását vagy károsodás utáni helyreállítását kell elvégezni	Új feladatként a GC–2 vagy GC–3 kategóriába tartozó építmény átalakítását vagy károsodás utáni helyreállítását kell elvégezni

A *másik módszer* szerint a geotechnikai kategória meghatározása pontozásos módszerrel történik, a 3. táblázat aktuális geotechnikai feladathoz tartozó tételei pontszámainak összegzésével. Ha egy adott építmény esetében a táblázat valamely sora nem értelmezhető vagy nem releváns, akkor a vizsgált szempont pontértéke nulla. A végső pontérték az egyes építmény típusokhoz (lásd: 1.A, 1.B, 1.C, 1.D építmény típus) tartozó pontszámok, valamint a geotechnikai körülményekhez (lásd: 2. geotechnikai körülmények) tartozó pontszámok összegeként adódik. A táblázatot [MÓCZÁR, 2015] alapján állítottuk össze.

3. táblázat. Geotechnikai kategóriák meghatározása pontozással

1. A ÉPÍTMÉNY TÍPUS: ÉPÜLETEK ÉS ÉPÍTMÉNYEK			
<i>Az építmény jellemzői</i>			
alapterület	$< 1.000 \text{ m}^2$	$1.000\text{--}10.000 \text{ m}^2$	$> 10.000 \text{ m}^2$
	0	1	3
fesztség	$< 6 \text{ m}$	$6\text{--}10 \text{ m}$	$> 10 \text{ m}$
	0	2	5
magasság	$< 6 \text{ m}$	$6\text{--}20 \text{ m}$	$> 20 \text{ m}$
	0	2	5
munkagödör mélysége	$< 2 \text{ m}$	$2\text{--}5 \text{ m}$	$> 5 \text{ m}$
	0	2	5

az építéshez kapcsolódó terepalakítás (töltés, bevágás) mértéke	< 5 m	5 – 10 m	> 10 m
	0	1	3
támfalak, befogott földmegtámasztó szerkezetek magassága	< 2 m	2 – 5 m	> 5 m
	0	2	5
<i>Kedvezőtlen körülmények az építmény oldaláról</i>			
meglévő létesítményre közvetlenül gyakorolt hatás, zárt sorú épületcsatlakozás			5
süllyedésérzékenység vagy jelentősen változó terhelési viszonyok			5
speciális ipari műtárgyak, magas súlypontú létesítmények, tornyok, silók, földalatti és vízépítési műtárgyak			5
1.B ÉPÍTMÉNY TÍPUS: VONALAS LÉTESÍTMÉNYEK FÖLDMŰVEI ÉS MŰTÁRGYAI (JELLEMZŐEN: ÚT-, VASÚT- ÉS VÍZÉPÍTÉSI FÖLDMŰVEK, MŰTÁRGYAK)			
<i>Az építmény jellemzői</i>			
létesítmény fontossága	alárendelt	átlagos	kiemelt
	0	1	3
földmű magasság (töltés, bevágás)	< 5 m	5 – 10 m	> 10 m
	0	2	5
munkagödör mélysége	< 2 m	2 – 6 m	> 6 m
	0	1	3
közművek, műtárgyak keresztmetszete (hidak esetében lásd még az 1.D résztáblázatot)	< 2 m ²	2 – 10 m ²	> 10 m ²
	0	2	5
támfalak, befogott földmegtámasztó szerkezetek magassága	< 2 m	2 – 6 m	> 6 m
	0	2	5
1.C ÉPÍTMÉNY TÍPUS: KÖZMŰVEK			
<i>Az építmény jellemzői</i>			
fektetési mélység	< 2 m	2–5 m	> 5 m
	0	2	5
<i>Kedvezőtlen körülmények az építmény oldaláról</i>			
nyomás alatti vezetékek 500 mm átmérő felett			5
1.D ÉPÍTMÉNY TÍPUS: HIDAK			
<i>Az építmény jellemzői</i>			
szerkezeti hosszúság	< 15 m	15 – 40 m	> 40 m
	0	2	5
támaszköz mérete	< 20 m	20 – 40 m	> 40 m
	0	2	8
munkagödör mélysége	< 2 m	2 – 5 m	> 5 m
	0	1	3

<i>Kedvezőtlen körülmények az építmény oldaláról</i>			
magas csatlakozó töltés és/vagy elhúzódnó konszolidáció			5
2. GEOTECHNIKA: GEOTECHNIKAI KÖRÜLMÉNYEK, ADOTTSÁGOK			
terephajlás	< 10 %	10 – 25 %	> 25 %
	0	1	3
rétegződés változékonysága	homogén	egyenletes	változó
	0	2	5
altalaj mechanikai tulajdonságai	jó	átlagos	gyenge
	0	2	5
talaj- vagy rétegvíz mélysége	> 5 m	2 – 5 m	< 2 m
	0	2	5
<i>Kedvezőtlen körülmények geotechnikai oldalról</i>			
mocsaras és/vagy bel- vagy árvízveszélyes terület			5
létesítményt befolyásoló vastagságban feltöltött terület, visszatöltött bányaterület			5
ÉRTÉKELŐ TÁBLÁZAT (1.A, 1.B, 1.C, 1.D ÉS 2. TÁBLÁZATOK ÖSSZEGE)			
GC–1 geotechnikai kategória, ha az összesített pontszám:			< 5
GC–2 geotechnikai kategória, ha az összesített pontszám:			5 – 20
GC–3 geotechnikai kategória, ha az összesített pontszám:			> 20

4.3. Talajok és kőzetek terepi (in situ) vizsgálatának leggyakoribb geotechnikai módszerei

4.3.1. A terepi (in situ) módszerekkel meghatározható geotechnikai paraméterek és egyéb jellemzők.

4.3.1.1. Talajok és kőzetek geotechnikai paraméterei és jellemzői

A talajok és kőzetek geotechnikai leírásához legtöbbször az alábbi – betűrendbe szedett – paramétereket és jellemzőket használjuk.

Ágyazási tényező ($k_s - kN/m^2/m$): Az alaptest alsó síkjában ébredő talpfeszültség és a hozzá tartozó alapsüllyedés hányadosa.

Aktív földnyomás ($kPa, kN/m^2$): A függőleges és a mögötte lévő földtömegtől elmozduló (távolodó) felületre ható földnyomás (terhelés) nagysága.

Aktív földnyomási tényező (K_a): Az aktív földnyomás számításához szükséges, mértékegység nélküli szorzó.

Anyagindex (I_{DMT}): A lapdilatatóméteres vizsgálat egyik mértékegység nélküli mérési eredménye, mely alapján következtethetünk a vizsgált talaj anyagára, összetételére.

Belső súrlódási szög ($\varphi - fok$): A Mohr–Coulomb törési elmélet szerint, az alakváltozási folyamatok során a talajszemcsék között fellépő súrlódási ellenállás. Nagysága a szabadon egymásra szórt talajcsemcsék által alkotott, s még éppen állékony természetes rézsű hajlásszögével azonos.

Dilatációs szög ($\psi - fok$): A talaj térfogatváltozásának mértéke a nyírás alatt fellépő alakváltozás során.

Drénezetlen nyírószilárdság ($\tau_u - kN/m^2$): A talaj- vagy kőzetminta adott függőleges terhelés mellett és drénezetlen állapotban (a talajterhelés során a talajszemcsék közötti víz szabad elvezetése nem biztosított) mért vízszintes nyírás ellenállása.

Drénezetlen nyírószilárdság maximális érték ($\tau_{u,max} - kN/m^2$): A drénezetlen nyírás vizsgálat alatt, a folyamatosan mért nyírószilárdság (nyírószilárdsági görbe) maximális értéke.

Drénezetlen nyírószilárdság reziduális érték ($\tau_{u,r} - kN/m^2$): A drénezetlen nyírás vizsgálat alatt, a folyamatosan mért nyírószilárdság (nyírószilárdsági görbe) végső értéke.

Drénezetlen Young-modulus ($E_u - MN/m^2$): A talaj Young-modulusának értéke drénezetlen (a talajterhelés során a talajszemcsék közötti víz szabad elvezetése nem biztosított) körülmények között vizsgálva.

Drénezett nyírószilárdság ($\tau' - kN/m^2$): A talaj- vagy kőzetminta adott függőleges terhelés mellett és drénezett állapotban (a talajterhelés során a talajszemcsék közötti víz szabad elvezetése biztosított) mért vízszintes nyírás ellenállása.

Drénezett Young-modulus ($E' - MN/m^2$): A talaj Young-modulusának értéke drénezett (a talajterhelés során a talajszemcsék közötti víz szabad elvezetése biztosított) körülmények között vizsgálva.

Egyirányú nyomószilárdság ($q_u - kN/m^2$ vagy $\sigma_c - MN/m^2$): A talaj- vagy kőzetminta folyamatosan növekvő függőleges terhelésekor – vízszintes oldalmegtámasztás (oldalnyomás) nélkül – a törés pillanatában mért nyomásérték.

Elektromos ellenállás ($R_s - k\Omega$): A talajkörnyezet vagy a CPT szonda két meghatározott pontja között mérhető elektromos talajellenállás nagysága.

Feszültség–alakváltozás (σ – ε) görbe: A kompressziós és törési, valamint egyes szondázási vizsgálatok eredményeinek derékszögű koordináta-rendszerben történő ábrázolási módja. Az egyik tengelyen a talajfeszültséget (σ), a másik tengelyen a fajlagos alakváltozást (ε) tüntetik fel.

Földnyomás (kN/m^2): Általában a geosztatikai önsúlyból eredően a függőleges földfelületre ható földnyomás nagysága.

Földnyomási tényező (K): A geosztatikai önsúly mértékegység nélküli szorzója, melynek segítségével a földnyomás tényleges értéke számítható.

Geológiai előterhelés (kN/m^2): A korábbi földtani korok során lepusztult üledék rétegek nyomásának hatására fellépő geológiai terhelésnek a jelenlegi geosztatikai terhelésen felüli értéke.

Hatékony belső súrlódási szög ($\varphi' - fok$): A hatékony talajfeszültséghez tartozó belső súrlódási szög értéke.

Konzolidációs együttható vagy tényező ($c_v - m^2/sec$): A terhelés hatására fellépő talajösszenyomódás (süllyedés) sebességének és időtartamának számításához szükséges tényező.

Korrigált tágulási nyomás: A lapdilatométeres vizsgálattal mért tágulási nyomásnak az adott mélységben érvényes geosztatikai önsúlyból eredő földnyomással korrigált értékét jelenti.

Lapdilatometéres modulus ($E_{DMT} - MN/m^2$): A lapdilatometéres vizsgálat egyik mérési eredménye, mely alapján meghatározható a vizsgált talaj néhány anyagjellemzője (pl. összenyomódási, rugalmassági, nyírási modulus).

Nyírási modulus ($G - MN/m^2$): A lineárisan rugalmas anyagok nyírási alakváltozását leíró anyagjellemző, mely a Young-modulus és a Poisson-tényező (a terhelés hatására kialakuló harántirányú és hosszirányú alakváltozások hányadosa) értékéből számítható.

Nyírószilárdság ($\tau - kN/m^2$): A talaj- vagy kőzetminta adott függőleges terhelés mellett mért vízszintes nyírási ellenállása. A mérés történhet drénezéssel vagy anélkül.

Nyomás-tágulás görbe: Az egyes szondázási vizsgálatok (főként a lapdilatometéres és a pressziometéres) eredményeinek derékszögű koordinátarendszerben történő ábrázolási módja. Az egyik tengelyen a műszer által mért nyomás értékét, a másik tengelyen a műszer által mért tágulás értékét tüntetik fel.

Nyomószilárdság ($\sigma - kN/m^2$): A talaj- vagy kőzetminta folyamatosan növekvő függőleges terhelésekor a törés pillanatában mért nyomásérték. A mérés történhet vízszintes oldalmegtámasztás (oldalnyomás) mellett vagy anélkül.

Nyugalmi földnyomás (kN/m^2): Az egyensúlyi állapotban (nyugalomban) lévő függőleges földfelületre ható földnyomás (terhelés) nagysága.

Nyugalmi földnyomási tényező (K_0): A nyugalmi földnyomás számításához szükséges mértékegység nélküli szorzó.

Összenyomódási modulus ($E_{OED} - MN/m^2$): Az összenyomódási modulus (más-ként kompressziós vagy oedométeres modulus) a nemlineárisan rugalmas anyagok (pl. talaj) esetében a növekvő terhelés során a választott feszültség növekedés ($\Delta\sigma$) és az ehhez tartozó fajlagos összenyomódás ($\Delta\varepsilon$) arányának anyagra jellemző értéke.

Passzív földnyomás (kN/m^2): A függőleges és a mögötte lévő földtömeg felé elmozduló (közeledő) felületre ható földnyomás (ellenállás) nagysága.

Passzív földnyomási tényező (K_p): A passzív földnyomás számításához szükséges mértékegység nélküli szorzó.

Permeabilitás ($k - m/nap$): A talajminta vízáteresztő képessége.

Pórusvíznyomások (u_0, u_1, u_2 és $u_3 - kN/m^2$): A talajszemcsék közötti pórusokat (hézagokat) kitöltő víz nyomása. Alapesetben, vagyis nyílt rendszer (szabad felszínnű, gravitációs víz) esetében a hidrosztatikai nyomással azonos (u_0). A $CPTu$ szonda esetében a mérőszensor helyzetétől függően lehet a szondacsúcs elején (u_1), a szondacsúcs felső síkjában (u_2) és a szondacsúcs felett (u_3) mért érték.

Pressziometéres vagy dilatometéres modulus ($E_M - MN/m^2$): A pressziometéres és a lapdilatometéres vizsgálat egyik mérési eredménye, mely alapján meghatározható a vizsgált talaj néhány anyagjellemzője (pl. összenyomódási, rugalmassági, nyírási modulus).

Relatív tömörségi érték vagy tömörségi érték ($Trp - \%$): A talaj tömörségi állapota az elvileg elérhető maximális tömörségéhez képest, %-ban kifejezve.

Szeizmikus hullámok terjedési sebessége ($v - m/sec$): A földrengések alkalmával keletkező szeizmikus hullámoknak a Föld anyagában mérhető terjedési sebessége.

A geotechnikában a felső 30 m-es vastagságú talajzónára jellemző értéket veszik figyelembe.

Szeizmikus hullámok: A longitudinális (P vagy primer) nyomási hullámban a részecskék mozgási iránya megegyezik a hullám haladási irányával, összenyomódási és kitágulási szakaszok követik egymást. A transzverzális (S vagy secunder) nyírási hullámban a részecskék mozgási iránya függőleges síkban merőleges a hullám haladási irányára. A Föld felszínén haladó Rayleigh-típusú (Rg) felületi hullámban a részecskék a hullám haladási irányába eső körkörös mozgást végeznek. A Föld felszínén haladó Love-típusú (Lg) felületi nyírási hullámban a részecskék mozgási iránya vízszintes síkban merőleges a hullám haladási irányára.

Szemszerkezet: A réteget alkotó különböző átmérőjű talajszemcsék %-os súlyarányának meghatározása és annak szemeloszlási görbével történő ábrázolása.

Tágulási nyomás: A lapdilatométeres vizsgálat egyik közvetlen mérési eredménye, mely a mérőmembrán adott mértékű tágulásához szükséges nyomást jelenti.

Talajbesorolás: A vizsgált talaj anyagának és megnevezésének laboratóriumi vizsgálatok vagy helyszíni szondavizsgálatok eredményei alapján történő meghatározása.

Talajhőmérséklet ($T - ^\circ C$): A talajkörnyezet adott helyen és időpontban mért hőmérséklete.

Talajtörési ellenállás vagy törőfeszültség ($\sigma_t - kN/m^2$): Adott körülmények között az alaptest alatti talajtörést kiváltó maximális talajfeszültség.

Talpfeszültség–süllyedés görbe ($\sigma-s$): A terhelőlapos (PLT) vizsgálatok eredményeinek derékszögű koordináta-rendszerben történő ábrázolási módja. Az egyik tengelyen a terhelőlap alatt ébredő talpfeszültségi értéket, a másik tengelyen a műszer által mért süllyedést tüntetik fel.

Tehermentesítési ciklus: A lépcsősen növekvő terheléssel történő helyszíni vagy laboratóriumi vizsgálatok tehermentesítési szakasza.

Térfogatsűrűség ($\rho_n - t/m^3$): A vizsgált talajminta tömegének és térfogatának hányadosa.

Terhelési ciklus: A lépcsősen növekvő terheléssel történő helyszíni vagy laboratóriumi vizsgálatok terhelési szakasza.

Terhelőlapos modulus ($E_{PLT} - MN/m^2$): A terhelőlapos vizsgálat egyik mérési eredménye, mely alapján meghatározható a vizsgált talaj néhány anyagjellemzője (pl. összenyomódási, rugalmassági, nyírási modulus) és az ágyazási tényező értéke.

Természetes víztartalom ($w_n - \%$): A talajból kiemelt, természetes állapotú talajminta víztartalma.

Tömörégi állapot: A talaj tömörségének besorolása a tömörségi érték vagy a tömörségi index alapján.

Tömörégi index (I_D): Az a mértékegység nélküli szám, mely a talaj tényleges hézagtényezőjének értékét mutatja a lehetséges minimális és maximális hézagtényezőhöz viszonyítva.

Túlkonzolidáltsági arányszám (OCR): Az adott talajkörnyezetet a kialakulásától a mai napig ért legnagyobb és a jelenlegi tényleges függőleges földnyomás aránya.

Víztartalom ($w_n - \%$): A talajmintában lévő víz súlyának %-os aránya a minta teljes súlyához viszonyítva.

Vízszintes feszültségi index ($K_{DMT} - MN/m^2$): A lapdilatometéres vizsgálat egyik eredménye, melynek segítségével több talajfizikai jellemző számítható.

Young-modulus ($E - MN/m^2$): A Young-modulus (másként rugalmassági modulus) a lineárisan rugalmas anyagok esetében a feszültség és az alakváltozás arányának anyagra jellemző értéke.

4.3.1.2. A talajszondázás paraméterei

A szondázást jellemző paraméterek a következők:

Csúcsellenállás ($q_c - MN/m^2$): A statikus nyomószonda csúcsán mért nyomásérték.

Fajlagos köpenysúrlódás ($f_s - kN/m^2$): A statikus nyomószonda palástjának felületén mért súrlódási erő és a palástfelület hányadosa.

Palástsúrlódási ellenállás: A statikus nyomószonda palástja mentén mért súrlódási erő nagysága.

Súrlódási viszonyszám ($R_f - \%$): A statikus nyomószonda fajlagos köpenysúrlódásának és csúcsellenállásának %-os aránya.

Talajdinamikai jellemzők: A talajok dinamikus hatásokra fellépő igénybevételeinek számításához szükséges talajfizikai jellemzők.

4.3.1.3. Szondatípusok

A szondázáshoz az alábbi szondákat alkalmazzuk:

Penetrációs vizsgálat és berendezés: A geotechnikában penetrációs vizsgálat alatt a dinamikus verőszondák alkalmazását, penetrációs berendezés alatt pedig az erre szolgáló gépi eszközöket értjük.

Presszióméter: A vizsgálat különböző felépítésű eszköz különböző módszerekkel és meghatározott mélységbe történő lejutásával és ott a nyomási és elmozdulási értékek mérésével történik.

A presszióméterek típusai következők:

- fúrólukas presszióméter (*PBP*),
- flexibilis (rugalmas) dilatometer (*FDT*),
- Ménard-féle presszióméter (*MPM*),
- önbefúró presszióméter (*SBP*),
- teljes talajkiszorításos presszióméter (*FDP*),
- közetdilatometer (*RDT*),
- talajdilatometer (*SDT*).

Statikus nyomószonda: A vizsgálat egy meghatározott méretű szonda adott sebességgel és folyamatosan talajba nyomásával történik. Az elektronikus jelek formájában gyűjtött mérési eredményeket folyamatosan rögzítik és az erre a célra készített szoftverrel kiértékelik.

4.3.2. A szondázásos vizsgálatok

Napjainkban a geotechnikai helyszíni vizsgálatok során egyre többször alkalmazzák a különböző szondázásos eljárásokat. A vizsgálatok lényege, hogy egy viszonylag kisméretű szondát a vizsgálandó talajrétegbe juttatva, közvetlenül annak valamilyen fizikai tulajdonságait mérik. A szondaegység lejuttatása történhet statikus jellegű módszerekkel (folyamatos sajtolással, fúrással) vagy az előzőleg már ki-

fürt lyukba leengedve, valamint dinamikus módszerrel (veréssel). A statikus jellegű vizsgálatoknál a szondaegység mérési eredményeit elektronikus jelek formájában gyűjtik össze, és számítógéppel dolgozzák fel. A dinamikus vizsgálatoknál a 10, 20 vagy 30 cm-es előrehaladáshoz szükséges ütésszámot rögzítik, s ennek alapján történik a kiértékelés.

A szondázásos módszerek elterjedésének oka egyrészt, hogy a fúrásokhoz viszonyítva gyorsabbak, többnyire igen jó felbontású (szondatípustól függően 2–30 cm közötti) eredményeket adnak és egyes esetekben a fúrásos vizsgálatnál olcsóbbak is. Másrészt a mérések automatizálhatók, s a digitális mérési eredmények és azok kiértékelése pedig többnyire az erre a célra kidolgozott számítógépes célprogramokkal egyszerűen elvégezhető, s azonnal dokumentálható. Ugyanakkor a kapott mérési eredmények helyesek és pontosak ugyan (tényleges mérési adatokat szolgáltatnak), de nem a konkrét talajfizikai jellemzőket, hanem a vizsgált talajkörnyezet mért állapotjellemezőit mutatják. Ebből következően a nyers mérési eredményeket át kell alakítani, korrigálni kell, hogy a tervezéshez szükséges talajfizikai jellemzőket megkaphassuk. Ez a korrekció viszont általában – az elméleti megfontolások során kialakított számítási módszerek mellett – az eddig elvégzett sok-sok összehasonlító vizsgálat eredményeként kialakított empirikus, tapasztalati összefüggésekkel történik. A végeredményként kapott talajfizikai jellemzők lényegében származtatott eredményeknek tekinthetők, s ezeknek többnyire inkább csak a vizsgálati függély (szondalyuk vagy fúrólyuk) mentén egymáshoz viszonyított relatív értékei a fontosak, azok abszolút értékei sok esetben csak fenntartásokkal – mintegy műszaki becslésként – fogadhatók el. Az említett sajátosságokból adódik viszont, hogy a terhbírás, a szilárdság vagy az alakváltozás tekintetében az egymástól eltérő talajzónák nagyon jól elkülöníthetők és az eltérések arányai is igen pontosan meghatározhatók. Mindent összevetve, a szondázásos jellegű helyszíni vizsgálatokat mindig a fúrásos talajfeltárásokkal együtt kell értelmezni, s a kapott szondázási eredményeket csak a talajmintákon végzett konkrét laborvizsgálati eredményekkel korrigálva szabad alkalmazni. Vagyis a szondázási eredményeket csak a helyszíni viszonyokra jellemző (azaz a helyszíni kalibrációval meghatározott) korrekciós tényezőkkel módosított, vagy a szakirodalomban ajánlott egyéb empirikus, korellációs összefüggésekkel meghatározott értékeivel szabad figyelembe venni. *(Megjegyzés.* A jelenlegi hazai szakmai gyakorlatban elsősorban a dinamikus verőszondázás terjedt el, a statikus nyomószondázás csak az utóbbi 10–20 évben hódított teret, míg a többi vizsgálati módszert hazánkban ritkán alkalmazzák.) A geotechnikai szabványokban említett szondavizsgálati módszerek jellemző sajátosságait vázlatosan a következő pontokban ismertetjük. A megnevezés után zárójelbe tett dőlt nagybetűk a geotechnikai szakirodalomban használatos rövidítést adják meg.

4.3.3. Statikus nyomószondázás (*CPT* és *CPTu*)

Szonda jellemző adatai: csúcshög = 60° , csúcsátmérő = 35,7 mm, palástfelület = 150 cm^2 , behatolási sebesség = 20 mm/sec.

Mért adatok: csúcshellenállás (q_c), fajlagos köpenysúrlódás (f_s), súrlódási viszonyosság (R_f) és az ezekhez tartozó mélység (cm) a *CPT* esetében, az előbbieken fe-

lül még pórúsvíznyomások (u_1 , u_2 és u_3) a $CPTu$ esetében. Az egyes különleges kialakítású szondák esetében mérhetők még: talajhőmérséklet (T), elektromos ellenállás (R_s), térfogatsűrűség (ρ_n), víztartalom (w_n) és talajdinamikai jellemzők.

Származtatott eredmények: talajbesorolás, szemszerkezet, permeabilitás, relatív tömörség, hatékony belső súrlódási szög, drénezett Young-modulus, összenyomódási modulus, nyírási modulus, nyírási hullám sebessége, nyugalmi földnyomás, drénezetlen nyírószilárdság, konszolidációs együttható, túlkonszolidáltsági arányszám, nyugalmi földnyomási tényező, térfogatsűrűség.

Alkalmazás: bármely talaj esetében a cölöpök és sicalapok teherbírásának, süllyedésének számítása és általános talajfizikai paraméterek szolgáltatása.

4.3.4. Presszióméteres vizsgálatok (PMT)

Szonda típusai: fűrőlyukas pressziómérő (PBP), flexibilis (rugalmas) dilatométer (FDT), Ménard-féle pressziómérő (MPM), önbefűró pressziómérő (SBP), teljes talajkiszorításos pressziómérő (FDP), közetdilatométer (RDT), talajdilatométer (SDT).

Mért adatok: presszióméteres vagy dilatométeres modulus (E_M), feszültség–alakváltozás (σ – ε) görbe.

Származtatott eredmények: nyugalmi földnyomás, talajtörési ellenállás (törőfeszültség), palástsúrlódási ellenállás, Young-modulus, összenyomódási modulus, belső súrlódási szög, drénezetlen nyírószilárdság, nyírási modulus, előterheltség, permeabilitás, dilatációs szög.

Alkalmazás: bármely talaj esetében a cölöpök és sicalapok teherbírásának, süllyedésének számítása és általános talajfizikai paraméterek szolgáltatása.

4.3.5. Standard penetrációs vizsgálat (SPT)

Szonda jellemző adatai: tömeg = 63,5 kg, ejtési magasság = 76 cm, köpenycső külső átmérő = 50,0 mm, köpenycső belső átmérő = 35,0 mm.

Mért adatok: A 30 cm-es előrehaladáshoz szükséges ütésszám (N_{30}) és az ehhez tartozó mélység (cm).

Származtatott eredmények: talajösszetétel (kevert mintavétellel kombinált szonda-vizsgálat), tömörségi index, hatékony belső súrlódási szög, Young-modulus, összenyomódási modulus, talajtörési ellenállás (törőfeszültség).

Alkalmazás: főként a durvaszemcsés talajok esetében a vert (esetleg más) cölöpök és sicalapok teherbírásának, valamint a sicalapok süllyedésének számításához.

4.3.6. Dinamikus verőszondás vizsgálat (DP)

Könnyű verőszonda (DPL) jellemző adatai: tömeg = 10 kg, ejtési magasság = 50 cm, csúcshögtű = 90° , csúcsátmérő = 35,7 mm, fajlagos ütőmunka = 49 kJ/m^2 .

Középnéhez verőszonda (DPM) jellemző adatai: tömeg = 30 kg, ejtési magasság = 50 cm, csúcshögtű = 90° , csúcsátmérő = 35,7 mm, fajlagos ütőmunka = 147 kJ/m^2 .

Nehéz verőszonda (DPH) jellemző adatai: tömeg = 50 kg, ejtési magasság = 50 cm, csúcshögtű = 90° , csúcsátmérő = 43,7 mm, fajlagos ütőmunka = 164 kJ/m^2 .

Szupernehéz verőszonda ($DPSH$) jellemző adatai: tömeg = 63,5 kg, ejtési magasság = 75 cm, csúcshögtű = 90° , csúcsátmérő = 50,5 mm, fajlagos ütőmunka = 234 kJ/m^2 .

Mért adatok: A 10 és a 20 cm-es előrehaladáshoz szükséges ütésszám (N_{10} és N_{20}) és az ezekhez tartozó mélység (cm).

Származtatott eredmények: tömörségi index, hatékony belső súrlódási szög, talajtörési ellenállás (törőfeszültség), Young-modulus, összenyomódási modulus (alapvetően csak a durvaszemcsés talajokra vonatkozóan!).

Alkalmazás: főként a durvaszemcsés, alárendelten a finomszemcsés talajok esetében a vert (esetleg más) cölöpök és síkalapok teherbírásának, valamint a síkalapok süllyedésének számításához.

4.3.7. Fúrászondás vizsgálat (WST)

Szonda jellemző adatai: magasság = 200 mm, keresztmetszet = 25×25 mm, csavart szakasz hossza = 130 mm, forgatás közbeni terhelőerő = 1 kN.

Mért adatok: 20 cm előrehaladáshoz szükséges félfordulatok száma.

Származtatott eredmények: tömörségi index, hatékony belső súrlódási szög, drénezett Young-modulus, drénezetlen nyírószilárdság, összenyomódási modulus.

Alkalmazás: minden talajban a cölöpök és síkalapok teherbírásának, a síkalapok süllyedésének számításához.

4.3.8. Terepi nyírászondás vizsgálat (FVT)

Szonda típusa: a kézi nyírászonda (VST) szárnymagasságok = 38–50–60–130 mm, szárnyátmérők = 19–25–30–62,5 mm.

Mért adatok: a körbeforgatáshoz szükséges maximális és állandó nyomaték értéke.

Származtatott eredmények: drénezetlen nyírószilárdság maximális és reziduális értéke.

Alkalmazás: főként az iszap–agyag–tőzeg talajok drénezetlen nyírószilárdságának és érzékenységének meghatározásához.

4.3.9. Lapdilatométeres vizsgálat (DMT)

Szonda jellemző adatai: lapszélesség = 95 mm, lapmagasság = 240 mm, lapvastagság = 15 mm.

Mért adatok: nyomási–tágulási görbe, korrigált tágulási nyomás, lapdilatométeres modulus (E_{DMT}), anyagindex (I_{DMT}), vízszintes feszültségi index (K_{DMT}).

Származtatott eredmények: Young-modulus, összenyomódási modulus, drénezetlen nyírószilárdság, nyírási modulus, előterheltség, nyugalmi földnyomás.

Alkalmazás: a kavics kivételével szinte minden talajban a cölöpök és síkalapok teherbírásának, a síkalapok süllyedésének számításához.

4.3.10. Terhelőlapos vizsgálat (PLT)

Szonda jellemzői: kör vagy téglalap alakú sík és merev fémlapok.

Mért adatok: talpfeszültség–süllyedés görbe, a terhelési és a tehermentesítési ciklusokkal együtt, terhelőlapos modulus (E_{PLT}).

Származtatott eredmények: Young-modulus, összenyomódási modulus, drénezetlen nyírószilárdság, ágyazási tényező.

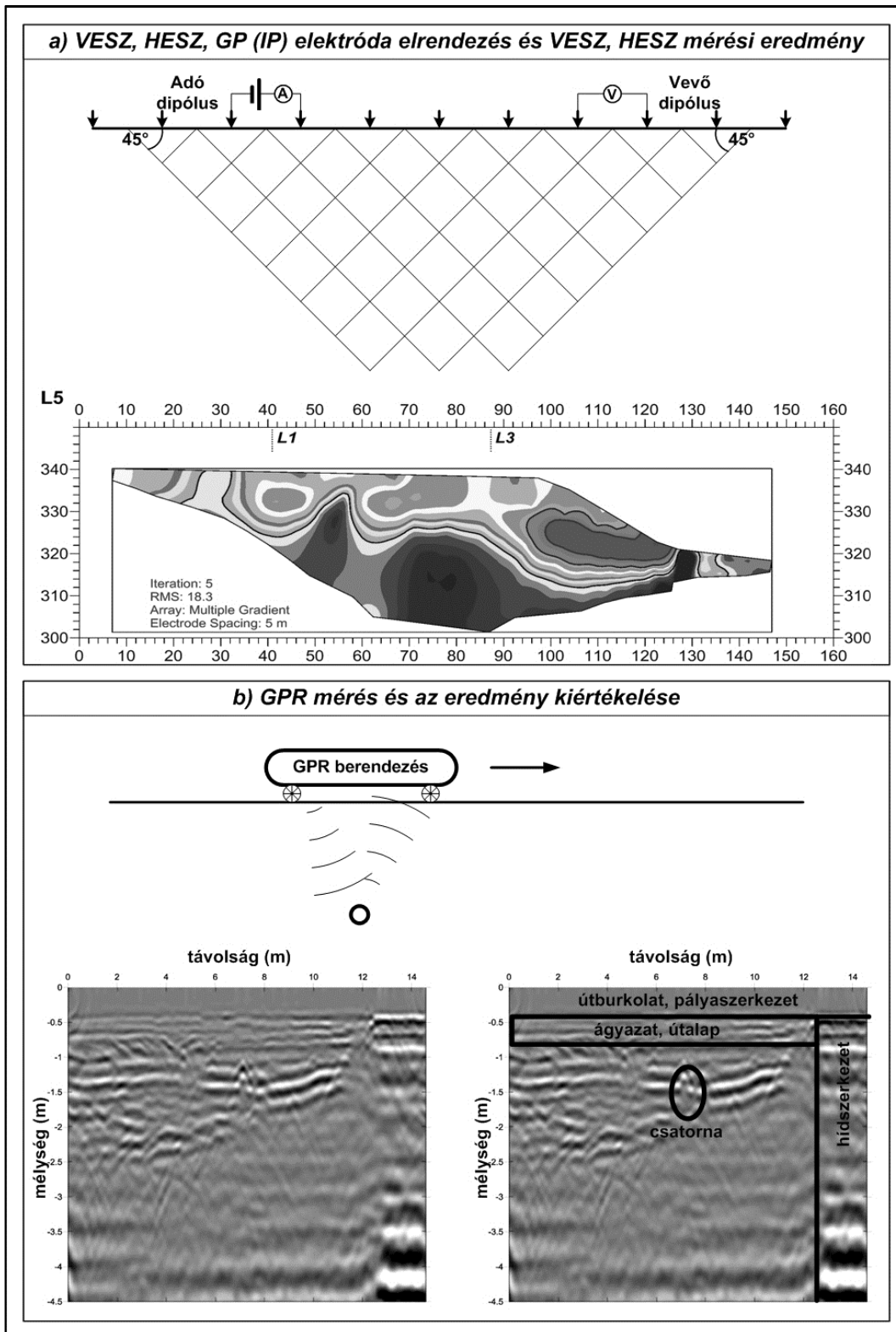
Alkalmazás: minden talajban a síkalapok teherbírásának és süllyedésének számításához.

4.4. Talajok és kőzetek terepi (in situ) vizsgálatának leggyakoribb geofizikai módszerei

A napjaink mikroelektronikai és a számítástechnikai fejlődésével a geofizikai vizsgálati eljárások a geotechnikában is egyre inkább teret nyernek. E módszerek az altalaj tömörségi, sűrűségi viszonyainak és anyagminőségének változásait vízszintes és függőleges értelemben egyaránt folyamatosan érzékelik és ezeket a változásokat grafikusán is be tudják mutatni. Ezekkel a módszerekkel a függőleges vizsgálati síkok mentén viszonylag nagy felbontás (10–30 cm) mellett és – felszíni mérés esetén a felvett szelvény hosszától, illetve fúrólukas mérés esetén a mérőfej mélységi helyzetétől függően – akár 10–50 m-es mélységig terjedően is ki lehet mutatni az eltemetett, ismeretlen üregek (pl. pince, barlang, kőzethasadék) vagy szilárd testek (pl. közművezeték, alaptest, műtárgy, kőzettömb) jelenlétét, a környező talajtömeghez képest lazább vagy puhább (pl. feltöltött gödör, átázott talaj), esetleg tömörebb vagy keményebb (pl. fekkőzet felszíne) részeket, a jellemző réteghatárokat, a talajvíztükör helyzetét és az esetleges vetők jelenlétét is. A nagyobb vizsgálati sűrűséggel vagy a módszerek kombinálásával végzett síkbeli vagy térbeli mérések (2D és 3D tomográfia) alapján térbeli talajmodellek is készíthetők. Az említett geofizikai módszerek azonban nem csak az eltérő vezetőképességű (ellenállású) vagy sűrűségű rétegek közötti határfelületek térbeli helyzetéről adnak felvilágosítást, hanem az összehasonlító vizsgálatok és az elméleti megfontolások alapján kidolgozott empiriák segítségével viszonylag pontos számszerű értékeket kaphatunk az egyes talajrétegek vagy kőzettömegek talaj-, illetve kőzetfizikai jellemzőire vonatkozóan is. Ilyen jellemzők például a térfogatsűrűség, a Young-modulus, a nyírás modulus, az egyirányú nyomószilárdság, a tömörségi index, a szeizmikus hullámok terjedési sebessége vagy a szivárgások iránya és sebessége. Ezek a vizsgálatok ma már olyan pontossággal végezhetők el, hogy sok esetben igen hasznosan egészítik ki a hagyományos geotechnikai vizsgálatokat. A legismertebb és a geotechnikai gyakorlatban legtöbbször alkalmazott geofizikai vizsgálati eljárásokat vázlatosan a következő pontokban mutatjuk be. A megnevezések mellett zárójelbe tett dőlt nagybetűk a geofizikai szakirodalomban használatos rövidítéseket mutatják.

Geoelektromos módszerek

Ezen módszerek segítségével az egyen- és váltóáramú elektromágneses erőter természetes vagy mesterséges úton létrejött elektromos komponenseit határozhatjuk meg, rendszerint a felszínen. A mérések eredményeként meghatározható egy-egy felszínközeli mélységi zónában a kőzetek elektromos fajlagos ellenállása, amelyekből következtethetünk a földtani felépítésre is. Az eredmények értelmezésével különböző elektromos tulajdonságú kőzettesteket tudunk lehatárolni a mélyben. A kőzetek eltérő elektromos tulajdonságai a ρ (fajlagos ellenállás), az ε (dielektromos állandó) és a κ (mágneses szuszceptibilitás) anyagi paraméterek különbözőségéből következnek. Mivel ezeket a paramétereket a póruskitöltő folyadékok, és sok esetben a talajba, illetve a talajvízbe jutott szennyező anyagok megváltoztatják, a módszer lehetőséget nyújt egyes szennyezések felkutatására és lehatárolására is.



9. ábra. HESZ, VESZ, GP (IP) és GPR módszerek és eredményei (sematikus vázlat)

Szeizmikus módszerek

Ezekkel a módszerekkel lehet a legnagyobb felbontóképességgel leképezni a földkéreg belső szerkezetét, a talajrétegektől kezdődően egészen a néhány száz kilométeres mélységekig. Ennek okán a szeizmikát sokszor a „*geofizika királynőjének*” is nevezik. Szeizmikus méréseknél mesterségesen (pl. robbantással, vibrációval, kalapáccsal) keltett rezgések hatására, a mélyből visszaérkező rugalmas hullámokat regisztráljuk. A beérkező jelek észlelését többnyire a talajba szúrható geofonokkal, vízben történő méréseknél hidrofonokkal végezzük. Többcsatornás mérések esetén két fő típust különböztethetünk meg: a reflexiós és a refrakciós szeizmikát. A határfelületekről visszaverődött síkhullámok beérkezésének detektálásakor reflexiós szeizmikát alkalmazunk. Refrakció jelensége pedig akkor alakul ki, ha egy felső, kisebb terjedési sebességű közegből a határfelületre a kritikus szögnél (a teljes visszaverődés határszögénél) nagyobb szög alatt érkezik síkhullám, amely ekkor nem hatol be az alsó közegbe, hanem a határfelület mentén halad tovább az alsó rétegre jellemző terjedési sebességgel, és a felszín felé a kritikus szögben kiinduló hullámok forrásává válik. A szeizmikus módszereket fúrólukak között alkalmazva mintegy átvilágítható a kőzettest. A szeizmikus tomográfia segítségével térben ábrázolható a sűrűség változása, ami alapján a különböző kőzetek és a szerkezeti zónák elkülöníthetők.

4.4.1. Természetes (spontán) potenciál mérés (SP vagy PS)

A természetes potenciál módszer a geofizikai módszerek egyik legrégebbi változata. Lényege a természetes földáramok potenciáljának (legtöbbször filtrációs és elektrokémiai) mérése. Az utóbbi években a környezetvédelmi, mérnöki és geotermikus feladatok megoldásában – például a felszín alatti szivárgások és áramlások jellemzésére, a folyadékot szállító csővezeték lyukadási helyének meghatározására, a lejtőcsúszások és a felszíni süllyedések vizsgálatára – is egyre többször és eredményesen alkalmazzák.

4.4.2. Vertikális elektromos szondázás (VESZ)

A talajok és kőzetek egyik legfontosabb elektromos tulajdonsága a fajlagos ellenállás, mely a talaj- vagy kőzetmátrix anyagától, annak porozitásától és a pórusokat kitöltő anyagtól függ. A VESZ a fajlagos ellenállás egy adott pontban mérhető függőleges irányú változásának kimutatására szolgál. A mérési módszernél azt az adottságot használjuk ki, hogy a felszín alatti inhomogenitások általában környezettüktől eltérő fajlagos ellenállással (vezetőképességgel) rendelkeznek. A mérőáram behatolási mélysége a tápelektroda és a mérőelektroda távolságának növelésével fokozható, általában annak negyede, ötöde. A módszert általában kis és közepes mélységű kutatásokban alkalmazzák. A vizsgálat modernebb, továbbfejlesztett változatában egymástól azonos távolságra több tucat elektródát helyeznek el, felfűzve egy intelligensen vezérelhető kábelkötegre. A mérésbe bevonni kívánt elektródákat egy központi számítógép választja ki. Így gyakorlatilag az összes lehetséges elektróda-kombinációban történik mérés, melynek eredményeként egy síkbeli (2D), folytonos szelvény szerkeszthető (9a. ábra).

4.4.3. Horizontális elektromos szelvényezés (*HESZ*)

Ezeket a méréseket olyan alacsony frekvenciás mérőárammal végzik, melyek hatásukban még egyenáramúnak tekinthetők. A *HESZ* alapvetően a fajlagos ellenállásnak az elektródák közötti, oldalirányú változásainak kimutatására szolgál. A mérés során a nagyszámú elektródák elhelyezésének geometriáját a kimutatandó szerkezet várható mélységi helyzetének (vagyis a tervezett vizsgálati mélységnek) megfelelően kell tervezni, majd a szelvény menti vagy területi mérést kivitelezni. Ezt a módszert is általában a kis és közepes mélységű kutatásokban alkalmazzák. A mai modern számítógépes vezérlésű méréssorozatok segítségével nem csak síkbeli (2D) szelvények (9a. ábra), hanem térbeli (3D) kép is szerkeszthető.

4.4.4. Gerjesztett (indukált) polarizációs mérés (*GP* vagy *IP*)

A kőzetek fajlagos ellenállásának mérésekor bizonyos földtani körülmények között már az 1920-as években tapasztalták, hogy az adóköri áram kikapcsolását követően a mérő elektródák közötti feszültség csak egy bizonyos idő elteltével szűnik meg. Az időbeli lecsengés részletes elemzése (kapcsolatkeresés az elektronos vezető anyaga, az ionos oldat minősége, az ásványi szemcsék szemeloszlása, a texturális jellemzők, és a lecsengő folyamat között) jelenti a *GP* görbék időbeli analizisét. A jelenség nemcsak idő, hanem frekvencia tartományban is vizsgálható. A vizsgálati mélység a felszín közelétől akár több száz méterig terjedhet. A gyakorlatban a módszer legfontosabb alkalmazása a hintett ércesedések kimutatása, a hidrogeológiai feladatokban az agyag jelenlétének jelzése, illetve a környezetvédelemben az eltemetett veszélyes hulladékok kimutatása (9a. ábra).

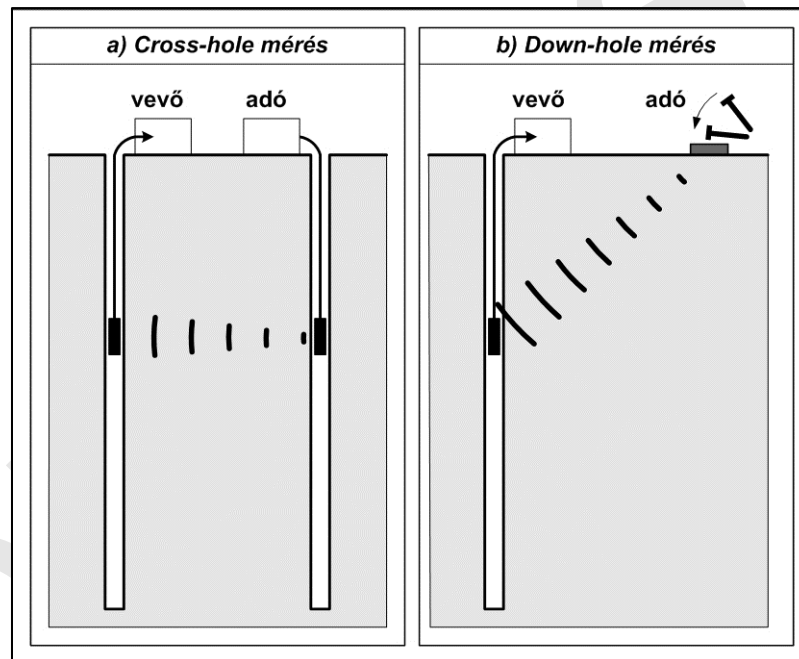
4.4.5. Rádiófrekvenciás (földradar) mérés (*GPR*)

A földradar által kibocsájtott nagyfrekvenciájú (10 MHz és 1 GHz közötti) elektromágneses hullámok képesek behatolni a földfelszín alá, s a hullámjelenségek törvényei és jelenségei alapján feltérképezni annak szerkezetét. A műszer egy adó- és egy vevőantennából áll. Az adó bizonyos időpontokként kibocsájt egy jelet, majd a visszavert jelet a vevő rögzíti. Ha a berendezéssel egy felszíni vonal mentén, sűrű mintavétellel felvételeket készítünk, akkor a visszavert jelek leképezik a felszín alatti határfelületeket és az egyéb pontszerű vagy kiterjedt elemeket, melyeket anomáliának nevezünk. Anomáliaként fog jelentkezni minden olyan pont (leginkább pontcsoport), mely(ek)nek a fajlagos vezetőképessége és/vagy az ún. relatív elektromos permittivitása és/vagy az ún. relatív mágneses permeabilitása eltér a környezetétől. A jel behatolási mélységét befolyásolják a közeg paraméterei, valamint a hullám frekvenciája is. Általánosságban a nagyobb frekvenciával magasabb felbontás, de kisebb behatolási mélység érhető el. A földradar segítségével számos geológiai, geofizikai és geotechnikai feladat megoldható. A geotechnikában főként a földművek homogenitásának vizsgálatára, valamint üregkutatásra használják (9b. ábra).

4.4.6. Rádiófrekvenciás elektromágneses (*VLF*) mérés

A módszer távoli, közel egész nap működő és igen nagy energiával sugárzó (500–1000 kW) rádióadók (független elektromos dipolok) elektromágneses terejét méri. A *VLF* adók 15–25 KHz között működnek. A mérés végezhető megfelelően elhelyezett célirányos adók segítségével is. A távoli adókból beérkező hullám

térjellemzőinek méréséből következtetni lehet a földfelszín vezetőképességére. Ezt a különböző – kicsi, gyakorlatilag zsebrádió méretű – *VLF* műszerek esetében a különböző komponensek mérésével érhetjük el. Akármelyik komponenst is mérjük, információt csak abból a néhányszor 10 (esetleg 100–200) méteres mélységtartományból nyerhetünk, amelybe a *VLF*-hullámok behatolnak. A mágneses komponensek mérését elsősorban vízszintes inhomogenitások kimutatására használják. A *VLF* módszer a használt adó frekvenciájától és a rétegsor fajlagos ellenállásától függően kisebb-nagyobb térrészről ad átlagolt értékeket. A méréssel nyert információ tehát nem pontszerű, az inhomogenitásokról integrált eloszlást kapunk, melyet nagymértékben befolyásol az adó iránya és a kutatandó szerkezet tengelye által bezárt szög. A mért adatok szelvényen vagy térképen ábrázolhatók. Az ellenállástérkép értelmezése a legegyszerűbb, a fázis térkép az ellenállás anomáliák minősítését segíti elő. A módszer többnyire más módszerekkel együtt alkalmazható sikeresen a jól vezető képződmények (pl. talaj- és kőzetrétegek, vetőzónák, érc- és kőzettelérek) kimutatására.



10. ábra. A Cross-hole és a Down-hole módszerek (sematikus vázlat)

4.4.7. Fúrás–fúrás közötti szeizmikus átvilágítás (Cross-hole)

A fúrólukak közti szeizmikus átvilágítás esetében a forrás (pl. mechanikus kalapácsütés, robbantás) és a vevő (geofon vagy gyorsulásmérő) egységeket az egymás melletti fúrólukakban (kettő vagy több), azonos mélységekben helyezik el és a méréseket 0,5–1,0 m mélységközöként megismétlik. A mérés alapelve a szeizmikus refrakciós módszer, mely a longitudinális és tranzverzális hullám két réteg határán való iránytörésének elvén alapul. A helyszíni vizsgálat alkalmával a jellemzően egy ponton gerjesztett, rövid idejű vagy állandó hullám egy vagy több pontra történő

beérkezési idejét mérik. Ezzel meghatározható a nyíróhullámok terjedési sebessége (v_s) és ebből empirikus úton számíthatók a talaj dinamikai paraméterei. A sűrűség ismeretében meghatározható talajfizikai paraméterek (dinamikus nyírási modulus, Poisson-szám) pedig a dinamikus talajvizsgálatok, valamint az állékonyság- és süllyedésvizsgálatok számára szolgáltatnak jól hasznosítható eredményeket. A mérések csak nagy átmérőjű, beléscsövezett és a beléscső körüli üreg (gyűrűstér) gondos, hézagmentes kitöltésével (cementezés) elkészített furatokban végezhetőek el (10a. ábra).

4.4.8. Felszín–fúrás közötti szeizmikus mérés (Down-hole)

A felszín és a fúróluk közötti szeizmikus átvilágítás esetében a mérés és a kiértékelés, valamint a kapott eredmények és azok felhasználása mindenben azonos a cross-hole módszerrel. A különbség csupán annyi, hogy ebben az esetben a forrás és az érzékelő közül egyiket a felszínen, a másikat a fúróluk(ak)ban helyezik el (10b. ábra).

4.5. Talajok és kőzetek geotechnikai laboratóriumi vizsgálatának leggyakoribb módszerei

A kőzet-, talaj- és talajvízminták laboratóriumi vizsgálatainak célja, hogy megismerhessük a geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezet mindazon jellemző tulajdonságait, viselkedésének jellemző sajátosságait és fizikai–kémiai paramétereit, melyek a geotechnikai feladat elvégzéséhez szükségesek. Ezzel kapcsolatban azonban tisztában kell lenni azzal, hogy a mintavétel során már többé-kevésbé amúgy is megváltoztatott eredeti talajállapot a laboratóriumba történő beszállítás és a vizsgálatokhoz szükséges laboratóriumi előkészítési folyamatok során elkerülhetetlenül tovább változik, módosul. Vagyis a laboratóriumi vizsgálatok eredményei pontosak ugyan, de – mivel maga a vizsgált talajminta már nem mindenben azonos azzal az eredeti talajkörnyezettel, melyből származik – azok nem a valóságos és eredeti állapotot jellemzik, hanem csak az azt többé-kevésbé megközelítő értékeket mutatják.

A laboratóriumi vizsgálatok korrekt és eredményes elvégzése csak a geotechnikus és a laboráns együttműködésével, vagyis a laboratóriumban kibontott és adott állapotú, összetételű mintákon elvégzendő vizsgálatok közös kijelölésével biztosítható. Fontos alapelv, hogy a zavartalan mintákon végzett vizsgálatok mindig csak a talajazonosító vizsgálatokkal (szemeloszlás vagy konzisztencia-határok) együtt értelmezhetőek. A következő pontokban a legáltalánosabb laboratóriumi vizsgálatok vázlatos ismertetését adjuk. Az ezekhez tartozó kiegészítő vagy részletező információk (számítási módszer, besorolás, kategorizálás stb.) a **7. fejezetben** és az M.3. mellékletben található.

4.5.1. Természetes vızrtartalom vizsgálata

Jel: w_n

Mértékegység: %

Meghatározás: A mintában lévő víz súlyának a minta eredeti nedves súlyához viszonyított aránya.

Vizsgálat: A minta nedves (természetes víztartalmú) és a 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszáritott száraz súlyának mérésével végzik.

4.5.2. Térfogatsűrűség vizsgálata

Megjegyzés. A szakirodalomban – a számítások egyszerűsítése érdekében, illetve a laboratóriumban végezhető közvetlen súlymérések miatt – a tömeg alapú térfogatsűrűség (ρ_n (g/cm³ vagy t/m³)) helyett sokszor a súly alapú térfogatsúlyt (γ_n (kN/m³)) használják. A két érték közötti szorzószámot a $g = 9,81$ m/sec² adja, vagyis $1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ t/m}^3 \approx 10 \text{ kN/m}^3$.

Kapott eredmények: természetes víztartalom (w_n), természetes térfogatsűrűség (ρ_n), száraz térfogatsűrűség (ρ_d), telített térfogatsűrűség (ρ_t).

Természetes térfogatsűrűség

Jel: ρ_n

Mértékegység: g/cm³ és t/m³

Meghatározás: A természetes víztartalmú minta súlyának és térfogatának hányadosa.

Vizsgálat: A minta súlyának és térfogatának mérésével végzik.

Száraz térfogatsűrűség

Jel: ρ_d

Mértékegység: g/cm³ és t/m³

Meghatározás: A száraz minta súlyának és térfogatának hányadosa.

Vizsgálat: A 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig kiszáritott minta súlyának és térfogatának mérésével végzik.

Telített térfogatsűrűség

Jel: ρ_t

Mértékegység: g/cm³ és t/m³

Meghatározás: A telített állapotú minta súlyának és térfogatának hányadosa.

Vizsgálat: A telített állapotú minta súlyának és térfogatának mérésével végzik.

4.5.3. Szemcse- vagy anyagsűrűség vizsgálata

Jel: ρ_s

Mértékegység: g/cm³ és t/m³

Meghatározás: A mintában lévő szilárd anyagok (talajszemcsék) súlyának és térfogatának hányadosa.

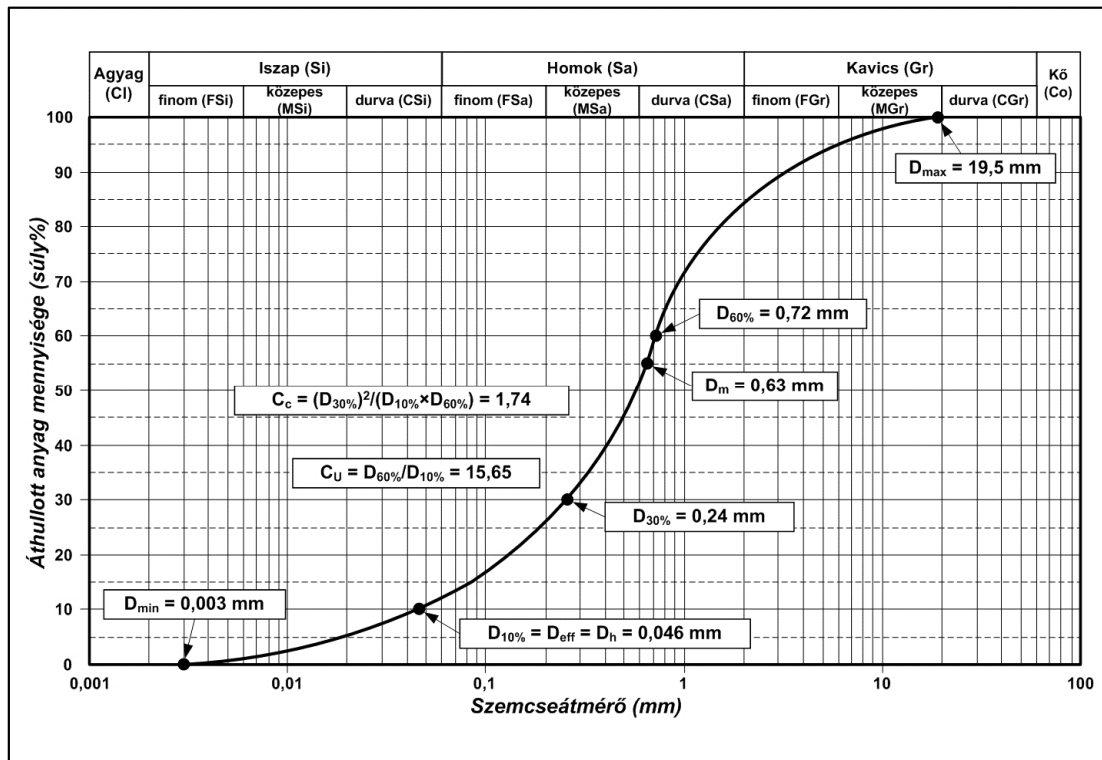
Vizsgálat: A szárazon finom porrá őrölt minta, valamint a desztillált vízzel jelig feltöltött, majd a talajjal + desztillált vízzel jelig feltöltött piknométer súlyának mérésével végzik.

4.5.4. Szemeloslás vizsgálata

A szemeloslási vizsgálat fő célja a durvaszemcsés (homok és kavics) talajokat alkotó szemcsék nagyságának, valamint az egyes kiválasztott szemcsehatárok közötti szemcsék súlysúlyszázalékos arányának meghatározása a vizsgált halmaz teljes súlyához viszonyítva. Célja továbbá a szemeloslási görbe szemilogaritmikus koordináta rendszerben ábrázolt vonalának, valamint a görbe tulajdonságainak (vagyis az egyéb szempontból fontos vagy jellegzetes szemcseméretetek, illetve a görbét jel-

lemző paraméterek) meghatározása. Az általánosan alkalmazott szitasorozat méretei az összeállítás sorrendjében, felülről lefelé haladva a 64 – 32– 16 – 8 – 4 – 2 – 1 – 0,5 – 0,25 – 0,125 – 0,063 mm. Az összegző (integráló) jellegű szemeloszlási görbe egy pontja azt adja meg, hogy az adott szemcseméretnél (D_i) kisebb (áthullott) szemcsék összesen milyen súly%-ban (S) vannak jelen a vizsgált szemcsehalmazban. Például a $D_{50} = 5$ mm azt jelenti, hogy a vizsgált szemcsehalmazban az $S = 50$ % súlyarányban jelenlévő szemcsék mérete 5 mm alatti. A vizsgálat egyes lépéseit és eredményeit az alábbiakban mutatjuk be.

Kapott eredmények: szemeloszlási görbe és a szemeloszlás statisztikus adatai (lásd a 11. ábrát).



11. ábra. A szemeloszlási vizsgálat eredménye és a szemeloszlási görbe jellemző adatai

Szitálás

Jel: D_i

Mértékegység: mm

Meghatározás: Az „i” indexben megadott súly%-hoz tartozó szemcseméret.

Vizsgálat: A mintát egy 0,063 mm-es szitán átmoszák, majd a fentmaradó részt 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszáritják. Ebből 100, 200 vagy 500 g-ot a szitasorozaton átszitálnak, s a szitasorozat egyes szitáin fentmaradt anyagot lemérik.

Hidrometrálás

Jel: D_i

Mértékegység: mm

Meghatározás: Az „i” indexben megadott súly%-hoz tartozó szemcseméret.

Vizsgálat: A minta 0,063 mm-es szitán átmosott részét mérőhengerbe öntik és desztillált vízzel feltöltik. Az ülepedés sebességét előre meghatározott időközökben sűrűségmérővel mérik.

Maximális szemcseméret

Jel: D_{max}

Mértékegység: mm

Meghatározás: A szemeloszlási görbéről leolvasva (11. ábra), a mintában található legnagyobb szemcse mérete.

Minimális szemcseméret

Jel: D_{min}

Mértékegység: mm

Meghatározás: A szemeloszlási görbéről leolvasva (11. ábra), a mintában található legkisebb szemcse mérete (magas agyagtartalom esetén nem határozható meg).

Mértékadó szemcseméret

Jel: D_m

Mértékegység: mm

Meghatározás: Pontosán csak számítással vagy a relatív gyakorisági görbe maximuma alapján határozható meg. Egyszerűbb esetben a szemeloszlási görbe inflexiós pontjához tartozó szemcseméret (11. ábra), vagy szükség szerint (pl. többszörösen szemcsehiányos görbe, több inflexiós ponttal rendelkező vagy egyeneshez közeli görbe esetén) az 50 %-hoz tartozó szemecsátmérő.

Vizsgálat: számítással vagy a szemeloszlási görbéről leolvasva.

Egyenlőtlenségi mutató

Jel: C_U

Mértékegység: mértékegység nélküli arányszám

Meghatározás: A 60 %-hoz és a 10 %-hoz tartozó szemcseátmérők hányadosa, vagyis a szemeloszlási görbe meredekségének mutatószáma (11. ábra).

Vizsgálat: számítással.

Görbületi mutató

Jel: C_C

Mértékegység: mértékegység nélküli arányszám

Meghatározás: A 30 %-hoz tartozó szemcseátmérő négyzetének, valamint a 10 % és a 60 %-hoz tartozó szemcseátmérők szorzatának aránya, vagyis a szemeloszlási görbe alakjának, görbültségének mutatószáma (11. ábra).

Vizsgálat: számítással.

Effektív vagy hatékony szemcsméret

Jel: D_{eff} vagy D_h

Mértékegység: mm

Meghatározás: Az a szemecsátmérő, melynek fajlagos (tömegegységre vonatkoztatott) felülete a vizsgált talajéval azonos (pontosabb számítás hiányában, jó köze-

lítéssel a 10 súly%-hoz tartozó szemcseátmérő (D_{10}) vehető figyelembe, a 11. ábra szerint.

Vizsgálat: számítással vagy a szemeloszlási görbéről leolvasva.

4.5.5. Konzisztencia- vagy Atterberg-határok vizsgálata

A konzisztenciahatárok a finomszemcsés, kötött (iszap és agyag) talajok víztartalmának azon értékei, amelyek mellett a talaj állapota az előírt tulajdonságokat mutatja. A konzisztenciahatárok (és a belőlük levezethető szilárdsági indexek) a vizsgált talajra jellemző értékek, melyek összefüggésben vannak a talaj ásványi és kémiai összetételével, szemcséinek nagyságával és alakjával. A természetes víztartalommal (w_n) együtt lehetőséget adnak a talajok állapotának megítélésére. A vizsgálatokat az alábbiakban ismertetjük.

Kapott eredmények: konzisztencia- vagy Atterberg-határok és szilárdsági indexek.

Folyási határ

Jel: w_L

Mértékegység: %

Meghatározás: Az a víztartalom, amely mellett a Casagrande-csészébe kent mintában meghúzott barázda 25 ütés hatására 10 mm hosszban folyik össze; illetve, amely mellett 5 sec alatt az ejtőkúpos penetrométer behatolási mélysége 80 g-os és 30 fokos kúp esetén 20 mm, a 60 g-os és 60 fokos kúp esetén 10 mm.

Vizsgálat: Casagrande-csésze vagy ejtőkúp segítségével, a nedvességtartalom meghatározásával (mérésével) végzik. Az eredményeket szemilogaritmikus koordináta-rendszerben ábrázolják.

Sodrasi vagy képlékenységi (plasztikus) határ

Jel: w_P

Mértékegység: %

Meghatározás: Az a víztartalom, amely mellett a 3 mm vastagságúra kisodort talajhenger (talajszál vagy „kukac”) már 1–2 cm hosszúságú darabokra töredezik.

Vizsgálat: A víztartalom lassú, folyamatos csökkentése mellett sodrással végzik.

Plasztikus index

Jel: I_P

Mértékegység: %

Meghatározás: A folyási határ és a sodrasi határ különbsége.

Vizsgálat: számítással.

Konzisztencia index

Jel: I_C

Mértékegység: mértékegység nélküli arányszám

Meghatározás: A folyási határ és a természetes víztartalom különbsége, valamint a plasztikus index hányadosa.

Vizsgálat: számítással.

Folyóssági index

Jel: I_L

Mértékegység: mértékegység nélküli arányszám

Meghatározás: A természetes víztartalom és a sodrási határ különbsége, valamint a plasztikus index hányadosa.

Vizsgálat: számítással.

Zsugorodási határ

Jel: w_S

Mértékegység: %

Meghatározás: Az a víztartalom, amelyen túl tovább szárítva a talajt, a térfogatát már nem csökkenti.

Vizsgálat: Az $I_C = 0,7-0,8$ értékű próbatest folyamatos, lassú szárítása közben 7–8 alkalommal végzett térfogatméréssel, vagy a mintatestet 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszárítva és annak súlyát, térfogatát megmérve végzik.

Telítési határ

Jel: w_T

Mértékegység: %

Meghatározás: Az a víztartalom, amelyen túl – külső, mechanikus beavatkozás (pl. keverés) nélkül – a talaj már nem képes több vizet magába szívni.

Vizsgálat: Az $I_C = 0,7-0,8$ értékű próbatesthez lassan, szakaszosan vizet adagolva, majd elérve a maximális vízfelvétel állapotát, a mintatestet 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszárítva és annak súlyát megmérve végzik. A szubjektív tényezők miatt általában számítással határozzák meg, a folyási határ értékéből.

4.5.6. Durvaszemcsés talajok tömörségi indexének vizsgálata

Jel: I_D (régebben T_{re})

Mértékegység: mértékegység nélküli arányszám

Meghatározás: A maximális és a tényleges hézagtenyező különbségének, valamint a maximális és minimális hézagtenyező különbségének hányadosa.

Vizsgálat: Az eredeti fekvésű talaj hézagtenyezőjét, valamint annak a leglazább (a 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszárított talajt egy tölcsér segítségével – a legkisebb tömörítő hatást is kizárva – egy kiszűrő hengerbe folytatva) állapothoz és a legtömörebb (az így előkészített talajt kiszűrő hengerbe betömörítve) állapothoz tartozó hézagtenyezőjét megmérve végzik.

4.5.7. Hézagterfogat és hézagtenyező vizsgálata

E két jellemző egymással rokon fogalom, ezért egymásba közvetlenül átszámíthatók.

Kapott eredmények: természetes víztartalom (w_n), hézagterfogat (n), hézagtenyező (e).

Hézagterfogat

Jel: n

Mértékegység: %

Meghatározás: A mintában lévő hézagok térfogatának a minta teljes térfogatához viszonyított aránya (12. ábra).

Vizsgálat: A minta térfogatának és a 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszáritott száraz súlyának mérésével végzik.

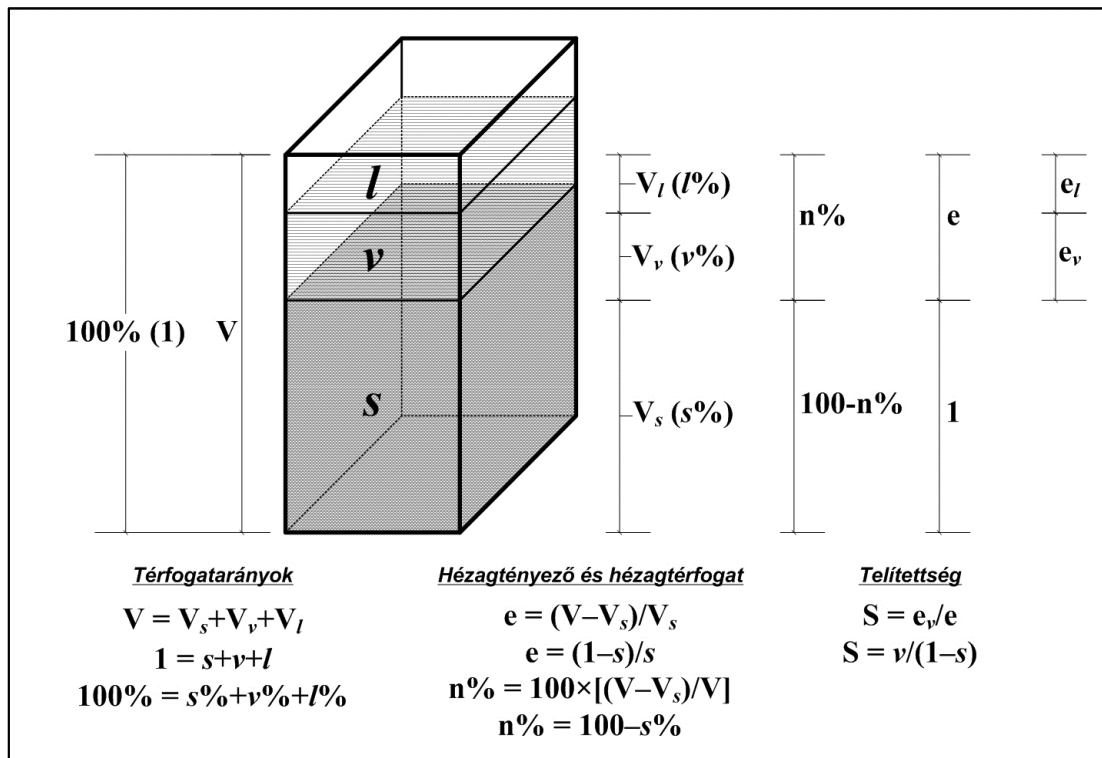
Hézagtényező

Jel: e

Mértékegység: mértékegység nélküli arányszám

Meghatározás: A mintában lévő hézagok térfogatának és a mintában lévő szilárd anyagok (talajszemcsék) térfogatának hányadosa (12. ábra).

Vizsgálat: A minta térfogatának és a 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszáritott száraz súlyának mérésével végzik.



12. ábra. A talaj fázisos összetételét és az ezzel összefüggésben számítható talajfizikai jellemzőket ábrázoló egységnyi térfogatú talajhasáb

4.5.8. Relatív telítettség vizsgálata

Jel: S_r

Mértékegység: mértékegység nélküli arányszám

Meghatározás: A mintában lévő vízzel kitöltött hézagok térfogatának és a mintában lévő összes hézag térfogatának hányadosa (12. ábra).

Vizsgálat: A minta nedves (természetes víztartalmú) és a 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszáritott száraz súlyának mérésével (víztartalom meghatározása), valamint térfogatának mérésével végzik (12. ábra).

Kapott eredmények: természetes víztartalom (w_n), relatív telítettség (S_r).

4.5.9. Fázisos összetétel (az alkotórészek térfogataránya) vizsgálata

A fázisos összetétel a mintában lévő szilárd anyagok, víz és levegő térfogatának %-os arányát jelenti, melynek ábrázolása az egységnyi talajoszlop (12. ábra) vagy a háromszög-diagram (lásd a 34. ábrát a 204. oldalon) segítségével történik.

Kapott eredmények: természetes víztartalom (w_n), szilárd fázis aránya (s), víz fázis aránya (v), levegő fázis aránya (l), relatív telítettség (S_r), hézagterfogat (n), hézagtenyező (e), természetes térfogatsűrűség (ρ_n).

Szilárd részek (talajszemcsék)

Jel: s

Mértékegység: %

Meghatározás: A mintában lévő szilárd anyagok (talajszemcsék) térfogatának a minta teljes térfogatához viszonyított aránya.

Vizsgálat: A minta 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszáritott száraz súlyának és térfogatának mérésével végzik.

Víz

Jel: v

Mértékegység: %

Meghatározás: A mintában lévő nedvesség (talajnedvesség) térfogatának a minta teljes térfogatához viszonyított aránya.

Vizsgálat: A minta nedves (természetes víztartalmú) és a 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig (általában 24 óra) kiszáritott száraz súlyának, valamint térfogatának mérésével végzik.

Levegő

Jel: l

Mértékegység: %

Meghatározás: A mintában lévő levegő (talajlevegő vagy talajgázok) térfogatának a minta teljes térfogatához viszonyított aránya. Egyszerűen számítható a már ismert s és v értékek alapján.

Vizsgálat: számítással.

4.5.10. Ásványos összetétel vizsgálata

Vizsgálat: A vulkanikus eredetű kőzetek aprózódása folytán képződött szemcsék ásványos összetételűek. A kisebb (kb. az 1–5 mm alatti) méretű szemcsék általában egyetlen kristályból állnak, míg az ennél nagyobb szemcséket még többnyire az eredeti kőzet (anyakőzet) kisebb-nagyobb darabkái alkotják, így azok eredeti ásványos összetétele nagyítóval vagy mikroszkóppal tanulmányozható. Ezzel a módszerrel szintén informálódhatunk a réteg anyagának származási helyéről, esetleg kialakulásának idejéről is.

Kapott eredmények: ásványi összetevők fajtája és aránya.

4.5.11. Diszperzibilitás vizsgálata

Meghatározás: A vizsgálat az agyagtalajok vízzel szembeni érzékenységét, vagyis a talajrögök, illetve a talajszemcsék átázás, vagyis víz hatására kialakuló szétesési („szétázási”) hajlamát mutatják. Ezt a kiegészítő, tájékoztató jellegű vizsgálatot

többnyire az agyagból készített földfeltöltések és a vízszigetelő talajszerkezetek (pl. szigetelő paplanok, gátak) esetében végzik el.

Vizsgálat: tűszúrásos vizsgálat (a lyukak méretváltozása az átfolyt víz hatására és az átfolyt víz zavarosságára), kétszeres ülepitési vizsgálat (szemeloszlási görbék összehasonlítása), rögvizsgálat (szétesési idő és szétesési százalék) és a pórusvízben lévő oldható sók meghatározása (főleg a nátriumsókra vonatkozóan).

Kapott eredmények: az agyagtalajok vízzel szembeni ellenálló képessége.

4.5.12. Fagyérzékenység vizsgálata

Meghatározás: A vizsgálat a talajok fagy- és olvadási károkkal szembeni érzékenységét, ezen belül is a fagyemelési, valamint az olvadás miatt bekövetkező teherbírás csökkenési hajlamot hivatott tisztázni, ha az erre vonatkozó információk az egyéb vizsgálatokból nem szerezhetők meg. Erre a vizsgálatra a szabad felszínen kialakított utak és térburkolatok esetében és főként a szerves–tőzeges, a magas sótartalmú és a széles szemcsetartományú (elnyúló szemeloszlású) vagy a finomszemcsés talajoknál lehet szükség.

Vizsgálat: fagyemelkedési vizsgálat (fagy hatására bekövetkező méretnövekedés), többszörös fagyási–olvadási ciklus utáni teherbírás vizsgálat.

Kapott eredmények: a talajok fagy- és olvadási hatásokkal szembeni viselkedése.

4.5.13. Talajok egyirányú (szabad, oldalnyomás nélkül végzett) nyomóvizsgálata

Meghatározás: A finomszemcsés (kötött) talajok törési ellenállásának vizsgálata.

Vizsgálat: Zavartalan mintán, oldalmegtámasztás nélkül, a hengeres mintatest véglapjaira gyakorolt, folyamatosan növekvő nyomással végzik.

Kapott eredmények a vizsgálat részletességétől függően: egyirányú nyomószilárdság (q_u), feszültség–alakváltozás (σ – ε) görbe, természetes víztartalom (w_n), szilárd fázis aránya (s), víz fázis aránya (v), levegő fázis aránya (I), relatív telítettség (S_r), hézagterfogat (n), hézagtényező (e), természetes térfogatsűrűség (ρ_n), számitással drénezetlen nyírószilárdság (c_u).

4.5.14. Talajok triaxiális (zárt, oldalnyomás mellett végzett) nyomóvizsgálata

Meghatározás: Elsősorban a finomszemcsés (félig kötött és kötött jellegű) talajok komplex vizsgálatára (speciális esetekben még a ciklikus vagy dinamikus) és minden fontosabb talajfizikai paraméter meghatározására alkalmas.

Vizsgálat: A vizsgálatok az előre meghatározott és alkalmasan választott nyomás értékkel és a pórusvíznyomás mérésével történnek. A vizsgálatok elvégezhetőek konszolidálatlan–drénezetlen (UU : folyamatos és gyors terhelés mellett, a pórusvíz elvezetése nélkül), konszolidált–drénezetlen (CU : lépcsős terhelés mellett, a konszolidáció pórusvíz elvezetése mellett történő kivárással) és konszolidált–drénezett (CD : lépcsős és lassú terhelés mellett, a konszolidáció kivárással, a pórusvíz elvezetése mellett, a pórusvíz nyomásának folyamatos mérésével) körülmények között egyaránt. Telített és telítetlen talajok egyaránt vizsgálhatók.

Kapott eredmények a vizsgálat részletességétől függően: feszültség–pórusvíznyomás–alakváltozás görbék, Mohr–körök és Coulomb–egyenes, egyirányú nyomó-

szilárdság (q_u), drénezetlen nyírószilárdság (c_u), belső súrlódási szög (φ), kohézió (c), rugalmassági (Young-) modulus (E és E_u), nyírási modulus (G), kompressziós index (C_c), konszolidációs tényező (c_v), vízáteresztő képesség (k) természetes víztartalom (w_n), szilárd fázis aránya (s), víz fázis aránya (v), levegő fázis aránya (l), telítettség (S_r), hézagterefogat (n), hézagtényező (e), természetes térfogatsűrűség (ρ_n), telített térfogatsűrűség (ρ_t), száraz térfogatsűrűség (ρ_d).

4.5.15. Talajok közvetlen, nyíródobozos vagy körgyűrűs nyíróvizsgálata

Meghatározás: Bármely talaj nyírási ellenállásának vizsgálata.

Vizsgálat: Zavartalan (szükséges esetben zavart) mintán, a mintatest alsó és felső véglapjaira gyakorolt, mintánként változó (de a mérés alatt változatlan) értékű nyomás alatt, a mintatest vízszintes irányú elnyírásával történik. Gyors (drénezetlen) és lassú (drénezett) módon végezhető mérési módszer, de a pórusvíz-nyomás nem mérhető.

Kapott eredmények a vizsgálat részletességétől függően: nyíróerő–nyírófeszültség–elmozdulás–összenyomódás–nyomófeszültség görbe, Mohr-körök és Coulomb-egyenes, drénezetlen nyírószilárdság (c_u), természetes víztartalom (w_n), szilárd fázis aránya (s), víz fázis aránya (v), levegő fázis aránya (l), telítettség (S_r), hézagterefogat (n), hézagtényező (e), természetes térfogatsűrűség (ρ_n), belső súrlódási szög (φ), kohézió (c).

4.5.16. Kompressziós vizsgálat

A kompressziós vagy másként az oedométeres vizsgálatokkal a talajok összenyomódási (kompresszibilitási), tulajdonságai határozhatók meg. Ezen kívül a laza feltöltések vagy homoktalajok, illetve a típusos (makroporozus) lösztalajok esetében a vízelárasztás hatására bekövetkező hirtelen roskadás vizsgálata is oedométerben történik.

Összenyomódási vagy kompressziós (oedométeres) modulus

Jel: E_{oed} (régebben E_s , vagy M)

Mértékegység: MN/m²

Meghatározás: A kompressziós görbe két adott pontja közötti talajfeszültség különbség és a fajlagos összenyomódás különbség hányadosa.

Vizsgálat: A minta lépcsősen növekvő (vagyis a terhelésekhez tartozó konszolidáció kiváráásával végzett) terhelések közbeni alakváltozás (összenyomódás) mérésével végzik.

Kapott eredmények a vizsgálat részletességétől függően: fajlagos összenyomódás–idő–hézagtényező–talajfeszültség görbék, természetes víztartalom (w_n), szilárd fázis aránya (s), víz fázis aránya (v), levegő fázis aránya (l), telítettség (S_r), hézagterefogat (n), hézagtényező (e), természetes térfogatsűrűség (ρ_n), telített térfogatsűrűség (ρ_t), száraz térfogatsűrűség (ρ_d), összenyomódási modulus (E_{oed}), kompressziós index (C_c), konszolidációs tényező (c_v), vízáteresztő képesség (k).

Roskadási tényező

Jel: C_p (régebben i_m)

Mértékegység: mértékegység nélküli arányszám

Meghatározás: A kompressziós görbe elárasztás elejét és végét jelző pontjához tartozó alakváltozások (fajlagos összenyomódás vagy hézagtényező) különbsége, valamint a végét jelző alakváltozási pont és az 1 (egy) összegének hányadosa.

Vizsgálat: A vizsgálat az összenyomódási modulus esetében már ismertetett módon történhet, az előre kiválasztott terhelési lépcső végén történő elárasztással. Elvégezhető úgy is, hogy a már ismertetett kompressziós vizsgálatot az eredeti állapotú és a már a kísérlet elején elárasztott mintával is elvégzik. Ez utóbbi megoldás esetében a roskadási tényező utólag, bármely tetszés szerinti terhelésnél meghatározható.

Kapott eredmények a vizsgálat részletességétől függően: fajlagos összenyomódás–idő–hézagtényező–talajfeszültség görbék, természetes víztartalom (w_n), a szilárd fázis aránya (s), a víz fázis aránya (v), a levegő fázis aránya (l), telítettség (S_r), hézagterfogat (n), hézagtényező (e), természetes térfogatsűrűség (ρ_n), telített térfogatsűrűség (ρ_t), száraz térfogatsűrűség (ρ_d), roskadási tényező (C_p).

4.5.17. Tömörítési vagy Proctor vizsgálat

Meghatározás: A vizsgálat alapján elkészített Proctor-görbe maximum pontjához tartozó koordináták leolvasása alapján a talaj optimális tömörítési víztartalmának és az ehhez tartozó legtömörebb állapot száraz térfogatsűrűségének megállapítása.

Vizsgálat: Adott talajnak különböző víztartalom melletti betömörítésével és a betömörített próbatest talajfizikai jellemzőinek meghatározásával végzik.

Kapott eredmények: nedvességtartalom–száraz térfogatsúly és telítettségi görbék, természetes víztartalom (w_n), száraz térfogatsűrűség (ρ_{dmax}).

4.5.18. Permeabilitás vagy vízáteresztő képesség vizsgálata

Jel: k

Mértékegység: cm/sec (m/sec vagy m/nap)

Meghatározás: A mintán átszivárgó víz mennyisége és szivárgási út hossza szorzatának, valamint a minta keresztmetszeti felülete, az átfolyás ideje és a víznyomás szorzatának hányadosa.

Vizsgálat: A vizsgálatot durvaszemcsés talajoknál az állandó víznyomású, a finomszemcsés talajoknál változó víznyomású készülékkel végzik.

4.5.19. Lineáris zsugorodás vizsgálata

Jel: ε_l

Mértékegység: %

Meghatározás: A zsugorodás során a minta hosszmérete csökkenésének az eredeti hosszmérethez viszonyított aránya.

Vizsgálat: A vizsgálat a folyási határ állapotáig nedvesített finomszemcsés (kötött) talajjal végezhető el, a minta levegőn történő teljes kiszáritásával. Történhet a mérővályuba kent anyag hosszúságának vagy a zsugorgyűrűbe bedolgozott anyag magasságának, esetleg a talajhasáb élhosszúságainak mérésével.

4.5.20. Duzzadási nyomás vizsgálata

Jel: p_d

Mértékegység: kN/m²

Meghatározás: Térfogatállandóság mellett, a telítésig nedvesített minta által létrehozott nyomás nagysága.

Vizsgálat: Az adott (természetes állapotú vagy előzőleg levegőn kiszáritott) nedvesítőtartalom mellett oedométerben elhelyezett mintát elárasztják. Az egyik mérési változat esetében térfogatállandóságot biztosítanak, majd a teljes vízfelvételt követően megméri a minta nyomását. A másik mérési változatban a mintát engedik szabadon tágulni, majd a teljes vízfelvételt követően méri azt a nyomást, mellyel a minta eredeti térfogatára nyomható össze.

4.5.21. Talajok és talajvíz vegyvizsgálata

A talajok és a talajvíz geotechnikai szempontból legfontosabb vegyi tulajdonságai a szervesanyag-tartalom és az építőanyagokkal (tégla és beton szerkezetek) szembeni agresszivitás. Az ezekkel kapcsolatos vizsgálatokat az alábbiakban ismertetjük.

Szervesanyag-tartalom meghatározása

Jel: I_{om}

Mértékegység: %

Meghatározás: A mintában lévő szerves anyagok súlyának a minta eredeti nedves súlyához viszonyított aránya.

Vizsgálat: A hidrogén-peroxidos kezelést (H_2O_2 -vel történő intenzív oxidáció) követő súlyvesztés mérésével végzik.

Izzítási veszteség meghatározása

Jel: LOI

Mértékegység: %

Meghatározás: A mintában lévő és az izzítás során távozó anyagok súlyának a minta eredeti nedves súlyához viszonyított aránya.

Vizsgálat: Az előzőleg 60 °C hőmérsékleten kiszáritott minta 440 °C hőmérsékleten (estleg 600 °C) történő izzítását követő súlyvesztés mérésével végzik. Mivel ezen a hőfokon már egyes talajalkotó részek (pl. gipsz, kalciumkarbonát) is lebomlanak, ezért az eredmény kiértékelésénél ezt a körülményt is figyelembe kell venni. A magyarországi talajok esetében az izzításkori súlyvesztés egyharmadát–felét a szervesanyag-tartalom, felét–kétharmadát a szervesetlen anyagok (zömmel gipsz és kalciumkarbonát) vegyi átalakulása okozza.

pH érték meghatározása

Jel: pH

Mértékegység: mértékegység nélküli érték

Meghatározás: A minta hidrogénion koncentrációjának, vagyis kémhatásának (savasság vagy lúgosság) értéke.

Vizsgálat: Pontos mérés kalibrált mérőműszerrel, vagy közelítő (gyors) mérés pH-papírral, színskála segítségével.

Karbonáttartalom (mésztartalom) meghatározása

Jel: $CaCO_3$

Mértékegység: mg/l vagy %

Meghatározás: Az 1 l talajvízben vagy talajoldatban lévő kalciumkarbonát súlya.

Vizsgálat: Sósavas felbontással a felszabaduló széndioxid mennyiségének mérésével, esteleg gyors titrálással.

Szulfát tartalom meghatározása

Jel: SO_4

Mértékegység: mg/l

Meghatározás: Az 1 l talajvízben vagy talajoldatban lévő szulfátionok súlya.

Vizsgálat: Az oldatból bárium-szulfátként kicsapatva, majd a csapadék súlyának mérésével, illetve a kicsapítás utáni szűrlet fotometriás mérésével, vagy spektrofotométerrel.

Klorid tartalom meghatározása

Jel: Cl

Mértékegység: mg/l

Meghatározás: Az 1 l talajvízben vagy talajoldatban lévő kloridionok súlya.

Vizsgálat: Az oldatból káliumkromát indikátor mellett, $AgNO_3$ -oldattal történő titrálással, vagy spektrofotométerrel.

4.5.22. Kőzetek egyirányú (szabad, oldalnyomás nélkül végzett) nyomóvizsgálata

Meghatározás: A kőzetek egyirányú nyomószilárdságának vizsgálata.

Vizsgálat: A talajok esetében alkalmazott módszerrel történik (lásd a **4.5.13. pontot**).

Kapott eredmények a vizsgálat részletességétől függően: feszültség–alakváltozás (σ – ϵ) görbe, egyirányú nyomószilárdság (σ_c), Poisson-tényező (ν), rugalmassági (Young-) modulus (E), természetes víztartalom (w_n), természetes térfogatsűrűség (ρ_n).

4.5.23. Kőzetek triaxiális (zárt, oldalnyomás mellett végzett) nyomóvizsgálata

Meghatározás: A kőzetek komplex vizsgálatára (speciális esetekben még a ciklikus vagy dinamikus) és minden fontosabb kőzetfizikai paraméter meghatározására alkalmas.

Vizsgálat: A talajok esetében alkalmazott módszerrel történik (lásd a **4.5.14. pontot**).

Kapott eredmények a vizsgálat részletességétől függően: feszültség–pórusvíznyomás–alakváltozás görbék, Mohr-körök és Coulomb-egyenes, egyirányú nyomószilárdság (σ_c), Poisson-tényező (ν), belső súrlódási szög (φ), kohézió (c), rugalmassági (Young-) modulus (E), nyírási modulus (G), kompressziós index (C_c), konszolidációs tényező (c_v), vízáteresztő képesség (k) természetes víztartalom (w_n), természetes térfogatsűrűség (ρ_n).

4.5.24. Kőzetek közvetlen nyíróvizsgálata

Meghatározás: A kőzetek nyírószilárdságának vizsgálata.

Vizsgálat: A talajok esetében alkalmazott módszerrel történik (lásd a **4.5.15. pontot**).

Kapott eredmények a vizsgálat részletességétől függően: nyíróerő–nyírófeszültség–elmozdulás–összenyomódás–nyomófeszültség görbe, Mohr-körök és Coulomb-egyenes, természetes víztartalom (w_n), természetes térfogatsűrűség (ρ_n), belső súrlódási szög (φ), kohézió (c).

4.5.25. Kőzetek brazilvizsgálata

Meghatározás: Kőzetek húzószilárdságának vizsgálata.

Vizsgálat: A henger alakú, fektetett kőzetmagok alkotója menti terhelésével végzik.

Kapott eredmények: feszültség–alakváltozás (σ – ε) görbe, kőzetek húzószilárdsága (σ_T), természetes víztartalom (w_n), természetes térfogatsűrűség (ρ_n)

4.6. Helyszíni geotechnikai mintavétel talajból és kőzetből

A terepi vizsgálatok hagyományos és még napjainkban is legelterjedtebb módszerei a mintavétellel kombinált közvetlen talajfeltárások (fúrások és nyílt feltárások) és a helyszíni talajvízmérések. Ezek ugyanis azonnali és konkrét tájékoztatást nyújtanak a rétegződés helyzetéről, s a rétegek anyagáról, összetételéről. A fúrások és nyílt feltárások feladata tehát – a rétegződési viszonyok és a vízszintek meghatározásán kívül – a talaj- és kőzetmintavétel biztosítása, hiszen a talajok és kőzetek legtöbb fizikai paramétere csak laboratóriumi vizsgálattal határozható meg. A helyszíni feltárások során vezetett feltárási jegyzőkönyvek és a mintavételezés képezi a további mérnöki munkák alapját, ezért feltárásokat csak jól felkészült, gyakorlott és szakmailag is jól képzett fúrómester vezetheti.

A nagyatmérőlű fúrásokkal, a kisatmérőlű fúrásokkal, a nyílt (gödör, árok) feltárásokkal, a talaj- és kőzetmintavételi eljárásokkal és a talajminták minőségi osztályozásával, a talaj- és kőzetmintavételek módjának és kezelésének általános szabályaival, valamint a talajvízmérésekkel kapcsolatos legfontosabb ismereteket a következő pontokban ismertetjük.

4.6.1. Nagyatmérőlű fúrások

A gazdaságilag jelentősebb létesítményeknél vagy a nagyobb mélységű fúrások esetében, illetve a részletes talajfizikai vizsgálatokhoz szükséges nagyobb méretű magminták igényének kielégítéséhez nagy átmérőlű ($D > 100$ mm) fúrás készítésére van szükség. Erre a célra jellemzően a gépkocsira szerelt vagy gumi-lánc talpas, de minden esetben hidraulikus meghajtású, tornyos fúróberendezések használhatók. A hazai talajviszonyok mellett ezek maximális feltárási mélysége általában 50–500 m között változik. Napjainkban főként az M.I., UGB, URB, SEDIDRILL, WIRTH típusok a legelterjedtebbek. A fúrások talajvíz felett és az alatt, béléscsővel vagy anélkül is készíthetők, folyamatos spirálfúróval, koronafúróval, kanálfúróval és iszapolóval egyaránt. Ezekkel a fúrási technológiákkal általában erősen átgyúrt, kevert mintát, kedvező talajadottságok mellett zavart mintákat szolgáltatnak, s a rétegváltások 1–2 dm pontossággal határozható meg. Természetesen szakaszos és folyamatos zavartalan magminták vételére is alkalmasak, ez esetben a rétegváltások 1–2 cm-es pontossággal állapíthatók meg. Néhány esetben találkozhatunk még a régebben elterjedt kisebb, kézben hordozható, kisépű fúróval, a Stihl-motorral felszerelt WITTE fúrógéppel is, mely 130–270 mm átmérőlű spirálfúróval rendelkezik

és kevert vagy zavart (szerencsés esetben félig zavart) minták vételére alkalmas.

4.6.2. Kisátmérőjű fúrások

A magyarországi geotechnikai feladatok zömében eredményesen alkalmazhatók a kis átmérőjű ($D < 100$ mm) fúrások is. Erre a célra ma már egyre inkább a kisebb önjáró, gumi-lánctalpas, hidraulikus meghajtású, SEDIDRILL vagy PROSPER típusú berendezéseket alkalmazzák, de még a régebbi, kézzel szállítható és viszonylag szűk helyeken is használható, BORRO kisgépi fúróberendezéssel is sokszor találkozhatunk. Ezek a nagy átmérőjű fúróberendezéseknél már említett talajadottságok mellett és azokhoz hasonló fúrási és mintavételi módszerekkel működnek. A hazai talajviszonyok mellett ezek maximális feltérési mélysége általában 10–20 m között változik. Segítségükkel a réteghatárok 2–10 cm-es pontossággal állapíthatók meg és általában zavart (szerencsés esetben félig zavart) mintákat szolgáltatnak, illetve kisebb átmérőjű zavartalan magminta vételére is alkalmasak.

4.6.3. Nyílt (gödör, árok, rés) feltárások

Az egyszerűbb esetekben, például, ha csak a felszínközeli helyzetű kőzetréteg megjelenési mélységére vagy csak a talajvíz pillanatnyi helyzetére vagyunk kíváncsiak, de akkor is, ha egyéb okok miatt a talajrétegek másként nem tárhatók fel vagy tökéletesen zavartalan és eredeti településű mintára van szükségünk (pl. típusos lösznél a roskasztási vizsgálathoz), esetleg helyszíni szikkasztási vizsgálatot kell végezni, vagy a szerkezetek földben lévő alapjainak mélységére és méretére van szükségünk, illetve a közmű vezetékek anyagát, méretét és mélységét kell meghatározni, akkor nyílt feltárásokat kell készíteni. Ilyen módon a feltárt rétegekről, képződményekről, a talajvíz helyzetéről vagy a szerkezetekről közvetlenül pontos információk nyerhetők, illetve azok eredeti állapotukban vizsgálhatók. Az így nyert minták minden irányban tökéletesen zavartalanok, így a laboratóriumi vizsgálatok alapján az eredeti talajfizikai jellemzők pontosan meghatározhatók. Ez a módszer természetesen csak korlátozott mélységig alkalmazható, vagyis amíg a megjelenő talajvíz vagy a dúcolási igények azt lehetővé teszik.

4.6.4. Mintavételi kategóriák, talaj- és kőzetmintavételi eljárások

A helyszíni vizsgálatokhoz felhasznált fúró és mintavevő eszközöket a kinyert mintákon elvégzendő laboratóriumi vizsgálatok határozzák meg, vagyis, hogy ezekhez a vizsgálatokhoz milyen kategóriájú minták szükségesek. A különböző fúróberendezésekkel és mintavételi eljárásokkal ugyanis különböző kategóriájú talajminták nyerhetők. A mintavételi kategóriákat és a helyszíni feltárásokban alkalmazott talaj- és kőzetmintavételi eljárásokat a következőkben ismertetjük.

„A” kategóriájú (zavartalan) minta

Az ilyen talaj- és kőzetminta esetében a talajszerkezet még szinte semmi, vagy csak nagyon csekély változást szenved. A kinyert minta víztartalma, porozitása, szemcseösszetétele, plaszticitása, szerkezete, anyagstruktúrája, települése, szilárdsági és alakváltozási jellemzője lényegében megegyezik az eredeti állapottal. Itt kell megemlíteni, hogy az eredeti fekvéssel mindenben azonos – vagyis tökéletesen zavartalan – minta csak a kemény és teljesen ép (szerkezetileg egységes) kőzetekből

vehető. Minden más esetben a kinyert minta, a mintavételből eredően, némi (általában elhanyagolható mértékű) deformációt szenved. Az említett kritériumokat kielégítő mintavétel igazán jó minőségben csak a kettősfalú (pl. T6 magcső) vagy a háromfalú (pl. *Wire Line* magcső) segítségével oldható meg. Általában azonban az egyszerűbb egyfalú vert (pl. egyszerű kézi kiszűrőhenger, nyitott) vagy sajtolt (pl. dugattyús) mintavevő hengereket, illetve a belső üreges spirálfúróval (HSA) kombinált mintavevő hengereket használják, melyek szakszerűen alkalmazva még megfelelő magmintát szolgáltatnak. Kőzetek esetében kizárólag koronafúróval oldható meg az „A” kategóriájú mintavétel. Ilyen mintavétel végezhető fúrások nélkül a nyílt feltárásokból (gödör, árok, rés) is, melyekből gondos munkával 100 %-osan eredeti állapotú, általában hasáb formájú mintatestek („kockaminták”) nyerhetők.

„B” kategóriájú (zavart) minta

Az ilyen talaj- és kőzetminta esetében a talajszerkezet már kimutatható változást szenved. A kinyert talajminta víztartalma, és anyagi összetevőinek aránya (szemcseösszetétele, plaszticitása) még az „in situ” állapotnak megfelelő, de porozitása, szerkezete, anyagstruktúrája, települése, szilárdsági és alakváltozási jellemzője az eredeti állapothoz képest zavart, vagyis attól kisebb-nagyobb mértékben eltér. Kőzet esetében az egyes kőzetdarabok szilárdsági és alakváltozási jellemzői, a víztartalom, a porozitás, a permeabilitás, valamint a tagoltság és a közetszerkezet még nagyjából az eredeti „in situ” állapotnak megfelelő, de a kőzettömeg egészének állapotára és a fentebb részletezett jellemzőire már csak tájékoztató jelleggel lehet következtetni. Az említett feltételeknek megfelelő „B” kategóriájú mintavétel általában a kis átmérőjű (pl. BORRO) és a nagy átmérőjű (pl. UGB) fúrógépek spirálfúrója segítségével történik. Kőzetek esetében az aprító–örlő fúrófejjel és száraz technológiával vehetünk „B” kategóriájú mintát.

Megemlítjük, hogy szerencsés esetben és főleg a kötött jellegű finomszemcsés talajokból a koronafúró (esetleg a spirálfúró) alkalmazásával a kis és a nagyátmérőjű fúrásokból egyaránt kinyerhetők olyan félig zavart talajminták, melyek porozitása, szerkezete, anyagstruktúrája, települése, szilárdsági és alakváltozási jellemzője közel azonos az eredeti állapottal.

„C” kategóriájú (kevert vagy átgyúrt) minta

Az ilyen talajminták esetében a minta teljesen kevert (átgyúrt) lesz. A minta víztartalma, és anyagi összetevőinek aránya (szemcseösszetétele, plaszticitása) a talajkörnyezet átlagos értékeihez közelít, de esetenként attól jelentősen el is térhet. Az eredeti állapotnak megfelelő porozitása, szerkezete, anyagstruktúrája, települése, szilárdsági és alakváltozási jellemzője már egyáltalán nem azonosítható. Kőzet esetében a szilárdsági és alakváltozási jellemzők, a víztartalom, a porozitás, a permeabilitás, valamint a tagoltság és a közetszerkezet már nem ismerhető fel. A kőzet fajta, alapanyaga, szövete, ásványi összetétele azonban a kisebb kőzetdarabok alapján még többé-kevésbé azonosítható. Ezek a feltételeknek megfelelő mintavételre már bármilyen fúró vagy iszapoló módszer alkalmas. Megjegyzendő, hogy a talajvíz alatti kötött jellegű finomszemcsés talajokból a nagy átmérőjű spirálfúrókkal (pl. UGB) többnyire csak ilyen minőségű mintavételre van lehetőség. A durvaszemcsés

talajokban (homok és kavics) pedig szinte kizárólag csak ilyen jellegű mintavétel végezhető. Ezért az ilyen esetekben a fúrásokat mindig CPTu (finomszemcsés talajoknál) statikus nyomószonda vagy DP (durvaszemcsés talajoknál) dinamikus verőszonda vizsgálatokkal kell/érdemes párosítani. Kőzetek esetében a száraz és az öblítéssel technológiák egyaránt felhasználhatók az ilyen típusú mintavételhez.

4.6.5. Mintavételi kategória, a talajminta minőségi osztálya és az elvégezhető laboratóriumi vizsgálatok kapcsolata

A 4. és az 5. táblázatok a mintavételi kategóriák és a minták minőségi osztálya, valamint a talajfajták, a vizsgálható talajfizikai paraméterek és a laborvizsgálati módszerek közötti kapcsolatokat mutatják be. A táblázatokat az MSZ EN 1997-2:2008 (Eurocode 7-2) táblázatai, valamint [MÓCZÁR, 2015] alapján állítottuk össze.

4. táblázat. Összefüggések a mintavételi kategória, a minta minőségi osztálya és a talajok, rétegek tulajdonságainak meghatározhatósága között

Talajok és rétegek tulajdonságai	Minta minőségi osztálya				
	1.	2.	3.	4.	5.
<i>A mintavétel, szállítás, tárolás és kezelés során változatlan tulajdonságok</i>					
szemcsenagyság	+	+	+	+	
természetes víztartalom	+	+	+		
tömörség, tömörségi index, porozitás, permeabilitás, fázisos összetétel	+	+			
összenyomhatóság, nyírószilárdság, testsűrűség	+				
<i>A minta alapján meghatározható tulajdonságok</i>					
rétegződés	+	+	+	+	+
vastag és/vagy durvaszemcsés rétegek határai	+	+	+	+	
vékony és/vagy finomszemcsés rétegek határai	+	+			
Atterberg-határok, szemeloszlás, anyagsűrűség, szervesanyag-tartalom	+	+	+	+	
természetes víztartalom	+	+	+		
tömörség, tömörségi index, porozitás, permeabilitás, fázisos összetétel	+	+			
összenyomhatóság, nyírószilárdság, testsűrűség	+				
Mintavételi kategória, mely biztosítja a vizsgálathoz szükséges minőségi osztályú mintát					C
				B	
	A				

5. táblázat. A mintavételi kategória és a talajfajták függvényében meghatározható talajfizikai paraméterek

Talajfizikai paraméter	Talajfajta							
	Agyag			Iszap			Homok és kavics	
	Alkalmazható mintavételi kategória							
	A	B	C	A	B	C	B	C
geológiai leírás, talajosztályozás	+	+	+	+	+	+	+	+
természetes víztartalom	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)
természetes térfogatsűrűség	+	(+)	–	+	(+)	–	–	–
maximális és minimális térfogatsűrűség	–	–	–	(+)	(+)	(+)	+	+
Atterberg-határok	+	+	+	+	+	+	–	–
szemeloszlás	+	+	+	+	+	+	+	+
drénezetlen nyírószi-lárdság	+	–	–	(+)	–	–	–	–
permeabilitás	+	–	–	+	(+)	(+)	(+)	(+)
érzékenység	+	–	–	–	–	–	–	–
+ a mintából a talajfizikai paraméter meghatározható (+) a mintából a talajfizikai paraméter meghatározható, de nem feltétlenül jellemző – a mintából a talajfizikai paraméter nem határozható meg Bizonyos talajfajták esetében további vizsgálatok elvégzése is megfontolandó (pl. szervesanyag-tartalom, anyagsűrűség, tömöríthetőség stb.)								

4.6.6. A talaj- és kőzetmintavételek módjának és kezelésének általános szabályai

Az egyes fúrési pontokon a mintavételi helyek függőlegesen mélységét és távolságát (sűrűségét), valamint az egyes minták kategóriáját és minőségi osztályát, továbbá a minták kezelésének körülményeit mindig az adott feladat céljához, a vizsgálatok jellegéhez és a környezeti adottságokhoz kell igazítani, s ezeket a körülményeket a feltérési tervben kell rögzíteni. Ebben kell meghatározni a minták beszállítási helyét (általában laboratórium), valamint a mintakezeléssel és a feltérési munkákkal kapcsolatos nem szokványos, egyéni kívánságokat, utasításokat is.

A mintakezeléssel kapcsolatosan általánosan a következőket kell betartani.

- Általános esetben a zavart vagy kevert (átgyúrt) mintákat 1–2 méterenként és rétegenként kell begyűjteni. A zavartalan mintákat olyan mélységekből és rétegekből kell venni, hogy minden réteg esetében meghatározhatók legyenek a

geotechnikai dokumentáció elkészítéséhez és a számítások elvégzéséhez szükséges talajfizikai jellemzők statisztikus és karakterisztikus értékei. Ez általában fúrásonként és egy-egy fúráson belül 3–6 méterenként vett zavartalan mintákkal biztosítható.

- Környezetvédelmi vizsgálatoknál, kárvizsgálatoknál, állékonysági vizsgálatoknál és más különleges esetekben a zavart vagy kevert mintákat 0,5 méterenként és rétegenként célszerű venni. Az ilyen esetekben a zavartalan mintákat olyan mélységi és területi eloszlásban kell kinyerni, hogy a geotechnikai dokumentáció elkészítéséhez és a számításokhoz szükséges talajfizikai jellemzők statisztikus és karakterisztikus értékein kívül azok területi eloszlása minden rétegre vonatkozóan és megbízhatóan megadható legyen. Ez általában fúrásonként és egy-egy fúráson belül 2–3 méterenként begyűjtött zavartalan mintákkal biztosítható.
- A mintavételezés módja zavartalan minták esetében légmentesen lezárt műanyag magcsővel vagy fém mintahengerrel történik. A zavart és a kevert, átglyúrt mintákat légmentesen lezárt és mintával teljesen megtöltött műanyag dobozban vagy műanyag zacskóban kell elhelyezni úgy, hogy a párakicsapódás (vízvesztés) megelőzhető legyen. Minden mintán egyértelműen azonosítható módon és sérülésmentesen kell feltüntetni a fúrás számát, a mintavétel mélységét, helyét (közigazgatási hely és cím vagy létesítmény) és dátumát. A mintákat fúrásonként csoportosítva (pl. műanyag zsák vagy szatyor) kell gyűjteni. A magcső vagy mintahenger külső felületén egyértelműen jelölni kell, hogy melyik a minta teteje és alja.
- A minták mélységét és típusát a fúrási jegyzőkönyvben is rögzíteni kell.
- Azokból a fúrásokból, melyekben vizet észleltek, vízmintát is kell venni, melyet tiszta műanyag vagy üveg palackban, légmentesen lezárva kell tárolni.
- A talaj- és vízmintákat a mintavétel napján a laboratóriumba kell szállítani, illetve a beszállításig hűtőládában vagy hűtőszekrényben (de legalább árnyékos, hűvös helyen) kell tárolni. A mintákat csak a feltétlenül szükséges mértékben szabad mozgatni, azok szállítása a lehetőségekhez mérten a legrövidebb útvonalon és a legrövidebb ideig, rázkódástól mentesen történjen.

4.6.7. Talajvízmérések

A geotechnikai fúrásokban észlelt víz az esetek igen nagy részében talajvíz, kisebbik hányadában felszínközeli szivárgó víz, igen ritkán csurgalékvíz, karsztvíz, esetleg rés- vagy hasadékvíz. Számos esetben azonban nem csak a fúrásban (vagyis a felszín alatt) található víz, hanem a fúrások közelében is találhatunk felszíni vizeket (pl. patakok, folyók, tavak, források). Mivel a felszíni vizek többnyire közvetlen vagy közvetett kapcsolatban állnak a közelükben lévő felszín alatti vizekkel, s mivel ezek együttesen hatással vannak a vizsgált létesítményre is, ezért a fúrásban jelentkező és a közelében lévő felszíni vizek fontosabb adatait (pl. jellemző szintjeit, szivárgási irányait, nyomását és vegyi tulajdonságait) egyaránt meg kell ismerni. Az ezen adatok megszerzésére irányuló helyszíni méréseket nevezzük összefoglalóan talajvízméréseknek.

Vízszintmérés

Az előbbieken alapján tehát a helyszíni vizsgálatoknak kimelt jelentőségű részét képezi az előbb említett vizek szint- és nyomásviszonyainak felderítése. A szintviszonyok részint a fúrólukban és nyílt feltárásokban, részint a tavak, vízfolyások vagy források szélénél, esetenként a korábban kialakított kutakban (ásott kút vagy talajvízszint megfigyelő kút) mérhetők. A nyomásviszonyok a fúrásokban különböző időpontokban mért vízszintek alapján határozható meg. A víz eredetére utaló információ lehet még a fúrásból származó víz hőmérséklete és/vagy vegyi összetétele is.

A *fúrásokban* tapasztalt vizek esetében azok nyugalmi szintjének elérésekor (amikor a fúrás során először jelenik meg a víz), majd a fúrás befejezésekor és – ha nyomás alatti víz gyanúja áll fent, például agyagos talajban, lejtőoldalon vagy vékony, durvaszemcsés rétegben megjelenő víz esetében – a fúrás után néhány órával vagy néhány nappal később is mérni kell.

A fúrás közelében lévő *felszíni vizek esetében* elegendő a fúrás kezdetekor vagy befejezésekor – a több napon át tartó feltárási munkák esetén mindkét említett időpontban – mérni a vízszintet.

A tervezés során a feltáráskori pillanatnyi vízszintek mellett a vízszint ingadozásának időbeli (szezonális, vagyis az évszakokhoz köthető) változásait (*vízjárás*), a minimális, a maximális, a mértékadó és a kivitelezés időszakában várható építési vízszintet, valamint szivárgási- és nyomásviszonyokat is tisztázni kell. Ezeket a szükség szerint időszakosan megismételt vízszint mérések vagy az egyéb helyről származó észlelési adatok (pl. VITUKI kutak, vízmércék adatsorai) alapján számíttással kell meghatározni.

Mintavétel

A helyszíni vizsgálatok során a különböző típusú és eredetű vizekből vízmintákat is kell venni, hogy azok kémiai összetétele, és ezáltal az érintett szerkezetekre gyakorolt esetleges agresszív hatásai megismerhetők legyenek.

4.7. A helyszíni és a laboratóriumi geotechnikai vizsgálatok megtervezése

Egy adott építmény geotechnikai hatásterületén belüli geotechnikai környezet térben és időben is változó közeg, melyet összetett fizikai és kémiai folyamatok jellemznek, s amelynek érzékeny egyensúlyát az építési tevékenységünkkel megzavarjuk. Hogy a számunkra káros következményeket kivédhessük (vagy legalábbis a már elviselhető szintre csökkentsük), ismernünk kell a geotechnikai hatásterületen belüli talajkörnyezet szerkezetét, felépítését, a benne lezajló folyamatokat és annak fizikai, kémiai tulajdonságait. A valóságos helyzetet legjobban megközelítő talajmodell elkészítéséhez (pl. a rétegződési viszonyok, a talajösszetétel és talajállapot, a rétegek feltáráskori, karakterisztikus és tervezési talajfizikai jellemzői, a felszíni és a felszínközeli vizek helyzete, mennyiségi és szivárgási viszonyai, vegyi összetétele, valamint mindezek esetleges jövőbeli változásai) pedig terepi feltárásokra és laboratóriumi vizsgálatokra van szükség.

A helyszíni vizsgálati (feltárási) pontok helyét és azok kitűzési adatait (kitűzési alappontok, alapvonalak, szögek, távolságok, valamint a feltárási helyek kitűzésének módja és vázlata), továbbá az ott elvégzendő vizsgálatok és mintavételek típusát és mélységét, végezetül a mintákon végzett laboratóriumi vizsgálatok típusát és körülményeit a *feltárási terv* tartalmazza. Ez egyszerűbb esetben csupán egyoldalas vázlatrajz néhány számmal, bonyolultabb esetben többoldalas dokumentum.

A terepi feltárások és vizsgálatok számát és egymástól mért távolságát (ez a feltárási sűrűség), a feltárások helyszínrajzi elhelyezését és mélységét, valamint a terepi feltárások és vizsgálatok alkalmazhatóságát, a következő pontokban vázolt alapelvek szerint kell meghatározni.

4.7.1. A feltárások száma és távolsága

A vizsgált földtani közeget (vagyis a geotechnikai talajkörnyezetet) különböző összetételű és tulajdonságú képződmények (általában talaj- esetleg kőzetrétegek) alkotják, s ezeket kis területrészen belül többé-kevésbé sík határfelületek (réteghatárok) különítik el egymástól. Ehhez hasonlóan általában a talajvíz felszíne is egy síkot alkot. Ahhoz, hogy e síkok térbeli helyzetét (vagyis dőlésének irányát és nagyságát) meghatározhassuk, a síkoknak legalább három-három – nem egy egyenesbe eső – pontját kell ismerni. Ennek alapján tehát egy építmény vagy területrész korrekt geotechnikai körülményeinek megismeréséhez minimálisan három feltárásra van szükség. Egyszerűbb esetekben – például a kis alapterületű (10 m² alatti), kis jelentőségű létesítményeknél (pl. közműakna, épülettoldalék, esetleg kisebb családi ház), ha azok már ismert vagy egységes talajadottságokkal rendelkező és közel vízszintes vagy egyenletes lejtésű területeken épülnek – elegendő lehet egy vagy két fúrás is. Természetesen a feltárások típusának, helyének, számának és egymáshoz viszonyított távolságának meghatározásakor nem csak az említett kritériumok kielégítését kell szem előtt tartani, hanem figyelembe kell venni a rendelkezésre álló egyéb információkat, a kiindulási adatokat, a konkrét helyszíni viszonyokat, az építmény műszaki sajátosságait, a feladat jellegét és célját, a gyakorlati tapasztalatokat és a megbízói, társtervezői igényeket is.

Az MMK Geotechnikai Tagozata által készített ajánlása szerint egy adott létesítmény esetében a feltárási távolságokat a 6. táblázat szerint (összeállítva [MÓCZÁR, 2015] alapján, lásd a következő oldalon) kell megállapítani. Indokolt esetben sor kerülhet a feltárási sűrűség növelésére (pl. lokális képződmények vagy szennyezett területek határainak pontosítása, hektikusan változó vagy bonyolult rétegződés, különleges szerkezeti igényű építmény, pontosításra szoruló körülmény), esetleg csökkentésére (pl. jól követhető, párhuzamos rétegződés vagy nagy kiterjedésű és nagy vastagságú homogén képződmény) is.

6. táblázat. Az egyes építmények esetében ajánlott feltárások száma, távolsága és típusa

Feladat	Geotechnikai kategória	Előkészítés, előtervezés	Engedélyezési tervezés	Kiviteli tervezés
Épületek és építmények	GC-1	SZ 150 m (legalább 2 db)	SZ 80 m (legalább 2 db)	SZK
	GC-2	K 150 m (legalább 2 db)	K 60 m (legalább 2 db)	SZK
	GC-3	K 70 m (legalább 2 db)	K 35 m (legalább 3 db)	SZK
Utak földművei és vízépítési földművek	GC-1	SZ 900 m	K 300 m	SZK
	GC-2	K 600 m	K 200 m	SZK
	GC-3	K 300 m	K 100 m	SZK
Vasutak földművei	GC-1	SZ 750 m	K 250 m	SZK
	GC-2	K 450 m	K 150 m	SZK
	GC-3	K 225 m	K 75 m	SZK
Közművek	GC-1	SZ 225 m	K 150 m	SZK
	GC-2 és GC-3	K 200 m	K 100 m	SZK
Hidak	GC-1	SZ	K 1 db fúrás és 1 db <i>CPTu</i>	SZK 1 db fúrás és 1 db <i>CPTu</i>
	GC-2	K (legalább 2 db)	K 80 m-ként 1 db fúrás és 1 db <i>CPTu</i> *	SZK 40 m-ként 1 db fúrás és 1 db <i>CPTu</i> *
	GC-3	K (legalább 2 db)	K – két támaszonként 1 db fúrás és támaszonként 1 db <i>CPTu</i> *	SZK támaszonként 1 db fúrás és 1 db <i>CPTu</i> *
K = kötelező; SZ = szükség esetén; SZK = szükség esetén kiegészítésként * = 25 m-nél szélesebb alaptest esetén legalább + 1 db <i>CPTu</i> vizsgálat szükséges a keresztirányú rétegződés feltárására				

4.7.2. A feltárások helyszínrajzi elhelyezése

A feltárások helyének meghatározása a feltárási terv egyik sarkalatos kérdése, melynek helyes megválaszolása az alapvető helyszíni ismeretek nélkül nem lehetséges. Az erre vonatkozó legfontosabb alapelveket az alábbi felsorolás ismerteti.

- A feltárások a vizsgált létesítmény területén (beleértve annak geotechnikai hatásterületét is) a lehetőségekhez mérten egyenletesen elosztva helyezkedjenek el, s azok távolsága lehetőleg ne haladja meg a 6. táblázat szerinti ajánlott feltárási távolságot. A geotechnikai hatásterület előzetes, közelítő számításokkal vagy műszaki becsléssel határozható meg.
- A vizsgált létesítmény, illetve a geotechnikai hatásterület kontúrvonalához közeli feltárásokat a lehetőségekhez mérten a kontúrvonalon kívülre kell helyezni (a réteghatárok szerkesztésekor a feltárási pontok közötti interpoláció mindig pontosabb eredményt ad, mint a feltárási ponton kívüli extrapoláció).
- Feltárásokat elsősorban a létesítmény statikailag érzékeny (pl. a legnagyobb terhelések helye, a relatív süllyedésekre vagy a vízszintes elmozdulásokra legérzékenyebb helyek), funkcionális szempontból kritikus (pl. vibrációs vagy dinamikus hatások, hő- vagy fagyhatások, vegyi hatások, rezgésérzékenység), esetleg kivitelezési szempontból érzékeny (pl. melléépítés, kihorgonyzás, talajvízszint-süllyesztés) részein, illetve az egyéb szempontból (pl. alábányászott, feltöltött, mocsaras, felszínmozgásra veszélyes részek) kérdéses területrészekben kell elhelyezni.
- Lejtős területeken feltárásokat kell készíteni a magas- és mélypontokon, valamint a tereplejtés váltásainak, vagyis a felszín törés- és inflexiók pontjainak helyén.
- Minden olyan helyet is meg kell vizsgálni, ahol a szokásostól eltérő vagy geotechnikai veszélyhelyzetet rejtő körülmény valószínűsíthető (pl. vegyi hulladék, régi alapok maradványai, szerves-tőzeges réteg, felszínmozgás, betemelt pince és szemét- vagy bányagödör, rétegvíz megjelenése).

4.7.3. A feltárások ajánlott mélysége

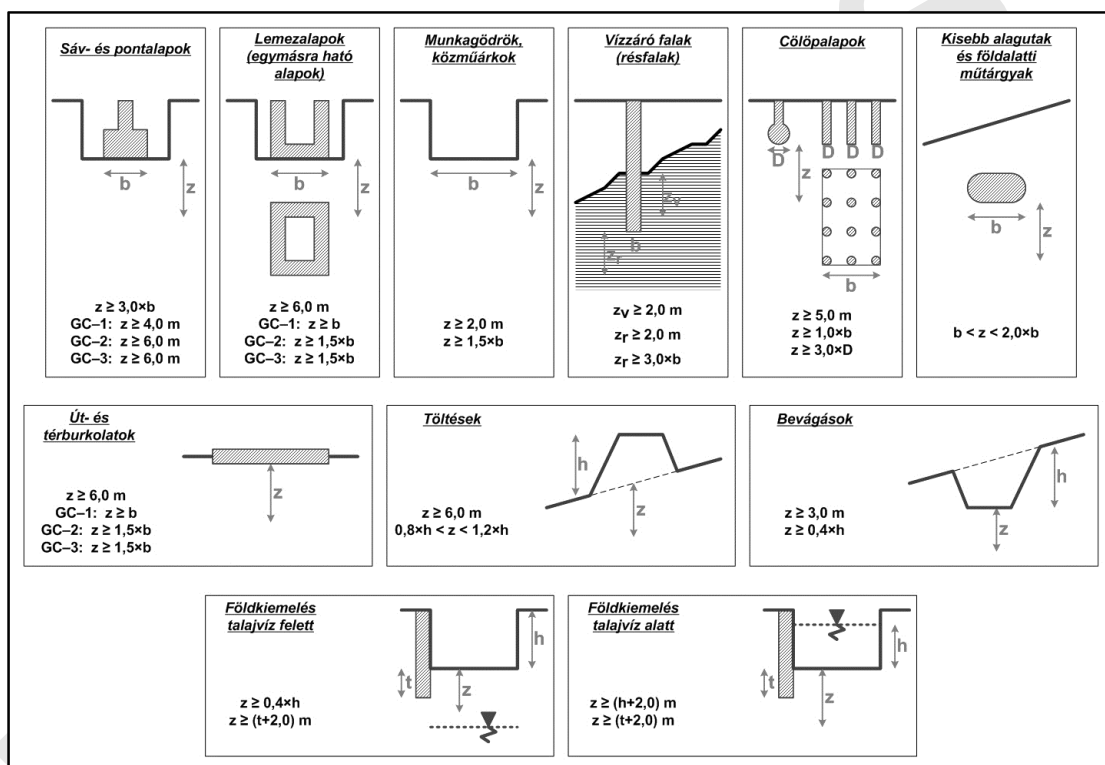
A feltárási mélység általában már előzetesen is viszonylag pontosan meghatározható, változtatására csak kivételes esetekben van szükség. Az erre vonatkozó legfontosabb alapelvek a következők.

- A legkisebb feltárási mélység 3 m, ennél rövidebb feltárási mélyítésének csak akkor van értelme, ha ezen mélységen belül már kőzet jelenik meg.
- A feltárásokat minimálisan a szerkezetek geotechnikai hatásterületének alsó határánál legalább 1–2 m-rel nagyobb mélységig kell mélyíteni. A geotechnikai hatásterület előzetes, közelítő számításokkal vagy műszaki becsléssel határozható meg.
- Legalább 1 vagy 2, de inkább 3 fúrásban el kell érni az építésföldtani alaprétet. Ez különösen a nagyobb, jelentősebb beruházások, a nagy terhelésű és egyenlőtlen süllyedésekre érzékeny szerkezetek, a vízzáró szerkezetek, a támaszkodó cölöpök, a nagyobb területekre kiterjedő víztelenítési munkák stb. esetében ajánlott. A feltárásokkal az említett alaprét felső 3–5 m vastag zó-

náját mindenképp harántolni kell, hogy annak összetétele, állapota, változékonysága és talajfizikai jellemzői egyértelműen meghatározhatók legyenek.

- A feltárás tovább mélyítése szükséges, ha a tervezett talpmélységben alacsony teherbírású, kompresszibilis (pl. átázott, puha, iszap–agyag réteg) vagy teherviselésre alkalmatlan (pl. szerves–tőzeges réteg) talaj jelenik meg, illetve még mindig a mesterséges eredetű feltöltés települ, esetleg a talaj átázottságából a talajvíz közelségére következtethetünk.
- A helyszíni feltárások mélységének csökkentésére is sor kerülhet, ha például az említett építésföldtani alapréteget már a tervezett talpmélység felett elérik.

A legáltalánosabb geotechnikai feladatok esetében a feltárások ajánlott mélységére vonatkozó szabályokat az EC7 és az MMK–GeoT kiadványai [MÓCZÁR, 2015] tartalmazzák, s ezek felhasználásával összeállított 13. ábrán mutatjuk be.



13. ábra. Ajánlott feltárási mélységek az egyes geotechnikai feladatok esetében

4.7.4. A terepi feltárások és vizsgálatok alkalmazhatósága

A terepi feltárások (fúrások és szondavizsgálatok), valamint a talajvízmérések és mintavételek, illetve az ezek alapján nyerhető talaj- és kőzetfizikai paraméterek közötti összefüggéseket (vagyis terepi vizsgálatok alkalmazhatósági feltételeit) a következő 7. táblázat foglalja össze, amelyet az EC7 alapján állítottunk össze. *Megjegyzés.* A helyszíni adottságok és a tervezési feladat függvényében természetesen az alkalmazott vizsgálati módszerek a táblázatban ajánlottaktól eltérhetnek.

7. táblázat. A terepi vizsgálatok alkalmazhatóságának általános feltételei

Terepi vizsgálati módszerek		A vizsgálatokból nyerhető eredmények													
		talaj fajta	kőzet fajta	rétegek kiterjedése ^a	talajvízszint	pórusvíznyomás	szemcsenyagság	víztartalom	Atterberg-határok	tömörség	nyírószilárdság	összenyomhatóság	permeabilitás	vegyi vizsgálatok	
Talajvíz mé- rések	zárt rendszer	-	-	-	R1 C1 F1	R1 C1 F1	-	-	-	-	-	-	C2 F2	-	
	nyílt rendszer	-	-	-	R2 C1 F2	R2 C1 F2	-	-	-	-	-	-	C2 F3	-	
Terepi vizsgálatok	PLT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2 C1 F1	C1 F1	-	-	
	DMT	C2 F2	-	C2 F1	-	-	-	-	-	C2 F2	C2 F1	C2 F1	-	-	
	FVT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F1	-	-	-	
	WST	-	-	F2	-	-	-	-	-	-	C2	C2	-	-	
	DPH/DPSH	C3 F3	-	C1 F2	-	-	-	-	-	C2	C2 F3	C2 F2	-	-	
	DPL/DPM	C3 F3	-	C1 F2	-	-	-	-	-	C2	C2 F3	C2 F2	-	-	
	SPT ^c	C2 F1	-	C2 F2	-	-	C2 F1	C2 F2	F2	C2 F2	C2 F3	C2 F2	-	C2 F2	
	rugal- mas	FDT	C3 F3	-	C3 F3	-	-	-	-	-	-	-	F1	-	-
		RDT	-	R2	R3	-	-	-	-	-	-	-	R1	-	-
		presszióméter ^b	C3 F3	R3	R3 C3 F3	-	F3	-	-	-	-	C1 F1	C1 F1	F3	-
	CPT/CPTu	C2 F2	R3 ^d	C1 F1	C2	C2 F2	-	-	-	C2 F2	C2 F1	C1 F2	C3 F2	-	
Mintavétel	kőzet	„A” kategória	-	R1	R1	-	-	R1	R1	-	R1	R1	R1	R1	
		„B” kategória	-	R1	R1	-	-	R1	R1	-	R1	-	-	-	R1
		„C” kategória	-	R2	R2	-	-	R2	-	-	-	-	-	-	-
	talaj	„A” kategória	C1 F1	-	C1 F1	-	-	C1 F1	C1 F1	F1	C2 F1	C2 F1	C2 F1	C2 F1	C1 F1
		„B” kategória	C1 F1	-	C1 F1	-	-	C1 F1	C2 F1	F1	C3 F3	-	-	-	C1 F1
		„C” kategória	C2 F2	-	C3 F3	-	-	-	C3 F3	-	-	-	-	-	-

Terepi vizsgálati módszerek	A vizsgálatokból nyerhető eredmények												
	talaj fajta	kőzet fajta	rétegek kiterjedése ^a	talajvízszint	pórusvíznyomás	szemcsenagyság	víztartalom	Atterberg-határok	tömörség	nyírószilárdság	összenyomhatóság	permeabilitás	vegyi vizsgálatok
a vízszintesen és függőlegesen c mintavétellel együtt						b típustól függően d puha kőzetben							
Alkalmazhatóság:													
kőzetben: R1 nagy R2 közepes R3 kicsi													
durvaszemcsés talajban: C1 nagy C2 közepes C3 kicsi													
finomszemcsés talajban: F1 nagy F2 közepes F3 kicsi													

A jelölések értelmezését lásd a korábbi fejezetekben is.

5. A FÖLDFELSZÍN, A KÖZETEK ÉS TALAJOK KIALAKULÁSÁNAK FÖLDTANI FOLYAMATAI

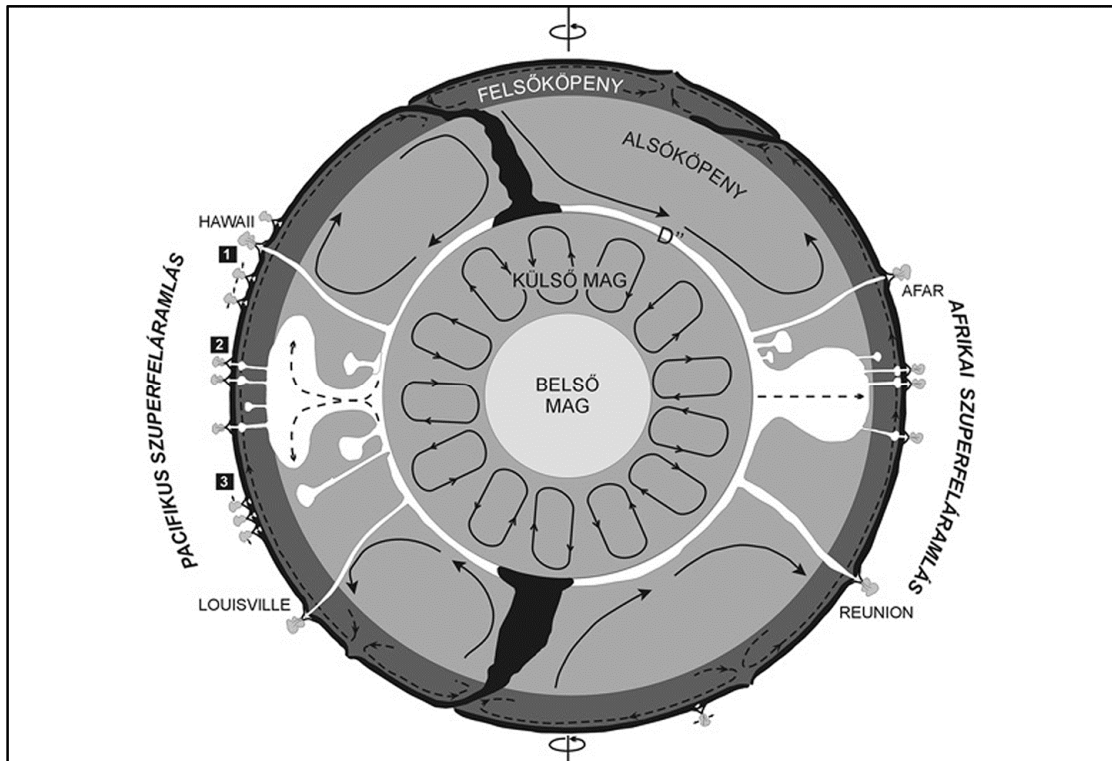
A geotechnikus a földfelszín természeti adottságait, környezeti jellemzőit kutatja. Ennek okán a különböző látható természeti formák vagy jelenségek mögött keresi, kutatja azokat az emberi időléptékben csak kivételes esetekben érzékelhető folyamatokat, melyek az építmények stabilitását, későbbi sorsát befolyásolják. Ezek az ismeretek és az ilyen jellegű szemlélet segíti a mérnököt abban, hogy egy már meglévő vagy később kialakítandó építmény geotechnikai körülményeit (pl. a domborzati, rétegződési és talajvíz vízviszonyok, a talaj összetétele, rétegződése és talajfizikai tulajdonságai, a lehetséges geotechnikai veszélyhelyzetek), valamint egy építmény és a körülötte lévő földtani közeg kölcsönhatásait már viszonylag kevés számú és pontszerű feltárás eredményei alapján is megbízható pontossággal fel tudja deríteni, a megszerzett információkat és a megismert folyamatokat helyesen értelmezze, s ezek alapján a természetben található állapotokat és a fellépő hatásokat a valóságot legjobban megközelítő módon modellezze. Mindezekből következően a geotechnikusok, építőmérnökök számára alapvető követelmény, hogy a kellő alaposággal és részletességgel ismerjék a földtani folyamatokat, a legelterjedtebb képződmények tulajdonságait és legyenek tisztában az alapvető üledékképződési körülményekkel.

Ez a fejezet az előbb említett ismeretek megszerzéséhez kíván általános segítséget nyújtani, röviden bemutatva Földünk időről-időre megújuló felszínének örökös változásait eredményező és állandóan működő belső (endogén) és külső (exogén) eredetű földtani folyamatokat, valamint a kőzetek osztályozásával kapcsolatos legfontosabb információkat.

5.1. A Föld belső erői (endogén folyamatok)

A földfelszín arculatának átfogó jellegű, hatalmas térségekre kiterjedő, úgy is fogalmazhatunk, hogy makro-szinten történő átalakulásait – a korábbi évmilliárdok során és napjainkban is – a Föld belső erői szabályozzák. E folyamatok erőforrása, hajtómotorja egyrészt a földmag belső hője (a keletkezésekor még forró kőzetolvadékból álló Föld lassú kihülése során visszamaradt maradványhő, valamint a radioaktív bomlások és a kristályosodási folyamatok hőenergiája), másrészt a tengelyforgásból és a gravitációs erőhatásokból eredő deformációs folyamatok által keltett súrlódási hő. A folyamatok eredményei pedig a hőmérsékleti különbségek által kiváltott hőáramlások, s ennek következtében a külső magban, valamint az alsó- és a felsőköpenyben (asztenoszféra) kialakuló anyagáramlások (konvekciós magmaáramlások) egymás fölötti köráramlások együtteséből álló rendszere. Ezek az anyagáramlások okozzák a litoszféra kéreglemezeinek mozgását (lemeztektonika),

valamint a kőzetdeformációkat és a kőzetmozgásokat, melyek általunk is érzékelhető eredményei a földrengések és a vulkanizmus. A leírtakat szemlélteti a 14. ábrán bemutatott [HORVÁTH, 2006] geodinamikai modell.



14. ábra. A lemeztectonikai kéregmozgásokat fenntartó hő- és anyagáramlási rendszer

Az említett endogén folyamatok geotechnikát és építésföldtant érintő elemeit vázlatosan a következő pontokban ismertetjük.

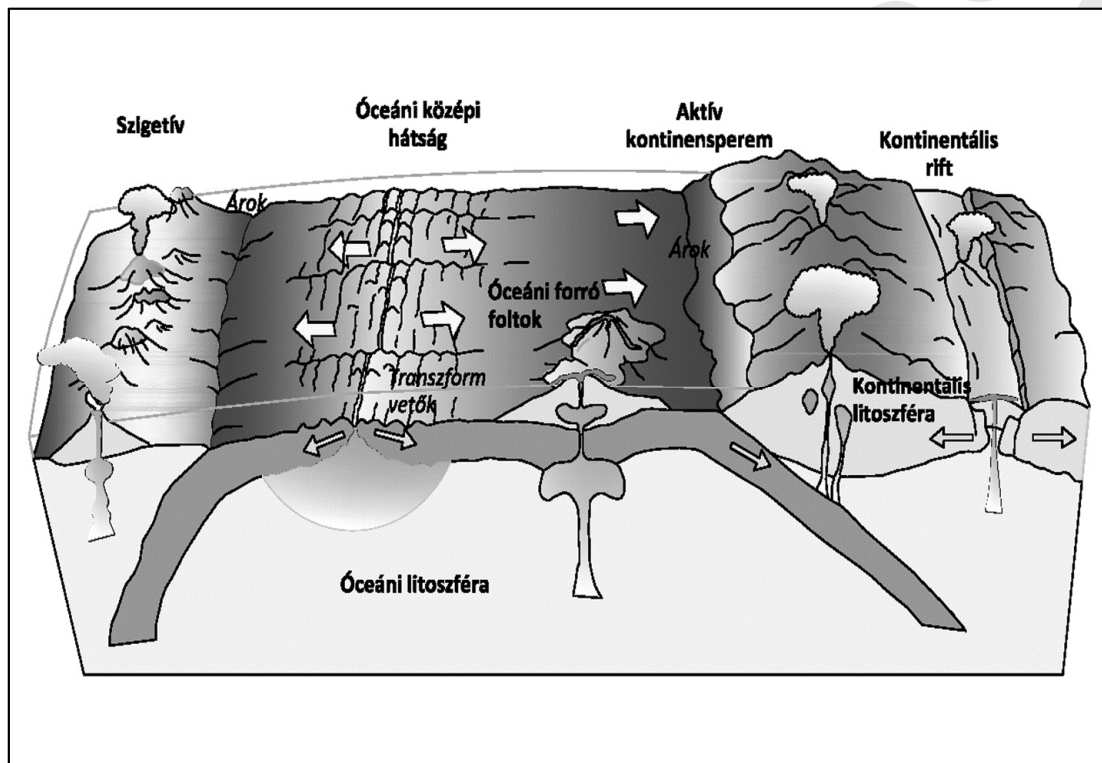
5.1.1. Globális lemeztectonikai folyamatok

A globális lemeztectonikai folyamatok mintegy 2–2,5 milliárd évvel ezelőtt indultak be, s azóta is folyamatosan működve alakítják Földünk felszínének arculatát. Ennek köszönhetően változik nagyon lassan – az ember számára szinte észrevehetetlenül –, de állandóan és nagymértékben a földfelszín általános képe, makrodomborzata.

Mai ismereteink szerint a Föld gömbhéjas szerkezete különböző sűrűségű, öszszetételű és halmazállapotú rétegekből épül fel. A felépítésre vonatkozóan csak közvetett geofizikai mérésekkel (főként a földrengés hullámok terjedési sajátosságai alapján) nyerhetünk információkat, ezért ismereteink e téren még meglehetősen bizonytalanok. A Föld felszínétől annak középpontjáig terjedően (vagyis a felszíntől mért mélységet tekintve) több szerkezeti réteget (földövet) különíthetünk el. Ezek kémiai összetétele, halmazállapota, hőmérséklete, nyomása és sűrűsége igen eltérő. Ezeket a sajátosságokat vázlatosan a földöv vagy geoszféra esetében az 1. és a 2. ábrákon már megismerhettük. A mérnöki munkát azonban lényegében csak a visz-

kózus, sűrűn-folyós asztenoszféra és a rajta „úszó” szilárd kőzetöv a litoszféra érinti, ugyanis az ezekben lezajló folyamatok és ezek egymáshoz való viszonya határozza meg Földünk felszínének sajátosságait és változásait is. E kettő összjátékának hatásai alakítják a kőzetlemezek mozgását (a tektonikus folyamatokat), a szeizmikus és a vulkanikus aktivitást, a földfelszín domborzatát, az óceánok és kontinensek alakját, azok elhelyezkedését, területarányait, magasságát, mélységét, s ezen keresztül közvetlenül befolyásolják az éghajlati viszonyokat, az óceáni és a légköri áramlatokat, valamint még számos egyéb földfelszíni folyamatot is.

A 14. ábrán (lásd az előző oldalon) szemléltetett folyamatok eredményeként a nagyobb kontinensek árkos beszakadások (riftesedés) mentén darabokra esnek, majd a később itt kialakuló óceánközépi hátságok vonalában folyamatosan felszínre áramló, oldalirányban szétterjedő és megszilárduló magma (a köpeny olvadt kőzetanyaga) új óceáni kéreglemezt hoz létre.



15. ábra. A lemezttektonikai folyamatok vázlatos tömbszelvénye

Ezek az óceáni kéreglemezek – mint hatalmas szállító szalagok – a hátukon viszik a közben folyamatosan lerakódó tengeri üledékeket és a helyi „forró pontok” fölött újra és újra létrejövő vulkanikus szigeteket. Az óceáni kéreglemezek a kontinenseket vagy a kontinensek közelében lévő szigetíveket elérve azok alá buknak (szubdukciós zónák), majd a köpeny anyagába merülve újra megolvadnak. A beolvadás során keletkező gőzök és gázok a forró magma egy részét a felszínre nyomják. A kontinensek peremvidékén és a vulkanikus szigetívek mentén egymás mellett elhelyezkedő aktív vulkánok és egyben a földrengéses területek sora tehát egyben a

szubdukciós zónák vonalát jelölik ki. E folyamat vázlatos tömörszelvényét mutatja a 15. ábra [SZEPESI, 2016].

Az említett folyamat eredményeként a Föld felszínén ma látható tektonikus kéreglemezek helye, azok mozgási iránya és sebessége, valamint a lemezszegélyekhez kapcsolódó vulkanikusan és szeizmikusan (földrengések) aktív területek térképi vázlata az 1. színes táblán (a *Tankönyv* végén) [GEORISK, 2016] tanulmányozható. A *kontinensvándorlás* és az ezzel összefüggő lemeztektonikai folyamatok elméleti alapjait Alfred Wegener csillagász, meteorológus (1880–1930) fektette le 1912–1922 között, aki a kontinensvándorlást alátámasztó különböző bizonyítékokat (pl. a kontinensek alakja, a flóra és fauna meggyezése a szétszakadt kontinensek partvonalán stb.) összegyűjtötte és rendszerezte. A kérdéskör áttekintését [SULLIVAN, 1985] adja.

A lemeztektonikai jelenségcsoport elemei közül az egyik legjelentősebb folyamat a hegységképződés, hiszen a nagyléptékű és komoly mérnöki felkészültséget igénylő létesítmények tekintélyes csoportját képezik az alagutak, az utak, a vasutak és a gátak, melyek sok esetben hegyvidéki tájakon épülnek. Ezért a hegységképződési folyamatot érdemes röviden külön is áttekinteni, melynek rajzi vázlatát a 2. színes táblán (a *Tankönyv* végén) [HARTAI, 2011] szemlélteti.

A *hegységképződés* folyamatának **A. szakaszában** az előzőekben már említett folyamatosan keletkező *óceáni kéreglemez hátán utazó kontinentális kéregdarabot* láthatjuk, mely egyre közelebb kerül a szubdukciós zóna mellett lévő másik kontinentális kéregtömbhöz, miközben a két kontinens közötti óceáni medence folyamatosan beszűkül. Az alábukási zóna természetesen vulkanikusan és szeizmikusan is aktív. Ez a szakasz meglehetősen hosszú, az óceáni medence szélességétől függően több tíz vagy akár száz millió évig is tarthat.

A folyamat **B. szakaszában** a két kontinentális kéregdarab már olyan közel kerül egymáshoz, hogy a közöttük lévő egykori óceán keskeny árokká szűkül. Ebben az árokban a kontinentális selfek területén összegyűlt (a kontinensről folyóvizek által lehordott) tengeri üledékek fokozatosan összenyomódnak, gyors ütemben csökkentve a tengerárok vízmélységét. Eközben az óceáni kéreglemez asztenoszféra történő bepréselődése, beolvadása és az ennek következtében létrejövő vulkanikus és szeizmikus jelenségek sorozata természetesen zavartalanul folytatódik.

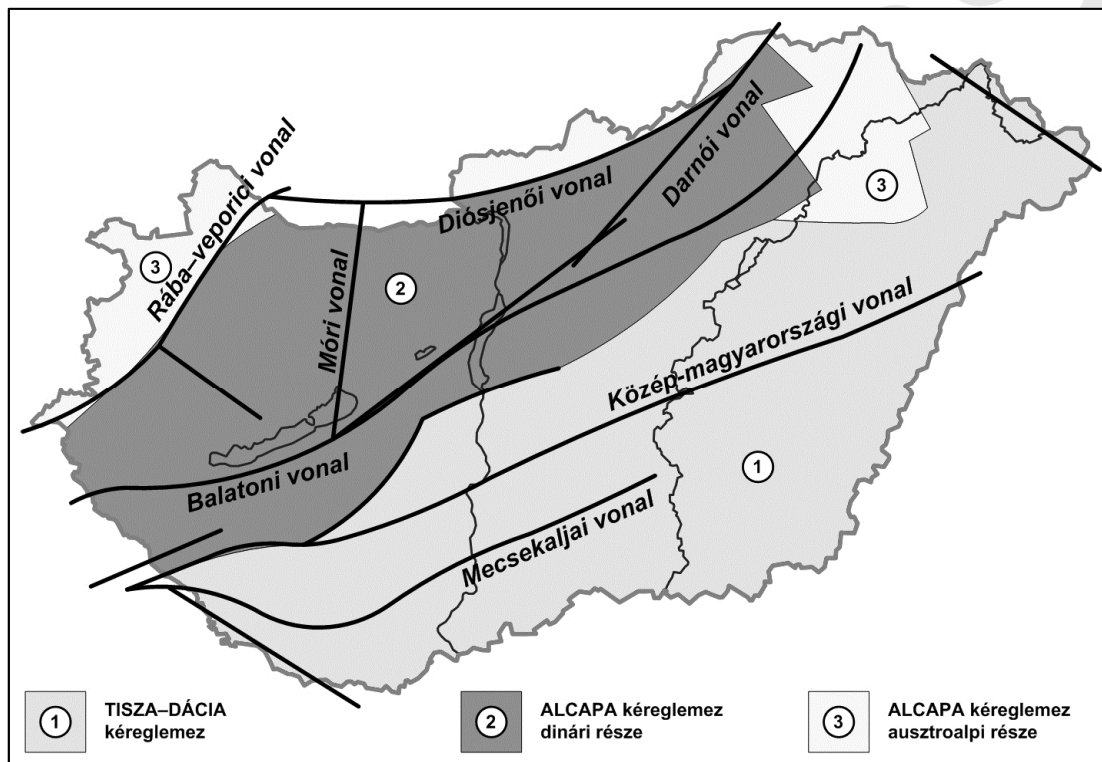
A folyamatot lezáró utolsó **C. szakaszban** a két kontinens közötti tengerárok véglegesen bezárul és a kontinentális tömbök összeütköznek, összefornak. Az ütközés hatására a kontinens peremek anyaga feltorlódik, s egy új hegylánc születik. A korábbi tengerárokban összegyűlt üledékek szintén összepréselődnek és fiatal – főként agyagpala, homokkő és márga anyagú – közetsáv formájában az új lánchegység peremi részéhez csatlakozik. Ezzel együtt a szubdukciós folyamat megáll. Az alábukó kőzetlemez leszakad, majd beleolvad az asztenoszféra anyagába, s így idővel a vulkanikus és szeizmikus jelenségek is megszűnnek.

5.1.2. Magyarország általános földtani, szerkezeti és földrengési adatai

Az előbbi pontban említett globális földtani folyamatok nyomait hazánk területén is megtalálhatjuk. A geológiai kutatások és nemzetközi hírű geológusaink írásai

nyomán ma már viszonylag jól ismert Magyarország földtörténete. A vizsgálatok alapján ismeretes, hogy a Kárpát-medence földtani felépítése meglehetősen változatos. A mélyszerkezetet alkotó kőzeteket tanulmányozva a geológusok megállapították, hogy hazánk az Eurázsiai-lemez és az Afrikai-lemez érintkezési övezetében, a kettő közé ékelődő két kisebb mikrolemez területén helyezkedik el, melyek 300–500 millió évvel ezelőtt, vagyis a *paleozoikum* (földtörténeti ókor) idején még több száz km-re voltak egymástól. Az ezeket felépítő ősi metamorf kőzetek még az Ordovicium és a Szilur időszakában keletkeztek.

Ezek a mikrolemezek idővel egymás mellé sodródtak és az említett két nagy kéreglemez közé szorultak. A mélyszerkezetet, vagyis az aljzatot felépítő mikrolemezek, valamint a kéreglemezeket átszelő és az azokat egymástól is elválasztó legjelentősebb tektonikus törésvonalak mai helyzetét vázlatosan a 16. ábra mutatja be ([LESS, 2011] alapján, a szerzők által újraszerkesztve).



16. ábra. Magyarország mélyszerkezetének térképvázlata a jelentősebb és ma is aktív törésvonalakkal

Az előbb leírtak alapján jól érzékelhetően hazánk földtörténete meglehetősen viharos volt, hiszen az egymáshoz feszülő mikrolemezeket a *mezozoikum* (földtörténeti középkor) idején lezajló Alpi hegységképződési ciklus tektonikus hatásai ismételtén átmozgatták. Ennek hatására – részben a már meglévő ősi törésvonalak feléledésével, részben az ekkor keletkező új törésvonalak mentén – jelentős nagyságú függőleges és vízszintes elmozdulások léptek fel, egymás mellé csúsztatva a paleozoikum és a mezozoikum eltérő anyagú kőzeit. E folyamat eredményeként alakult

ki az alaphegységi kőzetek mai helyzetére jellemző DNy–ÉK irányú sávós felépítés, mely egyébként többé-kevésbé a felette fekvő rétegekben is nyomon követhető.

A *kainozoikum (földtörténeti újkor)* idején bekövetkező egyenlőtlen térszínmozgások (geomorfológiai inverzió) hatására egyes területek (a Dunántúli- és az Északi-középhegység) kiemelkedtek, mások (az Alföld és a Kisalföld) besüllyedtek. Ezzel egyidőben pedig a Pannon-medence alatti kéreg elvékonyodott (24–26 km), s ennek köszönhetően a geotermikus gradiens értéke hazánkban az átlagosnál (a világátlag 3,3 °C/100m) nagyobb, mintegy 5 °C/100m, s nálunk a föld átlaghőmérséklete a felszínen 10 °C, 1 km mélyen 60 °C, 2 km mélyen 110 °C. Ennek az adottságnak köszönhető messze földön ismert melegvizű gyógyfürdőink sokasága.

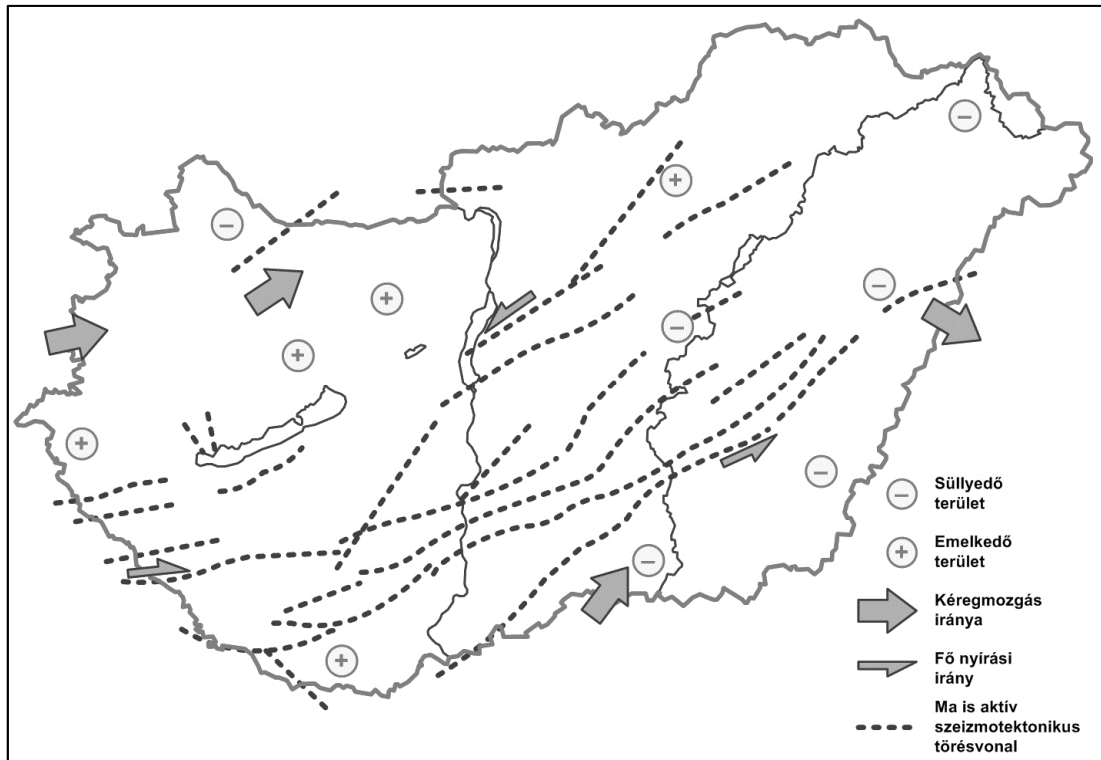
A mozgalmas geológiai múlt emlékei a mai állapotokban is visszatükröződnek. A földtani és geofizikai kutatások eredményeinek kiértékelése és azok egyeztetése eredményeként nem csak az alaphegység mélyszerkezeti felépítése vált ismeretessé, de feltárták a geodinamikai (tektonikus szerkezet-mozgások), a szeizmikai (földrengési) viszonyokat és a földtani képződmények helyzetét is. Az említett geodinamikai körülményeket és a ma is aktív szeizmotektonikus törésvonalakat vázlatosan a következő 17. ábra szemlélteti ([HORVÁTH, 2004] alapján, a szerzők által újraszervezve).

A térkép-vázlat alapján látható, hogy az alattunk lévő mikrolemezek (melyek a „hátukon” hordják a későbbi üledékrétegeket is) még ma is mozgásban vannak. Ennek eredményeként a ma is aktív törésvonalak mentén a közettömegek egymáshoz viszonyítva vízszintesen (elcsúszás) is, és függőlegesen (emelkedés–süllyedés) is mozgásban vannak. E mozgások (az ún. szekuláris kéregmozgások) sebessége természetesen igen kicsiny, évente mintegy 0,01–0,5 mm-es értéket jelentenek. A tektonikus kéregmozgások következtében a közettömegekben felhalmozódó feszültségek szeizmikus tevékenység (földrengés) formájában egyenlítődnek ki. Az előbbiekből következően az említett aktív törésvonalakat szeizmotektonikus törésvonalaknak nevezzük.

Magyarország a kis és közepes aktivitású területekhez sorolható, jellemzően kismértékben földrengésveszélyes terület. A kisebb – ember által nem érzékelhető, csak az érzékeny műszerek által kimutatható (a Richter-skála szerinti 2 magnitúdó alatti erősségű) – rengések szinte naponta jelentkeznek. A komolyabb, már kisebb-nagyobb károkat is okozó rengések (ezek erőssége a Richter-skála szerinti 5 magnitúdó feletti) gyakorisága 20–80 év.

Magyarországon a történelem eddigi legnagyobb földrengése *Komáromban* (1763. június 28.) következett be, ennek erőssége $M = 6,3$ volt. Az ezt követő $M \geq 5$ erősségű földrengések: *Mór* (1810. január 14. $M = 5,4$), *Érmellék* (1834. október 15. $M = 6,3$), *Kecskemét* (1911. július 8. $M = 5,6$), *Eger* (1925. január 31. $M = 5,0$), *Dunaharaszti* (1956. január 12. $M = 5,6$) voltak.

Az Eurocode 8 előírásainak megfelelően kidolgozott magyarországi szeizmikus zónabeosztást és a zónákhoz tartozó PGA referencia-gyorsulási értékeket (a településenkénti értékeket az MSZ EN 1998-1:2008 NB1 táblázatai tartalmazzák) a 3. színes tábla (lásd a *Tankönyv* végén) térkép-vázlata mutatja [TÓTH–GYÖRI–MÓNUS–ZSÍROS, 2006] alapján.



17. ábra. Magyarország jelenkori geodinamikai térkép vázlata

Az ebben a pontban vázlatosan ismertetett földtani folyamatok során igen változatos korú, eredetű, anyagú és településű képződmények keletkeztek. Ezek röviden a következőkben jellemezhetők.

Az *alaphegységi kőzetek* (ezek hegységeinkben helyenként a mai felszínen is láthatók) a paleozoikum és a mezozoikum idején keletkeztek. Több ezer méter vastagságban települő anyagukat tekintve ezek között a mélységi magmás (gránit), a metamorf (fillit, csillámpala, gneisz) és az üledékes (dolomit, mészkő, márga, homokkő) kőzeteket egyaránt megtalálhatjuk.

A *medence képződmények* – a hegységek magaslatain kívül – szinte mindenhol előfordulnak, főként az Alföld és a dombságok vidékén. Vastagságuk a néhány 100 métertől a több ezer méterig változik. A kainozoikum idején, annak első szakaszában, a harmadidőszak során keletkeztek, s döntő részben üledékes eredetűek (kavics, homok, agyag, márga, mészkő, homokkő), de néhol a vulkanikus eredetű kőzetek (andezit, bazalt, riolit, dácit és ezek tufái) is megjelennek.

A *fedőrétegek* a medence képződményeket takarják, de néhol közvetlenül az alaphegységi kőzetekre települnek, s a mai felszínen mindenhol megtalálhatók. Vastagságuk a néhány métertől a több száz méterig terjed. Anyaguk a kainozoikum második szakaszában, a negyedidőszak során jött létre. Főként a folyóvizek által szállított és lerakott (fluviális) üledékekből (kavics, homok, iszap) áll, de az állóvizekben lerakódott (limnikus) üledékek (iszap, agyag, tőzeg) és a szélhordta (eolikus) üledékek (futóhomok, lősz) is jelentős arányban fordulnak elő.

5.2. A Föld külső erői (exogén folyamatok)

A földfelszín arculatának finomabb (mikro- és mezoszintű), bár így is meglehetősen nagy területekre kiterjedő részleteit a Földre ható külső erők alakítják ki. A külső eredetű folyamatok hajtóerejét a napsugárzás hője adja, mely a hőmérséklet változásaiban, a víz, szél, fagy és eső hatásaiban, valamint a növények és az állatok tevékenységében és a különböző vegyi hatásokban ölt testet.

A földtani szerkezeti (tektonikus) erők hatására fellépő kéregmozgások eredményeként az egyes területek megemelkednek, hegységekké gyűrődnek, más területek lesüllyednek, s alföldekké, medencékké alakulnak, s a térszínváltozások eredményeként beindul az üledékképződés folyamata. A környezeténél magasabbra emelkedő területeken elkezdődik a felszín lepusztulása, lealacsonyodása, míg a környezeténél alacsonyabbra süllyedő területeken megindul a mélyület (üledékgyűjtő) feltöltődése, az üledékek felhalmozódása. A lepusztulás egyes állomásai a fizikai és kémiai *mállás*, majd a málladékanyagok víz, szél és jég általi *lehordása* (letarolása) és *elszállítása* (denudációja vagy eróziója); míg a feltöltődést a mállástermékek *lerakódása és felhalmozódása* (akkumulációja) jelenti.

A felhalmozódás folytán egymásra rakódó üledékrétegek először a geotechnikai értelemben vett talajok (geológiai értelemben laza, törmelékes üledékek) kialakulását eredményezik, melyek a saját és a később rájuk rakódott üledékek súlya alatt folyamatosan összetömörödnek, a vízben oldott anyagok kiválásával pedig cementálódnak, vagyis elindul a talajok (laza üledékek) közötté alakulásának folyamata (diagenezis), melynek végeredménye az üledékes kőzetek kialakulása.

Az említett folyamatok során az *emelkedő és a süllyedő*, vagyis a magas és az alacsony térségek közötti átmeneti területrészekben *lejtős felszínek*, vagyis *lejtők* alakulnak ki. Ezek a lejtős területek – legyenek kicsiny, lokális kiterjedésűek (pl. vízparti homokfodrok) vagy hatalmas, regionális méretűek (pl. hegységek lejtői) – a leggyakrabban és számtalan változatban megjelenő földfelszíni formák, melyek az említett felszínátalakulás során természetesen maguk is folyamatosan változnak.

A földfelszíni formákkal a morfológia foglalkozik. Bevezető jelleggel a földfelszíni formákat [CHOLNOKY, 1926] ismerteti. A kőzetek és talajok kialakulásának általános áttekintését [VADÁSZ, 1955] adja. Ugyanezt a kérdéskört újabban [TÖRÖK, 2007] tekinti át úgy, hogy az egyes jellemző geológiai-geotechnikai jelenségekhez építőmérnöki esettanulmányokat rendel. Az említett földtani folyamatok és felszíni alakzatok geotechnikát és építőmérnöki tevékenységet érintő részleteit vázlatosan a következők pontokban mutatjuk be.

5.2.1. Az üledékképződés első fázisa: mállás

A mállás a légköri meteorológiai hatások (atmoszferiák) és a gravitációs erő által kifejlesztett fizikai mállás (a kőzetanyag mechanikai aprózódása), illetve a különböző vegyi, geokémiai átalakulási folyamatok által létrehozott kémiai mállás (a kőzetanyag vegyi átalakulása), esetenként pedig az élőlények hatására fellépő biológiai (organikus) mállás formájában zajlik le. Ennek eredményeként az anyakőzet (a mállási folyamat eredeti, kiindulási kőzetanyaga) felszínén málladéktakaró (regolit) keletkezik.

5.2.1.1. A kőzetanyag aprózódása, a fizikai mállás

A kőzetanyag aprózódása során a málladékanyag geometriai méretei az idő múlásával folyamatosan csökkennek, mely azonban csak egy adott szemcseméretig mehet végbe. Ha a szemcse olyan kicsi lesz, hogy egyrészt tömege és ennek következtében mozgási energiája már nem elegendő ahhoz, hogy az ütközéskor olyan nagyságú erőhatás érje, amennyi a hasadáshoz szükséges, másrészt a további méretcsökkenéshez az egyéb fizikai hatások ereje sem elegendő, akkor a további aprózódás megszűnik. Ez a határérték kb. a 0,01–0,06 mm-es szemcseátmérő körül húzódik. Ennél kisebb részek már csak kémiai mállás útján keletkezhetnek. A fizikai mállás folyamán jelentősen megváltozik az anyakőzet számos tulajdonsága. Geotechnikai szempontból elsősorban a víztartó képesség és a szemcsék felületének a szemcsék tömegéhez viszonyított jelentős mértékű megnövekedése számít, mivel ezek nem csak a talajfizikai tulajdonságokat határozzák meg, de ezek teszik lehetővé a kémiai mállás folyamatainak kialakulását és felgyorsulását is. A fizikai mállás (aprózódás) osztályozását és fontosabb jellemzőit a következőkben ismertetjük.

A rétegyomás csökkenése

Ha az egykor nagy mélységben kialakult kőzettömegre ható függőleges geosztikus nyomás (pl. a felette fekvő rétegek lepusztulása miatt) vagy az oldalnyomás (pl. hasadék- vagy völgyképződés miatt) jelentősen lecsökken, akkor a nyomás alól felszabadult kőzetanyag fokozatosan kitágul. A tágulás nagysága a kőzet anyagától, szerkezeti sajátosságaitól függően változik, benne általában a nyomáscsökkenés irányára (vagyis jellemzően a felszínre) merőleges és azzal párhuzamos repedések, törések keletkeznek. Ennek eredményeként a kőzet felszínéről pikkelyek, lapok vagy tömbök válhatnak le.

A hőmérséklet változása

A nappali besugárzás (inszoláció) és az éjszakai kisugárzás (radiáció) miatt szezonális (vagyis az évszakokhoz köthető) és napi hőingadozás lép fel a kőzetek felszínén. Ugyanilyen hőingadozást vált ki a borús és napsütéses idő váltakozása vagy az eső miatti hirtelen lehülés is. A kőzet rossz hővezető tulajdonsága miatt az ilyen hőmérséklet ingadozások hatására azok felszíni néhány dm vastag rétege és mélyebben fekvő részei eltérő módon melegednek fel vagy hűlnek le. Az egyenlőtlen hőtágulás miatt e rétegek között feszültségek ébrednek (a 20 °C-ról 60 °C-ra történő melegedés hatására a kőzettömegek belsejében kb. 50 MPa hőtágulási nyomás léphet fel), melyek elválási repedéseket, töréseket okoznak. Ugyanígy a kőzetalkotó ásványok tágulási együtthatója sem egyforma, vagyis a hőmérséklet változására a különböző ásványok másként terjednek ki, illetve húzódnak össze. Ezáltal a kőzetet alkotó különböző anyagú ásványi szemcsék között is hasonló jelenség lép fel. Ennek hatására a kőzet felülete pikkelyesen, levelesen, esetleg rétegesen leválik, vagy felületéről ásványszemek esnek ki.

A fagy hatása

A rétegyomás alól való felszabadulás vagy hőhatás következtében a kőzet felszínén képződő apró repedésekbe behatoló víz fagyponthoz alatti hőmérsékleten megfagy. A víz jéggé alakulása kb. 9 %-os térfogatnövekedéssel jár, ami meglehetősen

nagy erővel nyomja szét a repedéseket, melyek ennek eredményeként tovább tágulnak. Ugyanez játszódik le az ásványszemcsék közé kapillárisan beszivárgó víz fagyásakor is. Az ismétlődő olvadási és újrafagyási ciklusok során a repedések folyamatosan tágulnak, mely végül a kőzet további aprózódásához vezet. Ennek eredményeként a kőzet különböző irányok mentén tömbökre, lapokra esik szét vagy lemezek, pikkelyek, ásványszemcsék válnak le róla.

A sókristályok növekedése

Ez a hatás elsősorban a hosszú, száraz időszakokban vagy sivatagi éghajlat alatt jelentős. Ennek során a kőzet repedéseiben, járataiban vagy az ásványszemek közötti pórusokban lévő víz elpárolgásával az oldott sók kikristályosodnak. Mivel a kikristályosodó sók térfogata nagyobb, mint a telített sóoldat térfogata, ezért nyomás lép fel. Hasonló eredményre vezet, ha a már kivált sók hidrátvizet vesznek fel a levegő páratartalmából vagy a kőzetbe ismét szivárgó csapadékvízből. Ez a jelenség ugyancsak a térfogatnövekedésével (ez kb. 1–5 %) jár együtt. A növekvő sókristályok feszítő ereje a fagyhatáshoz hasonló eredményre vezet, vagyis a kőzet ez esetben is különböző irányok mentén tömbökre, lapokra esik szét vagy lemezek, pikkelyek, ásványszemcsék válnak le róla.

A növényi gyökerek feszítő hatása

A már kialakult repedésekbe behatolnak a növények gyökerei, majd növekedésük folyamán megvastagodnak. A vastagodás nyomást gyakorol a repedés oldalfalaira. Ennek eredményeként a már meglévő repedésrendszer tovább növekedik, a kőzet szétesése felgyorsul, s a kőzet felszínéről, hasonlóan a fagy és a sókristályok növekedéséhez, pikkelyek, lapok vagy tömbök válnak le.

A mozgó víz és jég, valamint a szél hatása

A mállástermékeket szállító közegek (szél, víz és jég) mozgási energiája és a szállított málladékok mechanikai hatása tovább rombolja, darabolja, koptatja és csiszolja az útjába eső felszín. E szállító közegek koptató hatása a korrázó, melynek hatékonysága a szállított málladékok mennyiségétől és a hatásnak kitett felszín (talaj vagy kőzet) anyagának minőségétől, összetételétől és keménységétől függ. A szállító közegtől, illetve a hatás jellegétől függően megkülönböztethető:

- a lehulló esőcseppek mechanikai hatása (pluviális erózió),
- a folyóvíz partromboló, elhaboló, medermélyítő tevékenysége (fluviális erózió),
- a mozgó jégárak (gleccserek) koptató hatása (glaciális erózió),
- a szél koptató, kifúvó munkája (eolikus erózió vagy defláció),
- a tengerek, tavak vagy folyók parti hullámverése és koptató hatása (abrázió).

5.2.1.2. A kőzetek vegyi átalakulása, a kémiai mállás

A kőzetek kémiai mállása olyan geokémiai folyamat, melynek során már nem csak az anyag szemcsézettsége változik meg, hanem kémiai összetétele és ásványtani felépítése is. A kémiai mállás alapvető oka az, hogy az addig mélyben lévő kőzetek a felszínre kerülve az eddigiekhez képest más körülmények közé kerülnek, mint amilyenek között eddig voltak. A nyomás, hőmérséklet és a kémiai környezet

(a kőzetekkel érintkező levegőben és vízben lévő vegyi anyagok pl. oxigén, széndioxid, különböző savak és egyéb vegyületek) változásának hatására a mélyben fennálló eredeti egyensúlyi állapotok – amelyek az ásványok összetételét és kristályszerkezetét megszabták – felborulnak, s ezt igyekeznek az ásványok is követni, miközben más összetételű ásványokká alakulnak. A kémiai mállás fontosabb változatait és azok alapvető jellemzőit a következő felsorolás mutatja be.

Az oldódás

A víz általi oldódás folyamán a vízben könnyen oldódó anyagok (elsősorban az alkáli fémek és az alkáli földfémek sói, a kloridok, a hidrogénkarbonátok és szulfátok) kimosódnak a kőzetekből, mégpedig oldódásuknak megfelelő sorrendben és arányban. A savas oldatok gyorsítják a szilikátok és a karbonátok mállását. A kőzetekben és talajban lévő víz jelentős mennyiségű szénsavat képes oldott állapotban tartani. Ha a víz CO_2 -t tartalmaz, jelentősen megnő a karbonátok HCO_3 képződés következtében történő vízben való oldhatósága. A szénsav semlegesíti a hidrolíziskor keletkező lúgos vegyületeket (bázisokat) is, és szintén HCO_3 képződésével segíti elő a mállástermékek elszállítását. Az oldódási folyamatok legelterjedtebb és leglátványosabb formája a mészkőterületek és a löszterületek karsztjelenségei.

A hidratáció

Az ásványszemcsék ionos kötésű vízfelvétele az ásvány anyagában a duzzadás miatt belső mechanikai feszültségekhez vezet, így mechanikailag gyengébb, illetve oldékonyabb ásványváltozat keletkezik. A hidratáció a hidrolízis folyamatát készíti elő vagy agyagásványok keletkezéséhez vezet.

A szilikátok hidrolízise

A szilikát ásványok esetében a víz nem csak, mint oldószeres közeg hat, hanem hatást fejtenek ki a víz ionjai (a H^+ és OH^- ionok) is. Az ionos kötésű víz hidrogénje helyettesíti az ásványok K–Ca–Mg–Na ionjait. A vízben jól oldódó sók hidrolízise gyorsan végbemegy, a vízben csak kevésbé oldható szilikátok mállása viszont a felületen indul meg és csak lassan halad az ásvány közepe felé. A szilikátok bomlása a körülményektől függően két módon játszódhat le. Az egyik reakció során – a trópusi területeken, ahol sok a csapadék és savas jellegű a környezet – kovasav és alumínium-hidroxid keletkezik (ez az allitos mállás vagy lateritesedés), a másik reakció eredményeként – a mérsékelt övezetben, ahol kevesebb a csapadék és lúgos jellegű a környezet – az agyagásványok képződésére lehetőséget adó átmeneti bomlástermék jön létre kovasav kíséretében (ez a sziallitos mállás vagy agyagásványosodás). Jelentős hatással van a mállás irányára és végtermékeire a közegben található ionok töménysége, aránya és a közeg pH értéke is, melyek függvényében eltérő összetételű agyagásványok keletkeznek.

Az oxidáció

Az Fe- és Mn-ásványok (szilikátok és karbonátok) oxigénnel és vízzel történő egyesülésük során Fe- és Mn-oxidokká alakulnak, illetve az alacsony vegyértékű vegyületek oxigénnel érintkezve magasabb vegyértékű formába alakulnak át. A szilikátokban foglalt ferro-vas oxidálódik és oldhatatlan oxid vagy hidroxid alakban

kiválik. A kicsapódás által a folyamat a szilikát bomlásának irányába tolódik el, így az oxidáció minden olyan szilikát mállását gyorsítja, amely kétvegyértékű Fe-t vagy Mn-t tartalmaz. Ráadásul az oxidáció jelentős térfogatnövekedéssel is jár, amitől az ásványok vagy kőzetek felülete fellazul. Azokban a kőzetekben, amelyekben FeS_2 (pirit) van, nem csak a vas oxidálódik, hanem az ehhez csatlakozó anion is, ezáltal kénsav képződik, mely fokozza a savasságot és szulfátok képződését idézi elő.

5.2.1.3. A kőzetek biológiai (szerves vagy organikus) mállása

A biológiai (szerves vagy organikus) mállás előidézői a különböző növények és állatok, melyek a vegyi változásokat biokémiai folyamataik eredményeként hozzák létre. Hatásukat részint fizikai, részint kémiai mállás útján fejtik ki. A növények és a gombák savakat választanak ki, hogy bizonyos tápelemeket felvehessenek. A növények savas jellegű anyagokat termelnek a gyökérlégzés során is. A növények életműködése folyamán komplexképző anyagok (pl. citromsav, tejsav, borkősav, egyes aminosavak és humuszsavak) is a talajba kerülnek, amellyel feloldják az Al- és Fe-oxidokat, lehetővé teszik elvándorlásukat a mállás helyéről, ezáltal felgyorsítják a mállási folyamatot. Vannak állatfajták, melyek – élelem után kutatva vagy szálláshely kialakítása céljából – fúrják, rágják a kőzeteket. Élettevékenységük és később pusztulásuk kémiai folyamatokat is elindít. Ahol a növényi és az állati eredetű organikus mállási folyamat eredményei felhalmozódnak, ott szerves anyagokban gazdag, porhanyós, laza felszíni réteg alakul ki, melyet a geotechnikában humusznak vagy termőrétegnek, termőtalajnak nevezünk.

Manapság az egyre nagyobb mértékben elterjedő mesterséges emberi (antropogén) hatások eredményeként (pl. mezőgazdasági vegyszerek, hőhatás, bányászat, mezőgazdaság, fakitermelés, öntözés, felszínátalakítás) számítani kell az ilyen eredetű tevékenységek fizikai és vegyi hatásainak felerősödésére is, melyek lényegében a már említett mállási folyamatok felgyorsulását eredményezik.

5.2.2. Az üledékképződés második fázisa: lepusztulás (lehordás vagy letarolás) és elszállítás

A mállás folyamán az eredeti helyén kialakult málladéktakarót (regolit) a gravitációs tömegmozgások (pl. lejtőmozgások, törmelékfűződés, sárlavina, talajfolyás), a felszíni csapadékvizek és a vízfolyások, a szél és a fagyjelenségek (pl. gleccserek, hólavínák) elszállítják. Az elszállítás során a málladék anyaga tovább aprózódik, szemszerkezete finomodik, s a szállító közeg sajátosságaitól függően osztályozódik. A korábbiakban említett földfelszíni erők nem csak a mállási folyamatokat befolyásolják, de – mint szállító közegek – az eredeti kőzetanyag közvetlen lepusztulásában, valamint a málladékok elszállításában is tevékenyen részt vesznek. A valóságban egy adott területrészen – az éghajlati, a domborzati, a fedettségi viszonyoktól (növényzet) és a kőzetek anyagától függően – egyszerre több eróziós folyamat is zajlik, rendszerint eltérő intenzitással. A növénytakaró jelentősen csökkenti, hiánya felgyorsítja a felszíni eróziót. A lepusztulás és az elszállítás folyamatában résztvevő eróziós erők és hatások sajátosságait röviden a következőkben foglaljuk össze, természetesen azok leegyszerűsített, tipizált bemutatásával.

A gravitációs erőhatások, tömegmozgások

A kőzetek pusztulása a hegységek szabad sziklafelszínein (az ún. kopárok területén) és a sziklafalakon kezdődik, s talán itt a legerősebb és a leglátványosabb. A gravitációs erő hatására az elmállott, repedezett, széteső kőzet darabjai kimozdulnak és a sziklafalról leesve annak tövében összegyűlnek, vagy a sziklafal melletti meredek lejtőn tovább gurulva és lendületüket veszítve a lejtő alján, illetve a már lankásabb lejtőszakaszon megállnak. Az így felhalmozódott mállástermékek hegyoldali törmeléklejtőt, illetve hegylábi (völgyi) törmelékkúpot alkotnak. Ezzel azonban az összegyűlt törmelékanyag mozgása még korántsem fejeződött be! Egyrészt a későbbiekben lehulló újabb törmelékdarabok folyamatosan a lejtőn lefelé lökdösik a korábban már ott lévő kötött törmeléket, másrészt a már összegyűlt törmeléktakaró aprózódása is tovább folyik. A keletkező finomabb szemű törmelék a lejtőn lefolyó csapadékvíz hatására tovább szállítódik, míg a durvább darabok időlegesen még helyben maradnak. E folyamat eredményeként a sziklafalak mellett, a völgy felé egyre lankásabbá váló törmeléklejtő, illetve törmelékkúp keletkezik. Ennek magasabban fekvő és meredekebb szakasza durva törmelékből (kötömbök, kődarabok) áll. A völgy felé haladva a lejtő egyre laposabb lesz és ezzel együtt a törmelék mérete is folyamatosan finomodik. A hegy láb alá és a völgyekbe már többnyire csak az egészen finom, a homok és az iszap méretű törmelékanyag jut el, melyet a völgyben futó patakok vagy folyók messzire elszállítanak. A gravitációs erő pusztító hatása a puha, gyenge, mállékony kőzetek és a meredekebb, falszerű kőzetfelszínek esetében a legerősebb.

Az esőcseppek mechanikai munkája

Az esőzéssel érintett területeken – és ez a szárazföldek területének nagyobbik hányadára jellemző – a felszínre lehulló esőcseppek mechanikai munkája szintén eróziós hatást fejt ki (csepperózió vagy pluviális erózió). Ez a jelenség önmagában szinte alig észrevehető, összességében azonban mégis jelentős hatása lehet. Az esőcseppek eróziós hatását azok mechanikai (mozgási) energiája váltja ki. A talaj felszínére becsapódó esőcsepp ugyanis a talaj szemszerkezetét megbontja, a talajszemcséket mintegy „szétrobbantja”. Ennek eredményeként a talajfelszín egyrészt fellazul, másrészt a talajszemcsék elmozdulnak eredeti helyükről. Mivel a talajfelszín soha nem tökéletesen vízszintes, ezért a statisztikus eloszlást tekintve mindig a talajszemek lejtőirányú elmozdulása a legnagyobb, vagyis a talaj szemcséi lefelé vándorolnak a lejtőn. Mivel a nagyobb esők idején a föld már nem képes maradéktalanul magába szívni a csapadékot, ezért a vízfelesleg lefelé folyik a lejtőn. A felszínen lefolyó víz pedig magával ragadja és elszállítja az előzetesen már fellazított talajszemcséket. Az esőcseppek mechanikus romboló hatása azonban a kőzetfelületeket sem kíméli, bár ez esetben a hatás lényegesen kisebb és lassabb, emberi időléptékben szinte észrevehetetlen. Az eróziós hatás nagysága a következő tényezők függvénye.

- *Az eső cseppnagysága és esési sebessége:* A földet érő esőcseppek nagysága kivételesen elérheti a 8 mm átmérőt is, de általában – mivel az 5 mm-nél nagyobb cseppek a légáramlatok hatására rendszerint szétesnek – csak 5 mm kö-

rüliek, esetleg ez alattiak. Egy átlagos méretű esőcsepp tehát 2,25 mm sugarú és átlagos esési sebessége 8 m/sec [BIRKÁS, 2006].

- *Az esőzés hevessége, intenzitása:* A csapadék intenzitása alatt az időegység alatt lehulló eső mennyiségét értjük mm/perc vagy mm/óra egységben. Az esőzés hevessége és időtartama egymással fordítottan arányos. Az eróziós hatás szempontjából tehát legjelentősebbek a rövid ideig tartó, de igen heves zivatarok.
- *A csapadék időtartama:* A csapadékhullás időtartama igen tág határok között mozoghat, magyarországi viszonyok között 1–2 perctől legfeljebb 5–6 napig terjedhet.
- *A tereplejtés nagysága:* A lehulló esőcseppek eróziós hatása a lejtős területeken mindig nagyobb mértékű, mint a közel vízszintes felszínen.
- *A talaj összetétele, kötöttsége:* A felszínen lévő talajok csepperózióval szembeni ellenállása a szemszerkezet függvénye. A durvaszemű talajok (kavics és kötörmelék), illetve az erősen kötött és nagy plaszticitással rendelkező finomszemcsés talajok (agyag) alig vagy egyáltalán nem erodálódnak. Ugyanakkor a finomszemcsés talajok közül a plaszticitással nem rendelkező finom homoktalajban, illetve az alacsony plaszticitású iszaptalajban jelentős mértékű erózió lép fel.

A felszínen lefolyó csapadékvizek és a vízfolyások eróziós hatása

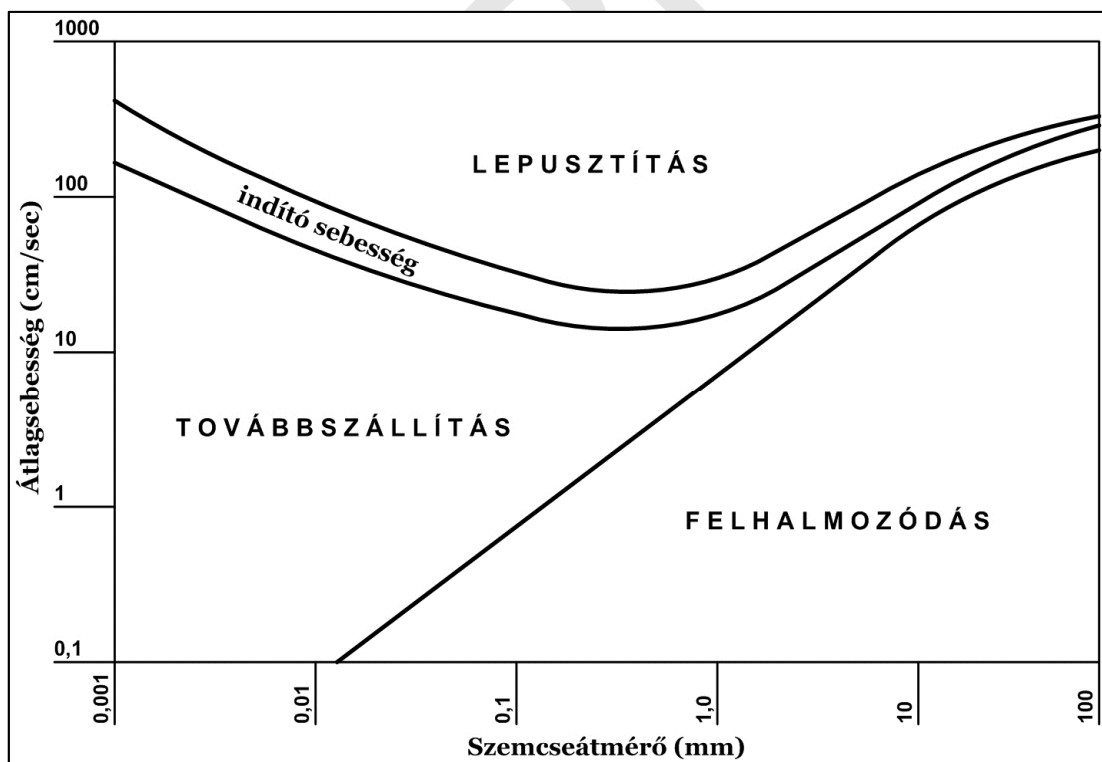
Napjainkban a szárazföldek – de hazánk területének bizonyosan – egyik legjelentősebb felszínformáló tényezője a felszínen lefolyó csapadékvizek és a vízfolyások eróziója (fluviális erózió).

Földünk felszínén igen nagy mennyiségű víz található, mely – a légköri és a földfelszíni folyamatok eredményeként – állandó körforgásban van. A magasabb térségekben lehulló eső a gravitáció hatására a felszínen összegyülekezve az alacsonyabban fekvő területrészek felé folyik (de ugyanez történik a hó és az ebből keletkező jég esetében is, hiszen előbb-utóbb ezek is megolvadnak), míg végül ismét a földfelszín legmélyebben fekvő térségeibe, a tengerekbe és óceánokba jut. Útja során mindig a legrövidebb vonal mentén, a felszín esésvonalai mentén haladva igyekszik elérni célját. Az eróziós folyamat intenzitását befolyásoló tényezők: a lejtő alakja, meredeksége, hosszúsága, anyagának összetétele, kiettsége (égtájak szerinti tájolása), fedettsége (növénytakaró), valamint a lehulló csapadék mennyisége és a lefolyó víz sebessége, továbbá a hótakaró olvadásának időpontja és sebessége. A felszínen lefolyó csapadékvizek és a vízfolyások eróziójának típusait a következőkben jellemezzük.

- Az esőzés folyamán – közvetlenül a már említett csepperóziót követően, illetve azzal szinte egyidőben – kialakuló eróziós jelenség a lepelerozió, vagyis a felületi lemosódás (areális erózió). Ennek során a lejtő felszínét néhány mm vastagságban beborító és lamináris áramlású vízlepel pépes állapotúvá áztatja a felszínen lévő 1–3 mm vastag talajréteget („talajhártyát”), mely szinte lefolyik a felszínen (mikroszoliflukció).
- Az esőzés intenzitásának növekedésével, illetve a vízlepel lejtőirányú előreha-

ladásával az addig egységes vízlepel már turbulens áramlású kis vízerekké áll össze, melyek tovább egyesülve először kisebb, majd nagyobb vízfolyásokká fejlődnek, s kialakítják a vonalas erózió, vagyis a vonalmenti talajkimosódás (lineáris erózió) jelenségét. A kis vízerek csak kis mélységű ($< 0,5$ m) eróziós *barázdát* hoznak létre, melyek később a vízmennyiség növekedésével eróziós *árok*ká mélyülnek (0,5–1 m), majd eróziós *vízmosássá* (torrens) növekednek (> 1 m).

Az előbb említett eróziós jelenségek főként a csapadékhullások időszakához köthetők. Az így kialakult medrek (barázda \rightarrow árok \rightarrow vízmosás) azonban – a források vizeit is befogadva – nagyobb területeken a vízfolyások által kialakított vízhálózatá (ér \rightarrow csermely \rightarrow patak \rightarrow folyó \rightarrow folyam) fejlődnek. A vízfolyások (folyóvizek) folyamatosan működő partromboló, medermélyítő tevékenysége lényegében a vonalas erózió továbbfejlődött, nagyobb területre kiterjedő változata. A hegységekben a medrek mélyülése és szélesedése nagyjából „V” keresztmetszetű eróziós völgyek kifejlődéséhez vezet és ezzel a korábban tagolatlan hegyvidékből erősen tagolt hegység jön létre. A völgyek a mélyüléssel arányosan hátrafelé, a hegy magasabb részei felé is meghosszabbodnak. Az egymás mellett húzódó völgyek szélesedése és hosszabbodása oda vezet, hogy előbb-utóbb összeérnek, így az idők során és a letarolás előrehaladtával a völgyeket elválasztó magaslatok is eltűnnek, s a felszín ismét kiegyenlítődik. E folyamat során tehát a fiatal lánchegységekből először lekopott, eróziós röghegységek, majd eróziós dombságok végül síkságok jönnek létre.



18. ábra. A vízsebesség és az üledékszallító képesség közötti általános összefüggés

Az előző oldal 18. ábrája a különböző méretű málladék szemcsék elmozdításához (elindításához), azok továbbszállításához, valamint folyamatos lepusztításához (eróziójához), vagy lerakásához, felhalmozódáshoz (akkumulációjához) szükséges sebességek közötti általános, tapasztalati összefüggést szemlélteti ([HJULSTRØM, 1939] alapján, a szerzők által újraserkesztve).

A jég eróziója

Annak ellenére, hogy Magyarország területét a Jégkorszak óta – immár mintegy 15000 éve – nem borítja állandó jég, a teljesség kedvéért (és mert ennek nyomai néhol még ma is fellelhetők) néhány szóval a jég eróziója (a glaciális erózió) is említést érdemel.

A mérsékelt vagy a trópusi övben fekvő magasabb hegységekben, a hóhatár felett fekvő hegyoldalak és völgyek területére hulló hó a saját súlya alatt idővel folyamatosan összetömörödik, jéggé áll össze, majd a gravitációs erőnek engedelmessé a nagyjából „U” keresztmetszetűvé kivésett völgyek mentén *gleccserként* (jégár vagy jégfolyam) lassan-lassan a mélyebben fekvő területek felé vándorol. A mozgás sebessége az Alpokban 40–100 méter évente. A gleccserek a magasból aláhulló vagy legördülő szikladarabokat és a völgyek oldaláról, aljáról leszakított, lemorzolt kőzetdarabokat (moréna) magukkal viszik. A gleccserek ezt a durva törmeléket a hegyek lábánál, ahol a jég elolvad, de az olvadékvíz már nem tudja tovább szállítani, karéjos formában lerakják (végmoréna). Ezek a törmelékhalmozatok sokszor elzárják az olvadékvíz útját, így helyenként moréna-tavak képződnek. A lankásabb területeken és síkságokon a jégár medrében a kőzet anyagától függően, mélyedések jönnek létre. A jég elvonulása után ezekben a mélyedésekben is a víz gyűlhet össze, így alakultak ki a tengerszinttől nagy magasságban az ún. tengerszemek.

A jégerózió másik formáját az állandó fagy birodalmában fekvő sarkvidéki szárazföldek többé-kevésbé sík felszínén kialakuló *szárazföldi jég* (vagy belföldi jég) képviseli, mely a gleccserekhez hasonló módon hóból képződik. A belföldi jég sem mozdulatlan, Grönlandon napi 20–30 méteres mozgást is mértek. A jégképződés a szárazföldek belsejében a nagyobb és innen vonul lassan a szélek, a tengerek felé. A hatalmas jégtömeg és az alján összegyűlt törmelék csiszolja, vájja az alatta lévő kőzeteket. Ilyen jégtakaró fedte egykor Észak-Amerikát és Észak-Európát is, és tarolta simára azok legnagyobb részét, kialakítva a svéd-, a finn-, az észak-német alföldet és az észak-országi síkságot. A visszamaradt felszín természetesen nem tökéletesen sík, kisebb-nagyobb mélyedések jöttek létre, melyeket a jég elolvadása után víz töltött meg. Így alakult ki például a kanadai és a finn tóvidék. A jég egy része a mai Norvégián keresztül érte el az óceánt, és vájta ki a lazább részekben a mély völgyeket, a fjordokat, míg a közöttük lévő szilárdabb részek ma is több száz, néhol ezer méter magasságig emelkednek meredeken a tenger szintje fölé. A Jégkorszak óta máig ilyen szárazföldi jég fedi több km-es vastagságban Grönland és Antarktisz földjét.

A szélerózió

A szél eróziója (eolikus erózió vagy defláció) ugyan alapvetően a száraz, sivatos térségekre jellemző, de ezek a folyamatok (vagyis a szél koptató, kifúvó mun-

kája) hazánk területén a korábbiakban (pl. a Zala megye D-i részein lévő völgyek, vagy a Duna teraszvidékeinek felszínét tarkító széllyukak kialakulása) is működtek, s az ilyen jelenségekkel még manapság is (pl. a Duna–Tisza közti homokhátság vándorló buckái) találkozhatunk. A szél, vagyis a légtömegek áramló mozgásának hatására jön mozgásba a vizek felszíne, alakul ki a hullámverés, s a csapadék eróziós hatása is nagyobb, ha szélviharral párosul. Legnagyobb pusztítást azonban a száraz talajfelszínen végez. Az apró szemcséjű anyagot felkapja és messzire elszállítja; az állandó irányú és erőteljes szél a laza talajokban völgyeket is képes kialakítani; de marja, koptatja, csiszolja a legkeményebb sziklafelszíneket is. A szél jellemzően a 0,02–0,5 mm közötti szemcséket ragadja magával, de a legmozgékonyabbak a 0,1–0,15 mm körüli átmérőjű (finomszemű homoktalajfrakció) szemcsék, melyekből a futóhomok területek is felépülnek.

A 8. táblázatban a talajszemcsék mozgatásához, elszállításához szükséges minimális szélesebességek (küszöbsebességek vagy határsebességek) tájékoztató értékeit láthatjuk [STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY, 1999].

8. táblázat. A különböző méretű szemcsék elszállításához szükséges szélesebességek határértékei

Szemcseátmérő (mm)	Szél határsebessége a felszínen (m/sec)	Szél határsebessége 8 m-es magasságban (m/sec)
0,1–0,25	0,28	4,17
0,25–0,5	0,32	4,75
0,5–1	0,39	5,80
1–2	0,51	7,59
2–3	0,63	9,38
3–4	0,74	11,01
4–5	0,82	12,20

A szélerózió kialakulásában résztvevő és annak nagyságát befolyásoló tényezők a következők.

- *A szél sebessége:* A deflációs hatás kialakulását leginkább a szélesebesség befolyásolja. A különböző átmérőjű talajszemcsék elszállításához szükséges határsebességeket a 8. táblázatban már bemutattuk. A 9. táblázatból pedig az is kiderül, hogy az igen finom porszemcsék akár többször meg is kerülhetik a Földet, mire leülepednek (például a Szaharából származó finom homokszemcsék nagy része a braziliai Amazonas-medencében rakódik le).
- *A szél örvénylő (turbulens) mozgása:* A talajfelszín közvetlen közelében (kb. 1–5 mm-es magasságig) még jobbra az egyenletes, lamináris légáramlás a jellemző. E felett azonban már örvénylő mozgással számolhatunk, mely a talajszemcsék mozgását és a deflációs hatást okozó erőket hozzák létre.
- *A deflációs terület hossza:* A deflációs terület hossza az a távolság, amelyre a szél akadálytalanul hat. Minél hosszabb ez a terület (pl. kontinentális síkságok) annál nagyobb a defláció pusztító hatása.

- *A talajfelszín szemcseösszetétele:* A talajszemcsék átmérőjének és azok egymáshoz tapadásának csökkenésével (fellazulás) egyre kisebb szélsébség is elegendő a szemcsék elmozdításához, illetve egyre nő azok szállítási távolsága.
 - *A talaj kötöttsége:* Az agyagot vagy kolloidot nagy mennyiségben tartalmazó, nagyobb morzsákká, rögökké összetapadó, darabos szerkezetű kohéziós talajok jobban ellenállnak a szél pusztító, erodáló hatásának, mint a könnyen szét-eső, kohézió nélküli szemcsés szerkezetű talajok.
 - *A szervesanyag-tartalom:* A szervesanyagok (humusz, tőzeg) sűrűsége lényegesen kisebb, mint a szervetlen kőzetanyagé. Ezért a sok szervesanyagot tartalmazó talajok könnyűek, s ezeknél a defláció veszélye is nagyobb.
 - *A növényborítás (fedettség) nagysága:* A növényzet gyökerei összefogják és rögzítik a talajszemcséket. A lombzat pedig egyrészt jelentősen csökkenti a szélsébséget, másrészt árnyékoló hatásával csökkenti a párolgást, s a talajnedvesség megőrzésével növeli a szemcsék közötti tapadó erőt.
 - *A felszín érdekessége:* Az érdes, durva, kiszögellésekkel szabdalt felszínen erőteljesebb az örvénylés, ezért nagyobb szélsébségek alakulnak ki, ami a kiugró felületek intenzívebb lepusztulását eredményezi, mint amilyen a sima felszíneken kialakulhat.
 - *A felszín nedvességtartalma:* A talaj nedvességtartalma a szemcséket egymáshoz rögzíti, s ez a látszólagos kohézió a széleroziós hatást csökkenti.
- A 9. táblázatban az egyes talajszemcse méretekhez tartozó általános szállítási távolságot mutatjuk be [STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY, 1999].

9. táblázat. Az egyes talajszemcse méretekhez tartozó átlagos szállítási távolság

Szemcseátmérő (mm)	A szél átlagos szállítási távolsága (km)
1–8	0,001 – 0,01
0,125–1	1 – 1,5
0,0625–0,125	3 – 10
0,0312–0,0625	300 – 1500
0,0156–0,0312	> 1500
< 0,0156	végtelen

A hullámverés eróziós tevékenysége

Az óceánok, tavak, folyók szabad vízfelületei a szél és a vízáramlások hatására állandó mozgásban vannak. Ez a mozgó, hullámozó víztömeg, vagyis a parti hullámverés eróziója (abrázió) a partokat koptatja, alámossa, melyek egy idő után leomlanak. A leomlott földtömeget a hullámverés görgető, a ciklikusan változó irányú vízáramlás „hintáztató” hatása tovább darabolja, koptatja, miközben a finom szemcséket elszállítja vagy egyenletesen szétteríti (elegyengeti), s a folyamat kezdődik előről. A folyamat előrehaladtával a tenger vagy tó egyrészt egyre nagyobb területeket

vesz el a szárazföldből, miközben az anyagot bemosva, behordva, fokozatosan feltölti a vízmeder partközeli szakaszait. A folyók esetében ez a partokat alámosó, elhaboló, egyúttal a folyóágy körüli (azzal szomszédos) területültrészek felszínét elgyengető, felületkiegyenlítő folyamat egyes esetekben igen erőteljes is lehet. A folyamat a meredekebb, valamint a puha, laza talajokból álló partok, és a többé-kevésbé vízszintes partvidék esetében a legintenzívebbek, a szél erősségével (főleg, ha az többnyire egy irányból fúj) és a vízfolyás sebességével arányosak.

5.2.3. Az üledékképződés harmadik fázisa: lerakódás, felhalmozódás

E folyamat során az elszállított málladékok a környezethez képest mély fekvésű vagy közel vízszintes, rossz lefolyással rendelkező térségekben (pl. a hegylábaknál, a völgyekben, a folyók árterén vagy a folyóágyakban) ideiglenesen, vagy az üledékgyűjtő területeken (pl. lefolyástalan katlanokban, szárazföldi síkságokon és mendence-süllyedékekben, tavakban vagy tengerekben) véglegesen lerakódnak, felhalmozódnak. Így különféle fizikai tulajdonságokkal rendelkező laza üledékek (geotechnikai szempontból talajok) keletkeznek. Amikor tehát a szállító közeg (víz vagy szél) áramlása lelassul, mozgási energiája csökken, akkor először a nehezebb, nagyobb, később az egyre könnyebb, kisebb darabokat rakja le, halmozza fel (akkumuláció). Ennek megfelelően először a kötőmelék és kavics, majd a homok és iszap, végül az agyag ülepedik le. Azokon a helyeken, ahol a víz vagy a szél sebessége hirtelen lecsökken (pl. lejtés átmenetekenél, illetve a víz- vagy szélárnyékos részekben), a lerakódási folyamat hirtelen és nagy mennyiségben következik be (torlatképződés).

5.2.4. Emelkedő és süllyedő területek

Amint az 17. ábrán is látható volt, az utólagos szerkezeti kéregmozgások eredményeként hazánk területén a Magyar-középhegység rögvonulata lassan emelkedik, míg az alföldek és a Dunántúli-dombság térsége lassan süllyed. Ugyanakkor a nagyjából DNy–ÉK irányú szerkezeti törésvonalak mentén vízszintes elmozdulások is fellépnek. A vertikális elmozdulások 0,01–0,3 mm/év, a horizontális elmozdulások pedig 0,05–0,5 mm/év nagyságúak. Ezeknek az ún. szekuláris kéregmozgásoknak a sebessége első pillantásra meglehetősen csekélynek tűnik, de az évszázadok alatt összességében már több dm-t vagy métert tesznek ki. Ezek a jelenségek azonban nem csak Magyarország területére, hanem a Föld egész felszínére jellemzőek.

A felmagasodó hegységek területén azonnal elindul a képződmények eróziója, letarolódása és a lepusztult mállástermékek lehordása, ezzel egyidőben pedig kezdetét veszi a szomszédos mélyfekvésű üledékgyűjtők feltöltődése. A letarolás és az üledékfelhalmozódás sebessége igen változó, többnyire a 0,01–5 mm/év közötti értékekkel számolhatunk. Az emelkedő és lepusztuló, valamint a süllyedő és feltöltődő területekre jellemző üledékek genetikai besorolását, egymáshoz viszonyított helyzetét, rétegződési sajátosságait általános jelleggel és vázlatosan a 4. színes tábla (lásd a *Tankönyv* végén) mutatja (összeállítva [SÍKHEGYI–TISZA–UNGER, 2001] alapján).

5.2.4.1. Emelkedő területek, hegyvidékek

Az emelkedő területeken a kiemelkedés ütemében egyre erőteljesebbé válik a le-

pusztulás, így üledék felhalmozódás nincs, vagy csak időlegesen alakulhat ki. A lepusztulás során a hegyvidéki lejtők, hegylábak, patak völgyek mentén a mállástermékek állandó mozgásban vannak, folyamatosan áthalmozódnak, rétegződésük szabálytalan. Eközben a mállás, ha csökkenő erősséggel is, de folyamatosan zajlik, mely a szemszerkezet finomodását eredményezi. A mállástermékek – a szél és a felszíni vízfolyások által – idővel teljes tömegükben elszállítódnak és az üledékgyűjtő medencékben halmozódnak fel.

5.2.4.2. Süllyedő területek, völgyek, folyóvízi síkságok (medencék)

A süllyedő területeken a lehordott mállástermékek összegyűlnek és elkezdődik az üledék diagenezise, közötté alakulása. A folyóvölgyek, süllyedékek, medencék üledékeinek szemszerkezete a szállító közeg típusának (víz vagy szél) és a hordalékszállítás módjának (pl. csúsztatva, görgetve, lebegtetve) függvényében változik, de jellemzően a szállítási útvonal hosszának és a szállítás idejének növekedésével arányosan egyre finomabbá válik. Az üledéklerakódás helyének és körülményeinek függvényében pedig változik az üledékek anyaga és rétegzettsége, települési viszonyai. A folyóvízi üledékek többnyire durva szeműek, szabálytalanul rétegzettek (zavart településűek), míg az állóvizek (tavak, tengerek) üledékei általában finom szeműek és szabályos rétegzettségűek (a felszínnel közel párhuzamos településűek).

Mivel hazánkban az üledékképződés jellegzetes területeit az Alföld és Kisalföld medence-süllyedékeinek felszínén kialakult nagy kiterjedésű folyóvízi síkságok jelentik, ezért a következőkben a folyóvízi hordalékkúpok és teraszok, valamint a folyóvízi ártéri síkságok (alluviumok) sajátosságait tekintjük át, röviden ismertetve az üledékképződés körülményeit, a rétegek anyagát és a rétegződés jellemzőit.

A folyóvízi hordalékkúpok és teraszok

A folyóvízi hordalékkúpok és teraszok ott jönnek létre, ahol a folyók vagy patakok a meredek hegyvidéki környezetből a lankásabb térségekre vagy nyílt síkságokra érkeznek. Ezeken a területeken a meder esése és ezáltal a vízsebesség hirtelen lecsökken, így a szállított durvább törmelékanyag (jellemzően kavics és homok) lerakódik. Nagyobb folyóink igen nagy területre kiterjedő, esetenként több száz méteres vastagságot is elérő hordalékkúpokat alakítottak ki, melyek a hatalmas süllyedő medencéinket (Alföld és Kisalföld) töltik ki. Ezek anyagát az eredethez közelebbi kezdeti szakaszukon mederüledékként lerakódott rétegzett vagy keresztarétegzett kavics és homok üledékek építik fel. Ezek anyaga a távolsággal arányosan fokozatosan finomodik a finom homok, helyenként az iszap frakcióig, miközben a hordalékkúp folyamatosan az idősebb síksági medencekitöltésbe megy át. A folyamatos folyóvízi feltöltődés keresztmetszetében domború, hosszmetézetében enyhén homorú felszínűvé formálja a kúpot. A kúp lejtése a csúcsnál nagyobb, a sokszor legyezőszerűen szétterjedő végénél kisebb, átlagosan 3° – 6° . A hordalékkúp felszínét és anyagát a medrek között időszakosan szétterülő árvizek is alakítják. A folyók – korábbi saját hordalékkúp üledékeikbe történő ismétlődő eróziós bevágódással – teraszos felszín alakíthatnak ki (pl. Kemeneshát, a Győr-tatai vagy a budapesti teraszvidék). A teraszok anyaga nagyrészt a korábbi hordalékkúp durvaszemű mederüledékeiből (kavics és homok), alárendelten a durvább szemszerkezetű ártéri homok

(mivel a finomabb iszap frakció utólag többnyire lepusztul vagy kimosódik) rétegekből áll.

A nagyobb völgyekbe vagy kisebb hegyközi medencékbe kifutó kisebb patakok is kialakíthatnak helyi, a lejtőfolyamatokkal alakuló hordalékkúpokat. Ezek rendszerint a nagyobb völgyek oldalán, sokszor ezek teraszain települnek. Anyaguk elsősorban osztályozatlan homok, kavics és közettörmelék. Az ilyen törmelékkúpok felszíne a nagyobb folyók törmelékkúpjaihoz képest meredekebbek, akár 30°-os esésűek is lehetnek.

A síkságra leérkező nagyobb folyók (pl. Duna) teraszképződésének általános folyamatát és annak fontosabb állomásait az 5. színes tábla ([BUTZER, 1986] alapján, a szerzők által újraszerkesztve) mutatja be (lásd a *Tankönyv* végén).

Az 5. színes táblán bemutatott egyes fázisok rövid leírását az alábbiakban adjuk.

- *A) fázis:* A folyó vízsebessége hidrológiai változás (pl. a folyómeder esésének vagy a lefolyó víz mennyiségének növekedése) miatt megnő, ezért egykori régi teraszába (hordalékkúpjába) bevágódva, domború keresztmetszetű ártéri síkságot hoz létre.
- *B) fázis:* Újabb hidrológiai változás (pl. a folyómeder esésének vagy a lefolyó víz mennyiségének csökkenése) miatta vízsebesség is csökken, s az ártéren szerteágazó medrek gyors hordaléklakása feltölti a korábbi ártéri síkságot.
- *C) fázis:* A feltöltődéssel párhuzamosan zajló oldalazó elegyengetés hatására a korábbinál szélesebb, lapos ártér alakul ki.
- *D) fázis:* Újabb – az A) fázishoz hasonló – hidrológiai változás miatt a folyó ismét bevágódik saját hordalékkúpjába, elhagyva a lapos árteret.
- *E) fázis:* Újabb – de a korábbinál keskenyebb – domború érteret alakít ki és az A) fázishoz hasonló viszonyok jönnek létre, miközben egy újabb terasz alakul ki.

A nagy folyók vagy folyamok életében többször is bekövetkező hidrológiai változások miatt (ez köthető a terület földtani folyamatok hatására bekövetkező emelkedéshez vagy süllyedéshez, de az éghajlat nedvesebbé vagy szárazabbá válásához is) a folyamat többször is megismétlődhet, így többlépcsős teraszrendszerek is kialakulhatnak.

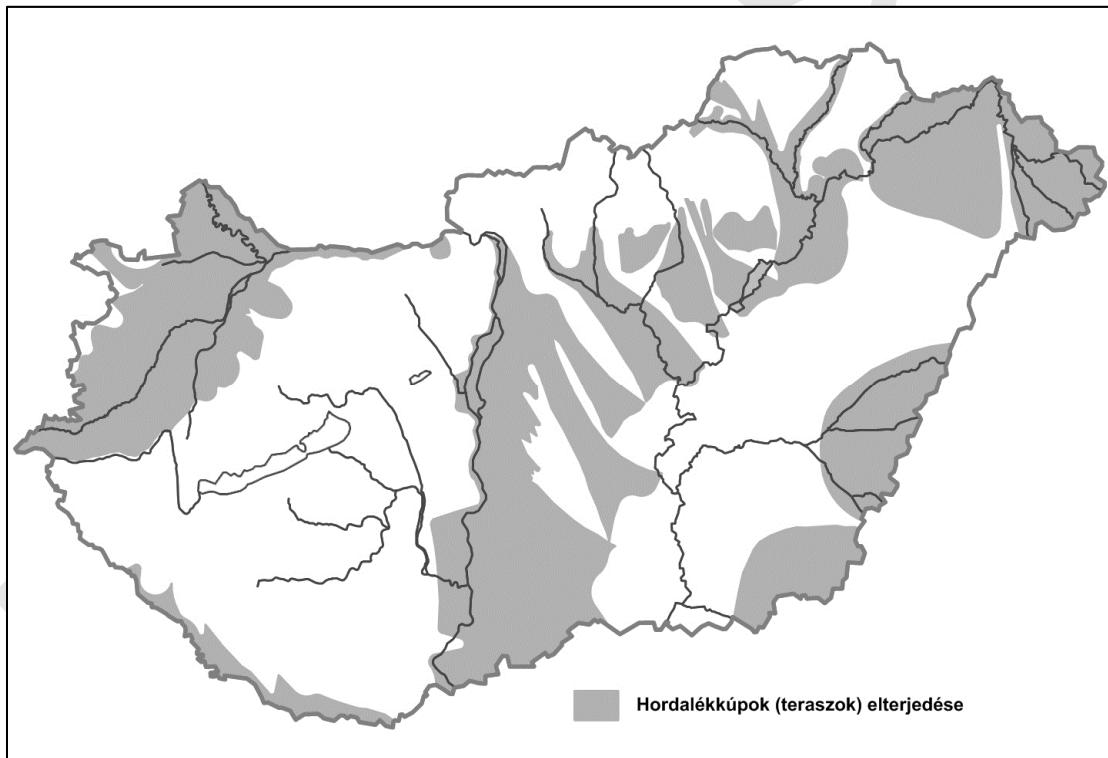
Az előbbieken ismertetett folyóvízi üledékképző folyamatok hatására hazánk folyói nagy területre kiterjedő és sokszor jelentős vastagságú hordalékkúpokat alakítottak ki. Ezek térképvázlatát a következő oldal 19. ábrája mutatja be [LESS, 2011] nyomán, a szerzők által újraszerkesztve.

A folyóvízi ártéri síkságok (alluviumok)

A folyóvizek alkotta akkumulációs térszínek túlnyomó részét a folyóvízi ártéri síkságok (az alluviumok) alkotják. Ezek közé soroljuk jelentősebb folyóink, így a Duna, Tisza, Dráva, Rába, Körösök síkjait, vagyis az Alföld és a Kisalföld nagy részét. E térségek jellegzetességét a kanyargós, levágott és feltöltött holtágakkal (morotvakkal) tagolt, közel vízszintes, síksági felszín adja.

Az eredetileg is kissé kanyargó folyók medervonala a kanyarodó vízmozgás hatásainak eredményeként idővel lassan, de folyamatosan változik. A mederváltozá-

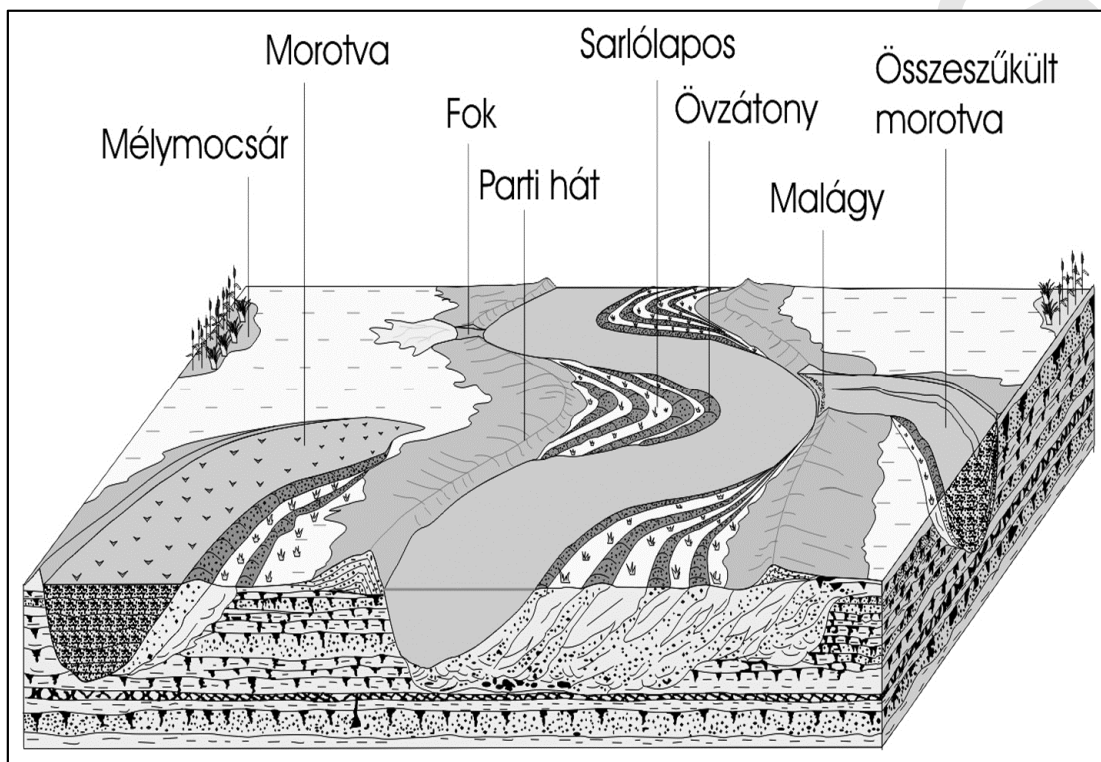
sok alapvető oka az, hogy a centrifugális erő hatására a víztömeg fő áramlási iránya, vagyis a sodorvonal mindig a kanyarulat külső partja felé tolódik el. Mivel a sodorvonalban a legnagyobb a folyó sebessége és vízszállító képessége, ezért ennek mentén legnagyobb a munkavégző képessége, itt szállítja a legtöbb hordalékot és ennek mentén fejti ki legerősebben romboló hatását is. Az említett okok miatt tehát a folyó áramlásának partromboló és üledékelszállító (vagyis eróziós) hatása – esetleg a vízfelületen kialakuló hullámváz erejével felerősödve – a kanyarulat (meander) külső (homorú), sodorvonalhoz közeli ívén a legerősebb, míg a folyóvíz hordaléklerakó, partépítő tevékenysége a kanyarulat belső (domború), sodorvontól távoli ívén a legnagyobb. Ez a folyamat egyre növeli a meanderek átmérőjét és ívének hosszát, miközben a kanyarulatok kezdete és vége is egyre közelebb kerül egymáshoz. Ez mindaddig tart, mígnem a folyó egy nagyobb áradás alkalmával átvágja a kanyarulat egymáshoz közel kerülő mederrészei közötti keskeny földgátat. Az átvágott szakaszon – mivel a folyóágyak között nagyobb a fenékesés, mint a korábbi kanyarulat mentén volt – meginduló erős áramlás az új szakaszt gyorsan kimélyíti, s ettől kezdve a vízfolyás főága már ebben az új, rövidebb mederben folyik tovább.



19. ábra. Magyarország legjelentősebb folyóvízi hordalékkúpjainak térképvázlata

Ezáltal a korábbi folyókanyarulatból egy íves, kifliszerű, s az új főmedertől elkülönülő (lefűződött) holtág vagy morotvató alakul ki. Ez a morotvató később lassan feltöltődik, először csak beszűkül, majd mocsárrá alakul, végül teljesen szárazulattá válik. Ez a folyamat többnyire néhány évszázad alatt zajlik le, gyorsan megváltoztatva a táj képét. A medrét oldalirányban (meanderezés és morotva képződés)

is és folyásirányban (medervándorlás) is állandóan változtató folyó jellegzetes, mikrodomborzatot alakít ki, mely a – sorozatos mederáthelyeződések eredményeként – fonatos rajzolatú korábbi mederágyak, feltöltődött morotvák, övzátonyok, mocsarak és parti hátak szövevényes rendszerét alkotja. Ezeket a folyamatokat ([BUTZER, 1986], [GALLI, 1977] és [MOSONYI-PAPP, 1959] alapján, a szerzők által újraszervezve) a 6. színes táblán (lásd a *Tankönyv* végén) vázlatosan is bemutatjuk. Egy fejlődő, változó síksági folyókanyarulat idealizált tömbszelvényét és az azt felépítő jellegzetes képződményeket pedig a 20. ábrán (ismeretlen szerzőtől, letölthető a <http://player.slideplayer.hu/8/2093725/data/images/img13.jpg> webcímről) láthatjuk. Ezek a gyors és erőteljes átalakulások a változatos talajösszetételben és rétegződésben, a talajvíz változó terep alatti mélységében, s az eltérő természetes növényzetű területek váltakozásában egyaránt nyomon követhetők.



20. ábra. A síksági folyókanyarulat idealizált tömbszelvénye

Mivel a folyók medervonala szakadatlan mozgásban van, ezért gyakran alámossák, aláávják és feltárják az idősebb képződményeket vagy jól látható terasz szinteket alakítanak ki. A nagyobb folyóvizek (pl. Duna és Tisza) esetében jól elkülöníthetők továbbá az ó-holocén kori magas- és az új-holocén kori alacsony-árterek. Az előbbieket a jelenkori árvizek már nem, illetve csak a különlegesen magas vízállásnál öntik el, míg az utóbbiak minden árvízi időszakban (évente 1–2 alkalommal) víz alá kerülnek.

A fentebb leírt folyamatok végeredményeként a nagyobb medencék belsejében (pl. az Alföld középső részén) a medenceperemi hordalékkúpok által közrefogott síksági árterek alakulnak ki

A síksági folyómedrek és az azokat kísérő árterek két alaptípusának (a széles és lapos, illetve a keskenyebb és domború árter) idealizált keresztmetszetét és felépítését ([BUTZER, 1986] alapján) vázlatosan a 7. színes tábla (lásd a *Tankönyv* végén) mutatja be.

5.2.5. Lejtők

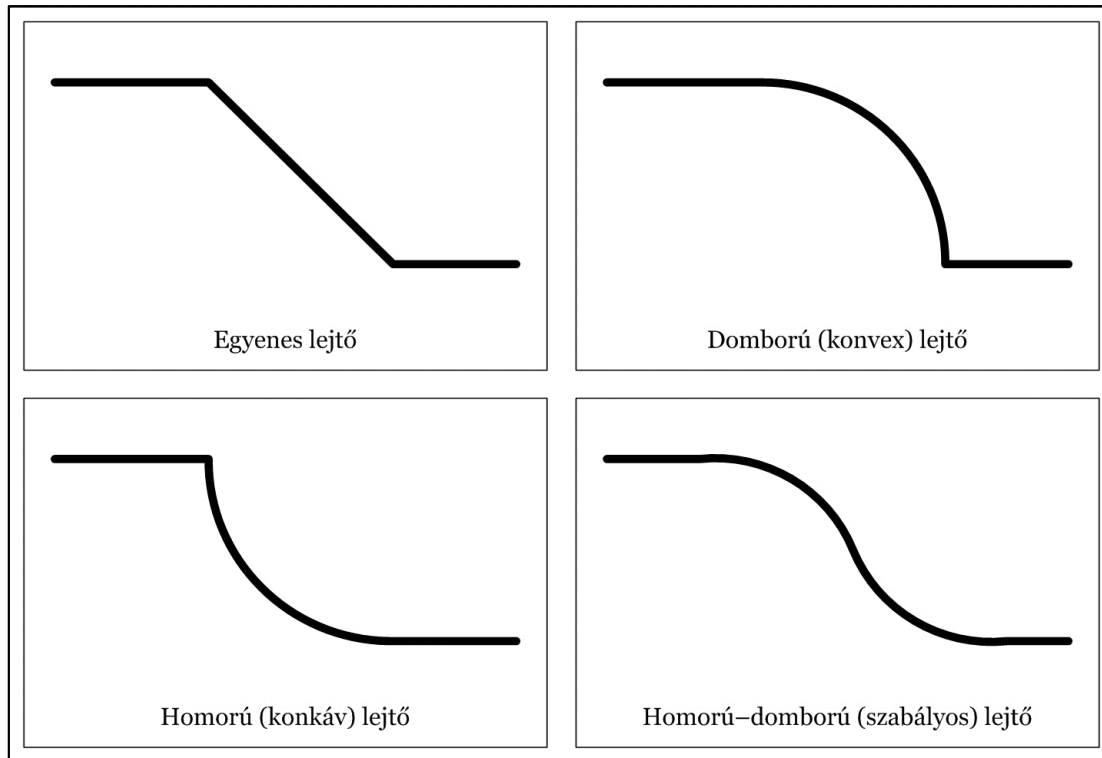
A leggyakoribb terepfelszíni formák – és egyben a lepusztulási és az üledékképződési folyamatok másik színtere – a lejtők. A lejtők osztályozásával, tulajdonságaival elsőként és legbelsőbben a geográfusok foglalkoztak, s ezeket a lejtőszög (lejtés) nagysága szerint osztályozták. E szerint sík vagy vízszintes (lejtőszög 0° – 2° közötti), lejtős (lejtőszög 2° – 45° közötti) és falszerű (lejtőszög 45° – 90° közötti) felszínről beszélhetünk. A lejtős felszíneket aztán még tovább tagolták, mint azt a későbbiekben látni fogjuk. A lejtők sajátosságai alapvetően a talaj anyagának összetételétől, tulajdonságaitól, az éghajlati jellemzőktől és a növénytakaró jellegétől függ. Ezek határozzák meg a lejtő „életét” közvetlenül befolyásoló gravitációs lejtőmozgások (pl. törmelékmozgás, lejtőcsúszás, talajkúszás), valamint a lehordási (főleg a vízerózió) és a felhalmozódási folyamatok nagyságát. Ezen tényezők összjátékának, vagyis a variációk nagy számának köszönhetően a lejtők is igen sokfélék lehetnek. Hogy rendszerezésük és tulajdonságaik elemzése egyszerűbb legyen, a lejtőket és azok sajátosságait különböző szempontok szerint osztályozzák. Ezek közül most a legfontosabbakat vesszük sorra.

A lejtő alakja és részei

A lejtőformák idealizált metszeteit a következő oldal 21. ábrája (a szerzők vázlatja) szemlélteti.

- *A sík vagy egyenes lejtő* többnyire a száraz, gyengébb eróziójú, sziklás hegyvidéki részek durva törmelék-lejtőire vagy a megbillent kőzetlapok borította felszínekre (pl. a budapesti Tétényi-fennsík) jellemző. A felületi vízfolyás mennyisége és energiája a lejtő hosszával arányosan nő, ezért a talajpusztulás a lejtő alsó harmadán a legerősebb.
- *A domború vagy konvex lejtő* főként az olyan területeken alakul ki, ahol a lejtő alján valamely ok miatt (pl. lazább talaj vagy puhább kőzet) intenzívebb az erózió. A felületi lefolyás a lejtő alsó részén éri el a legnagyobb energiát, tehát ez a lejtőtípus a lejtőláb felé egyre erőteljesebben jelentkező eróziót, vagy lejtőalji üledékelhordást jelez.
- *A homorú vagy konkáv lejtő* az előbbi ellentéte, vagyis a lejtő tetején a legintenzívebb az erózió. A lefolyó víz a lejtő középső harmadában jelentkezik a legnagyobb mennyiségben és a legnagyobb energiával. Az alsó harmadban pedig lelassul, itt akkumuláció is kialakulhat.
- A lejtők nagy része a *szabályos vagy homorú–domború lejtők* közé sorolható, a talajokkal fedett térszíneket főként ez a lejtőforma jellemzi. A lejtő tetőszintjében az eróziós tevékenység dominál, melynek szerepét a talpszint felé haladva egyre inkább az akkumulációs folyamatok veszik át. A környezeti viszonyok sokfélesége miatt azonban a lejtők szinte sohasem mutatnak ideális formát, általában valamely alapforma módosult változataként jelennek meg. A

lejtők további élete is más-más irányt vesz az általános felszíni lealacsonyodással (vagyis a térszín magasságának csökkenésével) vagy a lejtőhátrálással (vagyis a lejtővonal hátrább tolódásával) fejlődő térszíneken. Esetenként tehát (pl. a hosszú és változó kőzetfelépítésű térszíneken) összetett lejtő is kialakulhat, melyen egymást váltják az egyenes, a domború és a homorú lejtőszakaszok. Az erózió és az akkumuláció időbeli és térbeli folyamatát az egyes lejtőszakaszok sorrendje, formája és nagysága szabja meg.

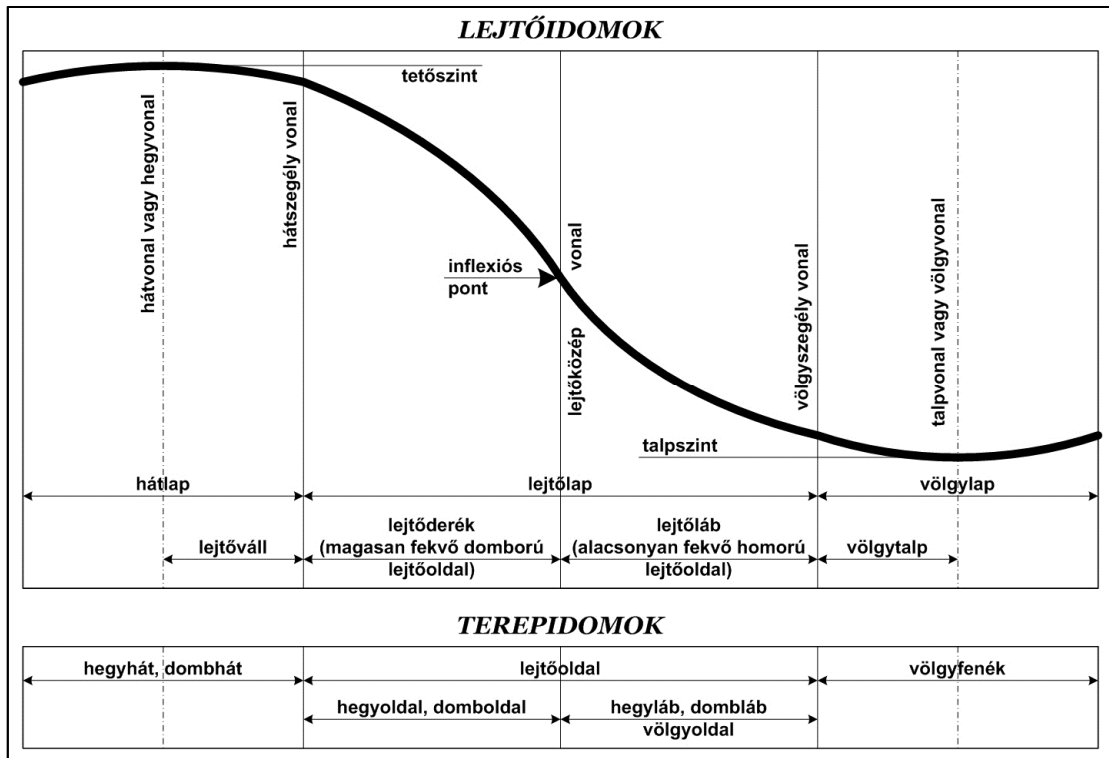


21. ábra. A lejtőformák idealizált metszetei

Hogy a lejtők osztályozása és leírása egységes rendszerbe foglalható legyen, meg kell különböztetnünk a lejtő részeit és a hozzá tartozó terepidomokat. A szabályos lejtők esetében az ezekre vonatkozó földrajzi ismereteinket a következő oldalon látható 22. ábra (készítették a szerzők) foglalja össze.

A lejtő meredeksége, lejtőszög, lejtőkategóriák

A lejtő meredeksége, lejtőszög, lejtőkategóriák: A lejtők meredekségét fokban vagy százalékban (1 %-os a lejtő, ha a lejtő vízszintes vetületének 100 m hosszúságához 1 m szintkülönbség tartozik) jelölik. A kategóriák értelmezése mellett jellemezzük az erózió formáit is. Értelemszerűen, a meredek lejtőkön a talajpusztulás gyorsabb és veszélyesebb, erősebben kifejtett eróziós formákat ölt, mint az enyhébb lejtőkön.



22. ábra. A szabályos lejtőhöz tartozó lejtő- és terepidomok elnevezése

- *Sík vagy hullámos* (lejtőszög: $0-2^\circ$ között) területen a felszíni víz mozgása csekély vagy elhanyagolható sebességű és energiájú. Az eróziós formák közül ritkán lép fel a felületi lepelerózió (felületi rétegerózió), míg a barázdás és vízmosásos formák teljesen hiányoznak. Általában tehát csak padkásodásra, esetleg felületi rétegerózióra lehet számítani.
- Az *enyhén lejtős* (lejtőszög: $2-5^\circ$ között) területeken a felszíni víz már jelentősen elmozdul helyéről, közepes energiát nyer, és ezért a talajt pusztíthatja. Ez esetben a felületi rétegerózió már gyakoribb, mint a sík vagy a hullámos területeken, s egyes esetekben már a barázdás kimosódás is megjelenhet.
- A *közepes lejtésű* (lejtőszög: $5-10^\circ$ között) területek lejtőin a talajok vízelnyelése már rendszerint nem elegendő a teljes csapadékmennyiség talajba juttatására és az így keletkezett felületi lefolyás jelentősen felgyorsul. A felületi rétegerózió mellett a barázdás erózió formája is megjelenik, esetenként pedig az árkos erózió vízmosásainak kialakulása is lehetséges.
- Az *erősen lejtős* (lejtőszög: $10-15^\circ$ között) területeken mind a felületi vízlepel, mind az erekben egyesült vízfolyások energiája jelentősen nagyobb, mint az előbbi lejtőkategóriák esetében. A lejtőkön lefutó víz a felületi rétegerózió mellett már gyakran váltja ki a barázdás és az árkos (vízmosásos) eróziót.
- A *meredek lejtőkön* (lejtőszög: $15-45^\circ$ között) a legerősebb a talajpusztulás. A kis ellenállású, laza, aprószemű talajok esetében – mivel az ilyen lejtők főleg a hegyvidékeket jellemzik – a talajpusztulás következtében már a talajképző kőzet is a felszínre kerülhet. A nehezen erodálható talajokon pedig már a talaj-

pusztulás minden fokozata (felszíni talajleomosódás, barázdás és árkos talajkiomosódás) észlelhető.

- *A falszerű lejtők* (lejtőszög: 45° felett) térsége az intenzív lepusztulás területei, ahol a kőzet többnyire már a felszínen, vagy annak közvetlen közelében megjelenik. A lepusztulási formák közül a gravitációs tömegmozgások (pl. omlás, törmelékfolyás) túlsúlya figyelhető meg.

A lejtők előbbieken tárgyalt osztályozását és tulajdonságait, sajátosságait a következő 10. táblázat (szakirodalmi adatok alapján összeállították a szerzők) foglalja össze vázlatosan. A táblázattal kapcsolatban felhívjuk a figyelmet arra, hogy a közölt adatok csak tájékoztató, iránymutató jellegűek és sok-sok eltérő megfigyelés és tapasztalat átlagaként értelmezhetők, mivel azok nagymértékben függenek a vizsgálatok helyének éghajlati viszonyaitól és talajadottságaitól, valamint – korrekt mérések hiányában – a megfigyelő szubjektivitásától is.

A lejtő hosszúsága

A lejtő hosszúsága szabja meg, hogy a felületi lefolyás milyen tömegű és milyen sebességű vizet szállít. Ha a terület lejtése egyenletes, akkor a lefolyó víz mennyisége és energiája a lejtő hosszával arányosan növekszik, s ezeknek csak a talajfelületen jelentkező súrlódás szab határt.

10. táblázat. A lejtők osztályozása és sajátosságai

Lejtő szög (°)	Lejtő hajlás (%)	Lejtő kategória	Járhatóság járművel	Vízlefolyás sebessége	Erózió nagysága	Erózió típusa	Akkumuláció nagysága			
0–2	0–3	síkság	közúti járművel könnyen	kicsi	nincs	nincs	igen nagy			
2–3	3–5	enyhe lejtő			kicsi	lepel	nagy			
3–5	5–9	közepes lejtő			közepes	közepes	lepel, barázdás	közepes		
5–7	9–12		erős lejtő	lepel, barázdás, árkos (vízmosás)			kicsi			
7–10	12–17	meredek lejtő	csak speciális járművel (munkagéppel)	nagy	nagy	barázdás, árkos (vízmosás)	nincs			
10–15	17–27							igen nagy	barázdás, árkos (vízmosás)	nincs
15–20	27–36				nincs	barázdás, árkos (vízmosás)	nincs			
20–25	36–47									
25–30	47–58				nincs	barázdás, árkos (vízmosás)	nincs			
30–35	58–70	nincs	barázdás, árkos (vízmosás)	nincs						
35–45	70–100				nincs	barázdás, árkos (vízmosás)	nincs			
>45	>100	fal	járhatatlan							

Általános esetben a 400 m-es lejtőhosszig a felszíni vízáramlás többnyire még lepeleszerűen egyenletes, de az ennél hosszabb lejtőkön már barázdák, árkok mentén koncentrálódik. Jelentős szerepe van tehát a lejtők hosszúságának az eróziós erek kialakulásában, és ennek következményeként a barázdás, árkos erózió megjelenésében. Hosszú, egyenletes lejtőn a vízerek egyesülése, nagyobb energiájú víz-

sodrásokká alakulása nagyobb valószínűséggel következik be, mint a rövid lejtőkön. Általában azt tapasztalhatjuk, hogy az enyhe vagy közepes lejtők esetében a 10–20 m-es lejtőhossznál a talajpusztulás sokkal kisebb veszélyt jelent, mint az ugyanolyan lejtőkategóriába tartozó, de a 100 m-t megközelítő vagy meghaladó hosszúságú lejtőkön.

A lejtő anyaga

A lejtők sorsának, a rajtuk lejátszódó folyamatoknak alakulását tekintve legnagyobb jelentősége az anyagi összetételnek és a rétegződésnek van. E tekintetben a szemszerkezet a meghatározó, s a végeredményt két ellentétes folyamat összjátékának eredője adja. Egyfelől minél kisebb szemcsékből épül fel a lejtő talaja, annál kisebb vízsebesség elegendő a szemcsék elmozdításához. Másfelől azonban minél kisebb szemekből áll a talaj, annál nagyobb a szemcsék közötti összetartó erő (adhézió), vagyis egyre nagyobb energia szükséges egy talajcsemcse helyéről történő kiszakításához. Mindezek alapján a legrosszabb helyzet a finomszemű homoktalajoknál tapasztalható, ez esetben már kis vízsebességek mellett is jelentős eróziós hatások alakulnak ki. A szemcseösszetétel finomodásával (az egyre kötöttebb iszap és agyagtalajok felé haladva), illetve durvulásával (az egyre nagyobb szemnagyságú kavics, görgeteg, kőtörmelék felé haladva) viszont az ugyanolyan mértékű erózióhoz már egyre nagyobb vízsebességekre van szükség. Homogén talajösszetétel és egynemű rétegződés esetében többnyire egyenes vagy szabályos lejtők alakulnak ki, míg a változó összetételű talajokból és rétegződésű területeken előbb-utóbb összetett lejtők vagy hullámos felszínek alakulnak ki.

A lejtő kitettsége, a földrajzi irányok (égtájak) szerinti tájolása

Az eltérő kitettségű lejtőkön azonos körülmények (kőzet- vagy talajfelépítés, rétegződés, lejtőszög, lejtőhossz, lejtőalak és fedettség) esetében is különböző mértékű erózióval kell számolni. Ennek oka az égtájak függvényében jelentősen eltérő meteorológiai tényezőkben keresendő. Ezek közül legfontosabbak a napsugárzás, a csapadék és a szél. Hazánk területén általánosan az É-i és az ÉNy-i szelek az uralkodóak, vagyis az esők, havazások alkalmával ezek a lejtőoldalak a többihez képest több csapadékot kapnak, ezáltal a felszíni vizek és a szél eróziója ezeken a lejtőoldalakon erőteljesebb. A hűvösebb, kevesebb napsütésben részesülő É-i lejtőkön a fagyhatásból, míg a napsütötte D-i lejtőkön a hőmérséklet ingadozásából származó aprózódás zajlik erőteljesebben.

A lejtő fedettsége

A lejtő fedettségének is hatása van az eróziós folyamatokra, s e tekintetben elsősorban a nagyobb területekre jellemző növények általi borítottság szerepét kell vizsgálni. A növények – fejlődésük és növekedésük különböző szakaszaiban, de növényfajtatól is függően – más-más fedettséget biztosítanak. A fedettség, vagyis az erózió elleni védelem mértéke két tényező függvénye. A védelmet egyrészt az ernyőként talaj fölé boruló lombzat talajtakaró hatása biztosítja. Minél korábban alakul ki és minél tovább marad meg egy növény levélzete, annál hatásosabb védelmet nyújt a legnagyobb talajeróziót előidéző heves záporok, illetve hosszan tartó, többnapos esőzések ellen. A védelem nagysága másrészt a növényzet gyökereinek talaj-

rögzítő, összetartó tulajdonságán is múlik. A felszín közelében szerteágazó dús gyökérszövet rögzíti a talajrögöket, megakadályozza a felső talajrétegek fellazulását, a talajszemcsék kimosódását, a máshonnan érkező felszíni hordalékot pedig megköti. A növényzetnek továbbá jelentős szerepe van a felszínhez közeli talajrétegek nedvesség-háztartásának szabályozásában is. Egyrészt a vízelszívás miatt segíti a finomszemcsés, kötött jellegű talajok gyorsabb száradását, s ezáltal a meredek lejtők gravitációs tömegmozgásainak megakadályozásában vagy azok csökkentésében van jelentős szerepe. Másrészt a lombozat védelmében a felszín csak lassan szárad ki és a szél hatása is mérsékeltebb, ami viszont a durvaszemű talajok vagy a futóhomokos területek szélerezési károsodásának mérséklését segíti.

Meg kell még említeni a mesterséges burkolatok hatásait is, melyek szerepe viszont már egyértelműen kedvező. Kétségtelen, hogy a burkolattal fedett felszínen az eróziós hatások nem érvényesülhetnek, de a burkolatok szélein hirtelen és nagy mennyiségben megjelenő csapadékvíz azonban jelentős helyi eróziós hatást fejt ki. Ezzel együtt pedig a párolgás akadályozása miatt az altalaj folyamatos nedvesen tartása az esetleges lejtőmozgások kialakulását segítheti.

Az esőintenzitás hatásai

A felszíni talajok víznyelő képességénél, vagyis beszivárgási sebességénél hevesebb esőket a felszíni rétegek már nem képesek elnyelni, így a fennmaradó vízmennyiség felszíni vízként vonul le a mélyebb fekvésű területrészek felé. A megfigyelések szerint hazai körülmények között általában a 40–60 mm/óra, illetve az ennél nagyobb intenzitású záporok már számottevő eróziót okozhatnak.

A hóolvadás körülményei

A havazás, illetve a felszínen felhalmozódó hó önmagában még nem vált ki közvetlenül talajeróziót. A hó mennyisége (vastagsága), az olvadás sebessége és az olvadás időpontja azonban már befolyásolják a tavaszi hóolvadás időszakában kialakuló erózió nagyságát. Minél nagyobb mennyiségű hó olvadására kerül sor, illetve minél gyorsabb az olvadás, annál nagyobb az erózió mértéke. A talajfagy hatása kettős. Egyrészt megköti a talajszemcséket, összetartja a talajrögöket, ezáltal csökkenti az erózió nagyságát. Másrészt megakadályozza a hóolvadék talajba szivárgását, ezzel viszont növeli a felszínen lefolyó víz mennyiségét, ez pedig fokozza az eróziós hatást. A vastag hóréteg hőszigetelő hatásánál fogva általában csökkenti az átfagyott talaj vastagságát, míg vékony hóréteg esetében nő az átfagyott talaj vastagsága. A korai hóolvadáskor általában nagyobb mélységig, késői hóolvadáskor pedig kisebb mélységig átfagyott talajjal lehet számolni. Mindebből az következik, hogy a vastag hótakaró késői gyors olvadása okozza a legnagyobb eróziót, míg a vékony hótakaró korai lassú olvadása szinte nyom nélkül lezajlik.

A lejtők egyéb sajátosságai

Az előzőekben vázlatosan áttekintettük a lejtőkkel kapcsolatos tudnivalók közül azokat a legfontosabb ismereteket, melyek a terepi vizsgálatok és a tervezési feladatok eredményes megoldását segítik. A következő 11. táblázat – a szakirodalom felhasználásával, a szerzők szerkesztésében – a törmeléklejtők és lejtőüledékek néhány azon sajátosságait összegzi, melyek alapján megismerhetők és megérthetők

a lejtőkön lezajló jelenségek, illetve azokat az összefüggéseket mutatja be, melyek a lejtők esésviszonyai és az azt felépítő képződmények alapvető sajátosságai között fedezhetők fel. Ez esetben is hangsúlyozni kell azonban, hogy a közölt adatok csak tájékoztató jelleggel vehetők figyelembe, s a tényleges helyszíni adottságok (pl. fedettségi viszonyok, éghajlati adottságok, talaj- és kőzetfelépítés) függvényében kisebb-nagyobb mértékben változhatnak.

11. táblázat. A lejtőképződmények és sajátosságai

Lejtő szög (°)	Lejtő hajlás (%)	Törmelék-lejtő és lejtő-üledékek jellemző mozgásai	Képződmények genetikai alaptípusa	Lejtőtörmelék mérete	Képződmények jellemző anyaga, összetétele	Törmelék-takaró összetétele, jellegzetességei
0–2	0–3	nincs	folyóvízi üledékek (alluvium), tetőhelyzetben: helyben maradt kőzetmáladék (eluvium)	nincs	öntéstalajok, terasz anyag, tavi és mocsári üledékek, infúziós lösz, lösziszap, futóhomok, tetőhelyzetben: szálkibúvás, vékony talajréteggel fedett kőzet, durva kötőrmelék, kőtömb	nincs
2–3	3–5	törmelékkúszás, talajkúszás, talajfolyás, suvadás		finom	öntéstalajok, teraszanyag, futóhomok, lemosott lejtőlösz, löszvályog, típusos lösz, lejtőagyag	homogén törmelék-takaró (lassan mozogva tovább aprózódik és kopik a kőzet-törmelék)
3–5	5–9				teraszanyag, futóhomok, típusos lösz, finom kötőrmelékkel keveredett lejtőlösz, lejtőagyag	
5–7	9–12				folyóvízi üledékek (alluvium) és lejtő-üledékek (deluvium)	
7–10	12–17					
10–15	17–27					
15–20	27–36	törmelékkúszás, törmelékfolyás, talajfolyás, suvadás, törmelékcsúszás, rétegescsúszás	lejtőüledékek (deluvium) és lejtőalji törmelékfolyás képződmények (proluvium, kolluvium)	közepes	kötőrmelékes iszap-agyag, kötőrmelékes lejtőagyag, lejtőlösz, iszapos-agyagos kötőrmelék	rétegzett törmelék-lejtő vagy keverék-takaró (finom és durva törmelék)
20–25	36–47					

Lejtő szög (°)	Lejtő hajlás (%)	Törmelék-lejtő és lejtő-üledékek jellemző mozgásai	Képződmények genetikai alaptípusa	Lejtőtörmelék mérete	Képződmények jellemző anyaga, összetétele	Törmelék-takaró összetétele, jellegzetességei
25–30	47–58	talajfolyás, törmelékfolyás, suvadás, törmelékcsúszás, rétegcsúszás		durva		
30–35	58–70					
35–45	70–100	törmelékfolyás, kőfolyás, törmelékcsúszás, rétegcsúszás, kőcsúszás	lejtőalji törmelék-kúp képződmények (proluvium, kolluvium)	tömbös	erősen kötőrmelék-kes iszap–agyag, iszapos–agyagos durva kötőrmelék, kötőmb	osztályozott törmelék-lejtő (a dőlésszög csökkenésével arányosan csökken a törmelék mérete)
>45	>100	törmelékfolyás, kőfolyás, törmelékcsúszás, kőcsúszás, talajomlás, kőomlás			szálkibúvás, vékony talajréteggel fedett kőzet, iszapos–agyagos durva kötőrmelék, kötőmb	

5.3. A kőzetek osztályozása földtani szempontból

Az eddigiek alapján megismerhettük azokat az egész Földre kiterjedő hosszútávú geológiai folyamatokat, melyek eredményeként Földünk arculata lassan, de folyamatosan változik. Ezek a változások a litoszféra és az asztenoszféra anyagát egyaránt érintik, vagyis Földünk felszíne, domborzata és annak mélye, kőzeteinek anyaga is állandó átalakuláson esik át. Nagy vonalakban tehát arról van szó, hogy a kőzetek a magmás, vulkanikus tevékenység és az üledékképződés során folyamatosan keletkeznek; míg az erózió eredményeként állandóan pusztulnak, a szubdukciós jelenségek során pedig újra beolvadnak; illetve a mélybe süllyedve új kőzetekké alakulnak át. Ezek a folyamatok a kőzetek „életének” szüntelen körforgását (keletkezés → átalakulás → megsemmisülés → újramegaképzés) biztosítják.

A következőkben a mélységi magmás és vulkanikus, az üledékes és az átalakult kőzetek keletkezését, sajátosságait ismertetjük röviden.

5.3.1. Mélységi magmás (magmatitok) és vulkanikus (vulkanitok) kőzetek

Ezek a Föld kőzeteinek elsődleges, mondhatnánk ősi csoportja, hiszen ezek alkották az egykori ősi földfelszínt, s napjainkig mindkét másik kőzettípus anyaga is ebből származtatható. A magma lényegében forró, képlékeny–folyós kőzetanyag, mely különböző olvadáspontú szilikátok és oxidok elegye. Egyes alkotórészei a hőmérséklet csökkenése közben, olvadáspontjuk alá hűlve kristályosodnak ki. A le-

hűlési körülmények különbségei (lehűlési sebesség, nyomás) és a megszilárdulási hely függvényében a magmából különböző összetételű és tulajdonságú kőzetek keletkeznek. A mélységi magmás kőzetek és ezek vulkanikus kiömlési kőzetváltozatai közel azonos ásványos összetétellel rendelkeznek. Az alapvető különbség a kőzetalkotó ásványi kristályok szemnagyságában, s ennek következményeként a kőzet szövetében, szerkezetében fedezhető fel, melyek főként a környezet nyomásviszonyaival és a kihűlési sebességgel, valamint a magma anyagi összetételével és ebből eredően sűrűségével, továbbá felszínre kerülés módjával (lassú kifolyás, gyors kiömlés vagy robbanásos kitörés) vannak szoros összefüggésben. A kőzeteket felépítő ásványszemek nagyságát általában az alábbiak szerint osztályozzák.

- *Durvaszemcsés (durvakristályos)*: 5 mm felett (szabad szemmel jól látható és azonosítható).
- *Középszemcsés (középkristályos)*: 1–5 mm között (általában még szabad szemmel is, esetenként már csak erős kézi nagyítóval (lupe) látható és azonosítható).
- *Finomszemcsés (finomkristályos)*: 0,1–1 mm között (csak lupéval látható és azonosítható).
- *Mikroszemcsés (mikrokristályos)*: 0,1 mm alatt (már csak kőzetmikroszkóppal látható és azonosítható).

A mélységi magmás kőzetek (magmatitok)

Ide sorolhatók a magmakamrában és a felette lévő kéregtartományban – nagyrészt a felszín alatti kb. 5–50 km közötti mélységben – igen lassan és nagy nyomáson megszilárduló kőzetek. Ezeket a tömött, durvakristályos szerkezet jellemzi. Általában hatalmas, egybefüggő kőzettömegeket (plutonitok) képeznek, de benyomulhatnak más, már korábban kialakult kőzetek közé (intruzívumok) is. A mélységi magmás kőzetekre a holokristályos felépítés jellemző, mely teljesen kikristályosodott kőzetszerkezetet jelent. Ezekben a kőzetekben a viszonylag nagy nyomás és az igen lassú lehűlés következményeként az ásványok jól fejlettek, nagykristályos, durvaszemcsés (pegmatitos) vagy középszemcsés nagyságban vannak jelen.

A vulkanikus kőzetek (vulkanitok)

A vulkanitok közé tartoznak a vulkáni tevékenység során a felszín alatt 1–5 km mélységben megrekedt magmából kialakult *szubvulkáni kőzetek* (szubvulkanitok). Ezeket szintén a holokristályos felépítés jellemzi. A felszínhez közel elhelyezkedő szubvulkanitok azonban már kisebb nyomáson és jóval gyorsabban kristályosodnak, ezért őket a középszemcsés vagy a finomszemcsés (aplitos) szerkezet jellemzi.

A felszínre kiömléssel (erupció) keletkező kőzetek a *vulkanikus kiömlési kőzetek*, melyek az előbbiekkal szemben már a légköri (alacsony) nyomáson és hőmérsékleten, igen gyorsan hűlnek ki. Az így gyorsan megszilárduló magma anyagot lávának (extruzívum vagy effuzívum) nevezzük.

- A kiömlési kőzetek nagy részét a porfiros szövet jellemzi. Ez azt jelenti, hogy a viszonylag lassabb kihűlés miatt a részben üveges (hialinos, vagyis egybeolvadó, amorf), zömmel mikroszemcsés vagy finomszemcsés szerkezetű kőzetmátrixban elszórtan elhelyezkedő (vagyis abban mintegy „úszva”) jól fejlett, durvaszemcsés vagy középszemcsés méretű ásványokat találunk.

- A kiömlési kőzetek kisebb hányada viszonylag gyorsan hűl ki, ezért mikrokristályos szövetű, melyet mikroszemcsés méretű ásványszemek alkotnak.
- A kiömlési kőzetek elenyésző része a hirtelen, szinte pillanatszerűen gyors lehűlés miatt üveges szövetű lesz.

A vulkanikus törmelékes (piroklasztikus) kőzetek a vulkáni robbanásos kitörések (explozió) során a felszínre kerülő és ott lerakódott különböző méretű nagyobb kőzettömbökből ($D > 64$ mm: vulkáni bomba), kisebb kőzetdarabokból ($D = 2–64$ mm: lapilli) és ásványi szemcsékből vagy szemcse töredékekből ($D < 2$ mm: vulkáni por vagy hamu) állnak össze. A robbanásos kitörések alkalmával a magasba kirepülő vulkáni bombákból, lapillikból, porból, lávadarabokból, hamuból, esetleg a kürtőből kiszakított kőzetanyagokból álló keveréket piroklaszt szórásnak, ennek a vulkáni kürtő külső oldalán lezúduló anyagát pedig piroklaszt árnak nevezik. E törmelékes anyagok leülepedése, lehűlése és összetömörödése során keletkeznek a vulkáni törmelékes kőzetek, azaz a tufák (piroklasztitok).

A mélységi magmás és a vulkanikus kőzetek néhány alapvető sajátossága

A mélységi magmás és vulkanikus eredetű kőzetek képződési körülményektől (mélység és hőmérséklet) és ásványi összetételétől függő osztályozását, valamint a kristályosodási folyamat fontosabb állomásait (a Bowen-féle kristályosodási sor), továbbá a kőzetek egyéb sajátosságait vázlatosan a 8. színes tábla (lásd a *Tankönyv* végén) szemlélteti (a szakirodalmi adatok alapján összeállították a szerzők).

mélység (km)	25	8	7	6	5	4	3	2	1	0
közeg	differenciálódó mélységi magmás kőzetolvadékok		szilárduló magma	megszilárdult magma-maradék		forró gőzök és gázok		forró vizes oldatok és gőzök		
kristályosodási és ércesedési folyamat szakaszai és fázisai	előkristályosodási szakasz (1500–1000 °C)		főkristályosodási szakasz (1000–700 °C)			utókristályosodási szakasz (700–100 °C)				
						pegmatitos fázis (700–500 °C)	pneumatolitos fázis (500–375 °C)	hidrotermális fázis (375–100 °C)		felszíni exhalációs utófázis (200–100 °C)
keletkező érc	króm, nikkel, platina, vas, kobalt		vas, titán			urán, tórium, titán, ón	vas, réz, wolfram, arany, molibdén		arany, ezüst, ólom, cink, réz, nikkel, higany	

Ércnek nevezzük azokat az ipari léptékben nagy tömeget alkotó ásványkeveréket, melyből egy adott ipari–technológiai színvonalon és gazdaságos feltételek mellett, egy vagy több hasznos fémes vagy nemfémes elem nyerhető ki.

23. ábra. A kristályosodási és ércesedési folyamatok vázlatos összefoglalása

A magmás, vulkanikus folyamatok azonban nem csak a kőzetek és a kőzetalkotó ásványok, hanem – mintegy „melléktermékként” – a gazdaság működésének egyik anyagi alapfeltételét szolgáltató ércek kialakulását is eredményezi. A kristályosodási és ércesedési folyamatok mélységi és hőmérsékleti körülményeinek vázlatos összefoglalását az előző oldal 23. ábrája mutatja be (a szakirodalmi adatok felhasználásával készítették a szerzők).

5.3.2. Üledékes kőzetek (szedimentumok)

E kőzetcsoporthoz tagjai alapvetően a folyók, a szél és a jég által az üledékgyűjtő medencékbe (a szárazföldi süllyedékek, alföldek, tavak és az óceánok, tengerek) szállított és ott (vagy menet közben és időlegesen a folyóvölgyekben és mederágyakban) leülepedett hordalékokból, valamint az üledékgyűjtők vizében zajló vegyi és biológiai folyamatok eredményeként alakultak ki, folyamatos tömörödés és cementáció során. Az említett kőzetté válás (idegen szóval: *diagenezis*) időben elhúzódó folyamat, így ennek különböző állomásait más-más anyagú és szilárdságú kőzetek jelentik. Így a kezdetben laza, puha, alacsony szilárdságú, széteső jellegű talajokból (pl. kavics, homok, iszap, agyag) végül tömör, kemény, nagy szilárdságú, összeálló üledékes kőzet lesz. Az üledékes kőzetek eredetüket tekintve három csoportra oszthatók, a következők szerint.

A törmelékes üledékes kőzetek

A törmelékes üledékes kőzetek más kőzetek mállástermékeiből keletkeznek (pl. homokkő, márga).

A vegyi üledékes kőzetek

A vegyi üledékes kőzetek lényegében az üledékgyűjtő vizében zajló vegyi folyamatok eredményeként (pl. az egykori tengeröblök kiszáradása során, vagy mélytengeri környezetben) válnak ki és ülepednek le, ahol a már említett diagenezis folyamatában válnak kőzetté (pl. gipsz, kősó, mészkő).

A szerves eredetű (biogén) üledékes kőzetek

A szerves eredetű (biogén) üledékes kőzetek az élőlényeknek az állóvizek (óceán, tó, mocsár) aljára leülepedett maradványaiból (pl. növényi maradványok, mész és kovavázak, csont) jönnek létre, szintén a diagenezis folyamatában (pl. kőszén).

5.3.3. Átalakult kőzetek (metamorfitok)

A korábban már kialakult kőzetek a különböző földtani (pl. lemeztectonikai, üledékképződési, hegységképződési) folyamatok során (egymást követően akár többszöri alkalommal is) magas hőmérséklet és/vagy nyomás alá kerülhetnek. Ezek a hatások különösen a felszínen, illetve annak közelében képződő üledékes kőzeteket érintik erőteljesen, de a magmás vagy a már korábban metamorfizálódott kőzeteket sem kímélik. Az említett hatások eredményeként az eredeti kőzet átkristályosodik és/vagy palás szerkezetűvé válik, valamint tulajdonságai is igen nagy mértékben megváltozhatnak, s eredeti szerkezete, ásványos összetétele, keménysége, tömörsége egyaránt átalakulhat.

A kőzetek metamorfizálódása [HARTAI, 2003] a környezet hőmérsékletének, nyomásának megemelkedése és/vagy a gázok–gőzök hatása miatt jön létre. A meta-

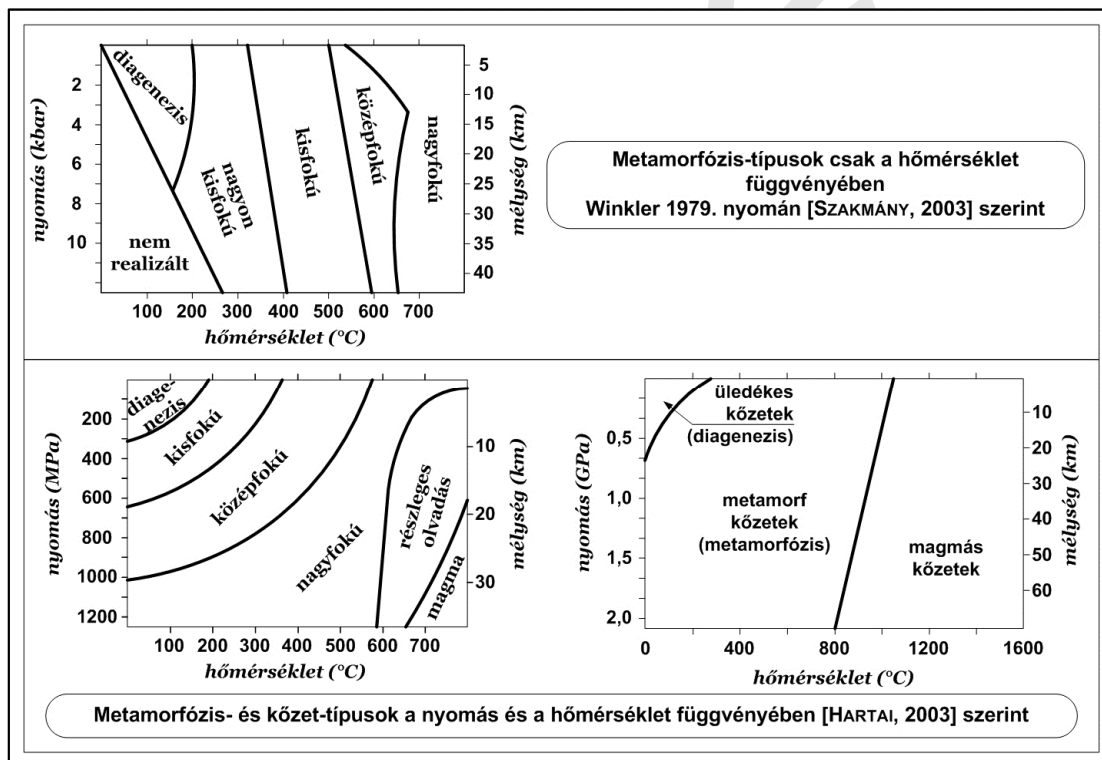
morfizáló folyamatok érinthetnek egyszerre nagyobb területeket és közettömegeket (regionális metamorfózis), de történhet lokálisan (kontakt metamorfózis) is.

A regionális metamorfózis kiváltó oka lehet:

- a folyamatos üledékfelhalmozódás (betemetődés) hatására fellépő rétegterhelés miatt a nyomás és – az ennek hatására történő mélybe süllyedés eredményeként – a hőmérséklet megemelkedése,
- a lemeztektonikai mozgások (pl. hegységképző erők, szubdukció) eredményeként a nyomás és hőmérséklet növekedése,
- a hidrotermális tevékenység (pl. vulkáni működés, tengerfenéki hőforrások) hő és vegyi hatásai.

A kontakt metamorfózis oka jellemzően a kéregbe benyomuló magma határfelületén a hőmérséklet és a közetnyomás megemelkedése.

Az üledékek közzé alakulásának (diagenezis) és a metamorfózis kezdetének, valamint a metamorfózis egyes lépcsőjéhez tartozó hőmérséklet és nyomás határok ma még pontosan nem határozhatók meg. Az erre vonatkozóan gyakorlati tapasztalatokon alapuló, s a szakmai körökben általánosan elfogadott és ismert adatokat [HARTAI, 2003] és [SZAKMÁNY, 2003] alapján (a szerzők átdolgozásában) a 24. ábra foglalja össze.



24. ábra. A metamorfózis- és kőzet-típusok a nyomás–mélység–hőmérséklet függvényében

6. KÖZETEK MINŐSÍTÉSE, BESOROLÁSA, OSZTÁLYOZÁSA, TULAJDONSÁGAI ÉS TEREPI FELISMERÉSE

A geotechnikai, építőmérnöki munkák során általában ugyan a talajokkal foglalkozunk, de a hegyvidékek területén különböző kőzetekkel is találkozhatunk, tehát a kőzetek minősítéséhez, besorolásához, mérnökgeológiai osztályozásához, tulajdonságainak felismeréséhez és a terepi azonosításához szükséges alapvető ismeretekkel is rendelkezünk kell. Ebben a fejezetben ennek vázlatos ismertetésére törekszünk.

6.1. A kőzetek mérnökgeológiai minősítési, besorolási szempontjai

A kőzetek geotechnikai–építésföldtani szempontból lényegesebb jellemzőit és minősítési, besorolási alapelveit a következőkben tekintjük át.

6.1.1. Szín

A kőzetek színének meghatározásánál a minden látható körülményre kiterjedő, részletező leírás az előnyös, mivel a későbbi feldolgozásban és a kőzetanyagok összehasonlításában, tulajdonságaik értelmezésében ez sokat segíthet. Esetenként ugyanis a kőzetek színárnyalata, az erek vagy a nagyobb és jellemző ásványszemek színe alapján következtetni lehet a kőzet szövetére, a kőzetalkotó ásványok nagyságára, elhelyezkedésére, összetételére és arányára is, melyek segítséget adnak a kőzetanyag meghatározásához.

6.1.2. Kőzetalkotó ásványok szemnagysága

A kőzetet felépítő ásványszemek vagy az egyéb alkotórészek szemnagyságának meghatározása esetében elegendő a szemrevételezés alapján (szükséges esetben erős nagyítóval), a mm-es vagy cm-es léptékben történő méretbecslés.

6.1.3. Ásványi összetétel

Az ásványokról a 2.3.2.8. és 2.3.2.9. *alpontok*ban már olvashattunk, általánosan ismertetve azok kristályszerkezetét és csoportosítását. Ezt most azzal egészítjük ki, hogy a különböző magmás, vulkanikus eredetű kőzeteket a kristályos szerkezet, valamint az azt felépítő kőzetalkotó ásványtársulások fajta és arány szerint meghatározott sajátos összetétele jellemzi. Ez alól csak az igen gyorsan kihűlő kiömlési kőzetek képeznek ritka kivételt, mivel ezek üvegszerűen amorf (hialinos) szerkezettel rendelkeznek. Az ásványok igen változatos megjelenésűek és vegyi összetételűek, melynek pontos meghatározása egyszerűbb esetben már a terepen erős nagyítóval (lupe), de rendszerint csak a laboratóriumban lehetséges, fizikai vizsgálattal (pl. ásványmikroszkóp) vagy kémiai vegyelemzéssel.

Említést kell tennünk még azokról az ásványokról is, melyek ugyan nem kőzetalkotók, inkább csak, mint járulékos elegyrészek (összetevők) szerepelnek, de sok

esetben a mérnöki szempontból fontos egyéb tulajdonságok indikátorai. Ilyenek a vastartalmú hematit és limonit, a mangántartalmú manganit, vagy a kéntartalmú pirit és gipsz, illetve a szilikátok. Ezek ugyanis részint az időszakos vízszivárgások vagy források jelenlétére utalnak, vagy az építőanyagokra nézve agresszív hatásúak, illetve a térfogatváltozásra hajlamos talajok kialakulásban van szerepük.

6.1.4. Mész tartalom

Az üledékes kőzetek zöme (pl. mészkő, márvány) szinte teljes egészében, de még a dolomit nagy része is kalciumkarbonátból (CaCO_3) áll. Az üledékes kőzetek kisebbik része is (pl. homokkövek, márgák, agyagok, agyagpalák) tartalmaz kisebb-nagyobb mennyiségű meszet. A mésztartalom (kalciumkarbonát mennyisége) korrekt meghatározása vegyszertani úton, analitikus módszerekkel történik, a **4.5.21. pont**ban leírtak szerint. Mivel azonban a mésztartalom igen tág határok között változhat és annak hatásai geotechnikai, építőmérnöki szempontból általában – néhány speciális esettől eltekintve – nem számottevőek, ezért a gyakorlatban elegendő a mésztartalomnak műszaki becslés jelleggel történő közelítő meghatározása. Erre vonatkozóan általánosan elterjedt a 10 %-os hígítású sósavval történő egyszerű pezsgetési vizsgálat, melynek során a sósavat a talajra rácseppentve és a hatás intenzitását érzékszervi becsléssel meghatározva, a 12. táblázat szerint minősíthetjük a kőzet mésztartalmát.

12. táblázat. Kőzetek mésztartalmának minősítése pezsgetéssel

A 10 %-os hígítású sósav hatása a talajra	A talaj becsült mésztartalma %-ban
nincs pezsgés	0
nincs pezsgés, de sercegés hallható	0 – 1
gyenge pezsgés	1 – 2
közepes pezsgés	2 – 5
erőteljes, rövid pezsgés	5 – 10
erőteljes, tartós pezsgés	>10

6.1.5. Az elváltozások mértéke, a mállottsági fok

A felszín közelében elhelyezkedő kőzettest anyaga az atmoszferiák (vagyis a légköri és meteorológiai hatások, főként a levegő, a víz és a hőmérséklet változásai) hatására fizikai és kémiai mállásnak indul és ennek során különböző elváltozásokat szenved, vagyis mechanikai szilárdsága csökken, anyaga felaprózódik, elszíneződik, szerkezeti szilárdsága csökken és vegyi összetétele is megváltozik. A mállottsági fok pedig jelentősen befolyásolja a kőzet szilárdságát, felhasználhatóságát. Az elváltozások nagysága szerinti besorolást a 13. táblázat [SZEPESHÁZI, 2008], míg a mállottsági fok szerinti osztályozást a 14. táblázat (az MSZ EN ISO 14689–1 13. táblázata) részletezi (mindkettő a következő oldalon).

13. táblázat. Az elváltozások nagyságának minősítése

Besorolás	Leírás
üde, eredeti állapotú	Nincs észlelhető mállás vagy elváltozás.
elszíneződött	Az eredeti üde kőzet színe megváltozott, a mállás jelei egyértelműen észlelhetők. Az eredeti szintől való eltérés mértékét célszerű megadni. Ha a színváltozás csak egyes összetevőkre vonatkozik, akkor azt is jelezni kell.
széteső	A kőzet a mállás során már olyan mértékig aprózódott, hogy a szemcsék nagyrészt már szétestek. A kőzet morzsolható vagy nagyobb darabokra széteső. Az eredeti szövetszerkezet még látható és az ásványszemek is nagyrészt még épek.
elbomlott	Bár az eredeti szövetszerkezet még felismerhető, a kőzet és az ásványszemcsék nagy része is már olyan mértékben elmállott, hogy talajra hasonlít.

14. táblázat. A mállottsági fok minősítése

Fokozat	Jel	Besorolás	Leírás
0	W.I	üde	A kőzetanyag mállásának nincs látható jele, legfeljebb a nagyobb tagoló felületeken látható csekély elszíneződés.
1	W.II	kissé mállott	Jól látható elszíneződés jelzi a kőzetanyag és a tagoló felületek elbomlásának megindulását. Már kisebb szilárdság csökkenés is tapasztalható.
2	W.III	közepesen mállott	A kőzetanyagnak legfeljebb a fele mállott el vagy esett szét. Az üde vagy elszíneződött kőzet még összefüggő vázat vagy magköveket alkot.
3	W.IV	nagyon mállott	A kőzetanyagnak több mint fele elmállott vagy szétesett. Az üde vagy elszíneződött csak összefüggéstelen vázat, vagy magköveket alkot.
4	W.V	teljesen mállott	A teljes kőzetanyag elbomlott és/vagy szétesett, de az eredeti kőzettest-szerkezet még felismerhető.
5	W.VI	reziduális (maradvány) talajjá mállott	Az egész kőzetanyag talajjá változott. A kőzet kőzettest-szerkezete és szövete is elpusztult. A kőzettömeg térfogata nagyon megváltozott, de a belőle képződött talaj még helyben maradt (eluvium).

6.1.6. Környezeti hatásokkal (víz és levegő) szembeni ellenálló képesség

A kőzetanyag környezeti hatásokkal (vízzel és levegővel) szembeni ellenálló képességét a tapasztalati ismeretek alapján határozhatjuk meg úgy, hogy a vízbe vagy szabad levegőre kerülő kőzetanyag változását a tényleges körülmények figyelembe vételével megbecsüljük. Némely kőzet (pl. agyagmárgák, agyagpalák, puha mészkövek, mésszel cementált homokkövek) vízre különösen érzékeny. Előfordulhat

azonban olyan eset is, hogy a kőzet nem a vízben esik szét, hanem a kiszáradást követően. A 15. táblázat foglalja össze a környezeti hatásokkal (vízzel vagy levegővel) érintkező kőzet ellenálló képességének osztályozását, az MSZ EN ISO 14689–1 3. és 4. táblázatainak összevonásával.

15. táblázat. A környezeti hatásokkal szembeni ellenálló képesség besorolása

Fokozat	Besorolás	Leírás
1	ellenálló	Nincs változás.
2	romló	Néhány repedés keletkezik, vagy a minta felülete kissé morzsolódik, hámlik, elszíneződik.
3		Sok repedés keletkezik, kisebb darabok válnak le és a minta felülete erősen morzsolódik, hámlik.
4	széteső	A minta nagy része szétesik, vagy csaknem a teljes felülete aprózódik.
5		Az egész minta szétesik és az összetevőktől függően iszapossá vagy szemcsék halmazává válik.

6.1.7. Fagyállóság

A kőzetek fagyállósága a vízfelvétel és a porozitás növekedésével (s ezzel együtt a térfogatsűrűség és a szilárdság csökkenésével) egyre kedvezőtlenebbé válik. A pórusokba beszívódó vízből ugyanis fagy hatására jég keletkezik, melynek térfogatnövekedéséből eredő feszítőerő a kőzetek anyagát roncsolja. Általában vizsgálat nélkül is fagyállónak tekinthetők azok a kőzetek, amelyek vízfelvétele 0,5 %-nál kisebb. A kőzetek fagyállóságát a 16. táblázat [MOLNÁR, 2006] szerint értékelhetjük.

16. táblázat. A fagyveszélyesség minősítése

Besorolás	Kiállott ciklusok száma
fagyveszélyes	< 15
mérsékelten fagyálló	16 – 25
fagyálló	26 – 35
fokozottan fagyálló	36 – 50
igen fagyálló	> 50

A fagyállósági vizsgálat ciklikusan ismétlődő fagyasztásból és olvasztásból áll. A vizsgálat során a mintadarabot először vízzel telítik, majd 4–6 órán keresztül -20 °C-os fagyasztó térben fagyasztják, ezt követően pedig $+20$ °C-os vízben felolvasztják. A fagyasztásból és olvasztásból álló ciklusok száma 15, 25, 35, 50, különleges követelmények (pl. vízépítési szerkezetek) esetén 100 és 150. A fagyállóságot adott számú fagyasztási ciklusra a tömegveszteség alapján, roncsolásos szilárdságvizsgálattal, vagy roncsolásmentes vizsgálatokkal ítélik meg. Adott számú ciklusra fagyállónak minősül a kőzet, ha:

- a próbatest tömegvesztesége 5 %-nál kisebb,

- a próbatest szilárdsága az azonos méretű és anyagú vízzel telített, nem fagyasztott próbatestéhez képest legfeljebb 25%-kal csökken,
- a roncsolásmentes vizsgálat jelentős minőségváltozásra nem utal.

6.1.8. Kőzetek és talajok fejtési osztálya és lazulása

A sziklamunkák költségeinek és azok elvégzése módjának (a szükséges gépek, felszerelések) meghatározása szempontjából fontos tudni, hogy a munkával érintett talajok és kőzetek milyen fejtési osztályba tartoznak és a fejtés során milyen lazulási %-kal kell számolni.

Ehhez nyújt segítséget a 17. táblázat ([PALOTÁS, 1957] és [MOSONYI-PAPP, 1959] alapján, a szerzők átdolgozásában), amely a talajokra vonatkozó fejtési osztályokat is tartalmazza (a kőzeteket dőlt betűkkel írtuk).

17. táblázat. Kőzetek és talajok fejtési osztályba sorolása

Fejtési osztály	Talaj vagy kőzet leírása	Térfogatsűrűség (t/m ³)	Kohézió (kPa)	Lazulás (%)	Fejtés módja
F-I.	laza homok és kissé iszapos vagy agyagos homok, termőtalaj	0,6 – 1,5	< 25	10	ásóval és lapáttal könnyen
F-II.	laza apró kavics, nedves homok, közepesen tömör és kissé iszapos vagy agyagos homok, nedves lösz, gyökérrel átszótt termőtalaj, tőzeg, vegyes földfeltöltés	1,1 – 2,1	25 – 50	14 – 28	ásóval és lapáttal, kevés csákányozással
F-III.	tömör és kissé iszapos vagy agyagos homok, puha iszap vagy agyag, száraz lösz, laza durva kavics vagy kötörmelék, kő- és téglatörmelékes feltöltés	1,4 – 2,2	50 – 70	24 – 30	lapáttal és csákányozással a csákány lapos végével
F-IV.	kemény vagy köves iszap és agyag, tömör durva kavics és vegyes feltöltés vagy apró kötörmelék, kemény lösz, laza és széteső kőzetmálladék	1,9 – 2,0	70 – 90	33 – 37	lapáttal és csákányozással a csákány hegyes végével, helyenként bontórúddal
F-V.	tömör és cementált homok vagy salak, kemény és palás iszap vagy agyag, tömör és durva kötörmelék vagy görgeteg – <i>kis szilárdságú, erősen repedezett vagy széteső kőzet (kiscelli agyag, puha budai márga, agyagpala, lágy kőszén és lignit, gyengén cementált konglomerátum és breccsa vagy mészkő)</i>	1,3 – 2,2	90 – 1.000	30 – 45	a csákány hegyes végével, bontórúddal, ékkel, fejtőkalapáccsal

Fejtési osztály	Talaj vagy kőzet leírása	Térfogatsűrűség (t/m ³)	Kohézió (kPa)	Lazulás (%)	Fejtés módja
F-VI.	<i>közepes szilárdságú és kevésbé repedezett kőzet (kemény agyagpala és márga vagy tufa és habkő, laza homokkő és mészkő, erősen cementált és kemény konglomerátum és breccsa)</i>	1,1 – 2,7	1.000 – 5.000	30 – 45	éssel, bontórúddal, fejtőkalapáccsal, helyenként robbantással
F-VII.	<i>nagy szilárdságú, tömör kőzet (kemény dolomit, mészkő és márga vagy homokkő, vulkanikus és metamorf kőzetek)</i>	> 2,5	> 5.000	45	csak robbantással

A táblázat összeállítása hosszú évtizedek kivitelezői gyakorlatára támaszkodva empirikus alapon történt, s lényegében a mai napig változatlanul érvényes.

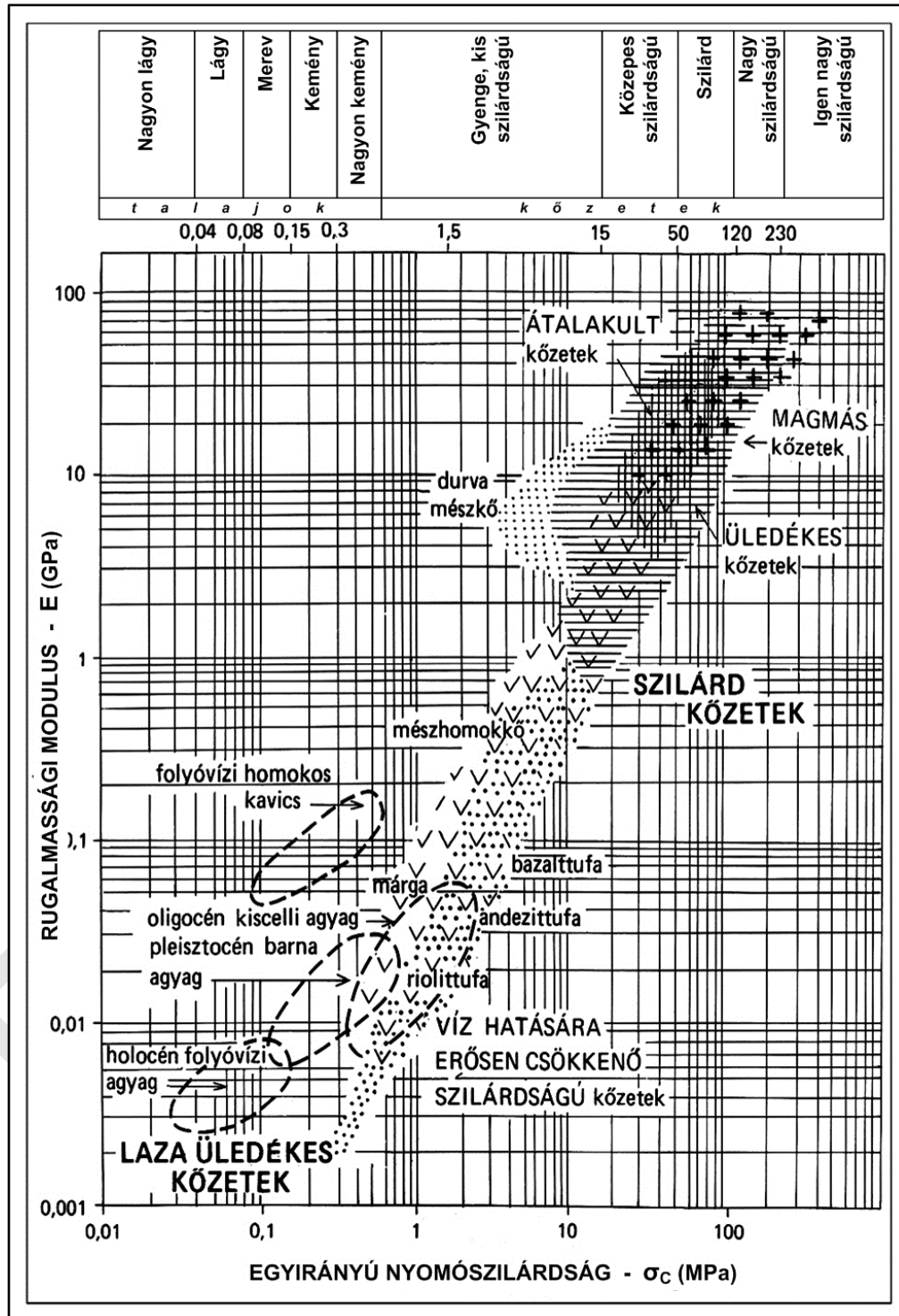
6.1.9. Egyirányú nyomószilárdság

A kőzetek különböző mechanikai igénybevételekkel szembeni ellenállása, szilárdsága a tervezés alapját képező paraméterek egyike. Egyszerű terepi, tapasztalati úton történő egyirányú nyomószilárdság becslésére és kőzet szilárdsági besorolására ad egyszerű tájékoztató lehetőséget az MSZ EN ISO 14689–1 5. táblázata, melyet a 18. táblázatban mutatunk be.

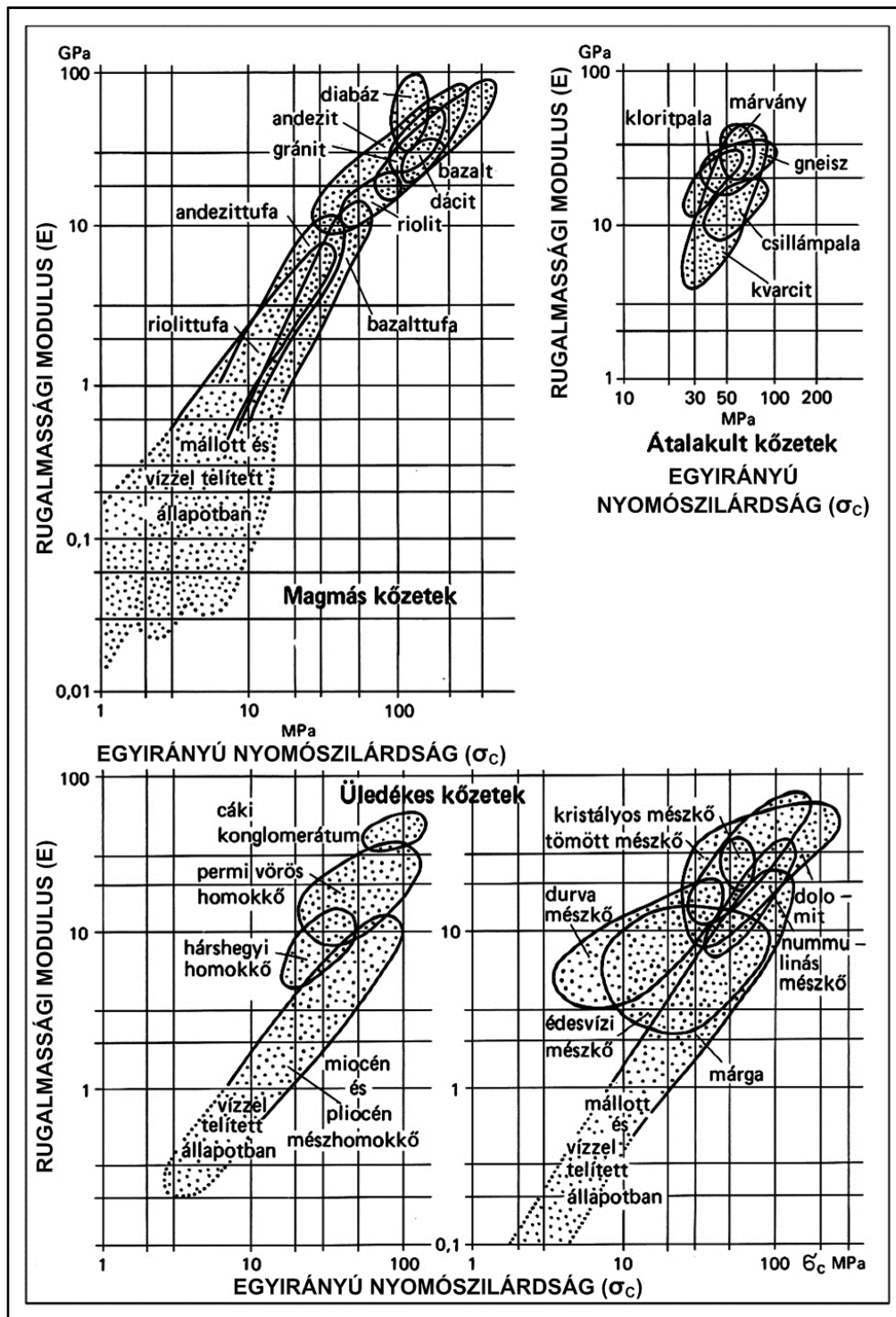
18. táblázat. Az egyirányú nyomószilárdság minősítése és terepi becsléssel történő besorolása

Megnevezés	Terepi azonosítás	Egyirányú nyomószilárdság (MPa)
különösen gyenge*	Körömmel vagy tüvel karcolható.	0,25 – 1
nagyon gyenge	Késsel faragható. Geológus kalapács hegyével ütve aprózható, tompa végével erősen megütve szétporlad.	1 – 5
gyenge	Késsel nehezen faragható. Geológus kalapács hegyével ütve a felszín sebezhető.	5 – 25
mérsékelten szilárd	Késsel nem karcolható, nem faragható, de a geológus kalapács tompa végével erősen megütve egy darab letörhető.	25 – 50
szilárd	A geológus kalapács tompa végével többször erősen megütve egy darab letörhető.	50 – 100
nagyon szilárd	A geológus kalapács tompa végével sokszor és erősen megütve törhető le egy darab.	100 – 250
rendkívül szilárd	A geológus kalapáccsal csak forgácsolható, csak kisebb szilánkok pattinthatók le.	> 250

Megjegyzés. A 18. táblázat *-gal jelölt megnevezéséhez: némely különösen gyenge kőzet (0,6 MPa alatti egyirányú nyomószilárdság esetén) talajként viselkedik, ezeket talajként kell értékelni és osztályozni.



25. ábra. A magyarországi kőzetscsoportok egyirányú nyomószilárdságának és rugalmassági modulusának összefoglaló ábrázolása és minősítése



26. ábra. A fontosabb magyarországi kőzefajták egyirányú nyomószilárdságának és rugalmassági modulusának részletező ábrázolása

A kőzetek különböző mechanikai igénybevételeinek pontos meghatározása laboratóriumi mérésekkel (egyirányú nyomóvizsgálatok) történhet. A magyarországi

kőzeteken eddig elvégzett nagyszámú laboratóriumi nyomóvizsgálat eredményeit különböző statisztikus formában (táblázatokban és grafikonokon) is közreadták. Ezek közül a következőkben azt a két grafikus feldolgozást [FODOR–KLEB, 1986] mutatjuk be, melyekből egyrészt az egyes kőzetcsoportokra vonatkozó összefoglaló jellegű (25. ábra), másrészt az egyes kőzetfajtákra vonatkozó részletező jellegű (26. ábra) eredményeket ismerhetjük meg (a két ábra az előző oldalpáron látható).

6.1.10. Tagoltság és a tagoltságok jellemzői

A kőzettömegeket – részint a keletkezési körülményeik, részint a későbbiekben rájuk ható tektonikus vagy vegyi folyamatok eredményeként – több-kevesebb folytonossági szakadás vagy diszkontinuitás (pl. repedés, rés) tagolja, melyeket tagoló felületeknek vagy tagoltságnak nevezünk. A felszín közelében fekvő, illetve a napvilágra kerülő kőzettestek egyrészt a tagoltságok mentén szivárgó vizek, másrészt a felszíni levegő és csapadék hatására lassan-lassan fizikailag és kémiaiilag is átalakulnak, mállásnak indulnak. A kőzettestek geotechnikai–építésföldtani mérnöki célú alkalmasságát, felhasználhatóságát a kőzettest nagyobb tömegére jellemző általános nyomószilárdsága és az ezzel összefüggő egyéb kőzetfizikai tulajdonságai határozzák meg. A kőzettest általános nyomószilárdsága viszont az ép kőzetanyag tényleges nyomószilárdságának, a kőzettest tagoltságának és a tagoltságokra jellemző tulajdonságok függvénye. Ebből következően tehát egy vizsgált összefüggő kőzettömegre általánosan jellemző kőzetfizikai (pl. térfogatsűrűség, hővezető képesség, nyomó- és húzószilárdság), kémiai (pl. ásványi összetétel) és genetikai (a kőzet eredete, keletkezésének körülményei) tulajdonságokon kívül igen fontos szerepe van a tagoltsági jellemzőknek is. Ebben a pontban ezeket a tulajdonságokat, illetve a kőzettesteknek ezek alapján történő osztályozását tekintjük át.

A tagoló felület vagy tagoltság

Az ép kőzet folytonosságát megszüntető alakzat a *tagoló felület*, a különböző tagoló felületeket összevonatan *tagoltságnak* nevezzük. A tagoltság lehet:

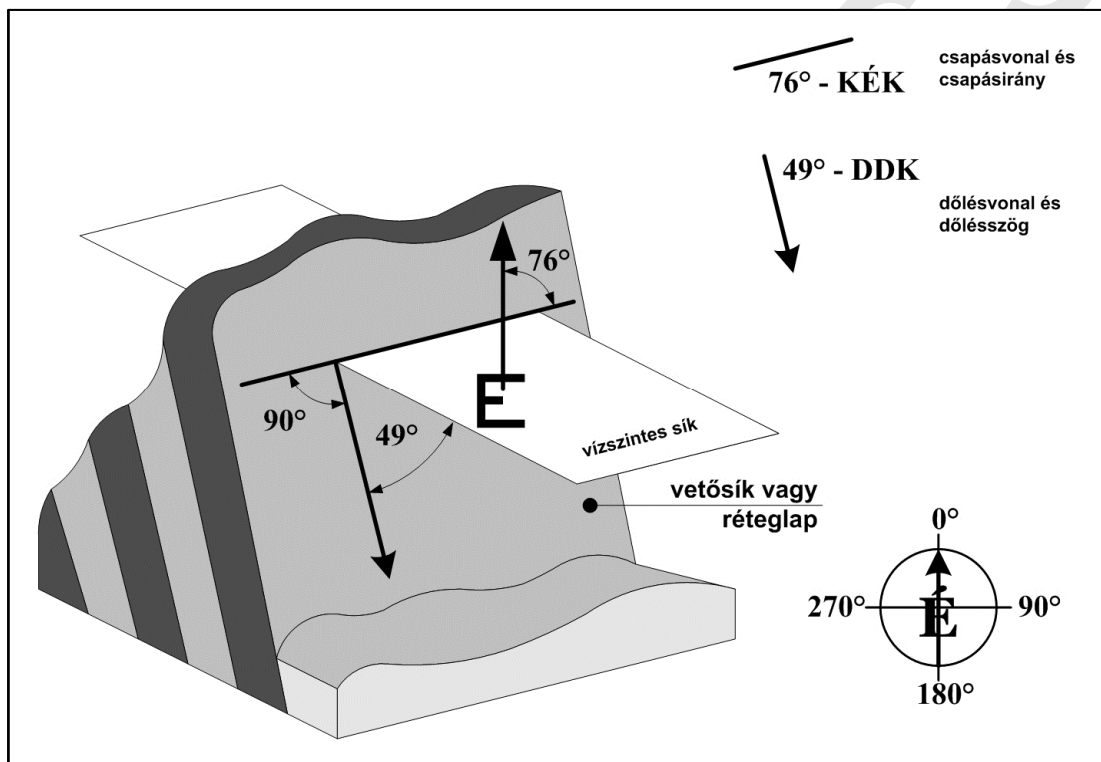
- *réteglap*: a kőzettömeg fizikai jellemzőiben bekövetkező változásokat jelző határfelület, mely általában a keletkezési körülmények és/vagy az anyagi összetétel változását jelzi,
- *repedés (litoklázis)*: a kőzettest deformációja következtében megjelenő törésvonal, melynek törésfelületei még érintkeznek, vagy csak igen kismértékben távolodtak el egymástól, vagyis elmozdulás gyakorlatilag nincs,
- *hasadék vagy rés (diaklázis)*: a törésvonalat alkotó törésfelületek kisebb-nagyobb mértékű eltávolodásával kialakult tagoltság, már jelentős nagyságú elmozdulások lehetségesek,
- *törés*: a törésfelületek igen nagymértékű eltávolodásával (megnyílásával) kialakult tagoltság, igen nagymértékű elmozdulások lehetségesek,
- *vető*: a törésvonal által elválasztott kőzettesteknek, a törésvonal (vetősík) síkjában bekövetkező vízszintes és/vagy függőleges relatív elmozdulásai során kialakult tagoltság.

A tagoltságok megjelenhetnek egyedileg vagy rajokban (a tagoltságok irányonkénti sokasága), csoportokban egyaránt.

A tagoló felület síkjának térbeli helyzete

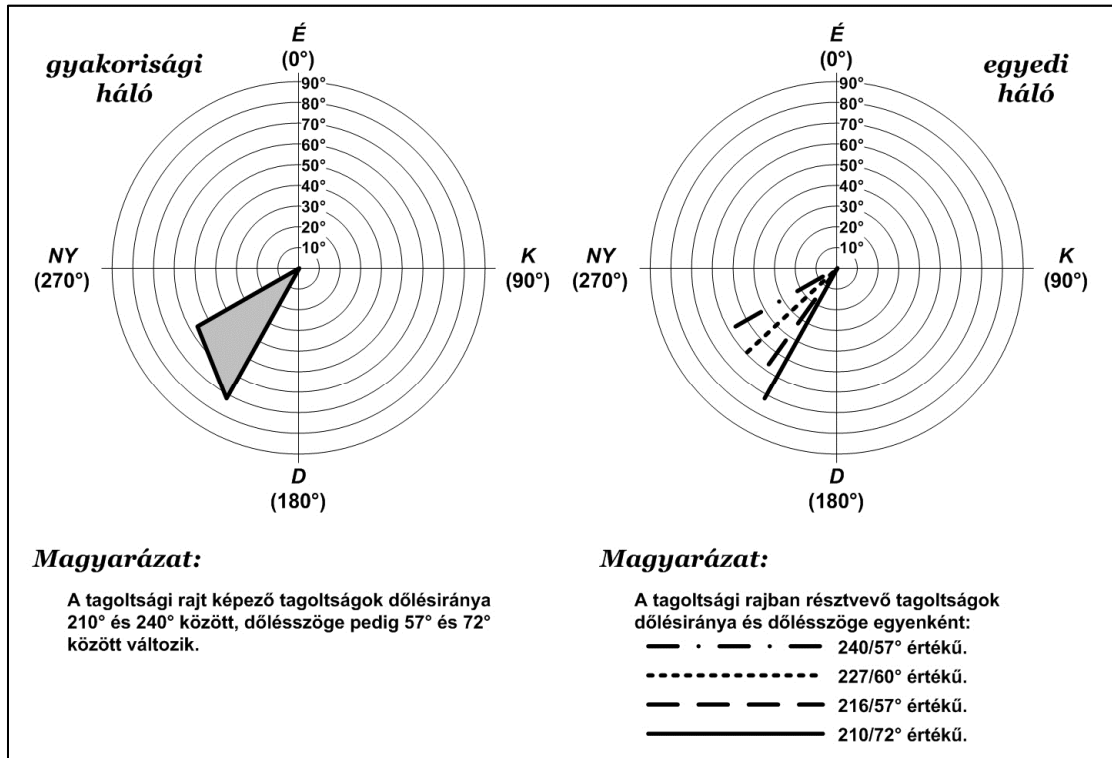
A tagoló felületek síkját a csapásirány/dőlésirány/dőlésszög fokokban megadott értékével határozzák meg. A dőlésszög a tagoltsági sík esésvonalának a vízszintes-sel lefelé bezárt szöge. A dőlésirány az esésvonal vízszintes vetületének az É-i iránnyal bezárt irányszöge. A csapásirány pedig a dőlésirányra merőleges egyenes (vagyis a tagoló felület egy vízszintes „szintvonalának”) É-i iránnyal bezárt irányszöge. Az irányszögeket az É-i irányhoz viszonyított és az óramutató járásával megegyezően bezárt szöggel, esetleg az égtájak megjelölésével adják meg. Mivel a csapás- és a dőlésirány egymásra merőleges, ezért elegendő a dőlésirány/dőlésszög megadása.

Ennek megfelelően a 27. ábrán (készítették a szerzők) bemutatott helyzet szerint a $76/49^\circ$ vagy KÉK/ 49° és a $76/256^\circ-49^\circ$ vagy KÉK/DDK 49° értékek egyaránt azt jelentik, hogy a csapásvonal KÉK–NyDNy, azaz $76^\circ-256^\circ$ irányú, a dőlésirány DDK felé mutat, a dőlésszög pedig a vízszintessel lefelé 49° -ot zár be.



27. ábra. A csapás/dőlés értelmezése tagoltsági síkok, vetősíkok, kőzetlapok esetében

A kőzetestre jellemző tagoltságok térbeli helyzetét dőlésrőzsában szokás ábrázolni. Az ábrázolás történhet tagolásonként külön-külön egyedi hálóval vagy a tagolási rajokat összegezve gyakorisági hálóval. Ezeket az ábrázolási lehetőségeket [GÁLOS–VÁSÁRHELYI, 2006] alapján (a szerzők újraszerkesztésében) a 28. ábra mutatja be.



28. ábra. A tagoltságok térbeli helyzetének (csapás/dőlés) ábrázolása dőlésrózsával

A tagoltságköz

A tagoltságköz a tagoltsági raj közepes (vagy másképpen: modális) sűrűségét mutatja, a szomszédos tagoló felületek távolságával jellemezve. Jelentheti a függőleges kiterjedésű rétegvastagságot vagy a tagoló felületek vízszintes távolságát és a tagoló felületek, valamint a rétegvastagságok által meghatározott 3D kiterjedésű köztömbök méreteit is. A tagoltságköz 2D és 3D irányok szerinti osztályozását az MSZ EN ISO 14689–1 8. táblázata ismerteti, melyet a 19. táblázatban mutatunk be.

19. táblázat. A tagoltságköz 2D (vízszintes és függőleges) és 3D (térbeli) szerinti osztályozása

Rétegvastagság (függőleges tagoltság)		Tagoltságok távolsága (vízszintes tagoltság)		Köztömbök mérete (térbeli tagoltság)	
besorolás	tagoltságköz (mm)	besorolás	tagoltságköz (mm)	besorolás	átlagos élméret (mm)
nagyon vastag (tömeges)	> 2.000	nagyon ritka	> 2.000	nagyon nagy	> 2.000
vastag (vastag pados)	600 – 2.000	ritka	600 – 2.000	nagy	600 – 2.000
közepesen vastag (pados)	200 – 600	közepes	200 – 600	közepes	200 – 600

Rétegvastagság (függőleges tagoltság)		Tagoltságok távolsága (vízszintes tagoltság)		Kőzettömbök mérete (térbeli tagoltság)	
besorolás	tagoltsághöz (mm)	besorolás	tagoltsághöz (mm)	besorolás	átlagos élméret (mm)
vékony (vékony pados)	60 – 200	sűrű	60 – 200	kicsi	60 – 200
nagyon vékony (réteges)	20 – 60	nagyon sűrű	20 – 60	nagyon kicsi	< 60
vastag lemezes (lemezes)	6 – 20	rendkívül sűrű	< 20		
vékony lemezes (leveles)	< 6				

A tagoló felület folytonossága

A tagoltság folytonosságát annak méterben megadott hosszúsága jellemzi, elejétől a végéig vagy a haránttörések közötti távolsággal. A tagoltság nagyság (tágasság) és folytonosság (hosszúság) szerinti besorolását az MSZ EN ISO 14689–1 alapján a 20. táblázat foglalja össze.

20. táblázat. A tagoltságok tágasság és hosszúság szerinti besorolása

Besorolás	Jellemző méret	
	tágasság	hosszúság
repedés	mm	m
hasadék	cm	m – száz m
törés	cm – m	száz m – km

A tagoló felület felszínének jellemzői

A tagoló felület felszíne egyenetlenségeinek geometriája a kialakulás és az igénybevételi erők jellege szerint változhat. A tagoló felületek felszínének jellemzőit, vagyis a felületi eltérések mérettartományát tekintve az MSZ EN ISO 14689–1 által megadott osztályozást alkalmazhatjuk, melyet a 21. táblázatban közlünk.

21. táblázat. A tagoló felület felszíni jellemzők szerinti minősítése

Mérettartomány	Felületi jellemző
mm	érdes vagy sima
cm	sík, fogazott vagy redős
m	hullámos, görbült vagy egyenes

A tagoltság alakja, egyenletessége

A tagoló felület alakja és egyenletessége alapján történő osztályozást az MSZ EN ISO 14689–1 ismerteti, a 22. táblázat szerint.

22. táblázat. A tagoló felület alakja és egyenletessége szerinti besorolása

Fokozat	A tagoló felület	
	alakja	egyenletessége
I.	lépcsős	durva, fogazott, redős
II.		érdes
III.		síma
IV.	hullámos	durva, fogazott, redős
V.		érdes
VI.		síma
VII.	sík	durva, fogazott, redős
VIII.		érdes
IX.		síma

A tagoltsági rés kitöltő anyaga

A tagoltsági rés néha szabad, de általában valamilyen anyaggal kitöltött. A kitöltő anyagot jelezni kell, esetleg annak egyéb fizikai vagy kémiai tulajdonságaival együtt, ugyanis a vizsgált közettömeg általános tulajdonságait (főként szilárdságát) ez a körülmény is jelentősen befolyásolhatja. A kitöltő anyag igen sokféle lehet: növényzet (jellemzően gyökerek), kőzetmálladék (pl. kötörmelék), talaj (pl. homok, iszap, agyag) vagy a szivárgó vizekből, hidrotermális oldatokból kivált ásványok.

A tagoltsági rés tágassága

A tagoltságok egyik alapvetően fontos jellemzője annak tágassága. Az ennek megfelelő besorolást az MSZ EN ISO 14689–1 11. táblázata alapján, a 23. táblázat szerint lehet elvégezni.

23. táblázat. A tagoltság tágasság szerinti minősítése

Besorolás	Tágasság (mm)
nagyon szoros (zárt)	< 0,1
szoros (nagyon közeli)	0,1 – 0,25
részben nyílt (közeli)	0,25 – 0,5
nyílt (kissé nyitott)	0,5 – 2,5
mérsékelt széles (nyitott)	2,5 – 10
széles (szélesen megnyílt)	10 – 100
nagyon széles	100 – 1.000
rendkívül széles	> 1.000

A tagoló felületek mentén tapasztalható vízszivárgás jellege és nagysága (vízhozama)

A kőzetek eredeti anyaga néhány kőzet kivételével (pl. homokkő, vulkáni tufák) többé-kevésbé vízzáró tulajdonságúak. A tagoló felületek mentén tapasztalható esetleges vízszivárgások észlelése és leírása tehát azért szükséges, mert a víz jelenléte nem csak leronthatja a kőzet szilárdságát, de a talajvízhez hasonlóan a mérnöki szerkezetek méretezését és építését is befolyásolja. Rögzíteni kell tehát a nedvesedés vagy vizesedés jellegét (pl. nyírkos, enyhén nedves, vizes, vízgyöngyözés, vízszivárgás, csurgás, folyás) és az MSZ EN ISO 14689–1 12. táblázata alapján készített 24. táblázatban megadott besorolás szerint jelezni kell a vízhozam nagyságát is.

24. táblázat. A tagoló felület mentén megjelenő víz mennyiségének besorolása

Besorolás	A szivárgás vízhozama (l/sec)
nincs (száraz)	0
jelentéktelen	0 – 0,05
csekély	0,05 – 0,5
közepes	0,5 – 5
jelentős	> 5

6.1.11. Szerkezetesség és rétegzettség

A kőzetanyag szerkezetességét a megnyitott kőzetfelületen jól látható külső jegek – az összefüggő vagy homogénnek tekinthető kőzettömegek megjelenése, geometriai sajátosságai – alapján lehet megítélni. A különböző eredetű kőzettömegek látható megjelenése, vagyis szerkezetesség és rétegzettség alapján történő osztályozását az MSZ EN ISO 14689-1 6. táblázata tartalmazza, melyet a 25. táblázatban mutatunk be.

25. táblázat. A kőzetek szerkezetességének, rétegzettségének osztályozása

Üledékes kőzetek	Metamorf kőzetek	Magmás kőzetek
réteges	hasadozott	tömeges
betelepüléses	leveles	folyásos
lemezes	palás	gyúrt
leveles	szalagos	fonatos
tömeges	fonalas	párnás
átmenetes	gneisz-szerű	oszlopos
tömbös	gyúrt	
gyúrt		

6.1.12. Kőzettestek osztályozása az általános szilárdsági, kőzetmechanikai tulajdonságok alapján

A kőzettestek geotechnikai–építőmérnöki szempontú osztályozását az 1960-as és 70-es években dolgozták ki abból a célból, hogy a különböző méretezési számításokhoz szükséges szilárdsági (kohézió és belső súrlódási szög), alakváltozási (rugalmassági modulus) és teherbírási jellemzők (nyomó-, húzó- és nyírószilárdság) meghatározhatóak legyenek. Ebben a pontban vázlatosan ismertetjük a legáltalánosabb ilyen szempontú kőzetosztályozási, kőzetbesorolási eljárásokat [GÁLOS–VÁSÁRHELYI, 2006] alapján.

RQD – kőzetminőségi besorolás

A kőzetek osztályozására D. U. Deere 1964-ben az *RQD* (*Rock Quality Designation*) értéket vezette be, s ez képezi alapját a később kidolgozott korszerűbb kőzetosztályozási módszereknek is. Az *RQD* (%) érték azt mutatja meg, hogy a vizsgált teljes fúrómag hosszának hány %-át adja a 10 cm-nél hosszabb magdarabok összegzett hosszúsága. A vizsgált maghosszúság nem lehet kisebb 1 méternél. Ennek alapján a kőzettest minősítését a 26. táblázat szerint végezhetjük el.

26. táblázat. Kőzettestek minősítése az *RQD* érték alapján

Besorolás	<i>RQD</i> (%)	Kőzettest kőzetmechanikai minősítése
nagyon gyenge	< 25	talajként kezelendő
gyenge	25 – 50	nagyon töredezett
megfelelő	50 – 75	töredezett
jó	75 – 90	kissé töredezett
kiváló	90 – 100	ép

RMR – kőzettömeg osztályozás

A korszerűbb kőzetosztályozás alapjait Z. T. Bieniawski 1973-ban rakta le, az *RMR* (*Rock Mass Rating*) módszer kidolgozásával. Míg a korábbi *RQD* érték meghatározása csak a fúrómag töredezettsége (darabossága) alapján történt, addig az *RMR* érték számításánál a kőzettest egyéb tulajdonságait összegezve veszik figyelembe. Ezek a tulajdonságok:

- a kőzet egyirányú nyomószilárdsága (r_{σ}),
- *RQD* tényező (r_{RQD}),
- a tagoltságok távolsága („sűrűsége”) (r_x),
- a tagoltságok állapota (r_a),
- réteg- és talajvizek (r_G),
- a tagoltságok iránya (r_d).

A kőzettömeget az említett szempontok szerint külön-külön pontozzák, majd a kapott pontértékeket összedva kapják az *RMR* értéket, mely alapján a kőzettesteket a 27. táblázat szerint ([BIENIAWSKI, 1989] és [WYLLIE, 1992] alapján) osztályozzák. Az *RMR* értékből közvetlenül számolhatók az egész kőzettömegre jellemző kohézió, súrlódási szög és a rugalmassági modulus értékei, melyek alapján a további te-







herbírási és állékonysági számítások már a geotechnikában használatos eljárásokkal elvégezhetők.

27. táblázat. Kőzettestek minősítése az RMR érték alapján

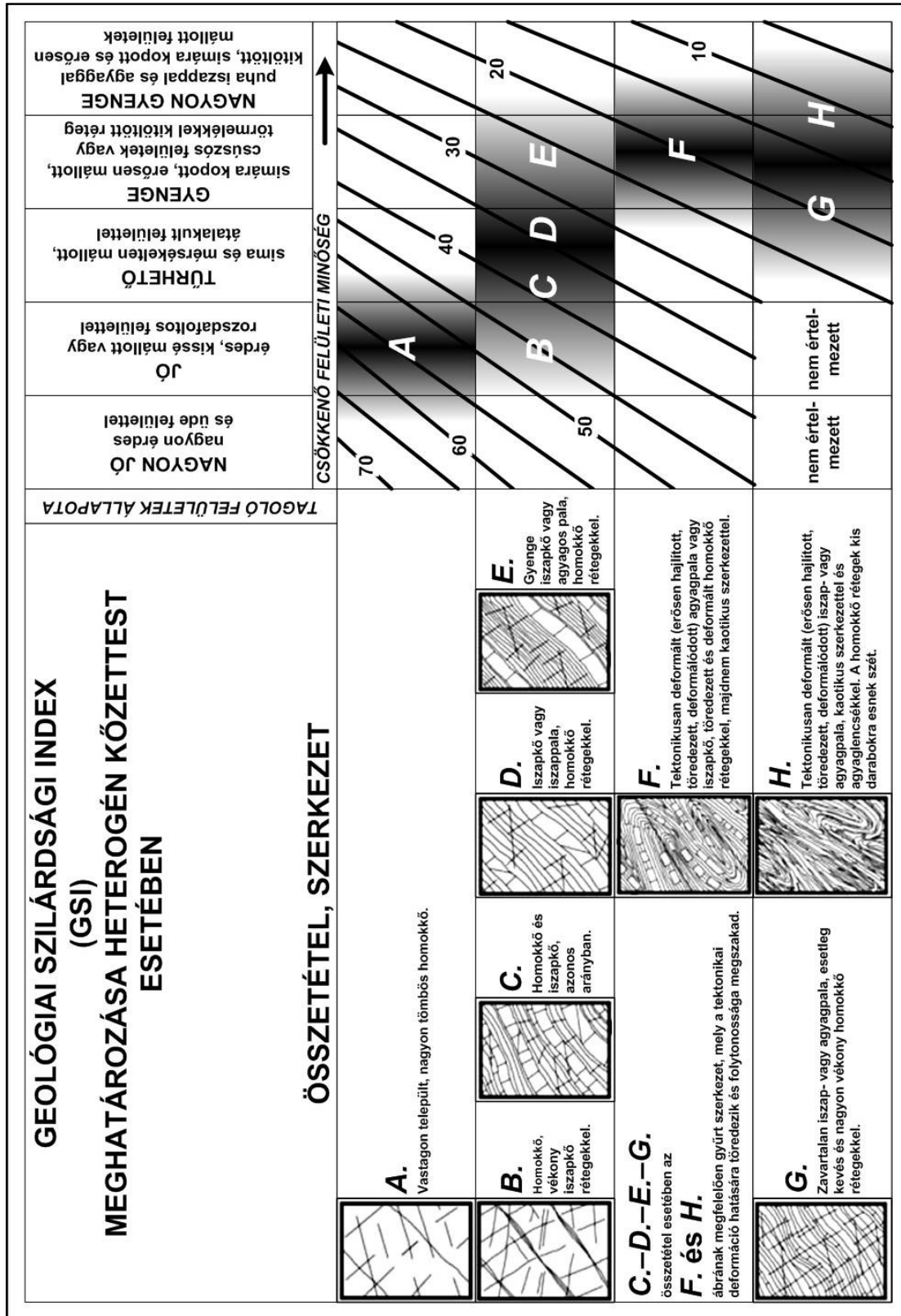
RMR érték	Osztály	Besorolás	Alapok alatti határteherbírás (kPa)	Kohézió (kPa)	Súrlódási szög (fok)
81–100	I	nagyon jó	4.400 – 6.000	> 400	> 45
61–80	II	jó	2.800 – 4.400	300 – 400	35 – 45
41–60	III	megfelelő	1.350 – 2.800	200 – 300	25 – 35
21–40	IV	gyenge	450 – 1.350	100 – 200	15 – 25
< 20	V	nagyon gyenge	300 – 450	< 100	< 15

GSI – geológiai szilárdsági index

A rossz minőségű kőzetek osztályozását is lehetővé tevő *GSI (Geological Strength Index)* osztályozási rendszert Hoek dolgozta ki 1994-ben. Ez a módszer a kőzettest szerkezetét és a tagoló felületek állapotát minősítő mátrix alapján adja meg a GSI értéket, melynek felhasználásával meghatározhatók a kőzet szilárdsági és alakváltozási paraméterei, ezek alapján pedig a további teherbírási és állékonysági számítások már a geotechnikában használatos eljárásokkal elvégezhetők. A következőkben azokat a grafikonokat mutatjuk be [GÁLOS–VÁSÁRHELYI, 2006], melyeken a geológiai szilárdsági index (GSI) meghatározását láthatjuk a homogén összetételű (29. ábra) és a heterogén összetételű (30. ábra) kőzetek esetében (lásd a következő oldalakon).

GEOLÓGIAI SZILÁRDSÁGI INDEX (GSI) MEGHATÁROZÁSA		TAGOLÓ FELÜLETEK ÁLLAPOTA				
		NAGYON JÓ nagyon érdes és üde felülettel	JÓ érdes, kissé mállott vagy rozsdafoltos felülettel	TÜRHETŐ sima és mérsékelten mállott, átalakult felülettel	GYENGE simára kopott, erősen mállott felületek vagy törmelékkel kitöltött réteg	NAGYON GYENGE puha iszappal és agyaggal kitöltött, simára kopott és erősen mállott felületek
SZERKEZET		CSÖKKENŐ FELÜLETI MINŐSÉG →				
	ÉP VAGY TÖMÖR ép vagy tömör kőzettest, néhány ritkán elhelyezkedő tagoltsággal	90	80		nem értelmezett	nem értelmezett
	BLOKKOS nagyon jól összekapcsolódó, ép kőzettest, mely kocka-tömböket tartalmaz, melyeket három tengelyirányú tagoltság szabdal	70	60			
	NAGYON BLOKKOS összekapcsolódó, részlegesen töredezett kőzettest, melyet négy vagy annál több tagoltság szabdal	50	40			
	TÖREDEZETT-REPEDEZETT szögletes kőtömbökből álló kőzettest, melyet számos egymást keresztező tagoltság szabdal (folytonos vagy palás rétegződés)	30	20			
	SZÉTESŐ rosszul összekapcsolódó, erősen töredezett kőzettest, mely érdes és kopott törmelékből áll					
	RÉTEGZETT-NYÍRT blokkosság teljes hiánya a sűrű, töredezett, palás rétegződés vagy a sűrű nyírási felületek miatt					10
		A KŐZETTÖMBÖK KAPCSOLATÁNAK CSÖKKENÉSE ↓				
		nem értelmezett	nem értelmezett			

29. ábra. A geológiai szilárdsági index meghatározása homogén összetételű kőzetek esetében



30. ábra. A geológiai szilárdsági index meghatározása heterogén összetételű kőzetek esetében

6.2. A kőzetek mérnökgeológiai osztályozása

A kőzetek mérnökgeológiai szempontú osztályozását az MSZ EN ISO 14689-1 ismerteti, ennek a szerzők által kissé átdolgozott változatát a 31. ábra mutatja be.

KELETKEZÉSI CSOPORT	MAGMÁS - VULKANIKUS			ÜLEDÉKES			METAMORF								
	Mélyiségi magmás és vulkanikus kiömlési	Tömeges	Vulkanikus piroklasztikus	Törmelékes	Réteges	Vegy-, szerves	Lemezes	Tömeges							
SZERKEZET	Kvarc, földpátok, csillámok, színes ásványok	Földpátok és színes ásványok	Színes ásványok	Legáltalább az 50 %-a magmás kőzetből származik	Kőzet-törmelék, kvarc, földpátok, agyagásványok	Sók, karbonátok, szilikátok, szének	Kvarc, földpátok, csillámok, színes ásványok	Kvarc, földpátok, csillámok, színes ásványok, karbonátok							
									savanyú	semleges	bázikus	ultrabázikus			
ÖSSZETÉTEL, JELLEMZŐK	na-gyon durva szem-csésű	PEGMATIT	PIROXENIT	VULKANIKUS AGGLOMERÁTUM ÉS BRECCSA	a szemcsék anyaga kőzet: ÜLEDÉKES KONGLOMERÁTUM ÉS BRECCSA	KALCIRUDIT	KALKARÉNIT	TEKTONIKUS BRECCSA							
									GRÁNIT	DIORIT	DOLERIT	SZARUKÓ, MÁRVÁNY, GRANULIT	MIGMATIT, GNEJSZ	SISZT	KVARCIT
									0,063-2	közé-pes szem-csésű	homokos TUFA	homokos	durva szemcsésű	a szemcsék anyaga ásványi törmelék: HOMOKKÓ	KALKARÉNIT
0,002-0,063	finom szem-csésű	PERIDOTIT	iszapos TUFA	iszapos	ISZAPPALA (iszapító)	LÖSZ	MÁRGA	MÉSZKÓ	MÉSZKÓ, DOLOMIT	FILLIT, AGYAGPALA	(-)				
< 0,002	na-gyon finom szem-csésű	VULKÁNIAI ÜVEG	agyagos TUFA	agyagos	AGYAGPALA (agyagkő)	AGYAGPALA (agyagkő)	KALCISZILIT KRÉTA	KALCILIT	szilikát kőzetek: CSERT, FLINT	MILONIT	(-)				
ÜVEGES, AMORF					(-)				szén kőzetek: TŐZEG, LIGNIT, SZEN		(-)				

31. ábra. Mérnökgeológiai kőzetosztályozási táblázat

6.3. Legelterjedtebb hazai kőzeteink tulajdonságai és terepi felismerése

A kőzetek földtani szempontból történő osztályozásáról az **5.3. paragrafusban** már szót ejtettünk. Most hazánk felszíni és felszínhez közeli részein leggyakrabban előforduló kőzeteinek terepi felismerését segítő rövid, vázlatos leírását, valamint legfontosabb általános kőzetfizikai jellemzőinek tájékoztató jellegű, táblázatos összefoglalását ismertetjük. A kőzetek helyes és azonnali terepi azonosítása összetett feladat, sok esetben még a laboratóriumi (mikroszkópos és vegyi) vizsgálatokra is szükség van. A továbbiakban az egyes kőzetek ismertetésénél megadjuk a fontosabb kőzetfizikai jellemzőket, vagyis a térfogatsűrűség (ρ_n), a vízfelvétel (w), a nyomószilárdság (σ_c), a húzószilárdság (σ_T), a rugalmassági modulus (E), a Poisson-szám (m), az építőmérnöki (alapozási, üregnyitási) alkalmasság és a fagyállóság tájékoztató adatait is.

6.3.1. Mélységi magmás (magmatitok) és vulkanikus kőzetek (vulkanitok)

A mélységi magmás kőzetek és ezek vulkanikus kiömlési kőzetváltozatai általánosan alacsony porozitású, tömött, kemény, nagy szilárdságú és időálló kőzetek, ugyanakkor a piroklasztitok az előbbiekhöz képest jóval magasabb porozitású, lazább, alacsonyabb szilárdságú és nem időálló kőzetek. Ezeket a tulajdonságokat tehát a kőzetek következő alpontokban ismertetett leírásánál külön nem említjük.

6.3.1.1. Mélységi magmás és szubvulkanikus kőzetek

Gránit

Eredete, tulajdonságai: Keletkezhet közvetlenül a magma megszilárdulása során, de egyes üledékes kőzetek beolvadásának és újra szilárdulásának eredményeként is. A leggyakoribb, legnagyobb elterjedésű és a legkeményebb mélységi magmás kőzet.

Szöveve, szerkezete: Nagykristályos, durvaszemcsés szövetű. A különböző anyagú ásvány szemcsék általában egyenletes eloszlásban vannak jelen, de gyakran az azonos anyagú ásvány szemek sávokba, zsinórokba rendeződnek. Az ásvány szemcsék mérete szerint lehet durvaszemű-, középszemű- vagy aprószemű-gránit (mikrogránit). A szemcsék mérete a magma kihülésének sebességétől függ, minél lassabban hűl ki, annál nagyobbak a kristályok. Azt a változatát, amelyben az aprószemű szövetben elszórtan nagy szemcsék fordulnak elő, porfirnak (gránitporfir) nevezzük. A porfiros szövetű gránitban időnként szélsőségesen nagy, durvakristályos, ún. pegmatitos lencsétet vagy fészkeket is találhatunk. Ezekben az egyes kristályok (főként a földpátkristályok, pl. az ortoklász) akár több méteresre is megnőhetnek. Az egészen finomszemű, kis mélységben megszilárdult változata a gránitaplit.

Színe: Szürkétől a feketéig és a sárga, rózsaszín, vörös árnyalatai.

Felhasználása: Építő- és díszítőkö.

Előfordulási helye: Mecsek, Velencei-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,50\text{--}2,97 \text{ t/m}^3$, $w = 0,2\text{--}1,6 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 80\text{--}250 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 3\text{--}8 \text{ MPa}$, $E = 30\text{--}70 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}8$, építőmérnöki alkalmasság: kedvező, fagyálló.

Diorit

Eredete, tulajdonságai: A gránittal rokon összetételű, ahhoz hasonló keménységű mélységi magmás kőzet.

Szövege, szerkezete: A nagy nyomáson és lassan kihűlő anyaga változatos szövetű, a mikroszemcsés vagy a durvakristályos szerkezet mellett a palás jellegű finom rétegzettség is megjelenhet. Nagy szilárdságú, időálló kőzet.

Színe: Sötétszürke, zöldes vagy vöröses árnyalattal, illetve zöldes-szürke vagy feketés-zöld.

Felhasználása: Építő- és díszítőkö.

Előfordulási helye: Mecsek, Bükk.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,75\text{--}3,17 \text{ t/m}^3$, $w = \text{n.a.}$, $\sigma_c = 160\text{--}340 \text{ MPa}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = \text{n.a.}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: kedvező, fagyálló.

Granodiorit

Eredete, tulajdonságai: Kemény, a gránit és a diorit közötti átmenetet képező mélységi magmás kőzet.

Szövege, szerkezete: Jellemzően durva és közepes szemcséjű, esetenként porfíros, holokristályos szövetű, a gránitnál valamivel kisebb kristályszemcsékkel.

Színe: Uralkodóan világosszürke, az ásványos összetétel függvényében kékes, zöldes, sárgás, vöröses árnyalattal.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö.

Előfordulási helye: Csak a Velencei-hegységben található meg, kis mennyiségben.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,64\text{--}2,70 \text{ t/m}^3$, $w = \text{n.a.}$, $\sigma_c = \text{n.a.}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = \text{n.a.}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: kedvező, fagyálló.

Szienit

Eredete, tulajdonságai: A gránittal és a diorittal rokon, viszonylag ritkán és általában a gránittal együtt előforduló mélységi magmás kőzet.

Szövege, szerkezete: Nagykristályos, durvaszemcsés szövetű, de van finomszemcsés változata is. Tömeges kifejlődésű.

Színe: Világosszürke, szürkés-vörös, rózsaszín, barnászöld.

Felhasználása: Építő- és díszítőkö.

Előfordulási helye: Mecsek.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,46\text{--}2,90 \text{ t/m}^3$, $w = \text{n.a.}$, $\sigma_c = 80\text{--}200 \text{ MPa}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = \text{n.a.}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: kedvező, fagyálló.

Gabbró

Eredete, tulajdonságai: Mélységi magmás kőzet.

Szövege, szerkezete: Tömött, durvaszemcsés, nagykristályos. Tömeges megjelenésű.

Színe: Világos- vagy sötétszürke, fekete, enyhe zöldes árnyalattal, sokszor sötétzöld.

Felhasználása: Építő- és díszítőkö.

Előfordulási helye: Mátra, Bükk.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,70\text{--}3,30 \text{ t/m}^3$, $w = 1,2\text{--}3,0 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 150\text{--}350 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 5\text{--}8 \text{ MPa}$, $E = 60\text{--}100 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}8$, építőmérnöki alkalmasság: kedvező, fagyálló.

6.3.1.2. Vulkanikus kiömlési kőzetek

Riolit

Eredete, tulajdonságai: A gránitos magma sűrűn folyó, magas kvarctartalmú, kiömlési változata.

Szövege, szerkezete: Szerkezete általában porfiros, de a gyors lehűlés miatt sokszor sávós vagy üveges jellegű (szinte kristályok nélküli). Előfordulhat mikrokristályos változatban is. Ismertebb kőzetváltozatai az *obszidián* (kagylós törésű, természetes üveg), a *horzsakő* (a belőle hirtelen eltávozott gázok, gőzök miatt nagyon könnyű, likacsos szerkezetű) és a *perlit* (a tárolt víztartalom hirtelen gőzzé alakulása miatt az obszidián könnyűvé vált, felfújódott változata).

Színe: Jellemzően fehér vagy világosszürke, ritkán vörös, néha sárga, lila, rózsaszín.

Felhasználása: Építőkö.

Előfordulási helye: Mecsek, Mátra, Bükk, Tokaji-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,15\text{--}2,93 \text{ t/m}^3$, $w = 1,6\text{--}6,9 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 60\text{--}250 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 5\text{--}9 \text{ MPa}$, $E = 10\text{--}20 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}10$, építőmérnöki alkalmasság: kedvező, fagyálló.

Andezit

Eredete, tulajdonságai: Az andezit viszonylag sűrűn folyó, vulkanikus kőzet, a diorit kiömlési változata.

Szövege, szerkezete: Szövege általában aprószemcsés, mikrokristályos, porfiros, de a bazaltnál lassúbb lehűlése miatt annál kissé nagyobb ásványszemeket is tartalmaz. Tömeges, vastagpados megjelenésű.

Színe: Általában barnás-szürke, zöldes-szürke, sötétszürke vagy fekete, esetenként vörösbarna.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö.

Előfordulási helye: Mecsek, Börzsöny, Cserhát, Mátra, Bükk, Velencei-, Tokaji- és Visegrádi-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,30\text{--}3,10 \text{ t/m}^3$, $w = 0,2\text{--}9,3 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 50\text{--}360 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 5\text{--}11 \text{ MPa}$, $E = 12\text{--}35 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}9$, építőmérnöki alkalmasság: átlagos, fagyállósága változó.

Dácit

Eredete, tulajdonságai: A granodioritos összetételű magma nagy kvarctelítettség miatt sűrűn folyó, viszkózus, kiömlési változata. Nagy sűrűsége miatt néha a felszín alatt megreked (szubvulkanit), ez esetben láva-dóm (cipószerű, íves felszínű láva-tömeg) jöhet létre.

Szövege, szerkezete: A kőzetszerkezet porfiros, apró- vagy mikrokristályos, tömött szövetű. Pados megjelenésű, jól hasadó.

Színe: Világos szürke, sárgás, vöröses vagy zöldes árnyalattal.

Felhasználása: Építőkö.

Előfordulási helye: Börzsöny, Visegrádi- és Tokaji-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,50\text{--}2,75 \text{ t/m}^3$, $w = 0,8\text{--}3,6 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 70\text{--}320 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 3\text{--}8 \text{ MPa}$, $E = 8\text{--}18 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}11$, építőmérnöki alkalmasság: átlagos, fagyállósága változó.

Fonolit

Eredete, tulajdonságai: A szienit viszkózus, sűrűn folyó kiömlési változata.

Szövege, szerkezete: Aprókristályos, porfiros szövetű, tömör szerkezetű. Lemezes, pados, de lassabban kihülő, vastagabb tömegeiben a bazalthoz hasonlóan oszlopos megjelenésű is lehet.

Színe: Világosszürke, szürkészöld.

Felhasználása: Díszítőkö és műtrágyagyártás.

Előfordulási helye: Mecsek.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,54\text{--}3,07 \text{ t/m}^3$, $w = 0,2\text{--}0,5 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 150\text{--}250 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 6\text{--}11 \text{ MPa}$, $E = 10\text{--}25 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}9$, építőmérnöki alkalmasság: átlagos, fagyállósága változó.

Bazalt

Eredete, tulajdonságai: A gabbró kiömlési változata, mely az egyik leggyakoribb, hígán folyó vulkanikus kőzet. Az óceánfenék fő alkotókőzete, de a kontinenseken is nagyon elterjedt. Folyékonyága miatt nagy felületen szétterülő, hatalmas lávatarakokat alkothat. A nagy kiterjedésű, vastag, homogén összetételű, egyenletesen hűlő lávában (ideális körülmények közt) a nagyjából függőleges repedések közel szabályos, főként hat-, illetve ötszögletű poligon hasábokból álló oszlopokat („bazaltorgona”) hozhatnak létre.

Szövege, szerkezete: Gyors lehűlése miatt porfiros, finomszemcsés kőzet, mely sok aprószemcsés kristályt és köztük némi kőzetüveget is tartalmaz. A kristályok többsége annyira kicsi, hogy még nagyítóval is nehéz meghatározni őket.

Színe: A középszürkétől a feketéig a szürke minden árnyalatban előfordul.

Felhasználása: Építőkö.

Előfordulási helye: Kemenesalja, Bakony, Balaton-felvidék, Mátra, Nógrádi-menedence.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,40\text{--}3,30 \text{ t/m}^3$, $w = 0,1\text{--}1,9 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 70\text{--}450 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 6\text{--}12 \text{ MPa}$, $E = 20\text{--}100 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}7$, építőmérnöki alkalmasság: kedvező, fagyálló.

Diabáz

Eredete, tulajdonságai: Kismélységű magmás (szubvulkanit), illetve kiömlési kőzet, mely a bazalt egyik kőzetváltozata.

Szövege, szerkezete: Tömött, mikrokristályos, finomszemcsés szerkezetű. Pados, oszlopos, gömbös kialakulású.

Színe: Jellemzően sötétzöld.

Felhasználása: Építőkö.

Előfordulási helye: Mátra.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,56\text{--}3,12 \text{ t/m}^3$, $w = 0,3\text{--}1,2 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 105\text{--}250 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 6\text{--}13 \text{ MPa}$, $E = 30\text{--}90 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}8$, építőmérnöki alkalmasság: kedvező, fagyálló.

6.3.1.3. Vulkanikus törmelékes kőzetek (piroklasztitok)

Tufa

Eredete, tulajdonságai: Különböző vulkanikus kőzetek kitörési, törmelékes (piroklasztikus) kőzetváltozata. Ilyenek például: riolittufa, andezittufa, bazalttufa, dácittufa.

Szövege, szerkezete: Az általában porózus, nagy vízfelvevő képességű, kis szilárdságú anyagát az egészen finom szemcséktől (hamu, portufa) a méteres vulkáni bombáig különböző méretű törmelékdarabok (agglomerátum) szabálytalan, heterogén keveréke alkotja. Réteges, pados, tömeges kialakulású.

Színe: Szürkés-fehér, sötétszürke, sárgás-szürke, zöldes-szürke, szürkés-barna, szürkés-vörös.

Felhasználása: Építőkö.

Előfordulási helye: Balaton-felvidék, Börzsöny, Mátra, Bükk, Tokaji- és Visegrádi-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 0,92\text{--}2,26 \text{ t/m}^3$, $w = 2,2\text{--}36,5 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 1\text{--}145 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 0,5\text{--}8,5 \text{ MPa}$, $E = 0,2\text{--}8,6 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}10$, építőmérnöki alkalmazás: kedvezőtlen, fagyveszélyes.

6.3.2. Üledékes kőzetek (szedimentumok)

Homokkő

Eredete, tulajdonságai: Általában a homokos–aprókavicsos (0,05–2 mm) üledékek közötté cementálódott tömege. A cementáló anyag lehet mész (CaCO_3), kova (SiO_2) vagy limonit (Fe_2O_3). Általában szárazföldi kialakulású (sivatagos területek, folyó- és tópartok), de tengerben (tengerpartok) is keletkezhet.

Szövege, szerkezete: A finom vagy durvaszemcsés anyaga kisebb-nagyobb vastagságú rétegekre, esetleg egymást keresztező fonatokra (keresztrétegzettség) tagolódik. A réteglapokon sokszor láthatók az egykori felszín egyenetlenségei (pl. homokfodrok) vagy állatnyomok (pl. lábnyom, féregnyom). Vannak puha, mállékony és kemény, nagy szilárdságú változatai egyaránt.

Színe: Jellemzően világosszürke, sárga, sárgás-barna, sárgás-vörös, de néha sötétszürke vagy zöldes árnyalatú.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö, ipari alapanyag.

Előfordulási helye: Balaton-felvidék, Budai-hegység, Pilis, Börzsöny, Mecsek.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,15\text{--}2,61 \text{ t/m}^3$, $w = 0,5\text{--}8,9 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 15\text{--}250 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 1,5\text{--}6,0 \text{ MPa}$, $E = 15\text{--}17 \text{ GPa}$, $m = 8\text{--}15$, építőmérnöki alkalmazás: átlagos, fagyállósága változó.

Tömött mészkő

Eredete, tulajdonságai: Kalciumkarbonát (CaCO_3) anyagú ásványokból (kalcit és aragonit) álló, általánosan elterjedt és nagy mennyiségben található üledékes kőzet, melynek anyaga zömmel a tengerek vegyi kiválásaiból keletkezett. Állati vázmaradványokat csak abban az esetben tartalmaz, ha azok a környezeti hatásokkal szemben ellenállónak bizonyultak (pl. vastag héjú ammoniteszek, kagylók, sünök), illetve egy adott helyen hatalmas mennyiségben keletkeztek (pl. ko-

rallok, foraminiferák). Kemény, viszonylag nagy nyomószilárdságú, időálló anyag.

Szövege, szerkezete: Jellemzően tömött szövetű, finomszemcsés, általában vastagpados vagy tömeges szerkezetű.

Színe: Jellemzően fehér, de a különböző idegen szennyezőanyagoktól (pl. vas- és mangánoxid, bitumen) lehet sárga, barna, vörös vagy fekete is.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö, ipari alapanyag.

Előfordulási helye: Mecsek, Bakony, Vértes, Gerecse, Budai-hegység, Pilis, Cerhát, Bükk, Aggteleki-karszt.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,45\text{--}2,85 \text{ t/m}^3$, $w = 0,1\text{--}2,8 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 35\text{--}200 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 4\text{--}7 \text{ MPa}$, $E = 50\text{--}80 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}10$, építőmérnöki alkalmasság: átlagos, fagyállósága változó.

Biogén mészkő (durvamészkő, lajtamészkő)

Eredete, tulajdonságai: Szintén kalciumkarbonát anyagú ásványokból álló üledékes kőzet, mely a tengerek, tavak vizében biogén úton – vagyis az állati vázrészek (pl. kagylók, csigák, sünök, korallók) és mészalgák felhalmozódása során jött létre. Jellemzően puha, alacsony nyomószilárdságú kőzet.

Szövege, szerkezete: A porózus, durvaszemcsés, helyenként kifejezetten lyukacsos szövetű anyag réteges, pados, esetleg tömeges megjelenésű.

Színe: Általában fehér, sárgás-fehér, világosszürke.

Felhasználása: Építőkö.

Előfordulási helye: Budai- és Soproni-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 1,55\text{--}2,60 \text{ t/m}^3$, $w = 0,3\text{--}34,5 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 3\text{--}145 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 1\text{--}3 \text{ MPa}$, $E = \text{n.a.}$, $m = 4\text{--}8$, építőmérnöki alkalmasság: kedvezőtlen, fagyveszélyes.

Forrásmészkő (travertino vagy mésztufa)

Eredete, tulajdonságai: Az ugyancsak kalciumkarbonát anyagú ásványokból álló üledékes kőzet az édesvízi források, forrásmedencék üledéke. Kialakulása részint vegyi úton (a feltörő forrásvíz mésztartalmának kicsapódásával), részint biogén úton (mészalgák, kagylók, csigák vázrészeinek felhalmozódásával) történik. Általában puha, kis szilárdságú, esetenként azonban keményebb, közepes szilárdságú kőzet.

Szövege, szerkezete: Általában porózus szövetű, finomszemcsés, réteges, pados megjelenésű, de esetenként (főként az idősebb képződményeknél) tömörebb és vastagpados településű.

Színe: Jellemzően fehér, esetleg sárgás-fehér vagy rózsaszín.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö.

Előfordulási helye: Vértes, Pilis, Budai-hegység, Bükk.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 1,55\text{--}2,50 \text{ t/m}^3$, $w = 0,6\text{--}5,6 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 20\text{--}180 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 1\text{--}5 \text{ MPa}$, $E = \text{n.a.}$, $m = 8\text{--}15$, építőmérnöki alkalmasság: kedvezőtlen, fagyveszélyes.

Dolomit

Eredete, tulajdonságai: Döntő részben a $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ dolomit kristályok halmazá-

ból álló üledékes kőzet. A mészkőből képződik ioncsere útján (a Ca^{2+} ionok egy részét a magas sótartalmú tengervíz vagy az egyéb sóoldatok Mg^{2+} ionjai helyettesítik), így általában a mészkővel együtt található.

Szövege, szerkezete: Finomszemcsés, apró- vagy mikrokristályos, tömött szövetű, de néha sejtes, üreges szerkezetű. Réteges, pados, néha tömeges kifejlődésű.

Színe: Általában sárgás-fehér, világosszürke, néha sárgásbarna, rózsaszín, vörös vagy lila, esetleg fekete.

Felhasználása: Ipari adalékanyag.

Előfordulási helye: Balaton-felvidék, Vértes, Pilis, Gerecse, Budai-hegység, Bükk.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,20\text{--}2,90 \text{ t/m}^3$, $w = 0,3\text{--}9,6 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 26\text{--}220 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 3\text{--}12 \text{ MPa}$, $E = 20\text{--}30 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}12$, építőmérnöki alkalmasság: átlagos, fagyállósága változó.

Márgák

Eredete, tulajdonságai: A tengerben képződött, általában közepes szilárdságú, de nem időálló üledékes kőzet az agyag és a mészkő különböző arányú (40–60/60–40 %) keverékéből áll. Általában ide sorolják a mésztartalomban ennél gazdagabb (meszes márga vagy mészmárga), illetve szegényebb (agyagos márga vagy agyagmárga) kőzetváltozatokat is. Ritkán olyan kőzetváltozatban is megjelenik, ahol a mészkövet dolomit helyettesíti.

Szövege, szerkezete: Többé-kevésbé tömött, finomszemcsés, viszonylag alacsony porozitású, réteges, pados kifejlődésű, esetenként földes megjelenésű. Sokszor a puhább–agyagosabb és a keményebb–mészkővesebb rétegek egymással változó sorozatából állnak (pl. Budai-márga).

Színe: Világosszürke, zöldes-szürke, sárga, barna, rózsaszín, esetleg lila.

Felhasználása: Cementipari alapanyag.

Előfordulási helye: Budai-hegység, Pilis, Gerecse, Mecsek, Bakony.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,38\text{--}2,54 \text{ t/m}^3$, $w = 0,9\text{--}8,2 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = \text{n.a.}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = \text{n.a.}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: kedvezőtlen, fagyveszélyes.

Agyagok és márgás agyagok (agyagkövek)

Eredete, tulajdonságai: A főként magmás kőzetek, szilikátásványok mállástermékekből származó és 0,02 mm alatti méretű szemcsékből álló üledékes kőzet, mely még a diagenézis alacsony fokán áll. Főként az egykori tengerekben, esetenként szárazföldön (pl. folyók, tavak) keletkezett alacsony szilárdságú képződmény (pl. „kiscelli” agyag, „bádeni” agyag, öntésagyag, kaolin, bentonit).

Szövege, szerkezete: Mikrokristályos, kissé porózus, földes megjelenésű, általában réteges, pados, néha tömeges szerkezetű, helyenként más jellegű üledékek vékonyabb rétegeit (betelepülések) is tartalmazza.

Színe: Alapvetően világosszürke, sárgás-szürke, de az egyéb szennyezőanyagok (különösen fémoxidok és -hidroxidok) miatt szinte minden színben előfordulhat.

Felhasználása: Ipari, mezőgazdasági és gyógyászati alapanyag.

Előfordulási helye: Magyarország jelentős részén.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 1,70\text{--}2,35 \text{ t/m}^3$, $w = \text{n.a.}$, $\sigma_c = 0,5\text{--}1 \text{ MPa}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = 0,02\text{--}0,7 \text{ GPa}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: kedvezőtlen, fagyveszélyes.

6.3.3. Metamorf kőzetek (metamorfitok)

A metamorf kőzetek általában alacsony porozitású, tömött, kemény, közepes szilárdságú és többnyire időálló kőzetek, ezért ezeket a tulajdonságokat külön nem említjük.

Gneisz

Eredete, tulajdonságai: Viszonylag magas kvarc tartalmú magmás (gránit, gabbró, diorit) vagy üledékes (pl. homokos agyag, agyag, homokkő) kőzetekből keletkezik, nagyfokú metamorfózissal.

Szövete, szerkezete: Közepes- vagy durvakristályos, tömeges megjelenésű, melyben a hullámos, íves, gömbös, lencsés, csomós, sávós szerkezetek figyelhetők meg.

Színe: Az alapvetően világosszürke tömeget sárga, sötétszürke, vörös, rózsaszín, lila, barna, zöld színű foltok vagy erezet tarkítja.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö.

Előfordulási helye: Soproni- és Tokaji-hegység, Mecsek.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,60\text{--}2,80 \text{ t/m}^3$, $w = 0,4\text{--}0,9 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 40\text{--}80 \text{ MPa}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = \text{n.a.}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: kedvezőtlen, fagyállósága változó.

Márvány (metamorfizált kristályos mészkő)

Eredete, tulajdonságai: A mészkő alacsony hőmérsékleten, de nagy nyomáson (közepes metamorfózis) átkristályosodott változata, mely szinte teljes egészében kalcit (CaCO_3) kristályokból áll.

Szövete, szerkezete: Tömött, finom- vagy mikrokristályos szövetű, általában tömös, tömeges megjelenésű.

Színe: Jellemzően fehér, de a csekély mennyiségű szennyező anyagok (pl. fémoxidok, klorit, szerpentin) hatására szürke, sárga, zöld, kék, rózsaszín, lila, fekete elszíneződésű is lehet, melyek sokszor csak foltok, csíkok, szalagok, fonatok formájában jelennek meg.

Felhasználása: Díszítőkö.

Előfordulási helye: Magyarországon nem ismert.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,63\text{--}2,87 \text{ t/m}^3$, $w = 0,2\text{--}2,9 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 50\text{--}180 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 5\text{--}8 \text{ MPa}$, $E = 60\text{--}90 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}9$, építőmérnöki alkalmasság: átlagos, fagyállósága változó.

Kvarcit

Eredete, tulajdonságai: Magas kvarctartalmú üledékes kőzetekből (jellemzően homokkövekből), közepes metamorfózis során, nagy nyomás hatására jön létre.

Szövete, szerkezete: Tömött, aprószemcsés szövetű, általában tömeges megjelenésű, melyet sávós, felhős, fonatos elszíneződésű részek tarkítanak.

Színe: Ezüstszerű, világosszürke, illetve ennek barnás, sárgás, zöldes, lilás, rózsaszínes árnyalatai.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö, ipari alapanyag.

Előfordulási helye: Börzsöny, Mátra, Velencei- és Tokaji-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = \text{n.a.}$, $w = \text{n.a.}$, $\sigma_c = \text{n.a. MPa}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = \text{n.a.}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: átlagos, fagyállósága változó.

Csillámpala

Eredete, tulajdonságai: Közepes fokú metamorfózissal, általában agyagból, homokos agyagból kialakuló, magas kvarc és csillám (muszkovit és biotit) tartalmú metamorfít.

Szövete, szerkezete: Középszemcsés szövetű, palás szerkezetű, de az elválási felületek egyenetlenek.

Színe: Általában ezüstfehér (muszkovitban gazdag) vagy világosszürke, illetve sötétbarna (biotitban gazdag), néhol zöldes vagy vöröses árnyalattal. Sokszor fémesen csillogó vagy selyemfényű.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö.

Előfordulási helye: Soproni-, Kőszegi- és Tokaji-hegység, Mecsek.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,70\text{--}3,10 \text{ t/m}^3$, $w = 0,6\text{--}2,5 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 50\text{--}110 \text{ MPa}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = \text{n.a.}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: kedvezőtlen, fagyállósága változó.

Fillit

Eredete, tulajdonságai: Kisfokú metamorfózissal agyagból, márgás agyagból, homokos agyagból alakul ki. Magas muszkovit tartalommal rendelkezik

Szövete, szerkezete: Palás, lemezes szerkezetű, finomszemcsés szövetű.

Színe: Általában világosszürke, sötétszürke vagy fekete, esetenként zöldes-szürke színű. Jellemzően ezüstösen csillogó vagy selyemfényű.

Felhasználása: Díszítő- és építőkö.

Előfordulási helye: Balaton-felvidék, Soproni-, Kőszegi- és Upponyi-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,39\text{--}2,98 \text{ t/m}^3$, $w = 0,5\text{--}2,5 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 50\text{--}150 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 4\text{--}7 \text{ MPa}$, $E = 25\text{--}60 \text{ GPa}$, $m = 5\text{--}11$, építőmérnöki alkalmasság: kedvezőtlen, fagyállósága változó.

Agyapala

Eredete, tulajdonságai: Igen kisfokú metamorfózis hatására, agyagból keletkezik.

Szövete, szerkezete: Palás, leveles szerkezetű, mikroszemcsés szövetű, földes megjelenésű.

Színe: Az eredeti agyagos üledék színétől és a benne lévő ásványoktól, szerves maradványoktól függően igen változó színű (fekete, szürke, vörösbarna, zöldes-szürke, sárgás-szürke).

Felhasználása: Régebben fedőpala, palatábla, írópala.

Előfordulási helye: Bükk, Upponyi-hegység.

Kőzetfizikai tulajdonságai: $\rho_n = 2,20\text{--}2,84 \text{ t/m}^3$, $w = 0,2\text{--}0,4 \text{ térf}\%$, $\sigma_c = 60\text{--}70 \text{ MPa}$, $\sigma_T = \text{n.a.}$, $E = \text{n.a.}$, $m = \text{n.a.}$, építőmérnöki alkalmasság: kedvezőtlen, fagyérzékeny.

7. TALAJOK MINŐSÍTÉSE, BESOROLÁSA, OSZTÁLYOZÁSA, TULAJDONSÁGAI ÉS TEREPI FELISMERÉSE

A geotechnikai, építőmérnöki munkák döntő hányadában talajban, talajra vagy talajból kell az építményeket kialakítani. Ebben a fejezetben a talajok minősítéséhez, besorolásához, osztályozásához, tulajdonságainak felismeréséhez és a terepi azonosításához szükséges általános információkat tekintjük át.

7.1. A talajok geotechnikai minősítési, besorolási szempontjai

Először tekintsük át a talajok geotechnikai–építésföldtani szempontból lényegesebb jellemzőit, osztályozási és besorolási alapelveit.

7.1.1. Szín

Ahogy a kőzeteknél, úgy a talajok esetében is fontos szerepe van a szín meghatározásának, mivel a szín több olyan információ megszerzését segíti, melyek a talaj keletkezésével, későbbi változásaival vagy egyéb körülményeivel kapcsolatosak. A színek alapvetően az oxidációs és redukciós folyamatokkal állnak összefüggésben. Az előbbire főként a sárga, vörös és barna színek, az utóbbira főként a szürke, kék és zöld színek jellemzőek.

Mivel az oxidációs folyamatok alapvetően a levegő jelenlétéhez köthetők, ezért a szín a talajok szellőzöttségére is utal. Általában tehát a sárga, vörös és barna színek inkább a nagyobb pórusokkal rendelkező durvaszemcsés (homok és kavics), míg a szürke, kék és zöld színek inkább a kisebb pórusokkal rendelkező finomszemcsés (iszap és agyag) talajokat jellemzik. Hasonló indokok alapján a sárga, vörös és barna színek többnyire a felszíni vagy felszínhez közeli rétegeket jellemzik, míg a szürke, kék és zöld színek általában a mélyebben fekvő rétegekhez köthetők. Ugyanezen elv alapján az állandóan alacsony víztartalmú, vagyis talajvízszint feletti helyzetű rétegekre általában a sárga, vörös és barna színek, míg az állandóan magas víztartalmú, vagyis talajvízszint alatti helyzetű réteget többnyire a szürke, kék és zöld színek uralják.

Ugyanakkor, ha egy lényegében egységes színű rétegben apró, körömmel szétnyomható sárga, barnás-fekete, fehér elszíneződések vagy csíkok, erek, esetleg rögök találhatóak, akkor többnyire időszakos vízelöntésre vagy vízszivárgásra gyanakodhatunk.

7.1.2. Természetes víztartalom

A talajok feltárásakor a talajok természetes víztartalmát is meghatározzuk. Ennek oka egyrészt az, hogy a talajok természetes víztartalma közvetlen kapcsolatban áll a finomszemcsés (kötött, másként plasztikus) talajok talajfizikai tulajdonságaival (ezek szilárdsága átázott állapotban jelentősen csökkenhet), másrészt az, hogy az

egyébként száraz talajkörnyezet lokális nedvesedése helyi és/vagy időszakos átázásra (pl. csőtörés, csurgalékvíz, szivárgó víz) utalhat. Végül kárvizsgálati feladatoknál a 30–50 cm-kénti sűrűséggel megszerkesztett víztartalmi függély (vagyis a víztartalomnak a vizsgált függőleges mentén, egymás alatt, változó mélységekben mért értékei) információval szolgálhat a nedvesedés mértékére az átázás magassági elhelyezkedésére és eredetére.

28. táblázat. Talajok víztartalmának terepi becslése

Minősítés	Leírás	
	homokos talajok	iszapos és agyagos talajok
Száraz	A szemcsék a tenyérből szabadon szétszórhatók, illetve a kisebb talajrögök már kis nyomásra is porlódva teljesen szét-esnek. Vízzel leöntve színük nagymértékben változik (rendszerint jelentősen sötétebb lesz) és elfolyósodnak, sárosodnak.	A talajrögök nagyon kemények, merevek és csak erőteljes nyomásra, roppanva törhetőek darabokra. Vízzel leöntve színük nagymértékben változik (rendszerint jelentősen sötétebb lesz), de a rögök egyben maradnak.
Földnedves	A szemcsék már kisebb-nagyobb talajrögökké állnak össze, melyek kis nyomásra szétesnek ugyan és szórhatók, de már nem porlódnak. Vízzel leöntve színük csak kismértékben változik.	A talajrögök még kemények, de nyomásra már könnyebben törhetőek. Vízzel leöntve színük csak kismértékben változik.
Nyirkos	A szemcsék már eleve összeálló rögöket alkotnak, vagy nyomás hatására összetapadnak. A rögöket szétnyomva azok kisebb rögökké morzsolhatók. Erősen szorítva az ujjak és a tenyér még nem lesznek nedvesek.	A talajrögök már gyúrhatók ugyan, de csak nehezen deformálhatók. Törés közben a rögök csak kissé deformálódnak. Erősen szorítva az ujjak és a tenyér még nem lesznek nedvesek.
Erősen nedves	A rögöket szétnyomva azok még kisebb rögökké morzsolhatók, de erősen szorítva az ujjak és a tenyér már nedvesek lesznek és a kisebb szemcsék a bőrhöz tapadnak.	A talajrögök könnyen gyúrhatók és már szálakká is sodorhatók. Törés közben a rögök erősek deformálódnak, megnyúlnak. Erősen szorítva az ujjak és a tenyér már nedvesek lesznek és kisebb darabok a bőrhöz tapadnak.
Vizes (átázott)	A talajszemcsék sárosan összeállóak. Erősen szorítva a talajt, abból kevés víz távozik, a tenyér és az ujjak vizesek lesznek, az ujjak között a talajszemcsék kinyomódnak, illetve a bőrhöz tapadnak.	A talajrögök puhák, nem törhetőek, csak nyújthatók vagy kenhetőek. Erősen szorítva az ujjak között a talaj kinyomódik, illetve sárosan a bőrhöz tapad.

A természetes víztartalom közelítő jellegű terepi becslése a 28. táblázata szerint történhet (lásd az előző oldalon). A közölt táblázat csak a leggyakrabban előforduló talajokra és csak általánosságban érvényes, a magas plaszticitású kövér agyag és a durvaszemcsés kavicstalajokra nem alkalmazható.

7.1.3. A talajok szemcseméret szerinti besorolása, megnevezése

A talajok különböző méretű szemcsék változó arányú halmazából állnak. A 29. táblázat a talajokat alkotó szemcsefrakciók megnevezését, jelölését és szemcse átmérőjét ismerteti az EC7 előírásai szerint.

29. táblázat. Talajokat alkotó szemcsefrakciók megnevezése, jelölése és mérete

Szemcse csoport	Szemcse frakció	Jele	Szemcse méret (mm)
Nagyon durva szemcséjű talajok	kötömb	LBo	> 630
	görgeteg	Bo	200 – 630
	macskakő	Co	63 – 200
Durva szemcséjű talajok (régebben: szemcsés talajok)	<i>K a v i c s o k</i>	<i>Gr</i>	<i>2,0 – 63</i>
	durva kavics	CGr	20 – 63
	közepes kavics	MGr	6,3 – 20
	apró kavics	FGr	2,0 – 6,3
	<i>H o m o k o k</i>	<i>Sa</i>	<i>0,063 – 2,0</i>
	durva homok	CSa	0,63 – 2,0
közepes homok	MSa	0,20 – 0,63	
finom homok	FSa	0,063 – 0,20	
Finom szemcséjű talajok (régebben: kötött talajok)	<i>I s z a p o k</i>	<i>Si</i>	<i>0,002–0,063</i>
	durva iszap	CSi	0,020 – 0,063
	közepes iszap	MSi	0,0063 – 0,020
	finom iszap	FSi	0,0020 – 0,0063
	Agyag	Cl	< 0,002

Megjegyzés. A régebbi (és tegyük hozzá: az igen jól bevált) gyakorlat szerint még külön frakciót képező homokliszt ($0,02 \text{ mm} < D < 0,1 \text{ mm}$) talajcsoport ma már hiányzik a szabványos megnevezések közül. Ennek a $0,063 \text{ mm}$ alatti részét a durva iszaphoz, az e feletti részét a finom homokhoz sorolták át.

7.1.4. Szemcsealak

Az összefoglaló néven szemcsealaknak nevezett tulajdonság a talajt felépítő szemcsék szögletességét (koptatottságát), alakját (a szélesség/hosszúság/magasság geometriai arányait) és felületének jellegét minősíti. A durvaszemcsés eolikus üledékek jellemzően legömbölyített, zömök, gömbhöz közeli alakú, sima felületű szemekből állnak. A durvaszemcsés fluviatilis vagy limnikus üledékek szögletesek, közöttük sok lapos vagy hosszúkás alakú szemcse található, s többnyire érdes felü-

lettel rendelkeznek. A finomszemcsés állóvízi (tavi vagy tengeri) üledékek zömét a lapos (lemezes) vagy hosszúkás (tús) agyagásványok alkotják. Az osztályozást a 30. táblázat szerint végezhetjük, az EC7 előírásai alapján.

30. táblázat. Talajcsemcsék szögletesség, alak és felület szerinti besorolása

Vizsgált tulajdonság	Besorolás
Szögletesség (legömbölyödöttség vagy koptatottság)	nagyon szögletes
	szögletes
	kissé szögletes
	kissé legömbölyített
	legömbölyített
	jól legömbölyített
Alak	zömök
	lapos (lemezes)
	hosszúkás (tús)
Felület	érdes
	sima

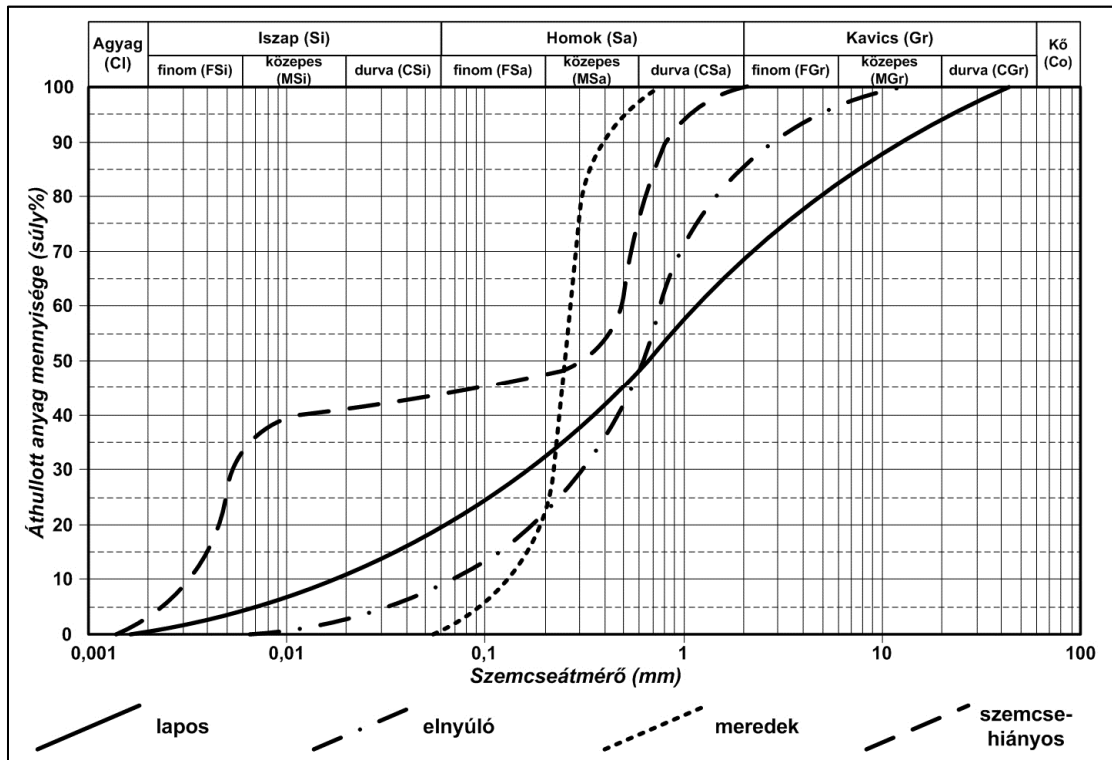
7.1.5. Szemeloszlási görbe (szemcseösszetétel vagy szemszerkezet)

A szemcsék átlagos mérete (átmérője) és az azonos átmérőjű talajszemcsék súlyaránya szemeloszlási vizsgálattal határozható meg. A vizsgálat eredménye a szemeloszlási görbe, melynek alakját az egyenlőtlenégi mutató (C_U) és a görbületi mutató (C_C) értéke jellemzi, míg besorolását illetően a mértékadó szemnagyság (D_m) és az egyes szemcsefrakciók aránya ad tájékoztatást. Az említett vizsgálati eredmények a későbbiekben a talajok más szempont szerinti besorolását is segítik. Általánosságban megállapítható, hogy a szél által szállított vagy a hosszú ideig közel azonos sebességű folyóvíz által lerakott üledékek jól osztályozottak (rosszul graduáltak), vagyis a szemeloszlási görbe meredek. Más esetekben az üledék osztályozatlan (jól graduált), szemeloszlási görbéje lapos vagy elnyúló. A keverék talajokat (ezek többnyire az eredetileg különböző körülmények között lerakódott talajok utólagos keveredésével jönnek létre, vagy az akkumuláció valamilyen szélsőségességét jelzi) általában a szemcsehiányos görbe jellemzi.

31. táblázat. A talajok osztályozása a szemeloszlási görbe alakja szerint

Jel	Szemeloszlási görbe alakja	Egyenlőtlenégi mutató (C_U)	Görbületi mutató (C_C)
SZ-1	lapos	> 15	1 – 3
SZ-2	elnyúló	6 – 15	< 1
SZ-3	meredek	< 6	< 1
SZ-4	szemcsehiányos	rendszerint nagy	változó (rendszerint < 0,5)

A talajok szemeloszlási görbe szerinti osztályozása az előző 31. táblázat szerint történik, a hozzá tartozó idealizált szemeloszlási görbéket a 32. ábra mutatja.



32. ábra. A szemeloszlási görbék jellemző, idealizált alakjai

7.1.6. Tömörégi index és tömörégi állapot

A durva szemcsés homok- és kavics talajok tömörségének minősítésére a tömörégi index (I_D) fogalmát vezették be, mely lényegében a korábbi relatív tömörégi értékkel (T_{re}) azonos. Azt mutatja, hogy az éppen vizsgált talaj – az elvileg elérhető maximális tömörségéhez képest – milyen tömörégi állapottal rendelkezik. Az EC7 szerinti osztályozást a 32. táblázat mutatja be. A táblázatban megtalálhatók az egyes tömörégi állapotokhoz tartozó tájékoztató jellegű szonda vizsgálati eredmények, valamint a talajfizikai jellemzők gyakorlati tapasztalatok és a laboratóriumi vizsgálatok alapján ehhez köthető becslési értékei is.

32. táblázat. Tömörégi állapothoz rendelhető szondázási és talajfizikai jellemzők

Jel	Tömörégi állapot	Tömörégi index I_D (%)	SPT vizsgálat eredménye; N_{30}	DPH vizsgálat eredménye; N_{10}	CPT vizs. eredménye q_c (MPa)	Belső súrlódási szög ¹ φ (fok)	Drénezett Young-modulus ² E (MPa)
L-1	nagyon laza	0 – 15	< 5	< 2	0 – 2,5	29 – 32	< 10
L-2	laza	15 – 35	5 – 10	2 – 5	2,5 – 5	32 – 35	10 – 20

Jel	Tömör-ségi állapot	Tömör-ségi index I_D (%)	SPT vizsgálat eredménye; N_{30}	DPH vizsgálat eredménye; N_{10}	CPT vizs. eredménye q_c (MPa)	Belső súrlódási szög ¹ φ (fok)	Drénezett Young-modulus ² E (MPa)
L-3	közepesen tömör	35 – 65	10 – 30	5 – 25	5 – 10	35 – 37	20 – 30
L-4	tömör	65 – 85	30 – 50	25 – 40	10 – 20	37 – 40	30 – 60
L-5	nagyon tömör	85 – 100	> 50	> 40	> 20	40 – 42	60 – 90

¹A megadott értékek tiszta homokra érvényesek. Iszapos talajnál 3°-al csökkenteni, kavicsos talajnál 2°-al növelni ajánlott a táblázati értékeket.

²A tiszta homokra érvényes (feszültségtől és időtől függő szelőmodulus) közelítő értékek. Iszapos talajnál 50 %-al kisebb, kavicsos talajnál 50 %-al nagyobb értékek is adódhatnak. Törőfeszültség közeli állapotban a táblázati értékek felét ajánlott figyelembe venni.

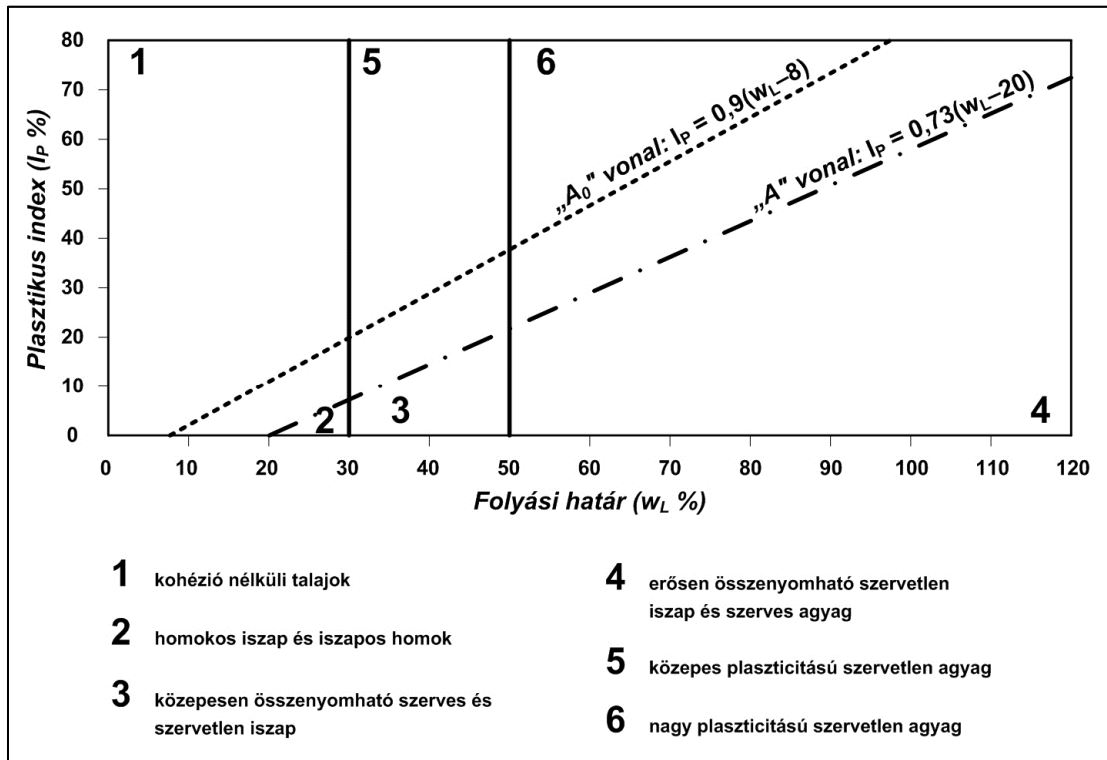
7.1.7. Plaszticitás

A finomszemcsés talajok kötöttségének nagyságát a plaszticitási értékkel, vagyis a plasztikus index (I_p %) nagyságával jellemezzük. Minél nagyobb egy talaj plasztikus indexe, annál erősebben kötött talajról van szó, s a talajt alkotó szemcsék átlagos mérete pedig egyre kisebb lesz. A plasztikus index növekedésével arányosan emelkedik a talaj kohéziója és vízfelvétele, s csökken a belső súrlódási szöge. A talajok plaszticitása alapján és az EC7 szerint történő besorolást (vagyis a talajok megnevezését) a 33. táblázat mutatja.

33. táblázat. Finomszemcsés talajok plasztikus index szerinti besorolása, megnevezése

kus index I_p (%)	Csoport név	Talaj megnevezés
0 – 10	nem plasztikus	szemeloszlás alapján meghatározva (általában iszapos homok vagy homokos iszap)
10 – 15	kissé plasztikus	iszap
15 – 20	közepesen	sovány agyag
20 – 30	plasztikus	közepes agyag
> 30	nagyon plasztikus	kövér agyag

A finomszemcsés, kötött talajok plaszticitási vizsgálatának eredményei alapján történő talajbesorolás másik módszerét a Casagrande-féle osztályozó grafikon adja. A hosszú idő alatt összegyűjtött tapasztalatok, megfigyelések és vizsgálatok alapján megállapították, hogy az azonos földtani korban és azonos képződési körülmények között kialakult plasztikus talajok I_p-w_L értékpárjaihoz tartozó pontjai nagyjából az „A” vonallal párhuzamos (de jellemzően az „A₀” vonal alatti) egyenesek mentén helyezkednek el. A Casagrande-féle osztályozó grafikon a 33. ábra mutatja.



33. ábra. A Casagrande-féle osztályozó grafikon

7.1.8. Konzisztencia index

A kohézióval rendelkező finomszemcsés (vagyis kötött) talajok szilárdsági állapotát, merevségét jól érzékelteti a plaszticitási vizsgálattal meghatározható konzisztencia index (I_C) értéke, mely lényegében egy dimenzió nélküli arányszám. A talajok konzisztencia index alapján történő – EC7 szerinti – besorolását a 34. táblázat ismerteti.

34. táblázat. Finomszemcsés talajok konzisztencia index szerinti besorolása

Jel	Konzisztencia	Konzisztencia index (I_C)
K-1	nagyon puha	< 0,25
K-2	puha	0,25 – 0,50
K-3	gyúrható	0,50 – 0,75
K-4	merev	0,75 – 1,00
K-5	kemény	> 1,00

7.1.9. Tőzeges és szerves talajok

Magyarország szinte teljes területét – a hegységi sziklás kopárok térségeinek kivételével – felszíni humuszos termőtalaj fedi. Ezen kívül azonban még jó néhány olyan területrész (főként nagyobb tavaink és folyóink környéke) is található, melye-

ken már a felszín közvetlen közelében ráakadhatunk az egyéb eredetű, kisebb-nagyobb szervesanyag-tartalommal rendelkező talajokra. A szerves és tözegezes talajokat a bennük lévő szervesanyag-tartalom megjelenési formája és jellegzetességei szerint az EC7 a következő, 35. táblázat szerint osztályozza.

35. táblázat. Tözegezes és szerves talajok osztályozása

Jel	Megnevezés	Jellemző tulajdonságok
H-1	rostos tözeg	Rostos szerkezet és könnyen felismerhető növényi maradványok, csekély szilárdság mellett.
H-2	rostos megjelenésű tözeg	Még felismerhetők a növényi maradványok, de azoknak már nincs szilárdsága.
H-3	amorf tözeg	Növényi maradványok már nem ismerhetők fel, pépszerű konzisztencia.
H-4	mocsári üledék (gyttja)	Lebomlott növényi és állati maradványok mellett már lehetnek szervesetlen (talaj) összetevők is.
H-5	humusz	Lebomlott növényi és állati maradványok, valamint élőlények és váladékaik a szervesetlen (talaj) összetevőkkel vegyesen.

7.1.10. Szervesanyag-tartalom

A talajokban finoman eloszló szervesanyag-tartalom egy minimális szint fölött már részint teherbírás csökkenést, részint pedig – a szervesanyag folyamatos és viszonylag gyors bomlása miatt – utólagos süllyedést okoz. Mivel a durva szemszerkezetű (jellemzően kavics) talajokban a talaj szerkezeti vázát az egymásnak támaszkodó és ezáltal a terhelést egymásnak közvetlenül átadó talajszemcsék képezik, ezért az ilyen talajokban a szemcsék közötti kitöltő anyag tulajdonsága csak alárendelt jelentőségű. A szervesanyag jelenléte viszont a finomabb szemszerkezetű talajokban már jelentősebb szerepet játszik. A szervesanyag-tartalom mennyisége szerinti talajbesorolást, az EC7 alapján, a következő, 36. táblázat ismerteti.

36. táblázat. Talajok besorolása szervesanyag mennyisége szerint

Jel	Megnevezés	Szervesanyag-tartalom a 2 mm-nél kisebb szemcsék súlyszázalékában I_{om} (%)
S-1	kissé szerves	2 – 6
S-2	közepesen szerves	6 – 20
S-3	nagyon szerves	> 20

7.1.11. Mész-tartalom

Hazánk talajrétegeinek szinte mindegyike rendelkezik több-kevesebb mész-tartalommal (CaCO_3). Ennek korrekt meghatározása vegyészeti úton történik analitikus módszerrel. Mivel azonban a talajok mész-tartalma igen tág határok között változik és annak hatásai geotechnikai szempontból általában – néhány speciális esettől (pl. mészszip) eltekintve – nem számottevőek, ezért a gyakorlatban elegendő a mész-

tartalomnak műszaki becslés jelleggel történő közelítő meghatározása sósavas pezsgéssel. Ennek során a talaj mésztartalmát a kőzetekhez hasonlóan minősíthetjük, vagyis a sósavat a talajra rácseppentve és a hatás intenzitását érzékszervi becsléssel meghatározva, a **6.1.4. pont**ban látható 12. táblázat szerint.

7.1.12. Talajok és a talajvíz vegyi agresszivitása

A mélyépítési létesítmények és azok építőanyagai a talajjal és a talajvízzel folyamatosan érintkeznek. Ha a talaj és/vagy a talajvíz az alkalmazott építőanyagokra (pl. téglá, beton, vasbeton acél, műanyag) nézve kémiaiag agresszív hatásúak, akkor ezek az anyagok károsodnak, s feladatukat már nem tudják ellátni, ami előbb-utóbb a létesítmények károsodásához vezet. Ezért lényeges, hogy már a tervezés időszakában ismerjük a mérnöki létesítményeket magába fogadó geotechnikai környezet ilyen jellegű tulajdonságait. A hazai betonszabvány (MSZ EN 206:2014 és MSZ 4798:2016) ismerteti a környezeti károsító anyagokat, azok mennyiségét és ennek függvényében a környezeti kitéti osztályokat, mely alapján az alkalmazni kívánt szerkezetek anyaga és minősége meghatározható. A környezeti kitéti osztályok említett szabvány szerinti felsorolását és jellemzését kivonatolva a 37. táblázat tartalmazza.

37. táblázat. A geotechnikai környezet besorolása vegyi agresszivitása alapján (kivonat)

Kémiai jellemző	XA1 kitéti osztály	XA2 kitéti osztály	XA3 kitéti osztály
<i>TALAJVÍZ ESETÉBEN</i>			
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	200 – 600	600–3000	3000–6000
pH (–)	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	4,5 – 4,0
agresszív CO ₂ (mg/l)	15 – 40	40 – 100	100 – telítésig
NH ⁴⁺ (mg/l)	15 – 30	30 – 60	60 – 100
Mg ²⁺ (mg/l)	300 – 1000	1000 – 3000	3000 – telítésig
<i>TALAJ ESETÉBEN</i>			
SO ₄ ²⁻ összes (mg/kg)	2000 – 3000	3000 – 12000	12000 – 24000
Savasság (ml/kg)	> 200	A gyakorlatban nem fordul elő	

7.1.13. Drénezetlen nyírószilárdság és egyirányú nyomószilárdság

A kohézióval rendelkező finomszemcsés (kötött) talajokkal kapcsolatos számítások sokszor felbukkanó talajfizikai jellemzője a drénezetlen nyírószilárdság (c_u), mely az egyirányú nyomószilárdsággal (q_u) áll összefüggésben. A drénezetlen nyírószilárdság tehát olyan szilárdsági paraméter, mely a kohézióval rendelkező iszap és agyagtalajok hirtelen terheléssel szembeni ellenállását mutatja. A hirtelen terhelés ez esetben azt jelenti, hogy az adott terhelés talajra történő áthárítása rövidebb idő alatt történik meg (vagyis a teher „felhordása” gyorsabb), mint a talaj adott terheléshez tartozó teljes konszolidációjának (alapvetően az adott teher által a talajban

lévő víz kiszorításának folyamatának) ideje – vagyis a kiszoruló pórusvíz távozásához szükséges idő –, s ezért a talaj drénezés nélküli állapotban van. Ez főként a földtömegek teherbírásai (pl. alapozások) vagy állékonysági számításainál alkalmazott talajfizikai paraméter. A talajok ilyen szempontból történő EC7 szerinti minősítése a 38. táblázat alapján végezhető el.

38. táblázat. Talajok drénezetlen nyírószilárdság szerinti besorolása

Megnevezés	Drénezetlen nyírószilárdság értéke c_u (kPa)
különösen alacsony	< 10
nagyon alacsony	10 – 20
alacsony	20 – 40
közepes	40 – 75
magas	75 – 150
nagyon magas	150 – 300
rendkívül magas	> 300

A $c_u > 300$ kPa érték esetében a réteg anyaga kőzetnek minősül és az annak megfelelő módon kell vizsgálni és osztályozni.

A drénezetlen nyírószilárdság a plaszticitástól és a telítettségtől, s ezekkel összefüggésben a konzisztencia indextől függően is – többé-kevésbé arányosan – változik. A különböző plaszticitású és állapotú kötött talajok esetében a drénezetlen nyírószilárdság tájékoztató értékét a 39. táblázat szerint vehetjük számításba, mely egyébként az Eurocode 7–1 korábbi előszabványához (MSZ ENV 1997–1:2000) készített Magyar Nemzeti Alkalmazási Dokumentum (NAD MSZ ENV 1997–1) 7. táblázatával azonos.

39. táblázat. Talajok drénezetlen nyírószilárdságának tájékoztató értékei

Talaj megnevezése	Plasztikus index I_p (%)	Drénezetlen nyírószilárdság tájékoztató értéke c_u (kPa)	
		talajvíz alatt (telített)	talajvíz felett (talajnedves)
iszapos homok	< 5	60	70
homokos iszap	5 – 10	85	95
iszap	10 – 15	110	145
sovány agyag	15 – 20	125	180
közepes agyag	20 – 25	165	225
	25 – 30	160	240
kövér agyag	30 – 35	145	265
	> 35	120	220

7.1.14. Összenyomhatóság (kompresszibilitás)

A talajok összenyomhatóságát (vagyis az E_{oed} oedométeres modulusának értékét) illetően az EC7 besorolási előírásokat nem tartalmaz. Ennek ellenére azonban szám-szerű meghatározására szinte minden létesítmény esetében szükség van, hiszen egy építmény stabilitását vagy használhatóságát nem csak a különböző mechanikus és hidraulikus jellegű talajtörések, hanem az egyenlőtlen süllyedésekből (és ezek számitása az E_{oed} értékek alapján történik) eredő szerkezeti igénybevételek és deformációk is veszélyeztetik.

7.1.15. Vízzetető vagy vízáteresztő képesség (permeabilitás)

A munkaterék víztelenítésének tervezése és végrehajtása, valamint az egyéb hidraulikai vizsgálatok során elengedhetetlen alapadat a talajok vízzetető képességének ismerete. Ez lényegében a permeabilitási (vagy szivárgási) tényező meghatározását jelenti. A talajok vízzetető képességének osztályozása az EC7 alapján a 40. táblázat szerint végezhető el.

40. táblázat: Talajok besorolása vízzetető képességük szerint

Jel	Vízzetető képesség besorolása	Vízzetető képesség kritériumai az azonosító talajfizikai jellemzők alapján
V-1	vízszállító	Ha $k \geq 5 \cdot 10^{-3}$ m/sec vagy durva szemcsés talaj és $S_{2,0} \geq 80$ %
V-2	jó vízzetető	Ha $5 \cdot 10^{-5} \leq k < 5 \cdot 10^{-3}$ m/sec vagy durva szemcsés talaj és $S_{0,063} < 5$ %
V-3	közepes vízzetető	Ha $10^{-9} \leq k < 5 \cdot 10^{-5}$ m/sec vagy vegyes szemcsés talaj és $5 \% \leq S_{0,063} < 40$ % és $I_p < 10$ %
V-4	gyengén vízzetető	Ha $5 \cdot 10^{-11} \leq k < 10^{-9}$ m/sec vagy finom szemcsés talaj és $10 \% \leq I_p < 30$ %
V-5	vízzáró	Ha $k < 5 \cdot 10^{-11}$ m/sec vagy finom szemcsés talaj és $I_p \geq 30$ %

7.1.16. Fagyveszélyesség

Főként az utak, burkolatok és földművek építése, valamint az ágyzatok, talajcserék méretezése szempontjából kell meghatározni a talajok fagyveszélyességét. A jéglencsék képződése és azok fagy hatására történő gyarapodása ugyanis nem csak a földműveket, ágyzatokat, talajcseréket és burkolatokat teheti tönkre, de a fagyhártart el nem érő építmények alapjait is megemelheti, ha annak terhelése nem haladja meg a fagyemelés erejét. A talajok fagyveszélyességének megítélése az EC7 alapján, a következő oldalon lévő 41. táblázat szerint végezhető el.

41. táblázat. Talajok fagyveszélyesség szerinti besorolása

Jel	Talajok minősítése fagyveszélyesség szempontjából	Talajok megnevezése	Szemeloszlási jellemzők		Plasztikus index I _p (%)
			0,02 mm-nél kisebb szemcsék súly %-a	0,1 mm-nél kisebb szemcsék súly %-a	
X-1	fagyálló	homokos kavics	< 10	< 25	–
		kavicsos homok			
		iszapmentes homok			
X-2	fagyérzékeny	iszapos kavics	10 – 20	25 – 40	–
		iszapos homok	10 – 15		
		sovány agyag	–	15 – 20	
		közepes agyag		20 – 30	
		kövér agyag		> 30	
X-3	fagyveszélyes	iszapos kavics	> 20	> 40	–
		iszapos homok	> 15		
		finom homok	< 10	> 50	5 – 10
		iszapos finom homok	> 10		
		iszap	–		

7.1.17. Erózióveszélyesség (eróziós hajlam)

Az iszapos–homokos talajok a többi talajhoz viszonyítva erózióra, vagyis talajkimosódásra hajlamosabbak. Ezt a tulajdonságot kiváltképp a földművek építésekor és a lejtőoldalakon történő kivitelezési munkáknál kell figyelembe venni. Az erózióérzékenység közvetve a hidraulikus talajtörési hajlammal is kapcsolatba hozható. Az erózióval szembeni érzékenység meghatározására ugyan megbízható laboratóriumi vizsgálatok még nem állnak rendelkezésünkre, de a már meglehetősen hosszú ideje végzett gyakorlati megfigyelések és tapasztalatok alapján a talajok ezirányú besorolása – az EC7 előírásait figyelembe véve – a következő oldal 42. táblázata szerint végezhető el.

42. táblázat. Talajok erózióérzékenységének osztályozása

Jel	Erózióérzékenység besorolása	Erózióérzékenység kritériumai az azonosító talajfizikai jellemzők alapján
E-1	erózióérzékeny	– ha $C_U < 15$ és $S_{0,063} > 5\%$ és $S_{0,125} - S_{0,02} > 50\%$, illetve – az $I_p < 15\%$ esetében, ha $S_{0,063} - S_{0,002} > 2 \cdot S_{0,002}$
E-2	nem erózióérzékeny	– ha durvább szemcsékből áll, vagy kevesebb benne a homok és az iszap, mint amennyit az előbbi definíció megad, illetve – ha finomabb szemcsékből áll, vagy több benne az agyag, mint amennyit az előbbi definíció megad

7.1.18. Térfogatváltozó tulajdonság (térfogatváltozási hajlam)

A kavics- és homoktalajok nem, az iszaptalajok csak elhanyagolható mértékben, az agyagtalajok azonban már kisebb-nagyobb mértékben térfogatváltozóak. Hazánkban ezek a térfogatváltozó tulajdonsággal rendelkező agyag rétegek jelentős területeket alkotnak. Az ebből eredő számos káreset is bizonyítja, hogy az agyagtalajok lineáris zsugorodási tulajdonságait mindenképp figyelembe kell venni. A térfogatváltozás nagysága a közvetlen lineáris zsugorodási (ε_l) vizsgálattal határozható meg, illetve annak nagyságára és lefolyására a telítési határ (w_T) és a zsugorodási határ (w_S) vizsgálata alapján következtethetünk. A talajok térfogatváltozási hajlam alapján történő osztályozását, az EC7 szerinti módon, a 43. táblázat mutatja.

43. táblázat. Talajok besorolása térfogatváltozás alapján

Jel	Térfogatváltozás nagysága	Kritérium az azonosító talajfizikai jellemzők alapján
D-1	nem térfogatváltozó	$I_p < 15\%$ vagy $S_{0,063} < 40\%$
D-2	kissé térfogatváltozó	$15\% \leq I_p < 20\%$ vagy $\varepsilon_l < 3\%$
D-3	közepesen térfogatváltozó	$20\% \leq I_p < 30\%$ vagy $3\% \leq \varepsilon_l < 6\%$
D-4	nagyon térfogatváltozó	$30\% \leq I_p < 40\%$ vagy $6\% \leq \varepsilon_l < 9\%$
D-5	különösen térfogatváltozó	$I_p \geq 40\%$ vagy $\varepsilon_l \geq 9\%$

7.1.19. Tömöríthetőség

A feltöltések és visszatöltések vagy tömedékelések tervezése és azok elkészítése során ismerni kell a felhasznált talajok tömöríthetőségét, hiszen ez részint a földmű minőségét, részint a kivitelezési költségeket jelentősen befolyásolhatja. A talajok tömöríthetőségének EC7 szerinti besorolását a következő oldalon látható 44. táblázat tartalmazza.

44. táblázat. Talajok osztályozása tömöríthetőség alapján

Jel	Tömöríthetőség szerinti besorolás	Tömöríthetőség kritériumai az azonosító talajfizikai jellemzők alapján
T-1	jól tömöríthető	<ul style="list-style-type: none"> – Durvaszemcsés talaj, ha $C_U \geq 15$ és szemeloszlása hiányos. – Durvaszemcsés talaj, ha $6 \leq C_U < 15$ és szemeloszlása folytonos. – Vegyes szemcsés talaj, ha $S_{0,063} \leq 40\%$ és víztartalma is kedvező.
T-2	közepesen tömöríthető	<ul style="list-style-type: none"> – Bármely durvaszemcsés talaj, ha $6 \leq C_U < 15$. – Vegyes szemcsés talaj, ha $S_{0,063} \leq 40\%$ és víztartalma még elfogadható. – Finomszemcsés talaj, ha $I_p \leq 25\%$ és víztartalma is kedvező.
T-3	nehezen tömöríthető	<ul style="list-style-type: none"> – Bármely durvaszemcsés talaj, ha $3 \leq C_U < 6$. – Finomszemcsés talaj, $I_p \leq 25\%$ és víztartalma még elfogadható. – Finomszemcsés talaj, ha $25 < I_p \leq 40\%$ és víztartalma is kedvező.
T-4	nem tömöríthető	<ul style="list-style-type: none"> – Bármely durvaszemcsés talaj, ha $C_U < 3$ és kezeléssel sem javítható. – Finomszemcsés talaj, ha víztartalma kedvezőtlen és kezeléssel sem javítható. – A választott rétegvastagsághoz képest túlzottan nagy méretű szemcséket tartalmazó talaj.

7.1.20. Teherbírási modulus és CBR érték

A földművek és burkolatok tervezésekor kiindulási adatként szolgál a talajok tervezési teherbírási modulusa (E_2) vagy CBR értéke. A CBR rövidítés jelentése: *California Bearing Ratio* (Kaliforniai teherbírási érték). Az egyes talajcsoportok esetében ez a jellemző különböző értékkel vehető figyelembe. Pontos laboratóriumi meghatározásukat a Proctor tömörítési vizsgálattal, terepi meghatározásukat a terhelőlapos (PLT) vizsgálattal, illetve ennek módosított változataival, a statikus vagy dinamikus tárcsás teherbírási méréssel végezhetjük el.

Az E_2 (MN/m²) teherbírási modulus és a CBR érték átszámítása a következő egyszerű összefüggés segítségével végezhető el:

$$E_2 = 10 \cdot \sqrt[3]{\text{CBR}^2}$$

A talajok E_2 talajfizikai jellemzőjének EC7 szerinti tájékoztató jellegű értékei a 45. táblázatban található (lásd a következő oldalon).

45. táblázat. Talajok E_2 tájékoztató jellegű értékeinek táblázata

Talajcsoport			Tájékoztató tervezési teherbírési modulus E_2 (MN/m ²)		Víztartalom növekmény a w_{opt} -hoz képest Δw (%)		Teherbírás-csökkenés mértéke E_2/w (MN/m ² /%)
Jel	Megnevezés	Jellemzés	NK	K	NK	K	
I.	iszapos homokos kavics	$D_{max} = 60$ mm $35 \% < S_{2,0} < 70$ % $15 \% < S_{0,1} < 30$ % $7 \% < S_{0,02} < 15$ %	65	65	2	1	3
II.	homokos kavics	$D_{max} = 60$ mm $20 \% < S_{2,0} < 55$ % $7 \% < S_{0,1} < 20$ % $S_{0,02} < 7$ %	50	55	1	0	2
III.	kavics és homoktalajok	I., II., és IV. csoportba nem tartozó szemeloszlás	35	40	2	1	6
IV.	iszapos homok és finom homok (régii homokliszt)	$I_p < 5$ % $S_{0,02} < 10$ %	30	35	2	1	12
V.	homokos iszap (régii iszapos homokliszt)	$5 \% < I_p < 10$ %	20	25	3	2	15
VI.	iszap	$10 \% < I_p < 15$ %	20	25	4	3	18
VII.	sovány agyag	$15 \% < I_p < 20$ %	25	30	5	4	15
VIII.	közepes agyag	$20 \% < I_p < 30$ %	20	25	6	5	12
IX.	kövér agyag	$30 \% < I_p < 40$ %	20	25	7	6	9

NK: Kedvezőtlen éghajlatú területen, nedves vidéken, 600 mm/év feletti átlagos csapadékú területen, kedvezőtlen víztelenítésű útszakaszon (bevágásban, töltés-bevágás átmenetben), a III.–IX. talajok esetében a pályaszint alatti 2,0 m-nél magasabb mértékadó talajvízszintnél.

K: Kedvező éghajlatú és hidogeológiai adottságú területen, száraz vidéken, 600 mm/év alatti átlagos csapadékú területen, kedvező víztelenítésű útszakaszon (töltésben), a III.–IX. talajok esetében a pályaszint alatti 2,0 m-nél mélyebb mértékadó talajvízszintnél.

7.1.21. Földműépítési alkalmasság

A feltöltések tervezése és azok elkészítése során ismerni kell a felhasznált talajok földműépítésre való alkalmasságát is. Ez a szempontrendszer az egyes talajok esetében főként a tömörítés várható eredményességét, a földmű várható minőségét, vízzáróságát, az elérhető tömörséget, valamint a beépíthetőség hatékonyságát (a befektetett idő, munka és költségek, valamint az így előállított földmű általános alkalmasságának, megfelelőségének viszonya) minősíti. A talajok EC7 szerint a földműépítésre való alkalmasságát a 46. táblázat szerinti besorolásból tudhatjuk meg.

46. táblázat. Talajok földműépítési alkalmasságának osztályozása

Jel	Földműépítésre való alkalmasság	Besorolási kritériumok az azonosító talajfizikai jellemzők alapján
M-1	kiváló	– Durva szemcséjű kavics, homokos kavics, kavicsos homok és homoktalajok, ha $S_{0,063} \leq 5\%$ és $C_U \geq 6$ és szemeloszlásuk folytonos.
M-2	jó	– Durva szemcséjű kavics, homokos kavics, kavicsos homok és homoktalajok, ha $S_{0,063} \leq 5\%$ és $C_U \geq 6$ és szemeloszlásuk hiányos, illetve ha $3 \leq C_U < 6$ és szemeloszlásuk folytonos. – Vegyes szemcséjű iszapos és/vagy agyagos kavics és/vagy homoktalajok, ha $5\% \leq S_{0,063} \leq 15\%$ és szemeloszlásuk folytonos. – Nem mállékony, folytonos szemeloszlású közettörmelékek, ha legnagyobb szemcseméretük nem nagyobb 200 mm-nél.
M-3	megfelelő	– Durva szemcséjű talajok, ha $S_{0,063} \leq 5\%$ és $3 \leq C_U < 6$ és szemeloszlásuk hiányos. – Vegyes szemcséjű iszapos és/vagy agyagos kavics és/vagy homoktalajok, ha $5\% \leq S_{0,063} \leq 15\%$ és szemeloszlásuk hiányos. – Vegyes szemcséjű erősen iszapos és/vagy agyagos kavics és/vagy homoktalajok, ha $15\% \leq S_{0,063} \leq 40\%$ és $I_p \leq 10\%$ és $8\% \leq w_n \leq 18\%$. – Finom szemcséjű talajok, ha $10\% < I_p \leq 25\%$ és $10\% \leq w_n \leq 20\%$. – Mállásra nem hajlamos, kissé változó szemeloszlású közettörmelékek, ha legnagyobb szemcseméretük nem nagyobb 200 mm-nél.
M-4	elfogadható	– Durva szemcséjű kissé szerves talajok, ha $C_U > 3$. – Finom szemcséjű talajok, ha $25\% < I_p \leq 40\%$ és $12\% \leq w_n \leq 24\%$. – Mállásra nem hajlamos, kissé változó szemeloszlású közettörmelékek, ha legnagyobb szemcseméretük nem nagyobb 320 mm-nél.

Jel	Földműépítésre való alkalmasság	Besorolási kritériumok az azonosító talajfizikai jellemzők alapján
M-5	kezeléssel alkalmassá tehető	<ul style="list-style-type: none"> – Durva szemcséjű talajok, ha $C_U < 3$. – Vegyes szemcséjű erősen iszapos és/vagy agyagos kavics és/vagy homoktalajok, ha $15 \% \leq S_{0,063} \leq 40 \%$ és $I_P \leq 10 \%$ és $w_n < 8 \%$ vagy $w_n > 18\%$. – Finom szemcséjű talajok, ha $10 \% < I_P \leq 25 \%$ és $7 \% < w_n < 10 \%$ vagy $20 \% < w_n < 24 \%$. – Finom szemcséjű talajok, ha $25 \% < I_P \leq 40 \%$ és $8 \% < w_n < 12 \%$ vagy $24 \% < w_n < 28 \%$. – Aprózódásra és mállásra enyhén hajlamos és/vagy változékony szemeloszlású közettörmelékek.
M-6	nem alkalmas	<ul style="list-style-type: none"> – Finom szemcséjű talajok, ha $10 \% < I_P \leq 25 \%$ és $w_n \leq 7 \%$ vagy $w_n \geq 25 \%$. – Finom szemcséjű talajok, ha $25 \% < I_P \leq 40 \%$ és $w_n \leq 8 \%$ vagy $w_n \geq 30 \%$. – Finom szemcséjű talajok, ha $40 \% < I_P$. – Közepesen vagy nagyon szerves talajok. – Szikes talajok. – Mállásra hajlamos talajok vagy kőzetek. – Azok a talajok, melyeknek a módosított Proctor-vizsgálattal meghatározott legnagyobb száraz térfogatsűrűsége $\rho_{dmax} < 1,65 \text{ g/cm}^3$.

7.1.22. Folytonosságot megszakító diszkontinuitások

A talajmodell kialakításában a résztvevő talajok anyagi tulajdonságain kívül alapvető szerepe van a diszkontinuitások helyének és jellegének egyaránt, mivel ezek a kőzetek vagy talajok vizsgált tömegének közel egységes viselkedését jelentősen megváltoztathatják. Szerepük az egyes feladatok esetében (pl. lejtőállékony-sági, alapozási, szivárgási vizsgálatok) különösen jelentős lehet. Geotechnikai és építésföldtani értelemben diszkontinuitásoknak tekintjük azokat a – vizsgált földtani közeg nagyságához és a feladat sajátosságaihoz mérten jelentősebb kiterjedésű – síkbeli alakzatokat, melyek az egész földtani közeg vagy egy adott képződmény anyagának térbeli folytonosságát megszakítja, s ezáltal az egész földtani közeg vagy az adott képződmény – vizsgálat szempontjából egyébként közel egységes – viselkedését akár hátrányosan, akár előnyösen megváltoztatja. E meghatározás értelmében tehát diszkontinuitásnak tekintjük az eltérő anyagú és genetikájú (keletkezésű) képződményeket (talaj- és kőzetrétegeket) egymástól elválasztó határfelületeket, melyeket egyszerűbben réteghatároknak nevezünk. De ide kell sorolni egy adott talajrétegen belüli gyenge felületet vagy zónát (pl. átázott vagy cementált zóna) is, melynek mentén a talajfizikai jellemzők talajra jellemző átlagos értékei számottevően megváltoznak. A folytonossági hiányok jellemzően a keletkezési körülmé-

nyekben beálló változásokat jelzik, de lehetnek utólagos mechanikai hatások eredményei is. Ilyenek például a zsugorodási repedések vagy a korábbi tömegmozgások (pl. suvadás) által létrehozott csúszási felületek, de ilyenek a kőzetek vetői, törései, rései és tagoló felületei is. Az említett folytonossági hiányok feltárása és értelmezése a helyes talajmodell kialakításának alapfeltétele, s legalább olyan jelentőséggel bír, mint a rétegek talajfizikai jellemzőinek korrekt meghatározása.

S hogy törések, vetődések nem csak kőzetekben alakulhatnak ki, arra mutat egy szemléletes példát a 9. színes tábla (lásd a *Tankönyv* végén), mely a miocén kori kavicsos homok deltaüledékben kialakult, tektonikus eredetű vetődéssel keletkezett tagoló felületeket mutat be (a szerzők felvétele). Ezen jól látszik, hogy az egyébként tömör talajtömegben kialakult vetősík mentén a talaj kissé fellazult, s ezt a zónát a szivárgó vizekből kivált mésztöltő ki. Az ilyen tagoló síkok, diszkontinuitások mentén a talaj nyírószilárdsága lecsökken, s ez a későbbiekben a földtömeg stabilitásvesztését is eredményezheti.

7.1.23. Talajok fejtési osztálya

A földmunkák költségeinek és azok elvégzése módjának (a szükséges gépek, felszerelések) meghatározása szempontjából fontos, hogy a munkával érintett talajok és kőzetek milyen fejtési osztályba tartoznak és a fejtés során milyen lazulási %-kal kell számolni. Ehhez nyújt segítséget a **6.1.8. pont**ban bemutatott 17. táblázat, melyben – az egységes és áttekinthető osztályozás céljából – a kőzetekre és a talajokra vonatkozó fejtési osztályokat összevontan közöljük.

7.1.24. Talajok minősítése földrengési szempontból

A földrengés elleni méretezés egyik tényezőjéről, a földrengés vízszintes referencia gyorsulási értékeiről az **5.1.2. pont**ban (lásd: 3. színes tábla) már esett szó. A méretezéshez szükséges másik tényező a felszíntől számított 30 méteres mélységig terjedő talajzóna rétegződési sajátosságainak, illetve a vízszintes nyíróhullám erre a zónára érvényes átlagos sebességének függvénye. E két tényező együttes értékelése alapján határozható meg az altalaj földrengés szempontjából érvényes besorolása, azaz a földrengési talajosztálya. A földrengési talajosztály meghatározására alkalmas besorolást a 47. táblázat foglalja össze EC8 alapján.

47. táblázat. Talajok besorolása földrengés szempontjából

Föld-rengési talaj osztály	A 30 m vastag felső talajszelvény jellemzése	Talaj paraméterek		
		$V_{S,30}$ (m/sec)	N_{SPT} (ütés/ 30cm)	c_u (kPa)
A	Szilárd kőzet vagy közetszerű geológiai képződmény, amelyet legfeljebb 5 méter vastagságú gyengébb fedőréteg takar.	> 800	–	–
B	Nagyon tömör homok–kavics vagy kemény iszap–agyag rétegek jelenléte legalább több tíz méteres vastagságban, melyek a mélységgel fokozatosan javuló szilárdsággal rendelkeznek.	360 – 800	> 50	> 250

Föld- rengési talaj osztály	A 30 m vastag felső talajszelvény jellemzése	Talaj paraméterek		
		$V_{S,30}$ (m/sec)	N_{SPT} (ütés/ 30cm)	c_u (kPa)
C	Tömör vagy közepesen tömör homok–kavics vagy merev iszap–agyag rétegek jelenléte több tíz vagy több száz méteres vastagságban.	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Laza vagy közepesen tömör homok–kavics talaj (esetleg kevés puha kötött réteggel) vagy túlnyomóan puha–gyúrható iszap–agyag talaj.	< 180	< 15	< 70
E	5–20 méter vastag „C” vagy „D” osztályú réteg, mely alatt „A” osztályú ($V_S > 300$ m/sec) rétegek helyezkednek el.		–	
S₁	Legalább 10 méter vastagságban puha, nagy víztartalmú és nagy plaszticitású ($I_P > 40$ %) agyagot tartalmazó talajszelvény.	< 100	–	10 – 20
S₂	Folyósodásra hajlamos vagy érzékeny agyag rétegek, illetve minden olyan talajszelvény, mely nem sorolható az „A”–„E”–„S ₁ ” osztályba.		–	

Megjegyzés. A földrengési talajosztály és az említett referencia gyorsulás ismeretében határozható meg a méretezéshez alkalmas gyorsulási válaszspektrum.

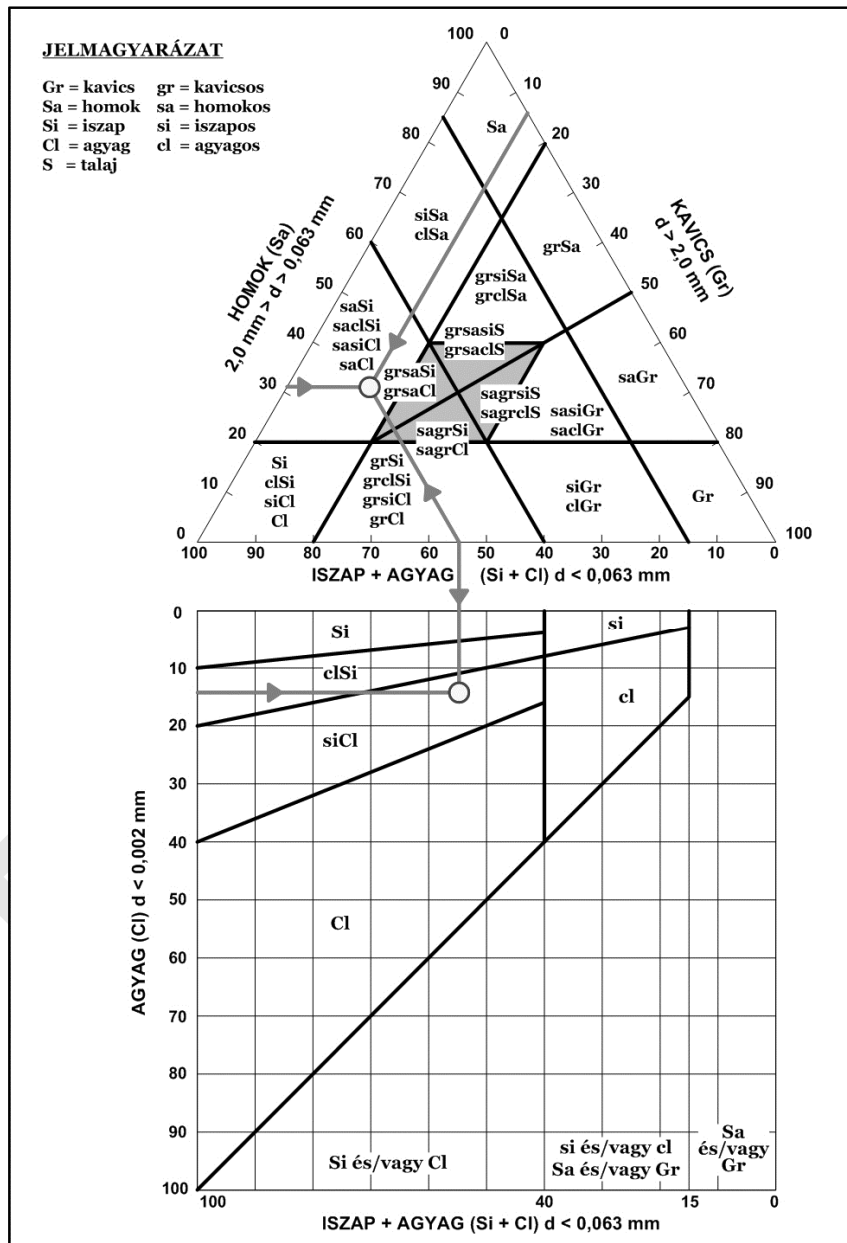
7.2. Talajok geotechnikai azonosítása és osztályozása

A talajok EC7 szerinti geotechnikai azonosítása és osztályozása a talajazonosító vizsgálatokkal történik. Ez azt jelenti, hogy a *finomszemcsés* iszap és agyag (a jellemzően összeálló és kohéziós) talajok esetében plaszticitási vizsgálatot (az Atterberg-határok meghatározását), míg a *durvaszemcsés* homok és kavics (a jellemzően széteső, szemcsés szerkezetű) talajok esetében a szemeloszlási vizsgálatot (a szemcseösszetétel meghatározását) kell elvégezni. Amennyiben a plasztikus vizsgálat eredménye $0 < I_P < 10$ % értéket ad (ezeket átmeneti talajoknak is szokás nevezni, mivel átmenetet képeznek az egyértelműen finomszemcsés és az egyértelműen durvaszemcsés talajok között), akkor a talaj korrekt azonosításához a szemeloszlási vizsgálat elvégzése is szükséges. Mivel a talajok finomszemcsés és durvaszemcsés összetevői közötti határvonalat a $D = 0,063$ mm-es szemcseméret jelenti, ezért a $D < 0,063$ mm méretű szemcséket 50 %-nál nagyobb mennyiségben tartalmazó talajokat a finomszemcsés talajok, míg a $D > 0,063$ mm méretű szemcséket 50 %-nál nagyobb mennyiségben tartalmazó talajokat a durvaszemcsés talajok közé soroljuk.

A *plaszticitási vizsgálat* eredménye szerint a talajok azonosítása és osztályozása a **7.1.7. pontban** közölt 33. táblázat szerint történhet.

A *szemeloszlási vizsgálat* eredményei alapján a talajok azonosítása és osztályozása az egyes szemcsefrakciók százalékos arányának figyelembe vételével történik. Erre vonatkozóan a 34. ábra szerinti (az MSZ EN ISO 14688-1:2018 alapján, a szerzők által újraserkesztve) eljárást, vagyis a szemeloszlás alapján a 34. ábrán lát-

ható diagramokat kell alkalmazni. A szemeloszlás adataiból megállapítható a talaj felső, háromszög diagramon elfoglalt helye, melyet a bekarikázott pont jelez. A talaj annak a tartománynak a nevét kapja, melybe a pont esik. Az alsó, négyszög diagram az iszap és az agyag frakciók elkülönítését szolgálja, a bekarikázott pont ez esetben is a szemszerkezeti vizsgálat eredményét mutatja, s ennek helye alapján lehet az „iszapos” vagy „agyagos” jelzők közül választani. A nyilak a bekarikázott pont helyzetének meghatározási módját mutatják. Az ábrán látható példában a talaj megnevezése: homokos, iszapos agyag (sasiCl). Az ilyen talajt azonban már a plaszticitási vizsgálat eredménye alapján kell osztályozni.



34. ábra. A talajok azonosítása és osztályozása szemeloszlási vizsgálat alapján

Megjegyzés. Az Amerikai Egyesült Államokban és Nyugat-Európa egyes országaiban már régóta alkalmazzák az ún. egyesített amerikai talajosztályozási rendszert, melynek alapját szintén a talajazonosító vizsgálatok képezik. Az EC7 hazai bevezetésével már ez a talajosztályozási rendszer is alkalmazható (48. táblázat).

48. táblázat. Az egyesített amerikai talajosztályozási rendszer

Összetétel		Megnevezés	Jel		
Durvaszemcsés talajok. $A D > 0,063$ mm-es szemcsék súlyaránya nagyobb, mint 50 %.	Kavicsok. $A D > 2$ mm-es szemcsék súlyaránya nagyobb, mint 50 %.	Tiszta kavics. $A D < 0,63$ mm-es szemcsék súlyaránya kisebb, mint 5 %.	Jól graduált (osztályozatlan) kavics vagy homokos kavics.	GW	
			Rosszul graduált (jól osztályozott) kavics vagy homokos kavics.	GP	
		Kevert kavics. $A D < 0,063$ mm-es szemcsék súlyaránya nagyobb, mint 12 %.	Iszapos kavics vagy iszapos, homokos kavics.	GM	
			Agyagos kavics vagy agyagos, homokos kavics.	GC	
	Homokok. $A D < 2$ mm-es szemcsék súlyaránya nagyobb, mint 50 %.	Tiszta homok. $A D < 0,063$ mm-es szemcsék súlyaránya kisebb, mint 5 %.	Jól graduált (osztályozatlan) homok vagy kavicsos homok.	SW	
			Rosszul graduált (jól osztályozott) homok vagy kavicsos homok.	SP	
		Kevert homok. $A D < 0,063$ mm-es szemcsék súlyaránya nagyobb, mint 12 %.	Iszapos homok.	SM	
			Agyagos homok.	SC	
	Finomszemcsés talajok. $A D < 0,063$ mm-es szemcsék súlyaránya nagyobb, mint 50 %.	Kis plaszticitású iszap és agyag talajok. $W_L < 50$ %.	A finom rész jellemzően iszap frakció.	Kis plaszticitású iszap talajok (homokos iszap, kavicsos iszap vagy iszapos és agyagos finom homok).	ML
			A finom rész jellemzően agyag frakció.	Kis vagy közepes plaszticitású agyag talajok (homokos agyag, kavicsos agyag vagy sovány agyag).	CL
Kis plaszticitású szerves talajok (szerves iszap és szerves sovány agyag).			OL		
Közepes és nagy plaszticitású iszap és agyag talajok. $W_L > 50$ %.		A finom rész jellemzően iszap frakció.	Közepes vagy nagy plaszticitású iszaptalajok.	MH	
		A finom rész jellemzően agyag frakció.	Nagy plaszticitású közepes és kövér agyag talajok.	CH	
		Közepes vagy nagy plaszticitású szerves talajok (szerves közepes és kövér agyag).		OH	
Szerves talajok		Tőzeg és egyéb erősen szerves talajok.	PT		
Lössz, valamint egyéb löszeredetű vagy lösz jellegű talajok.			LO		

7.3. Hazánk jellemző talajainak és üledékegyütteseinek jellemzése és terepi felismerése

Ebben a fejezetben Magyarország felszíni és felszínhez közeli zónáiban leggyakrabban előforduló talajok és üledékegyüttesek terepi felismeréséről és legfontosabb tulajdonságairól lesz szó, valamint azok legfontosabb általános talajfizikai jellemzőinek tájékoztató jellegű, táblázatos összefoglalását adjuk. Még a gyakorló geotechnikusok között is akadnak szép számmal, akik azt gondolják, hogy a talajok terepi felismerése és osztályozása, valamint a legfontosabb talajfizikai jellemzők előzetes, műszaki becslés jellegű meghatározása viszonylag egyszerű, s már néhány éves rendszeres terepi és laboratóriumi gyakorlattal is viszonylag megbízhatóan elsajátítható. Ám a gyakorlati tesztek (lásd: [KÉZDI, 1972] 166. oldal) bebizonyították, hogy ez még a nagy tapasztalatú szakemberek esetében sem igaz. Vagyis a már kifejtett érzékelés és több évtizedes terepi, laboratóriumi gyakorlat mellett is bizony nagyot tévedhetünk! Egy adott feladat megoldása során felmerülő geotechnikai problémák tehát mindig csak a szükséges mennyiségű és típusú laboratóriumi vizsgálat segítségével oldhatók meg.

7.3.1. Gyakran előforduló talajok és üledékegyüttesek jellemzése

Az eddigiekben már átfogó, vázlatos képet kaphattunk a geotechnikai tevékenységről, a talajok és kőzetek kialakulásáról, valamint a talajfeltárások, a talajvizsgálatok, valamint a talaj- és kőzetfizikai jellemzők világáról. Most pedig ismerkedjünk meg a Magyarországon nagyobb területeket elfoglaló jellegzetes üledékegyüttesek és a leggyakrabban előforduló talajok jellemző tulajdonságaival, sajátosságaival.

A következőkben tehát:

- a folyóvíz hordalékkúpokról és teraszterületekről,
- a futóhomokos területekről,
- az ártéri síkságokról,
- a löszről és a lösz eredetű talajokról (löszderivátumokról),
- az agyagtalajokról általában és a térfogatváltozó agyagtalajokról,
- a lejtőüledékekkel fedett hegyvidéki és dombsági területekről,
- a szerves–tőzeges talajokkal rendelkező vizenyős (mocsaras, lápos) területekről,
- a mesterségesen feltöltött bányagödrök és mélyfekvésű területekről

lesz szó, melyek Magyarország szinte teljes területét lefedik.

Folyóvízi hordalékkúpok és teraszterületek

Hazánk jelentős mennyiségű, jó minőségű homok és kavics vagyonnal rendelkezik, mely egyben építőiparunk egyik igen fontos alapanyaga. Lelőhelyük jellemzően a pleisztocén kori folyóvízi hordalékkúpok térsége, melyek magyarországi elterjedését a korábbi 19. ábra térképvázlatán már bemutattuk. A kavics és homoktalajokkal tehát elsődlegesen a hordalékkúpok (teraszok) térségében találkozhatunk, melyek kialakulásáról a korábbiakban már szót ejtettünk, most az anyagi összetételüket és rendszerezésüket tekintjük át.

A vízfolyások üledékképződése nagyon változatos vízszintes és függőleges tagozódást mutat. A rétegek összetétele széles határok között változik. A durvaszemű

görgeteg–kavics mederüledékektől a finomszemű iszapig minden talajtípus megjelenik. A kisebb lokális területegységeket tekintve a rétegek sorrendje és települése a medervándorlás és a vízjárás szezonális változásai miatt meglehetősen változatos (lencsés kiékelődés, összefogazódás, keresztarétegzettség, változó rétegsorrend, réteghiány, rétegek ismétlődése). Regionális értelemben azonban már kimutatható bizonyos szabályszerűség. A forrásvidéktől a torkolat felé haladva a vízsebesség csökkenésével arányosan csökken az üledékek átlagos szemcsemérete. Ugyanilyen finomodás mutatható ki a medertől való távolság növekedésével is. Az is megfigyelhető, hogy a folyóvízi üledékek kiterjedése (medertől mért távolsága) a torkolat felé – többnyire – fokozatosan nő.

49. táblázat. A magyarországi folyóvízi teraszok száma, kora és a Budapest környéki teraszszintek magassága a Duna „0” szintje (= 94,97 m Bf.) felett

Terasz száma	Terasz kora	Budapest környéki teraszszintek (m)
I.	ó-holocén	3 – 5
II/a.	felső-pleisztocén vége (Würm-glaciális vége)	9 – 12
II/b.	középső-pleisztocén vége (Riss-glaciális)	14 – 20
III.	középső-pleisztocén közepe (Mindel–Riss interglaciális)	25 – 45
IV/a.	középső-pleisztocén eleje (Günz–Mindel interglaciális)	45 – 55
IV/b.	alsó-pleisztocén vége (Duna–Günz interglaciális)	55 – 70
V.	alsó-pleisztocén közepe (Biber–Duna interglaciális)	95 – 120
VI.	felső-pliocén – alsó-pleisztocén határ	170 – 230
VII.	felső-pliocén közepe (Levantikum)	210 – 280
VIII.	felső-pliocén eleje (felső-pannon)	300 – 350

A hordalékkúpok teraszait koruk szerint választjuk szét. Ha a folyó teraszrendszerének felépítése tisztázható, akkor római számmal jelölik, melyek rendszerét hazánkban a Dunára és mellékfolyóira dolgozták ki, s ezt a 49. táblázatban mutatjuk be, a szakirodalmi adatok feldolgozása alapján. Az egyes teraszok pontos kora és szintje (s ezáltal száma) még jelenleg is vitatott, az ilyen esetekben a legelfogadottabbat jelöltük. A teraszképződés sajátosságai miatt (lásd az 5. színes táblát a *Tankönyv* végén) mindig a fiatalabb, vagyis az alacsonyabb helyzetű (szintű) terasz viseli a kisebb számot, s a szintben felette lévő, idősebb teraszokat rendre egyre nagyobb számmal jelöljük.

A hordalékkúpok összetétele a laza, némi iszap tartalommal is rendelkező, kavicsszórványos homoktól a nagyon tömör, görgeteges vegyes kavicsig terjed. A teraszos megjelenésű hordalékkúpok anyagára általánosan jellemző, hogy a teraszok korának előrehaladtával (vagyis sorszámuk növekedésével) anyaguk tömörsége nő és szemszerkezetük is egyre durvábbá válik. Ennek megfelelően az I. számú terasz jellemzően csak közepesen tömör (esetleg laza) iszapos homok vagy kavicsszórványos homok némi iszap tartalommal, esetleg aprókavicsos homok anyagú. A kissé idősebb II/a., II/b., III., IV/a és IV/b. jelű teraszok anyaga közepesen tömör vagy

tömör és többnyire kavicsos homok, homokos kavics összetételű, változó (de általában alacsony) iszaptartalom mellett. A jóval idősebb V., VI., VII. és VIII. számú teraszok anyaga már többnyire nagyon tömör homokos kavics és kavics anyagú, melyben már a görgeteg, egyes esetekben a nagyobb kőtömbök is megjelennek. Említésre érdemes még, hogy a kifejezetten durvaszemű terasz üledékekben sokszor találhatunk vékony, sokszor csak néhány cm-es vastagságú iszap–agyag lencsüket vagy zsinórokat. Megfigyelhető továbbá, hogy az idősebb teraszok vagy a hordalékkúpok kezdeti szakaszának területén (a hegylábak alján vagy a síkságra történő kilépés térségében) lerakódott teraszrészek anyagában helyenként az agyag frakció is kimutatható. Mivel a szemnagyság többnyire fordítottan arányos a szállítási úthosszal, ezért a kisebb szemcsék viszonylag koptatottak (bár közel sem annyira, mint az azonos szemcseméretű futóhomok anyaga), míg a nagyobb darabok szögletesebbek, törmelékes jellegűek. A folyóvízi teraszok anyaga mindig tartalmaz több-kevesebb pici, de fényes csillám-darabot (ezek muszkovit kristály pikkelyek) is, melynek népies elnevezése a „bolondok aranya”. A teraszüledékek általában kedvező teherbírással rendelkeznek és összenyomhatóságuk is alacsonyabb az általában szokásosnál. Ezzel szemben omlékonyak, s a finomabb szemcsék viszonylagos mobilitása miatt esetenként erózióveszélyesek és az erős vízáramlás hatására talajkimosódás, kiüregelődés is létrejöhethet. A terasz üledékek esetében – helyenként és a vízzel telített részeken – számolhatunk a talaj megfolyósodásával (hidraulikus talajtörés kialakulásával) is.

Futóhomokos területek

Az előbbieken említett folyóvízi hordalékkúpok és teraszterületek felszínét igen sok helyen futóhomok fedi. Ezek főként az alföldi területeken (pl. Duna–Tisza köze, Nyírség) és a nagyobb folyóvölgyek (pl. Duna, Kapos) teraszain találhatók, de sok esetben az ezeket határoló hegyláb felszíneken is fellelhetők, általában a felszínen vagy annak közvetlen közelében települve. Eredetét tekintve a közeli hordalékteraszok anyagából kifújtt és újra lerakott homok. Jellemzője a környezeténél, s az átlagosnál változékonyabb mikrodomborzat, ami részben még ma is őrzi az egykori mozgó homokbuckák morfológiáját és jelzi az akkor uralkodó szél irányát. Ezeken a területeken kisebb homokdombok („bálnahátak”), hullámos szélbarázdák, homokfodrok, lefolyástalan széllyukak alakultak ki. A Kisalföldön, a Duna völgyében és a Duna–Tisza-közén található nagyobb kiterjedésű futóhomokos területeken a barázdák (buckák) a szél hatására még a történelmi időkben is mozogtak, lassan vándoroltak az uralkodó szélirány mentén. Anyagát az elmúlt évszázadokban – főként akácfák ültetésével – már megkötötték, de néhol (pl. Illancs környékén) és kis területre korlátozódva még ma is mozgó formájában tanulmányozhatjuk. Vastagsága jellemzően csak néhány méteres, de néhol a több tíz métert is elérheti.

A futóhomok anyagát koptatott, legömbölyített finom és közepes homokszemcsék alkotják, elhanyagolható iszaptartalommal. A szél általi szállítás eredményeként jól osztályozott, közel egyszemcsés, jellemzően laza üledék, mely általában a $C_U < 6$; $C_C < 1$; $0,1 \text{ mm} < D_m < 0,6 \text{ mm}$; $0,06 \text{ mm} < D < 1,0 \text{ mm}$; $10 \% < I_D < 40 \%$ értékekkel jellemezhető. Belőle a folyóvízi üledékekre annyira jellemző csillám

pikkelyek szinte teljesen hiányoznak. A laza szemszerkezet miatt már természetes állapotban is viszonylag nagymértékű összenyomhatósággal kell számolni. A már terhelt és az ennek megfelelően némiképp összenyomódott, konszolidálódott talaj a későbbiekben fellépő rezgések (pl. közlekedés, szomszédos területen végzett vibrációs szádfalazás) és egyéb dinamikus hatások (pl. vert cölöpözés, robbantás) eredményeként utótömörödik, vagyis jelentős mértékű utólagos összenyomódások alakulnak ki. Sajátos tulajdonsága továbbá, hogy vízzel telített állapotban – pl. a talajvízszint alatt – folyósodásra, vagyis hidraulikus talajtörésre hajlamos („folyós”, vagy népiesen „fosó” homok), ami különösen a mélyebb munkateretek vagy a hosszabb munkaárkok esetében jelenthet veszélyforrást. Az említett tulajdonságok miatt vízáramlás hatására felszíni erózióra, valamint (pl. a csőrepedések vagy koncentrált vízszivárgások környezetében) talajkimosódásra és kiüregelődésre is hajlamos. Ugyanezen okokból a 4. és 5. szeizmikus zónák területén a földrengések hatására a talajfolyósodás jelensége is felléphet, aminek eredményeként a talaj teherbírása egy rövid időre szinte teljesen megszűnik, s a rajta álló létesítmények akár több métert is lesüllyedhetnek.

Ártéri (alluviális) síkságok

A keletkezési körülményektől és a folyóvíz áramlási, hordalék szállítási sajátosságaitól függően igen változatos településű és összetételű üledékösszlet keletkezik a vízfolyások medrében és öntésterületén (alluviumán). Ezt jellemzően alacsony plaszticitású, és többnyire már a felszín közelében is telített állapotú finom szemcséjű talajok alkotják. A konkrét összetételt illetően általában iszapos finomhomok, finomhomokos iszap, iszap és agyag talajokról van szó. Az ártéri síkságok területére azonban jellemző, hogy az előbb említett talajok egymással viszonylag sűrűn váltakozó rétegegyüttest alakítanak ki, illetve az iszap és agyag rétegeket finomhomoklencsék vagy -erek, a homok rétegeket pedig iszap és agyag betelepülések tarkítják. A holtágak vagy lefolyástalan mélyületek térségében tavi agyag és szerves–tőzeges mocsári képződmények is kialakulhatnak. A nedves–vizenyős réteken pedig a réti agyag üledékei jelennek meg. Nem ritkák továbbá a meszes–sós, szikes talajok és a vékony réti-mészke rétegek sem.

E talajok terhelhetősége kisebb, összenyomhatósága nagyobb az átlagosnál, ezen felül pedig a fokozott vízérzékenység és a fagyveszélyesség jellemző rájuk. A vízérzékenység miatt a száraz és még viszonylag jó állapotú rétegek is könnyen átáznak és ennek hatására teherbírásuk nagymértékben lecsökken, terhelés hatására pedig jelentős összenyomódást szenvednek. A homok rétegeket az eróziós és kimosódási hajlam jellemzi. A vízzel telt, vagyis lényegében kétfázisú (víz + talajszemcse) iszap, illetve a homokos iszaptalajoknak van még egy további tulajdonsága is, s ez a rugózó hatás, amit a népnyelv „gumizás”-ként ismer. Ez azt jelenti, hogy az ilyen talajból álló szabad térszín a megterhelt helyen besüllyed, mellette pedig felpúposodik, majd a terhelés megszűntével a hullámos felszín ismét elsimul. Vagyis a talaj kitér a felületére ható terhelés alól, s a terhelést levéve ismét visszaáll az eredeti felszín. Ez azzal a következménnyel jár, hogy sem tömöríteni, sem építeni nem lehet rajta mindaddig, míg ki nem szárad, vagyis nedvességtartalma a kritikus szint alá

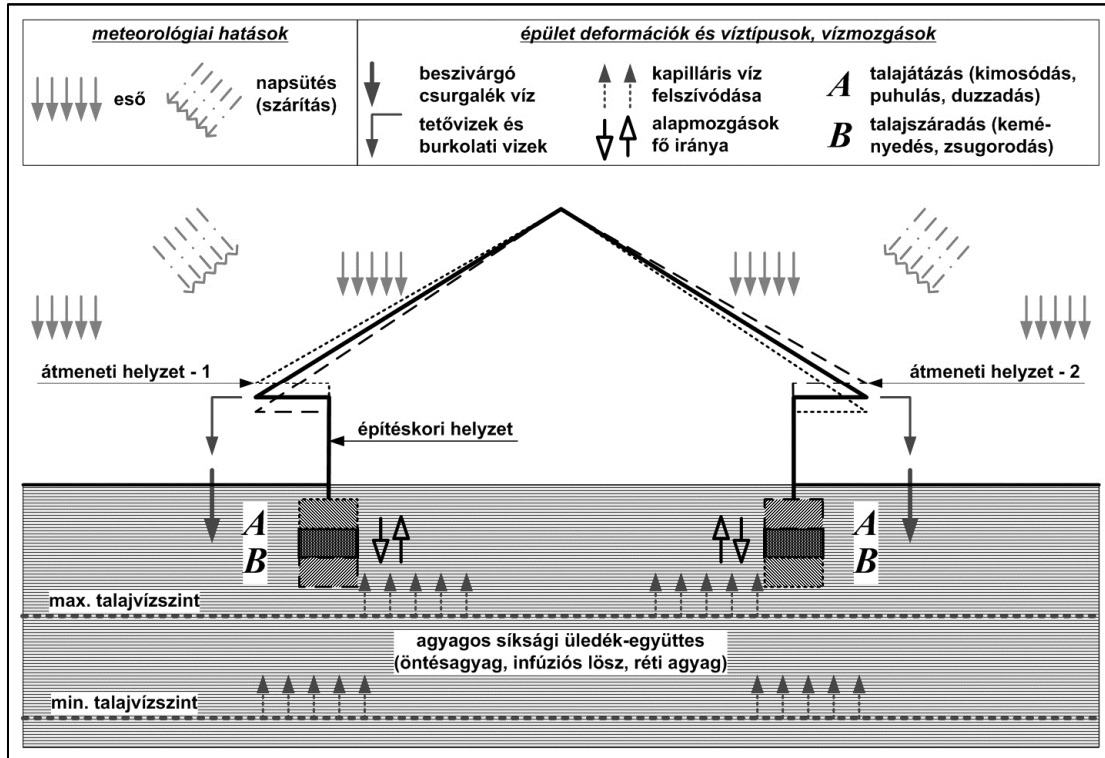
nem süllyed. Ez a tulajdonsága azonban csak a szabad felszínén fellépő helyi terhelésnél jelent problémát. Ha a talaj a mélyebb szinteken települ – vagyis a felette fekvő rétegek által leterhelten kitérése már gátolt, elmozdulásra nem képes (pl. az építési, kivitelezési munkák befejeztével) –, akkor ez a tulajdonsága már nem okoz nehézséget. Ugyanakkor a 4. és 5. szeizmikus zónák területén a homokosabb kifejlődésű részekben szintén a szeizmikus hatásokra bekövetkező talajfolyósodás okozhat problémákat.

Az ártéri síkságok a folyók mederlerakódásainak és öntéstalajainak anyagából épülnek fel, s a rétegek a folyóvíz időben és térben gyorsan változó vízjárása miatt igen változatos településűek és összetételűek. Az általában több tíz, esetenként néhány száz méteres vastagságú rétegsor többnyire – az ártér folyamatos feltöltődése miatt egyre lassabban haladó és egyre kanyargósabb, egyre finomabb hordalékot szállító folyóvíz eredményeként – alulról felfelé finomodik. Anyagát tekintve a lebegtetve szállított finom homok, iszap és agyag különböző arányú keverékéből áll. Ezek az üledékek anizotrópok, s vízáteresztő képességük függőleges irányban jóval kisebb, mint vízszintesen, és a horizontális vízvezető képesség is jelentősen nagyobb a partvonalakat kísérő övzátonyok mentén, mint rá merőleges irányban. A síksági árterek egyik speciális talajváltozata a réti agyag, mely erősen kötött, esetenként térfogatváltozásra is hajlamos talaj. A homok frakció jobbára csak a rétegsor kezdeti alsó, esetleg a befejező felső zónájában fordul elő. Helyenként, a lefűződött holtágokban kialakuló állóvizekben, az üledék már tavi–mocsári eredetű, melyet a szerves anyagokban gazdagabb, esetleg tőzeges összetétel jellemez.

Az ártéri síkságok talajadottságait tárgyalva még egy körülményről kell szót ejteni. Főként az Alföld D-i és DK-i térségeire jellemző, hogy viszonylag kevés csapadékkal, magas átlaghőmérséklettel és viszonylagosan sok napsütéssel rendelkezik. Ezek a meteorológiai hatások egy itt álló építmény esetében – a terület nyitottságából eredően és eltekintve a kisebb különbségektől – viszonylag kiegyenlítetten jelentkeznek. A 35. ábra (készítették a szerzők, lásd a következő oldalon) szemlélteti az iszapos–agyagos altalajú ártéri síkságok általános rétegződési, domborzati, meteorológiai és talajvíz viszonyait, s ezeknek az építményre gyakorolt hatásait.

Az építmények alapozása általában a nyári, viszonylag alacsony talajvízállásos időszakban történik. Az építést követően egyrészt mesterségesen megváltoztatjuk a területrészt eredeti felszíni vízvezetési és beszivárgási viszonyait, másrészt az évek során természetes módon, szezonálisan változik az alapok környezetében lévő talajtömeg vízháztartása is. A viszonylag nagymértékű talajvízszint ingadozás (3–6 m közötti) miatt a talajvízszint megemelkedésekor (maximális vízszint közeli állapot) a kapilláris zónában felfelé szívódó talajnedvesség (és sokszor maga a talajvíz is) eléri az alapokat, átáztatva az alatta lévő talajtömeget. A talajvízszint süllyedésekor (minimális vízszint közeli állapot) a kapilláris vizek már nem érik el az alapokat, így az ott lévő talajtömeg kiszárad. A váltakozó irányú (de a D-i irányból legerősebb) napsugárzás miatt a nyári időszakban a D-i oldalon lévő alapok körüli talajtömeg jobban, az É-i oldalon lévő alapok körüli talajtömeg pedig kevésbé szárad ki. Ezt a talajnedvességben jelentkező különbséget tovább növeli, hogy az É és ÉNy

felől jövő esők épp az É-i oldalon lévő alapok körüli talajtömeget áztatják jobban, míg ez az áztató hatás a D-i oldalon sokkal kisebb mértékű. Az általában elhanyagolt, leromlott állapotú vagy eleve rosszul megoldott vízvezetés (a tetővizek és az épület körüli felszíni vizek) miatt pedig helyileg hol itt, hol ott ázik át az építmény alapjai körüli talaj.



35. ábra. Az iszapos–agyagos altalajú síkságon álló épületet érő hatások és azok következményei

Mivel az iszap és agyagtalajok esetében az átázott talaj teherbírása – a száraz talajéhoz viszonyítva – jóval kisebb, így az ilyen talajkörnyezetben álló alaptest nagyobb mértékben süllyed, mint a száraz (vagy szárazabb) talajon álló alaptest. A nagy plaszticitású agyagtalajok esetében pedig még az átázás miatti duzzadás és a kiszáradásból eredő zsugorodás is hasonló süllyedési különbségeket okoz. Ezen felváltva és ciklikusan jelentkező hatások eredményeként az építménynek hol egyik, hol másik része süllyed vagy emelkedik meg jobban. Ezek az egyenlőtlen és ciklikusan ismétlődő alapmozgások az építmény károsodásához vezet(het)nek. Természetesen a leírt folyamatok csak az általános tendenciákat mutatják, egy konkrét építmény esetében a tényleges folyamatok és azok hatásai, valamint a keletkező károk helye és nagysága mindig a vizsgált építmény tényleges adottságainak (pl. alaprajz, szerkezet, merevség, terhelések, tájolás, domborzati viszonyok, talajadottságok, alapozási viszonyok) függvénye.

Lösz és lösz eredetű talajok (löszderivátumok)

Magyarország egyik legjellegzetesebb talaja az eolikus eredetű, vagyis a szél ál-

tal szállított és lerakott lösz (hullópor), mely a szeles és hűvös vagy meleg, de kifejezetten csapadékszegény éghajlaton, az általában tágas és füves síkságokon (sztyepp) keletkezett. Hazánkban a pleisztocén kori glaciális (eljegesedési) időszakokban, főként a pleisztocén kor végén (Würm-glaciális) alakultak ki nagyobb lösztakarók, melyek kisebb-nagyobb elterjedésben az ország mintegy harmadát beborítják. A típusos lösz és a löszváltozatok jellemzően átlagos teherbírással rendelkeznek és viszonylag állékony talajok. Ugyanakkor víz szempontjából hazánk legérzékenyebb talajai, mert nagyon könnyen, gyorsan átáznak és ennek hatására nem csak a teherbírásuk csökken számottevően, de – és ez főleg a makroporozus, típusos lösz esetében jelentős – ezen felül a terhelés miatt fellépő és hirtelen bekövetkező, nagymértékű roskadásuk is problémákat okoz. A lösztalajok fokozottan fagyveszélyesek, vagyis a fagyási és az olvadási károkra egyaránt hajlamosak. A talajfagy hatására ugyanis gyorsan növekvő jéglencsék képződnek, melyek megemelik a rajta lévő burkolatokat vagy kis terhelésű épületeket, kerítéseket. A jéglencsék olvadásakor pedig a környező talaj erősen átázik („elsárosodik”), ami viszont a teherbírás számottevő csökkenését eredményezi. Alacsony kohéziója és finomszemcsés összetétele miatt felszíni erózióra, talajkimosódásra és kiüregelődésre is hajlamos.

Az *elsődleges vagy típusos lösz* jellemző elterjedési területei a Mezőföld, Somogy, Tolna, Baranya, Mátraalja, Hajdúság, Gödöllői-dombság. Ezeket átlagosan 2–30 (a Mezőföld dunai magaspártjai mentén 40–65) m-es vastagságú összefüggő takaróként fedi. Jellegzetes megjelenési formái a függőleges löszfalak (pl. Duna-földvár, Paks), a keskeny lösz-mélyutak, a löszdolinák. Jellemző szemcsemérete 0,01–0,06 mm közötti. A magas karbonát-tartalom (20–25 %) és a mészkonkréciók („löszbaba”) jelenléte, valamint a jellegzetes mészváz, többnyire makroporozus (másként makropórusos) szerkezet jellemzi. Hézagtenyezője jellemzően $e = 0,7–1,2$ közötti. Magas karbonáttartalma a lerakódáskori száraz éghajlat eredménye, mivel ilyen körülmények között nem volt lehetőség a mésznek víz általi kioldódására. A makroporozus szerkezet pedig a gyors üledéklerakódásnak „utána növe” és idő közben elhalt, elbomlott növényzet szárainak, gyökereinek helyén kialakult járatok, házagok összessége. A típusos lösz esetében víz hatására (pl. beszivárgó csapadékvíz vagy csurgalékvíz) a mészváz gyorsan feloldódik, s az így belső megtámasztását elvesztett és amúgy is jelentős pórustérfogattal rendelkező talajszerkezet a terhelés következtében azonnali és nagymértékű összenyomódást, azaz roskadást szenved. Ennek nagysága a terheléstől, a porozitástól és a rétegvastagságától függően általában 5–30 cm között változik, de esetenként [RÉTHÁTI, 1995] a 100 cm-t is meghaladhatja. A típusos lösz általában $q_u = 100–190$ kPa egyirányú nyomószilárdsággal és $E_{oed} = 4–7$ MPa összenyomódási modulussal jellemezhető. A típusos lösz anyagát helyenként a többnyire néhány dm-es vastagságú és vörösesbarna–barna színű vályogzónák (általában sovány agyag) tagolják, melyek az egykori kissé nedvesebb időszakok fosszilis talajzónáinak maradványai.

A *másodlagos lösz* (mondják löszszármazéknak, löszderivátumnak és lösz eredetű talajnak is) átlagosan 1–15 m vastagságban található.

A Dunántúli-dombság domboldalainak nagy részét (főleg Somogy és Tolna megyékben) és a hegységeink hegylábi lejtőit borítja az általában többszörösen átmoz-

gatott, átmosott és némi kötőmelékkel vagy homokkal is keveredett lejtőlösz, illetve elagyagosodott löszvályog formájában.

A Nyírség területét és a Duna–Tisza-közének egy részét is szinte teljesen befedi a hullópor homokkal keveredett anyaga, mely löszös homok és a homokos lösz változatban települ több méteres vastagságban.

Az Alföld területének főleg középső és D-i részének nagy területeit fedi néhány méteres vastagságban a nedves–vizenyős térszínen leülepedett infúziós lösz, vagy az árterek áthalmazott lösziszap, löszös homok és homokos lösz anyaga.

Az Alföld vízszegény, száraz laposainak területén néhol vékony szikes lösszel fedett térségeket is találhatunk.

A felsorolt löszféleségek szintén a hullóporból jöttek létre, csak a leülepedésük körülményei és ezáltal szerkezetük, összetételük különbözik a típusos lösztől. E löszváltozatok talajfizikai tulajdonságai lényegében és nagyrészt a típusos lösszel megegyezők, csupán vízerzékenységük kisebb, roskadással pedig nem kell számolni.

Agyagtalajok általában és a térfogatváltozó tulajdonságú agyagtalajok

A *hegylábak és a domboldalak* területén igen sok helyen felszínre bukkan a Kárpát-medencét nagy vastagságban kitöltő harmadidőszaki medenceüledékek anyaga, melyek jelentős része oligocén és miocén kori tengeri agyag (pl. „tardi”, „kiscelli” vagy „bádeni” agyag). Ezek az agyagok a később rájuk települt – esetenként több száz méter vastag – rétegek súlya alatt a geoztatikus terhelésnek megfelelő mértékig tömörödött, vagyis konszolidálódott. Időközben azonban a fedőrétegek nagy része vagy egésze lepusztult, így tehát ezek az agyag rétegek a jelenlegi geoztatikus terheléshez képest (tehát relatív értelemben) túlkonszolidált állapotúak. Ebből következően többnyire tömör és kemény talajállapotúak, jól terhelhetőek és kedvező hordképességűek. Ilyen eredetű összefüggő agyag rétegek találhatóak például a nyugat-magyarországi Alpok-alja környékén, a Dunántúli-dombság területén (főként Zala-megye) és az Északi-középhegység D-i lábának lejtőin. Az egyébként is alacsony, de átázás hatására jelentősen tovább csökkenő belső súrlódási szög és az átázáskor szintén számottevően leromló kohézió miatt azonban a meredekebb lejtőket az időszakosan visszatérő gravitációs tömegmozgások, azaz lejtőmozgások jellemzik. Az ilyen területeken a lejtőmozgások mindaddig folytatódnak, amíg annak átlagos lejtőszöge el nem éri az 5–10 fokot.

Hazánk térfogatváltozó agyagtalajokkal borított nagyobb, összefüggő területeit vázlatosan a következő oldal 36. ábrája mutatja.

A nagyobb kiterjedésű és változó plaszticitású agyagos altalajjal rendelkező lejtős területeken (domboldalak vagy hegyoldalak térségében) álló építményt több olyan meteorológiai hatás éri, melyek az agyagos altalaj sajátosságaival együtt jelentős mértékű – és károkat okozó – szerkezeti mozgásokat eredményeznek. A következő oldalon lévő 37. ábra (Schmertmann és Crapps vizsgálatai nyomán [RÉTHÁTI, 1995] alapján, a szerzők által átdolgozva) sematikusán ábrázolja az agyagos altalajú lejtő általános rétegződési, domborzati, meteorológiai és talajvíz viszonyait, s ezeknek az építményre gyakorolt hatásait.

A sematikus metszet egy D-i fekvésű (az építményt érő meteorológiai hatások az ilyen tájolás esetén a legszélsőségebbek) lejtőn álló építményt mutat, vázlatosan szemléltetve az általános rétegződési, domborzati és meteorológiai viszonyokat, s ezek építményre gyakorolt hatásait. A metszet szemlélteti azokat a folyamatokat is, melyek eredményeként az É–D esésű agyagos általajú lejtőkön, s az addig egységes és többé-kevésbé kiegyensúlyozott geohidrológiai viszonyokkal jellemezhető földtani közegben, egy építmény kialakítását követően – lényegében a mikro-meteorológiai viszonyoknak a beépítés következtében kialakuló változásai miatt – az általaj eddigi természetes vízháztartása felborul, egyenlőtlené válik. Általánosan megfigyelhető, hogy az építmény hegy felőli (vagyis az árnyékos, É-i fekvésű) oldalán megemelkedik, míg a völgy felőli (vagyis a napsütötte, D-i fekvésű) oldalán csökken a talaj átlagos víztartalma a zavartalan eredeti állapot átlagához képest, ugyanakkor az építmény alatti talajtömegben (a fedettség miatt) időben többé-kevésbé változatlan marad a talaj víztartalma. Ebből fakadóan az építmény alatt relatíve kevesebb, illetve több lesz a talajnedvesség, mint annak É-i és D-i oldalán. Mindezek eredményeként az építmény egyenlőtlen mozgásaira – főként annak lejtőirányú billenésére, valamint az alapok egyenlőtlen mértékű elmozdulásaira, szétcsúszására – kell számítani. Természetesen ez a hatásmechanizmus csak az általános tendenciákat írja le, egy adott konkrét létesítmény esetében a tényleges folyamatok és azok hatásai mindig a vizsgált objektum tényleges adottságainak (mint ahogyan arról korábban már volt szó, pl. alaprajz, szerkezet, merevség, terhelések, tájolás, domborzati viszonyok, talajadottságok, alapozási viszonyok) függvénye.

Az agyagtalajok sajátos tulajdonságairól már az eddigiekben is volt szó, de kiegészítésként – a most vizsgált témához közvetlenül kapcsolódóan – a következőket kell még megemlíteni. Hazánk számos területén közvetlenül a felszínen található az egykori tengervízben leülepedett agyagos képződmények. Ennek az egyébként viszonylag magas plaszticitású, tömör, túlkonzolidált agyagtömegnek a felszíni, több méter vastag zónája – részint a nagy vastagságú fedőrétegek geológiai időléptékben pillanatszerűen gyors lepusztulásának eredményeként fellépő geosztatikus terheléscsökkenés miatt, részint az atmoszferikus hatások eredményeként – kissé fellazult és mozaikos szerkezetűvé vált. A mozaikos szerkezetű réteg mikrorepedéseibe, illetve a kiszáradáskor kialakuló mély talajrepedésekbe beszivárgó csapadékvizek, valamint a kőzetlisztes (iszapos) talajzónákban mozgó rétegvizek az érintett talajtömeg nagy részét időszakosan vagy állandóan átáztatják. Ennek következtében helyileg az agyagtalajok belső súrlódási szöge 5–10 fokra, kohéziója pedig 15–30 kN/m²-re is lecsökkenhet, s ez a lejtők stabilitásvesztéséhez vezethet. Az ilyen jelenségekre főként a közel függőleges talajrepedések, a réteglapokkal közel párhuzamos kőzetlisztes erek, valamint a korábbi évezredek fosszilis lejtőmozgásainak csúszólapjai mentén lehet számítani. Ezzel, illetve az ennek következtében létrejött korábbi lejtőmozgásokkal magyarázható egyébként az ezeken a területeken lévő lejtőoldalak viszonylag alacsony hajlásszöge is.

De nem csak a magaslatok környékén, hanem az *ártéri síkságokon* (pl. Alföld) is találkozhatunk pleisztocén–holocén kori agyagos öntéstalajokkal vagy réti agyagtalajokkal. Mivel ezek a talajok a jelenlegi felszínen települnek, rájuk csak saját sú-

lyuk hat, így a konszolidációs folyamatok még nem zajlottak le (vagy csak annak elején tartanak), ezért relatíve alulkonszolidáltak minősíthetők. Ebből eredően általában vagy annál rosszabb talajállapottal és teherviselő képességgel jellemezhetők.

Magyarország területének egy részét az ilyen jellegű talajok borítják, amit az ország területén elszórtan szinte mindenütt fellelhető vályogvető-gödrök, agyagbányák és téglagyárak is bizonyítanak. E talajok közös jellemzője a vízérzékenység és a fagyérékenység. Ezen felül jelentős részük nagy plaszticitású ($I_P \geq 25\%$ vagy $w_L \geq 40\%$) és/vagy térfogatváltozó tulajdonságú ($\varepsilon_l \geq 5\%$) is. Az ilyen talajok egyik sajátossága, hogy a térfogatváltozó tulajdonságból eredően – annak nagyságától függően – kisebb-nagyobb mértékű károkozó hatással is rendelkeznek. A nagy plaszticitású agyagtalajok az igen finom szemszerkezet – vagyis az igen nagy fajlagos felület – és a talajalkotó agyagásványok sajátos kolloidkémiai tulajdonságai miatt jelentős mennyiségű víz megkötésére alkalmasak, ugyanakkor pedig a szabad vízmennyiség leadása igen lassú folyamat. Ezek okozzák az ilyen talajokra általánosan jellemző térfogatváltozó tulajdonságot, valamint a terhelések hatására kialakuló konszolidációs és süllyedési folyamatok időben elhúzódó, lassú lezajlását, valamint a viszonylag nagymértékű összenyomhatóságot.

A *térfogatváltozó tulajdonság* azt jelenti, hogy a száraz (w_θ) állapotú agyagtalajok a zsugorodási határt (w_s) meghaladó vízfelvétel során először térfogatukat növelik, majd, amikor a talaj nedvességtartalma eléri a kritikus víztartalom ($w_{krit} = w_T = \text{telítési határ}$) értékét, a duzzadás megáll. E jelenség fordítottja zajlik le a már teljesen átázott (vagy az ennél alacsonyabb természetes nedvességtartalommal (w_n) rendelkező) agyagtalajok kiszáradásakor. A nedvességtartalom csökkenésével – a telítési határ átlépését követően – a talaj térfogata csökkenni kezd, majd a zsugorodási határ elérésekor ismét térfogat-állandóság lép fel. E talajféleségek pillanatnyi teherbírása természetesen a térfogatváltozáson és az ezzel együtt járó duzzadási nyomáson kívül a nedvességtartalomtól is függ, vagyis azzal fordított arányban változik. E meglehetősen bonyolult folyamat eredményeként tehát a fokozatosan átmedvedő agyagtalajok a duzzadási nyomásnál (ez általában 50–500 kPa között változhat) alacsonyabb talpfeszültségű alapokat megemelik, az annál nagyobb terhelésű alapok természetesen nem mozdulnak. További víztartalom növekedés során (rétegvíz, csurgalékvizek vagy talajvíz hatására bekövetkező teljes átázás esetében) a talaj terhelhetősége rohamosan csökkenni kezd, mely a terhelt talajtömeg egyre nagyobb összenyomódásához vezet. Ez a talajösszenyomódás azonban a duzzadási nyomásnál jobban terhelt alapok alatt már jóval a kritikus víztartalom elérése előtt megindul. Az ilyen tulajdonságú talajok kiszáradásakor viszont a rajta álló alapok – tekintet nélkül a talpfeszültség nagyságára – a zsugorodás mértékének megfelelően süllyednek (függetlenül attól, hogy a talajnedvesség csökkenésével természetesen fokozatosan nő az agyagtalaj teherbírása). Mindezek alapján az alapok tényleges talpfeszültsége és az altalaj építéskori víztartalma már alapvetően meghatározza az ilyen típusú talajokra állított építmények későbbi sorsát. A valamely ok miatt (pl. csapadékos időszak, rétegvizes terület) nedves agyagtalajra épített alapok tehát a későbbiekben általában megsüllyednek; a csapadékszegény időszakban vagy száraz agyagtalajon kialakított alapok pedig többnyire megemelkednek. A térfogatváltozó

agyagtalajokon álló építmények esetében tehát (különösen akkor, ha a talpfeszültség a duzzadási nyomás alatt van) a talaj nedvességtartalmának függvényében emelkednek vagy süllyednek az alapok. Általános esetben az ilyen okokra visszavezethető függőleges talajmozgások többnyire 1–10 cm között változhatnak, melyek az építmény károsodását okozhatják. Természetesen a térfogatváltozás során az alapozási szerkezeteken nem csak függőleges, hanem vízszintes irányú elmozdulások is fellépnek. Az építményen belüli (alatti) és az építmény körüli (melletti) talajtömegek nedvességtartalmának változásától függően ez az alaptestek relatív távolodását vagy közeledését egyaránt előidézhetheti. Az említett térfogatváltozási jelenségek – alapvetően a természetes meteorológiai viszonyokkal szinkronban – időben váltakozó irányultságot (száradás → zsugorodás és átázás → duzzadás) mutatnak. Szélsőséges esetben pedig az is megtörténhet, hogy az építmény más-más részein (pl. az É-i és D-i oldala vagy a hegy- és völgyoldali része) egy időben mindkét, egymással ellentétes hatás érvényesül.

Az agyagtalajok előzőekben már említett sajátosságaiból következően azok *konzolidációs folyamatai* évekig is tartanak, illetve esetenként – különösen a nyírószi-lárdsághoz közeli igénybevételek alkalmával – a progresszív kúszás (a talaj igen lassú, alig érzékelhető sebességű, de folyamatos alakváltozása) jelenségével írhatók le. Különösen azok a mozgások húzódnak el hosszú ideig, melyek az időszakos talajállapot-romlás során (pl. esőzés hatására bekövetkező átázáskor) létrejövő teherbíráscsökkenéssel vannak összefüggésben. Ilyenkor először a talaj átázása (pl. esős évszak) miatt bekövetkező felpuhulás és összenyomódás lép fel (kompressziós ciklus). Ez általában csak rövid ideig (legfeljebb egy-két hét, esetleg hónap) tart, s az amúgy is hosszú konszolidációs idővel rendelkező agyagtalajok ez idő alatt csak alig észrevehető összenyomódást szenvednek. Ezt a kiszáradás időszaka (pl. száraz évszak) követi, melynek során a talaj felkeményedik és a talaj összenyomódása leáll (stagnáló ciklus). A talajállapot javulásával tehát a süllyedési folyamat megszakad és csak a következő átázáskor folytatódik tovább. A talajkörnyezet egyensúlyi állapotában bekövetkező változások tehát – a szakaszosan lezajló konszolidációs folyamatok miatt – több évig, de sokszor évtizedekig elhúzódó, igen lassú építménymozgásokat okoznak, s ezért sokszor az alapozási hibákra visszavezethető károsodások csak hosszú évekkel az építés után jelentkeznek.

A megfigyelések azt mutatják, hogy az ilyen jellegű agyagtalajok természetes meteorológiai viszonyoktól függő *nedvességtartalmának szezonális változásai* (víztartalom-profil) Magyarországon általában csak legfeljebb 2,5–3,0 m mélységig mutatható ki. Kedvezőtlen körülmények között azonban a talaj nedvességtartalmának szezonális változásai ennél mélyebbre (3,5–4,0 m) is lehatolhatnak. Egyrészt a hosszan tartó aszályos időszakot követően az agyagtalajokban a felszíntől akár 2–3 m mélységig lehatoló talajrepedések is keletkezhetnek, s ezek a repedések a szárazságot követő esőzések idején a mélybe vezetik a csapadékot, így az agyagos talaj nagyobb mélységig átázik, belső nyírási ellenállása jelentősen lecsökken. A lejtők területén ez sokszor felszínmozgásokat is okozhat. Másrészt az időszakos felszínközeli szivárgó vizek miatt bekövetkező víztartalom változások is elérhetik az átlagosnál mélyebb szinteket. A felszínhez közeli talajvíz esetében természetesen a víz-

tartalom változásai csak csekély mélységig terjednek, esetleg alig észlelhetők. A 10. színes tábla (lásd a *Tankönyv* végén) (Zeitlen és Komornik, valamint Biddle vizsgálati nyomán [RÉTHÁTI, 1995] alapján, a szerzők által átdolgozva) a mérsékelt évi területeken történt megfigyelések és mérések alapján a talaj nedvességtartalmának változásait mutatja be, a mélység függvényében (víztartalom-profil) és különböző időpontokban, eltérő körülmények között (A., B. és C. ábra részletek).

Hegyvidéki és dombsági területek lejtőüledékei

Hegyvidékeink felszíni és felszínközeli rétegeinek összetétele szélsőségesen változó. A magasabban fekvő és meredek lejtésű térségeket a felszínre kibukkanó vagy a már kis mélységben megjelenő kőzetanyag jellemzi. Az alapkőzetek igen változatos összetételűek. Nagyrészt az üledékes kőzetek (mészkö, dolomit, márga) a jellemzőek, de egész hegyeket alkotnak a vulkanikus kőzetek (gránit, andezit, bazalt és ezek tufái), illetve helyenként a metamorf kőzetek (fillit, gneisz) is megjelennek. A változó anyagú alapkőzet, valamint a térben és időben gyorsan változó üledék-képző folyamatok és domborzati viszonyok miatt a lejtőképződmények összetétele (szemszerkezete) még ugyanazon a területrészen belül is igen tág határok között és szeszélyesen változhat. A lejtőképződmények közös jellemzője, hogy anyagukban – eltérő arányban, a kőtömböktől az agyagig – minden talajfrakció megtalálható.

A hegytetők és a lejtők felső régióiban a kőzetanyag felett általában csak néhány dm-es (kivételes esetekben esetleg néhány m-es) vastagságban – kis mennyiségű iszap és agyag frakcióval keveredett durvaszemű lejtőtörmelékek települnek.

A hegyoldalak nagyobb részét általában a magasabb térszínekről lemosott, változó nagyságú és jelentős mennyiségű kötőrmelékkel keveredett, iszapos és agyagos összetételű lejtőüledékek fedik, többnyire néhány méteres vastagságban. Helyenként azonban lejtőlösszel (esetleg foltokban típusos lösszel), löszvályoggal, glaciális eredetű lejtőagyaggal is találkozhatunk.

A hosszabb lejtők alján húzódó széles völgyi területekre a durvább szemű lejtőüledékek már nem jutnak el. Ezeken a részeken többnyire már csak homok, iszap és agyag változó arányú keverékéből álló talajokkal találkozhatunk, esetleg kevés és aprószemű kötőrmelékkel keveredve.

Hegyvidéki területeink üledékeinek tulajdonságai – összetételükkel szinkronban – szintén meglehetősen változóak. A folyamatos áthalmazódás és mállás miatt általában laza vagy közepesen tömör rétegek között – a szemszerkezet függvényében – az erózióveszélyes (kimosódásra és kiüregelődésre hajlamos), fagyérzékeny és a vízérzékeny (átázásra és a teherbírás csökkenésére, összenyomódásra hajlamos) talajváltozatok egyaránt előfordulnak. Egyes lejtőagyag változatok helyenként nagy plaszticitással és térfogatváltozó tulajdonsággal is rendelkeznek. Ha a lejtőt nagy vastagságú agyagos talaj alkotja, akkor a szokásosnál nagyobb valószínűséggel lehet számítani a nagyobb területekre kiterjedő gravitációs lejtőmozgásokra is. A hegyvidéki sziklás területeken pedig az omlások is előfordulhatnak. Számos nehézséget okozhat még az ilyen területrészek általános lejtőirányú rétegdőlés (pl. felszínmozgások kialakulása), illetve a változatos rétegződés és a lejtőirányba kivastagodó rétegekifejlődés (pl. egyenlőtlen süllyedések kialakulása).

A felszínen tapasztalt talajeróziós jelenségek (pl. sárfolyás nyomai, vízmosás, eróziós árkok, kopár szikla vagy földfelületek) a felszíni vizek intenzív eróziós tevékenységét jelzik. A lejtőoldalakon, illetve a meredekebb rézsűfelületeken látható ferde vagy meggömbült törzsű fák a felszíni talajrétegek mozgására (általában talajkúszás) utalnak. A felszint borító kötőrmelék az időszakosan (főként az esőzéseket vagy a hóolvadást követően) fellépő törmelékvándorlás jele.

A *dombvidékek* rétegződési körülményei szintén igen változatosak. A földtani alaphegység és az építésföldtani alapréteg képződményei számos helyen már a felszínre bukkanhatnak, de jellemzően a fedőrétegek dominálnak, melyek anyaga (pl. homok, lösz, agyag) és vastagsága is igen eltérő lehet (a néhányszor tíz métertől több száz méterig terjedhet). A hegyvidéki területekhez képest a durvaszemcsés, kötőrmelékes lejtőüledékek már csak alárendelt mennyiségben találhatóak, a talajadottságok leginkább a hegylábi lejtőaljakhoz hasonlítanak, bár a lejtőkön sok helyen a felszínmozgásokkal is számolni kell.

Vizenyős területek (mocsarak, lápok) szerves-tőzeges talajai

A Pannon-medence – mint az Alpok–Kárpátok hegylánca által körbezárt vízgyűjtő terület – nem csak a felszín alatti vizekben gazdag, de igen jelentős felszíni vízkészlettel rendelkezik, melynek eredményeként a korábbi évezredekben hatalmas mocsárvidékek jöttek létre Magyarország területén. A XIX. sz. végén elkezdődő lecsapolási munkák eredményeként ugyan ezek a mocsaras területek már nagyrészt eltűntek, de hátramaradt üledékeik sok helyen még ma is megtalálhatók. Hazánkban a holocén kori mocsári szerves-tőzeges üledékek közül a rostos megjelenésű tőzeg kisebb, az amorf tőzeg és a mocsári üledék (gyttja) már nagyobb területeken ismert. Ezek a holocén kori mocsári rétegek a folyók lassan feltöltődő holtágaiban; lassú vízfolyású mellékágaiban vagy sekély vizű öblözeteiben; a sekélyebb tavakban; a feltöltődő vizenyős-mocsaras területeken (lápok) vagy mély fekvésű ártereken keletkeztek. Ilyen területrészekre bukkanhatunk a Fertő-tó, a Hanság, a Balaton, a Kis-Balaton, a Tapolcai-medence, a Fejér megyei Sárrét, a Rétköz, a Körösök vidéke, az Ecsedi-láp, a Zagyva völgyében és a Duna–Tisza köze egyes részein. Többnyire csak viszonylag kis (1–5 m-es) vastagságban települnek, de nagyon laza szerkezetűek, jellemzően vízzel telített állapotúak és igen nagy mértékű összennyomhatósággal rendelkeznek. E képződmények legmarkánsabb és legelterjedtebb képviselője a tőzeg.

A *tőzeg* a szénné válási, vagy másként a szenesedési folyamat (tőzeg → lignit → barnaszén → feketeszén → antracit) első lépcsőjét képezi. Ennek során az oxigénben szegény, mocsaras, pangóvízi környezetben elhaló és a fenékre kerülő növényi részeket folyamatosan finomszemű (jellemzően iszap és agyag, néha homok) üledékek fedik be. Az így egymásra halmozódó szerves üledékrétegek saját és a fedőrétegek súlya alatt tömörödve és a bezárt növényi anyagok anaerob bomlási folyamatainak eredményeként tőzeggé alakulnak. A tőzeg tehát geológiai értelemben „mai” (csupán néhány ezer éves), laza, konszolidálatlan képződmény, mely szeretlen üledékek (kőzetmátrix) és részben finoman eloszló, részben rostos-szálalás formában jelenlévő szerves növényi anyagok változó arányú keverékéből álló, összetett

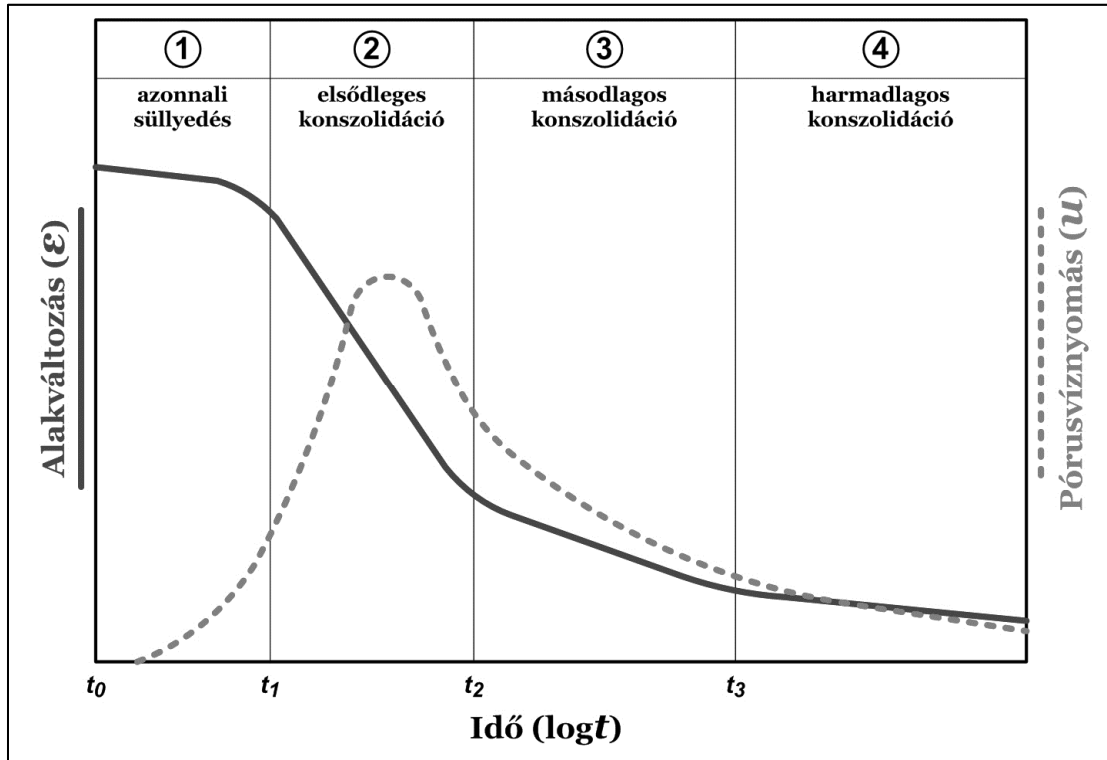
anyag. A tőzeges réteg szerves anyagának bomlása a keletkezés után is tovább folytatódik. Az oxigéntől elzárt környezetben a lassú anaerob lebomlási folyamatok érvényesülnek, melyek idővel (a rétegyomás folyamatos növekedése mellett) a teljes elszenesedéshez vezetnek. Oxigénnel érintkezve viszont a lényegesen gyorsabb aerob bomlási folyamatok indulnak meg, melyek a szerves anyagok folyamatos lebomlásához és a rétegből kioldódó humuszsavak keletkezéséhez vezetnek. A változó talajvízszint zónájában fekvő (vagyis időszakosan víz alá kerülő, időszakosan kiszáradó) tőzegrétegek a nedvességtartalom változására érzékenyen reagálnak, vagyis térfogatuk, terhelhetőségük és tulajdonságaik idővel folyamatosan és gyors ütemben megváltoznak. A talajvízszint megemelkedésével a tőzegrostok szivacsos szerkezete vízzel telítődik, miközben térfogata – bár elhanyagolható mértékben, de – megnő. A talajvízszint csökkenésével a réteg kiszárad, s ezzel együtt térfogata a már említett mértékben csökken. A víztartalom változása egyébként az említett fizikai változáson kívül a szervesanyag kémiai bomlását is segíti, azt jelentősen felgyorsítja, s az egymással váltakozó anaerob és aerob folyamatok hatására idővel a talajszerkezet is átalakul. Ilyen körülmények között a tőzeges rétegek változásainak tendenciája ugyan egyértelműen meghatározható (pl. az összenyomódás és tömörödés, a víztartalom és a szervesanyag-tartalom csökkenése), de a folyamatok sebessége – a már említett összetett anyagszerkezet miatt – csak nehezen prognosztizálható.

A tőzeges talajok tehát a szokásostól jelentős mértékben eltérő, mondhatni extrém tulajdonságokkal rendelkeznek, melyek az építési munkákat igen hátrányosan befolyásolják. A szerves-tőzeges talajok alaptulajdonsága, hogy a keletkezési körülmények és legfeljebb néhány ezer éves koruk miatt igen laza ($e = 1,5-5,5$) szerkezetűek és jelentős mértékű (10–80 %-os) szervesanyag-tartalommal, ebből következően pedig szélsőségesen magas víztartalommal (60–800 súly%) jellemezhetőek. A magas szervesanyag-tartalom miatt a természetes térfogatsűrűség többnyire $\rho_n = 0,9-1,5 \text{ t/m}^3$, a drénezetlen nyírószilárdság $c_u = 10-50 \text{ kPa}$ között változik.

Összetételük és szerkezeti sajátosságaik miatt az átlagosnál jóval alacsonyabb hordképességet ($R_d = 40-100 \text{ kN/m}^2$) és igen nagy összenyomhatóságot ($E_{oed} = 1-5 \text{ MN/m}^2$) mutatnak. Fizikai és kémiai tulajdonságaik a szerkezetek tervezett élettartama alatt is folyamatosan változnak. Hő hatására (pl. kazánok, kohók környezetében) jelentős mértékben zsugorodik, ezen felül fagyveszélyes tulajdonságú. Többnyire felszínközeli helyzetű talajvízzel és belvizekkel társul, ami víztelenítési és vízelvezetési problémákat is felvet. A terhelések (és az esetleges túlterhelések) hatására nem mutatnak tiszta töréses folyamatokat, csak az alakváltozások sebessége és nagysága változik, ebből következően a méretezésnél az alacsony talaj-igénybevétel mellett a szerkezetek deformációinak nagyságát is figyelembe kell venni. A terhelés hatására bekövetkező statikus kompresszió (konszolidáció) évtizedekig, esetleg évszázadokig is elhúzódik, s a konszolidáció során a reológiai folyamatok lényegesen nagyobb szerepet játszanak és bonyolultabbak, mint az a típusos talajok esetében tapasztalható.

A tőzeges talajok konszolidációs folyamatainak általános lefolyását, arányait és a pórúsvíz-nyomás változásait Jaromko vizsgálatai nyomán [RÉTHÁTI, 1995] dolgozta

fel. A konszolidációs folyamat szakaszait [RÉTHÁTI, 1995] alapján összeállított, 38. ábrája szemlélteti. A görbék természetesen nem konkrét értékeket mutatnak – hiszen azok a vizsgált talajtól függően tág határok között változhatnak –, hanem csak a folyamatok lezajlásának ütemét, a változások tendenciáját és arányát érzékeltetik.



38. ábra. A tőzeges talajok konszolidációs folyamatának szakaszai

A tőzeges talajok konszolidációjának folyamata ideális esetben az alábbi négy szakaszból áll:

- *Azonnali süllyedés*: ennek során viszonylag gyors, de kismértékű süllyedés tapasztalható (időtartama néhány hónap vagy 1–2 év).
- *Elsődleges konszolidáció*: az előbbinél már lassabb lefolyású, de nagymértékű, süllyedések időszaka (időtartama több év vagy néhány évtized).
- *Másodlagos konszolidáció*: ez idő alatt már az előbbinél is lassabb és annál jóval kisebb mértékű süllyedések játszódnak le (időtartama néhány évtized).
- *Harmadlagos konszolidáció*: már csak egészen kismértékű, de igen lassú, hosszú ideig tartó, kúszás jellegű süllyedés tapasztalható (időtartama több évtized, esetleg évszázad).

Az egyes konszolidációs lépcsőkhöz tartozó süllyedések sebessége és nagysága is nagyon eltérő lehet, egyes lépcsők akár ki is maradhatnak, illetve összeolvadhatnak. A terhelés hatására lejátszódó konszolidációs folyamatok pedig (különösen a másodlagos és a harmadlagos konszolidáció) több évszázadig is tarthatnak. A *Walt Disney World* területén létesített töltések és néhány XVII.–XVIII. században épített

oroszlom templom esetében például a tőzeges altalajon $\varepsilon = 20\text{--}50\%$ -os összenyomódásokat és $\Delta y = 0,5\text{--}3,0$ mm/év fajlagos süllyedési sebességeket mértek!

Bányagödrök és mélyfekvésű területek mesterséges (antropogén) feltöltései

A régebben művelés alatt álló és a későbbiekben felhagyott bányaterületeket, valamint az egykori pincevermeket vagy pinceüregeket és egyéb gödröket, járatokat, illetve a mély fekvésű és vizenyős területeket sok esetben már feltöltötték. Nagy vastagságú feltöltésekre lehet számítani még az érc- és szénbányák melletti bányameddő lerakó területeken, illetve a zagytereken is. Ezek a feltöltések rendszerint tömörítés nélkül és igen vegyes anyagokból (pl. építési törmelék, háztartási szemét, ipari és vegyi hulladék, salak, pernye, különböző talajfélések) készültek. Előfordulásukra főként a települések és a nagyobb nehézipari területek közvetlen környezetében lehet számítani. Vastagságuk igen tág határok között változhat: többnyire csak legfeljebb néhány méterese, de egyes esetekben (pl. bányagödrök) akár a 20–60 métert is elérhetik. A feltöltések jellemzően laza szerkezetűek és szélsőségesen heterogén összetételűek. Általában igen alacsony hordképességgel és jelentős mértékű összenyomhatósággal rendelkeznek, s ezek a jellemzők még ráadásul igen széles területi és mélységi eloszlást mutatnak. Sokszor erózióveszélyesek és vízérzékenyek. Anyagi összetételük miatt számos esetben igen magas kémiai agresszivitással (pl. kohósalak, gázgyári salak, ipari és vegyi hulladék, háztartási hulladék) rendelkeznek, ami a talajban lévő téglá-, beton- és fémszerkezetek gyors korrózióját és tönkremenetelét okozza. Egyes szélsőséges esetekben pedig még egészségkárosító hatásokkal is számolni kell, hiszen a bomlási folyamatok során kiáramló gázok vagy a talajvízbe jutó vegyületek (főleg nehézfémoxidok és -sók) mérgező hatásának, illetve az esetleges bakteriális fertőzések (pl. háztartási hulladék feltöltések esetében) lehetősége is fennáll. Egyes esetekben (pl. régi bányagödrök) igen nehéz a pontos lehatárolásuk is, mivel a határvonal közel függőleges felület (egykori bányafal) és a fenéksík hirtelen szintugrásokat (pl. fejtési szintek) is mutathat.

7.3.2. Talajok terepi felismerése és azonosítása

A talajok megbízható terepi felismeréséhez és azonosításához kíván segítséget nyújtani a szakirodalmi adatok és gyakorlati tapasztalat alapján összeállított, a következő oldalakon közölt 50. táblázat, ismételten felhívva a figyelmet arra, hogy ez sohasem helyettesítheti a szükséges laboratóriumi vizsgálatokat!

50. táblázat. A talajok terepi felismerése makroszkópos (érzékszervi) vizsgálattal

Jellemzők	Kavics (2 mm felett)	Homok (0,063-2 mm)	Lösz [régebben homokliszt] (0,02-0,1 mm)	Iszap (0,002-0,063 mm)	Agyag (0,002 mm alatt)
Szemcsék láthatósága	Szabad szemmel jól látható szemek, a méretük jól becsülhető.	Szabad szemmel még látható szemek, a méretük még épp hogy becsülhető.	Szabad szemmel még épp hogy (de inkább csak nagyítóval) látható szemek, a méretük már nem becsülhető.	Csak erős nagyítóval, vagy már azzal sem látható szemek, a méretük nem becsülhető.	Csak mikroszkóppal látható szemek, a méretük nem becsülhető.
Ujjak között szét-dörzsölve	Szárason és nedvesen egyaránt széteső, csak néhány szem fogható az ujjak közé, melyek elengedve leesnek.	Szárason és nedvesen egyaránt széteső, durva, érdes tapintású, enyhén sercegő, súrlódó hangot hallani. Szárason elengedve a szemek nagy része leesik, a többi könnyen letörölhető. Nedvesen elengedve a szemek kisebb része leesik, a többi könnyen letörölhető.	Szárason finoman érdes tapintású, nedvesen könnyen kenhető, kenőcsös állagú. Szárason elengedve a szemek kis része leesik, a többi könnyen letörölhető. Nedvesen elengedve a szemek már összeállnak, tapadnak, de még könnyen letörölhetőek.	Szárason enyhén síkos tapintású, nedvesen nehezen kenhető, sűrűn tapadós állagú. Szárason elengedve a rögök leesnek, kevés anyag a bőrdők közé szorul és nehezen törölhető le. Nedvesen elengedve a szemek már összeállnak, jól tapadnak, már nehezen törölhetőek le.	Szárason csúszós, szappanosan síkos tapintású, nedvesen nehezen kenhető, ragacsos állagú. Szárason elengedve a rögök leesnek, kevés anyag a bőrdők közé szorul és nehezen törölhető le. Nedvesen elengedve a szemek már erősen összeállnak, erősen tapadnak és csak nagyon nehezen törölhetőek le.
Kohézió	Kézhez nem tapad. Víz alatt elfolyik.	Kézhez nem tapad. Víz alatt elfolyik.	Kézhez gyengén tapad. Röge víz alatt gyorsan (néhány perc alatt) kisebb rögökké esik, majd lassan szétfolyik.	Kézhez közepesen tapad. Röge víz alatt viszonylag lassan (több tíz perc, néhány óra alatt), kérgesen esik szét.	Kézhez erősen tapad. Röge víz alatt igen lassan (órák, napok múlva), finoman szétmállva esik szét.

Jellemzők	Kavics (2 mm felett)	Homok (0,063-2 mm)	Lösz [régebben homokliszt] (0,02-0,1 mm)	Iszap (0,002-0,063 mm)	Agyag (0,002 mm alatt)
Képlékenysé	Nem gyúrható, nem sodorható.	Nem gyúrható, nem sodorható.	Golyóvá, vastag hengerré nehezen gyúrható. Vékony szálakká csak nagyon nehezen vagy sehogy sem sodorható. A kisodort szálak merevek, gyengék, könnyen törnek, morzsálódnak, nem hajlíthatók.	Vékony szálakká már könnyen kisodorható. A kisodort szálak már közepesen erősek, de csak hajlíthatók, pereccé nem formálhatók.	Vékony szálakká nagyon könnyen kisodorható, a kisodort szálak erősek és szívósak, könnyen hajlíthatók és pereccé is formálhatók.
Rázókísérlet	Nem értelmezhető, semmiféle reakció nincs.	Rázogatva a felülete hirtelen kifényesedik, a talaj elfolyósodik, elsárosodik. Marokba szorítva kevés víz távozik, a markot kinyitva a talaj megkeményedik és morzsolódik.	Rázogatva a felülete lassan fényesedik ki, a talaj képlékenynyé válik. Marokba szorítva már víz nem távozik, de a markot kinyitva a talaj még lassan felkeményedik.	Rázogatva a felülete nagyon lassan és kevésbé fényesedik ki, a talaj képlékenynyé válik. A markot összeszorítva és kinyitva változás nincs.	Semmiféle reakció nincs.
Vágási, simítási felület	Nem vágható és nem simítható.	Nem vágható és nem simítható.	Matt, földes, finoman érdes felület, igen apró, csillámló szemekkel tarkítva.	Kissé matt, enyhén csillogó, bársonyosan fényes felület, kevés egyenetlenséggel.	Erősen csillogó, nagyon fényes, teljesen sima felület.
Száraz rögzítésség	Nem értelmezhető, a talaj rögge nem áll össze.	Nem értelmezhető, a talaj rögge nem áll össze.	Könnyen szétnyomható és törhető, porrá esik szét.	Nehezen szétnyomható, inkább csak törhető, de már kissé nehezen.	Csak nehezen törhető. (Ha nem törhető el, akkor nagy plaszticitású kővér agyag vagy márgás agyag.)

8. VIZEK

Ebben a fejezetben a víz megjelenési formáinak és típusainak leírásával, osztályozásával és sajátosságaikkal foglalkozunk.

A földi vízkészlet minden molekulája már a Föld kialakulásának végén, vagyis az első vékony, szilárd kéreg megjelenésekor jelen volt. Egy része szabadon a légkörben, másik része a Föld anyagában, kötött formában. A felszín lehűlésével a légköri víz csapadék formájában kivált, s megkezdte örök körforgását. A hidrológiai ciklusban már régóta folyamatosan résztvevő és a most éppen földfelszín alatt elhelyezkedő vizeket *vadózus vizek* nevezzük. A vadózus vizek egy részét a *fosszilis víz* alkotja, mely a mélybe süllyedő üledékek szilárd alkotórészeihez kötődő porusvízből származik. A szilárd kéregben és az alatta lévő izzó földköpeny magmaanyagában lévő vízkészlet a vulkanikus tevékenység eredményeként fokozatosan szabadul fel és ennek ütemében csatlakozik a hidrológiai ciklus egymásba kapcsolódó folyamataihoz. Ezek az „ifjú”, újonnan felszabaduló, ún. *juvenilis vizek*.

A Föld felületén végbemenő dinamikai folyamatok közül az egyik legjelentősebb a hidroszférát alkotó víz körforgása, mely egyben szoros kapcsolatot teremt az atmoszféra és a litoszféra között. A hidrológiai ciklus folyamatait a Nap hőenergiája és a Föld nehézségi erőtere együttesen tartja fenn és szabályozza. A hidrológiai ciklus folyamatai alapvetően a légköri folyamatok és változások formájában jelennek meg. A hidrológiai ciklus nagyságára jellemző, hogy évente kb. 396.000 km³ víz vesz részt a körforgásban. Ennek 80–85 %-a az óceánok felszínéről, a többi 15–20 % a szárazföldekről párolog el. Az elpárolgó vízmennyiség mintegy 75 %-a az óceánokra, kb. 25 %-a a szárazföldekre hull vissza. Az utóbbinak közel harmada folyik vissza az óceánokba, döntő hányada a felszínen elnyelődik és rövidebb hosszabb ideig a mélyben mozog (szivárog) vagy tartózkodik.

A víz körforgásának, vagyis a hidrológiai ciklus legfontosabb állomásai, természetes folyamatai a következők:

- *Csapadék*: A légköri nedvesség (pára) a felemelkedő és lehűlő légtömegekben kondenzálódik, kiválik és jellemzően eső vagy hó, esetleg jég formájában a szárazulatok felszínére vagy a világtengerekbe hullik.
- *Felszíni lefolyás*: A trópusi és a mérsékelt éghajlati övezetben a csapadék zöme esővízként ér földet, s felszíni vízként a mélyebb részek felé folyik le (felületi lefolyás), majd az egyre növekvő vízfolyásokon keresztül (lineáris lefolyás) a tavak vagy tengerek, óceánok vízkészletét gyarapítja. Kisebb része (jellemzően a sarki éghajlati övezetben és a magashegységek területén) hó formájában gyűlik össze, majd idővel fokozatosan összetömörödik, jéggé alakul, s a gravitációs erőnek engedelmessévé lassan jégár (gleccser) formájá-

ban a mélyebben fekvő és melegebb éghajlatú területek, illetve a tengerek, óceánok felé mozog, miközben fokozatosan elolvad, vízzé válik, s végül az esőhöz hasonló módon fejezi be útját.

- *Felszín alatti vízmozgás:* Az esővizek egy része beszivárog az altalajba, illetve a felszínhez közeli kőzetek anyagába. Ennek kisebb hányada kémiai (vegyi folyamatok által) vagy biológiai (pl. gyökérszinten keresztül a növényzet által) megkötődik, illetve ideiglenesen raktározódik (pl. talajvíz), nagyobb hányada azonban (pl. karsztvíz, rétegvíz) akár több évezreden keresztül is a föld alatt szivároghatva folytatja útját.
- *Felszíni vízkilépések:* A felszín alatti talaj- és kőzetrétegekben vándorló (migráló) vagy az ott megkötött vírzecskék előbb-utóbb, és általában források, gejzírek alakjában ismét a felszínre kerülnek, s kapcsolódnak a hidrológiai ciklus egy másik üteméhez, a felszíni vízfolyáshoz vagy a párolgáshoz.
- *Párolgás:* A vízfelületekről és a szárazföldek felületéről (a talajból és a növényzetből) elpárolgó vízpára formájában gyarapítja a légkör víztartalmát, s a magasba emelkedve, s a légáramlatokkal igen nagy távolságokba jut el. A vírzecske aztán eső vagy hó alakjában ismét a felszínre hull, s ezzel elkezdődik életének újabb ciklusa.

A földfelszíni vizek áramlása és mozgása lényegében a gravitáció (döntően a Föld, alárendelten a Nap és a Hold vonzása), a Föld forgása, a napsugárzás hőenergiája, illetve az általuk irányított meteorológiai folyamatok hatása alatt áll. A nagyobb állóvizek (tavak, tengerek, óceánok) vizének mozgásait, áramlási viszonyait azonban még a víztömegek sűrűségbeli (ez a hőmérséklet és sótartalom függvénye) változásai is befolyásolják.

A földfelszín alatti vízmozgások részint a gravitáció, részint a földmélyi nyomásviszonyok irányító hatása alatt állnak, hiszen a felszín alatt a meteorológiai hatások legfeljebb a legfelső néhány méteres zónában érzékelhetők. *Szabad gravitációs áramlás* esetében a vírzecske mozgásának irányát és sebességét az adott felszín alatti pontok között mérhető gravitációs (helyzeti) energia különbsége határozza meg, ami lényegében nem más, mint a két pont magasságának (pontosabban a Föld tömegközéppontjától mért távolságának) különbsége. Ezt hidraulikus magasságnak vagy – a víz térfogatsúlyát is figyelembe véve – hidrosztatikus nyomásnak is nevezik. A víz a nagyobb energiájú tápterület (azaz a nagyobb hidrosztatikus nyomással rendelkező pont, vagy „forrás”) felől a kisebb energiájú megcsapolási hely (azaz a kisebb hidrosztatikus nyomással rendelkező pont, vagy „nyelő”) felé áramlik. A szivárgás sebessége (v) a klasszikus Darcy-összefüggés ($v = k \cdot i = k \cdot h/l$) alapján a hidraulikus magassággal (h) és a réteg permeabilitásával vagyis vízvezető képességével (k) egyenesen, a két pont közötti szivárgási út hosszával (l) pedig fordítottan arányos. A tapasztalatok azt mutatják, hogy egy rétegben a természetes körülmények között kialakuló szivárgási sebesség általában a szivárgási tényező fele-háromnegyede körüli értéket vesz fel, maximuma pedig legfeljebb megközelíti azt. *Nyomás alatti áramlás* esetében a földfelszín alatti vizek áramlását részint a rétegek vízvezető képessége, részint a vizet tározó kőzetrétegekben fennálló nyomásviszonyok szabályozzák. A kőzetrétegben uralkodó nyomásviszonyok egyrészt a felette

lévő rétegek súlyától (vagyis a geosztatikus nyomástól), másrészt a kőzetkörnyezet (vagyis a víz) hőmérsékletétől függnék. A Nap hősugárzásának ereje, vagyis a felszín feletti külső hőmérséklet általában mintegy 5–15 m-es mélységig mutatható ki, ez alatt már a természetes földhőmérséklet a mérvadó.

A most következő paragrafusokban a vizek geotechnikai gyakorlatban eddig jól bevált osztályozását ismertetjük, mely a vízkészlet elhelyezkedését és a geotechnikai szempontból legfontosabb sajátosságait veszi figyelembe. Így tehát a következőkben a felszíni, a felszín közeli, majd a felszín alatti vizekről ejtünk szót.

8.1. Felszíni vizek általános jellemzése és sajátosságai

A geotechnikai–építésföldtani szempontból a felszíni vizek közé sorolunk minden természetes vagy mesterséges eredetű, felszínen megjelenő, szabad víztükörrel rendelkező vizet, függetlenül annak eredetétől, kialakulásának módjától, idejétől vagy mozgásától. Ezek között tárgyaljuk: a folyóvizet, az állóvizet, a belvizet, az árvizet, valamint a forrást.

8.1.1. Folyóvíz

A szabad területeken összegyülekező terepfelszíni vizeket általában a természetes, néhol a mesterséges vízfolyások gyűjtik össze és vezetik el. A szakirodalmi szóhasználatban gyakran találkozhatunk a fluviális vagy fluviatilis szakkifejezéssel, melynek jelentése: folyami eredetű, a folyóvíz által létrehozott vagy a folyóvízzel kapcsolatos.

A vízfolyások a szárazfölkék földfelszíni vízmedreiben mozgó víztestek (folyóvizek), melyek közös jellemzője, hogy a magasabb térszínekről az alacsonyabbak felé haladnak és vízszállításuk kisebb-nagyobb mértékben ingadozik. Vizüket a forrásokból, a csapadékvízből (eső) vagy a hó- és jégtömegek olvadékvizeiből nyerik. Osztályozásuk különböző sajátosságaik (pl. hosszúságuk, vízgyűjtő területük nagysága, vízhozamuk, üledékszállításuk, medrük mérete és egyéb jellegzetességei) alapján történik. A felszíni vízfolyások együttese egy adott terület vízhálózatát rajzolja ki. A vízhálózat sűrűsége, alakja és a felszíni vízfolyások mérete egyrészt a terület éghajlati–meteorológia sajátosságaitól (pl. csapadékmennyiség, párolgás, elszívargás), másrészt a terület földtani szerkezetétől és rétegződésétől, domborzatától és növényzetétől, vagyis lefolyási viszonyaitól függ. Egy-egy vízhálózat alakja általában a fához hasonlítható. Ezen belül a fő vízfolyás (a fa törzse) képezi a vízhálózat gerincét, amely az összes lefolyó vizet a befogadóba (tó vagy tenger) vezeti. A fő vízfolyáshoz először néhány nagyobb, ezekhez több kisebb, majd ezekhez számos még kisebb vízfolyás csatlakozik (a fa ágai). A fő vízfolyást az I. rendű vízfolyásnak, a hozzá tartozó vízgyűjtő területet az I. rendű vagy fővízgyűjtőnek nevezik, melyhez a már említett sorrendben a II-od, III-ad stb. rendű mellékvízfolyás és mellékvízgyűjtő csatlakozik. A fővízgyűjtő tehát a mellékvízgyűjtők összessége.

8.1.1.1. A vízfolyásokkal kapcsolatos alapfogalmak, magyarázatok

Vízgyűjtő terület: A földfelszínnek azon területrésze, amelynek felszínen összegyűlő vizeit a vízfolyás összegyűjti. A vízgyűjtő terület határát rendszerint az egymáshoz folytonosan csatlakozó vízválasztó vonalak sokasága alkotja, melyek jellemzően zárt vonalláncot képeznek.

Vízválasztó: Az egymással szomszédos vízgyűjtő területeket általában a környező magaslatok hátvonalai és a magaslatok között húzódó völgyek nyeregvonalai (völgyi vízválasztók) által kijelölt vízválasztó vonalak különítik el egymástól.

Erózióbázis: Egy adott vízgyűjtő terület mélypontjait összekötő vonalat erózióbázisnak nevezzük, mely egyben a vízgyűjtő területhez tartozó vízfolyás medervonalát is meghatározza.

Vízállás: A vízfolyás vízállása a mérés időpontjában érvényes – és a vízmérce „0” pontjához viszonyítva cm-ben megadott – vízszintjének helyzetét mutatja. A vízmérce „0” pontját a kisvizekhez igazítják, ezért a pillanatnyi vízállás általában pozitív, de néha negatív szám is lehet.

A folyóvizek vízállása változó, a változás jellege szezonális. Megkülönböztetünk legkisebb vizet (LKV), kisvizet (KV), kisközépvizet (KKV), középvizet (KÖV), nagyközépvizet (NKV), nagyvizet (NV) és árvízszinteket (ÁSZ). A vízmérce észlelésének kezdete óta eltelt időszak legmagasabb árvízszintje a legnagyobb víz (LNV). A védművek (gátak), műtárgyak (hidak) tervezésekor, illetve a gátak közötti hullámtéren belül történő tervezési feladatoknál figyelembe kell venni az elméleti legmagasabb vízszintet, vagyis a mértékadó árvízszintet (MÁSZ). Ezt a nagyobb magyarországi vízfolyásokra és tavakra a mértékadó árvízszintekről szóló állami, vízügyi jogszabályok határozzák meg, illetve ennek hiányában számítani kell. Az említett vízszintek meghatározása statisztikus (valószínűségi és tartóssági) alapokon történik. A hidak tervezésekor a legnagyobb hajózási vízszintet (LHVSZ) is figyelembe kell venni, melynek értékét azonban nem a vízrajzi, hanem a hajózási sajátosságok és igények befolyásolják.

Meder teltség: A folyó mederteltségét %-ban mérik, a legalacsonyabb vízállást 0 %-nak, a legmagasabbat 100 %-nak tekintik.

Vízhozam: A meder adott keresztmetszetén egységnyi idő alatt átfolyó víz mennyisége. Értékét általában m^3/s -ban adják meg. A vízhozam a vízgyűjtő területen összegyülekező felszíni vizek mennyiségétől és a lefolyási viszonyoktól függ.

Vízjárás: A vízhozam és vele szoros összefüggésben a vízállás többé-kevésbé szabályszerű ingadozása a folyó vízjárását jelenti. A vízjárás elsősorban az adott terület éghajlati jellemzőit, főként a csapadékviszonyokat tükrözi, mely akár szélsőségesen változó is lehet. Ennek függvényében megkülönböztetünk egyenletes (a vízutánpótlás az év során többé-kevésbé egyenletes), változó (a vízutánpótlás nagymértékben függ az évszakosan jelentkező csapadékmaximumoktól, vagy a hóolvadástól) és időszakos (időnként részlegesen vagy teljesen kiszáradnak) vízjárású vízfolyásokat (pl. az aszóvölgyeket).

Hordalék: A folyók különböző szemcsenagyságú hordalékot (iszapot, homokot, kavicsot) is szállítanak a medrükben. A folyó szállíthatja a hordalékot lebegtetve és a fenéken görgetve vagy lökészerűen ugráltatva.

Elfajulás: A vízfolyásokat formáló tényezők hirtelen változása nyomán bekövetkező mederátalakulásokat (pl. feltöltődés, medervándorlás, lefűződés) elfajulásnak nevezik.

Sodorvonal: A leggyorsabban haladó víztömeg vonala. Egyenes szakaszokon többnyire a vízfolyás közepén (szabályos, „U” keresztmetszetű meder) vagy a leg-

mélyebb medervonal (szabálytalan keresztmetszetű meder) fölött halad. Kanyarulatban a homorú partvonal felé tolódik el.

8.1.1.2. *A vízfolyások szakaszjellegének meghatározása a munkavégző képesség szerint*

A folyó munkavégző képessége, vagyis felszínformáló tevékenysége a vízhozamtól, a meder esésétől, az áramlási sebességtől és a hordalék mennyiségétől, szemszerkezetétől függ. Pusztító munkáját a medrébe jutó hordalékkal és a hordalék elszállításával, építő munkáját hordaléka lerakásával végzi. A hordalékszállítás, valamint a víz munkavégző képességének mértéke alapján, a folyókon három típusú szakaszjelleget különböztetünk meg: felső, középső és alsó szakaszjelleg.

Felső szakasz, bevágódó jelleg: A nagy lejtésű (általában hegyvidéki) területekre jellemző. A terület és a meder lejtése nagy ($> 5\%$), s így a vízfolyás sebessége (munkavégző képessége) is olyan nagy, hogy a hordalékait és a helyben keletkező eróziós termékeket is magával ragadja (hordalékmozgatás), vagyis üledékek lerakódására nincs lehetőség, illetve az csak részleges és időleges lehet. A szállított anyaggal pedig tovább csiszolja, koptatja a meder közeteit (mederkoptatás). A vízben tovaöngő törmelékdarabok aprózódnak (görgetegaprózódás). E folyamatok révén a vízfolyás pusztítja, mélyíti medrét és völgyét, sok hordalékot szállít és jellemzően keskeny, ék alakú („V” keresztmetszetű) eróziós völgyet alakít ki. Ha a hegység, amelyen a vízfolyás áthalad, lassú emelkedésben van, ez elősegíti, fokozza a mélyítő tevékenységet. Minél keményebb a meder kőzetanyaga, annál lassabb a völgymélyítés folyamata. A meder alját alkotó kőzetek eltérő keménysége miatt sellők, zúgók, vízesések és zuhatagok alakulhatnak ki. Ha az oldallejtők kemény, ellenálló kőzetűek, akkor szurdokok, hasadékok vagy sikátorvölgyek keletkeznek. Puhább kőzet (üledékes kőzet) esetén a völgyek pusztítása erőteljesebb, így lankásabb, ferde lejtők határolják a völgyet. Szelektív, váltakozó keménységű kőzetek esetén kanyonok alakulhatnak ki, ezek lépcsőzetes oldallejtővel rendelkeznek.

Középső szakasz, oldalazó jelleg: A hegységekből a dombvidékekre vagy a kis lejtésű, lapos síkságokra kilépő vízfolyás esése és sebessége hirtelen lecsökken, középső-szakasz jellegű lesz. Ezáltal a vízfolyás sebessége és munkavégző képessége is jelentősen csökken, de a kisebb szemméretű hordalékát még el tudja szállítani. Tehát a hordalék durvább szemű részét a hegylábaknál legyezőszerűen szétterülő hordalékkúpok formájában lerakja (pl. Szigetköz, Csallóköz, Rábaköz, Pesti-síkság), míg az apróbb szemeket továbbszállítja. Medrében tehát helyenként lerakódások jönnek létre. Az erózió és az akkumuláció már többnyire egyensúlyban van, esetleg az erózió időnkénti túlsúlya figyelhető meg. A meder legkisebb egyenetlensége elegendő ahhoz, hogy a vízfolyást kitérítse egyenes útjából, ezért a vízfolyás ezen a szakaszon kanyarogva szélesíti a medrét (pl. a Duna és a Tisza).

Alsó szakasz, feltöltődő jelleg: Ha a terület lejtése már minimális, akkor a széles, lapos mederben haladó vízfolyás sebessége annyira lecsökken, hogy a hordalékát már nem tudja tovább szállítani, s a meder folyamatosan feltöltődik. A lerakott hordalékból szigetek, zátonyok, homokpadok keletkeznek, s a vízfolyás több ágra szakad. A terület süllyedése fokozza a feltöltődés ütemét. Hosszú idő alatt óriási fel-

töltődött, ártéri síkságok alakulnak ki (pl. Alföld).

Az ismertetett szakaszjellegét tisztán sokszor csak a kisebb folyók esetében ismerhetjük fel. A nagy vízgyűjtő területtel és nagyobb mellékvízrendszerrel rendelkező vízfolyásoknál a szakaszjellegek ismétlődő váltakozása is előfordulhat, ami a vízfolyások által átszelt területek éghajlati és/vagy domborzati változásaival függ össze. Ezzel magyarázható a teraszvidékek (pl. Duna, Dráva, Rába, Zagyva) kialakulása is.

8.1.1.3. Vízfolyások osztályozása kialakulásuk szerint

Természetes vízfolyás: Azok a vízfolyások, melyek természetes úton, a természet erői által jöttek létre, és amelyeket még nem ért jelentős emberi beavatkozás.

Mesterséges vízfolyás: Ha jelentős műszaki beavatkozásokkal megakadályozzák egy természetes vízfolyásnak a természetes vízfolyásokra jellemző változását, vagy a vízfolyás medrét teljes egészében mesterségesen alakították ki, akkor *mesterséges vízfolyások*ról beszélünk. A műszaki beavatkozás mértéke szerint megkülönböztünk *szabályozott vízfolyásokat* (helyenként szabályozási műtárgyak építése), *csatornázott folyókat* (egy-egy szakaszai mesterséges mederben folynak) és *mesterséges csatornákat* (teljes hosszában mesterséges mederben folynak). A szabályozott vízfolyásokon az egyéb szabályozó part- vagy mederművek mellett tározók, hordalékfogók a szabályozás eszközei. A csatornázott folyókon egyenletes természetes vízszintet érnek el egymáshoz kapcsolódó vízlépcsők segítségével. A mesterséges csatornák létesítésének célja lehet például az árvízvédelem segítése (árapasztás), a hajózási útvonal kialakítása, a vízierő hasznosítása vagy a vízkészletek átvezetése a vízben gazdag területekről a vízben szegényebb területekre.

8.1.1.4. Vízfolyások osztályozása és elnevezése vízhozam szerint

Állandó vízfolyás

Viszonylag nagy vízgyűjtő területű vízfolyás, melynek medrében az év minden szakában, még a rendkívüli kisvizek idején is folyik víz.

- *Folyam:* Hatalmas vízgyűjtő területű, igen nagy vízhozamú, közepes vagy kis esésű, széles, de ugyanakkor mély medrű vízfolyás, mely egy-egy vízrendszer utolsó tagjaként, közvetlenül a tengerbe vagy óceánba ömlik. A folyam vízgyűjtő területe 500.000 km²-nél nagyobb, átlagos vízhozama 2.500 m³/s-nál nagyobb, hosszúsága pedig 2.500 km-nél nagyobb (pl. a Duna).
- *Folyó:* Jelentős, 500 km²-nél nagyobb vízgyűjtő területű, 50 km-nél hosszabb és több mint 5 m³/s átlagos vízhozamú vízfolyás. Változó esésű, közepes mederméretű, vízforgalmi szempontból nagyon különböző jellegű vízfolyás, amely többnyire a nagyobb folyamok vízgyűjtő területének egy-egy részletéről gyűjti össze a vizeket, de torkollhat közvetlenül óceánokba vagy tengerekbe, illetve szárazföldi állóvizekbe is. A folyókon belül általában három nagy csoportot szoktak elkülöníteni.
 - *Nagy folyó:* Ha a vízgyűjtő terület nagysága 100.000–500.000 km², a folyó hossza 1.000–2.500 km, a vízhozam pedig 400–2.500 m³/s között változik (pl. Tisza).
 - *Közepes folyó:* Ha a vízgyűjtő terület nagysága 10.000–100.000 km², a fo-

- lyó hossza 250–1.000 km, a vízhozam pedig 50–400 m³/s között változik (pl. Körös, Maros, Dráva, Rába).
- *Kis folyó*: Ha a vízgyűjtő terület nagysága 500–10.000 km², a folyó hossza 50–250 km, vízhozama pedig 5–50 m³/s között változik (pl. Zala, Zagyva, Sajó).
 - *Kisvízfolyás*: Ezzel a névvel illetik azokat a vízfolyásokat, amelyek vízgyűjtő területe nem éri el az 500 km²-t, átlagos vízhozama kevesebb 5 m³/s-nál, hosszúsága pedig nem éri el az 50 km-t. További osztályozásuk Magyarország jellegzetes geomorfológiai, klimatikus és hidrológiai adottságai között az alábbiak szerint történik.
 - *Patak*: A meredek lejtőjű dombságok és magashegységi vagy magasabb középhegységi hegyvidékek általában nagy vagy közepes esésű völgyeiben futó, túlnyomórészt gyors folyású, helyenként sellós vagy zuhatagos, általában köves–kavicsos medrű, ritkás növényzetű kisvízfolyás (pl. a Szalajka és a Garadna-patak a Bükkben).
 - *Csermely*: A közepes vagy kis esésű völgyekben, medencékben, buckaközi mélyedésekben csörgedező, csendes folyású, változatos (kavicsos–homokos, durva és finom homokos, sőt helyenként homokos–iszapos) üledékű kisvízfolyás, rendszerint gazdag vízszegélyi növényzettel és szerves törmelék felhalmozódással. A csermelyek főként alacsonyabb középhegységekre, fennsíkok lankásabb részeire, hegylábi felszínre, dombvidékekre, valamint az alföldi területek tagoltabb felszíneire jellemzőek (pl. a Keleméri-patak a Borsodi-dombságon).
 - *Ér*: A síkvidékek, nyílt, lapályos alföldi területek, esetleg hegyvidéki lapos fennsíkok sekélyvizű, szétterült, meanderező, csaknem pangó vizű, szélsőséges vízjárású, homokos–iszapos fenekű, pocsolyás kisvízfolyása. A meder túlnyomó részén dús vegetációval, nagyobb vízmennyiség esetén nemcsak mocsári, hanem hínárnövényzettel és nagyon jelentős növényi törmelék felhalmozódással (pl. a Tóció a Hajdúságban).

Időszakos vízfolyás

Viszonylag kis vízgyűjtő területű vízfolyás vagy mélyvonulat, melynek medrében, annak teljes vagy hosszabb-rövidebb szakaszán, időszakonként szünetel a vízszállítás.

- *Torda*: A magas hegyvidékek mély szakadéka, amely több vízmosás időszakosan felgyülemelő vizét szállítja általában sok hordalékkal.
- *Torrens (vadpatak vagy vízmosás)*: Átmenet a torda és az állandó vízfolyás között. Többnyire a száraz időszakban is van némi vízhozama, de záporok, hóolvadások idején több százszorosára is emelkedhet a vízszállítása. Általában sziklás terepfelszín a vízgyűjtője, ezért kevesebb hordalékot szállít.
- *Horhos (horhó, vápa vagy csermő)*: Az ilyen időszakonként vizet szállító, alacsonyabb rendű vízfolyás-alakzat az előbbi két említett típus közötti átmenet, nehezen behatárolható jelleggel.

8.1.2. Állóvíz

Állóvíznek nevezzük az olyan természetes vagy mesterséges eredetű, minden oldalról zárt mederben vagy földfelszíni mélyedésben kialakult és nyílt vízfelületű víztömeget, amelynek nincs, vagy csak kismértékű természetes vagy mesterséges lefolyása van. Ilyen értelemben tehát állóvizek közé tartoznak a tavak, tengerek és óceánok is. Ebben a pontban azonban most csak a tavakkal foglalkozunk.

Az olyan tálszerű területeket, melyeket minden oldalról a náluk magasabb területek határolják, s melyek vize sehova sem tud elfolyni, lefolyástalan területeknek nevezzük. Az ide érkező vízfolyások vagy elenyésznek (elszivárognak, elpárolognak), vagy lefolyástalan végtavakat hoznak létre. Tavak alakulhatnak ki az olyan rossz vagy gyenge lefolyású mélyületekben is, amelyekben nagyobb mennyiségű a befolyás (hozzáfolyás), mint az elfolyás.

A szakirodalmi szóhasználatban a limnikus kifejezés (használatos még a lakusztis vagy lakusztikus kifejezés is) jelentése: tavi eredetű, tó által kialakított, tóval kapcsolatos vagy tó által befolyásolt. A tavak kialakulásával, változásaival, fejlődésével és életével foglalkozó tudományág a limnológia.

A kisebb tavakban az üledékképződés körülményei nagyjából mindenhol azonosak, így viszonylag homogén anyagú és vízszintes településű rétegek keletkeznek. A nagyobb területű vagy nagyobb mélységű tavakban az üledékképződés körülményei már nem mindenhol egyeznek meg, így eltérő rétegződés figyelhető meg. Általában és jellemzően vízszintes tagozódású, vagyis a partok közelében a durvább szemű (homok) rétegek találhatóak, melyek a tó belseje felé haladva fokozatosan finomodnak (iszap és agyag). A rétegek általában lencsésen kiékelődő formában települnek és a belső részek felé lejtnek. A folyóvizekhez hasonlóan parti turzások is kialakulhatnak. Az állóvizek vízgyűjtő területe a vízfolyásokkal azonos módon határozható meg. A tavak vízállása és vízjárása nagyjából a vízfolyásokhoz hasonló. A szezonális vízszintingadozás azonban a tó életének nagy részében általában igen csekély, csak a kialakulás és az elhalás (pusztulás, feltöltődés) időszakában mutathat jelentősebb változásokat. A nagyobb tavak esetében a vízállás mérése ugyanúgy történik, mint a folyóvizek esetében.

8.1.2.1. Tavak osztályozása vízháztartásuk szerint

- Lefolyásos tavak (a felesleges vizet természetes vagy mesterséges vízfolyás vezeti el, a vízminőség többnyire állandó).
- Lefolyástalan tavak (csak párolgással veszítenek vizet, ezért vizükben felgyülemlemlenek, besűrűsödnek a folyók által beszállított vegyi anyagok, főleg a só-félék).

8.1.2.2. Tavak osztályozása keletkezésük szerint

- Természetes állóvizek (pl. tó, mocsár, láp).
- Mesterséges állóvizek (pl. víztározó, feltöltődött bányató).

8.1.2.3. Tavak osztályozása a tómedence kialakulásának eredete szerint

Endogén eredetű tavak

Az endogén eredetű tavakat a Föld belső erői hozzák létre.

- Tektonikus szerkezeti mozgások által kialakított tavak:

- árkos tavak (árkos vetődések medencéiben),
 - távolodó lemezszegélyeket jelző árokrendszer tavai,
 - sekély vizű ároktavak (pl. Balaton, Velencei-tó),
 - epirogenetikus (kéregmozgások által létrehozott) süllyedékben kialakuló tavak,
 - szerkezeti süllyedékeket kitöltő egykori tengerek maradványtavai.
- Vulkanikus eredetű tavak, melyeket a vulkáni erők hoztak létre (krátertó, kalderató, maar tó).

Exogén eredetű tavak

Az exogén eredetű tavakat a Föld külső erői hozzák létre.

- Kimélyítéssel medencéjű tavak:
 - Glaciális sziklamedencés tavak: A mozgó jégtakaró felszínformáló erejének következtében kialakuló tavak. A jég szelektíven pusztítja a felszínt, a befagyott törmelékkel a puhább kőzeteket jobban kimélyíti, mint a keményebbeket. A jég elolvadásával a mélyedésekben felhalmozódik a víz.
 - Gleccserek által kialakított tavak (tengerszem): kárfülkék, kártavak.
 - Gleccservölgyekben kialakult gleccsertavak: „U” alakú teknőben felhalmozódó vizek.
 - Végmoréna tavak: a gleccserek elolvadó végében felhalmozódó törmelék-sáncok mögött felgyülemelő vizek.
 - Morotva tavak (holtágak): Kanyargó folyók mentén alakulnak ki a folyókanyarulat levágásával. Jellegzetes kifli formájuk van, sekélyek. Ilyenek például a Mártélyi-tó (a Tiszán) vagy a Szelidi-tó (a Dunán).
 - Karsztos tavak: Karsztos területek mélyedéseiben (például víznyelő, polje, dolina, uvala) keletkező tavak, melyek akkor jönnek létre, ha a karsztos formát vízzáró anyag béleli ki. Ilyen karsztos tavak például a Vörös-tó (dolinából, É-borsodi karszt) vagy az Aggteleki-tó (víznyelőből, É-borsodi karszt).
 - Szél vájta (deflációs) tavak: A szél mélyítő ereje révén keletkeznek. Ilyenek az Alföldön a Fehér-tó vagy a nyíregyházi Sós-tó.
- Elgátolással medencéjű tavak:
 - Hegyomlás által elgátolt tavak: az erdélyi Gyilkos-tó.
 - Földcsuszamlás által elgátolt tavak: a salgótarjáni Arlói-tó.
 - Lagúna (turzással elgátolt) tavak: a tengertől elzárt, kiédesedő tavak.

Kozmikus eredetű tavak

A kozmikus eredetű tavak a meteorit becsapódások során létrejött mélyedésekben, kráterekben alakultak ki.

Antropogén eredetű tavak

Az antropogén eredetű tavakat az emberi tevékenység során, részint szándékosan hozták létre, részint a mesterséges tevékenység „melléktermékeként” jöttek létre. Ilyenek a:

- víztározók (pl. a Tisza-tó),
- hűtőtavak (erőművek mellett, pl. Paks),

- halastavak (pl. a hortobágyi Ohati-tavak),
- bányatavak (pl. a Budapest-csepeli Kavicsos-tó),
- rekreációs tavak (pl. üdülőtavak, horgásztavak, sporttavak).

8.1.2.4. A tavak pusztulásának (elhalásának) folyamata

A tavak geológiai léptékben (néha még emberi léptékben is, mint azt a Csád-tó vagy az Aral-tó esete is mutatja) rövid életű, átmeneti képződmények. Megszűnésük általában természetes folyamatokra vezethető vissza (pl. éghajlat változás), néha antropogén eredetű (pl. lecsapolás).

- *Kiszáradás*: A szárazság (ariditás) növekvő mértéke miatt a vízháztartás tartósan veszteségesé válik.
- *Lecsapolódás*: A tavak lecsapolódása leggyakrabban úgy történik, hogy a tó vizét levezető vízfolyás völgymélyítő tevékenysége („hátrálás”) eléri a tó peremét és annak vize a völgyön keresztül lefolyik. A lecsapolódás néha mesterségesen történik (vízelvezető árok építésével vagy a már meglévő vízfolyás medrének átalakításával).
- *Feltöltődés*: Ez történhet a tóba érkező vízfolyás folyamatos hordalék lerakódásának eredményeként, vagy a szél intenzív hordalékszállítása miatt, illetve az ezt követő organikus üledékképződés (eutrofizáció) révén. Az eutrofizációs folyamat során a vízbe jutó növényi tápanyagok hatására a tavak tápanyagtartalma megnövekszik, s ennek hatására a vízi növényzet elvadul, túlburjánzik. A vízinövények természetes elhalása révén pedig egyre nagyobb mértékben halmozódik fel a tó alján a bomló szerves anyag. Ez a folyamat elvonja a víz oxigén készletét, melynek következménye a halpusztulás. A növényevő halak számának csökkenése pedig fokozza a növényzet növekedését, ezzel a folyamat öngerjesztővé válik. A feltöltődés fázisai az alábbiakban foglalható össze.
 - *1. Fertő állapot*: az elsőként vízben az egész tófenéken megtelepedik a vízi növényzet, s megindul a növények szaporodása. A víz még oxigéndús, sótartalma alacsony.
 - *2. Mocsár állapot*: a növényzet a nyílt vízfelülethez képest túlsúlyba kerül, elhatalmasodik a sásos, nádas, vízirózsás, zsombékos növényzet.
 - *3. Láp állapot*: alig marad nyílt vízfelület. A víz oxigénben szegény, redukzív hatású, sótartalma magas.

8.1.3. Belvíz

A belvizek az időszakos jellegű, természetes eredetű felszíni vizek közé sorolhatók, mint a felszíni vizek egy sajátos formája.

Belvíznek nevezzük azt a jelenséget, amikor a kisebb-nagyobb terepfelszíni mélyületeket, valamely ok miatt, időszakosan és rövidebb-hosszabb ideig, kis mélységű víz borítja. Ez általában az erősen csapadékos időszakokban vagy erős hóolvadás idején, esetleg az árvizek levonulását követően (az ártér területén) jelentkezik a lapos, rossz lefolyású mélyületekben. A belvíz mindaddig megmarad, míg az altalajban el nem szívárog, vagy el nem párolog. A vízborítás általában csekély, jellemzően néhány cm, esetleg dm mélységű.

8.1.4. Árvíz

Az árvizek szintén az időszakos jellegű, természetes eredetű felszíni vizek közé sorolhatók, mint a felszíni vizek egy másik formája.

Árvíznek nevezzük azt a jelenséget, amikor a vízfolyások az időszakosan magas vízállások – vagyis az árvízszintek – időszakában medrükből kilépve elárasztják a partmenti ártereket. A szezonális rendszerességgel (éves gyakorisággal) visszatérő árvizek általában csak az alacsony-árteret, míg a ritkábban (több éves vagy évtizedes gyakorisággal) visszatérő extrém magas árvizek a magas-árteret is elöntik. Az árterek mindaddig elöntés alatt állnak, amíg a vízfolyás vízszintje az árvízszint (vagyis a meder partvonala) alá nem süllyed. A vízszint csökkenésével tehát az árter folyamatosan leürül, és ismét szárazzá válik. Ugyanez a folyamat lép fel a gátakkal védett árterek esetében is, ha a vízszint a gát koronaszintjét meghaladja (szakkifejezéssel: meghágja), vagy a gát átszakad.

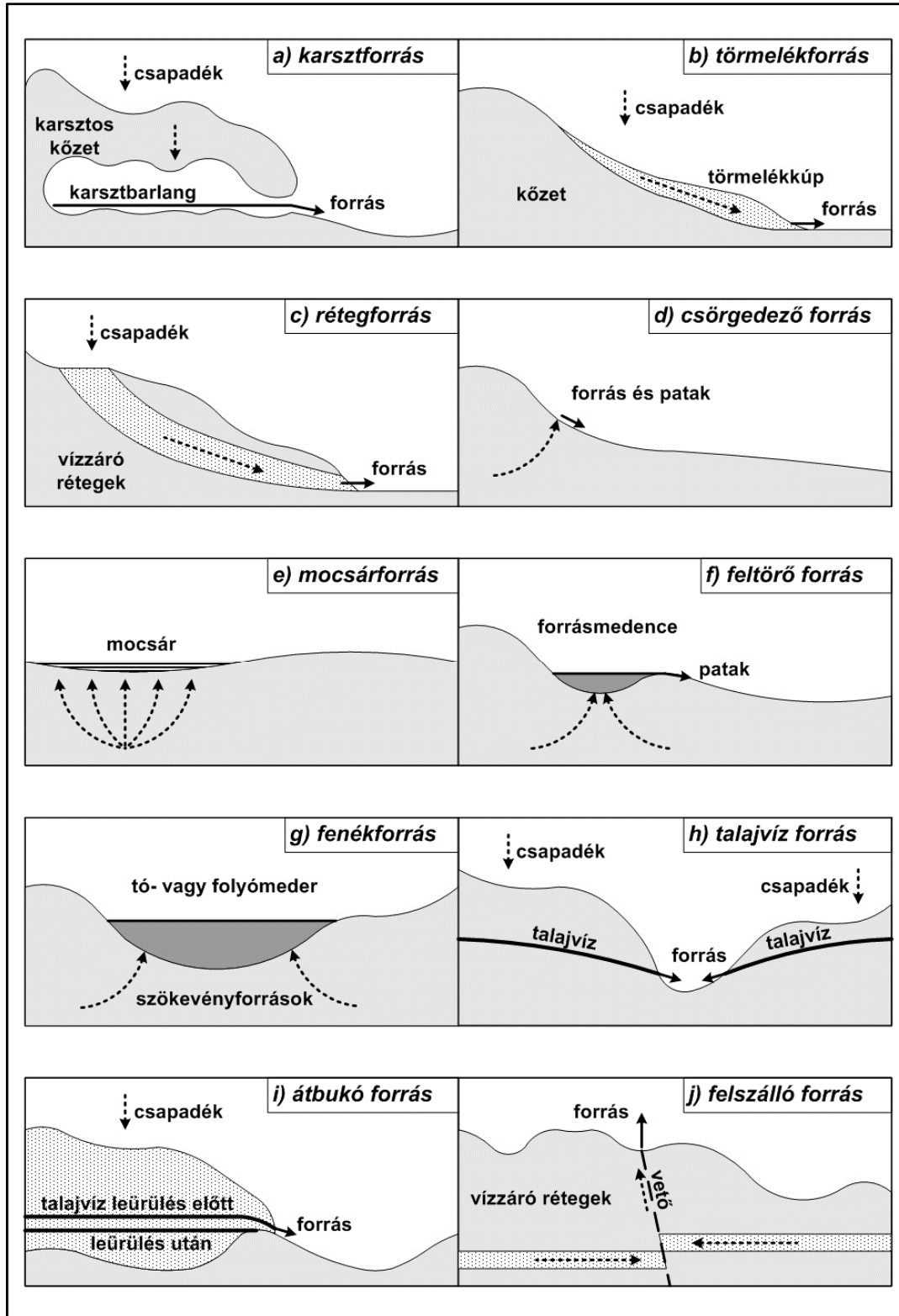
8.1.4.1. Villámárvíz

Az árvíz speciális – bár manapság egyre gyakrabban előforduló – megjelenési formája a villámárvíz. Ezzel a jelenséggel elsősorban a hegyvidéki vagy dombosági, viszonylag rövid, és ehhez képest nagy vízgyűjtő területtel rendelkező kisvízfolyások esetében találkozhatunk. A heves záporok, zivatarok során lehulló nagy mennyiségű csapadékvíz a vízgyűjtő területen gyorsan lefolyik, s a mederben összegyülekezve a vízfolyás hirtelen, szinte pillanatszerű áradását okozza. A nagy sebességgel lezúduló tetemes vízmennyiséget a meder nem képes elvezetni, ezért villámárvíz alakul ki. A nagy vízmennyiségű és gyors vízáramlás az útjában álló természetes és mesterséges akadályokat elsodorva egyrészt tetemes anyagi károkat okozhat, másrészt jelentősen átformálhatja a medret és annak közvetlen környezetét.

8.1.5. Forrás

Általában a felszínközeli, illetve egyes esetekben a mélyebb rétegekben mozgó felszín alatti természetes vizek az arra alkalmas helyeken források vagy gejzírek (ezek a források egy speciális típusa) formájában bukkannak a felszínre. A források jellemző alaptulajdonságai a vízjárás (ezen belül az átlagos vízhozam és annak szélső értékei), a kilépési hőmérséklet és a vegyi összetétel. A források említett jellemzőit tekintve megállapítható, hogy azok általában a felszínre lépés környezetétől eltérő kémiai összetétellel és hőmérséklettel rendelkeznek, továbbá a kilépő víz mennyisége, hőmérséklete és kémiai összetétele általában nem állandó (kivéve a nagy mélységből, nyomás alatt feltörő artézi vizeket vagy másként hévizeket). Mivel a forrás egy adott felszín alatti víztömeg koncentrált megcsapolása, ezért a vízhozam, a hőmérséklet és a sótartalom egymással dinamikus egyensúlyban vannak. A változás függ a vízgyűjtőn rendelkezésre álló víz mennyiségétől (a vízgyűjtő terület nagysága, éghajlati és meteorológiai jellemzői) és minőségétől, a be- és a kilépés időkülönbségétől, a teljes hidrológiai rendszer földtani felépítésétől (a talaj- és kőzetrétegek anyaga, permeabilitása, rétegződése) és a vízszállító rendszer felszín alatti mélységétől. Általában a vízhozam és a víz hőmérséklete, illetve sótartalma fordítottan arányos egymással. Ez a változás a mélyebb vízrendszerek esetében kisebb mértékű.

A leggyakrabban előforduló és legismertebb forrás típusok sematikus rajzait a következő oldalon közölt 39. ábra mutatja be.



39. ábra. A leggyakoribb forrás típusok sematikus rajza

A források vízjárását a vízhozam változásával (vízhozam idősor vizsgálatával) jellemzik. A források vízhozama széles határok között mozoghat. A vízjárást befolyásoló tényezők:

- a vízgyűjtő terület meteorológiai viszonyai,
- a vízgyűjtő terület nagysága, alakja és talaj- vagy kőzetviszonyai,
- a vizet szállító rendszer hossza és talaj- vagy kőzetviszonyai,
- a forrás környékének földtani viszonyai,
- az árapály jelensége,
- a vízgyűjtő terület és a forrás kilépésének gravitációs potenciál különbsége (magasság különbsége).

A források vízjárását a minimális, a közepes és a maximális hozammal, valamint a vízhozam emelkedésének és csökkenésének sebességével jellemezzük. A forrás gyakorlati célokra történő hasznosítása (pl. ivóvíz ellátás, gyógyászat, uszoda) szempontjából fontos a forrás vízjárásának egyenletessége, vagyis a megbízhatósági index (ω_F), mely a $\omega_F = Q_{max}/Q_{min}$ összefüggéssel határozható meg. Ennek megfelelően a források minősítése:

- ha $\omega_F = 1-3$ közötti, akkor a forrás kitűnő,
- ha $\omega_F = 3-5$ közötti, akkor a forrás igen jó,
- ha $\omega_F = 5-10$ közötti, akkor a forrás jó,
- ha $\omega_F = 10-20$ közötti, akkor a forrás mérsékelten jó,
- ha $\omega_F = 20-100$ közötti, akkor a forrás rossz,
- ha ω_F nagyobb, mint 100, akkor a forrás igen rossz.

A források vízjárásának elemzését és a források összehasonlító vizsgálatát mindig azonos időben és azonos körülmények között kell végezni, melyre a nyári szárazság, illetve a tavaszi hóolvadás időszaka a legalkalmasabb.

A források osztályozása a tározó képződmény szerint

- *Karsztforrás:* A karsztos kőzetekben mozgó karsztvízből származik, mint például a Tettye-forrás, Tapolcafői-forrás (39a. ábra).
- *Törmelékforrás:* A törmelékes képződményekben (pl. hegylábtelejtők törmeléke, moréna törmelék) összegyűlt vizek táplálják (39b. ábra).
- *Rétegforrás:* A vízzáró rétegek közötti vízvezető képződmények vizéből ered (39c. ábra).

A források osztályozása a működés időtartama szerint

- *Állandó (permanens) forrás:* Kisebb-nagyobb vízhozam ingadozásokkal, de folyamatosan működik. A talaj vagy rétegvizekből táplálkozó állandó források vízhozama többnyire csekély és kismértékben ingadozó. A karsztforrások viszont gyakran igen bővizűek, jóllehet a megbízhatósági indexük alacsony. Mivel a karsztos területek forrásaiban sokszor kiterjedt, tágas földalatti barlangrendszerek vizei jutnak felszínre, vízhozamuk olykor a kisebb folyókéval vetekszik.
- *Szakaszos (intermittáló) forrás:* Többé-kevésbé meghatározott időközönként és ideig, vagyis periodikusan működik. E források működésének szakaszosságát számos körülmény szabályozhatja. A szakaszos működés lehet pl. évsza-

kos az olyan területeken, ahol a csapadék éven belüli megoszlása is ilyen. A szakaszos működés oka lehet még a vízben lévő vízgőz vagy gázok nyomása is, melynek jellegzetes képviselői a gejzírek (a túlhevült vízgőz nyomása által felszínre kilövellő forróvízű forrás). A szakaszosan működő források azonban főként a karsztos területekre jellemzők. Ezek általában szifon jellegű üreg- és járatrendszerekben felhalmozódó karsztvíz periodikus kiürülésekor működnek.

- *Időszakos (epizodikus) forrás*: E források működésére általában extrém körülmények között kerül sor. Csak bizonyos meteorológiai körülmények között és csak bizonyos ideig működnek. Hosszabb nedves időszak hatására pl. a talaj- vagy karsztvízszint annyira megemelkedhet, hogy az egyébként száraz forrásnyílásokból is vízfolyás indulhat meg. Ilyen például az árvízi forrás, melynek vízgyűjtője olyan kicsi, hogy hosszabb szárazság esetén már leürül, s a forrás hozama megszűnik. Az év nagy részében tehát száraz, csak a vízgyűjtőn le hulló rendkívül nagy csapadék után működik rövid ideig.

A források osztályozása hőmérsékletük szerint

Mivel a források hőmérséklete tág határok között változhat, ezért általában a kilépési (felszínre bukkanási) hely középhőmérsékletéhez (ez általában Magyarországon 18 °C-nak vehető) viszonyítva adják meg.

- *Hideg vízű forrás*: Ha hőmérséklete a kilépési hely középhőmérsékletével azonos vagy az alatti.
- *Meleg vízű forrás vagy terma*: Ha hőmérséklete meghaladja a kilépési hely középhőmérsékletét.

A források osztályozása felszínre bukkanásuk módja szerint

- *Csörgedező forrás (rheokrén)*: A föld alól előbukkanva meghatározott irányba, forrásmederben kezd elfolyni (39d. ábra).
- *Mocsárforrás (helokrén)*: Vize szivárogva, esetleg több ágra szakadva tör elő a talajból, vizenyős mocsaras térszint kialakítva (39e. ábra).
- *Feltörő forrás (limnokrén)*: A víz egy kisebb-nagyobb medence mélyén tör elő, s ezt a forrásmedencét vagy forrástavat feltöltve indul útjára (39f. ábra).
- *Fenekforrás*: A nagyobb vízfolyások, tavak (pl. a Duna és a Balaton) medrében található ún. szökevény-források, vagy a tengerek mélyén előbukkanó víz alatti források (39g. ábra).

A források osztályozása a tápterület (vagyis ahonnan a forrás vize származik) és a fakadási szint (vagyis ahol a felszínre lép) egymáshoz viszonyított magassági helyzete szerint

- *Leszálló típusú (gravitációs) források*: A leszálló források (ezek Magyarország legváltozatosabb és leggyakrabban előforduló forrás típusai) vize a gravitáció hatására mozog. A forrás vízgyűjtő területén a vízzáró fekéreg a kilépési szintnél magasabb helyzetű. Így a fekéreg felett összegyűlő víz többnyire teljes egészében a felszínre juthat. Kialakulása leggyakrabban akkor következik be, ha a vízvezető réteget a lejtős felszín elmeteszi vagy jelentősen leszűkíti, és a víz annak kiékelődési vagy elvékonyodási helyén, réteghatáron bukkan a felszínre. Előfordulhat olyan eset is, amikor a vízvezető réteg lejtése vagy per-

meabilitása csökken számottevően. A csapadék és a források vízhozama közötti kapcsolat világos, de függvényszerű összefüggés általában nem, vagy csak speciális esetekben adható meg. Altípusai:

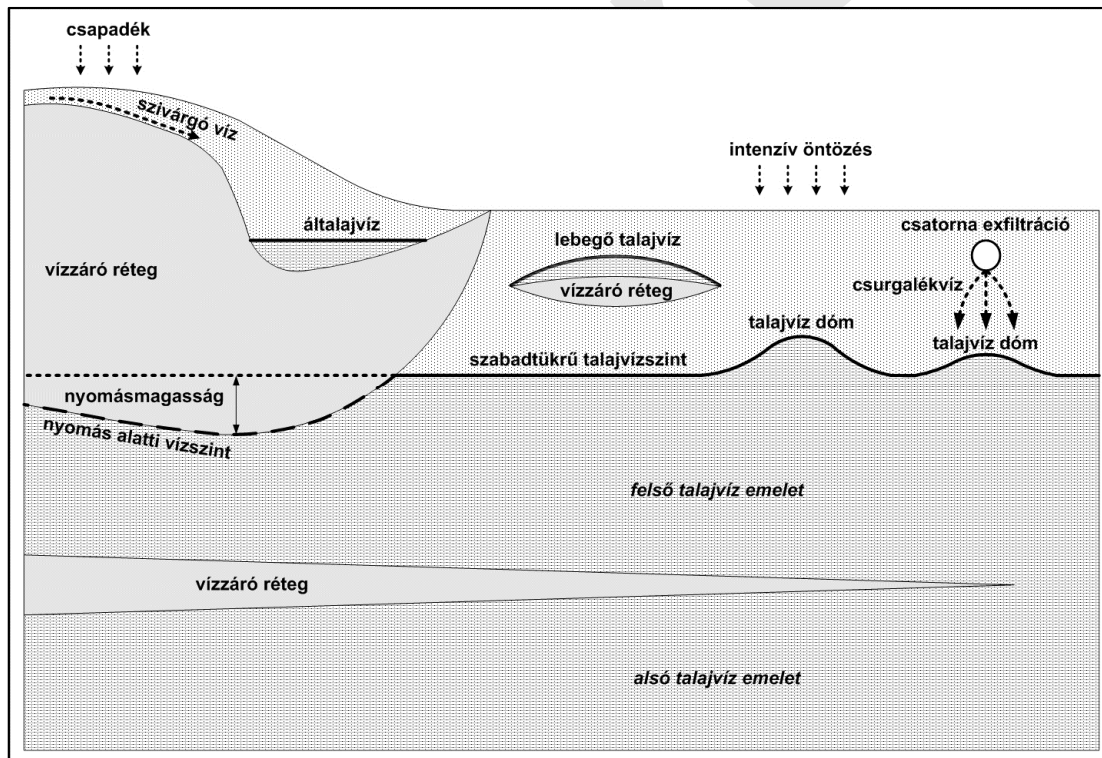
- a talajvíz forrás, melyet a talajvíz táplál (39h. ábra),
 - a rétegvíz forrás, melyet a felszínközeli rétegekben szivárgó vizek táplálnak (lásd pl. 39c. ábrát),
 - a karsztvíz forrás, melyet a karsztvíz táplál (lásd pl. 39a. ábrát),
 - a hasadékvíz forrás, melyet a rés- és hasadékvizek táplálnak,
 - a törmelék forrás, melyet a hegylábak lejtőinek alján felhalmozódó lejtőtörmeléknek vagy a hegységből kilépő vízfolyások törmelékújának vize táplál,
 - a vető forrás, melyet a kőzet vetőrendszerében lévő víz táplál (lásd pl. a 39j. ábrát),
 - a szakaszos és átbukó (túlfolyó) forrás (39i. ábra), mely a leszálló források egyik speciális esete. Ez akkor alakul ki, ha a vízgyűjtő terület vízzáró fekéje a kilépési pontnál mélyebben fekszik, de a forrást tápláló víz felszíne magasabb helyzetű, mint a kilépési pont. Ilyenkor csak a forrás szintje felett elhelyezkedő víztömeg részleges leürülésére van mód, mely addig tart, amíg a víz felszíne el nem éri a kilépési pont magasságát. Az átbukó források klasszikus esete, amikor a vízzáró feké üstszerűen, teknőszerűen lemélyül és a benne lévő víz mintegy túlcordul. A leszálló források másik speciális esete a duzzasztott forrás, mely lényegében az átbukó források egyik változataként is felfogható. Ez esetben az áramló víz útjában álló vízzáró réteg vagy közettömeg kényszeríti a vizet a felszínre. A duzzasztást nemcsak vízzáró, hanem kevésbé vízáteresztő réteg közbeékelődése is előidézhetheti.
- *Felszálló típusú források:* A felszálló források vize – nyomás hatására – a gravitációt legyőzve felfelé mozog (39j. ábra). A kilépési hely magasabban van a forrást tápláló víz szintjénél, ugyanakkor a szállító szakasz fekéje mindvégig és nagyrészt fedője is a forrás szintje alatt marad. A víz felemelkedését többnyire hidrosztatikai nyomás vagy a közettömegek geosztatikus nyomása, esetenként a vízben oldott gázok vagy gőzök túlnyomása biztosítja. A felszálló vizek áramlási pályáit rendszerint a vetővonalak vagy a relatíve vízvezető közetrétegek biztosítják. Altípusai:
- a rétegvíz forrás, melyet a nagymélységű rétegekben szivárgó vizek táplálnak,
 - a vetőforrás, melynek vize a kőzet vetősíkjai mentén törnek a felszínre,
 - a repedés forrás, melynek vize a kőzet repedéseiben, hasadékaiban mozog,
 - a rétegyűrődéses forrás, melynek vize a gyűrődések boltozataiban gyülemlik fel és onnan tör utat a felszínre,
 - a gejzír, melynek vize a túlhevült vízgőz nyomása által hajtva a forráskürtön keresztül lövell a felszínre,
 - a gázos források, melyek vize a benne oldott gázok (pl. széndioxid, kénhidrogén, metán) nyomása által hajtva tör felszínre.

8.2. Felszínközeli vizek általános jellemzése és sajátosságai

A szakirodalomban elterjedt „felszín alatti víz” (rövidítve: „fav”) meghatározás általánosan minden felszín alatt elhelyezkedő víztípusra, víztestre vonatkozik. Geotechnikai–építésföldtani szempontból azonban ezt a fogalmat célszerű tovább finomítani és a *felszín közeli*, valamint a *felszín alatti* víztípusokra osztani.

A geotechnikai–építésföldtani munkák során – néhány ritka kivételtől eltekintve – szinte kizárólag a felszínhez közeli rétegekben (jellemzően a felszíntől számított első vízadó rétegben, illetve legfeljebb 20–30 m-es mélységig terjedően) található víztípusokkal, azaz a felszínközeli vizekkel találkozhatunk. Ezek a vizek pedig alapvetően másként viselkednek, más jellemzőkkel és tulajdonságokkal rendelkeznek, mint az ennél mélyebb üledékrétegekben található víztestek. A felszínközeli vizek esetében többé-kevésbé közvetlen kapcsolat mutatható ki a meteorológiai tényezőkkel (jellemzően a csapadékkal és a léghőmérséklettel), s azok éves vagy szezonális váltoásaival, valamint az emberi hatásokkal, mivel az ilyen típusú vizeket tartalmazó zóna hidrológiai szempontból alulról zárt, felülről nyitott földtani szerkezetet képez. Az ebben tározódó és az ebben mozgó vizek nagy része szabad, gravitációs felszínű, kisebb része változó, de viszonylag kismértékű nyomás alatt áll.

A következőkben a felszínközeli vizek közül a csurgalékvívről, a felszínközeli szivárgó vízről, a talajvízről és az általajvízről fogunk beszélni. Ezek kialakulásának körülményei a 40. ábra sematikus rajzán láthatók.



40. ábra. A felszínközeli víztípusok megjelenési formáinak sematikus rajza

8.2.1. Csurgalékvíz

Csurgalékvíznek nevezzük a felszínhez közeli helyzetű és többnyire csak viszonylag kis területre kiterjedő, lokális és időszakos jellegű gravitációs vízbeszivárgásokat, melyek kizárólag a mesterséges hatások eredményeként alakulnak ki. Bár az esetek egy részében a természetes csapadék viszonyokkal is kapcsolatba hozható, kialakulásának lehetőségeit azonban minden esetben az emberi tevékenység teremti meg. A jelenség szinte minden mesterséges építmény vagy terepalakulat környezetében kialakulhat, de főként a régi építésű városrészek, vagy a gyorsan fejlődő és intenzíven beépülő területeken, illetve az ipari–üzemi létesítmények környezetében találkozhatunk vele. Alapvetően az épületek, burkolatok és az egyéb vizet szállító–tároló közművek vagy műtárgyak közelében jelenik meg, a felszín felőli vízbeszivárgások vagy a közművekből származó elszivárgások, azaz exfiltrációs víz formájában. A csurgalékvizek kialakulásának oka tehát egyrészt a felszíni csapadékvizek (főként a tető és a burkolati vizek) elvezetésének hányosságai, valamint a „vizes” közmű vezetékek (ivóvíz, valamint csapadékvíz és szennyvíz csatorna) és műtárgyaik hibái. Fellépésének valószínűsége az említett szerkezetek öregedésével hatványozottan nő. Általában csak a keletkezési helyének környezetében, lokálisan terjed szét.

A csurgalékvizek általában csak időszakosan és helyenként okoznak kisebb-nagyobb mértékű talajnedvedséget vagy talajátázást, esetleg gyenge vízszivárgás formájában jelennek meg. Szélsőséges esetben azonban (s ez főként a csőrepedések esetében fellépő koncentrált és nyomás alatti beszivárgás helyén, illetve annak közvetlen környezetében léphet fel) intenzív vízáramlás és akár talajkimosódás is kialakulhat. A csurgalék vizek előfordulására általában a felszín alatti 3–5 m-es mélységig terjedően számíthatunk, s többnyire csak a viszonylag kis kiterjedésű forrástól számított 5–10 m-es körzeten belül. Esetenként azonban előfordulhat, hogy a hosszasan tartó vagy intenzív beszivárgások hatására, illetve kedvező rétegződési és domborzati feltételek esetében az altalaj átázása nem csak lokálisan jelentkezik, hanem nagyobb területrészekre is kiterjedhet, nagyobb távolságban (akár 50–100 m) is kimutatható. Ilyenkor kisebb-nagyobb mértékben megemelkedhet a talajvíz szintje – vagyis helyi „talajvíz dóm” vagy „talajvíz domb” alakulhat ki – vagy megnövekedhet a felszínközeli szivárgó vizek mennyisége, esetleg nyomása is.

A csurgalékvizek vegyi összetétele és így kémiai agresszivitása általában alacsony, mivel nagyrészt a beszivárgó csapadékvízből vagy a nyomás alatti ivóvíz vezetékekből származik. Ha szennyvíz eredetű vagy az ipari–vegyszerüzemekben beszivárgó csapadékvizekből keletkezik, akkor agresszivitása magymértékű is lehet.

8.2.2. Felszínközeli szivárgó víz

Felszínközeli szivárgó víznek nevezzük a felszínhez közeli (max. 20–30 m-es mélységig terjedő) talajzóna vékonyabb vízvezető rétegeiben vagy felső vízzáró rétegének felszínén szivárgó, általában szabad tükrű, de esetenként kisebb-nagyobb mértékben nyomás alatt álló, valamint változó területi elterjedésben és mélységi szinteken kialakuló, időszakosan visszatérően megjelenő víztípust. Általánosan a talajvízzel nem rendelkező magasan fekvő és változó vízvezető képességű rétegek-

ből álló üledékegyüttessel borított lejtős hegyoldalak, hegyláb-lejtők és domboldalak, illetve a völgyoldalak térségében jelenik meg. Kivételesen a síksági területrészek viszonylag mélyen elhelyezkedő talajvíze felett települő ferde rétegződés esetében is kialakulhat.

Általánosan a felszínen elnyelődő természetes csapadékvizek, illetve esetenként a már említett mesterséges eredetű csurgalékvizek beszivárgásának eredményeként jön létre, melyek gravitációsan a mélyebb rétegekbe, illetve a mélyebb területrészek felé igyekeznek. Ha a szivárgás (migráció) során relatíve jobb vízvezető talajzónához (pl. az iszap- vagy agyagréteg lazább, porózusabb vagy homkos–kötörmelékes–kavicsos zónája), vagy relatíve vízzáró réteghez (pl. a homok vagy kavics alatti iszap–agyag-réteg) érkezik, akkor abban, illetve annak felszínén szivárgó víz formájában folytatják útjukat a réteg esésirányában haladva. Ritkán előfordulhat az is, hogy a hegyvidéki kőzettömegekben tározott rés- és hasadékvizek vagy a leszálló karsztvíz táplálja a kőzetest mellett, azzal közvetlenül érintkező talajtömegek szivárgó vizét. A vízmozgás iránya jellemzően a felszín esésirányával azonos, de helyileg, a rétegződési adottságok függvényében – a vízvezető és vízrekesztő rétegek áteresztő képességétől, települési- és esésviszonyaitól függően –, ettől eltérő is lehet. A szivárgó víz alapvető tulajdonsága tehát, hogy a szivárgási útvonal mindig a vízvezető zónákat követi, vagyis a levonulás irányát néhol megváltoztatva a felszín esésvonalától eltérő irányokban, helyenként akár alulról felfelé is szivároghat. Az egymással váltakozó durvaszemcsés és finomszemcsés rétegek által felépített területeken egymás alatt/fölött több szinten is kialakulhat szivárgó vízréteg, melyek egymástól függetlenek és így eltérő vízjárással rendelkeznek. Esetenként megfigyelhető, hogy ugyanazon a területen több, egymástól független szivárgó vízrendszer is jelen van. A szivárgó vizek intenzitása tág határok között változhat. Többnyire csak erős talajnedvesedést, talajátázást okoznak vagy gyenge vízszivárgás formájában jelennek meg, de a szemcsés jellegű talajzónákban (a drénhatás miatt) jelentősebb intenzitású vízszivárgás (vízáramlás) is kialakulhat. Az áramlási sebesség a hidrosztatikai, a hidraulikai sajátosságoktól függően változik, de általában nem jelentős. Természetes viszonyok között a szivárgó vizek megjelenési helye, szintje és mennyisége részint a domborzati, rétegződési és permeabilitási sajátosságoktól, részint pedig a meteorológiai viszonyoktól függően (a csapadék mennyisége, illetve területi és időbeli eloszlása) változik. Az erősen csapadékos időszakot vagy az intenzív hóolvadást követően – több-kevesebb idő eltelte után – több helyen is megjelenhetnek, vagy intenzitásuk és nyomásuk megnő, míg egy-egy hosszabb száraz időszakban akár évekre is eltűnhetnek. Az időbeli késleltetés mértéke a vízgyűjtő terület nagyságától, a vízvezető réteg hidraulikai sajátosságaitól függően változik, néhány nap vagy akár egy-két hónap is lehet.

A szivárgó víz egyik igen szembevető sajátossága tehát, hogy a szárazabb időszakokban hónapokra, sokszor évekre eltűnik; ugyanakkor a nedvesebb időszakokban állandóan és nagy területeken összefüggően is kimutatható, vagyis szinte talajvíz jellegű. Másik jellegzetessége, hogy többnyire néhány dm^2 -es keresztmetszetű vízerek, illetve néhány cm-es vagy néhány dm-es vastagságú lepelszerű vízrétegek formájában jelenik meg. A térszíni magasságkülönbségek hatására a szivárgó víz

többnyire kisebb-nagyobb mértékű hidrosztatikai nyomás alatt áll, melynek nyomása, vagyis piezometrikus (piesztikus) értéke az egy-két decimétertől a néhány méterig változhat.

A lejtők alján, vagyis a völgyoldalak és völgytalpak térségében a szivárgó vizek a talajvízzel egyesülnek, azt táplálják. Tehát az ilyen átmeneti jellegű területrészen a szivárgó víz és a talajvíz geotechnikai szempontból egységes és egymással összefüggő vízrendszert alkotnak.

A szivárgó vizek vegyi összetétele és így a mérnöki szerkezetekkel szembeni kémiai agresszivitása igen tág határok között változhat, mivel részint a szivárgási útvonal hosszától, részint a szivárgás közben vele érintkezésbe kerülő talajok vegyi összetételétől függ.

8.2.3. Talajvíz

A felszín alatti első nagy kiterjedésű és összefüggő vízzáró réteg feletti talajrétegekben (ezek lehetnek jó vagy rossz vízvezetők egyaránt) mozgó vagy a legfeljebb 20–30 m mélyen elhelyezkedő, nagy területekre (tájegységekre) kiterjedő, egységes víztömeget képező és összefüggő víztükörrel rendelkező, általában szabad tükűrű vagy csak minimális nyomás alatt álló vízkészletet talajvíznek nevezzük. A talajvíz szintje, mennyisége, mozgása, kémiai és fizikai sajátosságai viszonylag rövid időn belül követik az éghajlati tényezők (csapadék, hőmérséklet) és az emberi beavatkozások változásait.

A geotechnikai és a kivitelezési gyakorlatban a talajvízzel szinte napi rendszerességgel találkozhatunk, mely egyben (ide értve a folyókból származó parti szűrésű talajvizet is) hazánk ivóvízbázisának alapját képezi. Ezért a talajvízzel a következőkben egy kicsit részletesebben foglalkozunk.

Hazánk nagy része – a középhegységi fennsíkok, hegycsúcsok, hegyoldalak és a hegyvidékek magasabban fekvő völgyoldalainak kivételével – talajvizes terület. E talajvizes területek zömét az alacsony térszíni magasságban fekvő lapos folyóvízi síkságok (regionális erózióbázisok) térségei alkotják. Konkrétabban tehát a Duna és a Tisza, illetve ezek mellékvizeinek síkságairól (az Alföld és a Kisalföld), valamint ezeknek a környező hegyvidékkel és dombságokkal érintkező peremi öblözeteiről, van szó. A talajvízzel rendelkező területek kisebb része a környezethez képest alacsonyabban fekvő helyi erózióbázisok (völgyületek és patakok), vagy a helyi lefolyástalan területek (tavak) térségéhez, vagyis a dombvidéki és az alacsonyabb hegyvidéki részekhez köthetők.

A talajvízzel kapcsolatban a továbbiakban említett néhány alapvető fogalom sematikus rajzi magyarázatát a következő oldalon látható 41. ábrán is bemutatjuk.

8.2.3.1. Az osztályozás szempontjai

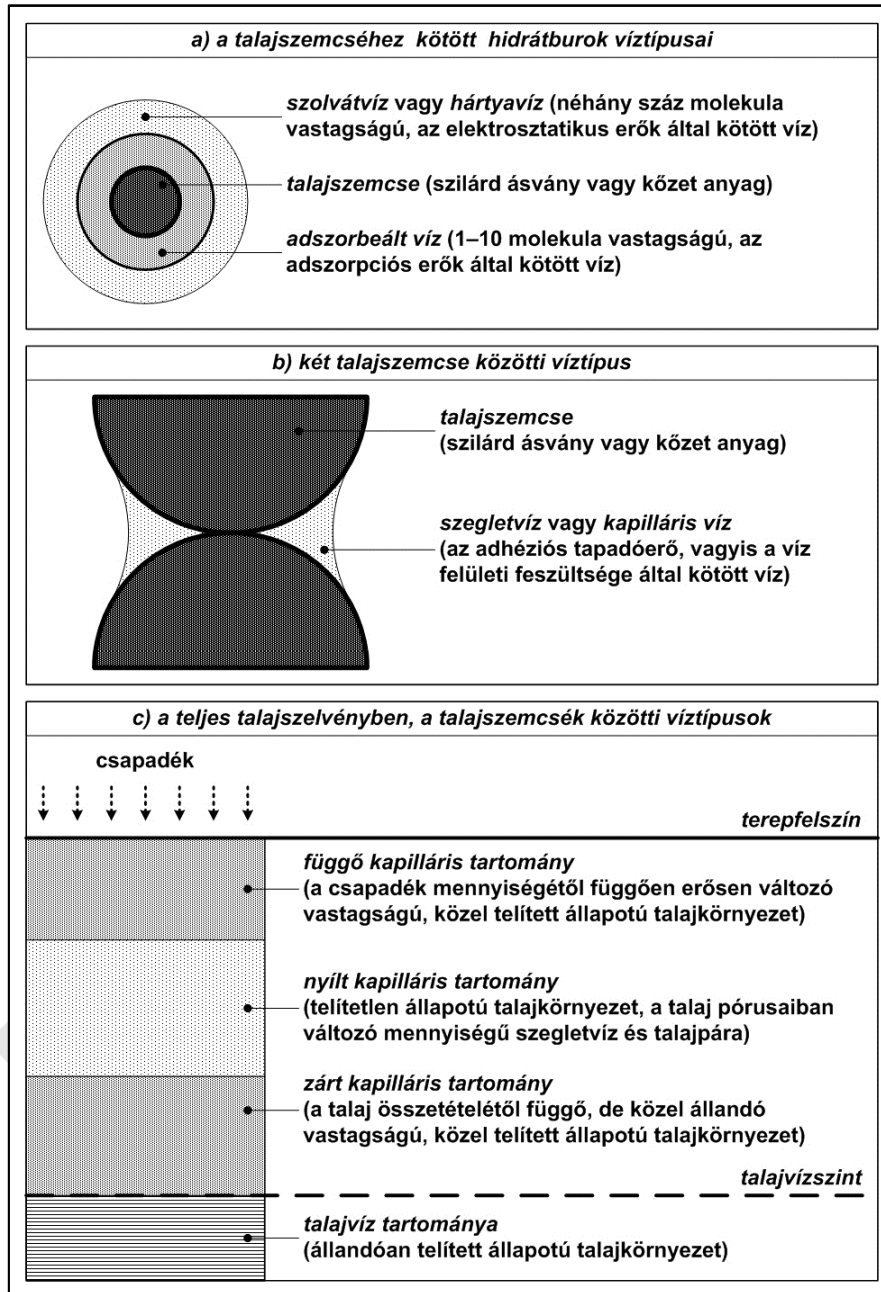
A talajvizeket különböző szempontok szerint osztályozhatjuk. Jellemezhetjük magát a talajvizes területet, a talajvízszint helyzetét és vízjárást befolyásoló körülményeket, a talajvíz színtingadozását, a talajvíz vegyi összetételét.

8.2.3.2. A talajvizes területek jellemzése

A talajvizes területeket a mélységi zónabeosztás, a nyomásviszonyok, a mélységi helyzet és a vízháztartás jellege szerint osztályozhatjuk.

Talajvízes területek mélységi zónabeosztása

Talajvízes zóna: A nyugalmi talajvízszint alatti, állandóan telített tartomány, melyben a talajszemcsék közötti hézagokat teljesen kitölti a talajvíz. A talajvíz mozgása, áramlása is ebben a zónában zajlik. A talajvízes zóna a hidrosztatikus víznyomás alatt álló talajvíz tartománya.



41. ábra. A talajvízzel kapcsolatos néhány alapvető fogalom sematikus rajzi magyarázata

Zárt kapilláris zóna: Közvetlenül a nyugalmi talajvízszint feletti talajzóna, melyben a talaj hézagait teljesen, vagy majdnem teljesen kitölti a talajvízszint felől felszívódó kapilláris víz. Ezt a közel telített zónát a talajszemcséket körülvevő hidrát-

burok és az összefüggő szegletvizek rendszere alkotja, a helyenkénti nagyobb szemcsék közötti pórusokban vízgőz (talajpára) jelenlétével. E tartomány vastagságát a talajszemcsék és a talajvíz között működő adhéziós, valamint a vízmolekulák közötti kohéziós erők (viszkozitás) határozzák meg, vagyis a helyi talajok pórusainak átmérőjétől, azaz a talajok kapilláris emelő képességétől (ez több méter is lehet) függ. A kapilláris erő egyenlő a zárt kapilláris zónában lévő folyadékoszlop súlyával. Ebben a zónában a szívó hatás miatt a légköri nyomásnál valamivel alacsonyabb nyomás uralkodik. Ebből eredően csak lassú függőleges feláramlások vannak, a felszíni párolgás és a talajvíz nyugalmi szintje változásainak függvényében. A zárt kapilláris zóna a nyomás nélküli talajvíz tartománya.

Nyílt kapilláris zóna: A zárt kapilláris zóna és a talajfelszín közötti telítetlen tartomány, melyben csak a talajszemcsék által megkötött és hidrosztatikai erőkkel nem mozgítható csakély mennyiségű hidrátburok és kevés, változó mennyiségű szegletvíz mellett a pórusokat kitöltő talajpára dominál.

Függő kapilláris zóna: A talajfelszín alatti, a csapadék mennyiségétől függően erősen változó vastagságú (időszakosan hiányzó) és közel telített állapotú zárt kapilláris zóna. Az ebben lévő vízmennyiséget a kapilláris erők tartják meg, a többlet víz a mélybe szívárog. E talajzóna az aszályos időszakban teljesen eltűnik, s helyét a nyílt kapilláris zóna veszi át.

A talajvíz osztályozása nyomásviszonyok szerint

Nyílt tükrű (szabad vagy gravitációs felszínű, azaz freatikus) talajvíz: A talajvíz felszínén helyi atmoszferikus nyomás mérhető. A talajvíz mozgása a gravitációs erők hatása alatt áll. A fúrásokon belüli és a talajban lévő külső vízszint azonos.

Zárt tükrű (feszített felszínű vagy nyomás alatt álló, azaz piesztikus) talajvíz: Ha a talajvízzel telített víztartó réteg felett vízzáró üledék van, mely megakadályozza a szabad nyugalmi vízfelszín kialakulását, akkor a víztartó rétegben a talajvíz nyomás alá kerül. Ez esetben a talajvíz felszínén a légköri nyomásnál magasabb nyomás (vagyis piezometrikus nyomás) mérhető. Ilyenkor a fúrásokon belüli nyugalmi vízszint magasabban áll be, mint a talajban lévő külső – a vízzáró réteg alsó síkjával egyező magasságú – vízszint. A két vízszint közötti különbség a talajvíz piezometrikus (piesztikus) nyomásával azonos. A feszített tükrű talajvízbe mélyített észlelőkútban tehát nem a talajvíz tényleges szintingadozásai, hanem a vízáadó réteg felső síkjában beálló nyomásváltozások mérhetők.

A talajvíz osztályozása mélységi helyzete és a vízháztartás jellege szerint

A Magyarországon található talajvízes területek, az átlagos nyugalmi talajvízszint felszín alatti mélységi helyzete szerint (és az éghajlati viszonyoktól függő kisebb-nagyobb eltérésekkel a Föld nagy részén is ehhez hasonló a helyzet), az alábbi besorolás szerint osztályozhatók.

Felszínközeli talajvíz: A talajvíz felszíne a felső egyméteres talajzónában alakul ki. Vízjárását kizárólag és közvetlenül a csapadék és a párolgás befolyásolja, ezért jellegzetes vízjárási görbe (időrendbe szedett vízállási adatok) nem határozható meg. A szintingadozások viszonylag kismértékűek. Általában a relatíve mély fekvésű területekre (völgyfenék vagy tavak környezete) jellemző.

Magas talajvíz: A talajvíz felszíne a terepszint alatti 1–5 méter közötti talajzónában helyezkedik el. A vízszintet a csapadékból eredő beszivárgás, a párolgás és a felszín alatti vízszintes vízmozgások (hozzáfolyás és elfolyás) együttesen alakítják. Már többé-kevésbé szabályos, szezonális vízjárási görbe határozható meg. Viszonylag jelentős a szintingadozás nagysága. Általában a síkságok vízfolyásainak alacsony- és magas-ártéri területein alakul ki.

Közepesen mély talajvíz: A talajvíz felszíne a terepszint alatti 5–7 méter közötti talajzónában helyezkedik el. A vízháztartás már kisebb mértékben a beszivárgás és a párolgás, leginkább a vízszintes áramlások (hozzáfolyás és elfolyás) függvénye. Szabályos vízjárással és viszonylag kis szintingadozásokkal jellemezhető. Általában az alluviális síkságok magasabban fekvő térségeit (pl. vízfolyások közötti homok- vagy löszhátak) jellemzi.

Mély talajvíz: A terepszint alatt 7 méternél mélyebben elhelyezkedő talajvízszint esetében beszélünk mély talajvízről. Erre a talajvízre a felszíni meteorológiai hatásoknak (csapadék beszivárgás és párolgás) már nincs hatásuk, a vízháztartást, a vízjárást szinte kizárólag a felszín alatti áramlási viszonyok (hozzáfolyás és az elfolyás) határozzák meg. Többnyire egyenletes, minimális szintingadozású vízjárást mutat. Általában az alacsony domboságok és a lösztablák térségére jellemző.

8.2.3.3. A talajvízszint helyzetét és vízjárását befolyásoló körülmények

Természetes körülmények között a talajvíz felszínének mindenkori helyzete a hidrológiai és hidrogeológiai viszonyok dinamikus egyensúlyának pillanatnyi állapotát tükrözi. Nyugalmi felszínének szintváltozásait (vízjárását) befolyásoló körülményeket az alábbiakban ismertetjük.

A talajvíz szintingadozását befolyásoló talajfizikai jellemzők közül a víztartó és vízvezető rétegek szabad hézagterefogatának (n_0), valamint a vízáteresztő képességének (k -tényező) nagysága dominál.

A talajvíz felszínének tendenciája követi a térszín domborzatát, sokszor még a mikroformákat is.

A homogén talajvíztartó rétegek által felépített dombok alatt a talajvízszint általában mélyebben, a völgyekben relatíve magasabban áll. Ezt azonban nagymértékben befolyásolja a talajkörnyezet szemszerkezetének minősége is. A finom szemcsés talajokban általában mélyebben, a durva szemcsés rétegekben magasabban áll a talajvíz.

A talajvízszint felszín alatti mélységének függvényében változik a meteorológiai tényezők ráhatásának erőssége és sebessége. A meteorológiai tényezők (főként a csapadék beszivárgása, a párolgás intenzitása és a napi középhőmérséklet) változásai a mélység növekedésével egyre kevésbé és egyre hosszabb idő elteltével érzetik hatásukat. Ha a talajvízszint nincs túl mélyen és nincs jelentős felszín alatti oldalirányú vízmozgás (hozzáfolyás, elfolyás), akkor a talajvíz többé-kevésbé periodikusan kialakuló szintváltozásait elsősorban az említett meteorológiai elemeknek az adott területen bekövetkező változásai okozzák. Ha a talajvízszint mélyen van, akkor annak szintváltozásait alapvetően már az említett oldalirányú vízáramlási sajátosságok szabályozzák.

A csapadék hatása a vízjárásra.

A fő talajvíztápláló időszak a késő őszi esőzés, a téli hómennyiség olvadása és a kora tavaszi esőzés. A csapadék lehullása és a talajvízszintre gyakorolt hatása között kisebb-nagyobb késés tapasztalható, mely egyéb tényezőktől (pl. talajvíz mélysége, beszivárgási viszonyok, vízgyűjtő terület sajátosságai) is függ.

Magyarország éghajlatának melegedése miatt az aszályos (meleg és száraz) időszakok száma és hossza megnövekedett. Ez egyes területeken (pl. a Duna–Tisza-közi Homokhátság területén) a talajvíz átlagos szintjének folyamatos süllyedését okozza.

A léghőmérséklet hatása a vízjárásra

A sokévi közepes vízállások és a léghőmérsékletek időbeli változása általában szinuszoid, melynek periódusa 1 év. A vízállás és léghőmérséklet összefüggése többnyire elliptikus (szélső esetekben kör vagy egyenes; az összefüggés alatt az ábrázolt görbe alakját értve). Az ellipszis ferdesége a hőmérséklet ingadozásának és a talajvízszint ingadozásának (a legalacsonyabb és legmagasabb szintek közötti különbség) arányától függ.

A növényzet hatása a vízjárásra

Számottevő és többirányú szerepe van a növényzetnek is. Egyrészt kiegyenlítő hatású, mivel a lefolyás csökkentésével visszatartja a csapadékot, egyenletessé teszi a vízbeszivárgást és párolgást, ezáltal csökkenti a szintingadozás nagyságát és időben elnyújtja, vagyis csökkenti a változások sebességét. Másrészt párologtató hatásával folyamatosan csökkenti a talajvíz mennyiségét, ezáltal annak nyugalmi szintjét is. A párologtatás (és ez igaz a gyér növényzetű felszín párolgására is) nagysága azonban függ a talajvízszint mélységétől, mivel minél mélyebb helyzetű, annál kevesebb párologhat el belőle.

Az emberi tevékenység hatása a vízjárásra

Az emberi beavatkozással érintett területeken (pl. ipari és mezőgazdasági területek, lakóterületek) a talajvíz szintjét jelentősen befolyásolják a mesterséges tényezők.

A talajvízszint emelkedését okozzák: a mezőgazdasági területek intenzív öntözése, a természetes talajvíz áramlás útvonalában kialakított nagyobb terjedelmű mélyépítési létesítmények visszaduzzasztó hatása, a víztározók vagy halastavak kialakítása, a természetes vízfolyások visszaduzzasztása, az ipari vagy kommunális vizek elszikkasztása (pl. a csatornázatlan vagy az élővizektől távoli területeken). A talajvízszint emelkedését eredményezi a csatornázatlan településrészek hálózatos vízellátásba történő bekötése is, mivel a vízfogyasztás növekedésével az elfolyó, elszikkasztott vízmennyiség is megnő.

A talajvízszint süllyedését okozzák: az ipari vagy kommunális célú folyamatos helyi vízkivétel, drénező hatású mélyépítési létesítmények kialakítása, a vizenyős-mocsaras területek végleges lecsapolása, a folyamatos belvízelvezetés is. Szintén a talajvízszint süllyedését okozza a településrészek csatornázása is, mivel az eddig talajba elszikkasztott vizeket a zárt csatornahálózat vezeti el.

8.2.3.4. A talajvíz szintingadozásának jellemzői

A talajvízszint napi ingadozása: Alapvetően a legfelső rétegek hőmérsékletváltozásainak eredménye. Ebből következően nyáron és kora ősszel a legnagyobb, tavasszal és ősszel jelentéktelen, télen gyakorlatilag nem kimutatható. Nagysága legfeljebb 5–10 cm.

A talajvízszint éves ingadozása: Alapvetően a csapadék és a párolgás ritmusát követi, tehát március–május hónapok táján éves maximumok, szeptember–november körül pedig éves minimumok mérhetők. Magyarország területén az éves maximális ingadozások átlagos értéke 200–250 cm, az éves átlagértékek pedig 70–100 cm-t tesznek ki. A változások menetgörbéjének süllyedő szakasza szabályosabb, mint az emelkedő szakasz.

A talajvíz maximális ingadozása: A talajvízszint észlelő kutakban az elmúlt 50–80 év során az eddigi legmélyebb (LKV) és legmagasabb (LNV) vízszintek között 1–10 m között változó szintkülönbségeket mértek.

8.2.3.5. A talajvíz vegyi összetételének jellegzetességei

A felszín alatti mérnöki szerkezetek vegyi korrózió elleni védelmét csak az azt körülvevő földtani közeg (a talaj és a felszínközeli vizek, ezek közül is főként a talajvíz) kémiai összetételének ismeretében lehet megtervezni. Erre vonatkozóan a következőket állapíthatjuk meg.

A talajvíz minőségét kisebb részben regionális, nagyobb részben helyi adottságok befolyásolják. A talajvizek jellegzetes kémiai karaktere (jellegzetes vegyi összetétele és az összetevők aránya) aránylag gyorsan kialakul.

A vízminőséget a leeső csapadék vegyi összetétele, a vízmozgás során a talajrétegből felvett (a talajból kioldott) alkotórészek kémiai összetétele és mennyisége, valamint a víztartó rétegben lezajló vegyi átalakulások eredményei, továbbá az esetleges mesterséges hatások (antropogén eredetű vegyi szennyeződések) együttesen határozzák meg.

Az áramló talajvíz vegyi anyag tartalmának (ennek döntő többségét az oldott sók alkotják) gyarapodása vagy kémiai átalakulása a finom szemű rétegekben rövidebb idő alatt lejátszódik, mint durvább szemű talajokban.

A vizsgálati adatok szerint az egyébként egységes vegyi összetételt mutató talajkörnyezetben elhelyezkedő talajvíz áramlási viszonyai kis mértékben ugyan, de befolyásolják annak kémiai összetételét is. A hosszan tartó stagnáló talajvízállások időszakában általában pangás tapasztalható, mely a talajvíz besűrűsödéséhez, s így az oldott anyagok koncentrációjának növekedéséhez vezet. Ezzel ellentétben az erőteljesebb talajvíz áramlás – vagyis a gyorsan emelkedő vagy süllyedő talajvízszint – időszakában a talajvíz felhígulása és ezzel együtt az oldott anyagok koncentrációjának csökkenése figyelhető meg.

Az előbbihez hasonló jelenségek játszódnak le a folyóvizek közvetlen hatásterületén belül is. Alacsony vízállásakor, vagyis a vízfolyás felé mutató talajvíz áramlás időszakában a folyótól távolabbi területek felől magasabb sótartalmú vagy egyéb anyagokkal szennyezett talajvizek áramlanak a meder felé. A folyó magas vízállásakor viszont az alacsony oldott anyag tartalmú folyóvíz a parti területek belseje felé áramlik, felhígítva az ott lévő talajvizet.

A lakott területeken fellépő különböző mesterséges hatások jelentősen befolyásolhatják a talajvíz kémiai összetételét. Ilyen tényezők például a szennyvizek vagy ipari vizek helyszíni elszikkasztása és a csatorna vezetékek exfiltrációja, illetőleg a csapadékvizek helyi elszikkasztása vagy az ivóvíz-vezetékek szivárgása is. Előbbi esetekben főként a kommunális eredetű oldott szerves anyagok, tisztítószeres vagy a különböző összetételű vegyi anyagok – ez főként az üzemi területek vagy az erősen szórt útszakaszok környezetében tapasztalható – szennyezik a talajvizet, míg utóbbiak a talajvíz hígulását (az oldott anyagok koncentrációjának csökkenését) eredményezik. A talajvizek agresszivitásának meghatározásakor tehát a vízvétel időpontjában tapasztalt kémiai összetételből kell kiindulni, de figyelembe kell venni a természetes és a mesterséges környezeti hatások nagyságát és tendenciáit is.

Hazánk felszínközeli vízkészletének vegyi összetétele igen változatos. A talajvizet többnyire magas keménység és sótartalom, valamint kalcium–magnézium–nátrium-hidrogénkarbonátos összetétel jellemzi. A talajvizek közül a legelterjedtebbek tehát a $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ tartalmúak, ezek többnyire 300–500 mg/l összes oldott anyaggal rendelkeznek és a talajvizek beszivárgási területein a legáltalánosabbak. A második leggyakoribb csoport a $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ tartalmú vizek, melyek 1.500 mg/l körüli összes oldott anyaggal jellemezhetők és általában a mélyebb talajvízállású, dunántúli karsztos területeken fordulnak elő. Az anionokat nagyrészt a Cl és az SO_4 képviseli, de a települések környéki pangó vizekben és főként a mélyfekvésű alföldi területeken az NO_3 és az NH_4 is jelentős mennyiségben van jelen.

A meleg, száraz, lefolyástalan, feláramlási területeket (ezek az alföldi szikesekre jellemző) a nátrium-hidrogénkarbonátos (NaHCO_3), a konyhasós (NaCl), vagy a keserűsós (MgSO_4) talajvizek jellemzik.

A tőzeges mocsaras térségekben gyakoriak a szulfátos vizek.

A talajvizes területek peremi térségeit – főként a dombvidékek és a hegylábak környezetében – sok esetben oligocén kori agyagos rétegek (az ún. „kiscelli” vagy a „tardi” agyag) építik fel. Ezek magas pirit (FeS_2) tartalma a talajnedvesség, illetve a talajvíz vagy a szivárgó rétegvíz hatására elmállik és ennek eredményeként szulfátban gazdag oldatok keletkeznek.

Az egykori feltöltéshez használt nagy mennyiségű kohósalak, gázgyári salak és iszap esetében a bennük lévő kénvegyületek bomlása során ugyancsak szulfáttartalmú oldatok jönnek létre. Az ilyen összetételű feltöltések környezetében azonban sok esetben még a toxikus nehéz fémek jelenlétével is számolni lehet!

8.2.3.6. Talajvíz általános jellemzői, tulajdonságai

Mivel hazánk területének nagy részét a folyók hordalékai és öntéstalajai által felépített alluviális síkságok (Alföld és Kisalföld) alkotják, s ezen felül meglehetősen nagy arányban található a hegyvidékek és dombságok kisebb vízfolyásai által uralt völgyi területek, ezért a talajvíz általában az élővizek (vagyis a folyóvizek) közvetlen vagy közvetett hatása alatt áll. A következőkben röviden összefoglaljuk ezen területek talajvizének a gyakorlati mérnöki munka során szem előtt tartandó legfontosabb jellemzőit, tulajdonságait.

A magyarországi talajvíz általában szabad tükürű, de egyes helyeken nyomás alatti

talajvíz is előfordulhat. A talajvíz felszíne nagyjából követi a terepfelszín domborzatát. A mélyebb helyeken általában a felszínhez közelebb, a magasabb területeken többnyire a felszíntől mélyebben található. A terepátalakítások következményeképpen a korábbi természetes szinthez viszonyítva a nagyobb területre kiterjedő feltöltések helyén idővel megemelkedik, a bevágások környezetében pedig lesüllyed a talajvíz átlagos szintje. A szivárgó vizekkel és a csurgalékvizekkel ellentétben a talajvíz felszíne kis területeken belül általában közel vízszintes, de a nagyobb területeket tekintve is csak viszonylag kis felszíneséssel rendelkezik. Ebből következik, hogy az áramlás sebessége is többnyire alacsony, s időszakosan akár pangás is kialakulhat. Hazánk területén általánosan magas talajvízállás tapasztalható március–április–május hónapokban és általánosan alacsony talajvízállások mérhetők szeptember–október–november–december hónapokban. A talajvíz átlagos szintjét a talajok tulajdonságainak változása is jelzi. Általános tapasztalat, hogy az átlagos talajvízszint felett – az oxidációs folyamatoknak köszönhetően – általában sárga vagy sárgásbarna színű talajokat találhatunk, míg az átlagos talajvízszint alatt fekvő rétegeket – a redukációs folyamatok miatt – a szürke vagy barnásszürke szín jellemzi. Többnyire az is megfigyelhető, hogy a talajvízszint ingadozási zónájában a durvaszemcsés talajok a relatíve tömörebb, a finomszemcsés talajok pedig a relatíve puhább talajállapotot mutatnak.

A folyóvizek melletti területek talajvíz szempontjából eltérő tulajdonságú övezetekre oszthatók. Ezek legjellegzetesebb, legáltalánosabb sajátosságai a következőkben foglalható össze.

Az élővizek közvetlen hatásvonalán belül a vízfolyás élővize és a parti talajvíz – ha nem is zavartalanul, de az általában durvaszemcsés és jó vízvezető képességű hordalékkúp anyagán keresztül – közvetlenül érintkezik („kommunikál”) egymással. Ebben a parti sávban tehát a vízfolyás szintje közvetlenül befolyásolja a parti talajvíz helyzetét, vagyis a talajvíz és az élővíz ebben a területsávban egységes rendszerként értelmezhető és vizsgálható. Hazánk területén az élővizek hatástávolsága számottevően változik, általánosságban a vízfolyás keresztmetszeti területével és a parti rétegek vízvezető képességével arányosan. A kisebb patakoknál és mellékvizeknél ez többnyire 20–200 m, míg a fővízfolyások (Duna és Tisza) esetében már 200–1.000 m. E területsáv talajvizének pillanatnyi szintjét tehát alapvetően a vízfolyás aktuális vízszintje határozza meg, a meteorológiai és antropogén hatások elhanyagolható szerepet játszanak. A közvetlen parti sávban a talajvíz még néhány nap, esetleg egy–két hét eltolódással követi a folyó szintváltozásait. A határvonal felé haladva a késleltetés időtartama egyre nő, s a vízjáték (másképpen szólva vízjárás) nagysága is jelentősen csökken. Ezen a részen a talajvíz általában 1–10 m mélységben helyezkedik el, s a legalacsonyabb és a legmagasabb talajvízszintek közötti vízjáték többnyire 6–8 m körüli. Az év nagy részében a talajvíz felszínének esése és ezzel szoros összefüggésben az áramlási sebessége is minimális mértékű. Ezek az állapotjellemzők jelentősebb mértékben csak a folyó gyors szintváltozásainak időszakában (erőteljes áradáskor vagy apadáskor), illetve a parti területet érintő nagyobb esőzések után változhatnak meg. Általában a folyami középvízszintek (KÖV) és az ez alatti vízállások időszakára – vagyis az év nagy részében – a meder

leszívó hatása érvényesül, s így a meder felé mutató lassú talajvízáramlás jellemző. Az említett középvízszintek feletti magas vízállások és árvizek idején a helyzet ellenkezőjére fordul, ilyenkor a meder visszaduzzasztó hatására a part felé mutató vízarámlás lép fel, megemelve a partközelen a talajvíz szintjét.

Az élővizek közvetlen hatásvonalán kívül eső átmeneti sávban elhelyezkedő talajvíz tömeg-, mennyiségi-, szint- és áramlási viszonyait már döntő mértékben a domborzati és a meteorológiai viszonyok (vagyis a felszínről beszivárgó csapadékvizek mennyisége) határozzák meg. Természetesen a folyóvizek nagyobb léptékű, szezonális jellegű változásai és tendenciái is érvényesülnek, bár ezek hatásai már csak minimális mértékben jelentkezők. Ez a területsáv igen változó szélességben követi a folyóvizeket, lényegében a holocén kori magas ártér széléig követhető. A Duna és a Tisza igen alacsony fekvésű és közel vízszintes felszínű, nagy kiterjedésű ártéri süllyedékeinek esetében azonban ez akár 10–20 km is lehet! Ebben a térségben a talajvíz általában 3–6 m mélységben helyezkedik el, s a vízjátéka is 2–4 m-re csökken. A vízarámlás általános jelleggel a legközelebbi vízfolyás felé mutat, a vízfelszín esése és áramlási sebessége minimális.

A talajvízes területek élővizektől távoli, peremi területein a talajvíz közvetlen kapcsolatban áll a meteorológiai viszonyokkal (csapadék és párolgás), de helyileg befolyásolják a felszín topográfiai viszonyai (a lefolyás iránya és nagysága), valamint az átlagos térszínből kiemelkedő magaslatok nagysága és távolsága is. Ez utóbbiak közelében már az erre áramló rétegvizek betápláló hatása is érvényesül. Ezekben a térségekben már fokozottabb szerep jut a helyi rétegződési viszonyoknak és az emberi beavatkozásoknak is. Ezekben a területeken a vízjáték 1–2 m körüli, s a talajvíz általában 8–15 m mélységben helyezkedik el. A talajvíz áramlási irányát a helyi rétegződési és morfológiai viszonyok együttesen határozzák meg. Mindezek felül a talajvíz áramlási sajátosságait helyileg még az egyéb antropogén tényezők is jelentős mértékben befolyásolhatják. Általában a talajvíz felszínének esése és áramlási sebessége is kismértékű, néhol pangás is kialakulhat.

8.2.4. Általajvíz

A talajvízszint felett *ideiglenesen* kialakuló víztestet általajvízenek nevezünk. Az általajvíz lényegében a talajvízhez hasonlóan egységes tömegű és egységes vízfelszínnel rendelkező víztömeg, mely azonban csak kisebb területre kiterjedő, lokális megjelenésű, és többnyire csak rövid ideig fennálló, idővel megszűnő képződmény. E jelenség háttérében általában egy speciális rétegződési adottság áll, mely egy általánosan mély helyzetű vagy egy igen tág határok között ingadozó talajvízállással párosul. Vagyis általajvíz általában akkor alakul ki, ha az általánosan jó vízvezető tulajdonságú talajkörnyezetben egy olyan viszonylag nagy kiterjedésű, de aránylag vékony és relatíve vízzáró réteg közbetelepülése mutatható ki, melynek felszíne tálszerűen bemélyedő vagy közel vízszintes. Ha az ilyen rétegződési adottságok mellett a talajvízszint általánosan mély helyzetű, akkor a felszín felől beszivárgó víz e réteg felszínén megreked, s összefüggő vízréteget képez, mely geotechnikai fúrással feltárva talajvízként érzékelhető. Ugyanez a jelenség alakulhat ki akkor is, ha a talajvíz nagy mértékű szezonális ingadozást mutat. Ez esetben a csökkenő talajvíz-

szint viszonylag gyorsan a vízzáró réteg felszíne alá kerül, miközben a talajvíz egy része a réteg felett marad. Az általajvíz mindaddig megmarad, amíg a megrekedt vízmennyiség el nem szívárog, vagy amíg a talajvízszint ismét e réteg fölé nem emelkedik. Az általajvízzel viszonylag ritkán találkozhatunk.

8.3. Felszín alatti vizek általános jellemzése és sajátosságai

A felszín alatti vizek közé tartoznak a felszíntől számított első regionális kiterjedésű vízáadó réteg alatti rétegben, illetve ennek hiányában a 20–30 m-nél nagyobb felszín alatti mélységekben található víztestek. Ezek már nagyrészt a földtani, illetve a hosszabb távú éghajlati változások hatása alatt állnak.

A következőkben a felszín alatti vizek közül a rés- és hasadékvívről, a karsztvívről és a nagy mélységben elhelyezkedő mélységi rétegvívről ejtünk szót.

8.3.1. Rés- és hasadékvíz

A tároló kőzet nyitott, egymással összefüggő tagoló felületei mentén, vagyis a kőzet repedéshálózatában, kőzetréseiben, tektonikus hasadékaiban, illetve nagyobb járataiban elhelyezkedő és abban a gravitációs (hidrosztatikus) erők hatására áramló, szabad felszínű vízkészletet rés- és hasadék vizeknek nevezzük. Ez a víztípus Magyarországon nem jelentős, de kisebb-nagyobb területre kiterjedően szinte minden hegységben előfordul. Alapvetően a felszíni csapadékvizekből táplálkozik, de kivételes esetekben a mellette fekvő és vele közvetlenül érintkező talajrétegek szivárgó vizével vagy talajvizével, esetleg a mélyből jövő rétegvizekkel is kapcsolatban állhat. A vízfelszín dinamikus egyensúlyi helyzetét tehát a felszíni csapadék beszivárgás, a helyi párolgás és az oldalirányú áramlás (hózzáfolyás, elfolyás) biztosítja. Ebből következően mennyisége nagyrészt az éves (szezónális) meteorológiai hatások függvénye. A kőzettestek jelentős kiterjedése miatt a talajvízhez hasonlóan állandó megjelenésű. A befogadó kőzettest anyagától és szerkezetétől függően kisebb-nagyobb, egymástól független víztömegeket is képezhet, ilyenkor területileg változó mélységekben és szinteken jelentkezik. A vízmozgás szabad felszínű, azt a vízvezető hézagok mérete, iránya és a gravitáció (hidrosztatikus nyomás) határozza meg. A víz vegyi összetételét a tároló kőzet kémiai felépítése befolyásolja. A különböző kőzetekben eltérő kialakulású, jellegű, tulajdonságú és ezáltal eltérő sajátosságú víztestet tartalmazó repedéshálózat jöhet létre, a következők szerint.

A felszíni vagy felszínhez közeli magmás kőzetek viszonylag gyors kihűlése miatt (pl. bazalt, andezit) általában keskeny repedések, tagoló felületek, ritkán szélesebb kőzetrések keletkeznek.

Tektonikus erők hatására a kőzet szilárdságától, rétegzettségétől és az erőhatások jellegétől függően számos eltérő repedés- és járatrendszer alakulhat ki.

- A nem karsztosodó vulkanikus kőzetekben két jelenség játszódhat le a tektonikus erők hatására. Ha a nyomó- vagy nyíróerők hatására a már meglévő repedések bezáródnak vagy eltolódnak, akkor ezek a felszín alatti vizek áramlását jelentősen lecsökkentik vagy meg is szüntetik. Ha húzó erők hatására a kőzettömbök elválnak egymástól, akkor széles járatrendszer alakulhat ki, melyben a víz szabadon áramlik.
- A karsztosodó karbonátos (mészkő esetleg dolomit) kőzetekben a tektonikus

erők hatására sűrűn repedezett és tört vagy zúzott–morzsolt zónák keletkeznek, melyek mentén keskeny repedések, illetve szélesebb közetrések és járatok alakulnak ki. Ezek a későbbi hévíztevékenység vagy a folyamatos felszíni beszivárgás eredményeként karsztos üreg- és barlangrendszerre fejlődhetnek.

A fizikai és kémiai mállási folyamat eredményeként létrejövő repedések általában csak a felszínre került közettest felső néhányszor tíz méter vastagságú zónájára jellemzőek és többnyire keskenyek (mikrorepedés-hálózat). Ebből következően vízvezető és víztároló képességük is alacsony.

A karsztosodásra hajlamos kőzetek kivételével a repedéshálózatban tárolt vagy az abban mozgó rés- és hasadékvíz mennyisége nem számottevő. Előfordulhat az is, hogy a korábban már kialakult repedéseket agyagos képződmények, mállástermékek töltik ki. Ennek eredményeként a repedések elzáródnak, s a vizek áramlása megszűnik.

8.3.2. Karsztvíz

A karsztvíz a karsztosodó kőzetek (jellemzően a mészkövek, egyes esetekben a dolomitok, alárendelten a gipsz és kősó) repedéseiben, üregeiben és járatrendszerében gravitációsan mozgó víz. A karszt önmagában geomorfológiai fogalom, mely mindazokat a sajátos morfológiai jelenségeket foglalja magába, amelyek a vízben többé-kevésbé oldódó kőzetekre jellemzőek. A karsztosodás pedig mindazon jelenségek összessége, melyek az erózióbázis fölé emelkedett kőzetekben főként a kémiai mállás, alárendelten pedig a karsztjáratokban áramló karsztvíz mechanikai, eróziós hatására jönnek létre.

Magyarországon csaknem kizárólag a karsztosodásra hajlamos mészkő és dolomit (nagyraoszt a felső-triász kori repedezett dolomit és dachsteini mészkő, helyenként a középső-eocén kori miliolinás mészkő és a felső-eocén kori főnummulinás mészkő, valamint bryozoás mészkő) alkotja a karsztvidékeket. A Keszthelyi-hegység, Balaton-felvidék, Bakony-hegység, Vértes-hegység, Gerecse-hegység, Pilis-hegység, Budai-hegység, Sopron környéke, Mecsek-hegység, Villányi-hegység, Szokolyai-medence, Cserhát-hegység, Bükk-hegység és az Aggteleki-karszt együttesen jelentős nagyságú területet foglal el. A karsztos kőzeteink legmélyebb vízzáró szintjeit az alsó-triász kori márga rétegek alkotják. A mezozoós–karbonátos karsztos kőzetekben részint a tektonikus erők hatására létrejövő sűrű töréses repedéshálózat és a törések mentén létrejött zúzott–morzsolt (kataklázos) zónák kialakulása, részint a későbbi hévíztevékenység, részint pedig a folyamatos felszíni vízbeszivárgás eredményeként, a repedések és közetrések mentén egyre szélesedő járatok alakultak ki. Ezek később karsztos üreg- és barlangrendszerre fejlődtek, melyben a karsztvíz hatalmas tömegei tározódnak és mozognak gravitációsan a környező erózióbázisok (medence területek, süllyedékek, illetve alacsonyabban fekvő hegylábi területrészek) irányába. A karsztvizet (vagyis a karsztban elhelyezkedő vizet) szinte kizárólag a felszínről beszivárgó csapadékvíz táplálja, ám egyes lokális területrészekben (így például a budapesti Rózsadomb egyes részein) a szomszédos porózus üledékekből átszivárgó vagy a mélyebb szintek felől feláramló hévizek, illetve a fedőüledékek rés- és hasadékvizei is hozzájárulnak a karsztvíz mennyiségének növe-

léséhez. Ez a karsztvíz egyébként – a talajvíz után – hazánk második legnagyobb ivóvíz készletét képezi. A karsztvidékek és a karsztvíz jellegzetességeit, sajátosságait az alábbiakban ismertetjük.

8.3.2.1. A legjellemzőbb karsztjelenségek

Az alábbi jelenségeket tekintjük a leggyakrabban előforduló karsztjelenségeknek: karrmező, töbör, rogyás, uvala, polje, víznyelő, karsztforrás, buvópatak, karsztbarlang és cseppkő.

Karrmező (ördögszántás): A mészkőfennsíkok és a mészkőhegységek felszínén levő kőzetrepedéseket a beszivárgó szénsav- és humuszsavtartalmú csapadékvíz barázdákká, gödrökké mélyíti és tágítja. Az így kialakult hullámos, barázdás, gödrös mészkőfelszín a karrmező vagy az ördögszántás.

Töbör: A töbör lapos, többnyire csésze vagy tál alakú bemélyedés, oldásos képződmény, amelynek mélysége néhány métertől néhányszor tíz méterig terjed, átmérője pedig akár több száz méter is lehet. A töbrök elsősorban a mérsékelt és szubtrópusi éghajlaton, az alacsonyabb hegységekben alakulnak ki. A töbrök alja többnyire sík, kissé egyenetlen, melynek apró repedésein keresztül a záporok után összegyűlő víz lassan szivárog el.

Rogyás, beszakadás, szurdokvölgy: Habár a mészkő meglehetősen szilárd, állékony kőzet, a benne kialakult üregek (barlangok) mégsem örök életűek, hanem mennyezetük előbb-utóbb felszakadozik. A mélyben bekövetkezett omlások hatására a felszínen lapos, egyenetlen aljú mélyedés, ún. rogyás jön létre. Előfordul, hogy az omlás egészen a felszínig felharapódzik. Ilyenkor meredek, esetleg aláhajló falú, omladékkal borított fenekű beszakadás jön létre. Hosszabb járatok beomlásaakor szurdokvölgyek keletkeznek.

Uvala (lápa): A karsztfennsíkokon nagy kiterjedésű, olykor több kilométer átmérőjű mélyedések is kialakulhatnak, amelyekben kisebb töbrök helyezkednek el. Ezeket a többszörösen egymásba ágyazott töbröket nevezzük uvalának, vagy más néven lápának.

Polje: A karsztvidékek sajátos képződményei a poljék. A polje nagyméretű, gyakran több négyzetkilométer kiterjedésű beszakadás, amelynek nincsen felszíni lefolyása. A poljében összegyűlő vizek a felszín alatt, barlangjáratokon keresztül jutnak el a karsztvidék peremére. A kopár és száraz karsztfennsíkokon csak a poljékban van vízfolyás és a földműveléshez megfelelő talaj, ezért a falvak is a poljékba települtek. Időnként előfordul, hogy a hirtelen hóolvadás, zápor következtében összegyűlő nagy mennyiségű vizet a barlangjáratok nem győzik elvezetni, ezért a polje árvízveszélyes területté is válhat.

Víznyelő (ponor): A karsztvidékek talán legérdekesebb jelenségei a víznyelők. A víznyelő vagy ponor rendszerint csésze vagy tölcsér alakú, többnyire elnyújtott mélyedés, amelynek átmérője néhányszor tíz métertől néhány száz méterig terjed. A víznyelő talpa határozottan lejt, benne rendszerint vízmosás alakul ki, amely az időszakosan vagy állandóan folyó vizet a víznyelő legmélyebb pontjához vezeti. A nyelő szája még a nagyobb vízmennyiséget is hangos „szürcsöléssel, kortyolással” elnyeli, és csak ritkán fordul elő, hogy a nyelőszájánál megtorlódó víz rövidebb ideig

tóvá duzzad. A víznyelők általában a karsztos és a nem karsztosodó kőzetek határának közelében alakulnak ki. A víznyelő tulajdonképpen olyan váltópont, ahol a felszíni vízfolyás a karbonátos kőzetekben kialakult üregrendszerbe lép, és – hordalékát is magával szállítva – a föld alatt folytatja útját.

Karsztforrás: A karsztforrás bizonyos szempontból a víznyelő ellentéte: olyan váltópont, ahol a felszín alatti vízfolyás a karszterület peremén a felszínre lép. Más forrásoktól eltérően a karsztforrás általában egy meghatározott pontban, koncentráltan fakad. Többnyire bővizű, de vízjárása és a víz minősége szélsőségesen ingadozó. Szárazabb időszakokban kristálytisza vize igen sok oldott meszet tartalmaz, amely a CO₂ elillanása miatt kicsapódik, és forrásmész, mésztufa képződik. (Megjegyzés. Ez esetben a tufa kifejezés nem a keletkezésre, hanem a likacsosporózus szerkezetre utal.) Csapadékos időszakokban vagy hirtelen hóolvadás után a karsztforrásból előtörő víz mennyisége akár a több százszorosára növekedhet. Ilyenkor a karsztos üregeken keresztül folyó zavaros, barna áradat oldott mésztartalmú erózióval lecsökken. A karsztforrás vízhozamának és a víz vegyi összetételének változásából, a víz által szállított hordalékból következtetni lehet a forrás mögötti üregrendszer méretére, tágasságára is.

Búvópatak: A karsztvidékek érdekes jelensége a búvópatak, mely lényegében egy olyan kisebb vízfolyás, mely hol a felszínen, hol a felszín alatt halad. Gyakran előfordul, hogy a nem karsztos kőzetből vagy a talajból fakadó kisebb forrás vize néhány száz méterrel odébb víznyelőben tűnik el. A poljékra is jellemző, hogy a polje egyik szélén feltörő karsztforrás vize a poljén keresztül folyva a másik szélén újból a föld alá bújik.

Karsztbarlang: A legjelentősebb felszín alatti karsztforma a repedéshálózat mentén oldódással táguló üreg, a karsztbarlang. A barlang többnyire folyosók és járatok rendszere, amelyek időnként termékké szélesednek. A járatok formája és mérete általában szélsőségesen változik a befoglaló kőzet repedezettségétől és oldhatóságától függően. A járatok igen gyakran egymás fölött több szintben, emeletesen helyezkednek el. A különböző szinteket aknák és kürtők kötik össze. Az ilyen emeletes barlangrendszer kialakulásának részben kőzettani, részben éghajlati–tektonikai okai vannak.

Cseppkő: A karsztbarlangok jellegzetes képződménye a cseppkő, mely a vízben oldott mészkiválásával jön létre és fejlődik. A járat mennyezetéről (főte) lelógó, lefelé növekvő cseppkő a függőcseppkő vagy sztalagtit; a járat alján (talp) álló, felfelé növekvő cseppkő az állócseppkő vagy sztalagmit; a függő- és az állócseppkő összenövéséből keletkező cseppkőoszlop a sztalagmát.

8.3.2.2. A karsztosodás feltételei és folyamata

A karsztosodás feltételeit az alábbiakban foglaljuk össze.

A karbonátos kőzettömegek jellemzése: A karsztosodásra legalkalmasabbak az egymással közel párhuzamos településű és vastag rétegekből álló, nagy ösztvastagságú és nagy kiterjedésű mészkő tömegek. A lemezes és gyűrt mészkőben, illetve a dolomit rétegekben már kevésbé erőteljesebb a karsztosodás.

Tektonikai igénybevételek: A tektonikai igénybevétel hatására a merev kőzettö-

megek összeropedezése, sűrű törésvonal-hálózata számottevően segíti és gyorsítja a karsztosodási folyamatot. A nagyobb, tágasabb és általában függőleges karsztjáratok szinte minden esetben a tektonikai törésvonalak által preformált (előre alakított) helyeken és irányok mentén alakulnak ki.

A kőzet rétegzettsége: A kőzettömegek rétegzettsége is segíti a karsztosodást, mivel a vízszintes karsztjáratok nagy része a gyengébb réteghatárokhoz kötődik.

A kőzettömeg kiemelkedése: A karsztosodási folyamat csak a tektonikus kéregmozgások következtében a környezet erózióbázisa fölé – vagyis a felszínre vagy annak közvetlen közelébe – kiemelkedő kőzettestekben indulhat el, mert ez biztosítja a vizek gravitációs (hidrosztatikus) hatásokra bekövetkező áramlását.

A karsztosodás folyamatát a következőkben ismertetjük.

A víz kémiai oldó hatása: Ez jelenti a karsztosodás folyamatának alapját, s annak közvetlen okát. A lehulló esővíz a légkör széndioxidjának egy részét felvéve szén-savas vízzé alakul, mely a karbonátos kőzeteket feloldva, kémiaiilag megbontva hozza létre a karsztosodási folyamatot, a karsztjelenségek kialakulását. Az egyensúlyra törekvő reverzibilis (visszafordítható) oldási folyamat reakcióegyenlete: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Jobb irányban haladva az oldás, bal irányban haladva a kiválás (cseppkőképződés) folyamata megy végbe. A vízben jelenlévő, oldott, szabad CO_2 és a víz hőmérsékletének függvényében válik ki, vagy oldódik a kalciumkarbonát.

A keveredési korrózió: Ez az oldási jelenség különösen a mélykarsztok esetében, illetve az erózióbázis alatti karsztjáratok bővítésében játszik szerepet, ahol már szinte kizárólag csak az oldódási folyamatok működnek (pl. a Tapolcai tavasbarlang). A két különböző sókoncentrációjú vagy hőfokú karsztvíz keveredésekor agresszív CO_2 válik ki, mely további oldásra képes. A keveredési korrózió hozza létre a korróziós fülkéket (üstök) és a zsákjáratokat (vakjáratok).

A víz mechanikai, eróziós hatása: A víz oldó hatása mellett jelentős szerepe van a járatokban áramló karsztvíz és a karsztvízzel szállított hordalék mechanikus kopató, eróziós hatásának is, mely felgyorsítja a járatok bővítését, tágítását.

8.3.2.3. A karsztvíz egyéb jellemzői

A karsztvíz áramlási jellemzői az alábbiak.

A felszín alatti vizek közül a legélénkebb és legsajátosabb áramlási viszonyai a karsztvizeknek vannak. Ez általában nyílttükrű, de esetenként lehet nyomás alatti áramlás is, mely a mikro-szivárgástól a lamináris áramláson át a turbulens áramlásig változhat. Az áramlás alapját a nehézségi erő hatására kialakuló hidrosztatikus nyomáskülönbség képezi. A karsztos kőzetekben lévő nagyobb méretű repedések, járatok és üregek vizét hidraulikailag a közlekedő edények törvényével jellemezhetjük.

A karsztjáratok – méreteik miatt – sokkal gyorsabb vízmozgást tesznek lehetővé, mint a porózus kőzetek. A karsztok belsejében nem ritka a néhány száz m/óra sebességű áramlás, mely a barlangok búvópatakjainak esetében már több km/óra is nőhet. Ezért a csapadék és a hó olvadékvize sokkal gyorsabban hat a karsztvízszintre, mint pl. a talajvízre. Mivel a vízvezető karsztjáratokban a víz föld alatti át-

futási ideje jelentősen lerövidül, s a porózus kőzetek szűrő hatása is elmarad, így öntisztulásra nincs, vagy csak minimális lehetősége van.

A karsztvíz hőmérsékleti jellemzői a következők.

A nyílt karszt területén a karsztvíz hőmérsékletének ingadozása nagyjából arányban áll a külszíni hőmérséklettel és a vízutánpótlódás mértékével.

A fedett, illetve mélykarsztoknál a hőmérsékleti viszonyok a rétegvizekhez hasonlóan alakulnak.

A nagyobb áteresztőképességű karsztos kőzetekben a karsztvíz hőmérsékletének kiegyenlítődése sokkal intenzívebben megy végbe, mint ahogy a hőmérsékletkiegyenlítődés a kőzetekben mozgó egyéb vizek esetében tapasztalható.

A mélyből felszivárgó karsztvizek, illetve a mélységi rétegvizekkel (hévizekkel) keveredő karsztvizek esetében a számítható geotermikus gradiens jelentősen lecsökken, a karsztvíz melegebbé válik (hévizes karsztvíz vagy karsztos hévíz). Ilyen jelenség tapasztalható a Budapest budai oldalán feltörő dunamenti források esetében is.

A karsztvíz vegyi és bakteriológiai jellemzőit röviden az alábbiakban ismertetjük.

Az erózióbázis felett elhelyezkedő karsztvíz vegyi összetétele jelentősen változó, a felszínről befolyó vizek összetételétől függően. Az erózióbázis alatti helyzetű karsztvíz viszont többnyire már nagyjából állandó kémiai összetételű.

A tipikus karsztvíz mindig kemény víz (kb. 200–220 mg/l CaO), uralkodnak benne a karbonátok (a Ca/Mg arány általában 1,2–1,4), jellemzően kb. 400–600 mg/l lepárlás utáni szilárd maradékot, 10–80 mg/l kloridot, 30–40 mg/l szulfátot is tartalmaznak.

A karsztvíz bakteriológiai jellemzői, részint a felszíni vizek minőségének, részint a beszivárgás körülményeinek, részint pedig a természetes szűrés nagyságának függvénye. Mivel az erózióbázis felett elhelyezkedő karsztjáratokba igen hamar és szinte teljesen szűrés nélkül jut le a felszíni víz, ezért a vegyi és bakteriológiai elszennyeződés lehetőségét tekintve a karsztvíz különösen sérülékeny.

8.3.2.4. A magyarországi karsztrendszerek osztályozása

A karszt területeken belül kialakuló, összefüggő járat- és vízrendszerrel rendelkező egységeket karsztrendszernek nevezzük. Ezek nem minden esetben alakulnak ki, illetve idővel (a karsztosodási folyamat előrehaladásával párhuzamosan) az addig önálló rendszerek egymással egyesülhetnek. Hazánk karsztterületeinek és karsztvizeinek klasszikus osztályozását Horusitzky Henrik állította össze [HORUSITZKY, 1942], a következőkben ezt ismertetjük.

A karsztos kőzet fedettségi viszonyai szerinti osztályozás

Nyílt vagy kibukkanó karszt: A karsztos kőzet kibukkan a felszínre, felette nincs vízzáró fedőképződmény. A karsztvíz nyílt (szabad) tükrű és közvetlenül a ráhulló csapadékból táplálkozik, ezért a csapadékviszonyok változására érzékenyen reagál.

Fedett karszt: A karsztosodott kőzetet vízzáró fedőréteg takarja. Az ebben elhelyezkedő karsztvíz többnyire szabad tükrű. Viszonylag gyakori eset azonban, hogy a fedett karszt üregeit a karsztvíz teljesen kitölti, mely így – a fekü- és a fedőkőzet közé szorulva – nyomás alá kerülhet és zárt tükrű (leszorított) lesz.

A karsztos kőzetben mozgó víz magassági helyzete és áramlási iránya szerinti osztályozás

Leszálló karszt (leszálló öv): A felszín felől a karszt belsejébe szivárgó víz útjának felső szakaszán – ahol egyébként legerősebb a víz oldó hatása – csak helyenként és időszakosan tölti ki a járatrendszer, mivel a víz csak egyszerűen átfolyik a rajta. Az átfolyó víz mennyisége szélsőségesen ingadozó, erősen függ a csapadéktól. Ez jól tükröződik a belőle táplálkozó források szélsőségesen változó vízhozamában, valamint a források erősen különböző magassági helyzetében. Mivel nem minden repedés, üreg van vízzel kitöltve és a járatokban még nem tárolódik a víz, ezért nem beszélhetünk összefüggő karsztvízről sem. Tehát nincs összefüggő karsztvízszint sem, az egyes járatokban a karsztvízszint egymástól függetlenül alakul ki. A leszálló övben tehát a víz szabad tükrű, a gravitáció hatására szivárog a mélybe.

Függő karszt (függő öv): Ha a leszálló övben – helyileg és időlegesen – a nagyobb mennyiségű lefelé mozgó víz (pl. heves esőzések után) a szűk járatokban megreked, akkor ott átmenetileg kisebb-nagyobb összefüggő karsztvíztest alakul ki. A vízmozgás lelassul, de nyílt tükrű marad. Az áramlás továbbra is alapvetően függőleges irányú, de lokálisan kisebb vízszintes szivárgások is kialakulhatnak.

Támaszkodó karszt (támaszkodó öv): A leszálló karsztban függőlegesen lefelé áramló vizek – elérve a karsztos kőzettömeg alján fekvő vízzáró rétegeket – megrekednek (mintegy „rátámaszkodnak”) és felhalmozódnak. A támaszkodó karszt vize tehát már összefüggő víztömeg, s ennek összefüggő víztükre alatt a víz hidrosztatikus nyomása érvényesül. A támaszkodó karszt víztömege nagy és kevésbé ingadozó. Általában – különösen, ha több karsztvíz emelet is kialakul – a legalsó, legmélyebb támaszkodó karsztot főkarsztként is említik, melynek közel vízszintes piezometrikus síkja a főkarsztvíz szintje.

A főkarsztvíz szintjének erózióbázishoz viszonyított magassági helyzete szerinti osztályozás

Sekély karszt: Ez esetben a főkarsztvíz szintje az erózióbázis felett van. A sekélykarszt általában közvetlen felszíni kapcsolattal rendelkezik, vagyis általában nyílt karszt. A kőzetben a vízszintes járatok az uralkodóak, melyek alakja, keresztmetszete és helyzete szeszélyesen változó. A víztároló képessége és a csapadék kieléltetése viszonylag kis mértékű, ezáltal vízmennyisége és a források vízhozama is erősen csapadékfüggő. Nyílt karszt esetében – az intenzív függőleges vízbeáramlás miatt – a támaszkodó öv vízének felszíne általában óraüvegszerűen feldomborodik és benne az alacsonyabb peremi részek (erózióbázis) felé jobbra horizontális áramlások és járatok alakulnak ki. Ha a vízzáró alap a környező erózióbázisnál mélyebben fekszik, a támaszkodó öv vízszintes áramlásai egy lencse formájú zónát képeznek. Ebben a víz oldó hatása – főként a keveredési korrózió miatt – jelentős lehet, míg a támaszkodóöv alsóbb részein már minimális, hiszen ott az áramlások gyakorlatilag megszűnnek.

Mélykarszt: Ez esetben a főkarsztvíz szintje az erózióbázis alatt van. Nyílt és fedett karszt változata egyaránt kialakulhat. A tároló képessége a sekély karszthoz vi-

szonyítva nagyobb, járatai uralkodóan függőleges irányban fejlődnek. A vízmozgás sebessége alacsony. A mélykarszt vize viszonylag jelentős késéssel követi a csapadék változásait. Ezért a csapadék vízszintre gyakorolt hatása is késleltetett. A források vízhozama viszonylag kiegyenlített.

A karszt függőleges tagozódása szerinti osztályozás

Egyszintű karszt: A karszterület egyetlen, összefüggő karsztrendszer képez.

Többszintű karszt: A karszterületen több, egymás feletti, de egymástól független karszt emelet alakult ki. Főként akkor jön létre, ha a karsztosodott kőzettömeget közel vízszintes településű és nem karsztosodó rétegek tagolják több egymás felett elhelyezkedő szintre. Ha a nem karsztosodó rétegek a tektonikai mozgások következtében sem lesznek lényegesen vízáteresztők, akkor a felettük és alattuk kialakuló karsztosodott szinteket elkülönítik. Így a legalsó főkarsztvíz szintje fölött akár több karsztvíz emelet (ezeket magas karsztvíz szinteknek nevezik) is létrejöhet.

8.3.2.5. A karsztosodott területek vízjárásának általános jellemzése

A karsztosodott területek vízjárása és annak változásainak hevéssége (vagyis időbeli és mennyiségi változásainak nagysága) a karsztos kőzet minőségétől, a karsztosodás mértékétől, a karsztvízszint mélységétől és a karsztvíz tömegétől függ. A karszt vízjárásának változásait a megcsapolási helyek (kutak, források) vízhozamának és vízszintjének változásai mutatják.

Minél közelebb van a karsztvízszint a felszínhez, és minél nyíltabb a karszt, annál élénkebben és kisebb késéssel követi a csapadékviszonyok változásait. A mélykarszt és a zárt tükrű karszt vízjárása kiegyenlítettebb, lassúbb, nagyobb periódusú és kisebb amplitúdójú, a sekély karszthoz és a nyílt tükrű karszthoz viszonyítva.

Esetenként előfordulhat, hogy a leszálló karsztvíz helyileg és időszakosan megemeli a főkarsztvíz tükrét, ezt nevezzük megemelt karsztvíznek.

8.3.3. Mélységi rétegvíz

A már viszonylag nagy mélységben – az első vagy az ezt követő valamely mélyebb regionális vízzáró réteg alatt – elhelyezkedő és a felszín felől zárt víztartó földtani képződmények pórusaiban, repedéseiben vagy járataiban változó nyomás alatt tározott, és a nyomáskülönbségek hatására áramló víztesteket mélységi rétegvíznek vagy egyszerűbben csak rétegvíznek nevezzük. Ez esetben a vízháztartást kizárólag a zárt rendszerre jellemző vízmozgások (a hozzáfolyás és az elfolyás) szabályozzák. Abban az esetben, ha az első regionális vízzáró réteg a felszín alatt nagy mélységben található, s ezért a felette elhelyezkedő víztest felszíne a terepszinttől számítva 20–30 m-nél mélyebben helyezkedik el, akkor ezt is a mélységi rétegvizek közé soroljuk. Ebben a mélységben ugyanis a meteorológiai hatások már jelentéktelenek, s a vízháztartást szinte kizárólag a vízszintes hozzáfolyás és elfolyás szabályozza.

A szakmai szóhasználatban előfordulhat még az *artézi víz* (ha egyszerű vezetékes ivóvízként fogyasztják és hőmérséklete 18 °C alatti), a *hévíz* vagy *termálvíz* (ha fűtésre, hőnyerésre vagy uszodai célokra használják), a *gyógyvíz* (ha gyógyászati célokra hasznosítják) és az *ásványvíz* (ha oldott sótartalma magas) kifejezés is.

Egy területrészt alatt akár több mélységi rétegvíz emelet is elhelyezkedhet (ilyen

például az Alföld homok és agyag rétegek váltakozásából felépülő pannon összlete), melyeket vízzáró rétegek választanak el egymástól. Ezek a mélységi rétegvizek egymástól független, önálló víztesteket alkotnak, melyek tulajdonságai is eltérőek lehetnek. A mélységi rétegvizek általános jellemzője, hogy azok a földtani folyamatok, illetve a földtörténeti korokhoz kapcsolható igen hosszú távú éghajlati változások hatása alatt állnak. A mélységi rétegvíznek igen nagy szerepe van az ipari- és az ivóvízellátásban. A mélységi rétegvizek adják hazánk harmadik legnagyobb ivóvízkészletét.

A mélységi rétegvizek osztályozása a vízáadó réteg vízvezető képessége szerint

Az osztályozás alapelve a vízáadó réteg vízvezető, vízleadó képessége. Vagyis, hogy a rétegből gravitációs kutakkal gazdaságosan kitermelhető-e használható mennyiségű víztömeg. Ennek megfelelően a mélységi rétegvizeket az alábbiak szerint osztályozhatjuk.

Vízvezető réteg (pl. kavics, homok), mely szabad vízáramlást biztosít a víznyerő kút felé. Víznyerésre kiválóan alkalmas.

Vízvisszatartó vagy vízrekesztő réteg (pl. aleurit, homokos aleurit, agyagos aleurit), mely lefékezi, de megfelelő nyomásviszonyok mellett lassan átengedi a vizet. Víznyerésre megfelelő.

Megjegyzés. Aulerit alatt elősorban kőzetlisztet értünk (geológus megközelítés), de tekinthető (mezőgazdasági szempontok szerint) vályognak, illetve (geotechnikai szempontok alapján) iszapnak.

Vízzáró réteg (agyagok, agyagmárgák), melyből nem, vagy csak igen nagy rétegnomás esetében és akkor is csak igen kevés rétegvíz nyerhető. Víznyerésre többnyire alkalmatlan.

A rétegvizek osztályozása a rétegvízben uralkodó nyomás szerint

A rétegvizek piezometrikus nyomása egyenlő a réteget megnyitó fúrásban beálló nyugalmi vízszint és a vízáadó réteg felső síkja közötti vízoszlop hidrosztatikai nyomásával. A nyugalmi vízszintnek a terepszinthez viszonyított helyzete alapján a rétegvíz lehet *negatív*, ha a nyugalmi vízszint a térszín alatt áll be, vagy *pozitív*, ha a nyugalmi vízszint a térszín felett áll be.

A mélységi rétegvizek osztályozása hőmérsékletük szerint

A mélységi rétegvizek hőmérséklet szerinti osztályozására vonatkozóan többféle beosztás létezik, Magyarországon korábban általánosan (Bélteky Lajos, 1960. – Papp Szilárd, 1957. – Schmidt Elégius Róbert, 1959. munkássága nyomán) az alábbi hidrogeológiai osztályozást használták.

37 °C alatt hidegvíz, részletesebben:

- 18 °C alatt hideg víz: általában az ivó-, ipari- és mezőgazdasági vízellátás szempontjából van jelentősége.
- 18–25 °C között langyos víz: jellemzően ivó- és ipari vízellátás, valamint strandfürdők és fedett fürdők céljaira használják.
- 25–37 °C között meleg víz vagy termásvíz: többnyire strand- és fedett fürdők céljára, ritkán ivó és ipari vízellátásra hasznosítják.

37 °C felett hévíz, részletesebben:

- 37–60 °C között kevésbé forró hévíz: általánosan strand- és fedett fürdők, illetve fűtés és melegvíz ellátásra alkalmas.
- 60–90 °C között forró hévíz: főként energia fejlesztésre (hőerőművek) és fűtés–melegvíz ellátásra használható.
- 90 °C felett igen forró hévíz: alapvetően energia fejlesztésre (hőerőművek) hasznosítható.

Manapság már inkább az újabb és egyszerűbb osztályozást alkalmazzák, a következők szerint:

- 30 °C alatt hideg víz,
- 30 °C felett hévíz.

A mélységi rétegvizek osztályozása a nyomást létrehozó hatások jellege szerint

Víznyomásos rétegvíz: a mélységi rétegvíz saját nyomása alatt áll.

Gáznyomásos rétegvíz: a mélységi rétegvíz a benne oldott gázok nyomása alatt áll.

Rugalmas konszolidációs mélységi rétegvíz: a mélységi rétegvíz, a víztartó réteg feletti közettömegek súlya által összenyomódó és konszolidálódó víztartó rétegben fennálló nyomással (kőzetnyomás) azonos nyomás alatt áll.

A mélységi rétegvizek osztályozása a víz utánpótlódásának körülményei szerint

Utánpótlódással rendelkező mélységi rétegvíz: A mélységi rétegvíz folyamatos utánpótlódása biztosított. Az utánpótlódás általában egy távolabbi és viszonylag nagy területre kiterjedő beszivárgási területen (tápterületen) történik. A víz nyomását az utánpótlódás tartja fent. Vízgazdálkodási okokból csak a folyamatosan utánpótlódó (dinamikus) vízkészletet szabad kitermelni.

Korlátozott utánpótlódással rendelkező mélységi rétegvíz: A mélységi rétegvíz utánpótlódása csak kis mértékű, lassú, korlátozott intenzitású. Általában a kicsi vagy igen távoli tápterület, illetve a vékony vagy rossz vízvezető képességű réteg esetében áll elő. Ez esetben is csak a folyamatosan utánpótlódó (dinamikus) vízkészletet szabad (de csak akkor, ha az feltétlenül szükséges) kitermelni.

Utánpótlódással nem rendelkező mélységi rétegvíz: A mélységi rétegvíznek nincs utánpótlódása. Ezzel többnyire a vízzáró rétegekkel körülvett, víztartó talaj- vagy kőzetlencse megcsapolásakor találkozhatunk. Ennek kitermelésekor a már meglévő és utánpótlódás nélküli (statikus) vízkészletet termeljük ki. A vízkészlet kifogyása után a kút termelése leáll. Az ilyen vizeket tehát nem szabad kitermelni.

A mélységi rétegvizek áramlása és egyéb sajátosságai

A mélységi rétegvizeket általában a *mikroszivárgás* jellemzi. Vagyis a jelentős súrlódási (szivárgási) veszteségek miatt a vízrészecskék vándorlása – a nagy nyomásgradiens ellenére is – csak lassú.

A mélységi rétegvizek *nyomásszintjét* a víztartó kőzet belső nyomásviszonyai határozzák meg. A vízkitermelés következtében a mélységi rétegvizek nyomásszintje folyamatosan csökken.

Ha egy függőleges földtani szelvény (függély) mentén a mélység felé a mélységi rétegvizek piezometrikus nyomása a hidrosztatikusnál (a vízoszlop nyomásánál)

jobban nő, akkor a víz felfelé szivárog. Ez esetben a mélységi rétegvizek *megcsapolási területéről* van szó.

Ha egy függőleges földtani szelvény (függély) mentén a mélység felé a mélységi rétegvizek piezometrikus nyomása a hidrosztatikusnál kisebb mértékben nő, akkor a víz lefelé szivárog. Ez esetben a mélységi rétegvíz szempontjából *utánpótlódási* vagy *beszivárgási területéről* beszélünk.

A félig áteresztő fedővel borított jó vízvezető kőzetben tárolt mélységi rétegvíz igen élénken követi a fedőjében lévő nyomásviszonyokat.

Ha a fedőrétegek vízvezető képessége kisebb, mint a mélységi rétegvizet tároló kőzeté, akkor a felszíni hatások tompábban, összevontabban, nagyobb késéssel jutnak le a mélységi rétegvizet tartó kőzetbe.

DUPRESS

9. A GEOTECHNIKA ÉS AZ ÉPÍTÉSI FOLYAMAT VISZONYA

Napjaink egyre gyorsuló ütemű változásai az egész építési folyamatot érintik. E változások sajátossága, hogy miközben a tervezés során alkalmazott műszaki–tudományos alapelvek és törvényszerűségek ismeretanyaga csak viszonylag lassan változik (bővül), addig az építési folyamat egyes elemei (pl. a beruházói igények és elvárások, a beruházás-lebonyolítás módszerei, a tervezési és a kivitelezési munkák technikai–technológiai körülményei és műszaki követelményei, a hatósági előírások és a jogszabályi környezet, a résztvevő felek közötti feladatmegosztás és a munkaszervezés feltételei) rohamléptekben változnak.

A fentebb említett igen gyors változások miatt a geotechnika és az építési folyamat viszonya – s ezáltal a résztvevők tevékenysége és feladatai – is folyamatos átalakulásban van.

Ebben a fejezetben ezt a témakört járjuk körül, az ebben a kérdésben mértékadónak, s a geotechnikus szakmagyakorlók számára iránymutatónak tekinthető Magyar Mérnöki Kamara (MMK) Geotechnikai Tagozata (GeoT) által közreadott kiadványok [SZEPESHÁZI, 2010], [MÓCZÁR, 2013] és [MÓCZÁR, 2015] alapján.

9.1. Az általánosan használt geotechnikai dokumentációk tartalma

A most következő pontokban az EC7 szerint megnevezett és szabályozott, illetve ezen felül a hétköznapi munkák során még előforduló geotechnikai dokumentációk általános felépítését és tartalmát ismertetjük. A ténylegesen elkészített és kiadott geotechnikai dokumentáció – a konkrét feladat jellegétől és a társtervezők, illetve a megrendelő igényeitől függően – ettől tartalmilag vagy az egyes fejezetek részletességét illetően, kisebb-nagyobb mértékben eltérhet.

Mint azt a **4.1. paragrafusban** már jeleztük, az EC7 bevezetésével „új időszámítás” kezdődött a geotechnikában. Ennek egyik igen markáns példáját a geotechnikai dokumentációk formai és tartalmi változásaiban tapasztalhatjuk. A korábbi gyakorlathoz képest a lényeg persze nem változott. A geotechnikai dokumentációt most is olyan tagolásban és olyan tartalmi részletességgel kell elkészíteni, hogy abban a tervezésben és a kivitelezésben érintett minden résztvevő megtalálja azokat a rá vonatkozó jelentős és alapvető geotechnikai–építésföldtani információkat, vizsgálati–számítási eredményeket és műszaki megoldásokat, melyek – a környezeti adottságokat és lehetőségeket is figyelembe véve – garantálják a megrendelő igényeinek és a műszaki–technológiai–környezeti követelményeknek megfelelő építmény megvalósítását. Ebből következően a geotechnikai dokumentumokat, hasonlóan minden

más tervezési és kivitelezési dokumentumhoz, a tervezési és kivitelezési folyamatban érintett szereplőkön kívül a tulajdonosnak és/vagy az üzemeltetőnek is meg kell ismernie és az építmény élettartama alatt meg kell őriznie.

Az új EC7 előírásai alapvetően három különböző típusú geotechnikai dokumentációt nevesítenek, melyek részletessége természetesen a konkrét feladat céljához, jellegéhez, műszaki igényeihez és az aktuális tervszinthez igazodik, s ezektől függően az egyes fejezetek kihagyhatók vagy összevonhatók. Ez a három dokumentum a *talajvizsgálati jelentés*, a *tervezési beszámoló* és a *geotechnikai terv*.

A *Talajvizsgálati Jelentés (TVJ)* tartalmára vonatkozóan az előírás kijelenti, hogy a geotechnikai vizsgálatok eredményeit talajvizsgálati jelentésben kell összefoglalni, amely egyben a geotechnikai tervezési beszámoló vagy a geotechnikai terv alapját képezi. A *TVJ* felépítésére vonatkozóan pedig közli, hogy az két részből álljon:

- Egyrészt mutassa be a rendelkezésre álló összes geotechnikai információt, beleértve a geológiai jellemzőket és minden további idevágó adatot, információt, körülményt.
- Másrészt mutassa be az információk geotechnikai értékelését, melyhez hozzá tartozik a geotechnikai jellemzők meghatározásakor alkalmazott feltevések ismertetése és a tapasztalt jelenségek, körülmények magyarázata is.

A *Tervezési Beszámoló (TB)* tartalmára vonatkozóan az előírás a következőket határozza meg:

- Rögzítse a biztonság és a használhatóság igazolása során alkalmazott feltételezéseket, adatokat, számítási módszereket és eredményeket.
- Tartalmazza a geotechnikai szerkezetek terveit.
- Részletessége és terjedelme a terv típusától függően nagy mértékben változhat.
- Ha a korábbiakban készült *Talajvizsgálati Jelentés*, akkor a környezeti viszonyokat, talajadottságokat és az alkalmazott talajmodellt illetően elegendő keresztivathatkozásokkal utalni a *Talajvizsgálati Jelentés*ben leírtakra.
- Tartalmaznia kell a műszaki felügyeletre, ellenőrzésre, megfigyelésre és karbantartásra vonatkozó terveket, előírásokat és javaslatokat.

A *Geotechnikai Terv (GT)* vonatkozásában az előírás csak annak szükségességét említi meg, de felépítésére, tartalmára vonatkozóan az előírás nem ad tájékoztatást. Értelemszerűen azonban nyilvánvalóan erre is a *TB* esetében leírtak érvényesek, a szükséges műszaki tervlapokkal, számítási mellékletekkel kiegészítve.

Az EC7 bevezetése előtti időszakban talajmechanikai vagy geotechnikai szakvélemények készültek, melyek a geotechnikai és geológiai körülmények ismertetésén kívül építési javaslatokat és geotechnikai–mélyépítési számításokat, méretezéseket is tartalmaz(hat)tak, melyek azonban csupán szakmai javaslatként szolgáltak, a társtervezőkre nézve nem voltak kötelező jellegűek.

Az EC7 előírásai viszont következetesen képviselik az új szabványrendszer fel fogását, mely már szigorúan elválasztja egymástól az egyes tervezési szakágak feladatait és felelősségi körét egyaránt. Ennek megfelelően a helyszíni és a laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján a tervezéshez szükséges geotechnikai alapada-

tokat és alapinformációkat a *Talajvizsgálati Jelentés (TVJ)* szolgáltatja. Ezt csak geotechnikai tervező készítheti, s az adatok helyességéért is ő felel. A *TVJ* adataira támaszkodva készülnek a geotechnikai szerkezetek konkrét tervei, melyek általánosan a *Tervezési Beszámolóban (TB)*, kiemelt esetekben a *Geotechnikai Tervben (GT)* öltenek testet. Ezekért a tervekért az azt készítő statikus és/vagy geotechnikai tervező a felelős. A *Tervezési Beszámoló (TB)* általában a kisebb jelentőségű és egyszerűbb, illetve a szokásos, rutinszerűen tervezhető geotechnikai szerkezetek vagy azok együttesének tervezéséről szól. A *Geotechnikai Terv (GT)* többnyire egy-egy összetettebb, nagyobb jelentőségű geotechnikai szerkezet terveit tartalmazza.

Az EC7 előírásai szerint tehát a geotechnikai dokumentumok két, egymással ugyan szoros kapcsolatban álló, de felelősségi körét és tartalmát tekintve egymástól mégis elkülönülő részre oszthatók. Ezek egyrészt a tervezési alapadatokat és alapinformációkat szolgáltatató dokumentum, vagyis a *TVJ*, másrészt az ennek felhasználásával készülő a terv, vagyis a *TB*, illetve a *GT*. Ez a három dokumentum a tervezések során legáltalánosabban és legtöbbször használt geotechnikai dokumentumok, ezek felépítését és tartalmát az EC7 előírásai szabályozzák. A következő pontokban ismertetjük ezt a három dokumentumot.

9.1.1. Geotechnikai Talajvizsgálati Jelentés (*TVJ*)

A geotechnikai szolgáltatások és dokumentumok alapját a geotechnikai *Talajvizsgálati Jelentés* képezi, melynek elkészítése minden geotechnikát érintő kivitelezési tevékenység esetében kötelező. Ennek ajánlott formáját (tagolását) és tartalmát (címszavakban) az alábbiakban ismertetjük.

- 1) *fejezet*: Megbízás, előzmények, kiindulási adatok.
 - A megbízó és a szerződés adatai.
 - A tervfázis megjelölése, a vizsgálatok tárgya és célja.
 - Műszaki paraméterek (pl. funkció, rendeltetés, jelleg, méretek, elrendezés, szerkezetek, anyagok, tartószerkezet típusa, terhelések, igénybevételek, mozgáskorlátozások, élettartam, speciális kritériumok).
 - A várható építési körülmények (időtartam, ütemezés, technológiai kötöttségek, minőségi követelmények, vállalászási sajátosságok, építési korlátozások).
 - Előzmények (a létesítményre vagy területre vonatkozó korábbi tervek, dokumentációk, alapadatok, megfigyelések, információk).
 - A feltételezett, előzetesen egyeztetett vagy véglegesen ismert geotechnikai kategória megjelölése.
 - A felhasznált korábbi szakirányú (pl. geotechnikai, mérnökgeológiai, vízföldtani) dokumentációk ismertetése, s az ezekkel kapcsolatos állásfoglalás, vélemény, értékelés.
- 2) *fejezet*: A geotechnikai információk bemutatása.
 - Helyszíni adottságok.
 - Földrajzi helyzet.
 - Helyszíni viszonyok és körülmények, megközelíthetőség.
 - Beépítettségi körülmények, fedettség (növényzet, burkolatok) közműel-

- látottság.
- Domborzati adottságok, geodéziai adatok, morfológiai viszonyok.
 - A rendelkezésre álló korábbi építési és környezeti tapasztalatok (szakirodalmi és térképi adatok, egyéb információk tematikus, rendszerezett ismertetése).
 - A környezetnek a feltárások, vizsgálatok és a tervezett műszaki beavatkozások szempontjából lényeges előtörténete (pl. történelem, korábbi bányák, temetők, kutak, források, vízfolyások, feltöltések, létesítménykárosodások, vegyi vagy bakteriológiai szennyeződés, háborús események és lőszermaradványok, csúszásveszély, bányászati tevékenység).
- Építésföldtani viszonyok.
 - Földtani helyzet, földtani felépítés.
 - Építésföldtani adottságok.
 - Földtani–szerkezeti sajátosságok.
 - Törésvonalak, vetők, tektonizmus.
 - Szeizmikus tevékenység, földrengés erősség és gyakoriság, szeizmikus gyorsulás és talajosztály (EC8 szerint).
 - Utólagos földfelszíni kéregmozgások (szekuláris elmozdulások).
 - Felszíni földtani folyamatok.
 - Vulkanizmus, vulkáni utóműködés (posztvulkanikus tevékenység).
 - Karsztjelenségek.
 - Eróziós, akkumulációs tevékenység.
 - Felszíni vizek, árvíz, belvíz.
 - Meteorológiai, hidrológiai és hidrogeológiai információk.
 - Meteorológiai és hidrológiai adatok.
 - A talajvíz, felszínközeli szivárgó víz, csurgalékvíz, forrás és élővíz, torlaszvíz, karsztvíz, rés- és hasadékvíz, felszíni csapadékvíz, belvíz, árvíz szezonális helyzete és ingadozásai, áramlási és nyomási viszonyai, vegyi összetétele, egyéb sajátosságai.
 - Terepi vizsgálatok.
 - Az alvállalkozók adatai (pl. a cég neve, címe, telefonszáma, e-mail címe; a kapcsolattartó vagy munkahelyi vezető neve, beosztása, telefonja, e-mail címe; a terepi munkavégző neve, beosztása, telefonja, e-mail címe).
 - A terepi vizsgálatok időpontjának kezdete és vége, időjárási körülmények.
 - Terepi feltárási munkák táblázatos összesítése (pl. mennyiség, típus, mélység, átmérő, talajtípus, rétegződés).
 - Terepi vizsgáló berendezések műszaki adatai, vizsgálati helyek és módszerek.
 - Terepi feltárási, mérési, vizsgálati naplók és fényképek.
 - Mintavétel, beszállítás, tárolás módszerei, körülményei és esetleges hatásai az eredményekre.
 - A terepi bejárásakor szerzett konkrét információk, tapasztalatok és megfigyelések (pl. szerkezetek, építmények, nyílt feltárások, morfológia, csú-

- szásveszély, erózió, rétegződés, beépítettség, fedettség, vetők, bányagödörök, feltöltések).
- Talajvíz, belvíz, szivárgó rétegvíz, csurgalékvíz, karsztvíz, rés- és hasadékvíz, forrás és élővíz, torlaszvíz észlelési adatok a feltárások időpontjában és a fúrólukokban, illetve a közeli észlelési pontokon (pl. kutak, vízmércék, állóvizek).
 - Talajgázok jelentkezése.
- Szaklaboratóriumi vizsgálatok.
- Az alvállalkozók adatai (cég neve, címe, telefonszáma, e-mail címe; a kapcsolattartó vagy munkahelyi vezető neve, beosztása, telefonja, e-mail címe; a labor munkavégző neve, beosztása telefonja, e-mail címe).
 - A laboratóriumi vizsgálatok időpontjának kezdete és vége.
 - Laboratóriumi munkák táblázatos összesítése (pl. mennyiség, típus).
 - Laboratóriumi vizsgálatok módszerei, eszközei, jegyzőkönyvei, eredményei.
- 3) *fejezet*: A geotechnikai információk kiértékelése.
- A vizsgálati eredmények feldolgozása.
- A terepi és a laboratóriumi munkák eredményeinek táblázatos és grafikus feldolgozása, bemutatása és összesítése a feladat követelményeihez igazodó részletességgel.
 - A vizsgálati és mérési adatok értéktartományát és eloszlását bemutató hisztogramok és/vagy diagramok.
 - Egyéb táblázatos és grafikus feldolgozások.
 - A változó adatok statisztikus feldolgozásának eredményei.
 - A származtatott vagy becsült adatok bemutatása, jellemzése, csoportosítása.
 - Az adatok megbízhatóságának kiértékelése (a téves, hiányos, pontatlan, nem kielégítő vagy kedvezőtlen eredmények, adatok, információk felsorolása és az okok, magyarázatok ismertetése).
- A feltárt rétegek részletes ismertetése.
- A rétegek részletes leírása, jellemzése a feltárási és vizsgálati adatok alapján (pl. szín, megnevezés, keletkezési körülmények, földtani kor, ásványi összetétel, talajosztályozás, talajfizikai tulajdonságok, szilárdsági, alakváltozási és hidraulikai jellemzők).
 - Az átlagosnál rosszabb állapotú, gyenge talajzónák vagy az erősen változó tulajdonságú rétegzónák kijelölése.
- Lokális jelenségek.
- Szabálytalan képződmények (pl. üregek, lencsék, vetők).
 - Szabálytalan jelenségek (pl. vízszák, általajvíz, talajgáz).
 - A szokásostól lényegesen eltérő egyéb sajátosságok.
- Rétegfelépítés, talajmodell.
- A rétegfelépítés és a rétegek feltáráskori állapotára jellemző talajfizikai paraméterek szöveges és táblázatos, rajzi bemutatása (pl. egyedi fúrás-szelvények, rétegszelvények, talajszelvények, tömbszelvények, alapfeltárási metszetek).

- 4) *fejezet*: Javasolt további feladatok és vizsgálatok.
 - Az esetleges további helyszíni feltárási és/vagy laborvizsgálati munka szükségessége, annak indoklása és célja, valamint a többletmunka programja, várható eredményei és költségei. Ha ilyenekre nincs szükség, akkor természetesen ez a fejezet hiányzik.
- 5) *fejezet*: Kiegészítő adatok és egyéb információk.
 - Az alkalmazott szabványok és előírások jegyzéke, valamint a vizsgálatokhoz felhasznált egyéb specifikációk felsorolása.
 - Az alkalmazott jelölések magyarázata.
 - Az alkalmazott számítógépes programok ismertetése.
 - Az alkalmazott számítási, értékelési módszerek, elvek leírása.
 - Egyéb kiegészítő vagy magyarázó megjegyzések, információk.
 - A felhasznált szakirodalom felsorolása.
 - Tervezői nyilatkozat és a jogosultság igazolása.

9.1.2. Geotechnikai Tervezési Beszámoló (TB)

A geotechnikai szolgáltatások *TVJ*-re épülő dokumentuma a geotechnikai *Tervezési Beszámoló*, melynek ajánlott formáját (tagolását) és tartalmát (címszavakban) az alábbiakban ismertetjük.

- 1) *fejezet*: Megbízás, előzmények, kiindulási adatok (lásd a *TVJ* 1. fejezetét).
- 2) *fejezet*: A geotechnikai információk bemutatása (lásd a *TVJ* 2. fejezetét).
- 3) *fejezet*: A geotechnikai információk kiértékelése (lásd a *TVJ* 3. fejezetét).

Ha a tervezési feladattal kapcsolatosan előzőleg már készült *TVJ*, akkor a fenti három fejezet esetében elegendő arra kereszt-hivatkozásokkal utalni, illetve elegendő csak az esetleges változások (pl., ha készültek kiegészítő vizsgálatok, vagy valamely egyéb körülmény megváltozott) közlése. Ha a tervezési feladattal kapcsolatosan előzőleg még nem készült *TVJ*, akkor a fejezetek tartalma megegyezik az azokban leírtakkal.

- 4) *fejezet*: Javasolt további feladatok és vizsgálatok (lásd a *TVJ* 4. fejezetét).

Ha a tervezési feladattal kapcsolatosan még szükségesek további vizsgálatok, akkor e fejezet tartalma megegyezik a *TVJ*-ben leírtakkal. Ellenkező esetben természetesen ez a fejezet hiányzik (csak hivatkozás a *TVJ* vonatkozó fejezetére).

- 5) *fejezet*: A geotechnikai körülmények összefoglalása, kiértékelés, tervezési megoldások ismertetése.
 - Az egyeztetések eredményei.
 - A megbízóval, társtervezőkkel, hatóságokkal, kivitelezőkkel folytatott előzetes egyeztetések eredményei.
 - A végleges geotechnikai kategória meghatározása és indoklása.
 - A geotechnikai körülmények összefoglalása, kiértékelése.
 - Az építési helyszín, valamint az építési tevékenység által érintett geotechnikai hatásterület lehatárolása, a hatásterület geotechnikai adatainak összefoglalása, értékelése.
 - A talaj- és kőzetfizikai jellemzők karakterisztikus értékeinek meghatározása (az alkalmazott feltételezések, kiindulási adatok, számítási módszerek ismertetése, valamint azok magyarázata vagy indoklása).

- Egyéb építésföldtani sajátosságok ismertetése, részletezése.
 - Építésalkalmassági vizsgálat, geotechnikai kockázatok elemzése.
 - A helyszín alkalmasságára vonatkozó megállapítások, értékelések.
 - A geotechnikai kockázatok (vagyis a tervezett építménynek a környezetre, valamint a környezeti adottságoknak az építményre gyakorolt hatásai) nagysága, hatásainak elemzése, értékelése.
 - Geotechnikai környezetvédelem.
 - A terület környezetvédelmi besorolása, a földtani közeg szennyeződés-érzékenysége.
 - Korábbi környezetszennyező tevékenységek maradványai (pl. veszélyes hulladék, lőszer).
 - Régészeti leletek vagy műemlékek védelme.
 - Későbbi környezetkárosító hatások, folyamatok (pl. üzemanyag elfolyások vagy egyéb vegyi szennyezések lehetősége, robbanásveszély, zaj- vagy porártalmak, a szikkasztás vagy túllöntözés talaj- vagy rétegvíz szintjét emelő és a talaj teherbírását vagy a lejtő állékonyságát csökkentő hatása, árvíz- vagy belvízveszély, üreg-, bánya- vagy pinceomlás veszélye).
 - Geotechnikai számítások, szerkezetek tervezése, méretezése és kivitelezése.
 - Tervezési követelmények és kritériumok (a geotechnikai szerkezetekkel szemben támasztott beruházói igények, feltételezések és egyéb kritériumok, illetve a tervezési és/vagy kivitelezési követelmények).
 - Az alkalmazott talajmodell és talajfizikai jellemzők (a tervezés során figyelembe vett rétegfelépítés, az alkalmazott tervezési paraméterek és talajfizikai jellemzők, a felhasznált talajmodell leírása, magyarázata és indoklása).
 - Tervezési állapotok, hatások és ellenállások, számítások, méretezések (a geotechnikai és statikai számítások ismertetése és indoklása, ezeken belül a tervezés során figyelembe vett statikai modell, határállapotok, hatások, igénybevételek, teherkombinációk, biztonsági tényezők, ellenállások, teherbírások, állékonyságok, alakváltozások mérlegelése és meghatározása).
 - Szerkezetek építése, kialakítása (a geotechnikai szerkezetek ismertetése, műszaki–technológiai leírása, rajzai, anyagminőségek, méretek, mennyiségi kimutatások, árkalkuláció vagy költségkiírás).
 - A geotechnikát érintő egyéb munkák és feladatok tervezésére, kivitelezésére vonatkozó ajánlások.
 - Az építés közbeni és utáni feladatok.
 - Minőség szabályozási követelmények és módszerek meghatározása.
 - Az anyagminőségek ellenőrzése.
 - Műszaki felügyelet és ellenőrzés (monitoring).
 - Megfigyelés (supervision).
 - Fenntartási, karbantartási és üzemelési feladatok.
- 6) fejezet: Kiegészítő adatok és egyéb információk (lásd a TVJ 4. fejezetét).

9.1.3. Geotechnikai Terv (GT)

A bonyolult vagy kiemelt kockázatú, jelentősebb létesítmények esetében a *Geotechnikai Terv (GT)* készítésére van szükség, ami lényegében a *Tervezési Beszámoló (TB)* magasabb szintű, részletezőbb változata, ugyanakkor azzal azonos felépítésű és tartalmú. Részletessége ahhoz hasonlóan szintén a konkrét feladat céljához, jellegéhez, műszaki igényeihez és az aktuális tervszinthez igazodik, s ezektől függően az egyes fejezetek kihagyhatók, rövidíthetők vagy összevonhatók. Jellemzően önálló dokumentumként készül, de alkalmas esetben a megfelelő szakági (elsősorban statikai) tervekbe is beépíthető, önálló tervefejezetként. Ha a tervezési feladattal kapcsolatosan előzőleg már készült *TVJ* vagy *TB*, akkor az első négy fejezet esetében elegendő azokra a megfelelő keresztivonatkozásokkal utalni, illetve elegendő csak az esetleges változások (pl., ha készültek kiegészítő vizsgálatok, vagy valamely egyéb körülmény megváltozásakor) közlése. Ha a tervezési feladattal kapcsolatosan előzőleg nem készült *TVJ* vagy *TB*, akkor a *GT* első négy fejezete megegyezik a *TVJ* első négy fejezetével. Ezen kívül tartalmazza a *Geotechnikai Tervezési Beszámoló (TB)* ötödik és hatodik fejeztét.

9.1.4. Egyéb geotechnikai dokumentációk

Az előbbieken részletezett és általánosan alkalmazott *TVJ*, *TB* és *GT* dokumentumokon kívül (az általánostól eltérő esetekben, vagy a speciális igények kielégítésére, illetve az egyes rész- vagy célfeladatok teljesítése kapcsán) egyéb jellegű, más elnevezésű és tartalmú geotechnikai dokumentációkra is szükség lehet. Ilyenek készülhetnek például a műszaki vagy társadalmi szempontból jelentősebb, kiemelt vagy kockázatosabb nagyberuházások megvalósulása előtt, valamint az építés alatt felmerülő és előre nem látható problémák vagy megoldandó feladatok esetében, esetleg a káreseményekhez kapcsolódóan, illetve a létesítmények üzemeltetési ideje alatt és/vagy azok megszüntetésekor is. Bár az ilyen esetekben készülő geotechnikai dokumentumok tartalmi vagy formai követelményeit az EC7 már nem szabályozza, de természetesen az abban rögzített előírások betartásával készíthetők, a célokhoz és körülményekhez rugalmasan igazodó formában, tartalommal és részletességgel. Az említett geotechnikai (terv)dokumentumok jellemzőit az alábbiakban foglaljuk össze.

Geotechnikai Adatszolgáltatás – GA

A dokumentum célja többnyire a szakirodalmi dokumentumokból (pl. földtani térképek, geológiai vagy építésföldtani leírások, könyvek, cikkek, vízrajzi adatgyűjtemények, adattáblázatok, korábban készült talajmechanikai vagy geotechnikai szakvélemények, egyéb teranyagok), valamint az egyéb nyomtatott forrásokból (pl. útleírás, településtörténet), továbbá a helyszíni szemlék, bejárások és szóbeli információk alapján beszerezhető előzetes geotechnikai–építésföldtani adatok rendszerezése, feldolgozása, bemutatása és kiértékelése. Célja lehet továbbá, hogy rendszerezze, feldolgozza, bemutassa és kiértékelje a már korábban és célzottan elvégzett helyszíni feltárások és laboratóriumi vizsgálatok eredményeit.

Geotechnikai Előtanulmány (Geotechnikai Megvalósíthatósági Tanulmány, Geotechnikai Tanulmányterv vagy Geotechnikai Vázlat) – GE

A dokumentum feladata – a *GA* és/vagy a *TVJ* eredményeire támaszkodva – a tervezett műszaki beavatkozások vagy építmény geotechnikai feladatainak feltérképezése, a lehetséges megoldások bemutatása a szerkezetek fő méreteivel és az építési technológiával, a megoldások jellemzőinek elemzése, az adott szempontrendszer szerinti értékelése, továbbá a biztonság, a gazdaságosság és a környezetvédelem követelményeinek mérlegelése, végül javaslatokat adni a döntéshez és felsorolni a szükséges további geotechnikai munkákat.

Geotechnikai Szakértői Vélemény (Geotechnikai Jelentés vagy Geotechnikai Tervezői Állásfoglalás) – GSZ

A geotechnikai dokumentum a tervezés vagy a kivitelezés, illetve az üzemeltetés és a felhagyás (pl. bontás, rekultiválás) során jelentkező egyes káresemények vagy felmerülő speciális problémák kapcsán megfogalmazott konkrét kérdésekre adandó szakértői vagy tervezői válaszokat vagy véleményeket tartalmazza, az addig rendelkezésre álló tervezési és kivitelezési információk, illetve a szakértéshez szükséges legújabb vizsgálatok alapján.

9.2. A geotechnika helye, szerepe és feladata az építési folyamatban

A **3.2. paragrafusban** már röviden ismertettük a geotechnikai tevékenység alapvető célját és a geotechnikai szolgáltatás fogalmát. Az alábbi pontokban részletesebben is áttekintjük az *építési folyamat* állomásait, az egyes *tervfázisok* (tervezési fázisok) tartalmát, az építési folyamat tervezési tevékenységhez kötött *tervezési szakaszait*, valamint az ezekhez kapcsolódó *geotechnikai szolgáltatások* (geotechnikai tevékenységek) típusát és tartalmát.

Ezzel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a *tervfázisok* és a *tervezési szakaszok* tagolása értelemszerűen követi az *építési folyamat* sorrendiségét, de a vizsgálati szempontok különbözősége miatt attól kisebb-nagyobb mértékben eltérnek. Egyes tervfázisok és a tervezési szakaszok kimaradhatnak, illetve összevontan jelenhetnek meg.

9.2.1. Az építési folyamat vázlatos áttekintése

Az építési folyamat – az építmény jelentőségével, nagyságával és bonyolultságával arányosan – időben és térben változó nagyságú, s több ember összehangolt munkáját igénylő tevékenység. E folyamat általános és vázlatos, időrendi áttekintését az alábbiakban ismertetjük. Természetesen az egyszerűbb és kisebb építmények esetében egyes lépések összevonhatók (esetleg kihagyhatók), egyes dokumentumok mellőzhetők.

Az építési folyamatokat a maga teljességében, mint egy beruházás részeként [TAKÁCS, 2004] tekinti át. Az építés folyamatok szervezését [LÁMER–SZÜCS, 2013] ismerteti. Az építési folyamatok struktúrált szervezését [LÁMER, 2014] vezeti be. Ebben a megközelítésben megkülönbözteti a fizikai és a szellemi szervezési feladatokat. Ennek kapcsán az építési folyamatok hagyományosnak tekinthető sorrendjét módosítja, hogy a logikailag összetartozó lépések egy-egy szakaszba essenek. Az új szempont szerinti áttekintést részletesebben [LÁMER, 2018] foglalja össze.

Az építési folyamatokat hat szakaszra, az egyes szakaszokat önálló lépésekre bontjuk.

Az építmények megvalósításának előkészítése

Ezen belül két nagyobb alcsoportot szokás értelmezni.

A feladat kitűzése:

- a feladat meghatározása (egyéni gondolat vagy ötlet, illetve gazdasági, politikai vagy társadalmi igény),
- a döntést megalapozó műszaki-gazdasági elemzés (előzetes belső elemzés a műszaki és gazdasági lehetőségekről, teljesítőképesség vizsgálata),
- a megvalósíthatóság vizsgálata (gazdaságosság, megtérülés, finanszírozás, igények és elvárások).

Programalkotás:

- a mérnök szolgáltató (lebonyolító, műszaki ellenőr, tervellenőr) kiválasztása,
- a tervező kiválasztása,
- az előkészítő tervműveletek elvégzése,
- a beruházási program kialakítása, véglegesítése (jóváhagyási terv készítése).

Az építmények tervezése

- engedélyezési terv készítése,
- hatósági eljárások lefolytatása,
- tender- és /vagy kiviteli terv készítése,
- tervellenőrzés.

Az építmények megvalósítása

- vállalatba adás,
- a munkaterület átadása-átvétele, felvonulás,
- megvalósítás (építés),
- üzempróbák és próbaüzemek,
- készre jelentés és levonulás.

Az építmények üzembe helyezése

- műszaki átadás-átvétel,
- birtokba vétel és felszerelés,
- használatbavételi eljárás,
- üzembe helyezés,
- pénzügyi elszámolás és aktiválás.

Az építmények üzemeltetése

- működtetés és fenntartás,
- jóállás és szavatosság,
- a beruházás pénzügyi és műszaki lezárása,
- rendszeres építési munkák az üzemeltetés során (elsősorban karbantatási és fenntartási munkák),
- egyedi építési munkák az üzemeltetés során (mint pl. javítás, felújítás, erősítés),
- új gondolat (az építmény hasznosításával kapcsolatban, pl. bővítés, átalakítás).

Az építmények felszámolása

- felhagyás véletlenszerű tönkremenetel vagy megsemmisülés („vis maior” események; földrengés, tűz, robbanás, árvíz stb.) miatt,
- bontás szándékos felszámolással (tervszerű bontás),
 - a környezet átalakítása építési területté (új építmény épül),
 - a környezet építés előtti eredeti állapotának helyreállítása (nem épül új építmény).

9.2.2. A geotechnikai szolgáltatás formái, célja és tárgykörei*A geotechnikai alapadatok összegyűjtése, meghatározása és dokumentálása*

Célja a terület földtani, geotechnikai, hidrogeológiai adottságainak feltérképezése szakirodalmi adatok és terepi, laboratóriumi vizsgálatok alapján, valamint az eredmények rendszerezése, feldolgozása, kiértékelése és ismertetése a felhasználás céljainak megfelelően, vagyis a tervezési feladat és az adott tervfázis igényei szerint. Ez az alábbi feladatok elvégzését jelenti.

GA készítése: Adatgyűjtés alapján a **9.1.4. pont**ban leírtak szerint.

Helyszíni, terepi feltárások tervezése, irányítása, feldolgozása: A terepi feltárások és vizsgálatok (pl. feltáró gödör vagy árok, fúrás, szondavizsgálat, geofizikai mérés, vízmérés) számának, módszereinek, helyének, mélységének megtervezése (feltárási terv), azok végrehajtásának irányítása, mindezek alapján a földtani képződmények és a talajrétegek településének, a felszíni és a felszínközeli vizek helyzetének, mozgásainak megállapítása, végül az eredmények rendszerezése, feldolgozása, kiértékelése és összefoglalása.

Laboratóriumi vizsgálatok tervezése, irányítása, feldolgozása: A vizsgálandó talaj- és talajvíz mintavételek meghatározása (pl. darab, mélység, típus), azok laboratóriumi vizsgálata számának és módszerének megtervezése (feltárási terv), végrehajtásának irányítása, az eredmények rendszerezése, feldolgozása és kiértékelése. Ennek alapján a talaj- és közetfizikai jellemzők, valamint a talaj és a talajvíz tulajdonságainak meghatározása, táblázatos összefoglalása.

TVJ készítése: Az előbbieket alapján beszerzett geológiai, építésföldtani, vízrajzi és geotechnikai, talajfizikai információk rendszerezett, könnyen érthető (táblázatos, statisztikus vagy grafikus) formában történő bemutatása, valamint szöveges ismertetése és kiértékelése a **9.1.1. pont** szerint.

A geotechnikai tervezés és a tervek dokumentálása

A geotechnikai tervezés azon szerkezetek, szerkezeti elemek tervezését jelenti, amelyek vizsgálatában a geotechnikai hatások, illetve a talaj és a szerkezet kölcsönhatásai a mértékadóak. Ezek leggyakrabban előforduló típusai: az alapozások, a földmegtámasztó szerkezetek (támfal, dúcolat, horgonyzott–szegezett vagy befogott szerkezetek), a talajjavítás, a víztelenítés, a földművek, valamint a föld alatti műtárgyak. Az ilyen esetekben lényeges kölcsönhatások értékelése, a teherbírási és a használhatósági határállapotok ellenőrzése és az általaj építéstechnológiai szempontok alapján történő értékelése, besorolása. Az ezekkel kapcsolatos legáltalánosabb feladatokat az alábbi felsorolás ismerteti.

GE készítése: A **9.1.4. pont**ban leírtak szerint.

Alapozások tervezése: Az építmények terheit az altalajra hárító alapozási szerkezet megválasztása, méretezése, ábrázolása és leírása, valamint az alapvető technológiai és minőségbiztosítási követelmények ismertetése. A méretezés során vizsgálni kell egyrészt a szerkezet és az altalaj kölcsönhatásait, legalább a következő teherbírási és használhatósági határállapotok ellenőrzésével: általános állékonyságvesztés, talajtörés, elcsúszás, a szerkezet és a talaj együttes tönkremenetele, a tartószerkezet tönkremenetele az alap mozgása miatt, másrészt a szerkezet épségét vagy annak használhatóságát veszélyeztető süllyedések, oldalirányú elmozdulásokat, rezgéseket.

Támfalak és egyéb földmegtámasztó szerkezetek, talajszegek és talajhorgonyok tervezése: A földtömeg súlyából és a hasznos terhekből eredő nyomás felvétele céljából épített szerkezet kialakítása, statikai méretezése, állékonyságának és szerkezeti épségének igazolása, valamint építési és megfigyelési követelményeinek, módszereinek meghatározása. A méretezés kiterjed a szerkezet körüli általános állékonyságvesztés és a lokális talajtörés elkerülésének vizsgálatára, a szerkezeti elem tartószerkezeti méretezésére, illetve a szomszédos szerkezetek teherbírási és használhatósági határállapotának vizsgálatára is. Ide sorolhatók mindazon szerkezetek, melyek a megtámasztott földtömegek stabilitását a szerkezet önsúlyával vagy a szerkezet és az ahhoz kapcsolt föld súlyával együttesen, illetve a szerkezetnek a talajkörnyezetbe való befogásával, hátraszegezésével vagy hátrahorgonyzásával biztosítják.

Talajszilárdítás és víztelenítés tervezése: A talajtulajdonságok célirányos módosításának tervezése az altalaj vagy a töltésanyag terhelés miatti törésének vagy hidraulikus talajtörésének elkerülése, túlzott alakváltozásának megelőzése, valamint a talajvíz mozgásának és nyomásának szabályozása céljából. A talajszilárdítás és a víztelenítés tervezése magában foglalja a beavatkozások kiterjedésének, módszerének, elvárt eredményének és ellenőrzésének meghatározását is. Tartalmazza a kivitelezés megkezdése előtt és annak befejezését követően elvégzendő ellenőrzések kiértékelését is.

Földművek tervezése: Az ideiglenes vagy végleges, talajból készített (földanyagú) szerkezetek tervezése a következő célokra:

- Feltöltés, talajcsere vagy talajjavítás alapok és más szerkezetek alatt.
- Terepfeltöltés, infrastrukturális építmény töltésének vagy gátak építése.
- Földkiemelés (munkagödör, bevágás) és visszatöltések, illetve támszerkezetek háttöltésének elkészítése.

A földművek tervezése magában foglalja a geometriai tervezést, a földanyagok megválasztását, a technológiai és minőségbiztosítási szabályozást, a szükséges víztelenítés tervezését, valamint a földstatikai (állékonysági) számításokat is.

Földalatti műtárgyak tervezése: A nyílt és zárt építési technológiával kialakított alagutak, metróállomások, aluljárók, mélygarázsok, tárolóterek szerkezetének és építési technológiájának megválasztása, valamint a szerkezetek kialakításának megtervezése és statikai méretezése, a víztelenítéssel és szigeteléssel kapcsolatos problémák megoldása, továbbá a szomszédos szerkezetek védelmének biztosításához szükséges teendők meghatározása.

TB vagy GT készítése: A **9.1.2.** és a **9.1.3. pont**ban leírtak szerint, az adott feladatnak megfelelő tartalommal.

A geotechnikai szerkezetek megvalósulásának irányítása, nyomon követése, megfigyelése, ellenőrzése, felülvizsgálata és ezek dokumentálása

Az alábbiakban említett tervek és feladatok a **9.1.3. pont** szerinti *GT* egyik tervfejezeteként is készülhetnek, de önálló dokumentumként (pl. a **9.1.4. pont** szerinti *GSZ*-ként) is kiadhatók.

Technológiai utasítás, organizációs és minőségbiztosítási terv: A geotechnikai szerkezetek kivitelezéséhez szükséges tárgyi és személyi feltételek, továbbá az építési sorrend meghatározása, valamint az építési folyamat és az épülő szerkezetek jellemző műszaki paramétereinek megállapítása, továbbá az ellenőrzés módjának és az elkészült építmény(rész) elfogadási feltételeinek kidolgozása.

A geotechnikai szerkezet méréses vizsgálata, próbaterhelése: A geotechnikai szerkezet és környezete viselkedésének műszeres megfigyelése a szerkezet terv szerinti megvalósíthatóságának és teljesítőképességének megállapítása céljából. Kiterjed a vizsgálatok megtervezésére, végrehajtására és értékelésére. Ezekhez a vizsgálatokhoz tartoznak jellemzően a cölöpök, résfalak, talajhorgonyok, talajszegek, földművek próbaterhelése, a talajjavítási módszerek próbája, a terepi nagymodell kísérletek.

A geotechnikai szerkezet megvalósításának műszaki felügyelete: Az építmény műszaki megvalósítása (kivitelezése) során végzett kivitelezői felügyeleti, műszaki ellenőri vagy tervezői művezetési tevékenység, melyek célja a tervben tett feltételezések teljesülésének és az építés szakszerűségének ellenőrzése szemrevételezésekkel és/vagy mérésekkel. Ide tartozik a tervmódosítások kezdeményezése is, de azok kidolgozása már nem.

A geotechnikai megfigyelés tervezése, irányítása és értékelése: A megvalósuló új építmény, illetve a beavatkozások által érintett építmények és természeti formációk viselkedésének vizsgálata a kivitelezés közben és annak befejezése után. Történhet szemrevételezéssel és/vagy mérésekkel, annak ellenőrzésére, hogy a talaj és a szerkezet kölcsönhatásával összefüggésben a várt viselkedés következik-e be.

Geotechnikai tervellenőrzés és dokumentálása

A geotechnikai dokumentumok, de különösen a geotechnikai tervek ellenőrzése (mint minden más műszaki terv esetében) mindenképp szükséges. Ennek legáltalánosabb nem hivatalos formája az önellenőrzés, vagy a munkahelyen belüli, kollégák közötti kölcsönös ellenőrzés. Hivatalos formája a tervellenőri jogosultsággal rendelkező, független szervezet vagy mérnök által, megbízási szerződés alapján végzett tervellenőrzés.

Geotechnikai információs dokumentumok alkalmasságának értékelése: Jellemzően a *TVJ*, illetve a *GA* vagy a *GSZ* dokumentumok ellenőrzése annak megítélése céljából, hogy a szolgáltatott adatok alapján az építés által érintett, befolyásolt, illetve az építmény viselkedésére kiható talajzóna felépítése és tulajdonságai egyértelműen ismertnek tekinthetők-e, s ezzel az építmény és a környezet geotechnikai jellegű kölcsönhatásai megítélhetők-e, a geotechnikai feladatok szakszerűen megoldhatók-e.

Geotechnikai tervek ellenőrzése: Általánosságban a *TB* vagy *GT*, esetleg a *GE* műszaki tartalma szakszerűségének, valamint a jogszabályok, szabályzatok, szabványok, hatósági előírások és egyéb szakmai szabályok betartásának ellenőrzése. Vagyis lényegében a mechanikai ellenállás és stabilitás, a környezetvédelem, a használati biztonság, továbbá a szerkezetek szakszerű kialakíthatósága, teljesítőképessége és minősége követelményeinek teljesülését, a terv egyértelműségét, részletzettségét, megvalósíthatóságát, valamint a megfigyelésre, a műszaki felügyeletre és a fenntartásra vonatkozó előírások alkalmasságát kell értékelni.

Meglévő építmény vagy természeti képződményről szóló geotechnikai dokumentumok ellenőrzése: Ide sorolhatók az építmények, természetes terepalakulatok geotechnikai adatainak, az építmény és a környezet geotechnikai kölcsönhatásainak, esetleges károsodásainak vizsgálatára, illetve a szükséges beavatkozások geotechnikai feladatainak megoldására vonatkozó geotechnikai dokumentumok ellenőrzése, az előbbieken, értsd: a tervek ellenőrzése során ismertetett kritériumok alapján.

Meglévő építménnyel és a geotechnikai környezettel kapcsolatos geotechnikai feladatok

Meglévő építmény geotechnikai vizsgálata: A meglévő építmény és különösen annak geotechnikai szerkezeteinek vizsgálata, állapotuk geotechnikai szempontú értékelése és esetleges műszaki tartalékaik (pl. teherbírás, elmozdulás) feltárása, illetve a meglévő építménynek (feltehetően) a talajkörnyezetből eredő károsodása esetén a kár okainak megállapítása, a károsodási folyamat prognosztizálása, valamint a további romlások megakadályozására és a helyreállításra vonatkozó javaslattétel. Bele tartozik a talaj és szerkezetek anyagának vizsgálata és statikai analízise is.

Meglévő építmény megerősítésének vagy átalakításának geotechnikai tervezése: Meglévő építmény (különösképpen a geotechnikai szerkezetek) károsodása vagy átalakítása miatt szükséges beavatkozások geotechnikai feladatainak megoldását bemutató terv kidolgozása, az új szerkezetek esetében vázolt ismérveknek megfelelően. Ide tartozhat a geotechnikai szerkezetek megerősítése, a talajkörnyezet javítása, esetleg a talajt érő hatások módosítása (pl. terheléscsökkentés) is.

Természeti képződmény geotechnikai vizsgálata: A természetes terepalakulatok anyagának és állapotának elemzése valamely hatások miatt várható veszélyek esetén, illetve a már bekövetkezett károsodás esetén az okok megállapítása. A károsodási folyamat prognosztizálása, valamint a további romlások megakadályozását, illetve a helyreállítást szolgáló javaslattétel. Magába foglalja a szükséges talajvizsgálatokat és a számítások elvégzését is.

Természetes földtani képződmény védelmének tervezése: A természetes terepalakulatok várható károsodásának megakadályozása, vagy a már bekövetkezett károsodás helyreállítása céljából szükséges beavatkozások megtervezése. Ide tartozik a lejtők stabilizálását szolgáló tereprendezések, támszerkezetek, víztelenítések, talajjavítások tervezése az új szerkezetek esetében vázolt ismérveknek megfelelően.

Szóbeli tanácsadás

A szóbeli tanácsadás olyan geotechnikai szolgáltatás, melyre az építési folyamat

bármely stádiumában sor kerülhet, s természetszerűen szóban történik. Célja, tartalma, tárgyköre és részletessége a megrendelő és a szolgáltatást nyújtó mérnök kölcsönös megállapodásának függvénye. A megbeszélés alapján írásbeli dokumentum is készülhet, ez jellemzően *GSZ* vagy *GA* formájában.

9.2.3. A tervfázisok és a geotechnikai szolgáltatások kapcsolata

Az MMK által legújabbán kidolgozott Mérnöki Díjszabás (MÉDI) a már régóta eredményesen alkalmazott német díjszabás (HOAI) mintájára készült. A MÉDI geotechnikai munkákra vonatkozó eljárásrendje – az EC7 előírásainak szellemében – tartalmazza a tervezési folyamat tervfázisainak (vagyis az építési folyamathoz kapcsolódó tervezési munka egyes állomásainak, lépcsőinek) meghatározását, valamint a tervfázisok sajátosságaihoz igazodó geotechnikai munkarészeket, dokumentációkat és azok tartalmát egyaránt. Az egyes tervfázisokat, valamint az egyes tervfázisok esetében a geotechnikai szolgáltatások tartalmát, a következők szerint határozták meg.

1. *Tervfázis – a tervezési alapadatok, alapinformációk meghatározása*: Az építésföldtani és geotechnikai adatgyűjtés alapján – szükséges esetben néhány új, tájékoztató jellegű terepi és laboratóriumi vizsgálattal kiegészítve – a megismert geotechnikai–építésföldtani adatok rendszerezett ismertetése. Javasolt formája az előzetes Geotechnikai Adatszolgáltatás (*GA*), esetleg az előzetes Geotechnikai Talajvizsgálati Jelentés (*TVJ*).

2. *Tervfázis – vázlattevé készítése (tanulmányterv, megvalósíthatósági tanulmány)*: A geotechnikai feladatok lehetséges megoldási változatainak bemutatása a szerkezetek fő méreteivel, építési technológiájával, az építéstechnológiának a beruházás pénzügyi-gazdasági kihatásainak, és a megvalósítás idejét érintő jellemzők ismertetésével, a gazdaságosság és a környezetvédelmi követelmények elemzésével, végül javaslatot, cselekvési tervet adva a szükséges további geotechnikai szolgáltatások jellegére, nagyságára és céljára vonatkozóan. Javasolt formája a *Geotechnikai Előtanulmány*, *Geotechnikai Tanulmányterv* vagy *Geotechnikai Vázlattevé (GE)*, esetleg a *Geotechnikai Szakértői Vélemény (GSZ)*.

3. *Tervfázis – jóváhagyási tevé készítése*: Az 1. és 2. tervfázisban megismert, rendszerezett adatok és információk birtokában a megrendelői döntéshozatal műszaki segítése, majd a megrendelő által kiválasztott megoldás kidolgozása, finomítása, illetve az engedélyezési tevé összeállításához szükséges további geotechnikai szolgáltatások és tevékenységek meghatározása (geotechnikai vizsgálati program, feltárási tevé formájában). Javasolt formája a *Geotechnikai Előtanulmány*, *Geotechnikai Tanulmányterv* vagy *Geotechnikai Vázlattevé (GE)*, esetleg a *Geotechnikai Szakértői Vélemény (GSZ)*.

4. *Tervfázis – engedélyezési tevézés*: A vizsgált terület olyan szintű terepi feltárása és laboratóriumi vizsgálata, hogy annak alapján a tervezett építmények és építési tevékenységek, valamint a talajkörnyezet és a szerkezetek kölcsönhatásai megbízhatóan megítélhetőek legyenek, továbbá a szükséges geotechnikai szerkezetek és tevékenységek megtervezhetőek legyenek. A talajvizsgálatok célja a talajok azonosításán és állapotminősítésén túl azok teherbírásának eldöntése is. Az eredmények

bemutatása, rendszerezése és értékelése *Geotechnikai Talajvizsgálati Jelentés (TVJ)* formájában történik. Azon szerkezetek esetében, amelyeknél a geotechnikai hatások vagy a geotechnikai kérdések döntő szerepet játszanak, s amelyek legalább egyféle – a tervező által legjobbnak tartott – módon megépíthetők, azok esetében szükséges a szerkezetek, építési tevékenységek és az ezekkel összefüggő előírások bemutatása is. Ezekkel kapcsolatosan a számításba vett talajparamétereket, a tervezett megoldás szerkezetét, méreteit és anyagát, valamint a teherbírási és használhatósági határállapotokra vonatkozó és az alkalmasságot igazoló statikai számításokat is közölni kell. Javasolt formája az önálló *Geotechnikai Terv (GT)* vagy a *Geotechnikai Tervezési Beszámoló (TB)*, esetleg a statikai tervbe beépített geotechnikai tervfejezet.

5. *Tervfázis – kiviteli terv készítése*: Ha arra szükség van, akkor az engedélyezési tervhez készített geotechnikai munkarészt (a még kérdéses, bizonytalan vagy veszélyesnek ítélt körülmények tisztázására) újabb terepi és laboratóriumi vizsgálatokkal kell kiegészíteni, s ezeket – a korábbi vizsgálatokkal összevetve – ki kell értékelni. A kiegészítés célja, hogy a tervezett építmények és építési tevékenységek, valamint a talajkörnyezet kölcsönhatásai egyértelműen megítélhetőek legyenek, s így a geotechnikai szerkezetek és tevékenységek a részleteiben is megtervezhetőek legyenek. A régi és az új vizsgálati eredmények összevetését és kiértékelését kiegészítő *Geotechnikai Talajvizsgálati Jelentés (TVJ)* formájában kell dokumentálni. Az engedélyezési terv ellenőrzése, felülvizsgálata során szükséges esetben el kell végezni a geotechnikai tervek pontosítását, aktualizálását és ki kell egészíteni a technológiai, minőségbiztosítási és monitoring követelmények megfogalmazásával. A dokumentálás önálló *Geotechnikai Terv (GT)* vagy a *Geotechnikai Tervezési Beszámoló (TB)*, esetleg a tervbe beépített geotechnikai tervfejezet formájában történik.

6. *Tervfázis – a vállalkozásba adás előkészítése (tender terv)*: Ebben a tervfázisban a geotechnikai tervek (pl. a műszaki leírás, a méret- és mennyiségkimutatások vagy a költségvetési kiírás) szükséges mértékű kiegészítése vagy pontosítása (tender terv), illetve a tervező mérnök későbbi tervfázisokhoz tartozó közreműködése formájának (pl. részvétel a versenytárgyaláson, az ajánlatok elbírálása és kiértékelése, művezetések, kiegészítő tervezések) és díjazásának meghatározása történik. Javasolt az önálló *Geotechnikai Terv (GT)* vagy a *Geotechnikai Tervezési Beszámoló (TB)*, esetleg a tervbe beépített geotechnikai tervfejezet elkészítése.

7. *Tervfázis – együttműködés a vállalkozásba adásban*: A mérnök feladata (ha arra szükség van) ebben a tervfázisban a geotechnikai szerkezetekre és kivitelezési tevékenységekre adott vállalkozói ajánlatok ellenőrzése és értékelése, részvétel az ajánlattevőkkel történő egyeztetéseken, segítségnyújtás a vállalkozási szerződés előkészítésében. Szükséges esetben *Geotechnikai Szakértői Vélemény (GSZ)* is készíthető.

8. *Tervfázis – a megvalósulás (kivitelezés) tervezői felügyelete*: Ez a tervfázis foglalja magában a geotechnikai szerkezetekhez és építési tevékenységhez kapcsolódóan a kivitelező által elkészített tervek, műszaki leírások, számítások, méretezések és egyéb dokumentumok (pl. technológiai terv, minősítési eljárás, mintavételi terv), valamint a kivitelezés során végzett ellenőrző mérések (pl. elmozdulások, te-

herbírást, tömörség) véleményezését. Javasolt a *Geotechnikai Szakértői Vélemény (GSZ)* készítése. Szakkivitelezői igény nyomán történő esetleges termódosítások esetében szükség szerint a 4. vagy az 5. tervfázisba kell visszalépni.

9. Tervfázis – a megvalósulás követése a műszaki átadáskor és az azt követő szavatossági időszakban: Az utolsó tervfázisban történik a megvalósulási és az ajánlati (tender) tervek műszaki tartalmának összevetése, ellenőrzése. Ennek során – a garanciális határidőt megelőzően – részt kell venni a garanciális bejárásról és javaslatot kell adni az esetleges hiányosságok kijavítására. Javasolt legalább a *Geotechnikai Szakértői Vélemény (GSZ)* készítése.

Az 51. táblázat a tervfázisok esetében ajánlott geotechnikai szolgáltatások típusait mutatja be, a geotechnikai kategóriák [MÓCZÁR, 2015] függvényében.

51. táblázat. A tervfázisokhoz ajánlott geotechnikai szolgáltatások típusa a geotechnikai kategóriák függvényében

Tervfázis száma	GC–1 kategória		GC–2 kategória		GC–3 kategória	
	TVJ	GT	TVJ	GT	TVJ	GT
1.	SZ	SZ	K	K	K	K
2.						
3.	–	–	–	SZ	–	K
4.	SZ	SZ	K	K	K	K
5.	SZK	SZ	SZK	K	SZK	K
6.	–	SZ	–	SZ	–	SZ
7.						
8.						
9.						

TVJ: geotechnikai talajvizsgálati jelentés
 GT: geotechnikai tervezési munkarész és/vagy tervezői tanácsadás, szakértés
 K: kötelező SZ: szükség esetén SZK: szükség esetén kiegészítés

9.2.4. Az építési folyamat egyes szakaszaihoz kapcsolódó tervfázisok és geotechnikai szolgáltatások

A következőkben kissé részletesebb áttekintést adunk az építési folyamat egy-egy kiválasztott és geotechnikai szempontból kitüntetett szakaszához kapcsolódó geotechnikai szolgáltatás tartalmáról, valamint megadjuk az építési folyamat adott szakaszához rendelhető tervfázist is

Előkészítő tevműveletek (Az építmények megvalósításának előkészítése)

A társadalmi vagy gazdasági szempontból jelentősebb vagy kiemelt szerepű építőipari beruházások esetében előkészítő jellegű tervdokumentációk is készülnek. A geotechnika ezekkel kapcsolatos feladata, hogy végezze el az építmény megvalósíthatóságának előzetes geotechnikai szempontú műszaki elemzését. Ezen belül vizsgálja meg, mérlegelje és határozza meg az építmény és annak feltételezhető geotechnikai hatásterületén belüli földtani közeg várható kölcsönhatásait és azok várha-

tó következményeit, és a tervezéssel, kivitelezéssel és fenntartással kapcsolatos feladatokat. Szükség szerint határozza meg azokat a geotechnikai körülményeket és feltételeket, melyek az egyes építési változatok (vagy a legelőnyösebbnek ítélt, javasolt alternatíva) megvalósíthatóságát biztosítják.

A sokszor több lépcsőben készülő előkészítő tervdokumentációk tárgyköre, tartalma és részletessége egyrészt az építmény jellegéhez, másrészt a megrendelői elképzelésekhez és igényekhez, esetenként a felügyeleti szervek és hatóságok előírásaihoz igazodik. Az általánosságban használatos geotechnikai szolgáltatások és dokumentáció típusok a következők.

- Előzetes vagy előkészítő jellegű *GA* vagy *TVJ* készítése a geotechnikai–építés-földtani műszaki alapinformációk szolgáltatása céljából.
- A döntést előkészítő tanulmányterv (*GE*) készítése. Célja, hogy geotechnikai–építésföldtani tervezési információkat szolgáltatson az előzetesen elképzelt vagy megvalósítani kívánt építmény műszaki előkészítéséhez, ezen belül a szükséges műszaki–gazdasági döntések előkészítéséhez és az ezekkel kapcsolatos előzetes egyeztetésekhez. A tervdokumentáció feladata tehát, hogy:
 - Objektív és racionális módon tárja fel, mutassa be, vizsgálja meg és elemezze a műszaki, környezeti és környezetvédelmi tényezőket.
 - Mérje fel és elemezze az építmény műszaki jellemzőit, a természetes és épített környezetben rejlő lehetőségeket és veszélyeket, kockázatokat.
 - Vizsgálja meg és elemezze a későbbi megvalósítás különböző műszaki lehetőségeit, körülményeit és esetleges környezeti hatásait.
 - Dolgozza ki és elemezze a lehetséges műszaki megvalósítási alternatívákat és mutassa be a javasolt (vagyis a lehetséges kompromisszumos változatok közül a legkedvezőbbnek ítélt) megoldást.

A tanulmányterv végeredménye tehát egy olyan megoldás, mely továbbtervezhető, megvalósítható. *Megjegyzés.* A tanulmányterv rendszerint javaslatként készül el. A tanulmánytervek elkészítésének feladata éppen az, hogy a különböző variánsok közül válsztani lehessen (lásd pl. [TAKÁCS, 2004]).

- Vázlatterv (*GE*). Amennyiben a tanulmányterv alapján a beruházás megvalósítása mellett döntenek, akkor a műszaki előkészítés következő fázisában vázlatterv (használatos még a koncepcióterv, előterv vagy programterv elnevezés is) készül. Ennek célja a tanulmánytervben javasolt megvalósítási alternatíva vázlatszintű kidolgozása, mely tükrözi a beruházói igényeket, rögzíti a használhatósági szempontokat és körülményeket. Feladata, hogy – az esetlegesen szükséges előzetes hatósági egyeztetések alapján – igazolja az alapvető műszaki feltételeknek való megfelelést, rögzítse az építmény fontosabb műszaki megoldásait és műszaki paramétereit, illetve ezek határait.
- Elvi engedélyezési tervek (*GE* vagy *TB*). Ha a beruházás műszaki feltételei, körülményei és jellemzői a korábbi tervek alapján már nagyrészt körvonalazódtak, de egyes pontjai még bizonytalanok vagy hatósági megerősítést, döntést igényelnek, akkor elvi engedélyezési tervek készülhetnek. Ennek feladata, formája és tartalma többnyire mindenben megegyezik az engedélyezési tervekkel. Attól csupán céljában különbözik, ami ez esetben nem a hatóság konkrét építési en-

gedélyének, hanem csak a beruházáshoz való elvi hozzájárulásának megszerzése.

Az építési folyamat ezen tervezési szakaszához jellemzően és általában az 1.–2.–3. tervfázis geotechnikai munkái kapcsolhatók.

Hatósági engedélyeztetés (Az építmények tervezése)

A hatósági engedélyezési eljárással a beruházási folyamat az építés hatóságok és a különböző szakhatóságok, szakfelügyelet befolyása alá kerül. Az építési engedélyezési terv az építmény megvalósíthatóságát, a térbeli, funkcionális, energetikai, esztétikai stb. megoldásait egyértelműen rögzítő, alátámasztó és igazoló, általában a jogszabályokban rögzített tartalmú és a különböző szakhatósági engedélyezések számára készített tervdokumentáció. Az építési engedélyezési terv célja az építés hatóságok által kiadott építési engedély megszerzése, mely alapján a tervezett építmény megvalósítható. A dokumentumnak tartalmaznia kell azokat a rajzokat, számításokat, műleírásokat, amelyek alapján az illetékes önkormányzat építésügyi osztálya mellett a szakhatóságok (a geotechnikai munkarészek főként a vízügyi és természetvédelmi, valamint a bányászati szakhatóság ellenőrzési körébe tartoznak) is megítélhetik a tervezett építési tevékenység rendeleteknek és előírásoknak megfelelő elvégzését. Az építési engedélyezési terveken belül a geotechnika feladata az építési hely és a geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezet általános bemutatása olyan részletességgel, mely alapján megismerhetők az építmény általános építési és műszaki körülményei, valamint igazolható a tervezési elképzelések műszaki megvalósíthatósága, továbbá eldönthető, hogy a tervezés és a kivitelezés körülményei, s a létesítmény műszaki paraméterei megfelelnek-e az érvényes műszaki és szakhatósági előírásoknak.

Az építési engedélyt a hatóságok csak az építmény mechanikai (szilárdsági, alakváltozási, állékonysági) megfelelőségének, valamint a természetes és/vagy épített környezetbe illeszkedésének igazolása esetén adják meg. Ehhez általában szükséges a teljes körű talajmechanikai informáltság, valamint a geotechnikai feladatok megoldásának bemutatása és igazolása. Ez az egyes geotechnikai szolgáltatásokra vonatkoztatva következőket jelenti.

- A *TVJ* olyan teljes körű geotechnikai adatszolgáltatás, mely a szükséges és elégséges mértékű feltáráson, labor- és terepi vizsgálaton alapul, s tartalmazza a geotechnikai feladatok megoldásához szükséges adatokat.
- A *TB* vagy *GT* bemutatja mindazokat a szerkezeteket és/vagy beavatkozásokat, melyekkel a geotechnikai feladatok a tervező által legjobbnak tartott módon megoldhatók. *Megjegyzés.* Legalább egyféle megoldást kell ismertetni. Ismerteti a javasolt műszaki megoldások megfelelőségét igazoló számításokat, közli azokat a kivitelezési és műszaki karbantartási-üzemeltetési utasításokat, melyek biztosítják a tervben feltételezettek teljesülését.

Az építési folyamat ezen tervezési szakaszához jellemzően és általában a 4. tervfázis geotechnikai munkái kapcsolhatók.

A kivitelezők versenyeztetése, kiválasztása (Az építmények megvalósítása)

Az ajánlati (tender) terv a jóváhagyott engedélyezési terv alapján készített, az

építmény megvalósítását a korrekt ajánlattételhez szükséges részletességgel bemutató, elsődlegesen az építőipari kivitelezői ajánlatkérésre (versenyeztetés, tender) szolgáló műszaki tervdokumentáció, mely a kivitelezéshez közvetlenül – vagy a nyertes kivitelező sajátos igényei, felkészültsége és gyakorlata alapján történt kisebb módosításokkal – felhasználható. A kivitelezők versenyeztetése és kiválasztása történhet a jóváhagyott engedélyezési terv alapján összeállított részletes és végleges kiviteli tervek alapján is.

Az *ajánlatkérés* és az ehhez készülő ajánlatkérési műszaki dokumentáció (tender terv) célja az építményt megvalósító kivitelező vállalkozó, illetve a végleges kivitelezési megoldás kiválasztása. Tartalmát a közbeszerzési törvény hatálya alá eső munkákra jogszabály rögzíti, más esetekben a részletesség a megbízói szándéktól függ. Ehhez olyan geotechnikai szolgáltatást kell nyújtani, mely az megbízó célját a legjobban szolgálja. Teljes körű geotechnikai információadás (kiviteli szintű *TVJ* és *TB* vagy *GT*) indokolt, mert csak ez teheti lehetővé, hogy az ajánlatok a „legjobb” (legbiztonságosabb és/vagy leggazdaságosabb) geotechnikai megoldásokat tartalmazzák. Megrendelői igény lehet, hogy a geotechnikai megoldások részletes kidolgozása elhagyása, hogy az ajánlatadók az előkészítés során a tervezettnél esetleg előnyösebb megoldásai is teret kaphassanak. A geotechnikai szolgáltatások formája a következő lehet.

- A *TVJ* az engedélyezési fázishoz is használt, vagy annál esetleg bősegebb geotechnikai adatszolgáltatás legyen, mely elégséges mértékű terepi és laboratóriumi vizsgálaton alapul, s tartalmazza a geotechnikai feladatok megoldásához szükséges adatokat.
- A *TB* vagy *GT* a megbízó szándékától függően többféle részletességgel készíthető: lehet azonos az engedélyezési tervvel vagy annak részletesebb, bővített változata, de lehet részletes kiviteli szintű is attól függően, hogy a megbízó az ajánlattevőktől várja a javaslatokat a legjobb geotechnikai megoldásra vonatkozóan – ez esetben csak a geotechnikai feladatok megoldásának alapkövetelményeit (pl. kivitelezési idő, biztonság, megengedhető mozgások) fogalmazza meg.

Az *ajánlatadás* terveit az ajánlatadó vállalkozók készít(tet)ik el, s ezekben saját megoldási javaslatukat mutatják be. Ennek részletezettségére általában a kiírás ad követelményeket, többnyire azonban célszerű a legteljesebb kidolgozásra törekedni, mert az kedvezőbb elbírálást eredményezhet, s elkerülhetővé teszi a későbbi vitákat. A geotechnikai szolgáltatások formája a következő lehet.

- A kiegészítő jellegű *TVJ* az ajánlattevő által az ajánlatkészítés idején elvégzett, a saját megoldásához szükségesnek vélt kiegészítő terepi és laborvizsgálatok eredményeinek bemutatásával, valamint a korábbi geotechnikai információkkal való egybedolgozással.
- A tervekben a kiírásban előírt részletességgel mutatja be az ajánlott geotechnikai megoldást, amihez általában a tender terv szintje az irányadó, de előnyös lehet a kiviteli terv szintjét megközelítő részletezés. A *TB* vagy *GT* formájában ismerteti a választott megoldásokat és legalább az engedélyezési terv szintjén kell igazolnia a megoldások mechanikai (szilárdsági, alakváltozási, állékony-sági) megfelelőségét, illetve a környezetbe illeszthetőségét.

Az építési folyamat ezen tervezési szakaszához jellemzően és általában az 5.–6.–7. tervfázis geotechnikai munkái kapcsolhatók.

Az építés-kivitelezés (Az építmények megvalósítása)

A kiviteli (megvalósítási vagy építési) terv a jóváhagyott engedélyezési terv alapján – illetve ajánlati (tender) terv esetén az ajánlatkérés eredményét is figyelembe véve – készített és az építőipari kivitelezés számára szükséges és elégséges részletezettségű tervdokumentáció. A kiviteli terv tartalma műszaki és minőségi jellemzőit tekintve nem térhet el a jogerős és végrehajtható építési engedélyben és a hozzátartozó, jóváhagyott és engedélyezési záradékkal ellátott tervekben foglaltaktól. A kiviteli terv az építmény részeit képező szerkezetek, berendezések, anyagok részletterveit, a számításokat, méretezéseket, elemzéseket, méret- és mennyiségkimutatókat, valamint a költségvetési kiírások szövegeit is tartalmazó teljes, kivitelezésre alkalmas terv. *Megjegyzés.* A tender terv és a kiviteli terv elviekben azonos minőségű és részletezettségű terv. Ugyanakkor a tenderterv részletrajzokat nem kell, hogy tartalmazzon, mivel a tenderterv feladata a kivitelezés költségeinek és időszükségletének meghatározása (ezzel együtt rendszerint $M = 1:100$ -as léptékű tervlapokból áll), míg a kiviteli terv a kivitelezés elvégzéséhez hivatott háttérrel biztosítani, azaz részletrajzokat és rendszerint $M = 1:50$ léptékű (pallérterv), illetve $M = 1:25$ léptékű (vasbeton szerkezetek terve) és $M = 1:15$ léptékű (acélszerkezetek) tervlapokat tartalmaz. A kiviteli, illetve tender terveken belül a geotechnikai tervrészletekre vonatkozóan az alábbiakat kell figyelembe venni.

- Az építési hely és az építmény geotechnikai hatásterületén belüli geotechnikai környezet olyan mélységű és részletességű bemutatása, melyek alapján a kivitelezői ajánlatok összeállíthatók (tender terv), illetve a kivitelezés elkezdhető (kiviteli terv).
- Tender terv esetében az egyes részfeladatokon (pl. a munkaterek kiemelése, megtámasztása, víztelenítése, alapozás, földműépítés) belül lehetővé teszi a kivitelező technikai és szakmai felkészültségének, tapasztalatainak és gyakorlatának legjobban megfelelő alternatív megoldások kidolgozását vagy alkalmazását is.
- Az építési hely és az építmény geotechnikai hatásterületén belüli geotechnikai környezet sajátosságainak, valamint azok kölcsönhatásainak részletes bemutatása, elemzése és kiértékelése, amely alapján a tervezés és a kivitelezés geotechnikai műszaki paraméterei, követelményei és feltételei egyértelműen és részletesen meghatározhatók.
- A konkrét feladattól függő részletességgel tartalmazza az építés előtti, közbeni és utáni geotechnikai műszaki paraméterek megfigyelési, ellenőrzési és kiértékelési módszereinek ismertetését, valamint a műszaki felügyelet feladatát, formáját, tartalmát és módját.
- Szükséges esetben – pl. átlagon felüli geotechnikai veszélyekkel járó építési fázisok esetében – ki kell térni a kivitelezés közbeni esetleges balesetveszélyes vagy havária helyzetek, üzemzavarok, illetve egyéb káresemények kialakulási lehetőségeinek elemzésére és az ilyenkor végrehajtandó geotechnikai feladatok, teendők ismertetésére is.

- Ha szükséges, akkor a már elkészült tendertervek kiegészítésére vagy részletezésére is sor kerülhet (pl. technológiai utasítás, méret- és mennyiségkimutatás, költségvetés, minőségbiztosítási terv), hogy a terv tartalmában megfeleljen a kiviteli tervnek. Ugyanakkor a kiviteli terv további, a kiviteli terven túlmutató tervekkel, mint pl. ütemterv, organizációs terv, is kiegészülhet. *Megjegyzés.* Ez utóbbiakat rendszerint a kivitelező állítja össze az építési elvárásokat és a saját műszaki lehetőségeit összhangba hozva. Ezeknek a kiegészítéseknek a célja a részletek olyan kidolgozása, mely biztosítja, hogy a kivitelező a felkérésültségének megfelelő építési eljárásokkal a megrendelő igényeinek megfelelő építményt hozzon létre az építési engedélyben rögzített feltételek mellett (esetleg annak módosítási kérelmével).
- Ha az építési folyamat előző szakaszaiban már elkészültek a megfelelő geotechnikai dokumentumok, akkor ezekhez a tervekhez legfeljebb kiegészítő geotechnikai dokumentumok (*TVJ*, *TB* vagy *GT*, esetleg *GSZ*) összeállítására van szükség. A *TVJ* esetében a választott megoldás kivitelezéséhez szükségesnek ítélt kiegészítő terepi és laboratóriumi vizsgálatok eredményeit a korábbi geotechnikai információkkal való összedolgozással kell bemutatni. A *TB* vagy *GT* esetében a kivitelezéshez szükséges részletességgel kell bemutatni az alkalmazott megoldást. A geotechnikai szerkezetek esetében hangsúlyt kell fektetni az alkalmazandó technológiákra, az azokkal összhangban levő ütemtervek rögzítésére, a minőségbiztosítási tervfejezetre, valamint a geotechnikai műszaki felügyelet és megfigyelés tervére, továbbá – ha szükséges – a fenntartás geotechnikai feladatainak ismertetésére is.

Az építési folyamat ezen tervezési szakaszához jellemzően és általában az 5.–6.–7.–8. tervfázis geotechnikai munkái kapcsolhatók.

Beüzemelés, műszaki átadás-átvétel, használatba vétel (Az építmények üzembe helyezése)

A kivitelezés végén készülő megvalósulási (átadási) terv az elkészült építménynek végleges és valóságos állapotát rögzítő, a kiviteli tervekkel (közel) azonos részlettartalmú tervdokumentáció. Feladata az elkészült építmény műszaki, és minőségi, ritkábban mennyiségi jellemzőinek rögzítése, hogy az esetleg felmerülő vitás helyzetek megítéléséhez, valamint az építmény megfigyeléséhez, üzemeltetéséhez, fenntartásához, esetleges átalakításához, bontásához, későbbi eladásához, továbbá a közvetlen környezetében megvalósuló későbbi építésekhez az építmény adatai rendelkezésre álljanak.

Megvalósulási tervként – egyszerűbb esetekben és a terveket mindenben követő kivitelezés esetén – elfogadható a végrehajtott változtatásokat tartalmazó kiviteli terv is.

Megjegyzés. A megvalósulási terven kívül más, a megvalósítására vonatkozó dokumentumok is készülhetnek. Például a kivitelezés közben tett és szakszerűen feljegyzett észleléseket, az építés közben végzett ellenőrző talajvizsgálatok eredményeit, a megvalósult állapot rajzait, a műszaki (geotechnikai szempontú) ellenőrzési, minőségtanúsítási, vizsgálati és mérési dokumentumokat és jegyzőkönyveket, a műszaki felügyelet iratait.

A megvalósulási terv elkészítése során a geotechnika feladata az építési hely és a geotechnikai hatásterületen belüli geotechnikai környezet előzetes vizsgálatok és tervek, valamint a kivitelezés közbeni tapasztalatok alapján összeállított geotechnikai-építésföldtani elemzése és kiértékelése. Ez az elemzés, illetve kiértékelés részletesen ismerteti a kivitelezés során tapasztalt geotechnikai körülményeket és talajadottságokat, s nyilatkozik az esetleges későbbi beavatkozások vagy változtatások szükségességéről. Az említett geotechnikai információkat célszerű összefoglaló *Geotechnikai szakvéleményben* vagy *jelentésben (GSZ)* dokumentálni.

Az építési folyamat ezen tervezési szakaszához jellemzően és általában a 9. tervfázis geotechnikai munkái kapcsolhatók.

Üzemeltetés (Az építmények üzemeltetése)

Az üzemeltetéshez kapcsolódó tervdokumentációk tárgyköre és részletessége nagyrészt a beruházói elképzelésekhez, igényekhez és célokhoz, esetenként a felületes szervek és hatóságok előírásaihoz igazodik. Ezek a tervdokumentációk az építmény működése közben aktuálisan felmerülő műszaki problémákkal és feladatokkal vagy a későbbiekben megvalósítani kívánt műszaki beavatkozásokkal, illetve az építmény esetleges károsodásaival kapcsolatban készülnek. Egy létesítmény üzembe helyezésekor általában még nem ismeretes, hogy a létesítmény működési ideje alatt milyen további tervezési feladatok adódhatnak. Ezt többnyire a létesítmény későbbi sorsa és a sokszor előre nem látható gazdasági, műszaki, társadalmi és természeti adottságok határozzák meg. Az ilyen dokumentációkhoz kapcsolódóan a geotechnika feladata az aktuálisan készülő tervhez kapcsolódó, annak céljait és műszaki sajátosságait figyelembe vevő geotechnikai feladatok megoldása. Általában az alábbi dokumentációk készülnek:

- javítási terv,
- megerősítési terv,
- átalakítási terv,
- bővítési terv,
- felújítási terv,
- korszerűsítési (fejlesztési) terv,
- rekonstrukciós (helyreállítási, újjáépítési) terv,
- állapot (állag) vizsgálati terv,
- kárelhárítási terv.

Ehhez a beruházási állomáshoz bármely (akár több) tervfázis geotechnikai munkái kapcsolhatók, a feladatok jelentőségétől és egyéb műszaki sajátosságaitól függően.

Az *üzemeltetés* során általában a kiviteli tervben megadott módon kell végezni az építmény rendszeres megfigyelését és karbantartását (fenntartását), melyet azonban folyamatosan aktualizálni kell, az esetleges későbbi változások figyelembe vételével. Sok esetben felmerülnek kisebb-nagyobb javítási, átalakítási, bővítési, felújítási, korszerűsítési igények, vagy szükségessé válik az építmény rekonstrukciója, esetleg a környezetben olyan változások történnek, melyek hatással vannak az építményre. E munkálatoknak sok esetben geotechnikai vonzata is lehet, illetve – főleg

a földműveket, a támszerkezeteket, az alapozásokat, a szigeteléseket, a földalatti műtárgyakat és közműveket érintő műszaki beavatkozások esetében – ez kifejezetten geotechnikai tervezői–szakértői feladat. A geotechnikai szolgáltatásokkal szemben ilyenkor a következő igények támaszthatók.

- Az ellenőrző *TVJ* keretében történik az aktuális feladatok kapcsán utólag szükségesnek ítélt terepi feltárások és laborvizsgálatok eredményeinek bemutatása. Ide sorolhatók a szemrevételezéssel nyert információkat tartalmazó jegyzőkönyvek, illetve a talajkörnyezet és az építmény viselkedéséről közvetve tájékoztató mozgás- és erőmérések, illetve a vízmozgásokat jellemző adatok ismerttetése is.
- Új *TB* vagy *GT*, esetleg *GSZ* készítése szükséges, ha a korábbi kiviteli geotechnikai dokumentáció módosításra szorul, vagy az építményen olyan műszaki változtatást végeznek, mely befolyásolja a meglévő geotechnikai szerkezetek viselkedését, esetleg új geotechnikai szerkezet építése szükséges. Az új geotechnikai dokumentációt általában úgy kell összeállítani, hogy az elégítse ki az engedélyezési és a kiviteli vagy a tender tervek követelményeit is.

Az építmények *károsodása* gyakran közvetlen összefüggésben van a talajkörnyezettel, s ezért a károsodások okainak felderítéséhez, valamint a károk helyreállításának tervezéséhez geotechnikai vizsgálatokra és tervek készítésére is szükség lehet. Az ilyen esetekben készítendő geotechnikai helyreállítási terv a károsodás utáni helyreállításra ad megoldást. Tartalmaznia kell az eredetileg megvalósult és károsodott, valamint az ideiglenesen vagy véglegesen helyreállított állapot leírásán kívül az átalakított, vagy az új geotechnikai szerkezet építéséhez szükséges minden olyan tervrészletet, mely kielégíti az aktuálisan szükséges engedélyezési/kiviteli/tender tervek igényeit is.

Az építési folyamat ezen szakaszához a felmerülő műszaki igények alapján kell a geotechnikai munkákat meghatározni.

Megszüntetés (Az építmények felszámolása)

A megszüntetéshez kapcsolódó tervdokumentációk tárgyköre és részletessége, mint minden beruházás esetén, alapvetően a beruházói elképzelésekhez, igényekhez és célokhoz, esetenként a felügyeleti szervek és hatóságok előírásaihoz igazodik. Ezek a tervdokumentációk az építmény bontásával, felhagyásával kapcsolatban készülnek. Egy létesítmény üzembe helyezésekor általában még nem ismeretes, hogy a létesítmény megszüntetése esetén milyen tervezési feladatok adódhatnak. Ezt a létesítmény későbbi sorsa, a gazdasági, műszaki, társadalmi és természeti adottságok határozzák meg. A megszüntetéshez kapcsolódó tervdokumentációkban a geotechnika feladata az aktuálisan készülő tervhez kapcsolódó, annak céljait és műszaki sajátosságait figyelembe vevő geotechnikai feladatok megoldása. Általában az alábbi dokumentációk készülnek:

- felhagyási (megszüntetési) terv,
- bontási terv,
- rekultivációs terv.

Ehhez a beruházási szakaszhoz bármely (akár több) tervfázis geotechnikai munkái kapcsolhatók, a feladatok jelentőségétől és egyéb műszaki sajátosságaitól függően.

A *megszüntetés* során a geotechnikai szolgáltatásokkal szemben is a korábban már megfogalmazott igények támaszthatók (lásd az Üzemeltetési szakaszt).

DUPress

IRODALOMJEGYZÉK

- [BIENIAWSKI, 1989] Z. T. Bieniawski, Dr.: Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons, Inc., USA, 1989.
- [BIRKÁS, 2006] Birkás Márta, Dr. (szerk.): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2006. A digitális változat letölthető: http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Foldmuveles_es_foldhasznalat/index.html
- [BUTZER, 1986] Karl W. Butzer, Dr.: A földfelszín formakincse. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1986.
- [CHOLNOKY, 1926.] Cholnoky Jenő, dr.: A földfelszín formáinak ismerete (morfológia). Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest, 1926.
- [DÁVID, 2012] Dávid Árpád, Dr.: Építés- és környezetföldtan. Digitális főiskolai jegyzet, Eger, 2012.
- [FAUR–SZABÓ, 2011] Faur Krisztina Beáta – Szabó Imre, Dr.: Geotechnika. Digitális egyetemi jegyzet, Miskolc, 2011. Letölthető: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_MFKHT6504SI/adatok.html
- [FLOSS–GUDEHUS–KATZENBACH, 2000] Rudolf Floss, Dr. – Gerd Gudehus, Dr. – Rolf Katzenbach, Dr.: The situation of geotechnics in the focus of engineering studies. GEOTECHNIK folyóirat 23/2000. évfolyam 1. szám, Berlin, 2000.
- [FODOR–KLEB, 1986] Fodor Tamásné, dr. – Kleb Béla, dr.: Magyarország mérnökgeológiai áttekintése. (MÁFI kiadvány) Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
- [GALLI, 1977] Galli László: A földtan alkalmazása a víz- és mélyépítésben. VIZDOK kiadvány, Budapest, 1977.
- [GÁLOS–VÁSÁRHELYI, 2006] Gálos Miklós, dr. – Vásárhelyi Balázs, dr.: Közettesetek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban. Műszaki Egyetemi Könyvkiadó, Budapest, 2006. Letölthető: http://www.gekko.ro/files/Galos_Vasarhelyi_kozetteset.pdf
- [GEORISK, 2016] GeoRisk Kft.: GeoRisk Kft. honlapja, 2016. Letölthető: http://www.foldrenges.hu/images/stories/alap/tektonika_fine.jpg
- [HARTAI, 2003] Hartai Éva, dr.: A változó Föld. Miskolci Egyetem Kiadó és Well-Press Kiadó Kft., Miskolc, 2003.
- [HARTAI, 2011] Hartai Éva, dr.: Geológia. Digitális egyetemi jegyzet, Miskolc, 2011. Letölthető: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_PDF_MFFTT600120/adatok.html
- [HJULSTRØM, 1939] Filip Hjulstrøm: Transportation of detritus in moving water. In: P.D. Trask (ed.), *Recent Marine Sediments* 1939. (A Symposium: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, p. 5-31.)

- [HORUSITZKY, 1942] Horusitzky Ferenc, dr.: A víz a Föld belsejében. Hidrológiai Közlöny XXII. évfolyam p. 123-144, Budapest, 1942.
- [HORVÁTH, 2004] Horváth Ferenc, dr.: A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza. Digitális kiadvány, Budapest, 2004. Letölthető: http://geophysics.elte.hu/atlas/geodin_atlas.htm
- [HORVÁTH, 2006] Horváth Ferenc, dr.: Lemeztektonika és az új globális geodinamika. Magyar Tudomány 2006/8. szám, Budapest, 2006.
- [JÁKY, 1944] Jáky József, dr.: Talajmechanika. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest, 1944.
- [KECSKÉS–SZOBOSZLAI, 2015] Kecskés Gábor – Szoboszlai Béla: Geotechnikai, építésföldtani útmutató. TERC, Budapest, 2015.
- [KÉZDI, 1972] Kézdi Árpád, dr.: Talajmechanika I. (negyedik, javított kiadás) Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- [KLEB, 1998] Kleb Béla, dr.: A mérnökgeológia fejlődésének hazai útja. Földtani Közlöny 128/1 szám, Budapest, 1998.
- [KOCH–SZTRÓKAY, 1968] Koch Sándor, dr. – Sztrókay Kálmán Imre, dr.: Ásványtan I–II. (második kiadás) Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
- [LÁMER, 2014] Lámer, G. dr.: Az építési folyamatok strukturált szervezése. In: Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi régióban 2014. május hó 13. Konferencia kiadványa. Szerk.: Pokorádi László. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 2014. pp. 254-262
- [LÁMER, 2018] Lámer, G. dr.: Építési alapismeretek. Építési ismeretek. 1. kötet. sorozatszerkeztő dr. Lámer Géza. DE. Debrecen, 2018. (kiadás alatt)
- [LÁMER–SZÜCS, 2013] Lámer, G. dr. – Szűcs Edit, dr.: Építési folyamatok szervezése. TERC, Budapest, 2013. <http://www.tankonyvtar.hu>
- [LESS, 2011] Less György, Dr.: Magyarország földtana. Digitális egyetemi jegyzet, Miskolc, 2011. Letölthető: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_MFFTT600231/adatok.html
- [MÓCZÁR, 2013] Móczár Balázs, dr. (szerk.): Útmutató a geotechnikai vizsgálatok szükséges mértékének megállapításához az EC7 elveinek és előírásainak figyelembevételével. MMK–GeoT kiadvány, Budapest, 2013.
- [MÓCZÁR, 2015] Móczár Balázs, dr. (szerk.): Segédlet az új, EC7 alapú geotechnikai dokumentációk tartalmi követelményeit betartó munkarészekhez, a mérnöki és vizsgálati ráfordítások összeállításához, tervfázisonként. MMK–GeoT kiadvány, Budapest, 2015.
- [MOLNÁR, 2006] Molnár Viktor, dr.: Építőanyagok–I. Elektronikus kiadvány, Sopron, 2006. Letölthető: http://eptan.fmk.nyme.hu/eptan/oktadat/Entries/2011/9/15_Epuletszerkezettan_1_files/Epitoanyagok_I.pdf.
- [MOSONYI–PAPP, 1959] Mosonyi Emil, Dr. – Papp Ferenc, Dr.: Műszaki földtan (mérnökgeológia). Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1959.
- [PALOTÁS, 1957] Palotás László, Dr. (szerk.): Mérnöki kézikönyv (2. kötet). Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957.

- [PÉTERFALVI, 2015] Péterfalvi József, Dr.: Talajmechanika. Digitális egyetemi jegyzet, Sopron, 2015. Letölthető: https://bismarck.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/emk/efelt/efelt/segedletek/melyepites/Talajmechanika_2015.pdf
- [RÉTHÁTI, 1995] Rétháti László, dr.: Alapozás kedvezőtlen talajokon. Akadémia Kiadó, Budapest, 1995.
- [SÍKHEGYI–TISZA–UNGER, 2001] Síkhegyi Ferenc – Tisza András – Unger Zoltán: Kármentesítési Útmutató 3. füzet. Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest, 2001. Letölthető: <https://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmutmutato3/karmutm3-4.htm>
- [STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY, 1999] Stefanovits Pál, Dr. – Filep György, Dr. – Füleky György, Dr.: Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1999. Letölthető: http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Talajtan/index.html
- [SULLIVAN, 1985] Sullivan, Walter: A vándorló kontinensek. Gondolat, Budapest, 1985.
- [SZAKMÁNY, 2003] Szakmány György, PhD.: Segédanyag az I. éves geográfusok és földrajz tanárszakosok metamorf közetan gyakorlat anyagához. Digitális egyetemi jegyzet, Budapest, 2003. Letölthető: <http://petrology.geology.elte.hu/GEOGR2ujMET.pdf>
- [SZEPESHÁZI, 2000] Szepesházi Róbert, dr.: A geotechnika helyzete az építőmérnöki tudományok középpontjában. Digitális cikk. Letölthető: <https://www.yumpu.com/hu/document/view/20882795/a-geotechnika-helyzete-az-epitomernoki-tudomanyok-kozeppontjaban>
- [SZEPESHÁZI, 2002] Szepesházi Róbert, dr.: Távoktatási útmutató a Geotechnika II. tárgyhoz. Digitális egyetemi jegyzet, Győr, 2002.
- [SZEPESHÁZI, 2008] Szepesházi Róbert, dr.: Geotechnikai tervezés. Tervezés az Eurocode 7 és a kapcsolódó európai geotechnikai szabványok alapján. Business Media Magyarország Kft., Budapest, 2008.
- [SZEPESHÁZI, 2010] Szepesházi Róbert, dr. (szerk.): A geotechnikai tevékenységek szabályai az Eurocode-ok szerinti tervezésben. MMK–GeoT kiadvány, Budapest, 2010.
- [SZEPESI, 2016] Szepesi János, PhD: Földtudományi alapismeretek. Digitális egyetemi jegyzet, Pécs, 2016. Letölthető: <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyeztan9/www/out/html-chunks/book.html>
- [TAKÁCS, 2004] Takács Ákos: Építési Beruházások Kézikönyve. A gondolattól a kulcsátadásig. TERC Budapest, 2004.
- [TÓTH–GYÖRI–MÓNUS–ZSÍROS, 2006] Tóth László, Dr. – Győri Erzsébet, Dr. – Mónus Péter – Zsíros Tibor: Magyarország szeizmikus zónatérképe. EC8 (MSZ EN 1998-1) Nemzeti Melléklete.
- [TÖRÖK, 2007] Török Ákos: Geológia mérnököknek. Egyetemi tankönyv. Műegyetemi Kiadó. Budapest, 2007.
- [VADÁSZ, 1955] Vadász Elemér: Elemző földtan (Bevezetés a földtanba). Akadémiai Kiadó, Budapest, 1955.

- [VARGA, 2018] Varga Zolt, dr.: Geodéziai alapismeretek. Építési ismeretek. 2. kötet. Sorzatszerkesztő dr. Lámer Géza. DE, Debrecen, 2018.
- [WYLLIE, 1992] D. C. Wyllie, Dr.: Foundations on Rock. E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, London and New York, 1992.

DUPRESS

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra. A Föld és légköre övezetei, vastagságának arányai	26
2. ábra. A geoszféra övezetes felépítése és fontosabb jellemzői.....	27
3. ábra. A hidroszféra tömegének zömét alkotó világóceán övezetes felépítése és fontosabb jellemzői	28
4. ábra. Az atmoszféra övezetes felépítése és fontosabb jellemzői.....	29
5. ábra. A geotechnika és társtudományai interdiszciplináris kapcsolatrendszerének vázlata	48
6. ábra. A geotechnikai feladatok elvégzésének általános sorrendje és kapcsolati rendszere.....	50
7. ábra. Az általánosan alkalmazott talajjavítási módszerek sematikus vázlata ...	62
8. ábra. Szivárgók és drének általánosan alkalmazott felépítése, típusai (sematikus vázlat)	65
9. ábra. HESZ, VESZ, GP (IP) és GPR módszerek és eredményei (sematikus vázlat)	94
10. ábra. A Cross-hole és a Down-hole módszerek (sematikus vázlat)	97
11. ábra. A szemeloszlási vizsgálat eredménye és a szemeloszlási görbe jellemző adatai.....	100
12. ábra. A talaj fázisos összetételét és az ezzel összefüggésben számítható talajfizikai jellemzőket ábrázoló egységnyi térfogatú talajhasáb.....	104
13. ábra. Ajánlott feltárási mélységek az egyes geotechnikai feladatok esetében	121
14. ábra. A lemeztektonikai kéregmozgásokat fenntartó hő- és anyagáramlási rendszer.....	125
15. ábra. A lemeztektonikai folyamatok vázlatos tömbszelvénye	126
16. ábra. Magyarország mélyszerkezetének térképvázlata a jelentősebb és ma is aktív törésvonalakkal	128
17. ábra. Magyarország jelenkori geodinamikai térképvázlata.....	130
18. ábra. A vízsebesség és az üledékszállító képesség közötti általános összefüggés.....	138
19. ábra. Magyarország legjelentősebb folyóvízi hordalékkúpjainak térképvázlata	145
20. ábra. A síksági folyókanyarulat idealizált tömbszelvénye	146
21. ábra. A lejtőformák idealizált metszetei.....	148

22. ábra. A szabályos lejtőhöz tartozó lejtő- és terepidomok elnevezése.....	149
23. ábra. A kristályosodási és ércesedési folyamatok vázlatos összefoglalása ...	156
24. ábra. A metamorfózis- és kőzet-típusok a nyomás–mélység–hőmérséklet függvényében	158
25. ábra. A magyarországi kőzetcsoportok egyirányú nyomószilárdságának és rugalmassági modulusának összefoglaló ábrázolása és minősítése.....	165
26. ábra. A fonotaszabb magyarországi kőzetfajták egyirányú nyomószilárdságának és rugalmassági modulusának részletező ábrázolása	166
27. ábra. A csapás/dőlés éretlmezése tagoltsági síkok, vetősíkok, kőzetlapok esetében	168
28. ábra. A tagoltságok térbeli helyzetének (csapás/dőlés) ábrázolása dőlésrözsával	169
29. ábra. A geológiai szilárdsági index meghatározása homogén összetételű kőzetek esetében.....	175
30. ábra. A geológiai szilárdsági index meghatározása heterogén összetételű kőzetek esetében.....	176
31. ábra. Mérnökgeológiai kőzetosztályozási táblázat	177
32. ábra. A szemeloszlási görbék jellemző, idealizált alakjai	191
33. ábra. A Casagrande-féle osztályozó grafikon	193
34. ábra. A talajok azonosítása és osztályozása szemeloszlási vizsgálat alapján	206
35. ábra. Az iszapos–agyagos altalajú síkságon álló épületet érő hatások és azok következményei	213
36. ábra. A térfogatváltozó agyaggal borított magyarországi területek vázlatos térképe	216
37. ábra. Az agyagos altalajú lejtőn álló épületet érő hatások és azok következményei	216
38. ábra. A tözeges talajok konszolidációs folyamatának szakaszai	223
39. ábra. A leggyakoribb forrás típusok sematikus rajza.....	238
40. ábra. A felszínközeli víztípusok megjelenési formáinak sematikus rajza	242
41. ábra. A talajvízzel kapcsolatos néhány alapvető fogalom sematikus rajzi magyarázata.....	246

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat. Ásványcsoportok.....	42
2. táblázat. Geotechnikai kategóriák meghatározása a körülmények alapján.....	79
3. táblázat. Geotechnikai kategóriák meghatározása pontozással.....	83
4. táblázat. Összefüggések a mintavételi kategória, a minta minőségi osztálya és a talajok, rétegek tulajdonságainak meghatározhatósága között.....	114
5. táblázat. A mintavételi kategória és a talajfajták függvényében meghatározható talajfizikai paraméterek.....	115
6. táblázat. Az egyes építmények esetében ajánlott feltárások száma, távolsága és típusa.....	119
7. táblázat. A terepi vizsgálatok alkalmazhatóságának általános feltételei.....	122
8. táblázat. A különböző méretű szemcsék elszállításához szükséges szélesebségek határértékei	140
9. táblázat. Az egyes talajszemcse méretekhez tartozó átlagos szállítási távolság	141
10. táblázat. A lejtők osztályozása és sajátosságai.....	150
11. táblázat. A lejtőképződmények és sajátosságaik.....	153
12. táblázat. Kőzetek mésztartalmának minősítése pezsgetéssel	160
13. táblázat. Az elváltozások nagyságának minősítése	161
14. táblázat. A mállottsági fok minősítése	161
15. táblázat. A környezeti hatásokkal szembeni ellenálló képesség besorolása	162
16. táblázat. A fagyveszélyesség minősítése.....	162
17. táblázat. Kőzetek és talajok fejtési osztályba sorolása.....	163
18. táblázat. Az egyirányú nyomószilárdság minősítése és terepi becsléssel történő besorolása	164
19. táblázat. A tagoltságköz 2D (vízszintes és függőleges) és 3D (térbeli) szerinti osztályozása.....	169
20. táblázat. A tagoltságok tágasság és hosszúság szerinti besorolása	170
21. táblázat. A tagoló felület felszíni jellemzők szerinti minősítése.....	170
22. táblázat. A tagoló felület alakja és egyenletessége szerinti besorolása.....	171
23. táblázat. A tagoltság tágasság szerinti minősítése.....	171
24. táblázat. A tagoló felület mentén megjelenő víz mennyiségének besorolása.....	172
25. táblázat. A kőzetek szerkezetességének, rétegzettségének osztályozása	172
26. táblázat. Kőzettestek minősítése az RQD érték alapján.....	173
27. táblázat. Kőzettestek minősítése az RMR érték alapján	174
28. táblázat. Talajok víztartalmának terepi becslése	188

29. táblázat. Talajokat alkotó szemcsefrakciók megnevezése, jelölése és mérete	189
30. táblázat. Talajcsemcsék szögletesség, alak és felület szerinti besorolása	190
31. táblázat. A talajok osztályozása a szemeloszlási görbe alakja szerint	190
32. táblázat. Tömörégi állapothoz rendelhető szondázási és talajfizikai jellemzők	191
33. táblázat. Finomszemcsés talajok plaztikus index szerinti besorolása, megnevezése	192
34. táblázat. Finomszemcsés talajok konzisztencia index szerinti besorolása	193
35. táblázat. Tőzeges és szerves talajok osztályozása	194
36. táblázat. Talajok besorolása szervesanyag mennyisége szerint	194
37. táblázat. A geotechnikai környezet besorolása vegyi agresszivitása alapján (kivonat)	195
38. táblázat. Talajok drénezetlen nyírószilárdság szerinti besorolása	196
39. táblázat. Talajok drénezetlen nyírószilárdságának tájékoztató értékei	196
40. táblázat. Talajok besorolása vízvezető képességük szerint	197
41. táblázat. Talajok fagyveszélyesség szerinti besorolása	198
42. táblázat. Talajok erózióérzékenységének osztályozása	199
43. táblázat. Talajok besorolása térfogatváltozás alapján	199
44. táblázat. Talajok osztályozása tömöríthetőség alapján	200
45. táblázat. Talajok E_2 tájékoztató jellegű értékeinek táblázata	201
46. táblázat. Talajok földműépítési alkalmasságának osztályozása	202
47. táblázat. Talajok besorolása földrengés szempontjából	204
48. táblázat. Az egyesített amerikai talajosztályozási rendszer	207
49. táblázat. A magyarországi folyóvízi teraszok száma, kora és a Budapest környéki teraszszintek magassága a Duna „0” szintje (= 94,97 m Bf.) felett	209
50. táblázat. A talajok terepi felismerése makroszkópos (érzékszervi) vizsgálattal	225
51. táblázat. A tervfázisokhoz ajánlott geotechnikai szolgáltatások típusa a geotechnikai kategóriák függvényében	281

TÁRGYMUTATÓ

a, á

„A” kategóriájú minta 112
 aeroszféra, lásd levegőöv
 agyag 184
 agyagkövek 184
 agyagpala 186
 agyagtalajok 215
 ágyazási tényező 85
 aktív földnyomás 85
 aktív földnyomási tényező 85
 állóvíz 234
 alluviumok, lásd folyóvízi ártéri
 síkságok
 általajvíz 253
 andezit 180
 anyagindex 85
 anyagsűrűség vizsgálata 99
 alagút 70, 72
 alapozás 69
 áramlástan, lásd hidrodinamika
 árokszivárgó 66
 ásvány 40
 ásványi összetétel 159
 ásványos összetétel 105
 ásványtan 41
 árvíz 237
 – villám 237
 áteresztés 72
 átgyúrt minta, lásd „C” kategóriájú
 minta
 atmoszféra, lásd levegőöv
 Atterberg-határok vizsgálata 102

b

„B” kategóriájú minta 113

bazalt 181
 bélésfal 69
 belső erők 124
 belső súrlódási szög 85
 beszakadás 256
 bevágás 59, 60
 belvíz 236
 bioszféra, lásd életöv
 biztosítás 71
 brazilvizsgálat 111
 bűvópatak 257

c

„C” kategóriájú minta 113
 Cross-hole, lásd fúrás-fúrás közötti
 szeizmikus átvilágítás

cs

csapadék 227
 cseppkő 257
 csermely 233
 csermő, lásd horhos
 csillámpala 186
 csúcsellenállás 89
 csurgalékvíz 243
 csúszólap 66

d

dácit 180
 depóniaépítés 75
 diabáz 181
 dilatációs szög 85
 dilatométeres modulus 85
 dinamikus verőszondás vizsgálat
 91
 diorit 179
 diszkontinuitás 203

- diszperzibilitás 105
Down-hole, lásd felszín-fúrás közötti szeizmikus mérés
dolomit 183
drén 64
dréncső 64
drénezetlen nyírószilárdság 86, 195
– – maximális érték 86
– – reziduális érték 86
drénezetlen Young-modulus 86
drénezett nyírószilárdság 86
drénezett Young-modulus 86
dréntest 64
dúcolat 69
durvamészke, lásd mészke, biogén
duzzadási nyomás 108
- e, é*
- egyenlőtlenségi mutató 101
egyirányú nyomószilárdság 86, 164, 195
– nyomóvizsgálat 106, 110
elektromos ellenállás 86
életöv 27
elfajulás 230
elszikkasztás 64
emelkedő területek 142
endogén folyamatok, lásd belső erők
építési folyamat 30, 273, 281
építési tevékenység, lásd építési folyamat
építésföldtan 37
építésföldtani alapréteg 38
épített környezet, lásd mesterséges környezet
építmény 30
épület 31
ér 233
erózió 61
– bázis 230
– elleni védelem 61
erózióvédelem 75
- erózióveszélyesség 198
eróziós hajlam, lásd erózióveszélyesség
exogén folyamatok, lásd külső erők
- f*
- fagyállóság 162
fagyérzékenység 106
fagyveszélyesség 197
fajlagos köpenysúrlódás 89
fázisos összetétel 105
fejtési osztály 163, 204
felszín alatti vízmozgás 227
felszíni
– csatornák 73
– lefolyás 227
– talajkeverés 64
– vízkilépés 227
felszínmozgás 61
felszínrendezés 60
felszín-tömörítés 63
felszín-fúrás közötti szeizmikus mérés 98
feltárások 118
– ajánlott mélysége 120
– helyszíni elrendezése 120
– száma 118
– távolsága 118
feltöltés 59, 60, 224
fertő 236
feszültség–alakváltozás görbe 86
fillit 186
folyam 232
folyó 232
– kis 233
– közepes 232
– nagy 232
folyási határ 102
folyóssági index 102
folyóvíz 133, 145, 190, 206, 211, 229, 251
folyóvízi
– ártéri síkságok 144, 211

- hordalékkúpok 143, 208
 – síkságok 143
 – teraszok 143, 208
 fonolit 181
 forrás 237
 – állandó 239
 – csörgedező 240
 – epizodikus, lásd időszakos
 – feltörő 240
 – fenék 240
 – időszakos 240
 – intermittáló, lásd szakaszos
 – hideg vízű 240
 – karszt 239
 – meleg vízű 240
 – mocsár 240
 – permanens, lásd állandó
 – réteg 239
 – szakaszos 239
 – törmelék 239
 föld alatti terek 70
 földfizika 42
 földhő 75
 földkéreg 26
 földköpeny 26
 földmag 26
 földmunka 59
 földmű 32, 59
 – építési alkalmasság 202
 földnyomás 86
 földnyomási tényező 86
 földöv 26
 földradar mérés, lásd rádiófrekvenciás mérés
 földtan 36
 fõte 71
 fúrás-fúrás közötti szeizmikus átvilágítás 97
 fúrászondás vizsgálat 92
 futóhomok 210
 függőleges akna 70
 függőleges drénezés 67
 függönyszivárgó 66
- g*
- gátak 61
 geoelektromos módszer 93
 geofizika, lásd földfizika
 geológia, lásd földtan
 geológiai
 – előterhelés 86
 – szilárdsági index 174
 geoszféra, lásd földöv
 geotechnika 32, 34
 geotechnikai
 – adatszolgáltatás 272
 – azonosítás 205
 – dokumentáció 265
 – előtanulmány 273
 – hatásterület 35
 – jelentés 273
 – kategória 79
 – kölcsönhatás 35
 – környezet 34
 – megvalósíthatósági tanulmány 273
 – osztályozás 205
 – szakértői vélemény 273
 – szolgáltatás 45, 273, 279
 – tanulmányterv 272
 – terv 266, 272
 – tervezés 275
 – tervezői állásfoglalás 273
 – tevékenység 47, 275-279
 • fúrás és mintavétel 57
 • geodéziai terepfelmérés 56
 • geofizikai vizsgálatok 58
 • közetvizsgálatok 59
 • kitűzés 57
 • szakirodalmi adatgyűjtés 56
 • szondázás 58
 • talajvizsgálatok 59
 • térképezés 57
 • vízvizsgálatok 59
 – vázlattevé 273
 – veszélyhelyzet 36
 – szerkezet 36

- gerjesztett polarizációs mérés 96
- gneisz 185
- görbületi mutató 101
- grabbró 179
- gránit 178
- granodiorit 179
- GSI, lásd geológiai szilárdsági index
- h*
- hasadékvíz 254
- hatékony belső súrlódási szög 86
- hegységképződés 127
- hegyvidék 142
- hévíz 263
- hézagterfogat 103
- hézagtenyező 104
- híd 72
- hidegvíz 262
- hidratáció 134
- hidraulika, lásd vízerőtan
- hidrogeológia, lásd vízföldtan
- hidrolízis 134
- hidrológia, lásd víztan
- hidrodinamika 46
- hidromechanika, lásd vízerőtan
- hidrometrálás 100
- hidroszféra, lásd vízöv
- hidrosztatika 45
- homokkő 182
- hordalék 230
- horhó, lásd horhos
- horhos 233
- horizontális elektromos szelvényezés 96
- hulladéklerakók 75
- hullámverés-erózió 141
- i*
- injektálás 63
- ítatás 63
- izzítási veszteség 109
- j*
- jégerózió 139
- jettelés, lásd talajhabarcsosítás
- k*
- kapilláris zóna
- függő 247
- nyílt 247
- zárt 246
- karbonáttartalom 109
- karszt 256
- egyszintű 261
- többszintű 261
- karsztbarlang 257
- karsztforrás 257
- karsztvíz 255, 258
- fedett 259
- függő 260
- leszálló 260
- mély 261
- nyílt 259
- sekély 260
- támaszkodó 260
- karrmező 256
- képlékenységi határ 102
- kevert minta, lásd „C” kategóriájú minta
- kifutópálya 72
- kikötők 73
- kisátmérőjű fúrások 112
- kisvízfolyás 233
- klorid tartalom 110
- kompresszibilitás, lásd összenyomhatóság
- kompressziós modulus 107
- konzolidáció
- elsődleges 223
- harmadlagos 223
- másodlagos 223
- konzolidációs együttható 86
- konzolidációs tényező, lásd konzolidációs együttható
- kontinensvándorlás 127
- konzisztencia
- határ 102
- index 102, 193
- korrigált tágulási nyomás 86

- környezeti geotechnika 74
 kőzet 42
 – átalakult 157
 – mélységi magmás 154, 155
 – üledékes 157
 – vulkanikus 154, 155
 kőzetmechanika 37
 kőzetminőség besorolás 173
 kőzetöv 26
 kőzetan 42
 kőzettömeg osztályozás 173
 közmű 32, 73
 – akna 74
 – csőhid 74
 – alagút 74
 – medence 74
 – vezeték 74
 külső erők 131
 kvarcit 185
- l*
- lajtamészke, lásd mészkő, biogén
 lép 208, 221, 234, 236
 lápa, lásd uvala
 lapdilatométeres
 – modulus 87
 – vizsgálat 92
 lazulás 163
 lejtakna 70
 lejtő 147
 – domború 147
 – egyenes 147
 – homorú 147
 – homorú–domború 147
 – konkáv 147
 – konvex 147
 – sík 147
 – szabályos 147
 lejtőszög 148, 149, 150
 lejtőüledék 220
 légkör 26
 lejtőbiztosítás 60
 lemeztektonika 125
 levegőöv 28
- létesítmény 31
 lineáris zsugorodás 108
 – vizsgálata 108
 litológia, lásd kőzetan
 litoszféra, lásd kőzetöv
 lösz 213
 – elsődleges 214
 – eredetű talajok 213
 – másodlagos 214
 – típusos 214
 löszderivátum, lásd lösz eredetű talajok
- m*
- magmatit, lásd kőzet, mélységi
 magmás
 mállás 131
 – biológiai 135
 – fizikai 132
 – kémiai 133
 mállottsági fok 160
 márga 184
 márgás agyag 184
 márvány 185
 medence 143
 mederműtárgy 73
 meder teltség 230
 megtámasztás 71
 melléépítés 70
 mélykeverés 64
 mélyszivárgó 66
 mélytömörítés 63
 mérnökgeofizika 43
 mérnökgeológia, lásd műszaki földtan
 mesterséges környezet 29, 30
 mészkő
 – biogén 183
 – forrás 183
 – tömött 182
 mésztartalom 160, 194
 – lásd karbonáttartalom
 mésztufa, lásd mészkő
 metamorfít, lásd kőzet, átalakult

mineralógia, lásd ásványtan
 mocsár 145, 157, 211, 221, 234,
 236
 munkatér, lásd nyitott és zárt munkatér
 műszaki földtan 37
 műtárgy 31

n

nagyátmérőjű fúrások 111

ny

nyílt feltárások 112
 nyírási modulus 87
 nyírószilárdság 87
 nyíróvizsgálat 107, 110
 nyitott munkatér 68
 – elhatárolása 68
 – megtámasztása 68
 – víztelenítése 68
 nyomás–tágulás görbe 87
 nyomószilárdság 87
 nyugalmi földnyomás 87
 – földnyomási tényező 87

o, ö

oedométeres modulus, lásd kompressziós modulus
 oldódás 134
 oxidáció 134
 ökoszféra, lásd életöv
 ördögszántás, lásd karrmező
 összenyomhatóság 197
 összenyomódási modulus 87, 107

p

palástsúrlódási ellenállás 88
 párolgás 228
 passzív földnyomás 87
 passzív földnyomási tényező 87
 patak 233
 penetrációs
 – berendezés 89
 – vizsgálat 89
 permeabilitás 87, 108, 197

pH érték 109
 piroszféra, lásd tűzöv
 plaszticitás 192
 plasztikus határ, lásd képlékenységi határ
 plasztikus index 102
 polje 256
 ponor, lásd víznyelő
 pórusvíznyomás 87
 presszióméter 89
 presszióméteres vizsgálat 91
 presszióméteres modulus 87
 Proctor vizsgálat, lásd tömörítési vizsgálat

r

rádiófrekvenciás mérés 96
 rádiófrekvenciás elektromágneses mérés 96
 ráépítés 70
 relatív telítettség 104
 relatív tömörségi érték 87
 résvíz 254
 rétegvíz 120, 218, 228, 241
 – gáznyomásos 263
 – mélységi 261
 – rugalmas konszolidációs 263
 – utánpótlódású 263
 – víznyomásos 263
 rétegzettség 172
 rézsűbiztosítás 60
 riolit 180
 rogyás 256
 roskadási tényező 107
 RMR, lásd kőzetemeg osztályozás
 RQD, lásd kőzetminőség besorolás

s

sodorvonal 230
 sodrási határ 102
 standard penetrációs vizsgálat 91
 statikus
 – előterhelés 62
 – nyomószonda 89

- nyomószondázás 90
 súrlódási viszonzszám 89
 süllyedő területek 143
 süllyedés, azonnali 223
- sz*
- száritóborda 66
 szedimentológia, lásd üledékföldtan
 szedimentum, lásd kőzet, üledékes
 szeizmikus hullámok 88
 szeizmikus hullámok terjedési sebessége 87
 szeizmikus módszer 95
 szélerózió 139
 szemcsealak 189
 szemcseméret 189
 – effektív 101
 – hatékony 101
 – maximális 101
 – mértékadó 101
 – minimális 101
 szemcseösszetétel 190
 szemcsesűrűség 99
 szemeloszlás 99
 szemeloszlási görbe 190
 szemnagyság 159
 szemszerkezet 88, 190
 szennyeződések 74
 szerkezetesség 172
 szervesanyag-tartalom 109, 194
 szerves talaj 193, 221
 szienit 179
 szikkasztó kút 67
 szín 159, 187
 szitálás 100
 szivárgó 64
 – borda 66
 – kút 67
 – nyomáscsökkentő 66
 – test 64
 – víz 243
 – vízszintcsökkentő 66
 szulfát tartalom 110
 szurdokvölgy 256
- t*
- tagoló felület 167, 168, 170
 tagoltság 167
 – alakja 171
 – -köz 169
 tagoltsági rés 171
 tágulási nyomás 88
 talaj 33
 – agresszivitása 195
 – azonosítása 205
 – osztályozása 205
 – vegyvizsgálata 109
 talajbesorolás 88
 talajcsere 62
 talajdinamikai jellemzők 89
 talajerősítés 64
 talajhabarcsosítás 63
 talajhőmérséklet 88
 talajjavítás 61
 – égetéses 64
 – fagyasztásos 64
 – robbantásos 64
 – tervezett, lásd talajerősítés
 talajmechanika 34
 talajstabilizálás 61
 talajtörési ellenállás 88
 talajvíz 245
 – agresszivitása 195
 – felszín közeli 247
 – közepesen mély 248
 – magas 248
 – mély 248
 – mérése 116
 – nyílt tükrű 247
 – vegyvizsgálata 109
 – zárt tükrű 247
 talajvizes zóna 245
 talajvizsgálati jelentés 266, 267
 talp 71
 talpfeszültség–süllyedés görbe 88
 támasztóborda 66
 támfal 69
 teherbírási modulus 200

tehermentesítési ciklus 88
 telítési határ 103
 terepi nyírószondás vizsgálat 92
 tereprendezés, lásd felszínrendezés
 térfogatsűrűség 88,98
 – száraz 99
 – telített 99
 – természetes 99
 térfogatváltozó tulajdonság 199,
 215, 218
 térfogatváltozási hajlam 199
 terhelési ciklus 88
 terhelőlapos modulus 88
 terhelőlapos vizsgálat 92
 terma, lásd forrás, meleg vízű
 természetes környezet 25
 – – vizsgálata 98
 – potenciál mérés 95
 – víztartalom 88
 területrendezés, lásd felszínrendezés
 tervfázisok 279-281,
 tervezési beszámoló 266, 270
 tó 141, 234, 236
 torda 233
 torrens 233
 töbör 256
 tömörítési vizsgálat 108
 tömöríthetőség 199
 tömörségi
 – állapot 88, 191
 – érték 87
 – index 88, 103, 191
 törőfeszültség 88
 tőzeg 193, 221
 travertino, lásd mészkő, forrás
 triaxális nyomóvizsgálat 106, 110
 tufa 182
 túlkonzolidáltsági arányszám 88
 tűzöv 26

u, ü

út- és térburkolat 72
 uvala 256

üledékföldtan 39
 üledékképződés 131, 135, 142

v

vadpatak, lásd torrens
 vágat 71
 vápa, lásd horhos
 vasúti pálya 72
 vertikális elektromos szondázás 95
 vízállás 230
 vízáteresztő képesség 108, 197
 vízerőtan 45
 vízfolyás
 – állandó 232
 – alsó szakasz 231
 – bevagódó jelleg, lásd felső szakasz
 – felső szakasz 231
 – feltöltődő jelleg, lásd alsó szakasz
 – időszakos 233
 – középső szakasz 231
 – mesterséges 232
 – oldalazó jelleg, lásd középső szakasz
 – szakaszjelleg 231
 – természetes 232
 vízföldtan 38
 vízgazdálkodás 76
 vízgyűjtő terület 229
 vízhozam 230
 vízjárás 117, 212, 230, 237, 248
 vízmintavétel 117
 vízmosás, lásd torrens
 víznyelő 256
 vízöv 27
 vízrekesztő réteg 262
 vízrendezés 76
 víztan 44
 vízszintmérés 117
 vízszintes feszültségi index 89
 víztartalom 89, 187
 vízválasztó 230
 vízvezető

- képesség 197
- réteg 262
- vízvisszatartó réteg 262
- vízzáró réteg 262
- vonalas létesítmény 31
- völgy 143
- vulkanit, lásd kőzet, vulkanikus
- vulkanológia, lásd vulkanikus je-
lenségek földtana
- vulkanikus jelenségek földtana 40
- z*
- zárt munkatér 70
- biztosítása 71
- megtámasztása 71
- szigetelése 71
- víztelenítése 71
- zavart minta, lásd „B” kategóriájú
minta
- zavartalan minta, lásd „A” kategó-
riájú minta
- zs*
- zsilip 73
- zsugorodási határ 103
- y*
- Young-modulus 89

SZÖVEGBEN EMLÍTETT SZABVÁNYOK ÉS MÉRNÖKI KAMARAI DOKUMENTUMOK

- MSZ EN 1997-1:2006 (Eurocode 7–1: Geotechnikai tervezés 1. rész. Általános szabályok)
- MSZ EN 1997-2:2008 (Eurocode 7–2: Geotechnikai tervezés 2. rész. Geotechnikai vizsgálatok)
- MSZ EN 1998-1:2008 (Eurocode 8: Tartószerkezetek tervezése földrengésre. 1. rész: Általános szabályok, szeizmikus hatások és az épületekre vonatkozó szabályok)
- MSZ EN ISO 14689-1:2004 (Geotechnikai vizsgálatok. Szilárd kőzetek azonosítása és osztályozása. 1. rész: Azonosítás és leírás)
- MSZ 4798:2016 (Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon)
- MSZ ENV 1997-1:2000 (Eurocode 7: Geotechnikai tervezés. 1. rész: Általános szabályok) – az MSZ EN 1997-1:2006 előszabványa
- NAD MSZ ENV 1997-1 (az MSZ ENV 1997-1:2000 előszabványhoz tartozó Magyar Nemzeti Alkalmazási Dokumentum)
- MSZ EN ISO 14688-1:2018 (Geotechnikai feltárások és vizsgálatok. Talajok azonosítása és osztályozása. 1. rész: Azonosítás és leírás)
- MÉDI (a mérnöki tevékenységekre és szolgáltatásokra vonatkozóan a Magyar Mérnöki Kamara által kidolgozott és az ajánlott díjakat tartalmazó Mérműki Díjszabás)
- HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – a Német Építészek és Mérnökök Díjszabási Rendszere)

MELLÉKLETEK

- M.1. melléklet: Nemzetközi standard geológiai kortáblázat
M.2. melléklet: A nemzetközi standardtól eltérő, a Kárpát-medencében és Magyarországon alkalmazott geológiai kortáblázat (kainozoikum)
M.3. melléklet: A leggyakrabban használt geotechnikai jelölések és azok magyarázata
M.4. melléklet: A talajok tájékoztató jellegű, általános talajfizikai jellemzői
M.5. melléklet: A kőzetek tájékoztató jellegű, általános kőzetfizikai jellemzői

M.1. melléklet

EON		IDŐ	IDŐSZAK	KOR		KORSZAK/ EMELET	millió évtől	millió évig		
<i>FANEROZIKUM (ELETTDŐ)</i>	<i>KAINOZIKUM (Újkor)</i>	(harmadidőszak) Tercier	(6-harmadidőszak) Paleogén	holocén	alluvium		0	0,0117		
				pleisztocén	diluvium	?	?	0,0117	0,126	
						?	?	0,126	0,781	
						calabriai	calabriai	0,781	1,806	
				pliocén	alsó	felső	gelsai	gelsai	1,806	2,588
							piacenzai	piacenzai	2,588	3,6
				miocén	felső	középső	zancalai	zancalai	3,6	5,333
							messinai	messinai	5,333	7,246
							tortonai	tortonai	7,246	11,62
							serravallei	serravallei	11,62	13,82
							langhei	langhei	13,82	15,97
							burdigalai	burdigalai	15,97	20,43
				oligocén	alsó	felső	aquitaniai	aquitaniai	20,43	23,03
							katti	katti	23,03	28,1
							rupeli	rupeli	28,1	33,9
				eocén	középső	felső	priabonai (<i>ludii</i>)	priabonai (<i>ludii</i>)	33,9	38
bartoni	bartoni	38	41,3							
lutéciai	lutéciai	41,3	47,8							
ypresi	ypresi	47,8	56							
paleocén	középső	felső	thaneti	thaneti	56	59,2				
			selandi	selandi	59,2	61,6				
				alsó	dániai	dániai	61,6	66		

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M1. Melléklet

EON	IDŐ	IDŐSZAK	KOR	KORSZAK/ EMELET	millió évtől	millió évig	
FANEROZOIKUM (ÉLETTDŐ)	MEZOZOIKUM (Középkor)	Kréta	felső	maastrichti	66	72,1	
				campani	72,1	83,6	
				santoni	83,6	86,3	
				coniaci	86,3	89,8	
				turon	89,8	93,9	
				cenoman	93,9	100,5	
				albai	100,5	113	
				apti	113	125	
				barremi	125	129,4	
				hauterivi	129,4	132,9	
		valangini	132,9	139,8			
		berriasi	139,8	145			
		Jura	felső	(malm)	(fehér-jura)	145	152,1
					kimmeridgei	152,1	157,3
					oxfordi	157,3	163,5
			középső	(dogger)	kallovi	163,5	166,1
					bath	166,1	168,3
					bajoci	168,3	170,3
			alsó	(líász)	aaleni	170,3	174,1
					toarci	174,1	182,7
piensbachi	182,7				190,8		
sinemuri	190,8				199,3		
			hettangi	199,3	201,3		

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M1. Melléklet

EON	IDŐ	IDŐSZAK	KOR	KORSZAK/ EMELET	millió évtől	millió évig	
FANEROZOIKUM (ÉLETTDŐ)	MEZOZOIKUM (Középkor)	Triász	felső	rhaeti	201,3	208,5	
				nori	208,5	227	
			középső	karni	227	237	
				ladini	237	242	
				anisusi	242	247,2	
				olenyoki (<i>campili</i>)	247,2	251,2	
				indusi (<i>seizi</i>)	251,2	252,17	
				(<i>werfeni</i>)			
			(felső)	lopingi	changhsingi	252,17	254,14
					wuchiapingi	254,14	259,8
	(középső)	guadalupeai	capitani	259,8	265,1		
			wordi	265,1	268,8		
			roadi	268,8	272,3		
			kunguri	272,3	283,5		
	(alsó)	ciszuráli	artyinszki	283,5	290,1		
			szakmarai	290,1	295		
			asszeli	295	298,9		
			gzseli	298,9	303,7		
			kaszimovi	303,7	307		
			moszkvai	307	315,2		
(felső)	pennsylvániai	baskír	315,2	323,2			
		felső	323,2	330,9			
		középső	330,9	346,7			
(alsó)	mississippi	viséi	346,7	358,9			
		alsó	346,7	358,9			
PALAEZOIKUM (Őskor)	Karbon	Perm	felső	tournai	346,7	358,9	
				alsó			
			(középső)	guadalupeai	guadalupeai	268,8	272,3
					wordi	265,1	268,8
					roadi	268,8	272,3
					kunguri	272,3	283,5
					artyinszki	283,5	290,1
					szakmarai	290,1	295
					asszeli	295	298,9
					gzseli	298,9	303,7

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M1. Melléklet

EON	IDŐ	IDŐSZAK	KOR	KORSZAK/ EMELET	millió évtől	millió évig	
FANEROZOIKUM (ÉLETTIDŐ)	PALEOZOIKUM (ŐSKOR)	Devon	felső	famenni (<i>dasbergi</i>)	358,9	372,2	
				frasni	372,2	382,7	
			középső	givetii	382,7	387,7	
				eifeli	387,7	393,3	
				emsi	393,3	407,6	
			alsó	prágai (<i>siegeni</i>)	407,6	410,8	
			lochkovi (<i>gidenni</i>)	410,8	419,2		
				prídoli		419,2	423
		felső		ludlowi		423	425,6
				gorsti		425,6	427,4
				homeri		427,4	430,5
		alsó		sheinwoodi		430,5	433,4
				telychi		433,4	438,5
				aeroni		438,5	440,8
				rhuddani		440,8	443,4
				hirnanti		443,4	445,2
		felső		kati (<i>ashgili</i>)		445,2	453
				sandbi (<i>caradoci</i>)		453	458,4
				darriwili		458,4	467,3
		középső		dapingi (<i>llanvirni</i>)		467,3	470
		floi (<i>arenigi</i>)		470	477,7		
alsó		tremadoci		477,7	485,4		

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M1. Melléklet

EON	IDŐ	IDŐSZAK	KOR		KORSZAK/ EMELET	millió évtől	millió évig		
FANEROZOIKUM (ÉLETTDŐ)	PALEOZOIKUM (ŐSKOR)	Kambrium	felső	(<i>merionethi</i>)	furongi	485,4	489,5		
							489,5	494	
			középső		?	piabi		494	497
						guzhang		497	500,5
						drumi		500,5	504,5
			alsó				?	504,5	509
						?		509	514
						?		514	521
						?		521	529
						terreneuvi	fortuni	529	541

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M1. Melléklet

EON	IDŐ	IDŐSZAK	KOR	KORSZAK/ EMELET	millió évtől	millió évig
PREKAMBRIUM (ARCHEOZOIKUM vagy HAJNALDŐ)	NEO- PROTEROZOIKUM (Újjelőkor)		ediacara		541	635
			cryogeni		635	850
			toni		850	1000
			steni		1000	1200
PROTEROZOIKUM (Középelőkor)			ectasi		1200	1400
			calymmi		1400	1600
			statheri		1600	1800
			orosiri		1800	2050
PALEO- PROTEROZOIKUM (Őselőkor)			rhyaci		2050	2300
			sideri		2300	2500
			Neoarchaikum		2500	2800
ARCHA- IKUM (ŐSIDŐ)			Mezoarchaikum		2800	3200
			Paleoarchaikum		3200	3600
			Eoarchaikum		3600	4000
HADAIKUM					4000	~ 4600
AZOIKUM vagy CSILLAGIDŐ: - a Föld izzó és állandó szilárd kéreg nélküli, kezdeti állapotának időszaka						

JELMAGYARÁZAT: ~ = körülbelüli adat ? = elnevezés nélküli (név) = korábbi elnevezés

MEGJEGYZÉS: készült az "International Commission on Stratigraphy v2013/01" táblázat alapján

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M2. Melléklet

A NEMZETKÖZI STANDARDTÓL ELTÉRŐ, MAGYARORSZÁGI FÖLDTANI KORBEOSZTÁSI TÁBLÁZAT		M.2. melléklet		
KOR	KORSZAK/EMELET	millió évtől	millió évig	
holocén	szubatlanti (hűvös és csapadékos)	0	0,0025	
	szubboreális (hűvös és csapadékos)	0,0025	0,005	
	atlanti (meleg és csapadékos)	0,005	0,008	
	boreális (meleg és száraz)	0,008	0,009	
ó	preboreális (hideg és száraz)	0,009	0,0117	
	szántói	0,0117	0,15	
pleisztocén	felső	Würm	0,15	
		Riss-Würm interglaciális	0,2	
	középső	Riss	0,2	0,3
		Mindel-Riss interglaciális	0,3	0,4
		Mindel	0,4	0,55
	alsó	Günz-Mindel interglaciális	0,55	0,8
		Günz	0,8	0,9
		Duna-Günz interglaciális	0,9	1,4
		Duna	1,4	1,8
	pliocén	felső	Biber-Duna interglaciális	1,8
Biber (Hód)			2,1	
alsó		levantei	2,4	3
		felső-pannon	3	4,1
	alsó-pannon	4,1	5,3	

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M2. Melléklet

KOR	KORSZAK/EMELET	millió évtől	millió évig	Folyók teraszai	Travertino (forrásmész(kő) színtek
miocén	felső	5,3	13,6		
	középső	szarmata			
		badeni (torton)	13,6	16,5	
	alsó	kárpáti (felső-helvét)	16,5	17,5	
ottnangi (alsó-helvét)		17,5	19		
eggenburgi (aquitaniai-burdigalai)		19	22		
oligocén	felső	22	28,4		
	alsó	28,4	33,9		
	<i>egri</i>				
	<i>kiscelli</i>				

- MEGJEGYZÉS:**
- a táblázat csak a nemzetközi kronosztratiográfiai táblázattól eltérő adatokat (napjainktól az oligocénig terjedő időszak) tartalmazza
 - a táblázat adatai csak a PARATETHYS beltenger központi területeire (a Kárpát-medence térsége) érvényesek (lásd a 11. színes tábla térképét)
 - készült a Kárpát-medence és Magyarország földtani viszonyait tárgyaló szakirodalmi anyagok felhasználásával, azok összegzésével

JELMAGYARÁZAT: *név* = csak Magyarország területére érvényes elnevezés

A LEGGYAKRABBAN HASZNÁLT GEOTECHNIKAI JELÖLÉSEK ÉS AZOK MAGYARÁZATA **M.3. melléklet**

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
<i>ÁLTALÁNOS FIZIKAI, GEOTECHNIKAI JELLEMZŐK</i>				
B	–	m	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Szerkezet, alaptest szélessége.
L	–	m		Szerkezet, alaptest hosszúsága.
A	–	m ²	$A = B \times L$	Szerkezet, alaptest felülete (alapterülete).
l	–	m		Távolság, hosszúság.
D	–	mm; cm; m		Átmérő.
h	–	m		Magasság, szintkülönbség.
z	–	m		Térszín alatti mélység vagy függőleges távolság.
d	t	m	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Takarási mélység. Szerkezet (alaptest) felszín alatti mélysége.
s	–	mm; cm		Alapozási szerkezet süllyedése terhelés hatására.
F	–	kN; MN		Erő.
Q	–	kN; MN		Terhelésből eredő erő.
G	–	kN; MN		Súlyerő.
m	–	g; kg; t		Tömeg.
t	–	s; h; d		Idő.

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M3. Melléklet

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
$H; F_H$	–	kN; MN	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Vízszintes (horizontális) erő, vagy annak az alapsíkkal párhuzamos összetevője.
$V; F_V$	–	kN; MN		Függőleges (vertikális) erő, vagy annak az alapsíkra merőleges összetevője.
N	–	kN; MN		Normál erő (az adott felületre merőleges irányú erő).
M	–	kNm; MNm	$M = F \times l$	Nyomaték.
q	–	kPa; MPa	$q = \frac{F}{A}$	Egyenletesen megoszló területi (felszíni) terhelés.
p	–	kPa; MPa	$p = \frac{F}{A}$	Egyéb terhelésből adódó felületi nyomás.
σ	–	kPa; MPa	$\sigma = \frac{F}{A}$	Terhelés hatására ébredő feszültség.
V	–	cm ³ ; m ³	$V = A \times h$	Térfogat.
α	β	fok	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Szerkezet (pl. támfal) vagy alapfelület vízszintessel bezárt szöge.
β	ε	fok		Szerkezet (pl. támfal) mögötti térszín vízszintessel bezárt hajlásszöge. Lefelé hajlásnál: – felfelé hajlásnál: + előjelű.
γ	–	kN/m ³	$\gamma = \frac{F}{V} = \frac{Q}{V}$	Térfogatsúly.
δ	–	fok	–	A szerkezet és a talaj közötti súrlódási szög.

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M3. Melléklet

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
ρ	–	g/cm^3 ; kg/m^3 ; t/m^3	$\rho = \frac{m}{V}$	Térfogatsűrűség.
<i>TALAJOK ELNEVEZÉSE GEOTECHNIKAI SZEMPONTBÓL</i>				
<i>LBo</i>	–	–	$D > 630 \text{ mm}$	Kőtömb.
<i>Bo</i>	–	–	$D = 200\text{--}630 \text{ mm}$	Görgeteg.
<i>Co</i>	–	–	$D = 63\text{--}200 \text{ mm}$	Macsakakő.
<i>Gr</i>	–	–	$D = 2\text{--}63 \text{ mm}$	Kavics.
<i>Sa</i>	–	–	$D = 0,063\text{--}2 \text{ mm}$	Homok.
<i>Si</i>	–	–	$D = 0,002\text{--}0,063 \text{ mm}$	Iszap.
<i>Cl</i>	–	–	$D < 0,002 \text{ mm}$	Agyag.
<i>TALAJOK NEMZETKÖZI (AMERIKAI) OSZTÁLYOZÁSA</i>				
<i>GW</i>	–	–		Jól graduált (osztályozatlan) kavics vagy homokos kavics.
<i>GP</i>	–	–		Rosszul graduált (osztályozott) kavics vagy homokos kavics.
<i>GM</i>	–	–		Iszapos kavics vagy iszapos, homokos kavics.
<i>GC</i>	–	–		Agyagos kavics vagy agyagos, homokos kavics.
<i>SW</i>	–	–		Jól graduált (osztályozatlan) homok vagy kavicsos homok.

Új jelölés	Régi jelölés	Mérték-egységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés	
SP	–	–	–	Rosszul graduált (osztályozott) homok vagy kavicsos homok.	
SM	–	–		Izapos homok.	
SC	–	–		Agyagos homok.	
ML	–	–		Kis plasticitású iszap talajok (homokos iszap, kavicsos iszap vagy iszapos és agyagos finom homok)	
CL	–	–		Kis vagy közepes plasticitású agyag talajok (homokos agyag, kavicsos agyag vagy sovány agyag).	
OL	–	–		Kis plasticitású szerves talajok (szerves iszap és szerves sovány agyag).	
MH	–	–		Közepes vagy nagy plasticitású iszap talajok.	
CH	–	–		Nagy plasticitású közepes és kövér agyag talajok.	
OH	–	–		Közepes vagy nagy plasticitású szerves talajok (szerves közepes és kövér agyag).	
PT	–	–		Tőzeg és egyéb erősen szerves talajok.	
LO	–	–		Löss és lösz jellegű talajok.	
TALAJOK RUTINVIZSGÁLATÁVAL ÉS AZONOSÍTÁSÁVAL KAPCSOLATOS TALAJFIZIKAI JELLEMZŐK					
m_n	–	g		Közvetlen mérés	A termézetes víztartalmú minta tömege.
m_d	–	g	A teljesen kiszáritott minta tömege.		
m_t	–	g	A vízzel telített állapotú minta tömege.		

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
m_w	m_v	g	$m_w = m_t - m_d$	A mintában lévő víz tömege.
m_s	–	g	$m_s = m_d$	A mintában lévő szilárd részek tömege.
D_n	–	mm	Közvetlen mérés	A mm-ben megadott szemcseméretnél kisebb szemcsék súly%-a (pl. $D_{10\%} = 0,06$ mm).
D_m	–	mm		Mértékadó szemcseméret. A talajminta szemcsehalmazában legnagyobb gyakorisággal előforduló szemcsefrakció átlagos átmérője.
D_{eff}	–	mm	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Effektív vagy hatékony szemcseméret. Pontosabb számítás hiányában a 10 súly%-hoz ($D_{10\%}$) tartozó szemcsemérettel azonosnak vehető.
C_U	U	–	$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	Egyenlőtlenégi mutató. A szemeloszlási görbe meredekségének mutatószáma.
C_C	–	–	$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	Görbületi mutató. A szemeloszlási görbe alakjának, görbültségének mutatószáma.
w_n	–	%	$w_n = \frac{m_n - m_d}{m_d} \times 100$	Természetes víztartalom. A mintában lévő víz súlya a minta teljes súlyának %-ában kifejezve.
w_L	–	%	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Folyási határ.
w_P	–	%		Sodrési (plasztikus vagy képlékenységi) határ.
I_P	–	%		Plasztikus index.

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M3. Melléklet

Új jelölés	Régi jelölés	Mérték-egységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
I_c	–	–	$I_c = \frac{w_L - w_n}{I_p}$	Konzisztencia index.
I_L	–	–	$I_L = \frac{w_n - w_p}{I_p}$	Folyóssági index.
I_D	–	–	$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$	Tömörégi index. A minta tényleges tömörsége a lehetséges minimális és maximális tömörséghez viszonyítva.
w_{opt}	–	%	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Optimális tömörítési víztartalom, amely mellett legeredményesebb a tömörítés.
V_h	–	cm ³	Közvetlen mérés	A természetes víztartalmú minta térfogata.
V_d	–	cm ³		A teljesen kiszáritott minta térfogata.
V_t	–	cm ³		A telített állapotú minta térfogata.
V_w	V_v	cm ³	$V_w = m_n - m_d = \frac{m_w}{\rho_w}$	A mintában lévő víz térfogata. ($\zeta_w =$ víz térfogatsűrűsége = 1 g/cm ³)
V_s	–	cm ³	$V_s = \frac{m_d}{\rho_s}$	A mintában lévő szilárd részek térfogata. ($\zeta_s =$ a mintában lévő szilárd részek testtűrsége = 2,65–2,80 g/cm ³ között, a talajtól függően táblázat alapján)
V_l	–	cm ³	$V_l = V_n - V_w - V_s$	A mintában lévő levegő térfogata.
V_p	–	cm ³	$V_p = V_w + V_l$	A mintában lévő pórusok (víz + levegő) térfogata.

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
s	–	%	$s = \frac{V_s}{V_n} \times 100 = \frac{m_d}{V_n \times \rho_s} \times 100$	A mintában lévő szilárd részek térfogataránya a teljes térfogat %-ában.
v	–	%	$v = \frac{V_w}{V_n} \times 100 = \frac{m_n - m_d}{V_n \times \rho_w} \times 100$	A mintában lévő víz térfogataránya a teljes térfogat %-ában.
l	–	%	$l = \frac{V_l}{V_n} \times 100 = 100 - s - v$	A mintában lévő levegő térfogataránya a teljes térfogat %-ában.
ρ_s	–	g/cm ³ ; kg/m ³ ; t/m ³	$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} = \frac{m_d}{V_s}$	A mintában lévő szilárd részek térfogatsűrűsége (testsűrűsége).
e	–	–	$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{V_n - V_s}{V_s} = (V_n \times \rho_s) - m_d$	Hézagányező. A minta pórusainak és a szilárd részeknek térfogataránya.
n	–	%	$n = \frac{V_p}{V_n} \times 100 = \frac{e}{1+e} \times 100$	Hézagterfogat. A minta pórusainak térfogataránya az össztérfogat %-ában.
S_r	–	–	$S_r = \frac{V_p}{V_n} = \frac{w_n \times \rho_s}{e \times \rho_w}$	Telítettségi fok. A minta vízzel telített pórusainak a teljes pórustérfogathoz viszonyított aránya.
ρ_d	–	g/cm ³ ; kg/m ³ ; t/m ³	$\rho_d = \frac{m_d}{V_d} = \frac{\rho_s}{1+e} = \rho_s \times (1-n) = s \times \rho_s$	Száraz térfogatsűrűség. A száraz minta tömegének össztérfogathoz viszonyított aránya.

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámér Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M3. Melléklet

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
$\rho_{d,max}$	–	g/cm^3 ; kg/m^3 ; t/m^3	$\rho_{d,max} = \frac{m_{d,max}}{V_d}$	Maximális száraz térfogatsűrűség. A talaj tömörítéssel elérhető legnagyobb száraz térfogatsűrűsége.
ρ_n	–	g/cm^3 ; kg/m^3 ; t/m^3	$\rho_n = \frac{m_n}{V_n} = (v \times \rho_w) + (s \times \rho_s)$	Természetes térfogatsűrűség. A nedves minta tömegének osztófogathoz viszonyított aránya.
ρ_t	–	g/cm^3 ; kg/m^3 ; t/m^3	$\rho_t = \frac{m_t}{V_t} = \rho_s \times (1 - n) + (n \times \rho_w) = (1 - s) \times \rho_w + (s \times \rho_s)$	Telített térfogatsűrűség. A telített állapotú minta tömegének osztófogathoz viszonyított aránya.
ρ'	–	g/cm^3 ; kg/m^3 ; t/m^3	$\rho' = \frac{m_t}{V_t} - 1 = \rho_t - 1$	Víz alatti térfogatsűrűség. A durvaszemcsés talajok víz alatti térfogatsűrűsége (a telített térfogatsűrűség felhajtóerővel csökkentett értéke).
γ_s	–	kN/m^3	$\gamma_s = \rho_s \times 10$	Testsűrűség. A mintában lévő szilárd részek térfogatsúlya.
γ_d	–	kN/m^3	$\gamma_d = \rho_d \times 10$	Száraz térfogatsúly. A száraz minta súlyának osztófogathoz viszonyított aránya.
γ_n	–	kN/m^3	$\gamma_n = \rho_n \times 10$	Természetes térfogatsúly. A nedves minta súlyának osztófogathoz viszonyított aránya.
γ_t	–	kN/m^3	$\gamma_t = \rho_t \times 10$	Telített térfogatsúly. A telített állapotú minta súlyának osztófogathoz viszonyított aránya.
γ'	–	kN/m^3	$\gamma' = \rho' \times 10$	Víz alatti térfogatsúly. A talaj hatékony (felhajtóerővel csökkentett) térfogatsúlya.

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
SZERVESANYAG TARTALOMMAL KAPCSOLATOS TALAIFIZIKAI JELLEMZŐK				
m_i	–	g	–	A minta súlya izzítás után.
LOI	I_v	%	$LOI = \frac{m_s - m_i}{m_i} \times 100$	Izzítási veszteség. A minta izzítás során fellépő tömegveszteségének aránya a száraz tömeg %-ában.
I_{om}	–	%	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Szervesanyag tartalom. A minta vegyi oxidáció (pl. hidrogénperoxid) hatására fellépő tömegveszteségének aránya a száraz tömeg %-ában.
TÉRFOGATVÁLTOZÁSSAL KAPCSOLATOS TALAIFIZIKAI JELLEMZŐK				
w_S	–	%	$V_d = \frac{m_d}{\rho_s} \times 100$ $w_S = \frac{m_d}{m_d} \times 100$	Zsugorodási határ. A térfogat állandóságig szárított minta víztartalma a minta súly %-ában.
w_T	–	%	mérés hiányában: $w_T = 9 + \sqrt{15,2 \times (w_L - 16,3)}$	Telítési határ. A minta által – nyugalmi állapotban és külső hatás nélkül – magába szívott maximális vízmennyiség, a minta súly %-ában.
R	–	g/cm ³ ; kg/m ³ ; t/m ³	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Zsugorodási viszonyszám. A zsugorodási határon mért száraz térfogatsűrűség (kb. 2).
V_{max}	–	%	$V_{max} = R \times (w_T - w_S)$	Maximális térfogatváltozás. A zsugorodási és a telítési határ közötti víztartalom változás hatására a talajban fellépő maximális térfogatváltozás %-os aránya.

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
ε_l	zS_{lin}	%	$zS_{lin} = \left(1 - \sqrt[3]{\frac{100}{V_{max} + 100}} \right) \times 100$	Lineáris zsugorodási tényező. A minta vonal menti méretváltozásának %-os aránya.
NYÍRÁSI, ALAKVÁLTOZÁSI ÉS EGYÉB FESZÜLTSGI TALAJFIZIKAI JELLEMZŐK				
c	–	kPa; MPa	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Kohézió.
c'	–	kPa; MPa		Hatékony feszültségekhez tartozó kohézió.
φ	–	fok		Belső súrlódási szög.
φ'	–	fok		Hatékony feszültségekhez tartozó belső súrlódási szög.
q_u	σ_{ny}	kPa	$q_u = \frac{2 \times c}{\operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)}$	Egyirányú nyomószilárdság.
c_u	–	kPa	$c_u = \frac{q_u}{2}$	Drénezetlen nyírószilárdság. A nyírási ellenállás drénezetlen állapotban.
$\sigma_1 = \sigma_z$	–	kPa; MPa	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Az 1. főfeszültségi iránnyal párhuzamos (függőleges, azaz „z” irányú) teljes főfeszültség.
$\sigma_2 = \sigma_y$	–	kPa; MPa		A 2. főfeszültségi iránnyal párhuzamos (hosszirányú, azaz „y” irányú) teljes főfeszültség.
$\sigma_3 = \sigma_x$	–	kPa; MPa		A 3. főfeszültségi iránnyal párhuzamos (harántirányú, azaz „x” irányú) teljes főfeszültség.

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
T	–	kN; MN	$T = N \times tg\phi$	Súrlódó erő. A csúszófelülettel párhuzamos és az elcsúszást akadályozó ellenő.
a	–	kPa	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Adhézió. A talaj és a szerkezet közötti tapadási feszültség.
τ	–	kPa	$\tau = (\sigma \times tg\phi) + c$	Teljes nyírófeszültség.
τ'	–	kPa	$\tau' = (\sigma \times tg\phi) + c'$	Hatékony nyírófeszültség.
u	–	kPa	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Semleges normálfeszültség. A pórusvíznyomás teljes értéke.
u_0	–	kPa	$u_0 = h \times \rho_w$	Semleges normálfeszültség. A pórusvíznyomás hidrosztatikus alapértéke.
σ'	–	kPa	$\sigma' = \sigma - u$	Hatékony normálfeszültség.
σ'_p	–	kPa	–	Előterhelési, előkonszolidációs feszültség.
σ_{v0}	–	kPa	$\sigma_{v0} = z \times \rho \times g$	Teljes, függőleges, geozstatikai önsúlyfeszültség.
σ'_{v0}	–	kPa	$\sigma'_{v0} = z \times \rho \times g$	Hatékony, függőleges, geozstatikai önsúlyfeszültség.
OCR	R_{OC}	–	$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}$	Geológiai előterhelés viszonyyszáma.
s_0	–	mm; cm		Azonnali süllyedés.
s_1	–	mm; cm	Lásd részletesebben a szakirodalomban	A pórusvíz elszívása miatt bekövetkező konszolidációs süllyedés.
s_2	–	mm; cm		A talaj reológiai folyamataival magyarázható másodlagos süllyedés (kúszás).

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
TALAJFIZIKAI TÉNYEZŐK ÉS MODULUSOK				
ε	–	%	$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} \times 100$	Fajlagos lineáris alakváltozás. A méretváltozás (Δh) aránya az eredeti méret (h) %-ában.
ν	–	–	$\nu = \frac{\varepsilon_{\text{haránt}}}{\varepsilon_{\text{hossz}}} = \frac{1}{m}$	Poisson-tényező. A terhelés hatására kialakuló hossz- és harántirányú deformációk aránya.
m	–	–	$m = \frac{2}{1 - \sin \varphi} = \frac{1}{\nu}$	Poisson-szám. A terhelés hatására kialakuló hosszirányú összenyomódás és harántirányú nyúlás aránya.
E_{oed}	M; E_s	kPa; MPa	$E_{\text{oed}} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon}$	Összenyomódási vagy kompressziós modulus. Növekvő terhelés esetében a választott feszültség növekedés ($\Delta \sigma$) és az ehhez tartozó fajlagos összenyomódás ($\Delta \varepsilon$) aránya.
E	–	MPa; GPa	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = 2 \times G \times (1 + \nu) = \frac{E_{\text{oed}} \times [1 - \nu - (2 \times \nu^2)]}{1 - \nu}$	Rugalmassági vagy Young modulus. A feszültség és alakváltozás aránya.
G	–	MPa; GPa	$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{E \times m}{2 \times (1 + m)}$	Nyírási modulus.
FÖLDNYOMÁSSAL KAPCSOLATOS TALAJFIZIKAI JELLEMZŐK				
K_0	–	–	$K_0 = (1 - \sin \varphi') \times \sqrt{OCR} = \frac{\nu}{1 - \nu}$	A zavartalan állapotú földtömegben, a geostatikus önsúly hatására ébredő vízszintes nyugalmi földnyomási tényező.

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
$K_{0\beta}$	–	–	$K_{0\beta} = K_0 \times (1 + \sin \beta)$	Nyugalmi földnyomási tényező a ferde (lejtés), de a $\beta > \varphi$ hajlású talajfelszín esetében.
K_a	–	–	$K_a = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi')}{\sin^2 \alpha \times \left[\sqrt{\sin(\alpha + \delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\varphi' + \delta) \times \sin(\varphi' - \beta)}{\sin(\alpha - \beta)}} \right]}$	Az oldalmegtámasztás nélküli földtömegben, a geostatikus önsúly hatására ébredő vízszintes aktív földnyomási tényező.
K_p	–	–	$K_p = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi')}{\sin^2 \alpha \times \left[\sqrt{\sin(\alpha + \delta)} - \sqrt{\frac{\sin(\varphi' + \delta) \times \sin(\varphi' + \beta)}{\sin(\alpha - \beta)}} \right]}$	A nyugalmi földnyomásnál nagyobb oldalnyomás hatására, a földtömegben ébredő vízszintes passzív földnyomási tényező.
σ_0	–	kPa	$\sigma_0 = K_0 \times \sigma_{v0}$	Nyugalmi földnyomás. A mozdulatlan támasztó szerkezetre ható földnyomás nagysága.
σ_a	–	kPa	$\sigma_a = K_a \times (\sigma_{v0} + q) - (2 \times c \times \sqrt{K_a})$	Aktív földnyomás. A támasztott földfelülettől elmozduló szerkezetre ható földnyomás nagysága.
σ_p	–	kPa	$\sigma_p = K_p \times (\sigma_{v0} + q) + (2 \times c \times \sqrt{K_p})$	Passzív földnyomás. A földfelületre rányomódó szerkezet ellenében ható földnyomás nagysága.

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M3. Melléklet

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
KOMPRESSZIÓS ÉS KONSZOLIDÁCIÓS TALAJFIZIKAI JELLEMZŐK				
κ	–	%	$\kappa = \frac{\Delta h_t}{\Delta h_{max}} \times 100$	Konszolidációs fok. Egy vizsgált t terhelési időtartamhoz tartozó részleges összenyomódás (Δh_t) aránya a teljes konszolidáció után elért maximális összenyomódás (Δh_{max}) %-ában.
k_s	C_z	kN/m ² /m; MN/m ² /m	$k_s = \frac{\sigma}{s}$	Függőleges ágyazási tényező. A függőleges talajfeszültség és az általa létrehozott süllyedés hányadosa.
c_v	–	m ² /s	$c_v = \frac{k \times E_{oed}}{\gamma_w}$	Konszolidációs tényező.
C_c	–	–	$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta(\lg \sigma')} = \frac{e_1 - e_2}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$	Kompressziós index. A talaj hézagtényezőjének változása a hatékony feszültségek logaritmusának arányában.
C_p	$i_m; i_r;$ ε_r	%	$C_p = \frac{\Delta e}{1 + e} \times 100 = \frac{\Delta \varepsilon}{1 - \varepsilon} \times 100$	Roskadási potenciál vagy roskadási tényező. A talaj átázás hatására fellépő gyors hézagtényező csökkenésének %-os aránya.
C_α	–	–	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Kúszási index.
C_s	–	–		Duzzadási index.
KŐZETFIZIKAI JELLEMZŐK				
σ_c	–	MPa	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Kőzetek egyirányú nyomószilárdsága.
I_s	–	MPa		Kőzetek pont-terhelési szilárdsága.

Új jelölés	Régi jelölés	Mértékegységek	Meghatározása, számítása	Definíció vagy magyarázat, értelmezés
σ_t	–	MPa	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Kőzetek húzószilárdsága.
<i>SZONDAVIZSGÁLATOKKAL KAPCSOLATOS TALAJFIZIKAI JELLEMZŐK</i>				
N_{10}	–	–	Lásd részletesebben a szakirodalomban	Dinamikus verőszondák esetében a 10 vagy a 20 cm-es behatoláshoz szükséges ütésszám.
N_{20}	–	–		SPT szonda esetében a 30 cm-es behatoláshoz szükséges ütésszám.
N_{30}	–	–		CPTu szonda pórusvíznyomással korrigált csúcscellenállása.
q_t	–	MPa	Lásd részletesebben a szakirodalomban	CPTu szonda mért csúcscellenállása.
q_c	–	MPa		CPTu szonda mért palástellenállása.
f_s	–	KPa		CPTu szonda mért palástellenállása.
R_f	–	%	$R_f = \frac{f_s}{q_t} \times 100$	CPTu szonda súrlódási arányszáma. A csúcscellenállás és a palástellenállás aránya %-ban kifejezve.

TALAJFIZIKAI JELLEMZŐK TÁBLÁZATA **M.4. melléklet**

A talaj megnevezése		A talaj állapota	Plasztikus index	Hézag-tényező	Konziszt. index	Plasztikus határ
MSZ 14043-2:1979 szerint	MSZ EN ISO 14688-1:2018 szerint		I_p	e	I_C	w_p
			(%)	(-)	(-)	(%)
Iszapmentes kavics és homokos kavics		laza	–	0,6-0,8	–	–
		köz. tömör		0,4-0,6		
		tömör		0,3-0,4		
Iszapmentes kavicsos homok		laza	–	0,6-0,8	–	–
		köz. tömör		0,4-0,6		
		tömör		0,3-0,4		
Iszapos kavicsos homok és homokos kavics		laza	–	0,6-0,8	–	–
		köz. tömör		0,4-0,6		
		tömör		0,3-0,4		
Iszapmentes durva és közepes homok		laza	–	0,8-1,0	–	–
		köz. tömör		0,5-0,8		
		tömör		0,4-0,5		
Iszapos durva és közepes homok		laza	–	0,7-0,8	–	–
		köz. tömör		0,4-0,7		
		tömör		0,3-0,4		
Iszapmentes finomszemű homok		laza	–	0,8-0,9	–	–
		köz. tömör		0,5-0,8		
		tömör		0,4-0,5		
Iszapos finomszemű homok	Iszapos finom homok	laza	–	0,8-0,9	–	–
		köz. tömör		0,5-0,8		
		tömör		0,4-0,5		
Iszapmentes homokliszt	Iszapos finom homok	laza	0-5	0,8-1,0	0,0-0,5	13-18
		köz. tömör		0,7-0,8	0,5-1,0	
		tömör		0,5-0,7	> 1,0	
Iszapos homokliszt	Finom homokos iszap	laza	5-10	0,7-0,9	0,0-0,5	17-22
		köz. tömör		0,6-0,7	0,5-1,0	
		tömör		0,4-0,6	> 1,0	
Iszap		puha	10-15	0,8-1,0	0,0-0,5	20-25
		gyúrható		0,7-0,8	0,5-0,75	
		merev		0,5-0,7	0,75-1,0	
		kemény		0,4-0,5	> 1,0	
Sovány agyag		puha	15-20	1,0-1,3	0,0-0,5	20-30
		gyúrható		0,7-1,0	0,5-0,75	
		merev		0,5-0,7	0,75-1,0	
		kemény		0,4-0,5	> 1,0	
Közepes agyag		puha	20-30	1,0-1,8	0,0-0,5	25-35
		gyúrható		0,8-1,0	0,5-0,75	
		merev		0,6-0,8	0,75-1,0	
		kemény		0,4-0,6	> 1,0	
Kövér agyag		puha	> 30	1,4-3,0	0,0-0,5	30-50
		gyúrható		1,0-1,4	0,5-0,75	
		merev		0,7-1,0	0,75-1,0	
		kemény		0,4-0,7	> 1,0	
Makroporózus lösz (típusos lösz)		iszapos homok	3	0,7-1,4	0,8-2,6	15-18
		homokos iszap	9			17-21
		iszap	14			20-23

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M4. Melléklet

A talaj megnevezése		A talaj állapota	Folyási határ	Anyag sűrűség	Száraz térf. sűr.	Term. térf. sűr.	Telített térf. sűr.
MSZ 14043-2:1979 szerint	MSZ EN ISO 14688-1:2018 szerint		w_L	ρ_s	ρ_d	ρ_n	ρ_t
			(%)	(t/m^3)	(t/m^3)	(t/m^3)	(t/m^3)
Iszapmentes kavics és homokos kavics		laza	–	2,65	1,5-1,7	1,8-1,9	1,9-2,0
		köz. tömör		2,65	1,7-1,9	1,9-2,0	2,0-2,1
		tömör		2,65	1,9-2,0	2,0-2,1	2,1-2,2
Iszapmentes kavicsos homok		laza	–	2,65	1,5-1,7	1,8-1,9	1,9-2,0
		köz. tömör		2,65	1,7-1,9	1,9-2,0	2,0-2,1
		tömör		2,65	1,9-2,2	2,0-2,1	2,1-2,2
Iszapos kavicsos homok és homokos kavics		laza	–	2,66	1,5-1,6	1,9-2,0	2,1-2,2
		köz. tömör		2,66	1,6-1,7	2,0-2,1	2,2-2,3
		tömör		2,66	1,7-1,9	2,1-2,2	2,3-2,4
Iszapmentes durva és közepes homok		laza	13-15	2,66	1,4-1,5	1,6-1,8	1,8-1,9
		köz. tömör		2,66	1,5-1,6	1,8-1,9	1,9-2,0
		tömör		2,66	1,6-1,8	1,9-2,0	2,0-2,1
Iszapos durva és közepes homok		laza	15-20	2,66	1,5-1,6	1,6-1,8	1,9-2,0
		köz. tömör		2,66	1,6-1,8	1,8-2,0	2,0-2,1
		tömör		2,66	1,8-1,9	2,0-2,1	2,1-2,2
Iszapmentes finomszemű homok		laza	18-22	2,66	1,4-1,5	1,5-1,8	1,7-1,8
		köz. tömör		2,66	1,5-1,7	1,8-1,9	1,8-1,9
		tömör		2,66	1,7-1,8	1,9-2,0	1,9-2,1
Iszapos finomszemű homok	Iszapos finom homok	laza	20-25	2,67	1,5-1,6	1,6-1,8	1,8-2,0
		köz. tömör		2,67	1,6-1,7	1,8-2,0	2,0-2,1
		tömör		2,67	1,7-1,8	2,0-2,1	2,1-2,2
Iszapmentes homokliszt	Iszapos finom homok	laza	20-25	2,67	1,4-1,6	1,5-1,7	1,8-1,9
		köz. tömör		2,67	1,6-1,7	1,7-1,9	1,9-2,0
		tömör		2,67	1,7-1,8	1,9-2,0	2,0-2,1
Iszapos homokliszt	Finom homokos iszap	laza	22-30	2,68	1,5-1,6	1,6-1,8	1,9-2,0
		köz. tömör			1,6-1,7	1,8-1,9	2,0-2,1
		tömör			1,7-1,8	1,9-2,0	2,1-2,2
Iszap		puha	27-40	2,70	1,3-1,5	1,7-1,8	1,8-1,9
		gyúrható			1,5-1,6	1,8-1,9	1,9-2,0
		merev			1,6-1,7	1,9-2,0	2,0-2,1
		kemény			1,7-1,9	2,0-2,1	2,1-2,2
Sovány agyag		puha	38-50	2,73	1,1-1,5	1,6-1,8	1,7-1,8
		gyúrható			1,5-1,7	1,8-1,9	1,8-1,9
		merev			1,7-1,8	1,9-2,0	1,9-2,0
		kemény			1,8-1,9	2,0-2,1	2,0-2,2
Közepes agyag		puha	42-55	2,76	1,1-1,5	1,5-1,8	1,7-1,8
		gyúrható			1,5-1,7	1,8-1,9	1,8-1,9
		merev			1,7-1,8	1,9-2,0	1,9-2,0
		kemény			1,8-1,9	2,0-2,2	2,0-2,2
Kövér agyag		puha	50-150	2,80	0,6-1,2	1,3-1,8	1,6-1,8
		gyúrható			1,2-1,5	1,8-1,9	1,8-1,9
		merev			1,5-1,7	1,9-2,1	1,9-2,1
		kemény			1,7-2,0	2,1-2,2	2,1-2,3
Makroporózus lösz (típusos lösz)		iszapos homok	25-30	2,67	1,2-1,7	1,6	1,8-1,9
						1,7	
		homokos iszap				1,6	1,9-2,0
						1,75	
		iszap				1,65	1,9-2,1
1,85							

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M4. Melléklet

A talaj megnevezése		A talaj állapota	Belső sűrű- lódási szög	Kohézió	Poisson szám	Egyirányú nyomószil.
MSZ 14043-2:1979 szerint	MSZ EN ISO 14688-1:2018 szerint		φ	c	m	q_u
			(fok)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)
Izapmentes kavics és homokos kavics	laza	34-36	-	4,5-4,9	-	
	köz. tömör	36-38		4,9-5,2		
	tömör	38-40		5,2-5,6		
Izapmentes kavicsos homok	laza	32-34	-	4,3-4,5	-	
	köz. tömör	34-36		4,5-4,9		
	tömör	36-38		4,9-5,2		
Izapos kavicsos homok és homokos kavics	laza	30-32	-	4,0-4,3	-	
	köz. tömör	32-34		4,3-4,5		
	tömör	34-38		4,5-5,2		
Izapmentes durva és közepes homok	laza	32-33	-	4,3-4,4	-	
	köz. tömör	33-34		4,4-4,5		
	tömör	34-35		4,5-4,7		
Izapos durva és közepes homok	laza	26-28	-	3,6-3,8	-	
	köz. tömör	28-30		3,8-4,0		
	tömör	30-32		4,0-4,3		
Izapmentes finomszemű homok	laza	30-31	-	4,0-4,1	-	
	köz. tömör	31-32		4,1-4,3		
	tömör	32-34		4,3-4,5		
Izapos finomszemű homok	Izapos finom homok	laza	-	3,3-3,5	-	
		köz. tömör		25-27		3,5-3,7
		tömör		27-29		3,7-3,9
Izapmentes homokliszt	Izapos finom homok	laza	0-3	3,2-3,4	0-50	
		köz. tömör	24-25	3-6	3,4-3,5	10-150
		tömör	25-28	6-10	3,5-3,8	100-180
Izapos homokliszt	Finom homokos iszap	laza	18-20	0-5	2,9-3,0	20-40
		köz. tömör	20-26	5-10	3,0-3,6	100-200
		tömör	26-28	10-15	3,6-3,8	130-260
Izap	puha	15-17	0-15	2,7-2,8	20-60	
	gyúrható	17-20	15-35	2,8-3,0	60-120	
	merev	20-24	35-50	3,0-3,4	120-200	
	kemény	24-28	50-80	3,4-3,8	190-390	
Sovány agyag	puha	10-16	10-20	2,4-2,8	30-80	
	gyúrható	16-18	20-60	2,8-2,9	80-120	
	merev	18-22	60-90	2,9-3,2	160-330	
	kemény	22-26	90-150	3,2-3,6	250-480	
Közepes agyag	puha	5-14	15-25	2,2-2,6	40-80	
	gyúrható	14-17	25-70	2,6-2,8	80-150	
	merev	17-21	70-120	2,8-3,1	220-440	
	kemény	21-25	120-220	3,1-3,5	320-620	
Kövér agyag	puha	0-12	20-30	2,0-2,5	50-90	
	gyúrható	12-16	30-90	2,5-2,8	90-150	
	merev	16-20	90-150	2,8-3,0	190-340	
	kemény	20-30	150-250	3,0-3,5	330-640	
Makroporozus lösz (típusos lösz)	iszapos homok	24-26	5-10	3,4-3,6	20-50	
	homokos iszap	22-25	10-15	3,2-3,5	40-100	
	iszap	20-24	15-25	3,0-3,4	80-150	

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M4. Melléklet

A talaj megnevezése		A talaj állapota	Ödométe-	Permeab.	Kapill.	Opt. töm.	Optimális tömörítő eszköz
MSZ	MSZ EN ISO		res mod.	tényező	emelés	víz tart.	
14043-2:1979 szerint	14688-1:2018 szerint		E_{oed}	k	h_m	W_{opt}	
			(MN/m ²)	(cm/s)	(m)	(%)	
Iszapmentes kavics és homokos kavics		laza	48-96	E+1	0	4-6	vibro-lap
		köz. tömör	85-169	E0	0,1		
		tömör	128-256	E0	0,2		
Iszapmentes kavicsos homok		laza	41-78	E0	0,1	5-8	vibro-lap
		köz. tömör	69-118	E-1	0,3		
		tömör	108-185	E-2	0,5		
Iszapos kavicsos homok és homokos kavics		laza	27-53	E0	0,5	5-10	vibro-henger
		köz. tömör	47-95	E-1	0,7		
		tömör	72-144	E-2	0,9		
Iszapmentes durva és közepes homok		laza	15-30	E-1	0,5	8-10	vibro-lap
		köz. tömör	27-53	E-1	0,6		
		tömör	41-81	E-2	0,7		
Iszapos durva és közepes homok		laza	23-48	E-1	0,8	8-12	vibro-henger
		köz. tömör	36-67	E-2	1		
		tömör	61-75	E-3	1,1		
Iszapmentes finomszemű homok		laza	8,5-17	E-2	0,6	5-9	vibro-lap
		köz. tömör	15-30	E-2	0,7		
		tömör	23-46	E-3	0,8		
Iszapos finomszemű homok	Iszapos finom homok	laza	10-18	E-3	1,2	8-12	gumi-abroncs henger
		köz. tömör	16-30	E-3	1,3		
		tömör	26-42	E-4	1,4		
Iszapmentes homokliszt	Iszapos finom homok	laza	8-12	E-2	2,5	8-11	gumi-abroncs henger
		köz. tömör	11-20	E-3	2,8		
		tömör	18-32	E-4	2,9		
Iszapos homokliszt	Finom homokos iszap	laza	5-12	E-3	2,2	10-13	gumi-abroncs henger
		köz. tömör	9-17	E-4	2,3		
		tömör	15-25	E-5	2,4		
Iszap		puha	2-6	E-4	1,5	10-14	gumi-abroncs henger
		gyúrható	4-10	E-5	1,6		
		merev	8-13	E-6	1,7		
		kemény	12-22	E-7	1,7		
Sovány agyag		puha	2-5	E-5	1,3	11-17	juhláb-henger
		gyúrható	4-7	E-6	1,5		
		merev	7-13	E-7	1,5		
		kemény	12-16	E-8	1,2		
Közepes agyag		puha	2-4	E-6	1,2	13-18	juhláb-henger
		gyúrható	4-6	E-7	1,3		
		merev	5-9	E-8	1,3		
		kemény	8-15	E-9	1,1		
Kövér agyag		puha	2-3	E-7	1,1	14-20	juhláb-henger
		gyúrható	3-5	E-8	1,2		
		merev	4-8	E-9	1,2		
		kemény	7-13	E-10	1		
Makroporózus lösz (típusos lösz)		iszapos homok	5-9	E-2	2,7	8-12	gumi-abroncs henger
		homokos iszap		E-3	2,3		
		iszap		E-4	2,0		

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M4. Melléklet

A talaj megnevezése		A talaj állapota	Lazulási százalék (%)	Tömörítési százalék (%)	Átlag. lin. zsug.	Átlag. duzz. nyom.
MSZ 14043-2:1979 szerint	MSZ EN ISO 14688-1:2018 szerint				ϵ_1	P_d
					(%)	(kN/m ²)
Iszapmentes kavics és homokos kavics		laza	10	4	–	–
		köz. tömör				
		tömör				
Iszapmentes kavicsos homok		laza	10	4	–	–
		köz. tömör				
		tömör				
Izapos kavicsos homok és homokos kavics		laza	5	4	–	–
		köz. tömör				
		tömör				
Iszapmentes durva és közepes homok		laza	10	4	–	–
		köz. tömör				
		tömör				
Izapos durva és közepes homok		laza	10	4	–	–
		köz. tömör				
		tömör				
Iszapmentes finomszemű homok		laza	10	5	–	–
		köz. tömör				
		tömör				
Izapos finomszemű homok	Izapos finom homok	laza	10	5	–	–
		köz. tömör				
		tömör				
Iszapmentes homokliszt	Izapos finom homok	laza	15	6	–	–
		köz. tömör				
		tömör				
Izapos homokliszt	Finom homokos iszap	laza	20	7	1	–
		köz. tömör				
		tömör				
Iszap		puha	25	8	3	0-50
		gyúrható				
		merev				
		kemény				
Sovány agyag		puha	30	9	5	50-120
		gyúrható				
		merev				
		kemény				
Közepes agyag		puha	35	10	8	120-200
		gyúrható				
		merev				
		kemény				
Kövér agyag		puha	45	10	12	200-500
		gyúrható				
		merev				
		kemény				
Makroporozus lösz (típusos lösz)		iszapos homok	10-20	7	–	–
		homokos iszap				
		iszap				

KÖZETFIZIKAI JELLEMZŐK

M.5. melléklet

KÖZETTÍPUS		Térfogat- sűrűség	Víz- felvétel	Nyomó szilárd.	Húzó szilárd.	Hajlító szilárd.	Nyíró szilárd.	
Eredet	Megnevezés	ρ (t/m ³)	w (súly%)	$\sigma_{nyomó}$ (MPa)	$\sigma_{húzó}$ (MPa)	$\sigma_{hajlító}$ (MPa)	$\sigma_{nyíró}$ (MPa)	
M A G M Á S	mélységi	gránit	2,50-2,79	0,1-2	80-250	3-8	8-24	4-15
		szienit	2,46 2,90	(-)	80-200	(-)	(-)	(-)
		diorit	2,75-3,17	(-)	160-340	(-)	(-)	(-)
		gabbro	2,70-3,30	2-5	150-350	5-8	10-22	4-8,5
	kiömlési	riolit	2,15-2,93	0,4-4	60-250	5-9	10-22	4-11
		fonolit	2,54-3,07	0,5-1,2	150-250	6-11	11-23	4-12
		dácit	2,50-2,75	0,5-5	70-320	3-8	9-20	3-10
		andezit	2,30-3,10	0,2-8	50-360	5-11	13-25	5-12
		bazalt	2,40-3,30	0,2-1,5	70-450	6-12	14-26	5-13
		diabáz	2,56-3,12	0,3-0,7	105-250	6-13	12-26	6-10
szórt	tufa	0,92-2,26	8-35	1-145	0,5-8,5	3-8	1-4	
Ü L E D É K E S	homokkő	2,15-2,61	1,5-8	15-250	1,5-6	2-21	2-17	
	tömött mészkő	2,45-2,85	0,1-0,8	35-200	4-7	5-21	3-11	
	biogén mészkő	1,55-2,60	2-16	3-145	1-3,5	2,5-5,5	1,5-3,5	
	forrásmészkő	1,55-2,50	1,5-6	20-180	1,5-5	3-9	2-5	
	márgák általában	2,38-2,54	0,5-4,2	15-120	(-)	(-)	(-)	
	budai márga	2,32-2,58	1,5-10,2	28-100	1-10	(-)	(-)	
	kiscelli agyag	1,70-2,35	6,1-20,5	0,5-1	(-)	(-)	(-)	
	dolomit	2,20-2,90	0,2-4	26-220	2,6-12,6	4-18	2,5-9	
METAMORF	márvány	2,63-2,87	0,1-0,5	50-180	5-8	7-19	3,5-8	
	gneisz	2,60-2,80	0,2-0,7	40-80	(-)	(-)	(-)	
	csillámpala	2,70-3,10	0,3-0,9	50-110	(-)	(-)	(-)	
	agyagpala	2,20-2,84	0,2-0,4	60-70	(-)	20-30	(-)	
	fillit	2,39-2,98	1-5	50-150	4-7	8-20	3-13	

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M5. Melléklet

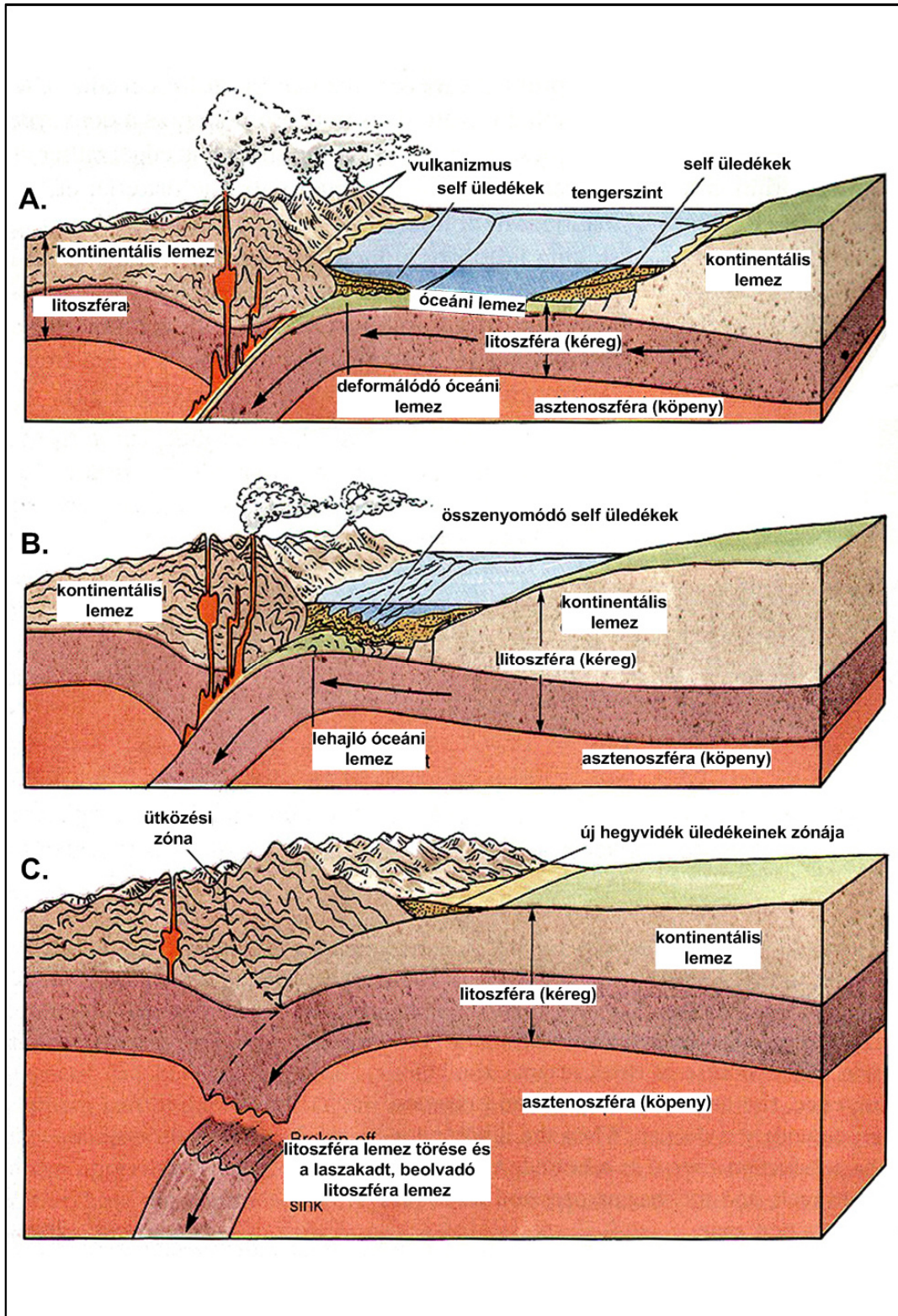
KÖZETTÍPUS		Rugalmas- sági (Young) mod.	Poisson- szám	Szín	
Eredet	Megnevezés	E (GPa)	m (-)		
M A G M Á S	mélységi	gránit	30-70	5-8	szürke, fekete, rózsaszín, sárga,
		szienit	(-)	(-)	szürke, vörös, rózsaszín
		diorit	(-)	(-)	szürke, fekete
		gabbro	60-100	5-8	sötétzöld, sötétszürke, barnászöld
	kiömlési	riolit	10-20	5-10	fehér, szürke, vörös, sárga, lila, rózsaszín
		fonolit	10-25	5-9	világosszürke, zöldesszürke, barna
		dácit	8-18	5-11	világosszürke, zöldesszürke,
		andezit	12-35	5-9	szürke, fekete, vörösbarna
		bazalt	20-100	5-7	szürke, fekete
		diabáz	30-90	5-8	szürke, zöldesfekete
szórt	tufa	0,2-8,6	5-10	szürke, barna, sárga, lila	
Ü L L É K É S	homokkő	15-17	8-15	vörös, sárga, barna, szürke, zöld	
	tömött mészkő	50-80	5-10	fehér, sárga, barna, vörös, fekete	
	biogén mészkő	(-)	4-8	fehér, sárgásfehér, világosszürke	
	forrásmészkő	(-)	8-15	fehér, sárgásfehér, rózsaszín	
	márgák általában	(-)	(-)	szürke, sárga, barna, rózsaszín	
	budai márga	2-20	(-)	sárga, barna	
	kiscelli agyag	0,02-0,7	(-)	szürke	
	dolomit	20-30	5-12	fehér, sárga, szürke, rózsaszín	
METAMORF	márvány	60-90	5-9	fehér, szürke, vörös, sárga, lila, rózsaszín	
	gneisz	(-)	(-)	sárga, barna, szürke	
	csillámpala	(-)	(-)	ezüstfehér, barna, fekete	
	agyagpala	(-)	(-)	szürke, fekete, barna	
	fillit	25-60	5-11	zöldesszürke, szürkésfekete	

Építési ismeretek. 3. Kötet
Dr. Lámer Géza – Szoboszlai Béla: Bevezetés a geotechnikába. Általános ismeretek.
M5. Melléklet

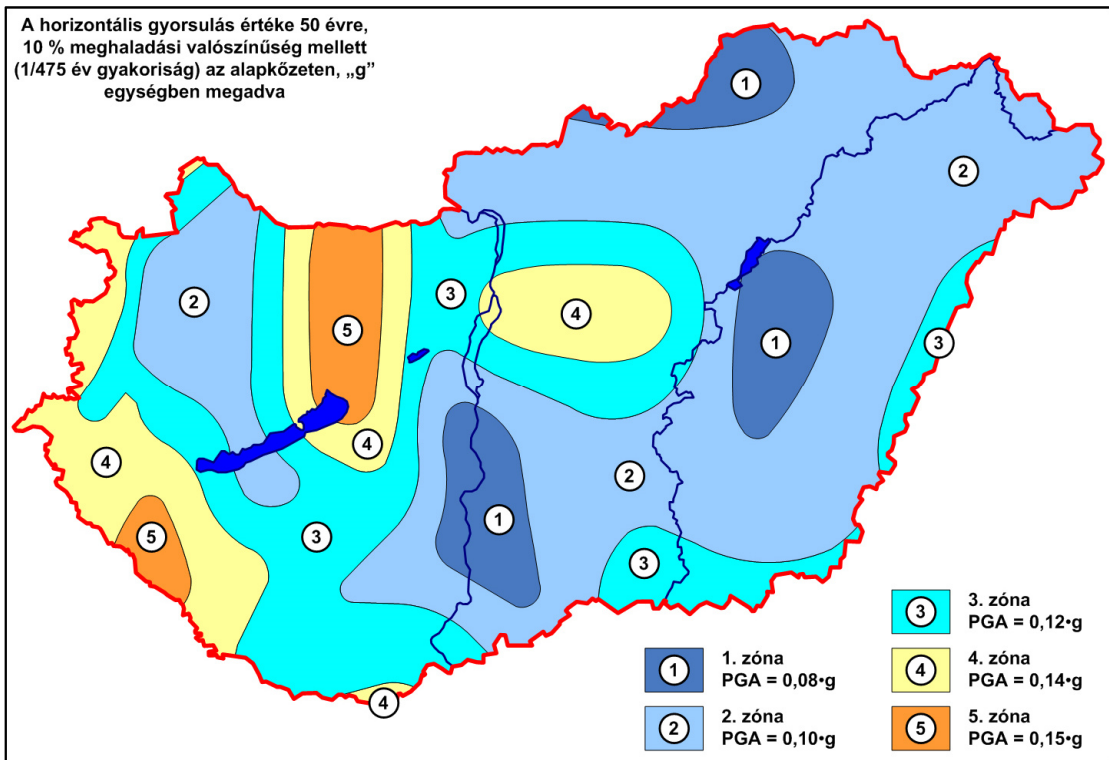
KÖZETTÍPUS		Szövet	Szerkezet	Építőmérnöki alkalmasság (alapozás, üregnyitás)	Fagyhatás szembeni ellenállás	
Eredet	Megnevezés					
M A G M Á S	mélységi	gránit	kristályos, durvaszemcsés	tömeges, vastagpados	kedvező	fagyálló
		szenit	kristályos, durvaszemcsés	tömeges	kedvező	fagyálló
		diorit	kristályos, durvaszemcsés	tömeges, vastagpados,	kedvező	fagyálló
		gabbro	kristályos, durvaszemcsés	tömeges	kedvező	fagyálló
	kiömlési	riolit	üveges, porfiros,	tömeges, vastagpados	kedvező	fagyálló
		fonolit	üveges, porfiros	lemezes, pados,	átlagos	változó
		dácit	porfiros, finomszemcsés	pados	átlagos	változó
		andezit	porfiros, finomszemcsés	tömeges, vastagpados	átlagos	változó
		bazalt	porfiros, finomszemcsés	pados, oszlopos	kedvező	fagyálló
		diabáz	finomszemcsés	pados, oszlopos,	kedvező	fagyálló
	szórt	tufa	finom- és durvaszemcsés	réteges, pados,	kedvezőtlen	fagy- veszélyes
Ü L L E D É K E S	homokkő	finom- és durvaszemcsés	réteges, fonatos,	átlagos	változó	
	tömött mészkő	finomszemcsés	tömeges, vastagpados	átlagos	változó	
	biogén mészkő	porózus, durvaszemcsés	réteges, pados,	átlagos	változó	
	forrásmészkő	porózus, finomszemcsés	réteges, pados	kedvezőtlen	változó	
	márgák általában	földes, finomszemcsés	réteges, pados,	kedvezőtlen	fagy- veszélyes	
	budai márga	földes, finomszemcsés	réteges, pados	kedvezőtlen	változó	
	kiscelli agyag	földes, finomszemcsés	réteges, pados,	kedvezőtlen	fagy- veszélyes	
	dolomit	kristályos, finomszemcsés	réteges, pados,	átlagos	változó	
METAMORF	márvány	kristályos, finomszemcsés	tömeges, tömbös,	átlagos	változó	
	gneisz	kristályos, durvaszemcsés	tömeges, réteges	kedvezőtlen	változó	
	csillámpala	kristályos, középszemcsés	palás, réteges	kedvezőtlen	változó	
	agyagpala	földes, finomszemcsés	palás, leveles	kedvezőtlen	változó	
	fillit	kristályos, finomszemcsés	palás, lemezes	kedvezőtlen	változó	

SZÍNES TÁBLÁK

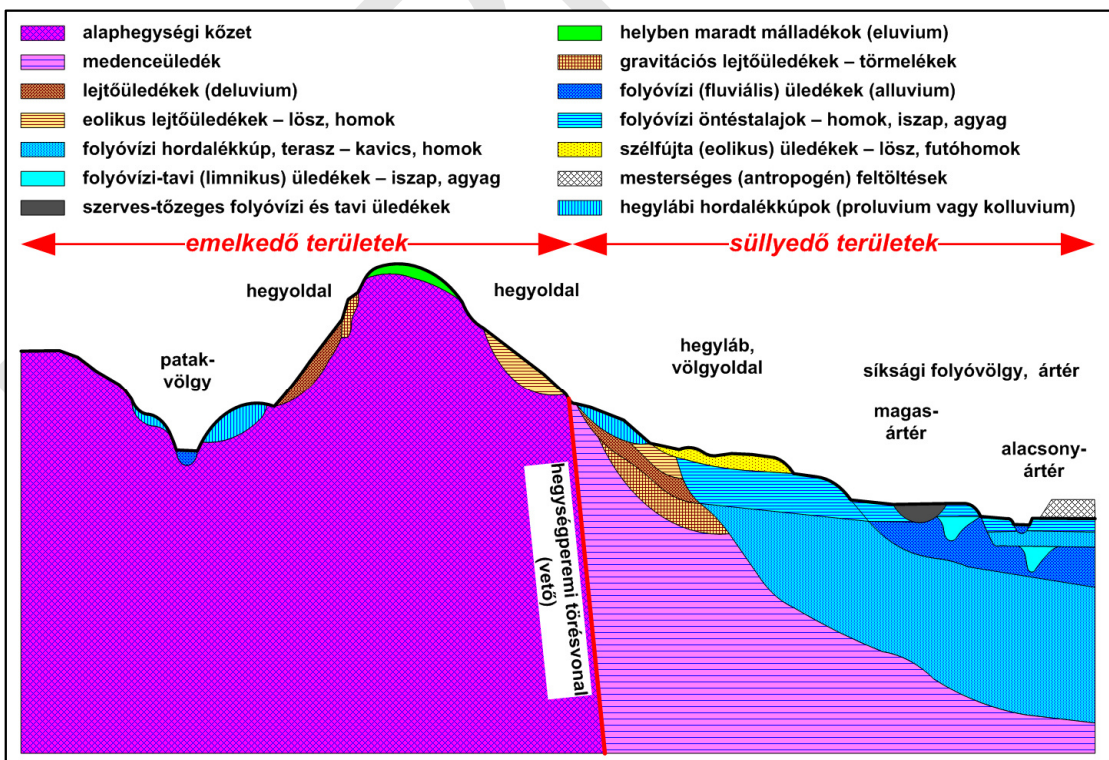
1. színes tábla: A jelentősebb kéreglemezek helyzete, mozgásának iránya és sebessége (cm/év), valamint a vulkanikus és földrengéses földfelszíni pontok térképvázlata
2. színes tábla: A szubdukciós zóna mentén kialakuló hegység és a vulkanizmus folyamat vázlata
3. színes tábla: Magyarország szeizmikus zónatérképe
4. színes tábla: Az emelkedő és süllyedő területek vázlatos üledékföldtani szelvénye a képződmények genetikájának és egymáshoz viszonyított helyzetének ábrázolásával
5. színes tábla: A síksági folyó hordalékteraszai kialakulásának valószínű folyamata és fázisai
6. színes tábla: A síksági folyók hordalékmozgásainak és mederváltozásainak sematikus vázlata
7. színes tábla: A síksági folyómedrek és árterek alaptípusainak jellemző, idealizált keresztmetszetei
8. színes tábla: A magmás–vulkanikus kőzetek kristályosodási folyamata, osztályozása és néhány egyéb fontosabb sajátossága
9. színes tábla: Mésszel kitöltött vetősíkok egy rétegzett kavicsos homokban mélyített munkagödör oldalfalán. A kép: függőleges vetősík. B kép: ferde vetősík
10. színes tábla: A talaj nedvességtartalmának mélységbeli változásai mérsékelt égvövi területeken, különböző időpontokban és eltérő körülmények között
11. színes tábla: Az M.2. melléklet színes ábrája



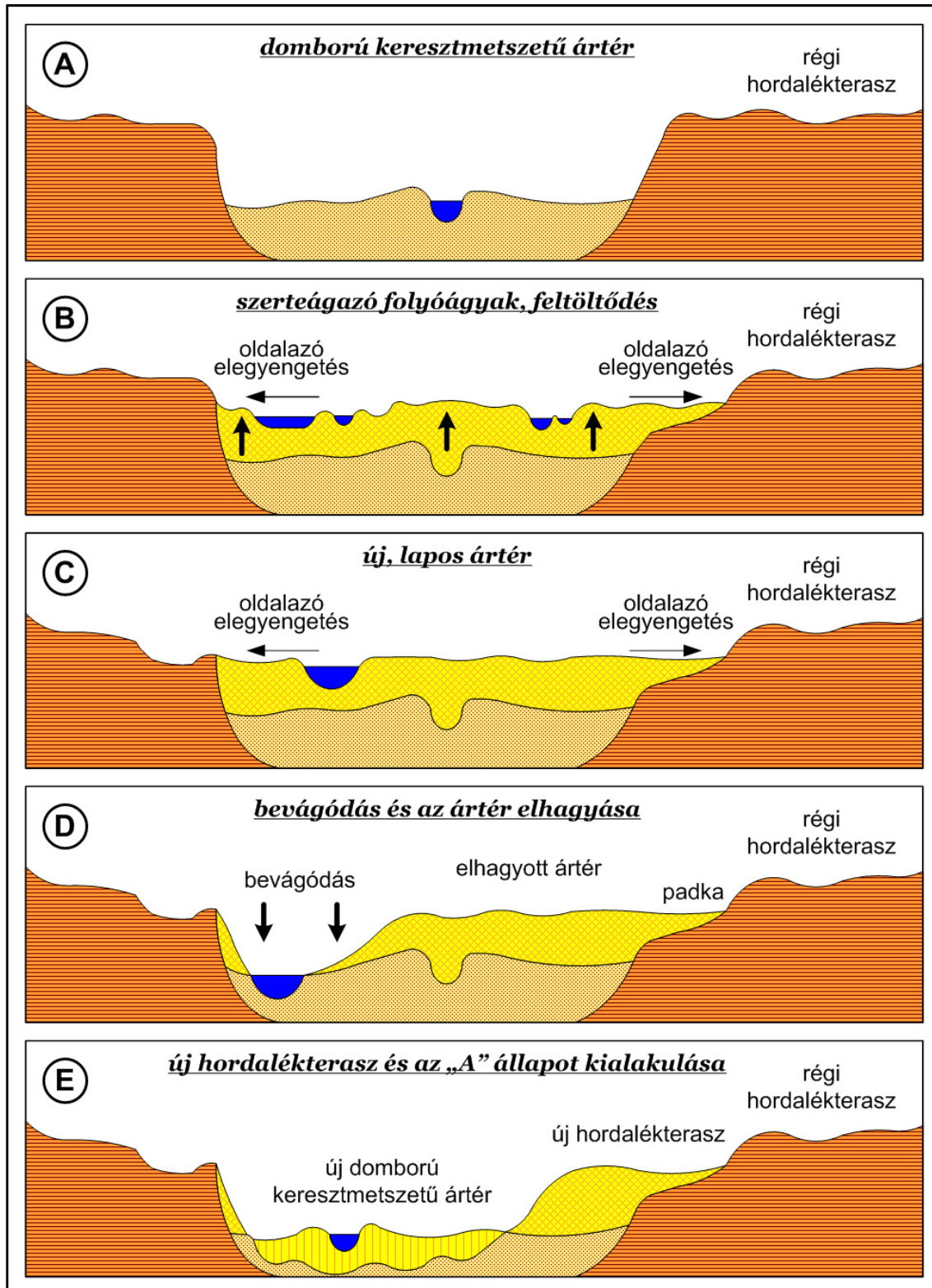
2. színes tábla. A szubdukciós zóna mentén kialakuló hegység és a vulkanizmus folyamat vázlata



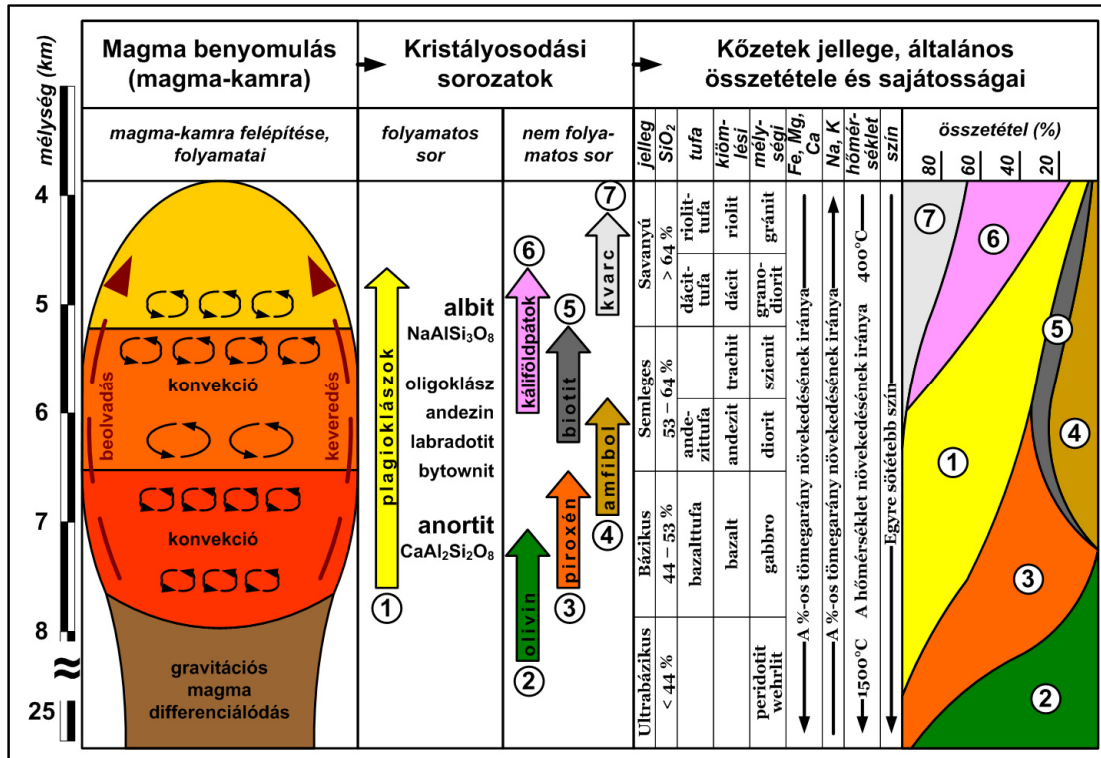
3. színes tábla: Magyarország szeizmikus zónatérképe



4. színes tábla: Az emelkedő és süllyedő területek vázlatos üledékföldtani szelvénye a képződmények genetikájának és egymáshoz viszonyított helyzetének ábrázolásával



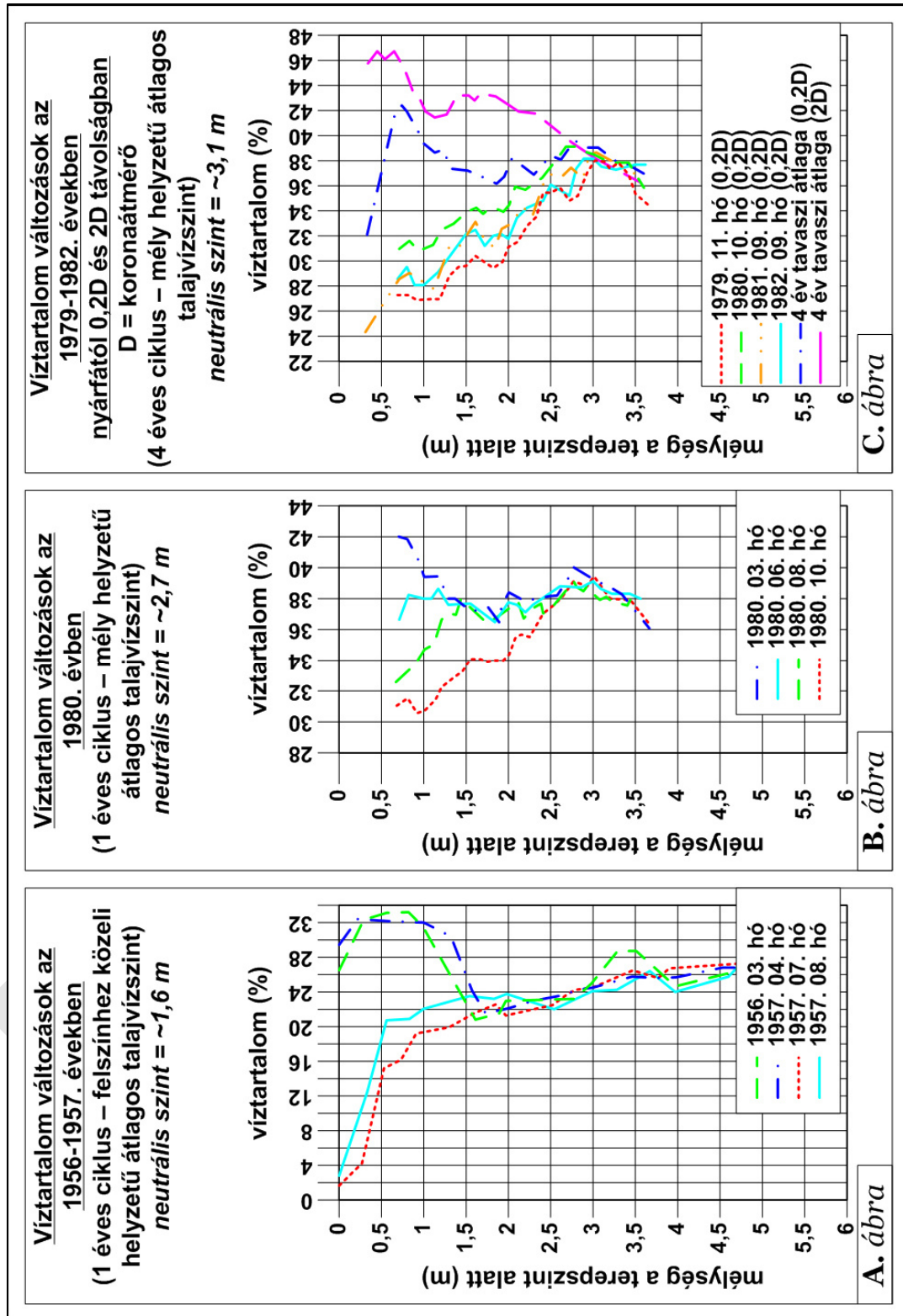
5. színes tábla: A síksági folyó hordalékteraszai kialakulásának valószínű folyamata és fázisai



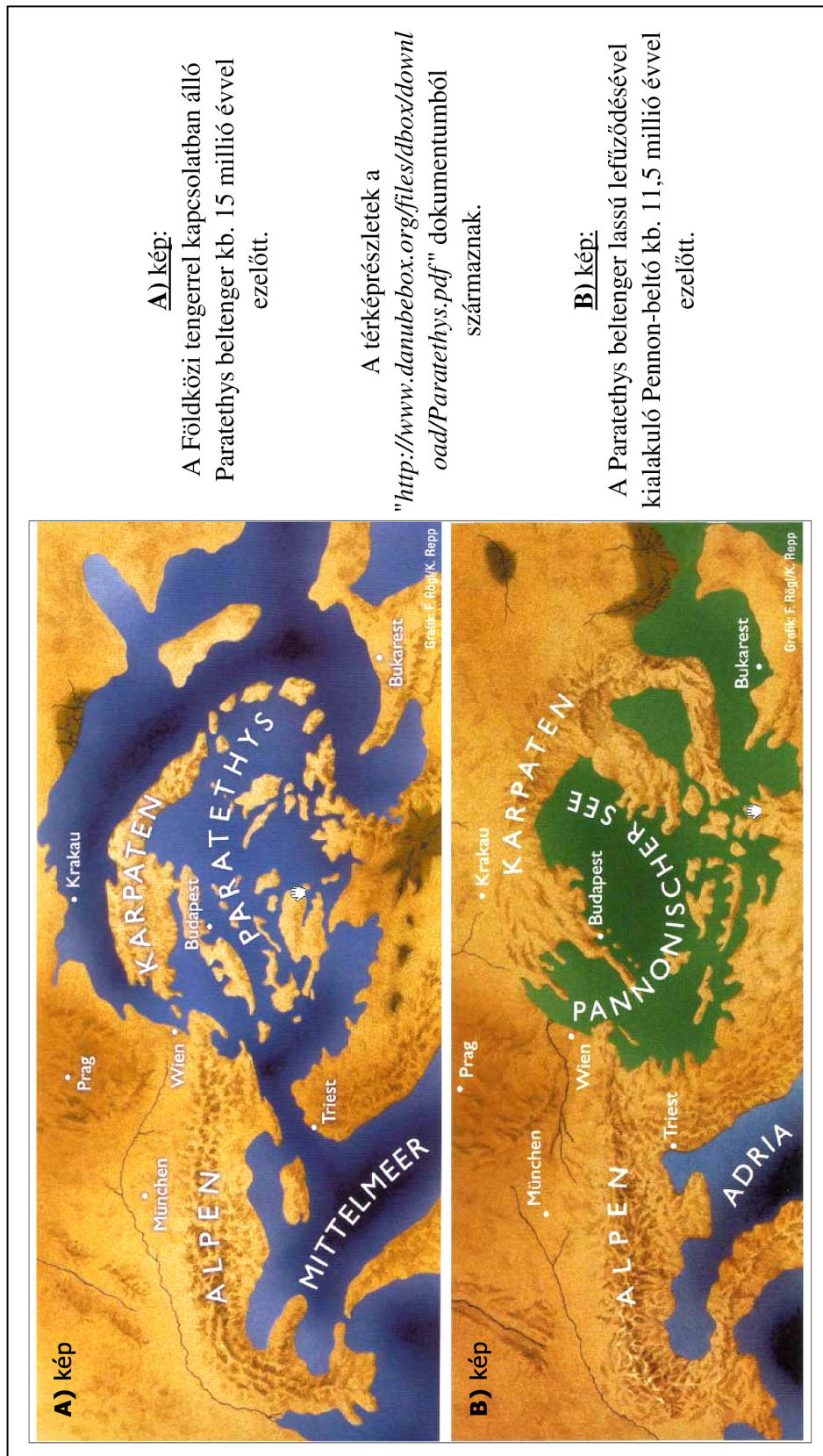
8. színes tábla: A magmás–vulkanikus kőzetek kristályosodási folyamata, osztályozása és néhány egyéb fontosabb sajátossága



9. színes tábla: Mésszel kitöltött vetősíkok egy rétegzett kavicsos homokban mélyített munkagödör oldalfalán. A kép: függőleges vetősík. B kép: ferde vetősík.



10. színes tábla: A talaj nedvességtartalmának mélységbeli változásai mérsékelt égövi területeken, különböző időpontokban és eltérő körülmények között



11. színes tábla: Az M.2. melléklet színes ábrája