

dr. Kocsis Dénes László  
Keczáné dr. Üveges Andrea  
dr. Boros Norbert  
Fórián Sándor  
dr. Bodnár Ildikó

# Települési környezetvédelem



Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
Környezet- és  
Vegyészmérnöki Tanszék

DEBRECENI EGYETEM  
MŰSZAKI KAR  
KÖRNYEZET- ÉS VEGYÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

dr. Kocsis Dénes László –  
Keczáné dr. Üveges Andrea – dr. Boros Norbert –  
Fórián Sándor – dr. Bodnár Ildikó

TELEPÜLÉSI  
KÖRNYEZETVÉDELEM



Debreceni Egyetemi Kiadó  
Debrece University Press  
2017

Lektorok:

Dr. Szász Tibor

Címzetes egyetemi tanár

Dr. habil Nagy Attila

Debreceni Egyetemi

Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar

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

ISBN 978 963 318 620 6

Kiadta: a Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press

Felelős kiadó: Karácsony Gyöngyi

Nyomdai munkálatokat

a Debreceni Egyetem sokszorosítóüzeme végezte 2017-ben.

[www.dupress.hu](http://www.dupress.hu)

# Tartalomjegyzék

Előszó .....	6
1. A települési vízgazdálkodás és elemei .....	8
1.1. A víz körforgása, a vízháztartási egyenlet .....	8
1.2. Városi vízmérleg .....	9
1.3. Csapadék .....	10
1.3.1. A mértékadó csapadék .....	13
1.3.2. Mértékadó csapadék meghatározása .....	13
1.4. Hozzáfolyás .....	14
1.5. Párolgás és annak mérése, becslése .....	14
1.5.1. Párolgást befolyásoló tényezők .....	16
1.5.2. Burkolt felületek párolgása .....	20
1.5.3. A területi párolgás .....	20
1.6. Lefolyás, elfolyás .....	22
1.6.1. A területi lefolyási tényező meghatározása .....	24
1.6.2. A beépített területek lefolyási tényezői .....	24
1.7. Beszivárgás, leszivárgás .....	26
1.7.1. A szivárgási tényező .....	29
2. Települések ivóvízkezelése .....	31
2.1. A víz eredete, minősége .....	31
2.2. Vízszerezés .....	35
2.3. Ivóvíztisztítási technológiák .....	40
2.4. A vízművek üzeme .....	49
3. Települések szennyvízkezelése .....	51
3.1. A Települési szennyvizek jellemzése, szennyezőanyagai .....	51
3.2. Csatornázás .....	56
3.3. A települési szennyvíztisztítás eljárásai .....	57

4. A talaj szerepe a környezeti elemek rendszerében .....	69
4.1. A talaj fogalma .....	69
4.2. A talaj funkciói .....	70
4.3. Magyarország talajadottságai .....	71
4.3.1. A talajaink kialakulását befolyásoló tényezők .....	72
4.3.2. Talajhasználat hatása talajaink minőségére .....	73
4.4. A talajvédelem jelentősége .....	74
4.5. A talajszennyezés hatásai .....	76
4.5.1. Talajszennyezések Európában .....	78
4.6. Felszín alatti vizek védelme .....	79
4.6.1. Felszín alatti vizek szennyeződéssel szembeni érzékenysége .....	79
4.6.2. Felszín alatti vizek minősége, szennyezőforrások .....	81
4.7. Talajremediáció (kármentesítés) .....	82
4.7.1. A kármentesítés folyamata .....	83
4.7.2. A kármentesítési technológiák kiválasztásának általános szempontjai .....	84
4.7.3. Kármentesítési technológiák csoportosítása .....	85
4.8. Felszín alatti vízminőséggel és kármentesítéssel kapcsolatos hazai jogszabályok .....	87
5. A levegő szennyezése és a szennyezés elleni védekezés .....	89
5.1. A légkör szerkezete .....	89
5.2. A légszennyezés forrásai és típusai .....	90
5.2.1. A légszennyezés forrásai .....	90
5.2.2. A légszennyező források típusai .....	92
5.3. Leggyakoribb szennyezőanyagok és jellemzőik .....	94
5.4. A légszennyező anyagok terjedése a légkörben .....	99
5.5. Légszennyező anyagok a környezetben .....	99
5.6. Környezeti hatások .....	102

6. Levegőminőség és levegőtisztaság-védelem a hazai településeken.....	109
6.1. A levegőt szennyező bűz és csökkentésének lehetőségei .....	109
6.2. A belső égésű motorok levegőszennyező hatása és csökkentésének lehetőségei.....	112
6.3. A környezeti levegőszennyezettség mérése.....	118
6.4. A levegő szennyezésének szabályozása .....	121
6.4.1. Hazai joganyag .....	122
6.4.2. Nemzetközi egyezmények .....	123
7. A hulladékgazdálkodás alapjai.....	126
7.1. A hulladékokra vonatkozó általános szabályok.....	126
7.2. A hulladékgazdálkodás intézményi háttere .....	128
7.3. 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról .....	129
7.3.1. A törvény hatálya.....	129
7.4. Hulladékgazdálkodási alapelvek .....	130
7.5. Hulladékgazdálkodási tervek.....	132
7.5.1. A hulladékgazdálkodási terv szerkezeti felépítése és tartalmi elemei .....	133
7.6. A hulladékok meghatározása, csoportosítása .....	136
7.6.1. A hulladék fogalma.....	136
7.6.2. A hulladékok csoportosítása.....	137
7.7. A magyarországi hulladékgazdálkodás jellemzői .....	138
7.7.1. Keletkezett hulladék.....	138
7.7.2. A keletkezett hulladék kezelése .....	140
7.7.3. Hulladék kivitel, behozatal .....	144
7.8. A hulladékkal kapcsolatos adatszolgáltatási kötelezettségek.....	145
7.8.1. Kinek kell adatot szolgáltatnia? .....	145
7.8.2. Hulladékgazdálkodásra vonatkozó adatok lekérdezése .....	145
8. Települési szilárd hulladékok kezelése .....	147

8.1. Új úton a hazai hulladékgazdálkodás .....	147
8.2. A települési hulladékgazdálkodás fejlesztésének koncepciója .....	148
8.3. Termékdíj a környezetünk védelméért .....	149
8.3.1. A termékdíj célja .....	150
8.3.2. A termékdíjköteles termékek .....	150
8.3.3. A termékdíj összege .....	151
8.4. Hulladéklerakási járulék .....	151
8.5. Hulladékgazdálkodási közszolgáltatás .....	152
8.6. Települési hulladék mennyiségének alakulása .....	152
8.7. Települési hulladékok kezelése .....	154
8.7.1. Hulladéklerakás .....	155
8.7.2. Hulladékégetés .....	155
8.7.3. Települési hulladék kezelése az Európai Unió országaiban .....	157
8.8. Az Európai Hulladékcsökkentési Hét és a TeSzedd akció .....	159
8.9. A hulladékgazdálkodás területén használt fogalmak .....	161
8.10. A hulladékgazdálkodás jogi szabályozása .....	163
9. Zajvédelemi alapok .....	166
9.1. Hang és zaj .....	166
9.2. A hangtér jellemzői .....	167
9.2.1. Jellemző mennyiségek .....	167
9.2.2. Szintek .....	168
9.2.3. Műveletek szintekkel .....	170
9.2.4. Hangszínkép .....	170
9.3. Az embert érő zaj megítélése .....	174
9.3.1. Egyenlő hangosság görbék .....	174
9.3.2. Súlyozott hangnyomásszintek .....	175

9.3.3. Egyenértékű hangnyomásszint .....	176
9.4 Hangforrások.....	177
9.5 Hangterjedés .....	178
9.5.1. Szabad térben történő hangterjedés.....	178
9.5.2. Zárt térben történő hangterjedés.....	182
10. A zajterhelés és egészségügyi hatásai .....	185
10.1. A zajterhelés indikátorai .....	185
10.2. A zaj emberi egészségre gyakorolt hatása.....	188
10.2.1. Áttekintés a zaj egészségügyi hatásairól .....	188
10.2.2. Zaj okozta halláskárosodás.....	189
10.2.3. Zaj hatása a beszédértésre.....	190
10.2.4. Zaj okozta alvászavar .....	191
10.2.5. Zaj kardiovaszkuláris és élettani hatásai .....	192
10.2.6. Zaj hatása a teljesítményre .....	193
10.2.7. Zaj hatása a lakóhelyi magatartásra és a zavarásérzetre.....	194
10.2.8. Küszöbértékek .....	195
10.3 Európai zajterhelési helyzet .....	196
10.3.1 Európai helyzetkép .....	196
10.3.2. Noise in Europe 2014 jelentés által meghatározott kulcsfontosságú üzenetek.....	198
10.3.3. Csendes területek .....	199

## ELŐSZÓ

Az emberiség saját történelme során, különböző mértékű konfliktusokba keveredett a az őt körülvevő természetes közegével, a környezettel. Míg régebben a természetben éltünk, majd a természettel együtt éltünk, napjainkra ez a folyamat odáig jutott, hogy a természet ellen teszünk. Az emberiség mindennapi tevékenysége (termelés-fogyasztás) nyomot hagy a bolygónkon, életmódunk nagymértékben befolyásolja azt, hogy mennyit élünk fel a Föld által biztosított javakból.

Környezetünk állapota napról-napra romlik, s közben az emberiség nem vesz tudomást erről. Szennyezzük vizeinket, földjeinket. levegőnket. Ez a népesség számának növekedésével egyre nagyobb méretű folyamat.

Eljutottunk oda, hogy a Földön 2011-ben átléptük a 7 milliárdos népességszámot. Most 2016 szeptemberében már azt olvashatjuk, hogy ez a szám meghaladta a 7,4 milliárdot. Az ENSZ előrejelzései szerint, a 2020-as évek elejére átléphetünk a 8 milliárdos határon, s elképzelhető, hogy 2040-re 9 milliárdan leszünk a bolygónkon, és várhatóan e népesség, több mint fele úgy, mint most is, városokban fog élni. A városok száma és mérete is növekedést mutat egyelőre. A növekedő városok és a velük járó, egyre csak fokozódó problémák napjainkra globális szintű problémákat generáltak.

A Debreceni Egyetem Műszaki Karán folyó Településmérnöki MSc képzésben a Települési környezetvédelem c. tantárgy és jelen jegyzet alábbi fejezetei a településmérnök hallgatók számára nyújtanak szűkebb szakterületükhöz kapcsolódó átfogó ismereteket.

A víz nélkülözhetetlensége és a helyes vízgazdálkodás szükségessége reményeink szerint mindenki számára nyilvánvaló, ezért talán érthető, hogy a vízzel kapcsolatos ismereteket a szakmai képzés minden területén fontosak.

Az első három fejezetben a települési vízgazdálkodást, annak elemeit, valamint a víz- és szennyvízkezelési eljárásokat foglaltuk össze, s nyújtunk segítséget a települések jellegzetes vízellátás-csatornázás, illetve ivóvíz- és szennyvíztisztítás hatékony megoldásainak megismerésében. A modern településtervezést támogatva a tananyag utal az alternatív vízforrások, a csapadék- és szürkevíz tisztítás megoldásai lehetőségeire is.

A negyedik fejezet a talajjal, és annak környezeti elemek rendszerében betöltött szerepével foglalkozik, különös tekintettel az elszennyezett talajok tisztítási technológiáira, a kármentesítési technológiák csoportosítására, azok alkalmazhatóságára.

Az ötödik és hatodik fejezet a levegőszennyezés és az ellene való védekezés műszaki lehetőségeit taglalja az alapoktól kiindulva a településeken előforduló levegőtisztaság védelmi feladatokon, méréseken keresztül. Bemutatjuk a különböző légszennyezők forrásait, csoportosítását, és ezek hatásait.

A hetedik és nyolcadik fejezetben a hulladékgazdálkodás alapjait rendszerezzük, valamint a napjainkra igen fontossá váló települési hulladékgazdálkodás, kezelés témakörét elemezzük aktuális napi adatokkal Magyarországi és Európai környezetben. Az e témában nagyon fontos aktuális jogi szabályozásra külön kitérünk (itt is).

A kilencedik és tízedik fejezet a zajvédelemmel foglalkozik a zajvédelmi alapoktól, számításoktól kezdve a zaj- és hangforrások jellemzőin keresztül a zajterhelést és annak egészségügyi hatásait bemutatva hazai és európai viszonylatban.

Debrecen, 2016. szeptember 19.

A szerkesztő

# 1. A TELEPÜLÉSI VÍZGAZDÁLKODÁS ÉS ELEMEI

## 1.1. A VÍZ KÖRFORGÁSA, A VÍZHÁZTARTÁSI EGYENLET

A Föld vízkészlete folyamatos változásban, körforgásban van. A körforgás részfolyamatai a csapadék, párolgás, be- és leszivárgás, valamint a lefolyás. A körforgás igen összetett folyamat, mert függ többek között az éghajlati-, domborzati-, növényzeti-, talaj-, borítottsági viszonyoktól. E vertikális körforgás hajtóereje a Nap által biztosított hőenergia, ill. a Föld gravitációja.

Vízháztartás alatt a földön körforgásban lévő vizeknek adott térben és időben való elhelyezkedésében, vagy állapotában - a természetes vagy mesterséges erők hatására - bekövetkező mennyiségi és minőségi változásait, a változások összességét, illetve eredőjét értjük. A vízháztartási állapot a vizsgált térbe az adott időhatárok között belépő és abból távozó vízmennyiségek. A vízháztartási egyenlegek (amiket a vízháztartási egyenlet segítségével konkretizálhatunk) azt a folyamatot jellemzik, amely az időben változó bevételek és kiadások hatására módosulhatnak. Ezt a változást fejezi ki a vízháztartási mérleg egyenlete. A teljes körfolyamat modellezése igen bonyolult folyamat, melyet a vízháztartási egyenlet segítségével tudunk kvantitatív formában leírni. Az egyik legismertebb ilyen egyenlet Salamin Pál nevéhez fűződik:

$$C + c + \sum_1^2 H_i + \sum_5^8 H_i = \sum_1^2 E_i + \sum_5^7 E_i + \sum_1^7 P_i + \sum_1^7 T_{hi} + \sum_1^7 T_{ki} \quad (1.1)$$

ahol:

C = makrocspadék	1 = vízfolyások vize
c = mikrocspadék	2 = felületi vizek
H = hozzáfolyás	3 = talajnedvesség
E = elfolyás	4 = növények víztartalma
P = párolgás	5 = talajvíz
T = tározódás	6 = karsztvíz
h = hasznos	7 = artézi víz
k = káros	8 = mélységi víz

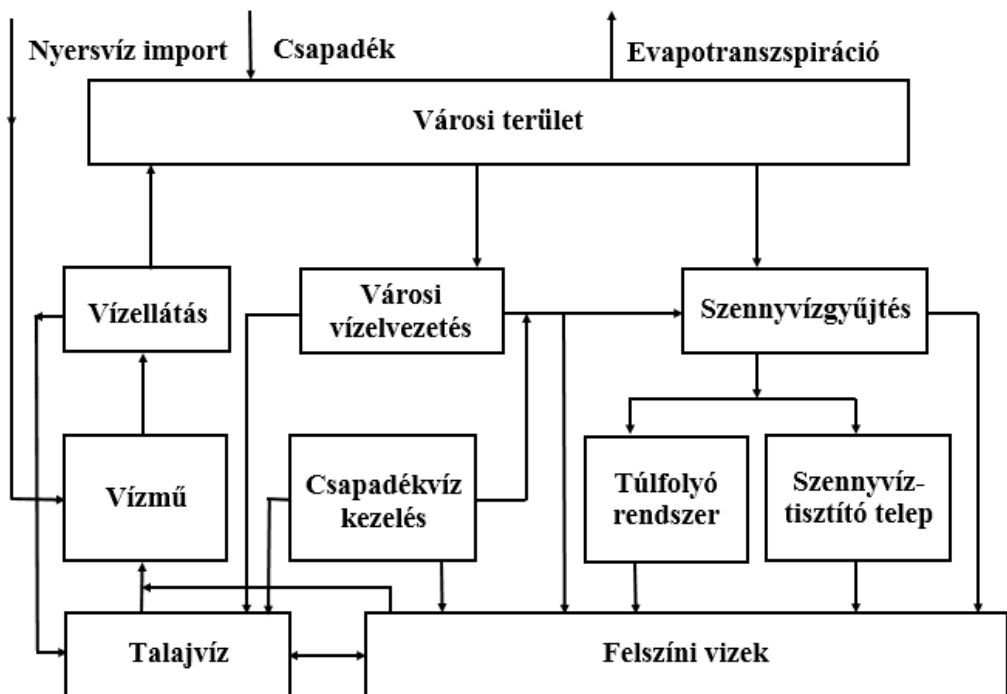
Ez egy általános egyenlet és a vizsgálat célja határozza meg, hogy ebből mely tagokat vesszünk figyelembe, mely tagokat hagyjuk el. A cél lehet települési csapadékvíz levezető rendszer vizsgálata, csapadékhasznosítás, tározóméretezés, vízkészletszámítás, stb. A vizsgálati cél határozza meg a tér- és időkeretet is.

## 1.2. VÁROSI VÍZMÉRLEG

A városi területeken a vízháztartási egyenleg jelentősen módosul. A klasszikus vízmérleg a csapadék (C), a hozzáfolyás vagy felszíni vizekből, felszín alól vízkivétellel érkező víz (H), a párolgás (P), a lefolyás (L), a beszivárgás (B) és a tározódás ( $\Delta T$ ) egyensúlyát tételezi fel, az alábbi egyszerű egyenlettel kifejezve:

$$C + H = P + L + B \pm \Delta T \quad (1.2)$$

Az ember megjelenése a Földön, tevékenysége, majd fokozódó beavatkozásai a víz-, az energia- és az anyagháztartásba egyre jobban befolyásolta és befolyásolja, illetve egyre nagyobb mértékben megváltoztatja a víz természetes körforgalmát. Az emberi tevékenység a víz természetes körforgalmában elsősorban a víz szennyezése révén érezteti hatását. Másik területe a vízgyűjtőn végzett különböző beavatkozások. A talajfelszín a települések és a közlekedési utak építésével egyre vízzáróbbá válik, a rossz talajművelés, valamint az árterületek megszüntetése, erdők irtása, a gyors vízlevezetést célzó intézkedések csökkentik a terület vízvisszatartó képességét, meggyorsítják a lefolyást. Ezen kívül a városok erős módosító hatást gyakorolnak a csapadékeseményekre, és jelentős szerepet vállalnak közvetlenül, vagy közvetve klímaváltozásban is. Lakott területeken bekapcsolódik a víz természetes körforgásába a vízellátás, és a szennyvíztisztítás rendszere is, amit városi vízkörforgásnak nevezünk, ennek folyamata az 1.1. ábrán látható:



1.1. ábra. A városi vízkörforgás modellje (Marsalek et al, 2008 nyomán).

A természetes vízháztartás a települések területén kisebb-nagyobb mértékben megváltozik. A város területi terjeszkedése, a beépítési intenzitás növekedése miatt változik, romlik a természeteshez képest a település vízrendszere. A vízháztartás szempontjából a település, főként a nagyváros egyre nagyobb térségre terjeszti ki hatását. Az ipar és a háztartások vízfogyasztása mind távolabbi felszíni és felszín alatti vízkészletek felhasználását igényli.

A beépített, burkolt területekre jutó csapadékvíz a csatornarendszeren át a befogadóba kerül, így a település ökológiai rendszerébe nem jut be, nem hasznosul sem klímátényezőként (energia transzformátor, hőmérséklet-csökkentés és páratartalom növelés), sem a növényzet számára felvehető víz formájában. A városi környezetben az utak mentén, zöldsávokban élő növényzet számára a téli félév csapadékának egy része szintén elvész. Az őszi, téli hónapok kiadós eső és hó csapadéka a talaj egész éves vízkészletének felhalmozása szempontjából nagy jelentőségű, mert 1,5 - 2 méter mélységig nedvesíti át a talajt. A közterületekről összegyűjtött, elszállított vagy a csatornába lassan elszivárgó hó a vízkészlet utánpótlás szempontjából elvész a rendszer számára.

A talajvíz-háztartás nem csak a csapadékvíz utánpótlási hiány, vagy a szennyvíz formájában bejutó víztöbblet révén károsodik, hanem a talaj- és altalaj szerkezetének megváltozása miatt is. Nagyvárosok felszín alatti közlekedési hálózatai, a mélyvezetésű metrók, vagy a mélyalapozást igénylő, a felszín alá több szintre terjeszkedő építmények a talajvíz elfolyását akadályozzák, megváltoztatják a természetes vízrendszert. Ennek következtében egyes területeken a növényzetet rendkívül veszélyeztető talajvíz-hiány, más területeken pedig az ugyancsak problematikus talajvíz-felhalmozódás, emelkedés következik be. Az altalaj és az alapkőzet beépítése, megbontása nagy térség vízháztartását boríthatja fel.

### 1.3. CSAPADÉK

A csapadék a vízháztartási egyenlet bejövő, input oldalának tagja. A párolgás során légkörbe kerülő víz a levegő vízgőztelítettségének elérésekor kicsapódik, kondenzálódik és a gravitációs erő hatására csapadék formájában visszajut a felszínre. A csapadékképződés előfeltétele, hogy a levegő páratartalma telítettségi állapotba kerüljön, emelkedő légmozgás és a kondenzációs magvak jelenléte a levegőben. A levegő hőmérséklete az emelkedés során kb. 0,65°C-ot csökken 100 méterenként. Az emelkedés több módon is bekövetkezhet: frontális emelkedés, konvekció, ill. orográfiai emelkedés következtében.

A csapadék lehet felszíni, vagy mikrocsapadék és hulló, vagy makrocsapadék; illetve halmazállapot szerint folyékony és szilárd.

A mikrocspadék a harmat, a dér és a zúzmara. Harmatról akkor beszélünk, ha a lehülő levegő  $0^{\circ}\text{C}$  felett éri el harmatpontját (amikor a relatív páratartalom adott hőmérsékleten 100%).

A dér és a zúzmara esetében a levegő  $0^{\circ}\text{C}$  alatt éri el harmatpontját, a fő különbség köztük az, hogy a dér képződése során a felszín kisugárzása hűti le a levegőt, a zúzmaránál pedig hideg levegő érkezik a felszín felé. Városi területeken kevésbé fontos csapadékként kezelik.

Folyékony makrocspadék az eső, szilárd a hó és a jégeső. Az eső intenzitásának megfelelően beszélhetünk csendes esőről ( $i < 0,5$  mm/perc); záporról és, ha fény és hangjelenségekkel is jár zivatarrról ( $i = 0,5-1,2$  mm/perc); illetve felhőszakadásról ( $i > 1,2$  mm/perc).

Szilárd makrocspadék a hó és a jég. A hó összeálló, sokszög alakú kristályokból áll, mely a felszínen  $0^{\circ}\text{C}$  alatti hőmérsékleten összefüggő takarót alkot. A hótakaró jó hőszigetelő képességű, mert a kristályok között sok a levegő, a kemény téli fagyokban megóvja az alatta lévő talajt, növényzetet.

Beépített városi területeken, az utakon, tereken a közlekedés, szállítás miatt a hó eltakarítása fontos tevékenység. A jég esetében megkülönböztethetünk jégesőt – amely kizárólag a nyári időszakban (május-július) hullik a heves záporok, zivatarok kísérőjeként –, és jégdarát – amely télen hull és általában a jégzemek mérete kisebb.

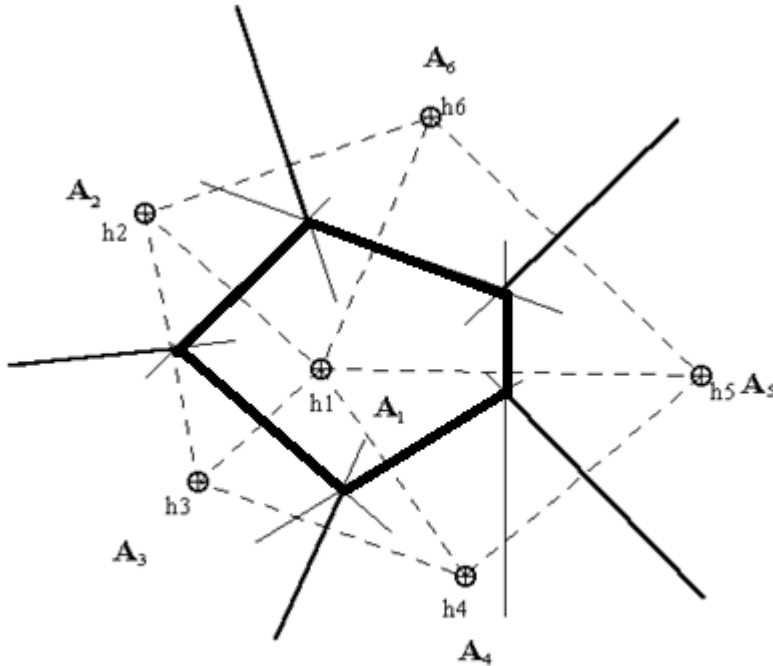
A csapadékok jellemzésére több paramétert használhatunk. Mennyiségét vízoszlopban ( $h$ ; mm), vagy térfogatban ( $V$ ; hektármilliméter) fejezzük ki. A csapadékhozam ( $Q$ ;  $\text{m}^3/\text{s}$ ) az időegység alatt lehullott csapadék térfogata, ha területegységre vonatkoztatjuk fajlagos csapadékhozamról ( $q$ ;  $\text{m}^3/\text{s ha}$ ) beszélünk. Igen fontos az is, hogy mennyi idő alatt hull le ez a csapadék, azaz milyen a csapadékindenzitás ( $i$ ; mm/perc).

Az időbeni alakulás jellemzésére a naptári időegységek csapadékösszegeinek átlagát alkalmazzák (napi, havi, éves). Valamilyen nagyobb terület (pl. Hortobágy) jellemzésre, területegységre vonatkoztatva a csapadékmérő állomások mérési eredményeinek átlagát használjuk.

A legegyszerűbb az állomásokon mért csapadékmennyiségek számtani átlaga. Ez a módszer azonban csak akkor jellemzi kielégítően a vizsgálati területet, ha egységes a domborzat, az éghajlat és az állomások elhelyezkedése egyenletes, aminek kialakítása igen költséges lenne. Ezért az egyszerű átlag helyett a területtel súlyozott átlagolást alkalmazzák.

A terület meghatározására használhatjuk a háromszög módszert és a Thiessen-polygonok módszerét.

E módszer a mérőállomások és a hatásterületeik kapcsolatán alapul, más hasonló vizsgálatok (pl. monitoring mérési eredmények) esetében is alkalmazható eljárás.



1.2. ábra. A Thiessen-poligonok módszere.

A Thiessen-poligonok szerkesztési módszere a következő: Első lépésként a csapadékmérő állomásokat ( $h_i$ ) egyenes vonalakkal összekötjük úgy, hogy azok háromszögekre bontsák a vizsgálandó területet. Ezután megszerkesztjük a háromszögek oldalfelező merőlegeseit, amik a többi oldalfelezőkkel szabálytalan alakú poligonokat ( $A_i$ ) fognak kimetszeni és a geometriai középpontjukban a csapadékmérő állomás van (1.2. ábra). Ezekkel a poligonokkal tudjuk legegyszerűbben meghatározni azt a legkisebb területet, amely a csapadékmérő állomás által mért csapadéértékeket reprezentálja. A súlyozott csapadékatlag kiszámítása a következő összefüggés alapján történik:

$$\Delta h = \frac{(h_1 A_1 + h_2 A_2 + h_3 A_3 + \dots + h_n A_n)}{\sum_1^n A_n} \quad (1.3)$$

A csapadék eloszlásának vizsgálata a térbeli és időbeli változására terjed ki. A térbeli eloszlást vizsgálva megállapíthatjuk, hogy az országon belül igen nagy az eltérés. Legkevesebb a csapadék évi mennyisége (500-550 mm) a Tisza völgyében, az Északi hegyvidéken és a Dunántúlon ugyanakkor 600-800 mm között változik a csapadék évi mennyisége.

A csapadék időbeli eloszlását vizsgálva megállapítható, hogy az évi menetben is jelentős az eltérés, de az egyes évek csapadékmennyiségében is számottevő a különbség. Az évi vagy havi csapadékmennyiség sokévi átlaga alkalmas lehet egy adott terület általános jellemzésére, azonban nem fogadható el vízgazdálkodási létesítmények, beavatkozások tervezésére. Ugyanígy nem alkalmas ilyen célra a maximum, vagy a minimum. Ezért be kellett vezetni a mértékadó csapadék fogalmát, amely alatt a tervezés céljából figyelembe veendő, meghatározott évenként előforduló csapadék mennyiségét értjük.

### 1.3.1. A mértékadó csapadék

A mértékadó csapadék az a csapadékmennyiség, amelyre adott klimatikus viszonyok között és adott időszakban, meghatározott valószínűség mellett biztosan számítani lehet. A mértékadó csapadék meghatározásához hosszú (legalább 30-50 éves) hidrológiai idősor szükséges, amelyet a statisztika módszerei szerint dolgozunk fel. (Törekedni kell a legutóbbi időszak adatait vizsgálni, mivel 30-50 év alatt pl. a klímaváltozás hatására lényeges eltérések fordulhatnak elő). Meghatározása, ismerete fontos egy lakóház csapadékvíz-elvezetése, vagy akár egy település (rész) csapadékelvezető csatorna hálózatának méretezése miatt.

### 1.3.2. Mértékadó csapadék meghatározása

A mértékadó csapadék meghatározásának menete: Először a vizsgált időszak csapadék adatsorait kiválasztva az adatbázisból csapadékmennyiség szerint csökkenő sorrendbe rendezzük a hozzátartozó évszámmal együtt. Az így kapott adatsorban a legnagyobb és a legkisebb csapadékmennyiség közötti tartományt felosztjuk pl. 25 mm-es léptékekkel, így intervallumokat, osztályokat hoztunk létre. Az osztályokban meghatározzuk az adott időszakban előforduló események számát. Az így kapott hisztogram megmutatja, hogy a csapadékok közül melyik intervallumban hány eseményt találunk. Ezt követően az osztályokat a hozzátartozó gyakorisági értékkel csökkenő sorrendbe rendezzük gyakoriság szerint. Így lehetőségünk lett a gyakoriság szerinti halmozás százalékos meghatározására. A gyakoriság halmozás %-os értékeit rendre levonva a 100%-ból kapunk egy ún. csapadékossági görbét. Ezen meg tudjuk határozni, hogy egy időszak adatai alapján milyen valószínűséggel mennyi csapadék hullhat a következő időszakban.

#### A mértékadó csapadék szabvány szerinti meghatározása műszaki méretezéshez

Mivel a hatályos, angol nyelvű Csapadékvíz-elvezetés, kialakítás és számítás MSZ EN 12056-3-2001 szabványhoz nem rendeltek méretezési csapadék értéket, általában a már visszavont MSZ-04-134 alapján határozzuk meg a mértékadó csapadék értéket. Hazánkban, a fővárosban a négy éves, máshol az egy éves gyakoriságú, nagy intenzitású, tíz perces zápor hozamával szoktunk számolni.

A mértékadó csapadékvíz-terhelés mértéke az MSZ-04-134:1991 szabvány szerint a vízgyűjtő felület és a felületi jellemzők alapján az alábbiak szerint határozható meg:

$$Q_{cs} = \sum_{i=1}^n \Psi_i A_i q_e \quad [l/s] \quad (1.4)$$

ahol:

$Q_{cs}$  - a mértékadó csapadékvíz terhelés [l/s]

$\Psi$  - a lefolyási tényező a lehullott csapadék csatornába jutó hányadát kifejező szám

$A$  - vízgyűjtőterület (vízszintes vetület) [ha]

$q_e$  - mértékadó fajlagos csapadékvíz hozam [l/s·ha]

A  $q_e$  méretezéshez javasolt értéke: 300 l/s ha, de a pontosabb számítást az MSZ-04-134:1991 szerinti mértékadó fajlagos csapadékvíz hozam alapján lehet végezni Budapesten 4 éves, vidéken 1 éves gyakoriságú 10 perces zápor-intenzitást kell alapul venni.

## 1.4. HOZZÁFOLYÁS

Egy adott területre nézve a hozzáfolyás módja lehet felszín alatti, és felszíni. A felszín alatti hozzáfolyás a csapadéknak az a része, amely a beszivárgás után nem jut el a talajvíz felszínéig, hanem felszín alatti áramlásként közvetlen a befogadóba kerül. A felszíni hozzáfolyás a beérkező vízfolyások hidrológiai adataival (vízhozam meghatározás) jól leírhatóak. A mesterséges hozzáfolyások (csatorna, mély rétegekből kitermelt ivó- és termásvizek, amelyeket a felszínen engedünk a környezetbe szintén pontosan meghatározhatóak mennyiségi és minőségi szempontból egyaránt.

## 1.5. PÁROLGÁS ÉS ANNAK MÉRÉSE, BECSLÉSE

A párolgás az a folyamat, amikor a víztér cseppfolyós halmazállapotú részecskéi kilépnek a folyadéktérből és gáznemű állapotban belépnek a folyadékteret környező légtérbe. A párolgás a vízteret és a légtér elhatároló felületen - a vízfelszínen - keresztülmegy végbe. A mozgási sebesség a víz hőmérsékletétől függ, amelynek növekedésével a molekulák mozgási energiája is megnövekszik.

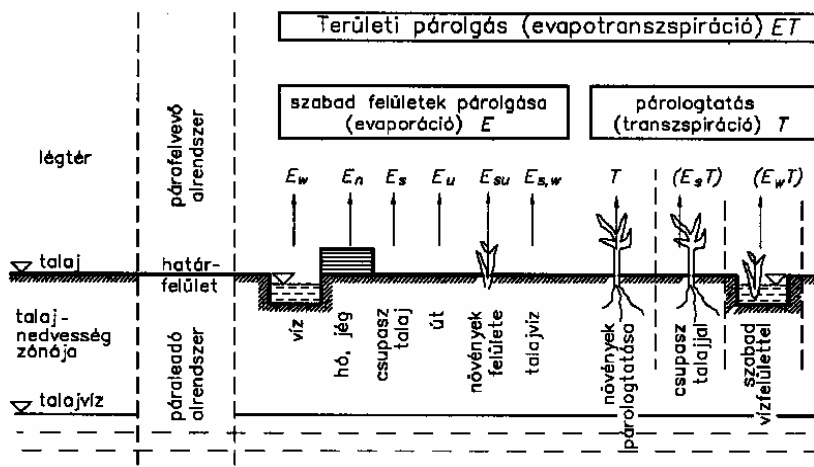
Ezzel együtt mind több molekula képes leküzdeni a molekuláris vonzerőt, illetve a folyadék fölötti gőz nyomását és vízgőz (pára) formájában átlépni a légtérbe. A folyadéktérből kilépő vízgőz egy idő után telíti a vízfelszín fölötti, kezdetben csupán vékony réteget.

A telített légrétegből a vízgőz a fölötte levő rétegekbe légmozgás hiányában a molekuláris, légmozgások esetén a turbulens diffúzió révén távozik, s ez által lehetővé

teszi további vízmolekulák kilépését a víztérből. A turbulens diffúzió sebessége függ a felszín közeli légmozgás sebességétől, amelynek növekedésével növekszik a párolgás intenzitása. A párolgást fenntartó erő tehát a telítettségi hiányból fakadó szívóerő, amelynek nagysága - vízoszlopban kifejezve - néhány ezer métert is elérhet.

A felszíni vizek, azaz óceánok, tengerek, tavak, mocsarak, folyók és patakok vízfelületei mellett a növényzettel borított, vagy részben fedetlen, de átnedvesedett szárazföldi területek is párologtatnak vizet. A nedves talajról illetve talajból elpárolgó, evaporált víznek a mennyiségét a növényzet gyökerei által a talaj felszíne alól ozmotikus erővel fölemelt és a növényzet pórusain elpárolgott, transzspirált víz is növeli. E kettős folyamatot evapotranszspirációnak nevezzük.

A párolgás a vízháztartási mérleg legjelentősebb „kiadási” tagja. A hidrológiai körfolyamatban a földről, mint *páraleadó rendszerből* a légkörbe, mint *párafelvevő rendszerbe* érkező víz mennyisége (fő fenntartó ereje a napsugárzás). Párolgás mértéke évente kb. 500 ezer km<sup>3</sup>, ebből óceánok, tengerek kb. 85%, szárazföldre 15%-ot tesznek ki. Az evapotranszspiráció két összetevője az evaporáció és transzspiráció. Ezek nem csak a halmazállapot-váltás folyamatában különböznek, hanem abban is, hogy a szabad vízfelületek párolgása a természetben önmagában is végbe mehet, de a növény vagy növényzet csak egy hozzá tartozó talajtömbbel vagy a vízi növényzet esetén vízzel együtt párologtathat. Vagyis a növényzet párologtatásának mérésénél mindig a növényzet életterének minősülő talaj vagy víztest párolgását is mérjük (Stelczer, 2000). A vízkészlet-gazdálkodás általában nagyobb – több km<sup>2</sup>-t meghaladó nagyságrendű – terület párolgásának (evapotranszspiráció) meghatározásában érdekelt. A hidrológiában a párolgást – a vízháztartási mérleg többi tagjával azonos módon - mindig egy adott nagyságú területre vonatkoztatjuk, vagyis az evapotranszspirációt a „területi párolgás” szinonimájaként értelmezzük.



1.3. ábra. A párolgási folyamat típusai (Stelczer, 2000.).

Az evapotranszspiráció mértéke függ egyrészt a rendelkezésre álló víz mennyiségétől, a felhasználható energiától; másrészt pedig a párat szolgáltató (páraleadó); és a párat befogadó (párafeltevő) alrendszerek szállítási kapacitásától (1.3. ábra). Mivel az evapotranszspiráció mértékét alapvetően megszabja az elérhető, rendelkezésre álló vízkészlet, így ennek alapján beszélhetünk:

- Tényleges (aktuális) evapotranszspiráció: amely adott felületről adott helyen és időben elpárolgó víz mennyisége (ET)
- Lehetséges (potenciális) evapotranszspiráció: amely a vízzel korlátlanul ellátott felületekről elpárolgatható víz mennyisége ( $ET_{pot}$ ) Vízfelületek esetében  $ET = ET_{pot}$

### 1.5.1. Párolgást befolyásoló tényezők

Szabad felületek párolgása esetében:

- A párolgó felület feletti légtömeg telítettségi hiánya (vagyis nedvességtartalom függvénye);
- A felszín közelében lévő légmozgás sebessége (szélsebesség)
- Hosszabb időszak alatt: a párolgó felület hővezető képessége, légkör páravezető képessége

Evapotranszspiráció esetében:

- Rendelkezésre álló víz mennyisége;
- Felhasználható energia;
- Párat szolgáltató (páraleadó) és a párat befogadó (párafeltevő) alrendszerek szállítási kapacitása;
- Növénytakaró típusa, kora;
- Talaj összetétele, hőmérséklete, hóháztartási viszonyai nedvességtartalma, fizikai-kémiai tulajdonságai, talajművelés jellege;
- Szélsebesség

Szabad felszínek párolgása. Az evaporációt a párolgás felülete szerint a következőképpen csoportosíthatjuk:

- szabad vízfelület;
- szabad (kopár) talajfelület;
- hó- és jégfelület;
- növényzet felületének; és
- utak, tetők, egyéb burkolt felületek párolgása.

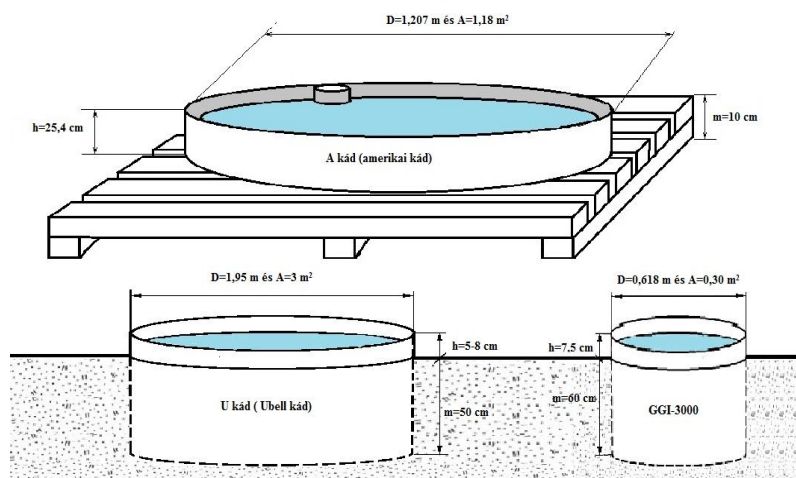
## Szabad vízfelületek párolgása

A szabad vízfelületek párolgásának összetett folyamata különleges és fontos helyet tölt be az evapotranszspiráció becslésében, mivel a páraleadó alrendszer (felszíni víz) sosem korlátozott.

### Szabad vízfelületek párolgásának mérése

Mérés a területre kihelyezett párolgásmérőkkel:

- Wild-féle műszer,
- A, U, GGI párolgásmérő kádak (4. ábra),
- Piche-féle párolgásmérő.



4. ábra. Párolgásmérő kádak (saját szerkesztés).

A párolgásmérő kádak a Wild-féle párolgásmérőnél lényegesen nagyobb felületűek ( $0,1 - 20,0$  m<sup>2</sup>) és térfogatúak, továbbá a szabadban való elhelyezésük (talajfelszínre helyezve, talajba süllyesztve) következtében párolgásuk jobban megközelíti a környezetükben lévő szabad vízfelületek párolgását.

### Szabad vízfelületek párolgásának számítása

A pontbeli mérésen túl a párolgás meghatározásának módjai a következők lehetnek:

- Becslés (éves és havi párolgásértékek sokévi átlagának térképen és grafikonon megadott értékei alapján – a térkép főleg a síkvidéki, a grafikonok a domb- és hegyvidéki párolgási értékek meghatározására);
- Vízháztartási mérleggel, energiaháztartási módszerekkel;
- Meyer eljárással;
- Aerodinamikai módszerrel;
- Kádpárolgás (mért párolgás) adatok alapján

## Szabad felszín párolgásának mérése

A talajpárolgás mérése általában liziméterekkel történik, melyek alkalmasak a háromfázisú zóna (talaj- víz-levegő) szivárgási és vízháztartási viszonyainak vizsgálatára. Amennyiben a liziméterbe növényzetet ültetünk, akkor a talaj párolgása mellett a növényzet párologtatását is, tehát evapotranszpirációt is mérhetünk.

## Szabad (kopár) szárazföldi felületek párolgása (talajpárolgás)

A szabad szárazföldi felületek párolgása a talajt bizonyos mélységig kiszárítja, miközben a vízmozgás a mélyebb szintből az evaporáló talajfelszín felé halad. Színtere: az időjárás hatásának kitett teljes fedőréteg, (általában néhány méter mélységig)

Mértékét befolyásolják:

- Időjárási viszonyok (felszínközeli légréteg párafeltevő képessége);
- Fedőréteg víz- és hőháztartási viszonyai (vízhiány korlátozza a talajpárolgást, ezért a kopár talaj tényleges párolgása általában kisebb, néha lényegesen kisebb, mint a lehetséges párolgástól:  $E_s \ll E_{s,pot}$ )

A páraleadó alrendszer talajpárolgást befolyásoló tényezői:

- Csapadékviszonyok (meleg, nyári időben lehulló csapadék szinte 100%-a elpárolog, csapadék hullás ideje után a fedőréteg vízzel telítődik és a víz határozza meg a párolgás mértékét);
- Talajvízből való utánpótlás lehetősége – elsősorban síkvidéken;
- Fedőréteg talajösszetétele és a talaj szerkezete
- Talajfelszín színe (fehérhez viszonyítva a sárga 7%-al, a barna 19%-al, a szürke 25%-al, a fekete 32%-al többet párologtat)

## Növényzet felületéről történő párolgás

A növényzet felületéről történő párolgás meghatározásánál a növényzet felületén visszatartott vízmennyiség (intercepció) nagyságából kell kiindulni, sőt azzal a megközelítéssel kell élni, hogy a növényzet felületén visszatartott csapadék mind elpárolog.

Így válik az intercepció és a növényzet felületéről történő párolgás azonos mennyiséget kifejező fogalommá. Mértéke függ:

- Lombozat milyenségétől, sűrűségétől (fedettség);
- Csapadék hullás intenzitásától, mennyiségétől;
- Egyéb hidrometeorológiai körülményektől (lég hőmérséklet, szél, légnedvesség).

Jellemzője, hogy a vízpótlás jól meghatározható ideig tart, és ez idő alatt nem is korlátozott, ezért a tényleges és lehetséges párolgás mértéke azonos, továbbá adott növényzet, adott felületnagyság (pl. fenyőfák, de a lombhullató fák leveleinek kifejlődése után ez a feltétel biztosított) esetén a referenciaérték megegyezik a lehetséges és tényleges párolgás értékével.

Növényzet felületéről történő párolgás meghatározása

A növényzet felületéről történő párolgás meghatározására két módon történhet:

- Szabad terepen és növényzet koronája alatt elhelyezett csapadékmérők adatainak különbségeként – pontatlan és egyes esetekben nehezen kivitelezhető
- Mérési sorozatok (csapadék- intercepció) alapján felállított modellekkel (figyelembe véve a növényzet fajtáját, fejlettségét, a csapadék intenzitását, a szél erősségét):
  - Lineáris kapcsolat az intercepció és a növényzet koronája felett mérhető csapadék között;
  - Növényzet felületén növekvő tározódást is figyelembe vevő összefüggéssel;
  - Folyamat időbeni változását követő modellekkel

A növényzet levélfelületén tározott víz csökkenti a növény vízigényét, melyet egyébként a talajból kellene felvennie, illetve növeli a környezet relatív páratartalmát, ami viszont az evapotranszpiráció egyéb összetevőinek (szabad felületeknek) csökkenését eredményezi.

Egyes vélemények szerint a szabad felületek lehetséges (potenciális) párolgásának negyedét az intercepció víz elpárolgása adja.

A csapadék intenzitásától függően a lombzat felületéről a leesett csapadék 10-35%-a párolog el. Rövid idejű, csendes esőknél ez 100% is lehet, de igen heves zápor esetén a zérus felé tart.

Éves vonatkozásban a növényzet csapadék-visszatartó hatása jelentős: 17-40% közötti. Ezek a magas értékek abból adódnak, hogy a csapadékok jelentős része csendes eső vagy rövid ideig tartó csapadék, mely intercepciója a legnagyobb.

A növényzet párologtatásának hajtóereje a párákat befogadó alrendszer, azaz a légtér párabefogató kapacitása.

Azt, hogy a növényzet ténylegesen mennyit párologtat el, a transzspiráció szempontjából másik kritikus tényező a talaj víztartalma, vízellátottsága, vízutánpótlódása, vagyis a hozzáférhető vízkészlet határozza meg.

### 1.5.2. Burkolt felületek párolgása

Városiasodás, gazdasági fejlődés miatt a kontinensek országok, vízgyűjtők területét is egyre nagyobb százalékban fedik burkolatok.

A burkolt felületek jellemzői:

- a burkolt felületek felgyorsítják a lefolyási folyamatot, ennek páracökkentő hatása van;
- burkolatok általában magasabb hőmérsékletűek, mint a természetes felületek, ezért intenzívebben párologtatnak;
- a burkolatok csökkentik a talajfelszín párolgását, ami talajvízszint emelkedést okozhat.

### 1.5.3. A területi párolgás

A párolgás területi eloszlására az a speciális helyzetjellemző, hogy két lehetőségtől (nagy vízfelületek, ill. nagy kiterjedésű pusztaságok) eltekintve a területen az evapotranszspiráció összetett folyamata megy végbe. A területi párolgás értéke közvetlenül nem mérhető, ezért meghatározása közvetett mérésekkel, illetve számítási módszerekkel lehetséges. A potenciális párolgás nehezen mérhető légköri tulajdonság, számos módszer terjedt el számítás alapján történő meghatározására.

A lehetséges ( $ET_{pot}$ ) területi párolgás meghatározása (vizsgált terület > 50-100 km<sup>2</sup>):

- Thornthwaite - Holzman (1924) – a Földön különböző részein elhelyezett szabványosított liziméterek adatainak statisztikai feldolgozása alapján;
- Budyko (1971) – a térszín sugárzási mérlegének részletes fizikai elemzése útján;
- Penman (1956) – szabad vízfelületek számított értékének szorzószámmal történő módosításával;
- Szesztay-féle összefüggéssel (1960).

A tényleges (ET) területi párolgás meghatározása pedig:

- becsléssel tapasztalati képletek vagy vízháztartási mérleg alapján;
- Szesztay eljárással;
- sugárzási módszerrel történhet.

A tényleges és lehetséges területi párolgás közötti különbséget az jellemzi, hogy a lehetséges területi párolgás számításakor a párolgási felület változékonyságán kívül csak a párárt befogadó alrendszer tulajdonságait kell figyelembe venni.

A tényleges területi párolgás meghatározásához azonban a párát szolgáltató alrendszer állapotát is ismerni kell. A tényleges párolgás mértéke soha sem nagyobb, mint a potenciális (lehetséges) párolgásé.

Lehetséges területi párolgás meghatározása

A rendelkezésre álló bőséges szakirodalomból a potenciális evapotranszpiráció néhány fontos számítási eljárása a következő.

*Becsléssel*

Magyarország 50 – 100 km<sup>2</sup> -nél nagyobb vízgyűjtőin a Szesztay (1960) módszer alapján:

$$(ET)_{\text{pot}} = 0,197 \times t_a^{(10)} + 103 \text{ (mm/év)} \quad (1.5)$$

ahol:  $t_a^{(10)}$ : a 10 °C feletti napi középhőmérsékletek évi összege;

Az éven belüli eloszlás (havi összegek) a szabad vízfelületek párolgási viszonyait jellemző havi értékek változása alapján becsülhető –  $(ET)_{\text{pot}}$  és  $E_w$  között lineáris kapcsolatot feltételezve.

Tényleges területi párolgás meghatározása

- I. Turc-módszer: az évi csapadékmennyiség (C) és az évi átlagos középhőmérséklet (T) alapján becsüli a tényleges párolgást:

$$E_T = \frac{C}{\sqrt{0,9 + \frac{C^2}{L^2}}} \quad \text{ahol } L = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad (1.6)$$

És ennek továbbfejlesztett változata Szász(1988) szerint, ami a levegő hőmérséklete, a sugárzó energia nagysága, a talaj nedvességtartalma, a csapadék nagysága, valamint a levegő párolgató képessége közti összefüggésre épül:

$$PET = (G + 50) \frac{0,013T}{T+15} \quad (1.7)$$

ahol:

G: a globálsugárzás napi összege [kcal/cm<sup>2</sup>]

T: a napi középhőmérséklet [°C]

Ez a módszer az egész világon elterjedt, mivel igen egyszerű, s könnyen hozzáférhető meteorológiai adatokkal, a napi középhőmérséklettel és a globálsugárzással számol.

- II. Szesztay (1960) módszerrel, melynek eredményei a következők:

$$\text{Téli hónapokra:} \quad ET = (ET)_{\text{aa}} \pm \Delta ET \quad (1.8)$$

$$\text{Tavaszyár-őszi hónapokra:} \quad ET = \frac{(ET' \times (ET)_{\text{aa}})}{100} \quad (1.9)$$

### III. Penman-Monteith módszer

Az evapotranszpiráció számítására szolgáló számos összefüggés közül a párolgás és a párologtatás tényleges folyamatát talán leginkább közelíti a Penman-Monteith módszer.

A napi potenciális evapotranszpirációt az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$\text{LET} = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p (E - e) \frac{1}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad (1.10)$$

ahol:

- LET: az evapotranszpiráció látens energiaárama (kJ/m<sup>2</sup>s)  
R<sub>n</sub>: a sugárzási mérleg energiája a felszínen (kJ/m<sup>2</sup>s)  
G: a talaj által forgalmazott hőenergia (kJ/m<sup>2</sup>s)  
ρ: a levegő sűrűsége (kg/m<sup>3</sup>)  
c<sub>p</sub>: a nedves levegő állandó nyomáson vett fajhője (kJ/kg°C)  
E-e: a telítési hiány (kPa)  
r<sub>a</sub>: aerodinamikus ellenállás (s/m)  
r<sub>c</sub>: növényállomány ellenállása (s/m)  
Δ: telítési párányomás 1°C-ra eső változása (kPa/°C)  
γ: pszichrometrikus konstans (kPa/°C)

### IV. Antal (1968) formula

Az Antal-féle empirikus módszer elsősorban Magyarországon használatos, de külföldön is ismert.

$$\text{PET} = 0,9[E - e]^{0,7} (1 + \alpha T)^{4,8} \quad (1.11)$$

ahol

- E: a napi középhőmérséklethez tartozó telítési párányomás (Hgmm)  
e: a napi átlagos párányomás (Hgmm)  
α: a levegő hőtágulási együtthatója (1/273)  
T: a napi középhőmérséklet (°C)

## 1.6. LEFOLYÁS, ELFOLYÁS

A lefolyás a vízháztartási mérlegben a felszíni vizek mennyiségét jellemző tag.

A lefolyás a víz mozgása a felszínen és annak felszíne alatt a víz természetes körforgásában, mértékegysége: milliméter. A lefolyás kialakulásának lényege, hogy a lehullott eső, illetve az olvadó hótakaróból származó hólé bizonyos része a földfelszín lejtőin – a nehézségi erő hatására – megindul, a domborzatok legmélyebb pontjain összegyülekezve először a természetes mélyvonulatokat követve, majd a már bevált medret bizonyos magasságig megtöltve halad a völgyfenék lejtésének irányába. A völgyfenéken egyre nagyobb vízfolyásokat alkotva jut el a végső befogadóig, a tengerekig.

A felszíni lefolyás kezdeti szakasza – mint a vízgyűjtő területen lefolyó víz – jellemzően területi jelenség, melyet térfelszíni (felületi) lefolyásnak nevezünk, míg a második szakaszban – amidőn a víz egy jól körülhatárolható vízfolyásmederben folyik – jellemzően vonal menti jelenség, melyet felszíni lefolyásnak hívunk. A lefolyás térben összevont, időegységre vonatkoztatott eredője a vízfolyás egy szelvényében mért vízhozam. A vízhozam folyamatos mérésére a vízfolyásokon mérő-műtárgyakat építenek, szelvényeket jelölnek ki, melyeken a kialakuló vízállást mérik.

A felszín alatti lefolyás esetében is két típust különíthetünk el: közvetlenül a vízzáró réteg felett lefolyó vizet; és a talaj felszíne alatt mozgó hipodermális vizet. Ez utóbbi akkor következik be, amikor a víz a talaj tulajdonságai és az esőintenzitás következtében úgy szivárog be a talajba, hogy nem éri el a talajvizet, hanem laterálisan (oldalirányban) a lejtő irányába mozdul el.

A felszínre érkező csapadék előbb a növénytakarót nedvesíti át, majd a felszín mikro mélyedéseit tölti ki. A víz egy része beszivárog, elpárolog, a fölös vízmennyiség vízlepel és kis vízerek formájában összegyülekezve az erózióbázis felé mozog. Az eső kezdetétől számítva a lefolyás akkor indul meg, amikor az eső intenzitása a beszivárgás és párologás ellenében meghaladja a növényzet által felfogott és a mikro mélyedésekben visszatartott vízmennyiséget.

A lefolyást több tényező is befolyásolja, ezek irodalmi adatokból jól ismertek:

- morfológiai tényezők,
- meteorológiai tényezők,
- talaj hatása,
- földhasználat befolyásoló hatása,

Az éghajlati tényezők közül a csapadék esetében a rövid ideig tartó, de heves esők hatására a felszínen sokkal nagyobb vízhozamok folynak le, mint akkor, ha ugyanaz a csapadékmennyiség hosszabb idő alatt, kisebb hevedséggel hullik le. Ezért a nyári záporok, rendszerint nagyon megnövelik a felszíni vízfolyások vízhozamát.

Ugyancsak nagy a felszíni vízfolyások vízhozama tavasszal is, ha az enyhülés hirtelen érkezik, és ezért a hó gyorsan olvad. A hóolvadásból származó vizek gyakran fagyott, vízzel teljesen telített talajon folynak le. Jelentős hatásuk van a domborzati viszonyoknak, a terület tagoltságának, a lejtők meredekségének, hosszának és alakjának. Lankásabb lejtőkön viszont a víz lassabban folyik, és több ideje marad arra, hogy a talajba szivároгjon. A lejtő hosszával arányosan nő a lefolyó vízlepel rétegvastagsága és ezzel tömege, sebessége. A lejtőhossz és a lejtőhajlás között összefüggés tapasztalható: általában minél nagyobb a lejtőhajlás (lejtőszög), annál kisebb a lejtőhossz.

### 1.6.1. A területi lefolyási tényező meghatározása

Amikor a vizsgált terület lefolyási szempontból annyira heterogén, hogy egyetlen lefolyási értékkel nem lehet, nem szabad jellemezni, akkor részterületenként határozzuk meg a lefolyási arányt, a teljes területre pedig a részterületekkel súlyozott átlagos érték vonatkozatható.

$$\alpha_a = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i \cdot F_i}{F} \quad (1.12)$$

ahol:  $\alpha_a$  - átlagos lefolyási tényező  
 $\alpha_i$  - a részterületek lefolyási tényezői  
 $F_i$  - a részterületek (km<sup>2</sup>)  
 $F$  - a teljes terület (km<sup>2</sup>)

### 1.6.2. A beépített területek lefolyási tényezői

Az urbánus területek egyik sajátossága a szabad felületek nagy részének mesterséges, többnyire vízzáró hatású burkolattal való beépítése, lefedése. Ennek következtében a beszivárgás mértéke jelentősen csökken, a felszíni lefolyás pedig megnő. Még akkor is, ha alföldi jellegű területet vizsgálunk. Tehát az adott területen a vízzáró felületek mérete összefügg a terület jellegével, a területhasználattal.

A terület jellege	Vízzáró felületek aránya
falusi település	0,15 - 0,30
családi házas városrész	0,20 - 0,40
társasházás városrész	0,30 - 0,50
tömbös lakótelep	0,40 - 0,70
városközpont, kereskedelmi övezet	0,60 - 0,90
régi belváros, ipartelep	0,80 - 0,95

1.1. táblázat: A  $\Psi$  lefolyási tényező értéke az MSZ-04-134:1991 szerint.

A felület jellege	$\Psi$ - lefolyási tényező
pala, fémlemez, cserép és szigetelőlemez burkolatú tetős építmények	0,9-0,95
egyéb tetők	0,80-0,90
aszfalt burkolat	0,85-0,90
kövezet	0,40-0,70
zúzott kőburkolat	0,25-0,45
kertek, parkok	0,05-0,10

1.2. táblázat: A  $\Psi$  lefolyási tényező értéke a DIN 1986-2 szerint.

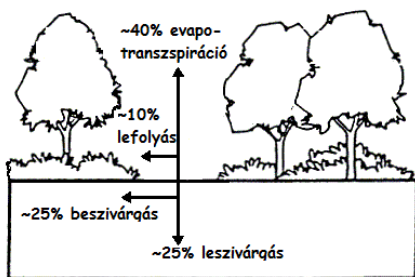
A tetőfelület jellege	$\Psi$ - lefolyási tényező
$\lambda \geq 15^\circ$ lejtésű tető	1
$\lambda < 15^\circ$ lejtésű tetők	0,8
zöldtetők	0,3
gyöngykavics szórású tetők	0,5

A lefolyási tényező értéke általában a területhasználat intenzitásával arányosan nő. Az 1.5. ábrán a különböző területhasználati típusok esetén bekövetkező lefolyó, illetve beszivárgó csapadékhányadokat olvashatjuk le. Az erdő, mint láthatjuk, a lefolyó víz legnagyobb részét visszatartja.

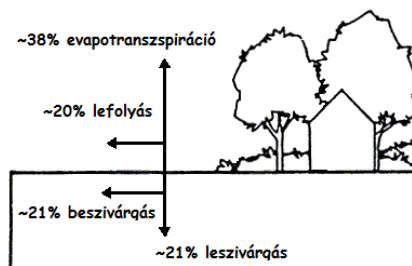
Egy nagyvárosban pedig nagyon sok felület le van betonozva, aszfaltozva, térkövezve (utak, terek, épületek, stb.), a víznek kevés lehetősége van beszivárogni a talajba, ezért akár 60%-os is lehet a lefolyás.

A területhasználat léptéke

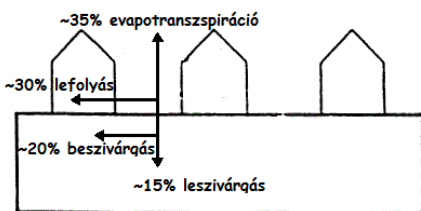
A terület használat és a városodás mértéke szoros összefüggésben áll. A városok méreteik alapján lehetnek kis- és közepes város, nagyváros, és megváros típusúak. Hazánkban az utóbbi csoportba tartozó település nincs. A területhasználat, városodás mértéke és a párolgás, lefolyás, beszivárgás mértéke közötti kapcsolatot mutatja be az 1.5 ábra:



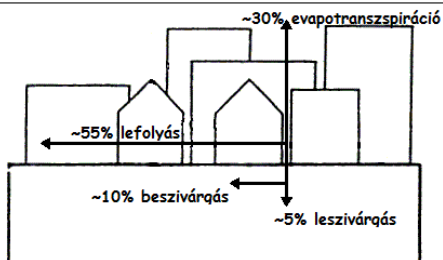
természetes borítású felszín (erdős)



10%-20% víz számára áthatolhatatlan felszín  
(pl. külterületi gazdaságok, telephelyek)



35%-50% víz számára áthatolhatatlan felszín  
(pl. rurális területek)



75%-100% víz számára áthatolhatatlan felszín  
(pl. urbánus területek)

1.5. ábra: Az áthatolhatatlan felületek és a felszíni lefolyás összefüggése (saját szerkesztés).

A lefolyási hányadot, vagyis egy konkrét hidrometeorológiai helyzetben, adott területen bekövetkező lefolyást a vízgyűjtő terület nagyságából ( $T$ ; ha), a vízgyűjtőterületre hullott csapadék mennyiségéből ( $h$ ; mm) és a lefolyási tényezőtől ( $\alpha$ ) számíthatjuk ki:

$$Q = 10\alpha h T \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (1.13)$$

A fajlagos lefolyás kiszámításához az eredményt el kell osztanunk a területtel, ami így kiejti a területi változót az egyenletből, a módosult összefüggés tehát a következő:

$$Q = 10\alpha h T / t = 10\alpha h \text{ [m}^3/\text{ha/s]} \quad (1.14)$$

## 1.7. BESZIVÁRGÁS, LESZIVÁRGÁS

Beszivárgásnak nevezzük azt a folyamatot, amikor a felszínre elért csapadék egésze, vagy egy része a felszín alá jut, a talajpórusokat részben, vagy egészen telítve a talaj háromfázisú zónájában visszamarad. Ha a beszivárgott csapadék eléri a kétfázisú zónát, azaz a talajvíz szintjét, *szivárgásról*, vagy *leszivárgásról* beszélünk. A beszivárgás és a talaj legfelső rétegében kialakuló szivárgás közvetlen hatással van a vízháztartás más elemeire. Ha a beszivárgás intenzitása nagy, akkor csökken a lefolyás lehetősége és a párolgás is csak a nedves talajfelszínről történik.

Ha a beszivárgás lehetősége kisebb, akkor felszíni vízállások keletkezhetnek, amelyből nagyobb lehet a párolgás aránya és felszíni lefolyás is kialakulhat.

A beszivárgás függőleges irányú és általában a kezdeti háromfázisú szivárgás elég rövid idő alatt kétfázisúvá válik.

A beszivárgásnak három szakaszát különböztethetjük meg:

1. Felületi beázás, a talajfelszín benedvesedése, a víz összegyülekezése a felszíni egyenlőtlenésekben.
2. Gravitációs beszivárgás a nagy pórusok, repedések, a gyökér- és állatjáratok feltöltődését jelenti. Ezzel egy időben, esetleg időben kissé eltolódva történik a kapilláris beszivárgás a kisebb járatokba.
3. Beszivárgás a réteg teljes telítődése esetén, amikor a beszivárgás minimumra csökken, lassan megállapodik és gyakorlatilag egy állandó értéket vesz fel.

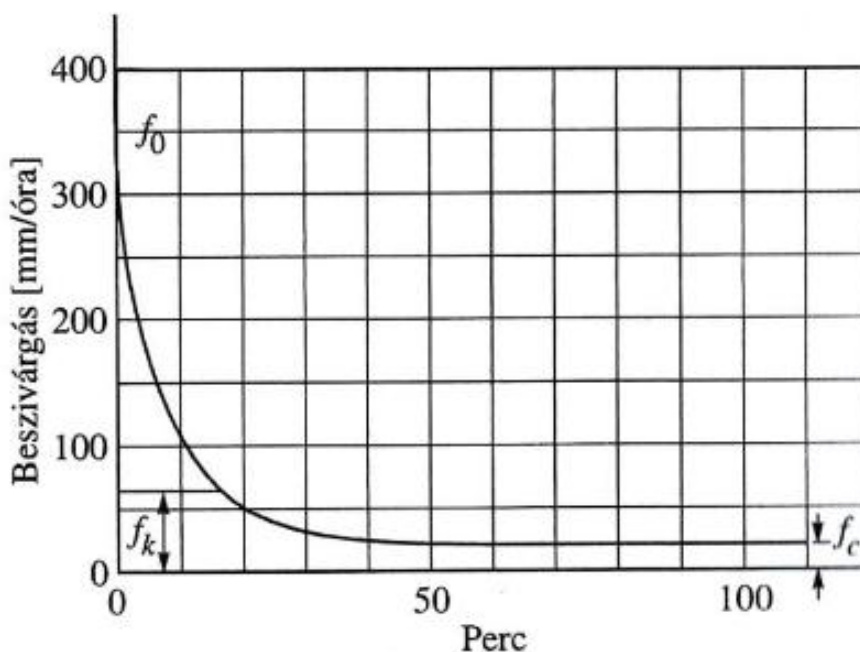
A beszivárgás időbeliségét az intenzitás időbeli változásával, valamint a beszivárgási görbével szoktuk jellemezni. A beszivárgás intenzitása az eső első perceiben a legnagyobb, és rövid ideig állandó, mert ekkor a talaj még minden csapadékot elnyel. Az intenzitás ezt követően kezd csökkenni, amely csökkenés először közel egyenletes, majd ahogy a talaj egyre inkább telítődik, úgy az intenzitás mérséklődése is egyre inkább csökkenő mértékű, fokozatosan közelítve a teljes telítettség állapotában is esetlegesen meglévő szivárgási intenzitást (1.6. ábra). A beszivárgás sebességét leíró összefüggések közül a Horton-féle és a Philip-féle megközelítés terjedt el. A beszivárgás víznyelési szakaszára a Philip-egyenlet, a vízáteresztési szakaszra a Horton-egyenlet ad jobb közelítést. A két egyenlet a következő:

$$\text{Philip-egyenlet:} \quad f = S_p t^{1/2} + f_c \quad [\text{mm/h}] \quad (1.15)$$

$$\text{Horton-egyenlet:} \quad f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\alpha t} \quad [\text{mm/h}] \quad (1.16)$$

ahol:

- $f$  = a  $t$  időponthoz tartozó beszivárgási sebesség [mm/h];
- $f_c$  = az állandósult beszivárgási sebesség [mm/h];
- $f_0$  = a beszivárgás kezdeti értéke [mm/h];
- $e$  = természetes logaritmus (2,718);
- $\alpha$  = a talajra jellemző érték;
- $t$  = a vizsgálat kezdetétől eltelt idő;
- $S_p$  és  $c$  egyenletparaméterek, melyek a talajtípussal mutatnak összefüggést.



1.6. ábra. A beszivárgás intenzitásának csökkenése az idő függvényében.

A felszín alatti közegben a vízmozgásra ható erők közül a legfontosabbak: a gravitáció, a hidraulikus nyomáskülönbség, a kapilláris potenciálkülönbség, a párapomás különbség. Hogy ezen erők közül melyek, milyen mértékben hatnak, azt a talaj vagy kőzet víztartalma és vízformái határozzák meg. Ennek alapján a vízmozgás három alapvető típusa különböztethető meg:

- vízmozgás vízzel telített (kétfázisú) talajban vagy kőzetben,
- vízmozgás vízzel nem telített (háromfázisú) talajban vagy kőzetben,
- páramozgás

Ha a felszín alatti közeg szilárd fázisának valamennyi pórusát kitölti a folyadékfázis (kétfázisú szivárgás), tehát nincs levegő a közegben, a víz mozgását a gravitációs erő és a hidraulikus nyomáskülönbség határozza meg. Ez elsősorban a talajvízszint alatti rétegekben fordul elő, de tartós elárasztás, vízborítás esetén a felsőbb ún. pangóvízes rétegekben is. A szivárgás sebességét úgy definiáljuk, mint az áramvonalakra merőleges egységnyi keresztmetszeten az időegység alatt átfolyt vízmennyiséget.

Laboratóriumi kísérletekkel igazolták, hogy a talaj vízáteresztő képessége, azaz a talajban szivárgó víz sebessége arányos az adott áramlási szakaszon (s) érvényesülő nyomásvesztéssel ( $dh/ds$ ), vagyis a hidraulikus gradienssel (I), valamint a talajra jellemző arányossági tényezővel (k), amelyet *szivárgási tényezőnek* neveznek.

### 1.7.1. A szivárgási tényező

Darcy megállapítása szerint a szivárgás sebessége egyenesen arányos a hidraulikus eséssel.

$$v=k (dh/ds) = k I \quad (1.17)$$

ahol:

$v$  - a szivárgás sebessége [m/s],

$k$  - szivárgási tényező, arányossági tényező [m/s],

$dh/ds$  - mozgást létrehozó vízszintkülönbség és szivárgási utak hányadosa [-],

$I$  - hidraulikus esés [-].

Az összefüggés *Darcy-féle törvény* néven ismeretes, amellyel az egyenletesnek feltételezett, lamináris szivárgás jellemezhető.

A szivárgási tényező, mint a közeg egyik fő jellemzője a következő tényezőktől függ: a szemátmérettől és a szemeloszlástól, a hézagterefogattól, illetve a hézagtényezőtől, az aktív keresztmetszettől, a pórusokban szivárgó folyadék viszkozitásától és sűrűségétől, amelyek egyúttal a hőmérséklettől is függnek, a szemcsék alakjától és elrendeződésétől, a kőzetfajtától, a pórusokban lévő oldatlan gáz mennyiségétől.

A porózus felszín alatti közegek jellemző típusaiban a szivárgási tényező következő értékei jellemzőek.

1.3. táblázat - A szivárgási tényező számszerű értékei

Talajtípus	$k$ szivárgási tényező (m/s)
Kavicsos	$10^{-1} - 10^{-3}$
Homokos	$10^{-3} - 10^{-5}$
Homokliszt	$10^{-5} - 10^{-6}$
Iszapos	$10^{-6} - 10^{-7}$
Agyagos	$< 10^{-7}$

## Felhasznált szakirodalom:

Barron, O. V., Barr, A. D., & Donn, M. J.: Effect of urbanisation on the water balance of a catchment with shallow groundwater. 2013. Journal of Hydrology, 485.

Gayer J. - Ligetvári F.: Települési vízgazdálkodás, csapadékvíz-elhelyezés. Budapest VITUKI Kht, 2006.

Hajnal G. - Kovács Á.: A vízmérleg összetevőinek számítása városi környezetben, 2009 Hidrológiai Közöny 89 (3)

Huzsvai L. - Rajkai K. - Szász G.: Az agroökológia modellezéstechnikája Elektronikus tankönyv az Oktatási Minisztérium Felsőoktatási Tankönyv és Szakkönyvtámogatás keretében. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen. 2005.

Juhász J. Hidrogeológia. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002.

Marsalek, J., Cisneros, B. J., Karamouz, M., Malmquist, P. A., Goldenfum, J. A., & Chocat, B.: 2008. Urban Water Cycle Processes and Interactions: Urban Water Series-UNESCO-IHP (Vol. 2). CRC Press.

Pálné Schreiner Judit: Hidrológia - Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar, Közű, Geodézia és Környezetvédelem Tanszék. „Az építész- és az építőmérnök képzés szerkezeti és tartalmi fejlesztése”. HEFOP/2004/3.3.1/0001.01. Európai Unió Strukturális Alapok. 2007.

Stelczer, K. A vízkészlet-gazdálkodás hidrológiai alapjai: egyetemi és főiskolai tankönyv. ELTE Eötvös Kiadó. 2000.

Szesztay Károly: Hidrológia I-II. Tankönyvkiadó, Budapest. 1963.

Thyll Sz. – Bíró T. Alkalmazott hidrológia, a környezetgazdálkodás hidrológiai és hidraulikai alapjai DE ATC, Debrecen 2001.

Thyll Sz. (szerk.) Talajvédelem és vízrendezés dombvidéken. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1992.

Vermes, L.: Vízgazdálkodás mezőgazdasági, kertész-, tájépítész-, és erdőmérnök hallgatók részére. Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. 1997.

MSZ EN 12056-3:2001 - Gravitációs vízvezető rendszerek épületen belül. 3. rész: Csapadékvíz-elvezetés, kialakítás és számítás.

MSZ-04-134-1991. A csatornavezeték méretezése, a mértékadó szennyvízterhelés meghatározás

## 2. TELEPÜLÉSEK IVÓVÍZKEZELÉSE

### 2.1. A VÍZ EREDETE, MINŐSÉGE

Földünk gömbhéjas szerkezetű. A külső gömbhéjakat összefoglaló néven földrajzi burkolatnak nevezzük, melynek elemei: az atmoszféra, a hidroszféra, a litoszféra és a bioszféra. A bioszféra, vagyis a Földnek az élővilág által meghódított része részben az atmoszférában, részben a hidroszférában és a litoszférában helyezkedik el. Tehát a víz - a levegővel és a talajjal együtt - ÉLETKÖZEG. Ez a közeg viszonylag bőségesen áll rendelkezésünkre, hiszen Földünk több mint kétharmadát víz borítja, de kevés a használható víz, mivel Földünk vízkészletének csupán 2 %-a édesvíz. A megfelelő minőségű víz korunk egyik legfontosabb nyersanyaga, bár vízkészletünk mennyiségileg elegendő, minőségileg egyre kevesebb használható fel gazdaságosan a lakosság, az ipar és a mezőgazdaság ellátására.

A vízminőség a víz fizikai, kémiai és biológiai, stb. tulajdonságainak összessége. Vízszennyeződésnek nevezünk minden olyan külső hatást, mely a vízterek minőségét úgy változtatja meg, hogy a víz alkalmassága a benne zajló természetes folyamatok biztosítására és az emberi fogyasztásra csökken vagy megszűnik. A vízszennyezés túlnyomórészt nem természeti, hanem emberi hatás, így a szennyezés megelőzése, illetve mértékének szabályozása is az emberek kezében van. Az ipari tevékenység - a nyersvíz kivételével és a szennyezett víz visszavezetéssel - a levegőbe és a talajra kibocsátott emisszió révén közvetlenül hat a vizekre. A levegőből kiülepedő szennyező anyagok helyileg és nagyobb térségben is növelhetik a talajok és a vizek savasságát. A vízterek több vonatkozásban teljesen eltérnek a szárazföldi rendszerektől. A víz fizikai, kémiai tulajdonságai, valamint a vízáramlás eróziós hatása miatt a különböző anyagok cirkulációja és energiák áramlása a vízi rendszerben relatíve gyorsabb.

A különféle vizek mind csapadékból származnak. Amint a víz eső, hó stb. alakjában hull a légkörben, a vákuumhatás folytán a levegő szennyezőanyagait (pl. port, széndioxidot, mikroorganizmusokat) felveszi, tehát már a levegőben szennyeződik. A föld felszínére lejutott csapadék egyik része a föld felszínén mozog, másik része a talajba szivárog.

A föld felszínén mozgó, előbb-utóbb a felszíni vízfolyásokba, természetes és mesterséges tározóterekbe, tavakba jutott víz a *felszíni víz*. Miközben a hidrológiai körfolyamatnak megfelelően a tengerbe folyik vissza, rendszerint további szennyezőanyagokat - szerves és szervetlen anyagokat, mikroorganizmusokat stb. - vesz fel. A belekerült tápanyagok folytán biotóppá (élőhelyé) válik, vagyis benne a mikroorganizmusok életközössége jön létre.

A szervesanyagokat (pl.  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) tartalmazó vizekben a planktonok, a jobbra szervesanyag-tartalmú vizekben a baktériumok az uralkodók. Az olyan felszíni vizek, melyekben a különböző szennyezőanyagok, a tápanyagok és a mikroorganizmusok fordulnak elő, vízellátás céljából való felhasználás előtt tisztításra szorulnak.

A talajba szivárgó felszíni víz a talajvíz. A beszivárgás során a felső talajrétegekből szervesanyagokat (pl.  $\text{NaCl}$ ) és szerves anyagokat old fel. A kolloidális méretű szennyezőanyagok és a mikroorganizmusok rendszerint a talaj felső rétegeiben kiszűrődnek, vagyis a talaj a vizet tisztítja. A nagyobb mélységben található felszínalatti vizek (rétegvíz, artézi víz) a tápanyaghiány következtében rendszerint nem tartalmaznak mikroorganizmusokat. Érthető tehát, hogy a felszín alatti vizeket általában szívesebben használják fel vízellátási célokra, mint a felszíni vizeket, annak ellenére, hogy ezeket is sokszor az oldott anyagoktól stb. meg kell előzőleg tisztítani. A felszín alatti vizek további fontos csoportját a karsztvizek képviselik. Ezek a karsztosodott mészkő- és dolomit-közetek repedés- és járat-rendszereiben találhatók. Az ilyen vizek laza szemcsés kőzetben levő vizeknél könnyebben szennyeződhetnek (pl. zivatarok, hóolvadás időszakában). Az említett felszín alatti vizek a hazai vízellátásban egyaránt nagyon fontos szerepet játszanak.

A víz minőségét annak fizikai, kémiai, biológiai, bakteriológiai és radiológiai sajátosságai befolyásolják. Ezeknek a vízminőséget alkotó komponenseknek az értékei az idő függvényében általában változnak. Az ivóvízként vagy ipari vízként, stb. történő alkalmazáskor a tisztítás-technológiai folyamatok szempontjából tehát értéktartományukat, a vízminőségi igények szempontjából megengedhető jellemzők előírt határértékét kell figyelembe venni.

A víz fizikai sajátosságai közül a lényegesebbek a következők: hőmérséklet, szag, íz, szín, zavarosság, lebegőanyag-tartalom. A természetes vízkészletek hőmérsékleti viszonyai eredetük szerint eltérőek. A felszíni vizek hőmérséklete a hidrológiai viszonyoktól függően erősen ingadozó. A talajfelszín alatti víz hőmérséklete, a mélyebb szintek felé haladva egyre állandóbb. A víz szaga és íze a benne oldott gázoktól, az oldott sóktól valamint az ott található életközösségtől függ. A víz szagát és ízét a tömegesen elpusztult mikroorganizmusok valamint a szerves anyagok is befolyásolhatják. A gázok közül pl. az anaerob lebontási folyamatok során keletkező kénhidrogén ( $\text{H}_2\text{S}$ ) kellemetlen szagot kölcsönöz. Az oldott sók közül pl. a kalcium-szulfát ( $\text{CaSO}_4$ ) fanyar, a magnézium-szulfát ( $\text{MgSO}_4$ ) kesernyés, a konyhasó ( $\text{NaCl}$ ) sós, a vas és mangán kellemetlen ízt ad a víznek.

Különösen nehéz gondot jelentenek egyes - a szennyvizekkel együtt a vízbe jutó - szerves anyagok (pl. fenolok, klórozott szénhidrogének, aromás nitrogén-vegyületek) hatásának kiküszöbölése.

A biológiai eredetű íz és szaganyagok a felszíni és talajvizek fokozott elszennyeződésével egyidejűleg egyre nagyobb gondot okoznak a víztisztítási technológiákban. Előfordul, hogy az íz és szag a vízelosztó csőhálózatbeli biológiai folyamatok miatt jelentkezik (elsősorban az ipari vízelosztó hálózatban). A víz *színe* a visszavert fényből ítéelhető meg. A tiszta víz, ha a rétegvastagsága kicsiny, színtelen, ha a vastagsága nagy, halványkék színű. A felszíni vizek nagyon színesnek tűnnek néha a bennük levő színes szuszpendált anyagok miatt, ez azonban csak látszólagos szín. A tényleges színt: a kolloidális vasvegyületek, huminanyagok, házi- és ipari szennyvizek (pl. textilipari festékanyagokat tartalmazók) idéznek elő, és a növényi szervezetek (pl. algák) túlszaporodása okozza. A színes víz ivásától a fogyasztók már eleve idegenkednek. A víz *zavarosságát* a benne levő szuszpendált anyagok idézik elő. Ezek sokfélék lehetnek, anyaguk, méretük széles tartományban változhat. A felszíni vizekbe a szerves és szervetlen lebegőanyagok elsősorban a felszíni erózió és a szennyvízbevezetés révén kerülhetnek. A felszíni vizekbe jutó egyes szerves anyagok a mikroorganizmusok elszaporodásához vezetnek, s így a zavarosság fokozódik. Minél nagyobb a víz zavarossága, annál kevésbé átlátszó. Ennek a ténynek különösen a felszíni vizeknél nagy a jelentősége. Kis átlátszóság esetében a vízréteg egészen rövid úton elnyeli a fényt, tehát bizonyos mélységnél tovább nem hatol le, így a vízben, a fotoszintézis hiányában a növényi organizmusok oldott oxigéntermelési folyamatai elmaradnak.

A víz *kémiai* jellemzőit a vízben oldott szerves és szervetlen anyagok minősége és mennyisége határozza meg, mely a vízminősítés szempontjából döntő szerepet játszik. Ezek az oldott anyagok a levegőből, a talajból, a mederfenékről, a vízgyűjtő terület felszínéről, továbbá a vízben élő mikroorganizmusok anyagcsere folyamatai és pusztulásuk révén jutnak a vízbe. A kémiai analízis adatait összevetve a vízhasználat által jelentkező vízminőségi igényekre tekintettel a követendő víztisztítási technológia meghatározható. A vízminőséget jelentő fontosabb kémiai komponensek: az oxigénháztartás mutatói (oldott oxigén, oxigéntelítettség, oxigénfogyasztás (kémiai oxigénigény= KOI), biokémiai oxigénigény (BOI); az összes oldott só tartalom, klorid-ion, szulfid-, szulfát-ion, kalcium-, magnézium-ion, ammónia-, nitrit-, nitrát-ion, vas-, mangán-ion koncentráció, szén-sav-tartalom, pH, keménység, foszfor és foszfát-ion tartalom, mérgező anyagok, stb.

A vízkészleteket sok ezerféle állat és növény népesíti be. A víz *biológiai* tulajdonságait a vízben élő növényi szervezetek és állati szervezetek határozzák meg. A növényi szervezetek energiájukat a Nap révén, vagy kémiai úton kapják, melyek közül a legfontosabbak a baktériumok és az algák. Az állati szervezetek táplálkozásukhoz a növényekben raktározott szerves anyagokat használják fel és ezek lebontása révén szerzik energiájukat.

A mikroszkópikus méretű állatvilág zöme ragadozó, vagyis a vizet a feleslegesen elszaporodó növényi szervezetektől igyekeznek megtisztítani. Ilyen irányú tevékenységük a biológiai szennyvíztisztítás területén is nagyon lényeges, mert az elfolyó tisztított szennyvíz tisztává tételét elősegítik. A mikroszervezetek literenkénti egyedszáma gyakran a több száz ezret, sőt néha a több százmilliót is elérheti. Nagy számuk miatt aktív felületük óriási tehát szerepük vizeink minőségének alakításában rendkívül fontos lehet, hiszen egyik leglényegesebb élettani sajátosságuk az anyagcsere. Az anyagcsere-folyamatot a környezeti tényezők (pl. fizikai, kémiai) befolyásolják. Az élő szervezetek anyagcseretermékeikkel azonban maguk is befolyásolják a környezetüket. Elhalásuk után testük szerves anyagai lebomlanak, s a keletkező végtermékek a víz minőségét befolyásolják. Különösen erőteljes jelentkezik ez a hatás a vízvirágzással kapcsolatban. Az élővizet tehát mindig biotópnek kell tekinteni, hiszen bennük a természetes körülmények között mindig élőlények is léteznek.

Az ivóvízellátás céljaira felhasznált víz minősítésének módjai fizikai, kémiai, bakteriológiai minősítési vizsgálatokat jelentenek. Ehhez Magyarországon az érvényes vízminőségi előírásokat alkalmazzák (MSZ 450/1-1989: Ivóvíz minősítés fizikai és kémiai vizsgálat alapján, MSZ 450/2-1991: Ivóvíz minősítés mikroszkopikus biológiai vizsgálat alapján, MSZ 450/3-1991: Ivóvíz minősítés mikrobiológiai vizsgálat alapján). Az ivóvízben: nem lehet semmiféle káros élőlény, mint pl. plankton, baktérium vagy vírus, nem lehet benne továbbá emberi vagy állati ürülekből származó élőlény. (Ennek indikátora az *Escherichia coli* baktérium, amely nem fertőző ugyan, de ürülékkel való kapcsolatra utal.) A vizet az ún. *mikrobiológiai vizsgálatok* kapcsán pl. az ún. Coli-szám alapján minősítik, mely az a legkisebb vízmennyiség ml-ben, amelyből a Coli-baktérium kitenyészthető. A fizikai minősítés során a megfelelő ivóvíz átlátszó, színtelen, szagtalan, üdítő ízű és kívánatos hőmérsékletű folyadék (ne legyen több 15 °C-nál magasabb). Nem lehet továbbá a vízben agresszív szén-sav (a korrózió elkerülésére), keménysége pedig ne legyen több mint 250 CaO g/m<sup>3</sup>.

Az ipari víz minőségi kritériumai sokszor még az iparágon belül is eléggé eltérőek, a tendencia azonban olyan, hogy azok mindinkább az ivóvíz-minőség felé mutatnak. Igen fontos, hogy a szolgáltatott víz minősége mindig azonos legyen. Az ipari víz ne tartalmazzon biológiai eredetű, illetve biológiai folyamatokat elősegítő anyagokat (mikroorganizmus, tápanyag), színeződést okozó anyagokat (vas, mangán), lerakódást okozó anyagokat (karbonát-keménység), korróziót okozó anyagokat (mész-szén-sav egyensúly, egyes anionok). A legnagyobb mennyiségű ipari vízigénnyel a hőerőművek, a későbbiekben pedig az atomerőművek jelentkezik, ahol a vizet hűtésre használják. A hűtővíztől elsősorban azt követeljük meg, hogy ne tartalmazzon agresszív savakat, szulfátot, kloridot, továbbá a csövek eltömődését okozó lerakódó anyagokat és algákat.

A vízellátás leggazdaságosabban akkor valósítható meg, ha a víz mennyisége elegendő, az igényeket megközelítő minőségű és a hasznosítás közelében található. Az ipari fejlődésével a kívánt mennyiségű és minőségű víz egyre nehezebben és költségesebben biztosítható.

A vízkészlet-gazdálkodás a vízkészleteknek és a vízhasználók vízigényének mennyiségi és minőségi, valamint időbeli és térbeli összehangoláshoz szükséges tevékenységet fogja össze.

A vízigény mennyiségi oldala azt a követelményt tartalmazza, hogy az emberi fogyasztás céljaira mindenkor és mindenhol rendelkezésre álljon a fogyasztás kielégítéséhez elegendő vízmennyiség.

A vízigény minőségi oldala azt a követelményt tartalmazza, hogy mindenkor és mindenhol legyen az emberi fogyasztás céljára alkalmas minőségű víz.

A vízminőség-szabályozás alapját képező vízminőségi határértékeknek két típusa ismeretes. Az egyik a befogadókra vonatkozik, a másik pedig az elfolyó, illetve szennyvizekre. A vízmennyiségre jellemző adat a vízigény, amely nem egyéb, mint a fogyasztóknak adott helyre és időszakra vonatkozó, a víz felhasználását célzó szándéka. A vízigény nem mindig azonos a vízszükséglettel, vagyis azzal a vízmennyiséggel, amire a fogyasztóknak a vízhasználattal elérendő célra valóban szüksége van. A vízigény nagysága függ a vízhasználó termelésének terjedelmétől, technológiájától, az időjárás változásától, azaz a vízigény mértéke tehát időben változik. Az indokolt vízigény és a valóságos vízfelhasználási érték gyakran különbözik egymástól. A vízmű-, illetve szennyvíztisztító telepeket a maximális napi, illetve órafogyasztásra méretezzük, a későbbi bővítés figyelembevételével. A könnyen bővíthető berendezéseket (kút, szűrő, szivattyú stb.) 10-15 évi fejlődésre, a nehezen bővíthető berendezéseket (csőhálózat, nagy tartályok stb.) 20-30 évi fejlődésre méretezzük. Azt a jövőendő lakosszámot, amelyet  $n$  év után tiszta vízzel kell ellátni, illetve amelynek szennyvizét tisztítanunk kell, a következő összefüggéssel számítjuk:

$$L_n = L_0(1+z/100)^n \quad (2.1.)$$

ahol:  $L_0$ : a kiindulási lakosszám,  $L_n$ : a lakosság  $n$  év után,  $z$ : az évi százalékos népszaporulat (értéke 0,2....4,0 között változhat)

## 2.2. VÍZSZERZÉS

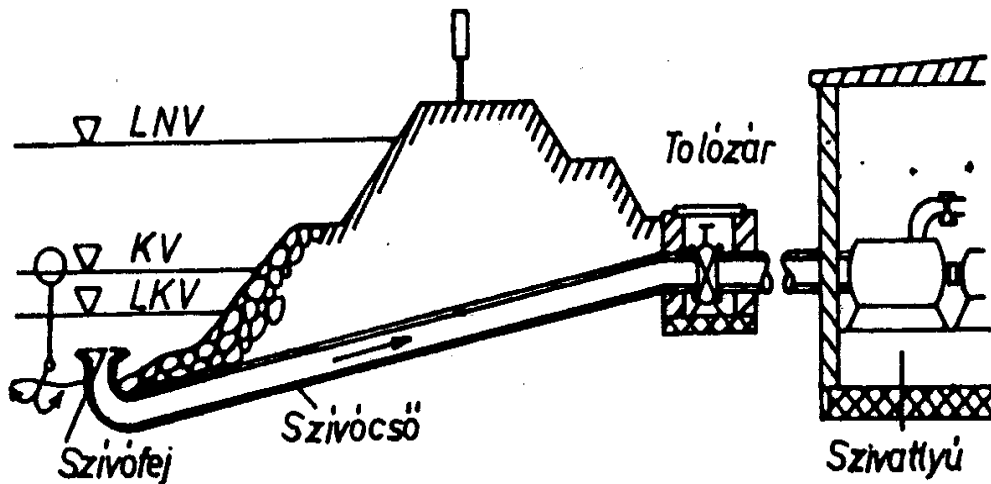
A vízigények kielégítésére a víz előfordulása szerint felszíni vizek (vízfolyás, tó, természetes tározó (tenger), mesterséges tározó) vagy felszín alatti vizek (parti szűrésű víz, talajvíz, mélységi víz, forrás, karsztvíz) használhatók. A települési vízbeszerzésnél általában az a törekvés, hogy először a rendelkezésre álló felszín alatti vizeket használják fel.

Ez érthető, hiszen ezek általában kevésbé szennyeződnek, s ily módon tisztításuk vagy felesleges, vagy viszonylag egyszerűbb, tehát gazdaságosabb. A felhasználható mennyiség tekintetében a helyzet a felszíni vizek esetében a kedvezőbb. A mennyiségi igények rohamos növekedésével egyre inkább a felszíni vizek felhasználására kerül sor, de szennyezettebbek miatt a tisztításuk bonyolultabb, tehát költségesebb. Ha az ellátandó terület körül többféle víz fordul elő, akkor a mennyiségi, minőségi, illetve a gazdaságossági szempontok együttes mérlegelése alapján választjuk meg az optimális vízszervezési módot.

Víztermelő módok és berendezések egy nagyobb csoportja a *felszíni vízkivételi műveket* jelenti, amelyek közül az ún. szívófejes vízkivétel, akkor alkalmazható, ha kellő vízmennyiség és nagyobb vízhozam áll rendelkezésre (2.1. ábra). A vizet ez esetben kis nyomású szivattyú nyomja - a tisztítási igénytől függően - dobszűrőre, homokfogóra, stb.

A szívófej és a szivattyú közötti kapcsolatot lehetőleg a sodorvonalig benyúló szívócső közvetíti. A szívófej a meder felett megfelelő magasságban alakítandó ki. A szívófej teteje a legkisebb vízállás alkalmával is legalább 1 m mélységben legyen a vízfelszín alatt.

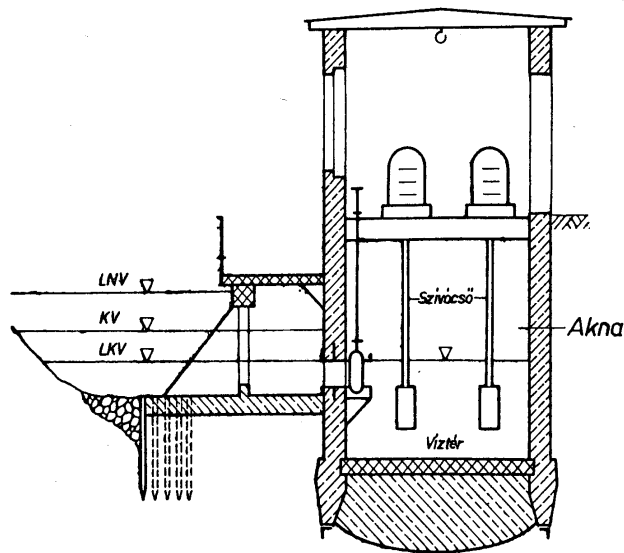
Biztonsági okokból célszerű kettős szívóvezeték alkalmazni és gondoskodni kell a vezeték visszamosásának lehetőségéről is.



2.1. ábra. Szívófejes vízkivétel (Öllös - Borsos, 1994.)

(LKV: legkisebb vízállás, LNV: legnagyobb vízállás, KV: közepes vízállás)

Erősen változó vízállású, vagy kis vízmélységű felszíni víz esetében az aknás vízkivétel (2.2. ábra) a célszerű megoldás. A vízfolyás homorú partján, ahol a sodorvonal a partot megközelíti, az akna rendszerint vágóéles vasbeton kútsüllyesztés révén alakítható ki.



2.2. ábra. Aknás vízkivétel (Öllös - Borsos, 1994.)

(LKV: legkisebb vízállás, LNV: legnagyobb vízállás, KV: közepes vízállás)

Az aknából a vizet függőleges tengelyű szivattyúk emelik. Ez a megoldás 40-50 cm mederbéli vízmélység esetén is alkalmazható, hiszen az aknában ilyenkor is kellő vízoszlop biztosítható. Az aknás vízkivétel nagyobb vízfolyások (pl.: Duna) esetén is létesíthető, ilyenkor – vagy a part mentén vagy a mederben – vasbeton szekrényt süllyesztenek le. Ennek legalsó szintjét a víztér, középső részét a cső- és a szivattyútér, a felső részét pedig a motorház és a kezelőtér alkotja.

Víztermelő módok és berendezések másik csoportjába a felszín alatti vizek beszerzésének műtárgyai sorolhatóak. Ebben az esetben a porózus vízadó közegből való víztermelés tulajdonképpen mindig a szűrés kedvező tisztító hatásának a kihasználásán alapul. Minden esetben, amikor a víz a porózus közegben szivárog, tulajdonképpen a szűrés útján való víztisztításról beszélhetünk. A vízszerezéssel kapcsolatos szűrési folyamatok nem csak hidraulikai folyamatoknak tekinthetők. Ha valamely szennyezőanyagot is tartalmazó víz a porózus közegbe beszivárog tulajdonképpen a szűrés kezdetétől: a mechanikai (pl. ülepedés), kémiai (kristályos vagy zselatinszerű csapadékképződés), és biológiai folyamatok (mikroorganizmusok lebontó tevékenysége) egyaránt jelentkeznek, csak egyik nagyobb, másik esetleg elhanyagolható mértékben.

A felszínalatti vizek kinyerésének módszerei közé tartozik a *talajvízdúsítás és a partiszűrésű víztermelő berendezések* használata. Talajvízdúsítás esetében a hazai geológiai adottságok olyanok, hogy a vízfolyások mentén jelentős homokos, kavicsos rétegek helyezkednek el.

A mederben lévő vízállás szintjétől függően a víz vagy a mederből a kavicsteraszból vagy a teraszból a mederbe áramlik. Ha tehát ezekből a rendszerint bő víztározóképeségű, és jó vízminőséget biztosító rétegekből a kis vízállás időszakában is a nagy vízálláshoz tartozó vízmennyiséget kívánunk kitermelni, akkor a teraszt dúsítani kell. A talajvízdúsítás célja a felszíni vizet övező jó vízvezetőképességű réteg vizének felülről, mesterséges beszivárogtatás révén való növelése. Dúsításkor a nyers víz kezelésének lépései az előtisztítás, vízvezető rétegbe történő szivárogtatás, illetve a kitermelés a megcsapoló berendezésekkel rétegből.

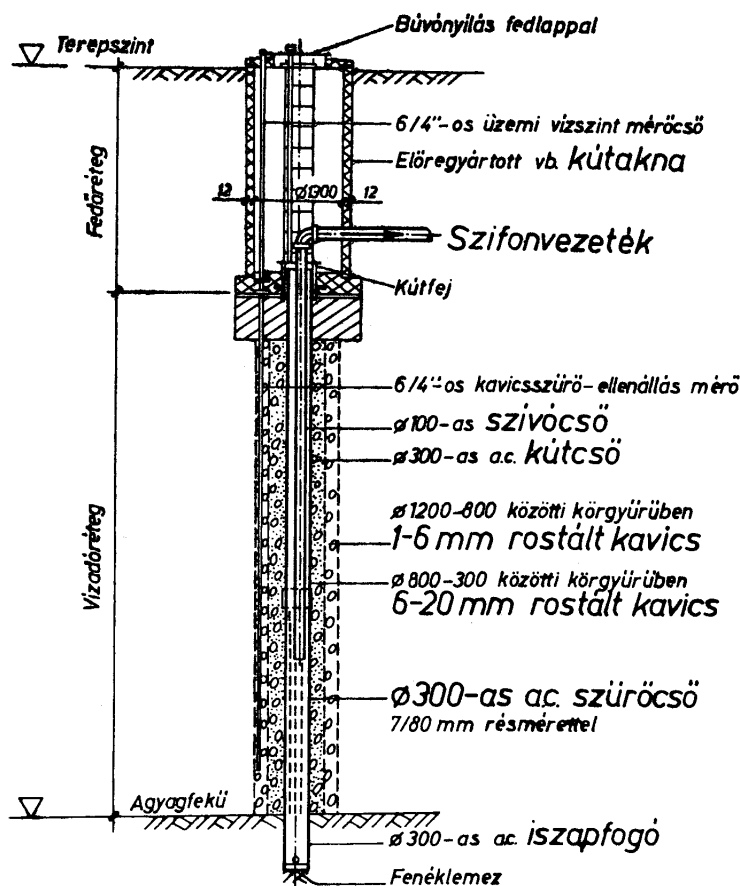
A partiszűrészű víztermelő berendezések közül a víztermelés elvégezhető ún. *galériával*, ahol pl. meder- vagy a partigaléria használatos. A medergaléria létesítésekor a meder alatt úszó kotró segítségével munkaárkot létesítenek, majd abba réselet csövet fektetnek. A szűrőágyazat több rétegű a csótól felfelé a szemcseméret finomodik, legfelülre pedig durva kavicsszórás kerül. A minimális szűrési mélység 3,5 m-nél kisebb nem lehet. A mederbeli vízmélység 1,5-2,0 m kell legyen. A galériacsőből a víz pl. szivornyával emelhető a gyűjtőaknába, amit a parton célszerű elhelyezni. Az így nyert vizet általában ipari vízként hasznosítják. A partigaléria esetében a vízszintes elhelyezésű réselet cső a meder mellé kerül, a cső köré kétrétegű kavics-szűrőréteget kell helyezni, melyhez munkaárok kialakítása szükséges. A galéria cső anyaga acél vagy azbesztcement. Egy galériaszakasz hossza kb. 150 m. A galériák építése meglehetősen költséges, de előnyük, hogy a fajlagos vízáadó képességük kedvező és a velük a partszakasz hidraulikai szempontból egyenletesen terhelhető.

A partiszűrészű víztermelő berendezések közül a víztermelés *kutakkal* népszerű módon megoldható, ezeknek számos fajtájuk ismert. Egyik típusa a csőkút, mely az egyik legfontosabb víztermelő berendezés. A fúrt kutak csoportjába tartozik, rendszerint kútsorba telepítve alkalmazzák ezeket a berendezéseket. Elhelyezése merőleges a talajvíz áramlási irányára (2.3. ábra). Legfontosabb része a kb. 300 mm átmérőjű, résekkel ellátott szűrőcső. Előnyös a kút hidraulikai átmérőjének növelése, mely kavics-szűrőréteggel valósítható meg. Ily módon a kút vízhozama nő. Legmélyebb része az iszapfogó. A szűrőcsőbe kerül a szívócső, amely a szifonvezetékhez vagy szivattyúhoz csatlakozik. A szűrőcső anyaga acél vagy azbesztcement.

Építése során a kb. 1000-12000 mm átmérőjű köpenycső lesüllyesztése száraz vagy öblítéses fúrással, belsejéből a talajt kiemelik víz alatti kotrással vagy az öblítővízzel zagyként. Az üres köpenycsőbe leeresztik a 600-800 mm átmérőjű béléscsövet.

E két cső közötti térbe a finomabb szemcséjű szűrőkavicsot töltik be, miközben a külső köpenycsövet fokozatosan visszahúzzák. A béléscső üres terében mintegy 300 mm átmérőjű szűrőcsövet eresztik le. A béléscső és a szűrőcső közötti teret a durvább

kavicsanyaggal töltik ki, miközben a bélécsövet kihúzzák. Végül a szűrőcső belső terébe a szívócsövet eresztik le.



2.3. ábra. Csőkút (Öllös - Borsos, 1994.)

A szennyeződések elkerülése céljából a kutakat, víztisztító berendezéseket, tározómedencéket védőóvezettel kell ellátni, mely ún. külső és belső övezetre oszlik. Kijelölésénél a felszín alatti vizek mozgásának sajátosságait is figyelembe kell venni.

A kitermelt vizet nyersvíznek nevezzük. Ez az esetek zömében közvetlenül nem használható fel, hanem tisztításnak kell alávetni. A víz a beszerzés helyéről a tisztítótelepre pl. gravitációsan vezethető, mely akkor alkalmazható, ha a kezelőtelep a termelés helyének szintjénél mélyebben fekszik; szivornyarendszerrel is átvezethető, ebben az esetben az egyes kutakból gyűjtőaknába szállítják a vizet, az aknából pedig szivattyú segítségével vezetik tovább; illetve nyomóvezetékekkel is továbbítható, mely akkor alkalmazható, ha a vízkezelő telep a víztermelés helyénél magasabb szinten fekszik.

## 2.3. IVÓVÍZTISZTÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK

A víztisztítási technológiák alkalmazásának célja a felhasználni kívánt vízből a szennyeződések eltávolítása, a víz felhasználásra alkalmassá tétele. A víztisztítás különféle- fizikai, kémiai illetve biológiai jellegű – eljárások és azokon belül is sok-sok művelet sorozata. Amikor több eljárást alkalmazunk valamilyen termék előállítására, eljárások kombinációjáról, röviden technológiáról beszélünk.

A víztisztítás technológiájában a termék a megtisztított víz, mely ivóvízként vagy ipari vízként használható. Az eljárások kémiai (biokémiai) változásokat idéznek elő, a műveletek maguk mindig fizikai jellegű beavatkozást valósítanak meg. Az ivóvíztisztítási eljárásokat összefoglalóan a 2.1. táblázat szemlélteti.

2.1. táblázat. Víztisztítási eljárások (Öllös-Borsos, 1994.)

Víztisztítási eljárás	Szennyeződés formája		Tisztítóberendezés
<b>Mechanikai</b>	Úszó és lebegő szilárd		gereb, dob- és szalagszűrő
	Lebegő	durva pórusméret, $d > 0,1$ mm	homokfogó
		finom pórusméret $0,1 > d > 0,02$ mm	ülepítő, szűrő
<b>Mechanikai, Kémiai</b>		igen finom pórusméret $d < 0,02$ mm	derítő + szűrő
	Oldott		savtalanító, vastalanító, mangántalanító, lágyító, stb.
<b>Kémiai</b>	Bakteriális		oxidatív kezelések: klórozás, ózonozás, stb.
<b>Mechanikai Kémiai Biológiai</b>	Lebegő anyag Oldott Bakteriális		kutak, galériák, talajvízdúsítás

Az ivóvíztisztítás során egyes esetekben csak a mechanikai, más esetekben a mechanikai és kémiai műveleteket együttesen alkalmazzuk. A 2.1. táblázat felhívja a figyelmet a természetben jelentkező, a kutakkal, galériákkal, talajvízdúsítással stb. kapcsolatos szivárgási (szűrési) folyamatokra is. A mechanikai, kémiai és biológiai folyamatok rendszerint ezeknél is jelentkeznek. A biológiai eljárásoknak a szennyvizek kezelésében van kiemelkedő szerepe.

A víztisztítás alapelve az, hogy először a durvább, majd a finomabb szennyezőanyagokat választjuk ki a vízből a vízminőségi igényeknek megfelelő mértékig. A víztisztítási műveletek céljukat illetően két csoportba oszthatók: ivóvíztisztítás és ipari víztisztítás.

A mechanikai tisztításnál közismert, hogy a fizikából ismert törvényszerűségeket hasznosítjuk, vagyis a vízből kiszűrjük vagy ülepítéssel visszatartjuk azon anyagokat, amelyek ilyen módon kiválaszthatók.

A tisztításra kerülő felszíni vízből először a durvább, szilárd, úszó (vagy lebegő) szennyeződések távolítandók el, pl. *szűréssel*. Ilyen anyagok a fadarabok, ágak, széna, télen a jégdarabok stb. Ezt a feladatot az ún. *gerebek* látják el. A gereb, mely gyakorlatilag egy rács kialakítású lehet durva vagy finom gereb. A durva gereb pálcái között résszélesség 20-30 mm, a finom gereb esetén pedig 1,5-15 mm.

Tisztítása forgókefével, nagyobb résszélességnél fésűs szerkezettel valósítható meg. A végtelen szalag mozog, a kefe (vagy a fésű) forog. Anyaga rozsdamentes acél. A gerebekkel való tisztítás elsősorban a szivattyú zavartalan működésének biztosítása szempontjából lényeges. Az ún. szitaszűrők esetében a lyuggatott lemezen, fém vagy műanyag huzalú szöveten, fonaton vagy hálón való vízáttörés során végzik a víztisztítást. Ide tartoznak a *dobszűrők*, *szalagszűrők*. A dobszűrők megoldásuk szerint pl. lehetnek gravitációs, nyitott vagy nyomás alatti, zárt berendezések. A gravitációs, nyitott dobszűrő a víztisztító berendezések előtt alkalmazandó, mely a vízben levő kisebb, úszó anyagok (pl. falevelek), szesztonszervezetek eltávolítására alkalmas. Ezáltal a későbbi ún. derítő és a gyorszűrő működése jóval kedvezőbbé válhat.

Tervezésénél az szükséges, hogy a szivattyúhoz a víz gyakorlatilag azonos vízállás mellett érkezzon, s utána gravitációs vízvezetés legyen. Ezért nem alkalmazható dobszűrő változó vízállású felszíni vízfolyásnál. A szűrőfelület vízszintes tengelyre szerelt és a tengelyen forgatható hengeres dob. Palástja rendszerint erős háló, amire szitaszövetet feszítenek. Ez utóbbi végzi a tisztítást. A dob nyersvíz felőli vége nyitott, másik vége a vízátnemeresztő kúpos felület közbeiktatásával zárt. E miatt a víz a hengeres paláston belülről kifelé szűrődik, miközben a szennyeződés a szitaszűrő belső felületén rakódik le. A dobnak rendszerint csak a tengely alatti fele merül a vízbe. Forgás közben a lerakódott szennyeződés a szita belső oldalán a vízfelszín fölé kerül, ahonnan azután az öblítő vízszugár azt az elvezető vályúba mossa. A dob nyitott vége és a nyersvíz bevezető csatorna betonfala között vízzáró csatlakozás szükséges, nehogy a nyersvíz a dobot megkerülhesse. A dobot villamos motor forgatja. A dobszűrő általában a tisztítótelep első műtárgya, ipari víz esetében azonban önálló műtárgyként is szerepelhet.

A gerebvel és szitaszövettel mechanikailag durván tisztított víz további tisztításra szorul. A sorrendben következő, eltávolítandó anyagok a lebegőanyagok. Ezek zömmel szervesanyagok. A 0,02 mm-nél nagyobb átmérőjű lebegőanyagokat *ülepítéssel* távolítjuk el. Az ülepítés révén a víz fajsúlyánál nagyobb fajsúlyú szilárd anyagokat a vízből a gravitáció segítségével választjuk ki. Ebben a szemcse-tartományban az ülepítést elsősorban a gravitációs erő befolyásolja. Az ilyen nagyobb szemcséjű anyagok ülepítését egyszerű, mechanikai ülepítésnek nevezzük. Az ülepítőben a szilárd szemcsés anyag mesterséges leüleptése történik gravitáció hatására.

A 0,02 mm-nél kisebb átmérőjű lebegő anyagok mechanikai folyamatok révén nem ülepszíthatók. Az ilyen finom anyagok ülepszítése *derítéssel* érhető el. Ez mechanikai és kémiai víztisztítási eljárás kombinációja. A tisztításra szoruló vízben kolloidális méretű lebegőanyagok vagy kolloidálisan oldott anyagok is jelen vannak. Ezek a víztérben zergúzós pályán haladnak és a Brown-féle mozgás törvényeinek vannak alávetve.

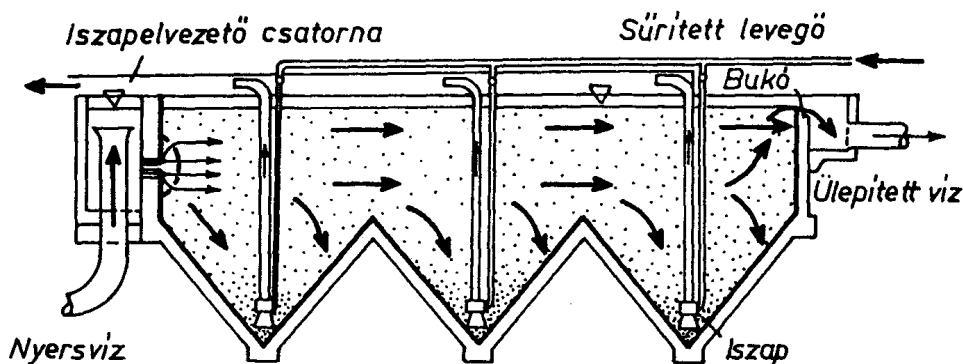
A derítés az egyszerű mechanikai ülepszítésnél jóval összetettebb folyamat, pelyhesítésből, majd ülepszítésből tevődik össze. A tisztítás-technológiai folyamatokon belül a derítés célja rendszerint az, hogy a víz olyan mértékig váljon tisztulttá, amely már ún. gyorszűrőre bocsátható. A derítés révén azonban nemcsak a kolloidális méretű lebegőanyagok és a kolloidálisan oldott anyagok távolíthatók el a vízből, hanem pl. a derítőszer biológiai szempontból toxikus hatására a mikro-organizmusok jelentős része elveszíti normális biológiai funkcióit, s így módon önálló mozgóképességüket elvesztve, beépülnek a pelyhekbe és így ülepszíthetővé válnak.

A derítőberendezéseknek így módon tehát biológiai hatásvonuk is jelentkezik, ami a víztisztítás szempontjából feltétlenül kedvező. Sőt a derítéstől egyre inkább azt is várjuk, hogy egyéb szennyező anyagok (pl. olaj, fenol, detergensek) is minél nagyobb mértékben eltávolíthatók legyenek a vízből. A derítőszer két csoportja ismert: az alumínium- (pl.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), és a vas-vegyületek (pl.  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3 \times 6 \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ ). Derítéskor általában 20-100 mg/l koncentrációnak megfelelő mennyiségű alumínium-szulfátot adagolnak a vízhez. A vas-kloridot hazánkban elsősorban télen alkalmazzák az alumínium-szulfát mellett kisebb mennyiségben, mert jelenléte annak hidrolízisét gyorsítja.

*Az ülepszítő- és derítőberendezések célja egyaránt a vízben lebegő anyagok eltávolítása. Az ülepszítőkkel a durvább-, a derítőkkel a finomszemcsés lebegőanyagok választhatók ki a vízből.*

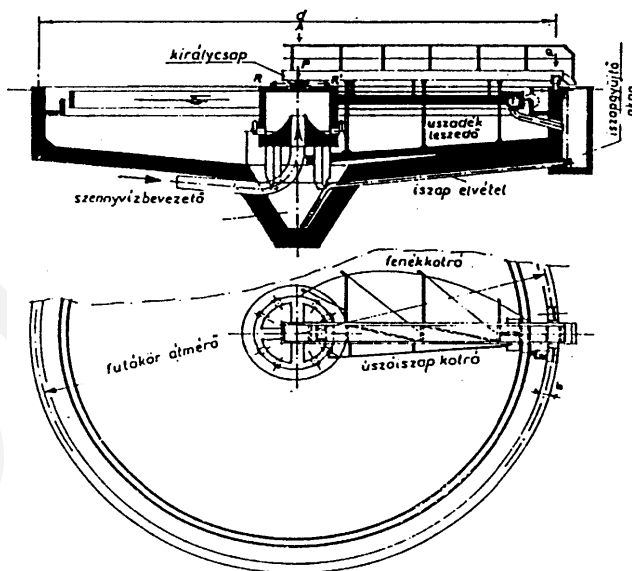
Az ún. *homokfogóban* a durva, szemcsés lebegőanyagok ülepszíthatók a gravitációs erő hatására. A homokfogót a tisztítórendszerben rendszerint csak a gerebek és a dobszűrő előzi meg. A tisztítóberendezések előtt homokfogót akkor kell alkalmazni, ha a tisztítandó víz lebegőanyag-tartalma a 100 mg/l-t meghaladja és ebben a 0,1 mm-nél nagyobb szemcsehalmaz aránya a 20 %-ot eléri.

Egyik lehetséges megoldás a hosszanti átfolyású homokfogó gúlafenékkel, mechanikus kotrószerkezet nélkül (2.4. ábra), ahol a medencébe a nyersvíz az egyik végfalán keresztül áramlik. A tisztított víz a szemközti falban elhelyezett bukóvályún át távozik. A leülepedett homok a gúla alakú tölcésrékben gyűlik össze, s alul távozik. A tölcésrék oldalfalának hajlásszöge 60°. Az átfolyási sebesség: 30 cm/sec.



2.4. ábra. Hosszanti átfolyású homokfogó gúlafenékkel, mechanikus kotrószerkezet nélkül (Öllös-Borsos, 1994.)

A 0,1-0,02 mm között szemcseméretű szennyeződések kiválasztása valósul meg az *ülepítő berendezésekben*, vegyszeres kezelés nélkül. Legnépszerűbb megoldása a sugárirányú átfolyású ülepítő, körforgó kotrószerkezettel (2.5. ábra). Ez a típus a szennyvíztisztításban használt Dorr-típusú ülepítővel azonos kialakítású. A nyersvizet a Dorr-medence közepén vezetik be. Ebből a térből sugárirányú, kis sebességű áramlás alakul ki. A tisztított víz az oldalsó gyűjtővályúval vezethető el. A leülepedett iszapot kotrószerkezet kaparja a középben elhelyezett ún. iszapzsompa.

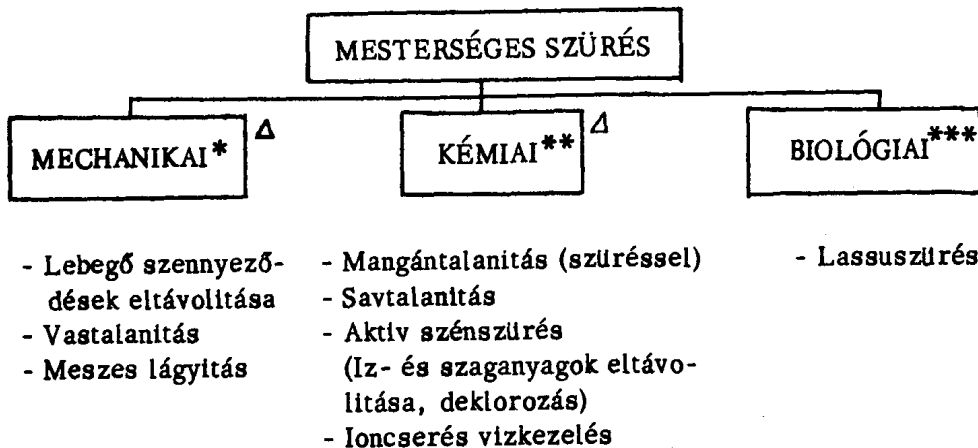


2.5. ábra. Dorr-rendszerű ülepítő forgókotróval (Barótfi, 2000.)

A vegyszeres kezelés eredményeképpen keletkezett pelyhesedett lebegőanyag ülepítését *derítő végzi*. Pl. a függőleges áramlású derítőben a víz alulról felfelé áramlik, miközben bizonyos méretű pelyhek lebegő állapotba jutnak.

A lebegő iszapfelhő kialakulása után a felfelé áramló lebegő anyagokat mintegy megszűri, így az ilyen derítőket szűrőderítőknek is nevezik. Az érkező pelyhek a már lebegő pelyhekkel ütköznek, összetapadnak, majd súlyosabbá válva leülepsznek. A vegyszerrel elkevert vizet a középső ejtőcsőbe vezetik, s a tisztítandó víz alul a szélesedő tölcser alatt lép ki. A tölcser és a külső oldalfal közötti térben a nagyobb áramlási sebesség a pelyhesedett lebegő anyagokat bizonyos magasságban lebegésben tartja. A tiszta víz a felül elhelyezett bukón távozik.

A *szűrés* célja a vízben lévő kolloidális méretű lebegőanyagok, pelyhek, mikroorganizmusok, kémiai szennyezőanyagok eltávolítása. A szűrés a víztisztítás egyik legfontosabbnak tekinthető művelete. Beszélhetünk természetes és mesterséges szűrési folyamatról. A mesterséges szűrési eljárásokkal rendkívül hatékonyak, melyek a 2.6. ábra szerint csoportosíthatók.



2.6. ábra. Mesterséges szűrési eljárások (Öllös-Borsos, 1994.)

(ahol: \*részben kémiai és biológiai, \*\*részben mechanikai és biológiai, \*\*\*részben mechanikai és kémiai, Δ: gyorszűrés)

Tulajdonképpen minden esetben összetett folyamat alakul ki, vagyis nem beszélhetünk csak szigorúan mechanikai, kémiai, illetve biológiai mesterséges szűrésről. A mesterséges szűrési eljárások zöme gyorszűrés, melynek célja a rendszerint szükséges előtisztítás (pl. ülepítés, derítés) után még a vízben maradó finomabb szemcsés vagy pelyhes lebegőanyagok, valamint mikroorganizmusok egy részének eltávolítása olyan mértékig, hogy a gyorszűrőn átjutott víz vízminőségi jellemzői az előírt minőségi követelményeknek megfeleljenek. A gyorszűrő tehát az esetek zömében önállóan nem alkalmazható, szűrés előtt a vizet előtisztításnak kell alávetni.

Szűrés után a vízminőségi igényektől függően a víz további kezelésére is szükség lehet (pl. csírátlanítás). A gyorsszűrőre érkező, előtisztított víz a szemcsés közegen szivárog keresztül, majd az ez alatti támrétegen keresztül a szűrőfenékbe épített szűrőgyertyák nyílásain keresztül távozik.

Ennek megfelelően először a szemcsés közeg szűrési folyamata, majd a szűrőgyertyán keresztüli vízmozgás jellemzése szükséges. A lebegőanyagok kiszűrődése a szűrőrétegben elsősorban három alapfolyamattal hozhatók kapcsolatba: A szűrőréteg felszínére a lebegőanyagok egy része leülepszik, tehát az ülepítő-hatás jelentkezik. A homokréteg feletti vízrétegben és bizonyos mértékig valószínűleg a homokrétegben is az átszivárgó szennyezőanyagok koagulációja folytatódik. Ez a folyamat a lebegőanyagok kiszűrődését fokozottabban elősegíti. A lebegőanyagok felületet és a homokréteg szemcséinek felülete között megnyilvánuló elektrokinetikai hatások. A szűrő eltömődésének elhárítására időként öblítővíz segítségével alulról felfelé irányuló öblítést végeznek. Alkalmazhatnak öblítőlevegőt is, amelyet külön csővezetéken át vezetnek a szűrőfenék alatti térbe.

A gyorsszűrőket - a tisztítandó víz mennyiségétől függően készíthetik nyitott vagy zárt változatban. A kisebb vízmennyiséget célszerű zárt változatban tisztítani, így a zárt gyorsszűrőket vas- és mangántalanításhoz, illetve ioncserés vízkezeléshez alkalmazzák. A kialakítást befolyásolja továbbá az egyszeri vagy többszöri vízemelés és a hálózati nyomás ésszerű összehangolása. Ha előkezelés (pl. derítés) nem szükséges akkor is a zárt rendszer létesítése az előnyös.

A kémiai víztisztítás vegyszerek alkalmazását jelenti, amellyel a vízben lévő, nem ülepíthető lebegő anyagok és oldott anyagok kiválását segítjük elő. ide tartozik a derítés, kicsapatás, ioncsere, folyadék-folyadék extrakció, pH-szabályozás (semlegesítés), oxidáció és fertőtlenítés.

A derítés a fenti részben bemutatott tisztítási megoldás a nem oldott szennyezők visszatartására.

A kicsapatás során vízben oldott anyagokat úgy távolítunk el, hogy adott vegyszerek vagy oxidálószerrel hozzáadásával vízben oldhatatlan csapadékká alakítjuk őket majd a vízből ülepítéssel és azt követően szűréssel távolítjuk el. A víztisztítás esetében kicsapós módszert a lágylítás és szénsaveltávolítás, valamint a vas- és mangántalanítás esetében alkalmazunk. A vízlágylítás feladata a vízben oldott keménységet okozó kalcium- és magnézium-sók eltávolítása. A gyakorlatban elterjedt vízlágylítási mód a meszes vízlágylítás. Ennek során a vízhez adagolt mész [ $\text{CaO}$  illetve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] a vízben oldott szén-dioxiddal (szénsav-eltávolítás), a karbonát-keménységet okozó sókkal (karbonát-mentesítés) és különféle magnézium-sókkal nehezen oldódó kalcium- és magnéziumvegyületet alkot.

A mész a nátrium-hidrogén-karbonátokkal (szikes vizek) is reagál és a nátrium-hidrogén-karbonátokból (mészaránytól függően) nátrium-hidroxid vagy szóda keletkezik.

A víz melegítésével az oldott állapotú kalcium- és magnézium-hidrogénkarbonátok elbomlanak és Ca- illetve Mg-karbonát keletkezik.

A lágyítás ioncserélő anyagokkal is elvégezhető. Az ioncsere a szorpciós folyamatok egyik fajtája, ioncserélők, azaz olyan anyagok jelenlétében mennek végbe, amelyek pozitív vagy negatív töltésű ionos csoportokat tartalmaznak és ezeket képesek más, hasonló töltésű ionokkal kicserélni.

Az ioncserélő anyagok lehetnek természetes eredetűek (a talaj, cellulóz, gyapjú, szilikát-polimerek) vagy mesterségesek, melyek legnagyobb része műgyanta alapú, elsősorban polisztirol és divinil-benzol kopolimer. A vastalanítás folyamán a két vegyértékű vas [Fe(II)] a levegő oxigénjének hozzáadásával három vegyértékű vassá [Fe(III)] oxidálódik, amelyből vas(III)-hidroxid csapadék képződik:



Az oldott vas az esetek túlnyomó részében hidrogén-karbonátos kötésben található a vízben és ennek oxidációjához elegendő a levegő oxigéntartalma.

A reakcióban felszabaduló szén-dioxid megkötéséről gondoskodni kell Szerves kötésű vas eltávolításához erősebb hatású oxidálószerre (ózon, klór) van szükség. A vízben oldott két vegyértékű mangán eltávolítása lényegében szintén oxidációs folyamat. Ha a vashoz képest csak igen kevés mangán van a vízben, a mangántalanítás a vastalanítással együtt végbemegy (lsd. zártszűrők használata).

Ha mennyisége nagy, akkor a folyamat lassabban zajlik le, ezért fontos, hogy az eljárás után a vizet rögtön lúgossá tegyék (pH=7,6) ugyanis, így a mangáneltávolítás mangán-dioxiddal (barnakő) történő oxidációval megvalósítható. A vastalanításhoz szükséges oxidáló levegőt többféleképpen (levegőbefúvás, porlasztás, stb.) juttatják a szennyvízbe, a mangánt pedig nagyrészt bedolgozott szűrővel oxidálják.

A víztisztításban gyakori feladat a *pH szabályozása*, ami általában semlegesítést jelent és célja a pH élettani szempontból megfelelő határok között tartása, illetve különféle technológiai célokra annak beállítása. A víztisztításban előfordulhat, hogy a koagulánsok, vas- és mangán-vegyületek kedvezőbb leválása végett, a savtalanítás során a pH-n változtatunk. A vizek hidrogén-ion koncentrációját a savak növelik, a lúgok pedig csökkentik.

Savas vizek semlegesítése történhet mészkővel, melyet mészkőliszt vagy darabos mészkő formájában alkalmaznak.

A lúgos vizek semlegesítéséhez általában kénsavat, a legolcsóbb erős ásványi savat használják 10 %-os koncentrációban.

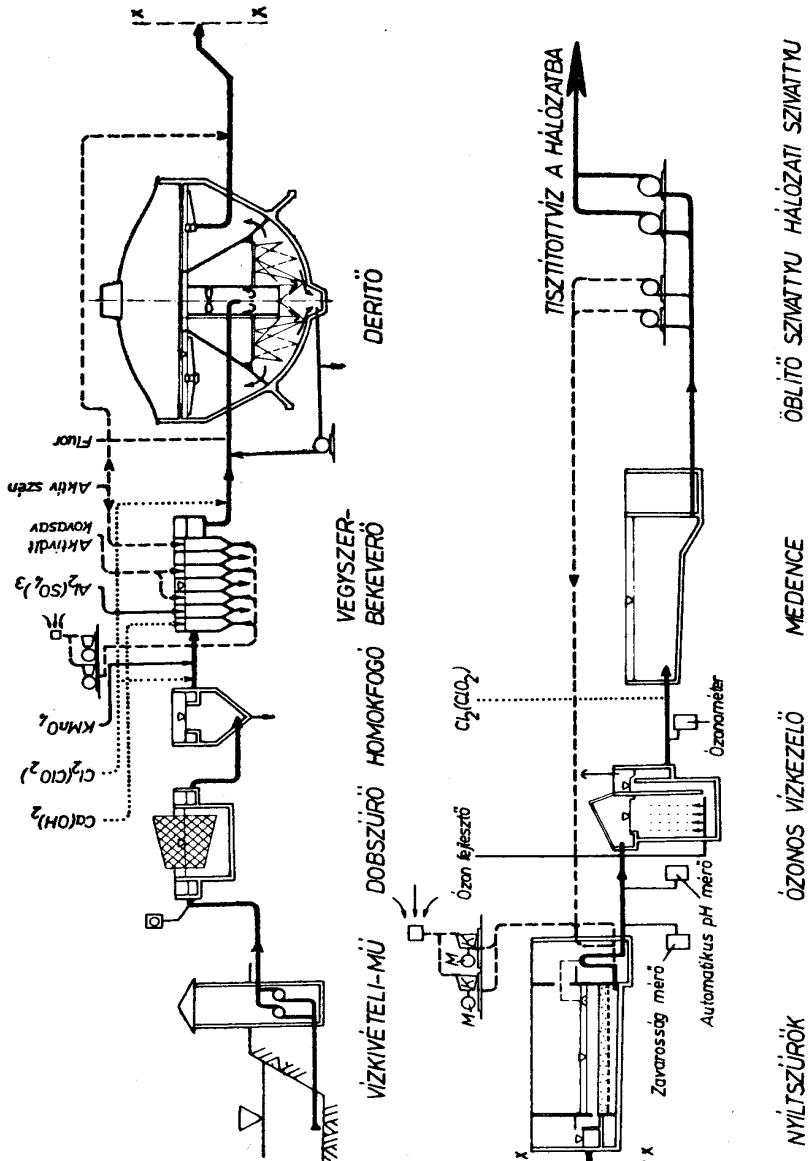
Az oxidációs vízkezelési megoldások során (egy elem vagy vegyület oxigént vesz fel vagy hidrogént veszít, illetve elektront ad le, tehát pozitívabbá válik) alkalmazhatunk ún. klóros oxidációt, melynek során a klórgáz vízben való oldódásakor ún. hipoklórossav keletkezik. Ez a vízhez hasonló molekulaszervezete miatt könnyen behatol az élő sejtekbe, ahol az enzimszisztémával irreverzibilis reakcióba lép és így fejt ki mérgező (oxidáló) hatását.

Elsősorban baktériumok elpusztítására, azaz fertőtlenítésre alkalmazzák. A klórgáz palackokból vagy hordókból táplálják reduktorok segítségével a megfelelő helyekre. Gyakori az a megoldás, amikor előbb klóros vizet készítenek, majd ezt juttatják a vízbe. A klór egyes vegyületekkel, így a fenol-származékokkal olyan reakcióterméket hoz létre, amelyek a víznek kellemetlen ízt és szagot adnak. Ez a hatás nagymértékben kiküszöbölhető klór-dioxid használatával, amelyet a felhasználás helyén nátrium-kloritból sósav vagy klór hozzáadásával állítanak elő. A klór-dioxid a klórnál 2,5-szer hatásosabb oxidálószer, hatása gyakorlatilag nem függ a szennyvíz pH-jától (4-8 között). Ugyanakkor az oxidáció sebessége is nagyobb. A robbanásveszély azonban fennáll. Íz- és szagrontó anyagok eltávolítására alkalmazhatunk továbbá kálium-permanganátot, mely adagolását általában aktívszén-szűrés követ. Előnyös tulajdonsága, hogy vízben oldva mangán-dioxid-hidrát csapadékot is képez és ez kitűnő adszorbens. Emiatt adagolását pehelyleválasztásnak kell követnie (ülepítés, szűrés). Az oxidáló hatás kifejtéséhez 15-30 perces tartózkodási idő szükséges.

Az ivóvíztisztításban elterjedt nagyon erős oxidálószer az ózon ( $O_3$ ), mely a nagy szerves molekulákat roncsolja és vízben jól oldódó, kevésbé illó, oxigénben gazdag, kisebb molekulákra bontja. Vannak olyan szerves anyagok, amelyek e hatásnak ellenállnak, pl. a kloroform, a benzol, az alifás alkoholok, a szerves klórtartalmú növényvédőszeresek. Az ózon nem stabil molekula, vízbe kerülve 6-8 perc alatt teljesen szétbomlik oxigénre. Minél nagyobb a víz pH-ja ez a bomlás annál gyorsabban megy végbe. A pH-tól azonban nem függ az ózon hatása.

A vírusokkal szemben sokkal hatékonyabb a klórnál. További előnye, hogy oxidációs termékei ízt és szagot nem okoznak, sőt a víz kellemetlen ízét és szagát is megszünteti. Az ózont a levegő oxigénjéből nagyfeszültségű kondenzátor lemezei közötti csendes kisüléssel hozzák létre, majd különböző módon juttatják a szennyvízbe: vízoszlop alatti buborékolatás, turbinás elkeverés, injektoros bekeverés, négyoszlopos buborékolatás. Az oxidáció technológiai beilleszkedéséről elmondható, hogy a mélységi és a felső vízadó rétegekből származó vizeket az esetleges vas- ill. mangántalanítás után klórozással fertőtlenítik.

A felszíni vizeket a tisztítási folyamat elején előklórozzák, hogy megakadályozzák a mikroorganizmusok elszaporodását a berendezésekben. Az utóklórozás a folyamat utolsó lépcsője. Az íz- és szagrontó anyagok eltávolítására használt káliumpermanganátot felszíni vizek esetében a derítés és a szűrés között adagolják, mert a keletkező pelyheket vissza kell tartani. Az ózont szintén íz- és szagrontó anyagok, ill. szerves mikroszennyezők oxidációjára használják a szűrők után vagy a mikropelyhek visszatartásakor a szűrők előtt. A fenti technológiai lehetőségek alapján példaként a Duna vízének tisztítási technológiáját mutatja be a 2.7. ábra.



109. ábra

2.7. ábra. A Duna vízének tisztítási folyamatábrája (Öllös-Borsos, 1994.)

## 2.4. A VÍZMŰVEK ÜZEME

A vízellátási létesítmények összessége a vízmű. Ehhez tehát hozzátartozik a vízbeszerzéssel, víztisztítással, vízszétosztással és a tározással kapcsolatos valamennyi létesítmény.

A vízműveket osztályozhatjuk a kiépítési fok, az üzemi nyomás, és a vízminőség függvényében.

A kiépítési fok szerinti osztályozásnál megkülönböztetünk ún. *közkutas vízellátó rendszert*, amikor nincs hálózat és esetben a lakosság közvetlenül a süllyesztett vagy fúrt kutakból szerzi a vizet. Ismert ún. *körzeti vízellátó rendszer*, mely esetében a pozitív artézi kutak vizét vízelosztó hálózatba vezetik és így osztják szét a kút meglehetősen szűk környezetében. *A törpe vízműves vízellátásnál* már gépi úton előállított nyomással, túlnyomóan közterületen levő kifolyókon keresztül kapja a lakosság a vizet, míg a *települési vízmű* már a település (falu, város) egészére kiterjedő olyan vízellátó rendszer, amely a lakásokhoz, ipartelepi vízfogyasztókhoz, stb. a vizet csőhálózaton keresztül vezeti. Itt már a víz tározása, a tűzoltóvíz tartalékolása is biztosított.

Hazánkban elsősorban települési vízműveket létesítünk, de ismert ún. *regionális vízmű*, mely egy, vagy több víztermelő helyről közös csővezetéken továbbítja a vizet a különböző fogyasztást helyekre. A regionális vízművek már a nagyobb területek, akár vízgyűjtők, hidrogeológiai tájegységek, vagy iparvidékek, valamint a víztermelő helyek között létesítenek kapcsolatot. A jövő fejlődésének útja a regionális vízművek összekapcsolása és országos vízmű-hálózat fokozatos kiépítése.

A közüzemi vízművek üzemének 3 fő fázisát különböztetjük meg: termelés, szolgáltatás, fogyasztókkal kapcsolatos tevékenység. *A termelés* feladata a vízszerezés, a felhasználandó vízmennyiség kitermelése és mérése, a szerzett víznek a kezelőtelepre való juttatása, a víznek a szolgáltatásra való előkészítése (tisztítás, fertőtlenítés) és szállítás a nagy nyomású szivattyútelep szívómedencéjébe. *A szolgáltatáshoz* tartozik a víz szállítása a tározómedencékhez, víztornyokhoz, ill. a fogyasztási területek súlypontjaihoz, a tározás és a szétosztás az elosztóhálózaton át. A víz víztornyokban vagy medencében *tározható*.

A víz szétosztásánál figyelembe kell venni, hogy a vízigények mind az év folyamán, mind az egyes napokon belül is változnak. A fogyasztókkal kapcsolatos tevékenység a szállított víz szolgáltatása a hálózati közkifolyókhoz, utcai csatlakozásokhoz, a víz mérése, leolvasása, vízbecslés, számlázás és díjbeszedés, valamint a mérőn túli szerelvények, vízvételi berendezések, házi vezetékek felügyelete, engedélyezése, a mérőn túli vízpazarlás ellenőrzése.

A működés feladatai - minden fázisban és a fázisok minden részében üzemi, de egyúttal önköltség-számítási szempontból is - két csoportra bonthatók, mégpedig a vízmű építményeinek, létesítményeinek és berendezéseinek fenntartására és a zavartalan működés biztosítására, illetve a szűkebb értelemben vett üzemeltetésre.

## Felhasznált szakirodalom:

Barótfi István: Környezettechnika, Mezőgazda kiadó, Budapest. 2000.

Benedek Pál- Valló Sándor: Vízisztítás-szennyvíztisztítás zsebkönyv, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1990.

Bozóky Szeszich Károly – Kovács Kné – Illés I.: Vízellátás-csatornázás. Tervezési segédlet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.

Öllös Géza- Borsos József: Vízellátás és csatornázás I., Műegyetemi kiadó, Budapest, 1994.

Öllös Géza: Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése I. II., Akadémiai kiadó, Budapest, 1994.

Tömösy László: Vízisztaságvédelem, szennyvíztisztítás, oktatási segédlet, 2004.

### 3. TELEPÜLÉSEK SZENNYVÍZKEZELÉSE

#### 3.1. A TELEPÜLÉSI SZENNYVIZEK JELLEMZÉSE, SZENNYEZŐANYAGAIK

A települések szennyvízcsatornáiban szállított vizek általában a háztartásokból és az ipartelepekről származnak. Ha ún. úsztató rendszerű (egyesített rendszerű) a csatornahálózat, az előzőkhöz még a csapadékvizek is járulnak. A csapadékvíz már a légköri kihullás során szennyeződik, amikor abból kimossa a szálló port és abszorbeálja a különböző égéstermék gázokat, mint a szén-dioxidot, szén-monoxidot, nitrogén-oxidokat és a kéndioxidot. Az abszorpció miatt a szennyezett települési légtéren áthulló csapadékvíz pH értéke savas irányba változik. A felszíni lefolyás szennyeződésére ez a változás lesz a legmeghatározóbb, amennyiben az egyébként nem oldható nehézfémeket a savas csapadék képes oldatba vinni, és ezzel azok hozzáférhetővé válnak pl. a növények számára, tehát bekerülhetnek a táplálékláncba.

A legtöbb hazai településen elválasztott rendszerű csatornahálózatot találunk, amelyekbe csapadékvíz általában nem kerül, de tekintettel a csatornák mély fekvésére, a talajvíz – ún. infiltráció formájában – bejuthat. Ebben az esetben a csapadékvíz külön csatornában halad és a tisztítótelep kikerülésével közvetlenül pl. a befogadóba juthat. Célszerű a háztartások létesítmények csapadékvizeinek újrahasznosítását is előtérbe helyezni, mely napjainkban az ún. szürkevizekkel együtt kiemelt alternatív vízforrás lehet.

A házi szennyvíz tartalmazza a konyhák elfolyó vizeit, a vízöblítéses WC-k lefolyó vizeit, valamint a mosó- és fürdő vizeket. Ezen frakciók közül a fürdőszobák, konyhák elfolyó vizei, azaz az ún. *szürkevizek* szennyezettségükben alul maradnak a vízöblítéses WC-k lefolyó vizeitől, mely szennyvíz típust célszerű lenne a településeken külön összegyűjteni, tárolni, kezelni és ezt követően minél nagyobb arányban újrahasználni (WC-öblítés, öntözés).

A városi szennyvíz szennyezettsége vagy koncentrációja függ az ipari vízhasználatától is, továbbá a csatornahálózat általános jellemzőitől (pl. vízárságtól), valamint a háztetőkről és egyéb helyekről bejutó csapadékvíz mennyiségétől. A szennyvíz állapota a tisztítótelepre érkezéskor vagy a befogadóba torkolláskor függ a szennyvíz odajutási idejétől és a vízhőmérséklettől. Az odajutási idő viszont a hálózat hosszától és esésétől függ. Hosszú csatornák, kis esések és magas hőmérséklet esetén a szennyvíz berothadhat. A friss házi szennyvíz semleges kémhatású, pH-ja 7,0...7,5 között ingadozik, mely pH-tartomány optimálisnak tekinthető a biológiai folyamatokhoz.

A szennyezés során a vizekbe jutó vegyületek között megkülönböztetünk *oldott és nem oldott* alkotórészeket.

A nem oldott, ún. lebegő anyagokat tovább osztályozhatjuk ülepedő és nem ülepedő anyagokra (sűrűségük a vízéhez közeli) = uszadék. A városi szennyvizekben az oldott anyag tartalom valamivel nagyobb, mint a nem oldott, mivel ezen szennyvizek az ivóvíz főként ásványi eredetű oldott anyagait is tartalmazzák.

A *nem oldódó, lebegő anyagok* közül károsak a felúszó olajos, zsíros anyagok, melyek nehezen távolíthatók el, rontják a tisztítási hatásfokot, és ha gyúlékony szénhidrogének kerülnek beléjük, mint pl. a benzin, még veszélyesebbek is lehetnek. A kiülepíthető anyagok közül az ásványi anyagok, mint a *homok*, egészségügyi szempontból közömbösek. Ezzel szemben az ürülekéből kiülepedő iszap egészségügyi szempontból igen fontos, mert ez tartalmazza a szennyvízbe került *bélféreg-petéket*. A bélféreg petéket védőburok veszi körül, ez rendkívül ellenállóvá teszi őket. Nagy töménységű savak, lúgok, klór nem képesek előlni a petéket.

Az *oldott szennyezők* között megjelennek a *nehézfémek* (pl. réz, kadmium, stb.), melyek a biológiai tisztítási folyamatokat komolyabban veszélyeztetik, ugyanis már igen kis töménységben is rontják a tisztítási hatásfokot. A szennyvizek tisztítása után is benne maradnak a vízben és a befogadó felszíni vagy talajvízbe jutva ott fejtik ki káros hatásukat. Ma már az ipari országokban lévő nagyobb folyókban mindegyikében megtalálhatók kisebb-nagyobb töménységben a legkülönbözőbb nehézfémek. A szennyvízben lévő, vagy ott keletkező *gázok* közül egészségügyi szempontból a kénhidrogén fontos. Ennek szintén zárt terekben, a csatornáknál van jelentősége, ahová az iparból juthat, vagy a csatornában a megindult rothadás révén keletkezik. A kénhidrogén erősen mérgező gáz, veszélyességét fokozza, hogy kis mennyiségben belélegezve még nem veszélyes, de teljesen eltompítja a szaglászt, így a nagyobb töménységet nem vesszük észre. A szennyvízben előforduló *mikro-szervezetek* egészségügyi szempontból jelentősek, melyek közé tartoznak a baktériumok és vírusok, valamint az előbb említett bélféreg. A baktériumok közül legveszélyesebbek a Colera-vibro(k), melyek a járványos kolera megbetegedéseket okozzák.

Ma már kisebb mennyiségben, de azért állandóan jelentkeznek a szennyvizekben a Salmonella(k). Ezek életképessége elég nagy, folyókban a szennyvíz bevezetésétől sok km távolságban is ki lehet mutatni még őket, a tavakban pedig több hétig megélnek. Legnagyobb számban a coli-féleségek vannak jelen a szennyvizekben. A szennyvizet az ivóvizek mintájára a kóliszám alapján is minősítik. Az emberi ürülékkel távozó vírusok közül a legsúlyosabb járványokat a májgyulladást okozó hepatítis vírusok okozzák. A szennyvizekben megjelenő számos parazita közül Magyarországon az orsóféreg, az Ascaris, az ostorosféreg, a Trichuris és a galandféreg, a Taenia fordulnak elő leggyakrabban.

A vizek jellegzetes és legelterjedtebb szennyezettségét a *szerves anyagok* adják. Ezek egy része könnyebben, másik része nehezebben bontható biológiai úton.

Az előző csoportba sorolható a kommunális eredetű szennyvíz és az élelmiszeripari, s a mezőgazdasági szennyvizek egy része. Ha ilyen szennyvizet egy víztérbe – befogadóba – vezetünk, ott a természetes tisztulás hamarosan megindul, azaz a szerves anyag biológiai bomlása megkezdődik. Megkülönböztetünk anaerob úton történő bomlást, amikor a szerves anyag tartalom bakteriális tevékenység útján egyszerűbb vegyületekké alakul át és belőle ammónia, hidrogén-szulfid, metán, foszfin, stb. képződik; ill. aerob úton történő bomlást, amikor oxigén jelenlétében az ún. aerob baktériumok az anyagot oxidációs úton bontják le. Ekkor a végtermékek oxigénben dús vegyületek, mint pl. nitrát, szulfát, foszfát, szén-dioxid és víz. Az oxidációs jelenségek jelentős oxigén-fogyasztással járnak és ennek a mennyisége adott feltételek között olyan törvényszerű, hogy a létrejött oxigénfogyasztás a szennyezés mértékének, a szennyvíz szennyezettség koncentráció-mértékének tekinthető. A szerves anyagok mennyiségének ismerete nélkülözhetetlen a vizek minőségének megítélésében. Az ún. biológiai oxigén-igény (BOI) a szennyvízben lévő biológiailag bontható szerves anyagok koncentrációját fejezi ki és heterogén baktériumok általi biológiai lebontásuk során meghatározott időtartam alatt és meghatározott hőmérsékleten elfogyasztott oxigén mennyiségét jelenti mg/l-ben. Számszerű értéke nagyon sok tényezőtől függ (inkubációs idő, nitrifikáció, környezeti tényezők, akklimatizáció, toxicitás). Az ún. kémiai oxigénigény (KOI) a szennyvízben lévő szerves anyagok oxidálószerrel (legelterjedtebb a kálium-permanganát és a kálium-dikromát) nedves úton végzett oxidációja során elfogyasztott oxigén mennyiségét fejezi ki mg/l-ben. Az ún. TOC (összes szerves szén, angolul: Total Organic Carbon) mérésekhez a minta elégetésével teljes oxidációt érnek el és széntartalmának oxidálása során keletkezett szén-dioxid gáz mennyiségét mérik.

A TOC sokkal megbízhatóbban és könnyebben meghatározható, mint a BOI és a KOI. A mérés igen gyors, mindössze néhány percig tart, de az erre alkalmas műszer drága. Az ivóvíz-előkészítés során az oldatban maradó összes szerves szén (DOC) is használatos összegzőparaméter.

Az ún. *nehezen lebomló szerves szennyezők* már kisebb koncentrációban – általában µg/liter tartományban – is károsak, s hatásukat inkább mérgező, rákkeltő, felhalmozódó tulajdonságaik alapján fejtik ki. A szerves mikroszennyezők egyik legfontosabb csoportját a *pesticidek*, azaz a növényvédő szerek jelentik. Ide sorolunk minden olyan anyagot, mely alkalmas a mezőgazdasági haszonnövények, termékek, termények károsodásának gátlására. A pesticidek a kereskedelmi forgalomba – és így a vizekbe is – különböző segédanyagokkal együtt kerülnek. A hatóanyag és a szer megkülönböztetése ezért lényeges. A hatóanyag az a vegyület, mely a pesticid hatást kifejti, a szer a késztermék, amellyel a felhasználó találkozik. A szer tehát tartalmazza a hatóanyag oldékonyságát, tapadó képességét nedvesítő képességét, stb. elősegítő segédanyagokat is.

A növényvédő szerek vízminőségi megítélésében a toxikusság mellett nagyon fontos azoknak a természetes lebomlással szembeni ellenálló képessége.

Ez a bomlásnak ellenálló képesség – rezisztencia – azt jelenti, hogy ezek az anyagok környezetidegenek, s a természetes környezetben hosszú ideig megmaradnak (perzisztencia). A növényvédő szerek esetén általános igény, hogy a vegyületek rövidéletűek legyenek, vagyis a természetben gyorsan lebomoljanak, ugyanakkor ezen rövid idő alatt kell kifejteni a peszticid hatást, tehát végső soron a nagyobb toxikusságot. Például a kezdetben használt DDT nem volt túl toxikus, de a természetben sokáig megmaradt, ezzel szemben az azt kiváltó paration-származékok könnyebben bomlanak, de emlősökre sokkal toxikusabbak. Vízvédelmi szempontból a legfontosabb peszticidek a klórozott szénhidrogének, szerves foszforvegyületek és egyéb herbicidek és fungicidek. A *kőolajok* és a *kőolajtermékek* által okozott vízszennyezések a leggyakoribbak közé tartoznak. A *kőolajok* kémiai szempontból alifás, alicikusos és aromás szénhidrogének keverékei. A vegyületcsoportok aránya eltérő és az ásványolaj és származékaiknak vizeink minőségére gyakorolt káros hatása sokirányú.

A szénhidrogének mérgezőek a vízi életközösségekre. A mérgező hatás függ a vízben való oldhatóságtól. A szénhidrogének vízben való oldhatóságát nagymértékben növelik az ún. felületaktív anyagok és mivel a hagyományos ivóvíztisztítás során jelentős részük visszamarad, az oldott szénhidrogének az emberi szervezetbe kerülhetnek és rákkeltő hatásúak. A környezetbe került olaj átalakulásai során szétterülhet, ugyanis a vízfelszínre kikerülő olaj, ha nem ütközik akadályba, gyorsan szétterül és vékony, filmszerű réteget alkot, befedve ezzel a víz felszínét és megakadályozza pl. az oxigén felvételét. Az olaj a vízen erősen szivárványos színeződést okoz.

Főleg az alacsonyabb molekulatömegű és forráspontú vegyületek az atmoszférába kerülhetnek, ennek mértékét a meteorológiai viszonyok – hőmérséklet, szél - nagymértékben befolyásolják. Főleg az alacsonyabb molekulatömegű és aromás összetevők oldódhatnak vízben vagy a vízzel ún. emulziót képezhetnek. Megkülönböztetünk „olaj a vízben” és „víz az olajban” emulziókat. A „víz az olajban” emulzió még az olajos fázis része és így a víz tetején úszik, azaz onnan még leförléssel eltávolítható. Az „olaj a vízben” emulzió már az oldódás jele, tehát a vizes fázisba került olajat jelenti, és így a hagyományos leförléssel nem távolítható el. Az emulzióképzést a szintetikus mosószerek és a hullámozás nagymértékben segítik. A hullámozás, turbulens áramlás és egyéb vertikális irányú vízmozgás hatására az olaj egy része a lebegő anyagokon adszorbeálódik, majd azokkal együtt a fenékre kerül, s az üledékrendszerben lejátszódó folyamatok – lebomlás, visszaoldódás – szerint alakul tovább.

A molekuláris oxigén által fénykatalizált reakciók azok az autooxidációs folyamatok, melyekben az olajokból különböző ketonok, aldehidek és karbonsavak keletkeznek.

A folyamatban a napfényen kívül a szénhidrogénekben előforduló kén- és szerves fémvegyületek is fontos szerepet játszanak. A vízi környezetbe került szénhidrogének egy része biológiai lebomlás révén alakulnak tovább. Általában a paraffinok könnyebben bomlanak, mint az aromások, s ezen belül is az egyenes szénláncúak bomlékonyabbak, mint az elágazók. A biológiai lebontásban különböző baktériumfajok – *Aeromonas*, *Pseudomonas* – és a mikroflóra más elemei vesznek részt. Az olajbontók között különleges helyet foglal el az *Arthrobacter* típus, mely az olaj emulzióba vitelét segíti elő. A szintetikus mosószerek (*detergens*, *felületaktív anyagok*, *tenzidek*) vizeink kizárólagos emberi tevékenységből származó szennyezői. A kommunális szennyvizek állandó összetevői. Az iparban főleg a mosószergyárak, tisztítóüzemek, textilgyárak bocsátják ki. A szintetikus mosószerek kémiailag egy hosszabb szénláncú – vízben rosszul, zsírokban jól oldódó – hidrofób és egy rövidebb, vízben oldódó hidrofil részből állnak. A jelenleg alkalmazott tenzidek egyik fontos környezetvédelmi követelménye a biológiai bonthatóság. A detergensok habzási képességük révén a felszíni vizeket, szennyvíztisztító berendezéseket habréteggel vonják be és ezáltal nehezítik az oxigénfelvételt, foszfáttartalmuk pedig hozzájárul a felszíni vizek eutrofizációjához. További hátrányuk, hogy oldatban tartják azokat a hidrofób jellegű vegyületeket (olajok, peszticidek, poliaromások) melyek egyébként kicsapódnának, kiülepednének. A vízművek szűrőin átjuthatnak és közvetlenül is veszélyt jelentenek az emberre. Jelentős vízszennyezők a fenolok csoportja, mely összefoglaló megjelölés alatt tulajdonképpen „fenolszerű” vegyületeket értünk. Ez magába foglalja a kémiai értelemben vett aromás szénhidrogének hidroxilvegyületeit.

A hazai gyakorlatban alkalmazott analitikai eljárással „vízgőzilló” 4-amonioantipirinnel reagáló vegyületeket nevezhetjük fenoloknak. A fenol az ipari szennyvizek gyakori szennyezője. Nagy mennyiségben tartalmazzák a kocszoló művek, a szén-, fa- és kőolaj lepárlóüzemek, a gyógyszergyártás szennyvizei. Keletkezik a cellulóz lebomlásnál, a papírgyártáskor mesterséges, illetve a falevelek rothadásánál természetes körülmények között is.

Vízvédelmi megítélése az érzékszervekre ható (organoleptikus), s ritkábban toxikus hatása miatt fontos. Nagyobb koncentrációban a fenol a legtöbb organizmusra méregként hat, így a baktériumokra is és ezáltal a biológiai szennyvíztisztításra is. Kis koncentrációban a fenolok biológiailag bonthatók, ilyenkor a folyóvizekben természetes lebomlásuk megvalósul. Klórozáskor a nyers vízben előforduló egyéb szerves anyagok prekursoraként hatnak különböző klórfenol vegyületek keletkezésére. Ha már egyszer bekerült a nyers vízbe, akkor, ha lehet, még a klórozás előtt el kell távolítani.

Az alacsony szubsztitúciós termékek oxidatív úton, a magasabb szubsztitúciósok aktivált szénen történő adszorpcióval vonhatók ki a vízből. Növényvédőszerként alkalmazott klórfenolok karcinogén (rákkeltő) hatása egyértelműen bizonyított.

### 3.2. CSATORNÁZÁS

A csatornahálózat feladata a települések illetve az ipar szennyvizeinek összegyűjtése, illetve a tisztított szennyvíz elvezetése.

Ahogy említésre került már, a csatornázási mű lehet ún. *egyesített rendszerű* (a szennyvizet a csapadékvízzel együtt vezeti el), melynek előnye, hogy a csatorna szelvénye nagyobb és a bekerülő csapadékvíz a lebegőanyag lerakódását megakadályozza, így csökken a szelvény eldugulásának veszélye; hátránya, hogy ebben az esetben legalább 2,5-3,0 m mélységben nagyobb méretű csatornát kell telepíteni.

A méretezéséhez a mértékadó csapadék mennyiségét kell figyelembe venni. Ha az ipari víz mennyisége jelentős, akkor annak a csúcsértékét is hozzá kell adni a csapadékvízhez.

A másik típus az ún. *elválasztott rendszerű* (a szennyvizet és a csapadékvizet egymástól független hálózatba vezeti) csatornamű, melynek előnye, hogy hidraulikailag jól méretezhető és a visszaduzzadás nem fordul elő; hátránya, hogy ebben az esetben két csatorna számára kell helyet biztosítani, ami keskeny úttest alatt gondot jelenthet.

A szennyvízcsatorna-hálózatot órai csúcsra, a csapadékelvezető-hálózatot pedig a mértékadó csapadék vízmennyiségére kell méretezni. Az áramlási sebességet úgy kell megválasztani, hogy a szennyező anyagok ülepedését elkerüljük.

A csatornák anyaga leggyakrabban beton, de kénhidrogén képződéskor a beton korrodálni kezd. A korróziós folyamatok ellen a szennyvíz gyors levonultatásával, korrózióálló csatornahálózat alkalmazásával (műanyag csatorna elemek), vegyszeres kezeléssel (a hidrogén-szulfid mennyisége csökkenthető), illetve a csatorna megfelelő szellőzésével lehet.

A csatornahálózatot a lefolyás-szabályozási elv alapján kell megépíteni és üzemeltetni. Így a telep hidraulikai és szerves-anyag terhelése viszonylag állandóvá tehető. A szennyvíz telepre történő vezetésének időtartama nem lehet hosszabb a megengedettnél, különben a csatornahálózatban pl. kénhidrogén képződés miatt szag-emisszió keletkezik. A csatornahálózatba csak olyan minőségű ipari szennyvizek vezethetők be, amelyek sem a hálózat üzemét, fenntartását, sem a tisztítótelep üzemeltetését nem zavarják, ill. nem teszik lehetetlenné.

### 3.3. A TELEPÜLÉSI SZENNYVÍZTISZTÍTÁS ELJÁRÁSAI

A települési szennyvíztisztítás feladata, hogy fizikai, biológiai vagy kémiai módon eltávolítson minden káros és hátrányos anyagot a kezelésre kerülő szennyvízből. Ha ez a tevékenység eredményes, akkor nemcsak a szennyezésből eredő károk maradnak el, hanem a víz visszanyeri eredeti értékét és újra hasznosíthatóvá válik. A szennyvizekben lévő anyagok ugyanis a vízben szennyező anyagok, de a víztől elkülönítve külön-külön értékesíthetők lehetnek (pl. a szennyvíziszapból előállított B<sub>12</sub>-vitamin, a fenolos szennyvizekből kinyert fenol, de számos szénhidrát, aminosav stb. is van a házi szennyvizekben). Ezeket legegyszerűbb természetes trágyázásra felhasználni, ami a mezőgazdasági termelést növeli.

Az előtisztított szennyvizet megfelelő hígítással halastavakba vezetve, szintén hasznosíthatók a benne lévő anyagok. A szerves szennyező anyagok elégetve hőenergiát szolgáltatnak. Az elégetés során felszabaduló víz minősége megközelíti a desztillált víz minőségét. Mindezek a hasznosítások azonban ma még csak részben megoldottak, de nem vitatható, hogy az emberiség szaporodása és az állandó növekvő vízhiány ezekbe az irányokba fogja terelni a települési szennyvizek tisztítását.

A jelenleg alkalmazott szennyvíztisztítási eljárásoktól egészségügyi szempontból csak azt lehet megkívánni, hogy biztosítsák az elérhető legnagyobb tisztítási hatásfokot, ami igen szakszerű és gondos karbantartást és kezelést igényel. Kockázatot jelentenek a szennyvízkezelés során a levegőbe jutó szennyezések is, amelyben szerepet játszanak a rovarok, melyek a tisztító telepen fertőződnek és ezt a fertőző ágenszt nagy távolságra magukkal vihetik.

A levegőztető berendezéseknél is nagyszámú mikro-csepp kerülhet a szennyvízből a levegőbe, amit a szél visz magával.

A szennyvíztisztítás különféle- fizikai, kémiai illetve biológiai jellegű – eljárások és azokon belül is sok-sok művelet sorozata. A szennyvíztisztítás technológiájában a termék a megtisztított szennyvíz. Az eljárások kémiai (biokémiai) változásokat idéznek elő, a műveletek maguk mindig fizikai jellegű beavatkozást valósítanak meg.

A mechanikai szennyvíztisztításnál közismert, hogy a fizikából ismert törvényszerűségeket hasznosítjuk, vagyis a szennyvízből ráccsal, szitával kiszűrjük vagy ülepítéssel visszatartjuk azon anyagokat, amelyek ilyen módon kiválaszthatók. Az ülepíthetőségnek van itt lényeges szerepe, mert elvileg a kolloid nagyságnál nagyobb lebegőanyagok mechanikai módszerrel visszatartathatók. A gyakorlatban mégsem követjük ezt, mert a teljes ülepítéshez 10-20 órás ülepítési időre van szükség. Ezért vezették be az ülepíthető anyagok fogalmát, amellyel azon anyagok visszatartását biztosíthatjuk, amelyek 2 óra alatt kiülepíthetők.

Gyakorlatilag 2 óra alatt a szennyvízben lévő lebegőanyagok 80 %-a leülepszik, de további mennyiség már igen lassan válik ki. E tisztítás során tehát a szennyvíz, illetve a benne lévő anyagok nem változnak meg, csupán a szennyvíztől való elválasztás biztosítja a tisztítást. A mechanikai eljárások közé tartozik a szűrés (rácson, szitán, homokszűrők, kőfogók), az ülepítés és a sűrítés, a centrifugálás, a flotálás (zsír- és olajfogás), az adszorpció és egyéb ún. speciális módszerek. A sűrítés, centrifugálás, (flotálás) nem is a szennyvizek tényleges kezelésében, hanem a keletkező nagymennyiségű melléktermék, a szennyvíziszap kezelésében használatos.

A szűrés során a szennyvizek tisztításában elsősorban *rácsokat* alkalmazunk, melyek a szennyvízben úszó 10 mm vagy annál nagyobb terjedelmű lebegőanyagok visszatartását biztosítják, aszerint, hogy a rácspálcák távolsága milyen értékű, illetve milyen előtisztítást kívánunk megvalósítani. Az ivóvíztisztításban az ún. gerebek látták el ugyanezen feladatokat (2. fejezet). A rácsok feladata a rács mögötti technológiai berendezések megvédése a nagyméretű vagy tömeges uszadék által okozott mechanikai rongálódástól (eldugulás, eltömődés, stb.), ezen túl a további mechanikai, biológiai, kémiai vízkezelési műveletek tehermentesítése, illetve a rácsszemét külön kezelési útra terelése. Megkülönböztetünk finom- (50 mm alatt) és durva (50 mm felett) rácsokat, az elhelyezés szerint pedig ismert függőleges, sík vagy ferde rács. A durvarácsokat általában a finomrácsok védelmére alkalmazzuk, nagyobb városi vagy egyesített rendszerű csatornázású településeknél.

A szennyvízrács által visszatartott anyag (rácsszemét) gyorsan bomló szerves anyag, önmagában is undort keltő, éppen ezért gépesített megoldású eltávolítása kívánatos. A rácsszemét önmagában nem ásványosítható el eredeti formájában, csak aprítás után pl. fűtött rothasztókban.

A 10 mm alatti szemcseméretű szennyeződés szűrésére inkább *szitákat* célszerű alkalmazni. A szennyvíztisztítási technológiában a szitaszűrőt (illetve szövetszűrőt) általában a biológiai tisztítás után harmadlagos tisztítási eljárásként (mikroszűrők), továbbá az iszap víztelenítésére (vibrációs szűrők) kondicionálás után, vagy kivételes esetekben szennyvízátemelő szivattyúk védelmére (szűrőtartályok) használják. A szitaszűrők a szűrőelem alakja szerint lehetnek ívsziták, síksziták, szalagszűrők, dobszűrők. A szűrőelem helyzete szerint megkülönböztetünk álló szitaszűrőket és mozgó szitaszűrőket (állandóan vagy időszakosan mozgó). A szűrőelem lyukmérete szerint általában két csoportra oszthatók: 0,1 mm-nél nagyobb lyukméret (közönséges szitaszűrők) és 0,1 mm-nél kisebb lyukméretű (mikroszűrők).

A szitaszűrők tisztítási módja kézi, mechanikai vagy hidraulikus lehet, de ismeretesebb kombinált mechanikai és hidraulikai tisztítással működő berendezések. A szennyvíztisztításban a szennyvíz és a benne levő lebegő anyag szétválasztására a gravitációs ülepítés után a *homokszűrés* a leggyakrabban alkalmazott eljárás.

Ún. csepegtetőtestes vagy eleveniszapos biológiai tisztítás után az üleptőből elfolyó tisztított szennyvízben visszamaradó biológiai pelyhek eltávolítására, továbbá a foszfát alumíniummal, vassal vagy mésszel való kicsapása után az elfolyó vízben maradó kémiai-biológiai pelyhek eltávolítására, illetve önállóan fizikai-kémiai kezeléssel vagy harmadlagos tisztítás után visszamaradó lebegő anyag eltávolítására használják.

Az *ülepítés* feladata a lebegő-anyagmentes elfolyó víz nyérése, a sűrítéssel pedig minél töményebb iszap elérésére törekszünk. Adott üleptő medencében az ülepítés és a sűrítés térben és időben egymás mellett végbemenő folyamatok, közöttük határozott válaszvonal nem húzható. Az üleptő berendezések olyan műtárgyak, amelyekben a víz sebessége lényegesen lecsökken (max. 20 cm/s értékre) és ezáltal az adott szemcseátmérőjűnél nagyobb szennyeződések a medence fenekére ülepednek, ahonnan kotró- vagy elszívó berendezéssel eltávolíthatók.

A *homokfogók* a szennyvíztisztításban a tisztítótelep rács mögött következő műtárgya. A szennyvízben lévő ún. ballaszt anyagok (homok, kavics és más ásványi anyagszemcse) visszatartására szolgálnak, mert a homok nem rothadóképes ásványi anyag, tehát a szennyvíztisztító berendezésben való további kezelése terhes és felesleges. A homok az iszagnál lényegesen nehezebb térfogatsúlyú, ezért a medencék fenekén gyűlik össze és azt feleslegesen elfoglalja. Ezen kívül a gépészeti berendezéseket károsan koptatja, üleptő- és rothasztó medencéknél a fenéken való összetömörödés miatt a szennyvíziszap kieresztését megnehezíti, az iszapcső végét eltömi.

A homok visszatartása gyakorlatilag ülepítéssel történik. A leülepedett homok eltávolítását a homoktér feltöltődésétől függően kell végrehajtani, kézi vagy gépi kiemeléssel. Kézi kiemelésnél megkerülő vezetékről vagy párhuzamosan működő két egységről kell gondoskodni, míg a gépi tisztításánál csak megkerülő vezetékről, az esetleges meghibásodás kijavításának biztosítására.

Gépi berendezéssel a homokeltávolítást üzem alatt végezzük, amely egyben a homokkal együtt leülepedett iszap bizonyos mérvű csökkenését, vagyis az iszap kimosását is biztosítja. A gépi eltávolítás történhet végtelen láncra erősített kotró segítségével vagy a medence hosszirányában mozgó zagyszivattyú segítségével. A kikerült homok mindenképpen tartalmaz szerves iszapot, így azt csak feltöltésre lehet használni.

A szennyvíztisztításban alkalmazott *ülepítők* technológiai szempontból a biológiai tisztítás előtt és után alkalmazhatóak ún. elő- vagy utóülepítőként. A két helyen alkalmazható berendezések megoldásában nincs különbség, csupán a tartózkodási idő, vagyis a hasznos térfogat eltérő.

Nemzetközi szinten igen sokféle ülepítő berendezés készül, ezek közül a hazánkban honos, illetve alkalmazni célszerű berendezések megoldása szerint egyszintes és kétszintes ülepítőket különböztetünk meg. Az egyszintes ülepítők csak a leülepedő anyagok felfogására valók, ahonnan az iszapot még rothadás előtt el kell távolítani. A kétszintes ülepítők az ülepítésen kívül a leülepedett iszap rothasztását is biztosítják, de a rothasztásnál keletkező gáz elvezetéséről gondoskodni kell. Feladatuk szerint előülepítőket és utóülepítőket különböztetünk meg. Az egyszintesek mindkét helyen alkalmazhatók, a kétszintesek csak előülepítőnek. Átfolyási irányuk szerint vízszintes (hosszanti, sugárirányú) vagy függőleges átfolyási irányú ülepítőket különböztetünk meg. Magyarországon ún. tipizált műtárgy a Dorr-típusú medence (2. fejezet, 2.5. ábra), mely sugárirányú átfolyású. Alakjuk szerint az ülepítők téglalap vagy kör alakú medencék lehetnek. A kétszintes ülepítők téglalap alaprajzúak, átfolyási irányuk hosszanti. Feladatuk az előülepítés és annak során kivált iszap, esetleg csepegtetőtestes berendezéseknél az utóülepítőben kivált iszap rothasztása. Az ülepítő térben az átfolyó szennyvíz tartózkodási ideje ún. csepegtetőtestes biológiai tisztítás előtt átlagosan 2 óra (minimum 1,5 óra), az ún. eleveniszapos tisztítóberendezések előtt 1/4-1/2 óra.

Az iszaprothasztótér hasznos térfogata legalább 90 napos tartózkodási időt kell, hogy biztosítson. Kisebb berendezéseknél 180 napos tározást alkalmazunk, hogy az iszap elszállítására csak félevenként legyen szükség. Előülepítőkénti alkalmazás esetén valamennyi egyszintes medencetípusnál egy kotrószerkezet a medence vízfelületén kiváló úszóanyag letolására is alkalmas. A lefölezött uszadékot az e célra kialakított uszadék elvezető vályú vagy akna segítségével juttatjuk az iszapkezelőbe. Szennyvíztisztító telepeken rendszerint több, de legalább két párhuzamosan működő ülepítőt kell alkalmazni, hogy meghibásodás esetén a kieső berendezés terhelését a párhuzamosan működő egység vagy egységek átvehessék.

Igen nagy gondot kell fordítani a párhuzamosan működő egységek egyenletes szennyvíz-terhelésére, amelyet csak ún. vízelosztó aknák beépítésével lehet kielégítően elérni. Ezekben a szétosztandó szennyvíz alulról felfelé áramlik és a párhuzamosan működő egységek számától függően azonos hosszúságú bukóelen átbukva jut – azonos mennyiségben – az egyes egységekhez.

Az *iszapsűrítés* célja, hogy a későbbi iszapkezelés során a kezelési költségeket nagymértékben növelő fölös iszapvíztől megszabaduljunk. Az iszapkezelési technológiákban alkalmazott sűrítési eljárások leggyakrabban gravitációs, flotációs megoldásokat jelentenek. Erre a célra főleg ülepítő medencéket alkalmaznak, ahol a kiülepedett anyag sűrítése is végbemegy. Népszerű a sugárirányú áramlású (Dorr-típusú) ülepítők alkalmazása kisebb méretben sűrítőként. Ha az ülepítés nem gravitációs, hanem centrifugális erőterben megy végbe, akkor azt *centrifugálásnak* nevezzük.

Erre a célra hidrociklonokat alkalmazhatunk, melyek sűrűségkülönbség alapján választják el a folyadékot a szilárd anyagtól. Működésük során az álló dobba nagy sebességgel beszivattyúzzuk a szilárd-folyadék szuszpenziót, ahol az körpályára kényszerül és viszkozitásával arányosan fékeződik. Elválasztási élességük kisebb, mint a centrifugáké, ezért csak nagy sűrűségkülönbség esetén használhatók eredményesen. Anyaguk lehet alumínium, acél, porcelán, műanyag. Nagy mennyiségű szennyeződést tartalmazó vizek tisztítása esetén a hidrociklonok belsejét gumival vonják be a koptató hatás ellensúlyozására. Használhatunk továbbá centrifugákat (tányéros centrifuga, csigás ürítésű ülepitő-centrifuga), melyek az utóbbi időben egyre jelentősebb szerephez jutnak a szennyvíztisztításban. Az ülepitők helyettesítésére is használják, az iszapkezelésben pedig a szennyvíziszap víztelenítésében van jelentős szerepük.

A *flotálás* célja a szennyvízben lévő, víznél kisebb sűrűségű olaj, zsír és benzincseppek, valamint kolloid jellegű, illetve a kolloid tartományhoz közelálló részecskék felúsztatása a víz felszínére. A flotálásra alkalmas berendezéseket zsír- és olajfogóknak is nevezzük. A tisztítás a szennyvíz áramlási sebességének csökkentésén alapszik. Jó hatásfokkal működő zsír- vagy olajfogóknál legfeljebb 10 mm-es másodpercenkénti átfolyó sebességet engedhetünk meg.

A zsír-, illetve az olaj kiválását a medence fenekén alkalmazott befúvással lehet segíteni. A felúszást elősegítő légbuborékok létrehozására elterjedt megoldás a levegőbefúvás, amikor a levegőztető medence fenekén lévő fúvókákon, nyomás alatt levegőt vezetünk a szennyvízbe. A felszálló buborékok elsősorban a zsír- és olajcseppek felúsztatására alkalmasak, az eljárás szilárd anyagok eltávolítására kevésbé vált be.

A motorizáció fejlődésével alkalmazásukra nagy szükség van, ugyanis az ásványi eredetű zsírok és olajok az élővizek és az azt használó szervezetek, így az ember szempontjából is a legkellemetlenebb szennyezést okozzák, mert azok az élő szervezetben akkumulálódnak és így rákkeltő hatásúak. A városi szennyvíztisztító berendezéseknél a zsír- és olajfogókból kikerült anyag általában olyan szennyezett, hogy azt hasznosítani nem lehet, sőt megsemmisítése is csak elégetéssel lehetséges. Az ásványi olajszármazékokat a talajba juttatni TILOS, mert a talajvizet javíthatatlan módon szennyezhetik. Az állati- és növényi zsírok és olajok iszaprothasztóban elásványosíthatók.

Az *adszorpció* az a folyamat, melynek során az adszorbeálódó molekulák (adszorptívum) sűrűsége egy határfelületen (adszorbens) lényegesen nagyobbá válik, mint a határfelülettől távolabb. Így ha a szennyvíz érintkezik a szilárd adszorbens anyaggal, akkor a szilárd anyag felületével közvetlenül érintkező, vízben oldott molekulák nagyobb koncentrációban találhatók itt, mint az oldat egyéb részében.

Az adszorpció lényegében fizikai folyamat, de kémiai erők is közreműködhetnek. A szennyvíztisztításban a leggyakrabban alkalmazott adszorbens az aktív szén, amelyet különféle szerves anyagokból állítanak elő. 1000 °C körüli hőmérsékleten levegő kizárásával, izzítással vagy kémiai kezeléssel aktiválják. Jellemzője a nagy repedezettség és porozitás, amely miatt fajlagos felülete 600-1500 m<sup>2</sup>-t is elérheti grammonként. Alkalmazzák mind por, mind szemcsés formában. A port vagy a szemcsét először megnedvesítik, majd azután a kezelendő vízhez adják, majd a kezelt vizet szűréssel (aktív szénszűrők) tisztítják. Mind jobban terjed a biológiai aktívszén-szűrés (BAC). Lényege, hogy a derített, szűrt és ózonozott vizet olyan aktívszén-szűrőre vezetik, amelyben a legalább 4 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> tartalmú, valamint szerves tápanyagot illetve ammóniát tartalmazó vízből a szénszemcséken megtelepedő aerob baktériumok asszimilálják a szénfelületen adszorbeált szerves szennyezőket, valamint kivonják a vízből az ammóniát. Az ózonozás nemcsak az oxigéntartalmat növeli, hanem szétdarabolja, s ezáltal a mikroorganizmusok számára könnyebben fogyaszthatóvá teszi a biológiailag nehezen bontható nagy szerves molekulákat. Az aktív szén a víztisztításban a szerves mikroszennyezők (a kloroform, a mosószerek, a növényvédőszer), az olajszármazékok és egyéb szerves vegyületek kivonására alkalmazzák, de egyes esetekben a szabadklór-tartalom megkötésére is.

A *speciális* mechanikai szennyvíztisztítási módszerek közé tartozik a stripping-gázeltávolítás, melynek során a szennyvízben oldott állapotban lévő káros gázok (szén-dioxid, hidrogén-szulfid, metán, ammónia) eltávolítása mechanikai eljárással (gázkiűzés, gázkihajtás) valósul meg. A vizet különféle módszerekkel finom cseppekre bontva gondoskodnak a megújuló nagy vízfelület és a levegő közötti állandó érintkezésről.

Így a víz és levegő közötti gázátadás állandóvá válik. Alkalmazható még a besugárzás és rövidhullámú kezelés, pl. ibolyán túli sugarakkal, ugyanis a napfény természetes csíraölő hatása közzismert, így a higanygőzlámpákkal előállított ibolyántúli sugarak közül a 220-300 nm közöttiek tudják teljesíteni az esetleges fertőtlenítési feladatot. A vizet olyan csöveken nyomják keresztül, amelyeknek közepén, a cső hosszában helyezkedik el a higanygőzlámpa. Az átsugárzott vízréteg vastagsága nem lehet több 15-20 cm-nél. Az ún. *mágneses vízkezeléskor* a vizet erős mágneses mezőn illetve résen bocsátják keresztül. Eközben veszi fel azt a tulajdonságát, hogy utána felforralva a kiváló karbonát-kristályok nem állnak össze és nem vonják be a kazán vagy cső felületét, hanem iszap formájában a kazán alsó részén gyűlnek össze.

A biológiai szennyvíztisztítási eljárások élő szervezetek működésén alapszanak, vagyis a természetből ismert és a folyók természetes tisztuló képességénél szerepet játszó mikroszervezetek mesterséges úton való elszaporításából állnak.

A biológiai tisztítás során – a berendezésekben – e mikroszervezeteknek lényegesen kedvezőbb életlehetőségeket biztosítunk, mint az élővizekben, éppen ezért ezek rendkívüli mennyiségben felszaporodnak, s így a tisztítás döntő részét kb. 21 nap helyett pár óra alatt elvégzik. A tisztítási folyamathoz szükséges biológiai oxigénigényt ( $BOI_5$ ) módszerrel mérjük.

A biológiai tisztítás feladata tehát a szennyvízben mechanikai tisztítás után maradó lebegő szerves részecskének, valamint az oldott és kolloidális szerves szennyeződéseknek biokémiai folyamatok segítségével történő lebontása. A folyamat történhet természetes és mesterséges körülmények között. A technológiai elemek és berendezések feladata, hogy optimális körülményeket teremtsenek a lebontást végző mikroorganizmusok számára.

A biológiai tisztítás aerob és anaerob körülmények között valósulhat meg. Az aerob biológiai tisztításnál alkalmazott berendezéseket az oxigén, illetve a levegő biztosításának módjától függően osztályozzuk. A tisztítás során tehát állandóan oxigéndús szennyvizet kell biztosítanunk a folyamat kedvező végrehajtásához.

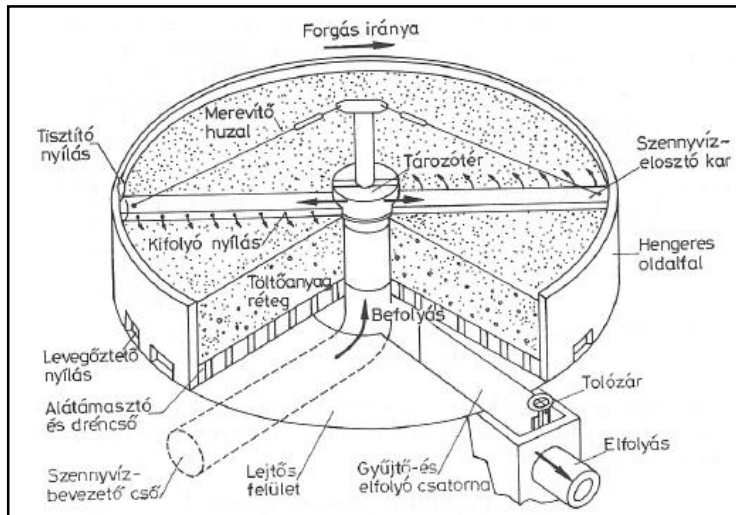
Anaerob eljárásnál levegőtől elzártan végzik tevékenységüket a mikroorganizmusok, de ekkor sem oxigén nélkül. Az életfunkciójukhoz szükséges oxigént nem a vízben oldott formában, hanem a tevékenységükkel (szerves anyagok lebontásával) felszabadított oxigénből nyerik.

Aszerint, hogy az anaerob folyamat savas ( $pH=7$  alatt), vagy lúgos ( $pH=7$  felett) közegben zajlik le, megkülönböztetünk kénhidrogénes (savas) és metános eljárást (lúgos). Az elnevezés egyben jelzi, hogy a lebontás során szén-dioxid mellett kénhidrogén vagy metán fejlődik.

A metános eljárás a kívánatos, mert az gyakorlatilag bűzmentes, a keletkezett gáz *értékes tüzelőanyag* (kb. 5000 kalóriás). Ezzel szemben a kénhidrogénes nemcsak hasznosíthatatlan, hanem erősen *korrózív és kibírhatatlanul bűzös*. Azaz a modern tisztító berendezéseknél vagy aerob, vagy pedig lúgos közegű anaerob biológiai tisztítást biztosítunk. Savas közegű, tehát kénhidrogénes lebontás az *oldómedencéknél* van, melyeket közismerten csak ideiglenes, vagy pedig kis tisztító berendezéseknél alkalmazunk. Előnyük, hogy ezek évekig különleges kezelés nélkül üzemeltethetők. A kellemetlen szagterjedés miatt viszont mindinkább kiszorulnak a kis berendezések közül is.

Műszaki megoldás szerint megkülönböztethetők ún. fixfimes (aerob és anaerob), természetes és mesterséges diszperz rendszerek és vegyszerrel kombinált rendszerek is. A fixfilmes aerob rendszerek közül hazánkban az ún. *csepegtetőtestes rendszerek* (3.1. ábra) a legismertebbek. A biológiai csepegtetőtesteknél a lebontást a biológiai hártya (film) végzi.

Lebontás során anyagtranszport folyamatok juttatják el a tápanyagot és az oxigént a helyhez kötött mikroorganizmusokhoz, valamint eltávolítják a biofilmből a lebontás termékeit. A film aerob és kis részben anaerob mikroorganizmusokat tartalmaz, az életközösségek típusai a csepegető test és a tápanyag függvényében változnak. A folyamatosan vastagodó sejtréteg egy idő után leválik, s mint humusziszap a töltetből eltávozik. A leváló iszapot mennyiségétől függően (nagyterhelésű rendszer) üleptőkben visszatartják. A biokémiai folyamathoz szükséges oxigénmennyiségét (aerob folyamat) a testen átáramló levegő biztosítja.

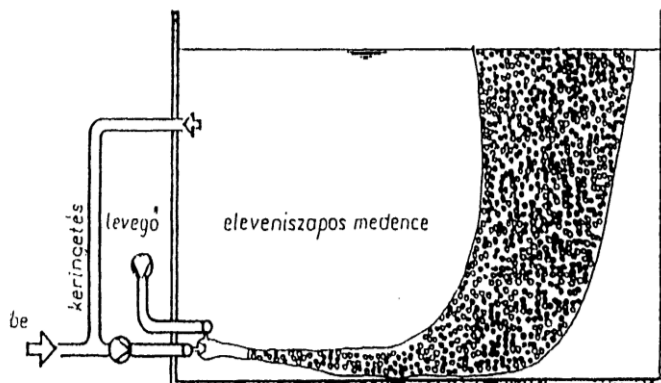


3.1. ábra. Hagyományos csepegetőtest szerkezete és működési elve (Öllös, 1994.)

Megjelenési formáik szerint hagyományos töltőanyagú (bazaltufa, habsalak, érdes felületű szilárd kőzet, stb.), műanyagbetétes és tárcsás (forgótestes) csepegető testek ismertek, melyek közül az utóbbi terhelhetősége a legnagyobb. A tárcsás (merülőtestes) rendszereket teljes biológiai tisztítás igényénél  $Q < 150 \text{ m}^3/\text{nap}$  szennyvízhozamig alkalmazzák, általában minimum kétlépcsős elrendezéssel, mely esetben a  $\text{BOI}_5$  lebontás hatásfoka: 85 %. A könnyű, vékony műanyagból kialakított 1,5-3,0 m átmérőjű tárcsákat vízszintes tengelyen egymástól 2,0 cm távolságra helyezik, s azt 16-25 cm/s kerületi sebességgel a szennyvízbe merítik. Az időjárás viszontagságaitól óvandó berendezést jól szellőztethető fedett helyiségbe kell telepíteni. A tárcsákról levált iszap jól ülepedik, ennél fogva csak 1,5 órás tarózkodási idejű és 1,5 m/h felületi hidraulikus terhelésű utóüleptítőt igényel.

A természetes és mesterséges diszperz rendszerek közül az ún. *eleveniszapos tisztító berendezéseknél* (3.2. ábra) a lebontást végző szervezetek pehely formájában a szennyvízben alakulnak ki, vagyis egy-egy iszappehely több százezer élő szervezetet foglal magába. Innen ered az eleveniszapos elnevezés. E rendszernél a levegőt vagy befűjük, vagy mechanikus szerkezetekkel beverjük a vízbe.

A szennyvíztisztítás biológia megoldásai között jelenleg ez a legkiterjedtebben alkalmazott eljárás. A technológiai folyamat során a tulajdonképpeni biológiai fokozatot a levegőztetés és a kapcsolódó fázisszétválasztás (ülepítés) alkotja, melynek technológiai szempontból szükséges és elmaradhatatlan része (néhány egyszerűbb megoldás kivételével) a recirkuláció.



3.2. ábra. VOEST-ALPINE-típusú keverő sugárejektor beépítése és működése (Barótfi, 2000.)

A levegőztető medencében mennek végbe azok a biokémi folyamatok, melyek során a mechanikai (elő) tisztítás után még megmaradt alakos, kolloid és oldott szerves szennyezést a mikroorganizmusok (baktériumok) változó körülmények mellett lebontják. A szennyező anyagok (a baktériumpopuláció szempontjából tápanyagok) lebontásához a mikroorganizmusoknak oxigénre van szükségük, melynek oldott folyadékfázisba történő bejuttatásához ún. levegőztető berendezések szolgálnak. Ezek feladata, hogy a konstrukciójának megfelelően kialakított medencében (reaktorban) a baktériumok oxigénszükségletének folyamatos kielégítése mellett a sejtömeg kiüledésmentes, egyenletes elosztással történő lebegésben tartása megtörténjen annak érdekében, hogy azok a tápanyagokhoz hozzáférhessenek, s a folyamat végtermékei is egyenletesen oszoljanak el.

Az oxigénellátás és az iszapelegy lebegésben tartását biztosító keverést általában egy gépegység látja el. Azonban a kettős funkció gazdaságos energiafelhasználása érdekében az utóbbi időben az iszap mozgatásához külön keverőket építenek be, mely által elérhető, hogy mindkét funkció képes megközelíteni az optimális működést. Az utóbbi évtizedben a szennyvíztisztítás területén felhasználható kompresszorok biztonságos üzeme és hatékonysága olyannyira fejlődött, hogy az oxigén-beviteli eljárások egyre nagyobb mértékben a mélylevegőztetés irányába tolódtak. A lemezes, csöves, dómos alakú levegőztető fejek (melyek műanyagból, kerámiából, szivacsos anyaggal bevont fémcsővekből, stb. készülnek) a medencék fenekén helyezkedik el, s a korszerű műszerezés lehetővé teszi, hogy a befűvott levegő mennyiségét az érkező, illetve az elfolyó víz minősége függvényében szabályozzák.

Az utóbbi időben egyre jobban terjednek a lézerrel perforált gumimembránfejek vagy műanyag lemezek. A nagybuborékos rendszernél a buborékok nagytátmérőjű nyílásokon jutnak a folyadékfázisba. Hatásfoka éppen ezért alacsonyabb, mint ami a finombuborékos módszernél tapasztalható, mert a víz-levegő határréteg és a kontaktdő kisebb lesz. Előnyként szolgál, hogy nincs levegőszűrési igény, egyszerűbb a karbantartás. Nagyobb-buborékos levegőztetőt alkalmaznak a felszínközeli ún. Inka-rendszernél is. (Levegőztető elemek a vízfelszín alatt 0,6-1,0 m mélyen helyezkednek el.) A levegőztető medencében a szükséges oxigén-koncentráció általában 0,5-1,5 mg/liter, nitrifikáció esetében legalább 2,0 mg/liter, míg speciális esetekben egyedi méretezés alapján kell meghatározni. Az iszapanyag pH-ja 6-8 között legyen. A levegőztető medencét hidraulikailag úgy kell kiképezni, hogy áramlási rövidzárlat, holttér ne keletkezzen, a nyers szennyvíz és a recirkulációs iszap jól keveredjen.

A kémiai szennyvíztisztítás vegyszerek alkalmazását jelenti, amellyel a szennyvízben lévő, nem ülepedhető lebegő anyagok és oldott anyagok kiválását segítjük elő. A házi-, illetve városi szennyvizek tisztításánál a kémiai tisztítást hazánkban még nem alkalmazzuk, de az ipari szennyvizek tisztításánál már általánosan bevezetett módszer (pl. savtalanítás, ciántalanítás, stb.). Élővizeink védelme érdekében hazánkban is szükséges, hogy általánossá váljon a kémiai tisztítás, a jobb tisztítási hatásfok biztosítása érdekében. A *vegyszerrel kombinált rendszerek* esetében pl. mészes adagolásával a lúgos folyamat mielőbbi beindítását segítjük elő, vagy különböző fémsók alkalmazásával (pl. alumínium-szulfát, vas-klorid, stb.) a szennyvizek tápanyag-tartalmának csökkentését, illetve az iszap felesleges víztartalmának eltávolítását könnyítjük meg. A szennyvíztisztítás esetében az ún. kicsapós módszert pl. foszforeltávolításra alkalmazunk, míg pl. a folyadék-folyadék extrakciós megoldást a vizek fenol-tartalmának csökkentésére. A folyadék-folyadék extrakció az a vegyipari eljárás, amelyben egy folyadék valamelyik összetevőjét egy oldószerbe visszük át. A szennyvíztisztításban az egyik folyadékfázis a tisztítandó víz.

Az extrakció egy vagy több fokozatban végezhető, és az teszi lehetővé, hogy az extrahálható anyag a vízben is és a vízzel nem elegyedő extrahálószerben is oldható. Az extrakció a víz és az oldószer intenzív, néhány perces keverésből és a két fázis szétválasztásából áll. Ha egyszeri extrakció elegendő, a vizes fázis a további kezelésre (pl. biológiai tisztítás) elvezethető. Az oxidatív kezelések a szennyvizek kezelésében is alkalmazhatóak, ezeket a 2. fejezetben bemutattuk.

A teljes szennyvízkezelési technológiát tekintve a fenti eljárási megoldások alkalmazásával és azok ésszerű kombinációjával a tisztítás mértékét úgy kell megválasztani, hogy a technológia a környezetvédelmi igényeket is kielégítse, hatékony és energiatakarékos legyen. A szennyvíztisztító telepek a legkritikább esetben épülnek ki véglegesen, azok bővíthetőségéről, folyamatos karbantartásáról, esetleges rekonstrukciójáról gondoskodni kell.

A szennyvíztelepek működésének folyamatos ellenőrzése lehetővé teszi a minőségi mutatók nyomon követését, az azokban bekövetkező változások észlelését. A korszerű technika és az automatizált üzemeltetés lehetősége, a környezetvédelem növekvő fontossága olyan igényt is támaszt, hogy a tisztított víz minőségét javítsuk. A szennyvíztisztító telepek kiemelt környezetvédelmi problémái között megjelenik az ipari vizek kezelésének, a szagemisszióknak (bűzterhelés) és a kivont szennyező anyagok biztonságos elhelyezésének problémaköre.

A tisztított szennyvíz ún. befogadókba vezethető, mely általában élővízfolyás vagy egy tó, de ezen túl talajbeli elhelyezés is lehetséges és a kezelt víz hasznosítható is (öntözés). Az elhelyezést tekintve fontos, hogy pl. a tisztított szennyvíz minőségi paraméterei környezetvédelmi szempontból megfelelnek-e a biztonságos elhelyezéshez. Valamennyi vízminőség-szabályozási törekvés elsődleges célja a befogadók (folyók, tavak, óceánok, talajok) vízvédelmének biztosítása. A hígulás által biztosított elhelyezési lehetőségek kihasználása előtt a szennyvizet megfelelő mértékig kell tisztítani. A tisztítási műveletek által a szennyvízből eltávolított anyagok és iszapok az iszapkezelő műveletekkel válnak elhelyezhetővé, illetve hasznosíthatóvá. Ezek közül kiemelt az iszapstabilizálás, mely során a biológiai szennyvíztisztítás során megismert folyamatokat alkalmas reaktorokban játszadjuk le a szennyvíziszap kezelésére és hasznosítására.

Az alkalmazott körülmények függvényében melléktermékként metán tartalmú biogázhoz juthatunk (anaerob, lúgos közegű bontási folyamatok), mely hasznosítható és az így nyert energia a telep üzemeltetésére visszaforgatható. Az iszap további kezelése és hasznosítása elsősorban a víztartalmának csökkentésére, egyben térfogatcsökkentésre és a patogén szervezetek eltávolítására irányul.

Itt elsősorban mechanikai eljárásokat alkalmazunk (sűrítés, centrifugálás, flotálás, stb.), mely a szennyvíz kezelés során már ismertté váltak számunkra. A kezelési megoldások közül kiemelt lehet a komposztkészítés, mely közben az iszap szerves anyagai a biológiai lebontás révén stabil végtermékké alakulnak. A magas hőmérséklet miatt a komposztálás során a patogén szervezetek is elpusztulnak. A komposztkészítő rendszereken belül ismert: prizmás, mesterséges levegőztetésű komposztdepónia, illetve tartályos rendszer.

Alkalmazhatunk továbbá termikus iszapkezelési megoldásokat, mint az iszapégetés, mely a magas hőmérsékletű folyamatok csoportjába tartozik, s ez az iszap elégethető elemeinek gyors, exoterm oxidációja. A keletkező hamut általában téglakészítés, aszfaltkészítés, betonkészítés kapcsán hasznosítják.

A kezelt, azaz víztelenített iszap esetén az elhelyezési mód lehet a feltöltésbe helyezés, amikor az iszap a talajba kerül, és fölé földtakarást helyeznek.

Fontos szerepet tölt be az iszap mezőgazdasági hasznosítása, melynek során az iszap növényi tápanyagforrás szerepét tölti be és/vagy a növénytermesztés hatékonyabbá tétele érdekében a talajjavító tulajdonságai érvényesülnek.

Hasonló megoldás az erdészeti hasznosítás, ahol a fatermelés hatékonyságának növelése érdekében használják. Hasznosítható még bizonyos területek művelésre alkalmassá tételéhez (bányaterületek és más használhatatlan területek növényzettel való újratelepítése), ill. a talaj javítása céljából.

## Felhasznált szakirodalom:

Barótfi István: Környezettechnika, Mezőgazda kiadó, Budapest. 2000.

Benedek Pál- Valló Sándor: Vízisztítás-szennyvíztisztítás zsebkönyv, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1990.

Benedek Pál: A szennyvíziszap elhelyezése és mezőgazdasági hasznosítása. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1977.

Borda Jenő - Lakatos Gyula - Szász Tibor: Környezeti Kémia II. egyetemi jegyzet, KLTE, 1994.

Bozóky Szeszich Károly – Kovács Kné – Illés I.: Vízellátás-csatornázás. Tervezési segédlet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.

Buzás Kálmán, Budai Péter, Horváth Adrienn: Városi környezetvédelem, egyetemi jegyzet, BME, Budapest, 2012.

Öllös Géza- Borsos József: Vízellátás és csatornázás I., Műegyetemi kiadó, Budapest, 1994.

Öllös Géza: Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése I. II., Akadémiai kiadó, Budapest, 1994.

Tamás János: Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés, egyetemi jegyzet, Debreceni Agrártudományi Egyetem, Debrecen, 1998.

Tömösy László: Vízisztaságvédelem, szennyvíztisztítás, oktatási segédlet, 2004.

## 4. A TALAJ SZEREPE A KÖRNYEZETI ELEMELK RENDSZERÉBEN

### 4.1. A TALAJ FOGALMA

A talaj (pedoszféra) a földkéreg (litoszféra) legfelső rétege, ami a felszín és az ágyazati kőzet között helyezkedik el. Egy rendkívül összetett, állandóan változó közeg a Földön. Alapvetően ásványi szemcsék, szerves anyag, víz, levegő és élőlények alkotják. Jellemző tulajdonsága a termékenység, vagyis az a képessége, hogy kellő időben és a szükséges mennyiségben képes ellátni a rajta élő növényzetet vízzel és tápanyagokkal, ezáltal lehetővé teszi az elsődleges biomassza előállítását. A növények mellett számos állat és mikroorganizmus élőhelyeként szolgál, vagy élettevékenységük alapvetően kötődik a talajhoz. A talaj ezenkívül a természeti környezet része, és jelentős szerepe van a különböző anyagok biológiai körforgásának fenntartásában. A földfelszínre érkező energia- és anyagáramlásokat fogadja, részben tárolja, részben átalakítja, illetve közvetíti a többi szféra felé.

A talaj, mint természeti erőforrás a nem megújuló erőforrások közé sorolható. Regenerálódása hosszú éveket, évszázadokat vehet igénybe, hiszen lassú fizikai, kémiai és biológiai természeti folyamatok hozzák létre. Az élővilággal (bioszféra) és a többi környezeti elemmel (litoszféra, atmoszféra, hidroszféra) szoros kapcsolatban és állandó kölcsönhatásban áll. A talaj korlátozottan áll rendelkezésre, termőterületeink területi kiterjedése rohamosan csökken. Évente hatalmas felületeket használunk fel termőterületeinkből ipari, települési és úthálózat építési célokra. A nem megfelelő talajhasználat és agrotechnika erózióhoz, talajpusztuláshoz vagy szennyezéshez vezethet. Az antropogén hatások, és a talaj működését befolyásoló környezeti tényezők a talaj egyensúlyának felborulását, a termőképesség fokozatos kimerülését okozhatják.

*Talajdegradáció* alatt minden olyan folyamatot értünk, mely a talaj termékenységét csökkenti, minőségét rontja, illetve a funkcióképességét korlátozza, vagy a talaj teljes pusztulásához vezet. A talajt, mint környezeti elemet számtalan degradációs folyamat veszélyezteti úgy a természet, mint az ember részéről. A termőtalajokat veszélyezteti többek között a mennyiségi csökkenés (utak, autópályák, iparterületek, lakóépületek, bányászat stb.) ugyanúgy, mint a minőségi leromlás (erózió, savanyodás, kémiai szennyezés, szerkezetromlás stb.).

Az Európai Unió talajvédelmi stratégiájában az alábbi nyolc degradációs folyamatot fogalmazza meg, mint a leginkább veszélyeztető tényezőket:

- erózió,
- szerves anyag tartalom csökkenése,
- szennyezés,

- beépítés,
- tömörödés,
- biodiverzitás csökkenés,
- szikesedés,
- árvizek, földcsuszamlások.

## 4.2. A TALAJ FUNKCIÓI

A talaj nem csupán a növények termesztése és más mezőgazdasággal kapcsolatos tevékenység szempontjából fontos, hanem sokrétű funkcióin keresztül az egész természeti környezet és az emberi élet minőségét is meghatározza.

A talaj legfontosabb funkciói:

- A többi természeti erőforrás (sugárzó napenergia, légkör, felszíni és felszín alatti vízkészletek, biológiai erőforrások) hatásának integrátora, transzformátora, reaktora.
- Életeret biztosít a talajban élő növényi és állati szervezetek számára és termőhelyet a termesztett kultúráknak.
- A primer biomassza-termelés (szerves szén) alapvető közege, a bioszféra alapvető tápanyagforrása.
- Hő, víz és növényi tápanyagok természetes raktározója.
- A Föld felszínét érő természetes vagy emberi tevékenység hatására bekövetkező stresszhatások szűrő- és semlegesítő, pufferoló rendszere.
- A bioszféra jelentős gén-rezervoárja, a biodiverzitás fenntartásának nélkülözhetetlen eleme.
- Történelmi örökségünk hordozója.

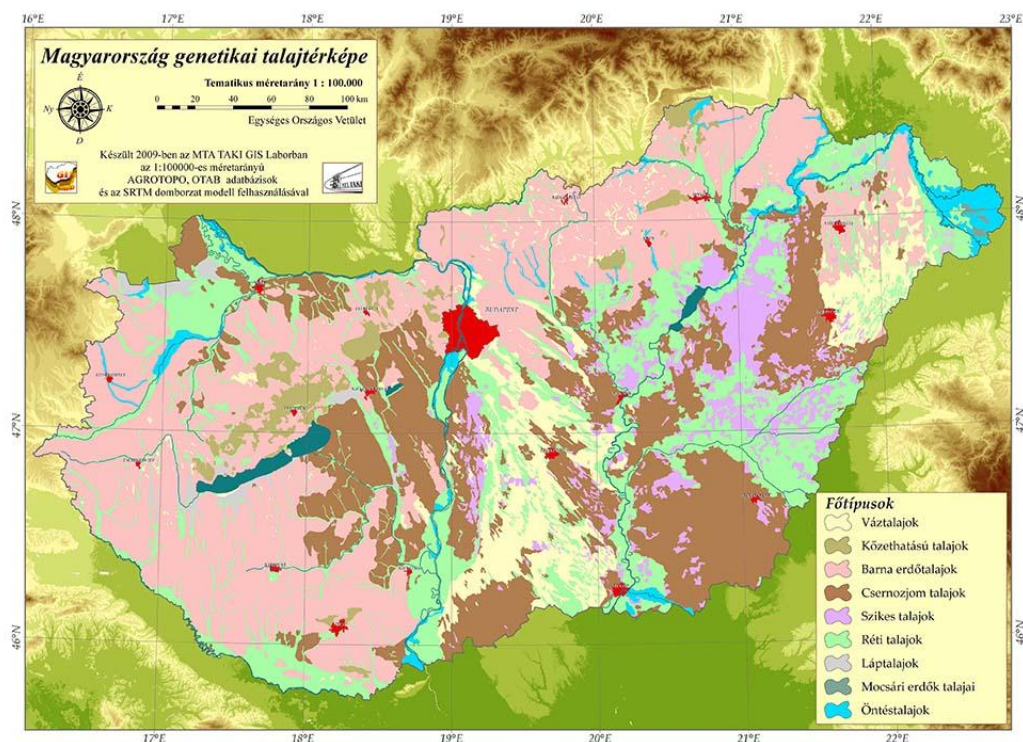
A talaj az óceánok után a bolygó második legnagyobb aktív szénraktározója, azonban az utóbbi évtizedekben csökkent a szénvisszatartó képessége, elsősorban a nem megfelelő (nem fenntartható) talajművelési gyakorlatnak és a megváltozott területhasználatnak köszönhetően.

A talajnak az a képessége, hogy ezt a számos funkciót el tudja látni, alapvetően a benne lakó élőlényektől és az általuk alkotott közösségek erejéből és változatosságából ered (a talaj biodiverzitása). Egy teáskanál kerti föld fajok ezreit, élőlények millióit és több száz méter gombafonalat tartalmazhat. A tudósok becslése alapján a Föld élőlényeinek legalább egynegyede a talajban él.

A különböző talajhasználatú területek biodiverzitása igen eltérő lehet, egyes talajokban nagy a fajok változatosság és egyedszáma, míg másokban kicsi. A többi talajhoz viszonyítva a füves puszták élővilága a legváltozatosabb, azt követi az erdők, a mezőgazdasági művelés alatt álló területek és végül a városi területek.

### 4.3. MAGYARORSZÁG TALAJADOTTSÁGAI

Magyarország talajtípusai meglehetősen változatos képet mutatnak, 9 főtypust, 31 típust, altípust különböztetünk meg (4.1. ábra). Ezek közül a legnagyobb kiterjedésűek az agyagbemosódásos barna erdőtalajok (16,2%), meghatározó még a barnaföldek (9,4%), a réti öntés- (8,4%) és a réti (8,2%), valamint a csernozjom talajok (6,9%) kiterjedése.



4.1. ábra: Magyarország fő talajtípusai (Forrás: MTA-TAKI, AGROTOPO)

A talaj termékenysége ugyan a talaj legfontosabb tulajdonsága, de a talaj minősége nem szűkíthető csupán erre a jellemzőre. A minősége azt fejezi ki, hogy a talaj mennyire képes eleget tenni az elvárt funkcióknak. A talajok termékenységének érvénysülését számos tényező gátolhatja:

- Nagy homoktartalom (kis szerves- és ásványi kolloidtartalom) következményei: gyenge víztartó képesség, aszályérzékenység, kis pufferkapacitás, gyenge tápanyag-szolgáltató képesség.
- Erősen savanyú kémhatás következményei: Al-toxicitás, tápanyagfixáció és immobilizáció, gyenge mikrobiális tevékenység.
- Szikesedés következményei: erős lúgosság, szélsőséges vízháztartás, belvizekérzékenység, csekély hasznosítható vízkészlet.
- Szikesedés a talaj mélyebb rétegeiben.

- Nagy agyagtartalom következményei: szélsőséges vízháztartás, belvív- és aszályérzékenység, kedvezőtlen mikrobiális tevékenység.
- Láposodás, mocsarasodás, időszakos felszíni vízborítás.
- Víz és szél okozta erózió következményei: szerves anyag- és tápanyagvesztés.
- Sekély termőrétég.

#### 4.3.1. A talajaink kialakulását befolyásoló tényezők

Magyarország talajainak nagy része viszonylag fiatal (negyedkori vagy annál fiatalabb) képződményeken alakult ki, s az országnak csak kisebb hányadát borítják régebbi (harmadkori vagy idősebb) talajképző kőzetek:

- különböző üledékes, magmás vagy vulkáni kőzetek és málladákaik: 6,8 %;
- harmadkori és idősebb üledékek (beleértve a hajdani Pannon beltenger nehéz mechanikai összetételű, nagy sótartalmú üledékeit): 7,5 %;
- negyedkori (pleisztocén) üledékek, elsősorban eolikus (szél-telepítette) lösz: száraz felszínre települve a mai löszplatók területén, ma is többnyire jellegzetes, porózus lösz-karakterrel; és ún. infúziós („alföldi”) lösz: vízbe vagy időszakosan vízborította felszínre telepítve a mélyebb fekvésű területeken; tömődött, hidromorf bélyegeken gazdag karakterrel (48 %);
- jelenkori (holocén) üledékek; eolikus homok, elsősorban a Duna–Tisza közti Hátság és a Nyírség területén; folyóvízi üledékek (alluviumok) a folyók hajdani és jelenkori árterein; lejtőhordalékok (kolluviumok) a medenceperemi és völgytalpi területeken; áttelepített lösz és löszös üledékek az Alföld egész területén végbemenő laterális erózió eredményeképpen (37,7 %).

Magyarország a 45°45' és 48°35' északi szélességek között fekszik, a szoláris éghajlati felosztás szerint a mérsékelt övben. Éghajlata nagyon változékony. A változékonyság egyik fő oka, hogy éghajlatunkra a kiegyenlítettebb hőmérsékletjárású, csapadékos óceáni, a szélsőséges hőmérsékletű, kevés csapadékú kontinentális, illetve a nyáron száraz, télen csapadékos mediterrán éghajlat egyaránt hatással van.

Éghajlatunk másik fő meghatározója a domborzat. Mivel az ország a Kárpát-medence alján fekszik – felszínének több mint a fele 200 m tengerszint feletti magasságnál alacsonyabb síkság, illetve alacsony terület, a 400 m feletti területek aránya pedig kevesebb, mint 2 százalék – elsősorban a Kárpátok hatását kell kiemelni.

Hazánk túlnyomó részén az évi középhőmérséklet 10 és 11 °C között alakul (-2,5 °C januári és 25 °C augusztusi átlagos havi középhőmérséklet). Az átlaghőmérséklet térbeli eloszlása egyértelmű DNY-ÉK-i csökkenést mutat, ami a Földközi-tenger melegítő és a szibériai anticiklon hűtő hatásának köszönhető.

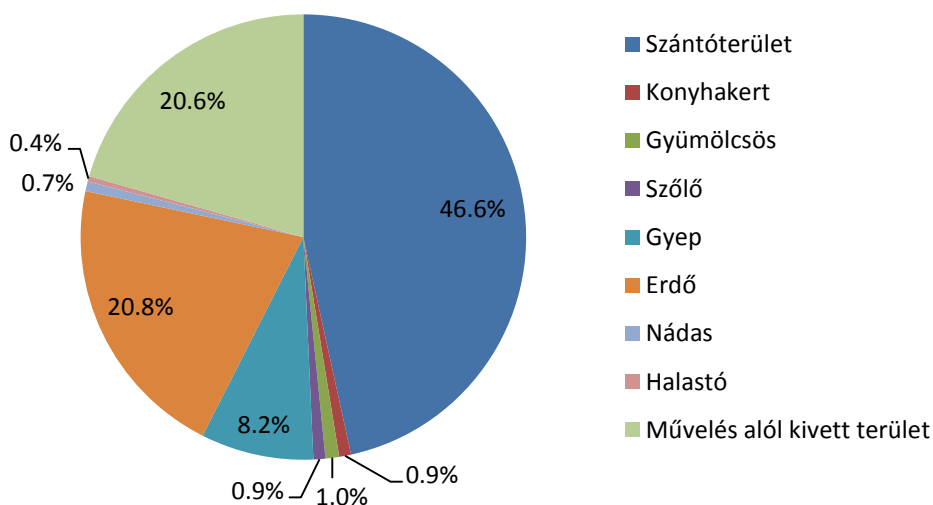
Magyarországon az évi átlagos csapadék 500-750 mm, de tájaink között jelentős eltérések vannak az éves csapadékmennyiségében. Az Alföld területeinek évi átlagos csapadékmennyisége 450–500 mm, míg a nyugat-magyarországi Alpokalja területen 800–900 mm. Az évi csapadékösszeg DNy-ról ÉK felé csökken.

A természetes növényzet (erdős- sztyep, illetve nedves élőhelyi ökoszisztémák), amit az éghajlat, domborzat és nedvességviszonyok határoztak meg– az előbbiekhöz viszonyítva – lényegesen kisebb hatást gyakoroltak a talajképződési folyamatokra, s inkább következményei, mint okai voltak azoknak.

Lényeges, gyakran döntő hatást gyakorolt az ország talajképződési folyamataira az ember tevékenysége. Közvetlenül (erdőirtások; legeltetés, gyepfeltörés; ár- és belvízmentesítés; intenzív növénytermesztés: gépesítés, kemikália-használat, öntözés, vízrendezés, melioráció) és közvetett stressz hatásaival (talajszennyezés, tájrombolás, más irányú földhasználat) egyaránt.

#### 4.3.2. Talajhasználat hatása talajaink minőségére

Magyarország területének mintegy 46,6%-a szántó terület (4,3 millió ha). Talajadottságaink alapvetően kedveznek a mezőgazdasági hasznosításnak (4.2. ábra), azonban a nem megfelelően végzett művelés kedvezőtlen hatással lehet a talaj minőségre és veszélyeztetheti a terméshozamot.



4.2. ábra: Magyarország földterületei művelési ágak szerint (Forrás: KSH, 2015)

A mezőgazdasági művelésbe vont területeken az egyoldalú talajhasználat, a sokmenetes művelés, a talaj gyakori mozgatása következtében a talajdegradációs folyamatok felerősödhetnek.

A szántó területek 40%-án kisebb-nagyobb mértékű talajdegradáció figyelhető meg. A talaj kedvezőtlen nedvesség állapotban való művelése pl. a talaj rögződését, tömörödését, kedvezőtlen állapotúvá válását okozza. A károsodott, elporosodott talajszerkezet nedvesség hatására elfolyósodik, majd kiszáradva cserepessé válik. A szakszerűtlen művelés következményeként fellépő degradációs folyamatok közül a legnagyobb problémákat a művelt rétegben megjelenő tömör záróréteg vagy zárórétegek okozzák. Hatásukra romlik a talaj vízbefogadó-, vízáteresztő képessége, ami hatással van a talaj víz-levegő arányára és végső soron kedvezőtlenül hat a talajban lakó élőlények tevékenységére.

#### 4.4. A TALAJVÉDELEM JELENTŐSÉGE

A talaj napjainkban sajnos folyamatosan pusztul, mind az Európai Unió tagállamaiban, mind világszerte. Az erózió, a szerves anyag csökkenés, a tömörödés, a szikesedés, a talajsavanyosodás, az elsivatagosodás és a talajszennyeződése negatív hatást gyakorol a talajra, ezáltal kedvezőtlenül hat az emberi egészségre, a természetes ökoszisztémákra, a Föld klímájára és a gazdasági folyamatokra.

A talaj összetettsége következtében egy rendkívül sérülékeny ökológiai rendszer. Az ember talajra gyakorolt hatása közvetett és közvetlen módon is jelentkezhet. Közvetett hatás lehet pl. az atmoszférán keresztül jelentkező hatások, úgymint a kémiai összetételének ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$  tartalom) megváltozásával, nehézfém és egyéb ipari szennyező kibocsátásával, vagy lebegő anyag tartalmának megváltoztatásával. Közvetett hatás érheti a talajokat a talajvíz kémiai összetételének, a vízszint mélységének változtatásán keresztül is. A bioszférában bekövetkező változásokra is érzékenyen reagál a talaj pl. a természetes növénytakaró módosítására (erdőirtás, túllegeltetés). A közvetlen hatások pl. a termőterület csökkentése a területek más célú hasznosításával, a talajok szennyezése, vagy egyéb fizikai, kémiai, ill. biológiai degradálása.

A talaj fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságai térben és időben változnak. A talajtulajdonságok időbeli változása háromféle lehet:

- rendszeres periodikus változások (pl. hőmérséklet,  $\text{CO}_2$ -tartalom, tápanyag tartalom változása),
- trendszerű változások (pl. szerves anyag felhalmozódás, agyagosodás, agyag bemosódás, sófelhalmozódás,
- véletlenszerű változások (pl. szennyezések, emberi tevékenység által befolyásolt paraméterek).

A talaj tulajdonságainak időbeli változékonysága a változás időtartama alapján lehet:

- néhány óra alatt bekövetkező változások (pl. hőmérséklet, nedvességtartalom),

- néhány hónap alatt bekövetkező, ún. évszakos változások (pl. tömődöttség, biológiai aktivitás, sótartalom, kémhatás),
- évtizedek alatt bekövetkező változások (pl. szerves anyag tartalom, kiválások)
- évszázadok alatt végbemenő változások (pl. ásványi összetétel, a talaj mechanikai összetétele, talajrétegek színe).

A hazai talajokat érő legfontosabb talajdegradációs folyamatok az alábbiak:

- Víz és szél okozta talajerózió.
- Talajsavanyodás.
- Szikesedés.
- Szerkezet romlás, tömörödés, porosodás.
- Extrém vízháztartási viszonyok: túlnedvesedés kockázata megnő, belvizek, elmocsarasodás, aszályérzékenység.
- Biológiai degradáció: szerves anyag tartalom csökkenése, talajbiota elszegényesedése, a természetes biológiai aktivitás visszafordíthatatlan változása.
- Kedvezőtlen változás az elemek bio-geo-kémiai körforgásában, mint pl. a tápanyagháztartás megváltozása, a kilúgozási folyamatok erősödése, biotikus, abiotikus immobilizáció.
- A talaj pufferkapacitásának csökkenése,
- Talajszennyezés, környezeti toxicitás.

Az Európai Unió területén a talajpusztulás becsült költsége (az ebből adódó veszteségek összege) 38 milliárd euróra tehető éves szinten.

*Erózió:* A víz okozta erózió 115 millió ha-t érint az Európai Unióban, míg a szélerózió (defláció) 42 millió ha-t. A mediterrán területek a leginkább veszélyeztetett, de az Európai Unió többi tagországának talajait is jelentősen pusztítják az eróziós folyamatok.

*Szerves anyag tartalom csökkenése:* Európában a talajok mintegy 45%-nak alacsony vagy nagyon alacsony a szerves anyag tartalma. Ez különösen igaz dél-európában, de emellett Franciaország, az Egyesült Királyság, Németország és Svédország bizonyos területeire. A talaj szerves anyag tartalmának csökkenése mind a talaj szerkezetére, termékenységére, hő-, tápanyag-, és vízgazdálkodási jellemzőire, mind pedig a talajban lakó élőlények változatosságára is kedvezőtlenül hat.

*Talajtömörödés:* Ez a talaj szerkezetben bekövetkező kedvezőtlen változás mechanikai nyomás hatására jön létre. Elsősorban a túllegeltetés, a legelő állatok túl nagy létszáma, illetve a nehéz munkagépek túlzott használatának a következménye.

*Elsósodás:* Európában közel 3,8 millió ha-on figyelhető meg ez a folyamat.

A leginkább érintett területek: Campania régió Olaszországban, az Ebro völgye Spanyolországban és az Alföld területe Magyarországon. A talaj elsősődését a nem megfelelő öntözés és a változó növénytakaró súlyosbítja.

*Talajszennyeződés:* A becslések alapján az Európai Unióban mintegy 3,5 millió potenciálisan szennyezett terület található. Ezek közül közel 0,5 millióra tehető azon területek száma, ahol ténylegesen olyan mértékű a szennyeződés, hogy talajtisztításra van szükség.

*Talajtakarás:* A talaj végleges lefedését jelenti (pl. úthálózatok, parkolók, lebetonozott területek). Az EU területének kb. 9%-a ilyen. A talajborítás megakadályozza a gázok, a víz és az energia áramlását a talaj és a légkör között.

A talaj folyamatosan változik elsősorban a talajképződési- és talajpusztulási folyamatoknak köszönhetően. Ezek a változások lehetnek időlegesek vagy tartósak, illetve kedvezők vagy kedvezőtlenek. A talajban zajló folyamatokat a talajjal kapcsolatban lévő többi szférát ért hatások is befolyásolják. Ezért a talajt érő hatások értékelésénél nem elegendő csak a közvetlen hatásokat nyomon követni, hanem a teljes természeti környezetben bekövetkező változásokat is figyelembe kell venni.

#### 4.5. A TALAJSZENNYEZÉS HATÁSAI

A *talajszennyeződés* az a folyamat, mely során a talaj természetes viszonyok között kialakult fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai jelentős mértékben és kedvezőtlen irányban változnak meg, az ökológiai talajfunkciók károsodnak.

Talajszennyeződést okozhat a kémiai összetevők (toxikus elemek, toxikus vegyületek felhalmozódása), és a biológiai összetevők megváltozása.

A talajszennyeződés legfontosabb forrásai természetes és emberi (antropogén) eredetűek lehetnek, melyek pontszerű vagy nem pontszerű (diffúz) talajszennyeződést okoznak. Antropogén pontszerű talajszennyeződést okozhatnak a szennyvizek, szennyvíziszapok, a hígtrágyák, az istállótrágyák, a hulladékok (folyékony, szilárd) és a termelési (ipari) emissziók. Antropogén, diffúz szennyeződés alakulhat ki a légszennyezésből eredő száraz és nedves kiülepedés következtében, vegyszerek (műtrágyák, növényvédő szerek, csávázó szerek) mezőgazdaságban történő felhasználása, valamint a közlekedés, atomrobbantások, nukleáris balesetek miatt.

Antropogén tevékenység következtében nehézfémek, radioaktív szennyezőanyagok, szervetlen makro szennyezők, kőolaj és kőolajszármazékok, szerves mikroszennyezők, peszticidek és biológiai szennyezőanyagok kerülhetnek a talajba és a környezet más elemeibe.

A földtani közeg és a felszín alatti vizek szennyeződéseinek többszörre ipari eredetűek. A leggyakrabban szennyezést okozó anyagok a következők:

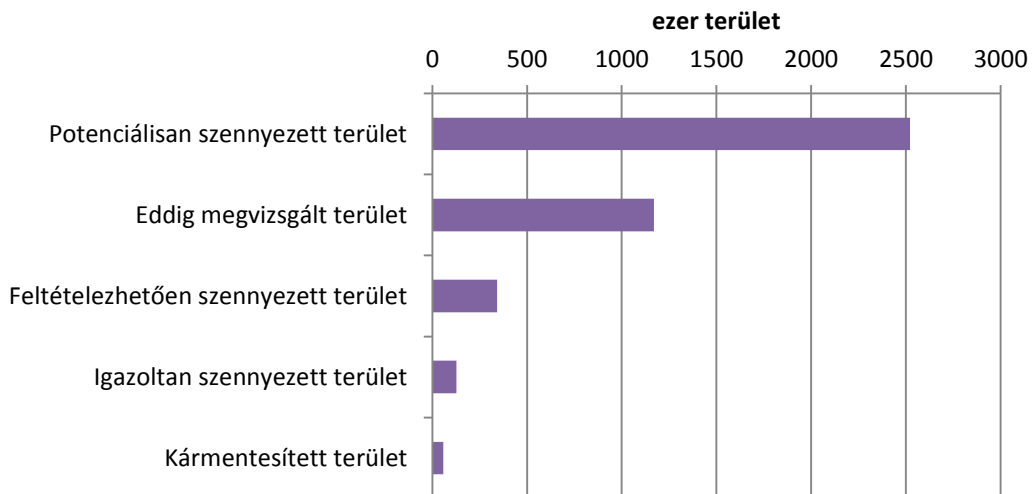
- *Illó- és nem illó alifás és aromás szénhidrogének*: alifás szénhidrogének, benzol, alkilbenzol, policiklikus aromás szénhidrogének (PAH), stb. Leggyakoribb szennyező iparágak és tevékenységek a kőolajbányászat és feldolgozás, a laktanyák területe, a benzinkutak, a közlekedés, a műanyaggyártás (kerozin, benzin, gázolaj, gépolajok). A szénhidrogének egy része biológiailag könnyen bomlik és kevésbé toxikus, ezeknél az ökoszisztéma veszélyeztetése gyakran a levegőtől való elzárásnak tulajdonítható. Kockázatosabbak az aromás és a policiklikus aromás szénhidrogének. Ezek biodegradálhatósága limitált, illetve egyes vegyületek nagymértékben perzisztensek.
- *Illó és nem illó halogénezett szerves vegyületek* (szénhidrogének): triklóretilén, perklóretilén, klórozott peszticidek, klórbenzolok, klórfenolok és poliklórozott bifenilek (PCB). Szinte kivétel nélkül erősen toxikus hatású vegyületek, melyek az ökoszisztémát és az embert egyaránt veszélyeztetik, perzisztensek, bioakkumulálódó hajlamuk nagy. A kockázatos anyagok származhatnak a zsirtalanítási technológiák, a növényvédőszer gyártás és felhasználás, a fafeldolgozás, a papírgyártás, a műanyagipar területeiről.
- *Toxikus fémek, félfémek és azok vegyületei*: Ag, As, B, Be, Cd, Co, Cr, CrVI, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Sn, Pb, Zn, melyek az ércbányászat, a kohászat és fémfeldolgozás (galvanizálás), valamint az akkumulátorok és szárazelemek gyártás során kerülhetnek a környezetbe. E potenciális források mellett a közlekedés, a növényvédőszer, a szennyvíziszap, a műtrágyák használata szintén növelik a környezet toxikus fémterhelését. Az emberi egészségre leginkább veszélyt jelentő nehézfémek: arzén (As), ólom (Pb), kadmium (Cd), króm (Cr), réz (Cu), higany (Hg), nikkel (Ni), cink (Zn). Azbeszt, dioxin és dioxinszerű vegyületek, szerves szennyezők (PCB, PCDF, PAH, peszticidek, herbicidek, szerves olajok, gyógyszer maradványok).
- *Szabad és komplex cianidok*, melyek az ércbányászat, ércfeldolgozás, a galvanizálás, a bőrgyártás és a fotocikkek előállításával valamint a gázmassza deponálásával kerül elsősorban a környezetbe.
- *Radioaktív anyagok*:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ , amelyek természetes forrásokból (urán és tórium bányászat) vagy egyéb emberi tevékenység révén (K-műtrágyák, nukleárisenergia ipar balesetei) kerülhetnek a környezetbe.

#### 4.5.1. Talajszennyezések Európában

A több mint 200 éve tartó ipari termelés és intenzív mezőgazdasági talajhasználat következményeként napjainkban a talajszennyeződés általános problémát jelent az Európai Unióban.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA, European Environment Agency) becslése alapján 2,5 millió potenciálisan szennyezett terület lehet az Európai Unió területén, amelyek közül eddig kb. 45%-át vizsgálták meg (4.3. ábra).

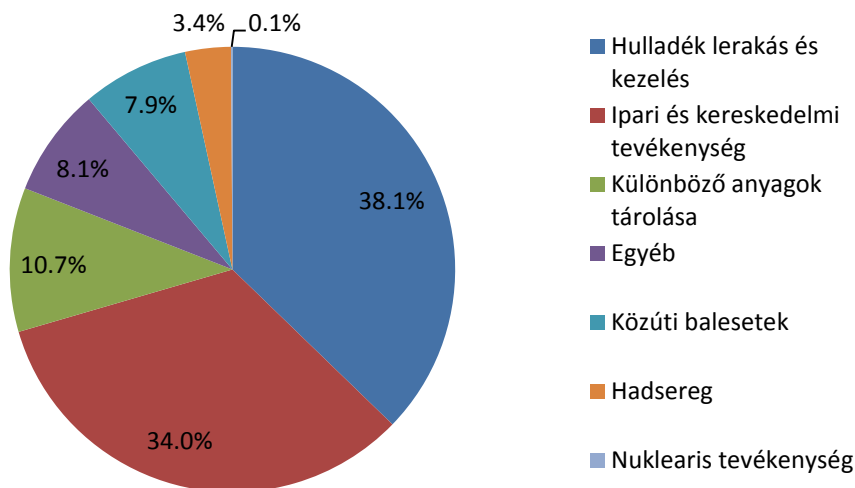
Ezen potenciálisan szennyezett területeknek mintegy 14% (342000 terület) olyan terület, ami feltételezhetően ténylegesen szennyezett és ahol minden bizonnyal kármentesítésre van szükség. Mintegy egyharmadát ezeknek a szennyezett területeknek beazonosították, és közel 15%-át már kármentesítették.



4.3. ábra: Szennyezett és kármentesített területek az Európai Unióban (Forrás: EEA, 2014)

A szennyeződések legfőbb oka a múltbeli és jelenlegi ipari tevékenységekhez, valamint a hulladék lerakáshoz és kezeléshez köthető. Az európai talajszennyeződések csaknem egyharmadát a nem megfelelő hulladék lerakás és kezelés okozza (4.4. ábra). Emellett a fémfeldolgozás, kohászat és az üzemanyag kutak szintén gyakori okozói a talajszennyeződésnek, míg egyes országokban a bányászat is egy jelentős forrásnak bizonyul.

A leggyakoribb szennyezők az ásványi olajok (23,8%) és a nehézfémek (34,8%).



4.4. ábra: A talajszennyezés okai az Európai Unióban (Forrás: EEA, 2014)

## 4.6. FELSZÍN ALATTI VIZEK VÉDELME

Felszín alatti vízkészleteink kiemelten kezelendő természeti erőforrásaink. Ivóvízellátásunk több mint 97%-ban felszín alatti vizekből történik. A felszín alatti vizek jelentősége a természetes növényzet és a mezőgazdaság szempontjából is rendkívül nagy: a megfelelő mélységben elhelyezkedő talajvíz szükséges a növények optimális vízellátásához. Emellett a termál-, illetve gyógyfürdőink medencéinek feltöltését is források és kutak biztosítják.

### 4.6.1. Felszín alatti vizek szennyeződéssel szembeni érzékenysége

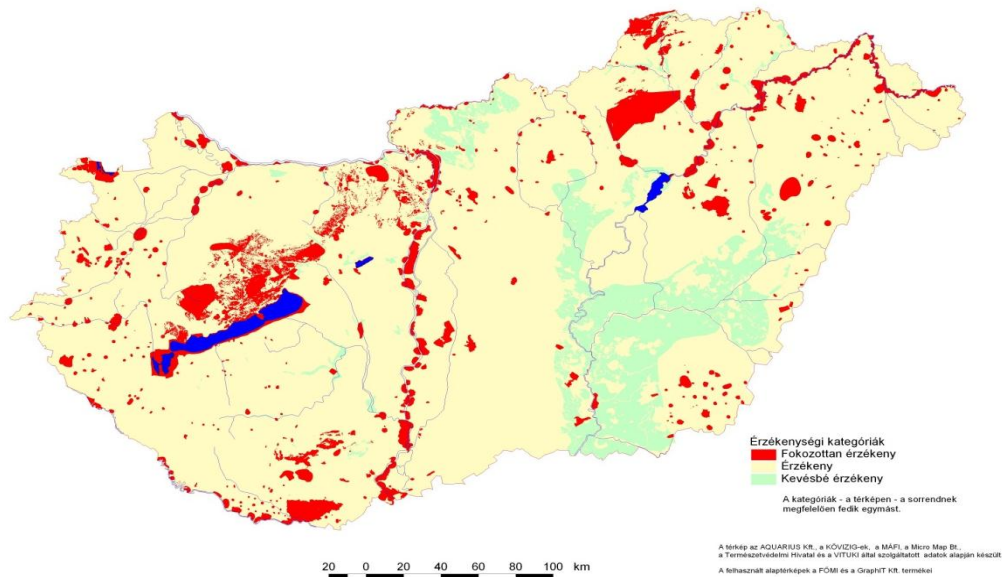
A talajt vagy a felszín alatti vizeket ért szennyeződések hatása hosszú ideig megmaradhat. Ez azt jelenti, hogy egy szennyezés évtizedekkel később is veszélyeztetheti a felszín alatti víz minőségét, és azon keresztül a felszín alatti víz által táplált felszíni vizeket is.

A szennyezett területek helyreállítása során szerzett eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy az összes szennyezőanyag teljes mértékű eltávolítása a legtöbb esetben nem lehetséges. Emiatt a felszín alatti vizek védelme terén az elsődleges cél a szennyezés megelőzése a veszélyes anyagok tekintetében, illetve a szennyezés korlátozása a nem veszélyes anyagokra vonatkozóan.

A felszíni eredetű szennyeződésekre a jó víz-utánpótlású, jó vízvezető-képességű és sekély víztartók a legérzékenyebbek (pl. karszterületek, medenceterületek kavicsos rétegei, homokos képződmények). Az iszapos, agyagos rétegekben a szennyeződések terjedése sokkal lassabb.

A szennyezőanyagok terjedése a közeg fizikai, kémiai és egyéb tulajdonságain túl nagymértékben függ a szennyezőanyag sajátosságaitól is. Vannak olyan szennyezőanyagok (pl. egyes klórozott szénhidrogének), amelyek a rossz vízvezető képességű – agyagos – rétegeken át is tudnak lefelé terjedni, és így a mélyebben elhelyezkedő rétegvizekben is jelentős szennyeződést okozhatnak.

A területek a felszín alatti vizek szennyeződéssel szembeni érzékenysége szempontjából három csoportba oszthatók (219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet). Az utánpótlódási viszonyok, a földtani közeg vízvezető képessége és a kapcsolódó, védelem alatt álló területek alapján megkülönböztetünk fokozottan érzékeny, érzékeny, és kevésbé érzékeny területeket (4.5. ábra). Az érzékenyebb területeken szigorúbb előírások, korlátozások vonatkoznak a végezhető tevékenységek körére, és a tevékenységek végzésének módjára, mint a kevésbé érzékeny területeken.



4.5. ábra: Magyarország területeinek megoszlása a felszín alatti vizek szennyeződéssel szembeni érzékenysége alapján (Forrás: KVVM)

Fokozottan érzékeny felszín alatti vízminőségvédelmi területnek számítanak az ivóvízbázisok védőterületei, a nyílt karsztok, az állami tulajdonban lévő felszíni állóvizek 0,25 km, természetes fürdőhely esetében 1,0 km széles parti sávja, valamint a nemzetközi jelentőségű vadvizek és a Natura 2000 vizes élőhelyei.

A fokozottan érzékeny területek és az érzékeny területek jelentős része egyúttal nitrátérzékeny terület is. Az EU Nitrát Irányelvének átültetését szolgáló kormányrendelet szerint (27/2006. (II. 7.) Korm. rendelet) felszín alatti víz szempontjából nitrát érzékenyek azok a területek, ahol a nitrát tartalom meghaladja, ill. mezőgazdasági tevékenység hatására meghaladhatja az 50 mg/l értéket.

Nitrátérzékeny területeken (az ország területének kb. 70%-a) mezőgazdasági tevékenységet a helyes mezőgazdasági gyakorlatnak megfelelően szabad csak végezni (59/2008. (IV. 29.) FVM rendelet).

#### 4.6.2. Felszín alatti vizek minősége, szennyezőforrások

A felszín alatti víz szempontjából jelentős pontszerű szennyezőforrások a települések esetén az illegális települési folyékony hulladék lerakók, ahol a szennyvizet közvetlenül a talajra ürítik, valamint a bezárt, de anyagi forrás hiányában egyelőre rekultiválásra váró, és az illegális szilárd hulladék lerakók. A bányászathoz kapcsolódóan a felszín alatti vizek minőségére hatással lehet a felhagyott bányákat elárasztó bányavizek szennyezőanyag tartalma, ill. ércbányák esetében a meddőhányókból kimosódó nehézfém tartalom.

Jelentős szennyező forrásnak számítanak a felhagyott, vagy jelenleg is végzett ipari tevékenységekhez köthető szennyezett területek. A leggyakoribb szennyezőanyagok a szénhidrogének, klórozott szénhidrogének és a szerves szennyezőanyagok. A felszín alatti vizekben lévő szennyeződések legnagyobb veszélye, hogy az emberi szem elől rejtve vannak, így észrevétlenül terjedhetnek, és jelentős részüknél a károsodás csak akkor válik ismertté, amikor az már közvetlen veszélyt jelent az élővilágra, sok esetben az emberek egészségére.

Ezek mellett pontszerű szennyezőforrásnak tekinthetők még az állattartó telepeken történő szerves trágya tárolás, valamint a balesetek következtében a felszín alatti vízbe szivárgó szennyezőanyagok. A felszín alatti vizek minősége szempontjából jelentősebb diffúz szennyezőforrások: a mezőgazdasági trágya, ill. növényvédőszer használat, valamint települések esetén a csatornázatlanság. A csatornázatlan belterületekről, illetve a csatornára rá nem kötött ingatlanokról származó szikkasztott szennyvizek a nitrogén vegyületein (ammónia, nitrát, nitrit) felül a háztartásokban használt vegyszerek, elfogyasztott gyógyszerek maradványait is tartalmazzák.

A szennyezőanyagok közül az egyik leggyakoribb a nitrát, mely elsősorban a szerves és műtrágyából, valamint a települési szikkasztott szennyvízből származik. A mezőgazdasági eredetű nitrogén talajba, felszín alatti vízbe jutó mennyisége Magyarországon az állatállomány, valamint a műtrágya felhasználás 1990-es évek elejére történő visszaesésével lecsökkent és azóta stagnál. Szintén elsősorban mezőgazdasági tevékenységhez köthetőek a növényvédőszer szennyeződések (főként triazinok, de még mindig sok helyen kimutatható a már évtizedek óta nem használatos DDT, diklór-difenil-triklóretán is).

Alapvetően szennyezett területekhez, ipari forrásokhoz köthetőek a különösen mérgező, és nehezen eltávolítható klórozott szénhidrogén szennyezések, melyek több ivóvízbázist is veszélyeztetnek.

## 4.7. TALAJREMEDIALÁCIÓ (KÁRMENTESÍTÉS)

A *remediáció* kifejezés a szennyezett terület rendbehozatalát, megtisztítását jelenti. A szakirodalomban a talaj remediáció elnevezést a szennyezőanyag okozta problémák megszüntetésére alkalmazott folyamatok, tevékenységek vonatkozásában használják, függetlenül attól, hogy a szennyezés a talajt vagy a felszíni, felszín alatti vizeket érintette. A remediáció célja a szennyezőanyagok eltávolítása, vagy koncentrációjának a biztonságos szintre történő csökkentése.

A *szennyeződés* nem más, mint valamilyen anyag nemkívánatos jelenléte, ami kedvezőtlenül befolyásol valamilyen környezeti elemet és végső soron az élővilágra és az emberi egészségre is veszélyt jelent.

A kármentesítésekkel kapcsolatban az alábbiak állapíthatók meg:

- Az elszennyeződött területek rehabilitációja igen hosszú időt vesz igénybe. Ennek során pedig a feladatok és azok költségigényei nem csökkennek, hanem folyamatosan emelkednek.
- Kitüntetett figyelmet kell fordítani a károsodás, szennyezés mértékének, súlyosságának, valamint a károsodás által veszélyeztetett értékek pontos és részletes ismeretére, illetve a kockázatelemzésekre.
- A költségek tekintetében több nagyságrendű eltérés lehet a tisztítási célállapottól és az érvényesítendő kritérium rendszertől függően. A gyakorlatban ma már a legtöbb ország határértéket (vagy határértékeket) alkalmaz a szennyezés feltárásának első fázisában és egyedi kockázatelemzést a részletes vizsgálat keretében. Ezt a területhasználatot figyelembe vevő tisztítási kritérium-rendszert alkalmazza a magyar kármentesítési program is.
- Az optimálisan alkalmazható technológiákat a szennyezés típusa, összetétele, a veszélyeztetett célcsoport és a potenciális terjedési útvonalak együttes vizsgálata alapján lehet meghatározni. Ezért minden területre és szennyezésre alkalmazható technológia nem létezik, azt mindig az adott helyszínre kell adaptálni.
- A biológiai és kevert technológiák előtérbe kerültek a tisztán fizikai vagy kémia kármentesítési technológiákkal szemben.
- A finanszírozást illetően az állami költségvetési keretből történő rendezés a meghatározó. A környezetvédelemben általánosan elfogadott "szennyező fizet" elv ugyanis itt alkalmazható a legkevésbé, mert az okozói felelősség sokszor nem érvényesíthető.

#### 4.7.1. A kármentesítés folyamata

A kármentesítés szakaszai: tényfeltárás, műszaki beavatkozás, utóellenőrzés. A tényfeltárás felderítő és részletes vizsgálatból állhat, amennyiben a földtani közeg és/vagy a felszín alatti víz szennyezettsége (a szennyezés jellege, a veszélyeztetés mértéke, kiterjedése, stb.) indokolja a felderítő és részletes vizsgálati szakasz elkülönítését.

A talaj, kőzet és felszín alatti vízminták kémiai vizsgálatával meg kell állapítani, hogy a szennyezettség meghaladja-e a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről szóló 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben foglalt (B) szennyezettségi határértékeket. Amennyiben a kémiai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a szennyezőanyagok koncentrációja nem haladja meg a (B) szennyezettségi határértéket, úgy a részletes tényfeltáró vizsgálatok végzésétől a környezetvédelmi hatóság eltekinthet. Abban az esetben, ha a vizsgálati eredmények értékei meghaladják a hivatkozott együttes rendelet (B) határértékeit úgy a környezetvédelmi felügyelőség elrendeli a részletes tényfeltáró vizsgálatok végzését.

A részletes vizsgálat során megtörténik a szennyező forrás helyének, valamint a szennyezőanyag milyenségének további pontosítása, a szennyezett földtani közeg és a felszín alatti vizek vertikális és horizontális lehatárolása. Meghatározásra kerül a (C) intézkedési határérték felett szennyezett kőzet (talaj) és a felszín alatti víztest tömege. Meg kell határozni a szennyezett földtani közeg fizikai paramétereit (szemcseeloszlás, plasztikus index, szabad hézagterefogat, szivárgási tényező, talaj/kőzet szorpciós tulajdonságai).

A földtani közeg és a felszín alatti vízminták kémiai vizsgálatának olyan mélységűnek kell lenni, hogy a szennyezést okozó anyagra meghatározható legyen a szennyezettség nagysága (koncentrációja). Meg kell határozni továbbá a leggyakoribb szennyezést okozó szénhidrogének esetében a szennyezett felszín alatti víz mozgási irányát, a szabad fázisú szénhidrogének szivárgási irányát és sebességét. A rendelkezésre álló adatokat terjedési modellek segítségével pontosítani kell, annak érdekében, hogy a vizsgált terület besorolható legyen a C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, és C<sub>3</sub> területi szennyeződés érzékenységi kategóriákba és meghatározható legyen a (D) kármentesítési szennyezettségi határérték. Az adatoknak alkalmasnak kell lenni arra is, hogy a kármentesítés műszaki beavatkozás fázisában a leghatékonyabb kármentesítési megoldások kiválaszthatók legyenek.

A kármentesítés műszaki beavatkozási szakaszában a cél a földtani közeg és a felszín alatti víz olyan mértékű megtisztítása, hogy a (D) kármentesítési szennyezettségi határérték elérhető legyen.

A (D) szennyezettségi határérték szennyezőanyagokként kerül meghatározásra, az előzetes és a részletes vizsgálatok során nyert adatokon alapuló szennyeződésterjedési modellezés, mennyiségi kockázatfelmérés, valamint a szennyezett terület jövőbeli használatának figyelembevételével. A (D) kármentesítési szennyezettségi határértéket a környezetvédelmi felügyelőség határozatban írja elő a kármentesítésért felelős természetes, vagy jogi személy részére.

#### 4.7.2. A kármentesítési technológiák kiválasztásának általános szempontjai

Elméletileg nincs olyan talajszennyezés, amelyet valamilyen technológiával ne lehetne megszüntetni. A gyakorlatban azonban számos korlát van, amelyek közül a pénzügyiek a legjelentősebbek. Számos technológia (pl. üvegesítés, reverz ozmózis stb.) rendkívül drága. A költségek mellett gyakran jelent problémát a technológia korlátozott kapacitása és a szennyezett közeg nagy térfogata, illetve tömeg és a szennyezés kiterjedtsége (pl. bányameddő) vagy hozzáférhetősége (pl. nagy vízáradó térségekre kiterjedő mélyégi ivóvízbázis szennyezés). Bizonyos technológiáknál, ahol a tisztítás a szennyezés a helyszíntől távol van, a kitermelés és szállítás költségei irreálisan megdrágítják a technológiát (pl. stabil talajmosók-égetők). A szennyezés kitermelése helyett, amennyiben ez a környezeti igényeket kielégíti, előnyben kell részesíteni a helyszínen, kitermelés nélkül (in situ) végzett technológiákat.

Alapvetően fizikai, kémiai és biológiai kármentesítési technológiákat különböztetünk meg. A fizikai és kémia technológiák igen hatékonyak a szennyezőanyag eltávolításában, gyakran 98-99%-os szennyezés felszámolást is elérhetünk alkalmazásukkal. Gyorsan rövid idő alatt kivitelezhetőek. Hátrányuk viszont a magas költségek.

A biológiai (mikrobiológiai illetve magasabb rendű növényekkel végzett) tisztítás, csak bizonyos szennyezettségi koncentráció mellett alkalmazható. Időben sokkal lassabban lejátszódó és a környezeti állapot változásaira érzékenyebb megoldás. A tisztítási költség azonban nagyságrendekkel kisebb, mint a fizikai és kémia eljárásoknál. Gyakorlatban sokszor kevert fiziko-kémia-biológia technológiát alkalmaznak. Azokon a kritikus helyeken, ahol jelentős a szennyezés fizikai és kémiai megoldásokat alkalmaznak, míg a kevésbé szennyezett nagyterjedésű környező területeken biológia megoldást használnak, és fizikailag izolálják a szennyezett és a nem szennyezett területeket egymástól.

Az, hogy mi a legjobb módszer a szennyezés eltávolítására, illetve a célállapot eléréséhez nagyon sok tényezőtől függ. Ezek a tényezők a következők: a terület adottságai, a szennyezett közeg tömege, térbeli kiterjedtsége, a szennyezőanyag jellemzői, a szennyezőanyag mennyisége, terjedési sebessége az adott területen, veszélyeztetett élőhelyek, vízbázisok közelsége, stb.

### 4.7.3. Kármentesítési technológiák csoportosítása

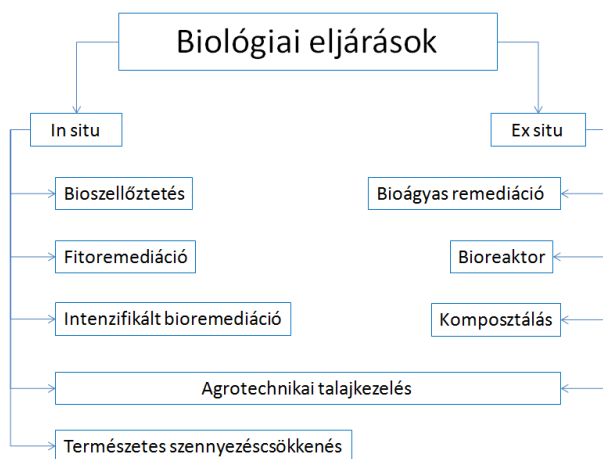
A kármentesítési eljárások alapvetően a kezelési folyamat alapján csoportosíthatók: fizikai, kémia, biológiai és termikus. Ezek természetesen tovább bonthatók *in situ* és *ex situ* eljárásokra. A gyakorlatban a fizikai és kémiai eljárásokat általában nem külön-külön, hanem ún. fizikai-kémiai eljárásokként együtt kezelik. (A két folyamat nem különül el a kezelési folyamat során.) A termikus eljárásokat azért kezelik külön, mivel a kezelés során a folyamatok egyértelműen a hő hatására mennek végbe.

A kármentesítés technológiák csoportosítása a helyszín szerint:

- *in situ*: Olyan technológiai eljárások, amikor a szennyeződött földtani közeget vagy/és felszín alatti vizet a tisztítás során nem termelik ki és a tisztított felszín alatti vizet visszanyeletik, szikkasztják a munkaterületen belül.
- *ex situ*: Az ebbe a csoportba tartozó technológiákat további két alcsoportba lehet osztani, úgymint
  - *ex situ on site*: a szennyeződött földtani közeget vagy/és felszín alatti vizet a tisztítás során kitermelik. A kitermelt szennyezett talajt és/vagy felszín alatti vizet nem szállítják el a munkaterületről, hanem azon belül bioágyakon, termikusan, vagy talajmosással tisztítják, majd a kívánt mértékben megtisztított földtani közeget és/vagy felszín alatti vizet visszahelyezik a munkagödörbe,
  - *ex situ off site*: az idetartozó technológiák lényegében megegyeznek az *ex situ on site* megoldásokkal, azzal a különbséggel, hogy a szennyezett talajt és a felszín alatti vizet nem a munkaterületen belül kezelik, hanem egy távolabbi tisztító telepre szállítják, majd a kezelt talajt visszaszállítják az eredeti munkagödörbe. A megtisztított felszín alatti vizet élővízbe vagy közcsatornába vezetik.

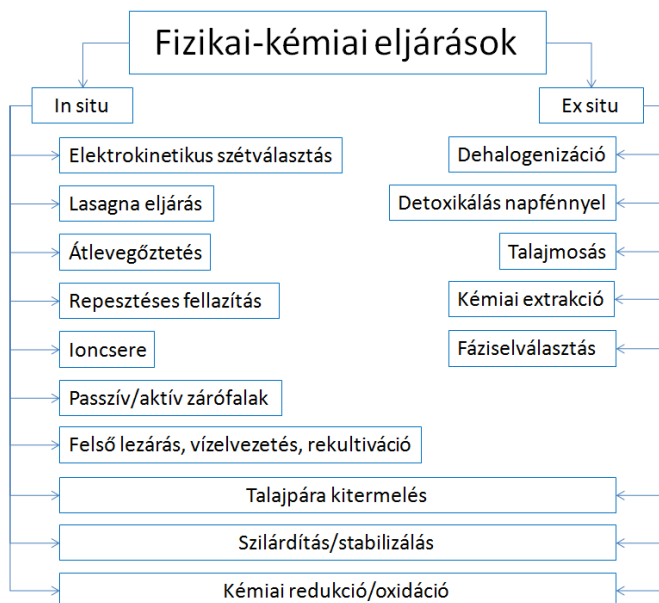
A fizikai eljárások közé tartozik pl. a talajpára kitermelés, elektrokinetikus szétválasztás, dehalogénezés, átlevégoztetés, sztipelés. A stabilizálás, szilárdítás és kémiai oxidáció egyértelműen kémiai eljárások; míg a bioremediáció és a természetes szennyezés csökkenés a biológiai eljárások közé tartozik.

*Biológiai eljárások (4.6. ábra)*: A talajban, üledékben, iszapban vagy talajvízben lévő szennyezőanyag átalakul vagy környezetre veszélytelen anyagokra bomlik le, úgymint széndioxid, víz, zsírsavak, biomassza. A kezelési költség alacsony, viszont általában sok időt vesz igénybe és nehéz megállapítani, hogy a szennyezőanyagok mennyi idő alatt bomlanak le tökéletesen. Emellett figyelemmel kell lennünk arra, hogy a mikroorganizmusok érzékenyek lehet a nagy koncentrációban jelenlévő szennyező anyagra.



4.6. ábra: A gyakorlatban alkalmazott legfontosabb biológiai eljárások (Forrás: UNIDO)

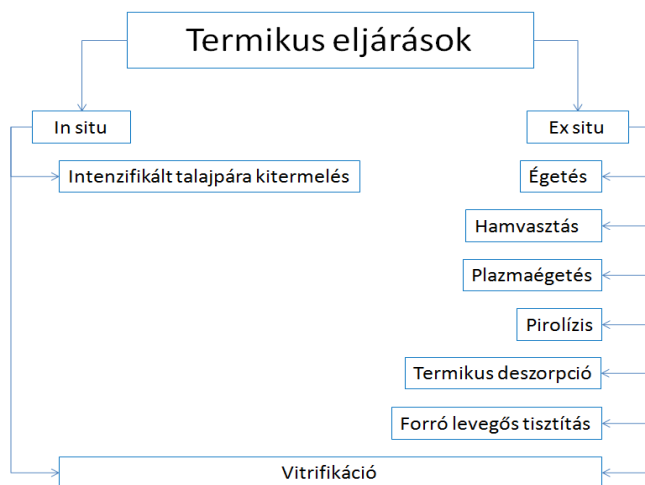
**Fizikai-kémiai eljárások (4.7. ábra):** A szennyezőanyag fizikai, kémiai tulajdonságai változnak meg a folyamat során, eredményül általában egy kevésbé mérgező és jobban eltávolítható anyagot kapunk. Ezek a kezelések jellemzően nagyon drágák, viszont rendkívül hatékonyak és rövid idő alatt elvégezhetőek.



4.7. ábra: A gyakorlatban alkalmazott legfontosabb fizikai-kémiai eljárások (Forrás: UNIDO)

**Termikus eljárások (4.8. ábra):** Ezen eljárások során részben a hő hatására illékonyvá váló, illetve megbomló anyagokat szeretnénk kinyerni. Másrészt pedig az éghető anyagot szeretnénk megsemmisíteni, ártalmatlanítani.

A termikus eljárások esetében gyakran az ex situ megoldások kerülnek alkalmazásra.



4.8. ábra: A gyakorlatban alkalmazott legfontosabb termikus eljárások (Forrás: UNIDO)

*Szennyezett közeg izolálására irányuló eljárások:* Kutak és zárófalak segítségével megakadályozzák a szennyező anyag terjedését. Egyéb eljárások mellett alkalmazzák, gyakran csak időlegesen, amíg a tényleges kármentesítés meg nem kezdődik.

*Eltávozó, illetve kitermelt gázok kezelése:* Egyes talajkezelési eljárások pl. sztrippelés, talajpára kitermelés, levegőztetés, vitrifikáció során VOC (Volatile Organic Compounds) vegyületeket tartalmazó gázok szabadulnak fel, amelyet kezeléséről, ártalmatlanításáról gondoskodni kell.

Azt, hogy melyik kármentesítési eljárás a legmegfelelőbb egy adott esetben alapvetően a szennyezett terület és a szennyező anyag jellemzői határozzák meg. Azok az eljárások, amelyek hatékonyan alkalmazhatók szerves szennyezők, pl. kőolajszármazékok esetén valószínűleg nem alkalmasak nehézfémekkel szennyezett terület kármentesítésére.

#### 4.8. Felszín alatti vízminőséggel és kármentesítéssel kapcsolatos hazai jogszabályok

- 1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól
- 219/2004. (VII.21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről
- 18/2007. (V. 10.) KvVM rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg környezetvédelmi nyilvántartási rendszer (FAVI) adatszolgáltatásáról
- 223/2014. (IX. 4.) Korm. rendelet a vízügyi igazgatási, valamint a vízügyi hatósági feladatokat ellátó szervek kijelöléséről
- 481/2013. (XII. 17.) Korm. rendelet a környezetvédelmi, természetvédelmi, vízvédelmi hatósági és igazgatási feladatokat ellátó szervek kijelöléséről

## Felhasznált szakirodalom:

Anton Attila, Dura Gyula, Gruiz Katalin, Horváth Amanda, Kádár Imre, Kiss Ernő, Nagy Géza, Simon László, Szabó Péter: Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetgazdálkodási Intézet, Budapest, 1999.

Bidló András, Bíró Borbála, Csákiné Tombácz Etelka, Füleky György, Kristófné Horváth Erzsébet, Michéli Erika, Pápay László, Tóthné Farsang Andrea: Talajvédelem, talajtan. (Ed.: Füleky György), Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011.

European Commission, Directorate-General for the Environment: Soil, a key resource for the EU. DOI: 10.2779/46553, European Union, 2010.

European Commission: Soil Contamination: Impacts on Human Health. Science for Environment policy, 5, European Union, 2013.

European Commission: Soil protection. The story behind the Strategy. European Union, 2006.

European Commission: Soil: the hidden part of the climate cycle. DOI doi:10.2779/30669, European Union, 2011.

European Commission: The factory of life – Why soil biodiversity is so important. DOI 10.2779/17050, European Union, 2010.

Farsang Andrea, Horváth Balázs, Horváth Erzsébet, Pestiné Rácz Éva Veronika: Talajtan és talajökológia. (Ed.: Horváth Erzsébet), Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011.

Filep György, Kovács Balázs, Lakatos János, Madarász Tamás, Szabó Imre: Szennyezett területek kármentesítése. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2002.

Panos Panagos, Marc Van Liedekerke, Yusuf Yigini, and Luca Montanarella: Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network. Hindawi Publishing Corporation. Journal of Environmental and Public Health, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/158764>, 2013.

Puzder Tamás, Csáki Ferenc, Gruiz Katalin, Horváth Zsolt, Márton Tibor, Sajgó Zsolt: Kármentesítési technológiák. Kármentesítési kézikönyv 4. (Ed.: Németh Tamás), Környezetvédelemi Minisztérium, Budapest, 2001.

Tamás János, Simon László, Vincze György, Nagy Attila: Talajremediáció. Az Észak-alföldi Régió Kht., Debrecen, 2008.

Thyll Szilárd: Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1996.

Várallyay György: A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Egyetemi jegyzet, FVM Vízgazdálkodási Osztály Budapest, 2003.

## 5. A LEVEGŐ SZENNYEZÉSE ÉS A SZENNYEZÉS ELLENI VÉDEKEZÉS

### 5.1. A LÉGKÖR SZERKEZETE

A Földünket körülölelő atmoszféra több ezer kilométer vastagságú, melynek kémiai és fizikai sajátosságai a magassággal változnak. A légkör két alapvető részre tagolható homoszférára és heteroszférára. Homoszféra alatt azt a 85-90 km vastagságú réteget értjük, melyben a levegő kémiai összetétele és átlagos molekulatömege állandó. A relatív összetétel állandóságának köszönhetően a levegőt alkotó komponensek egymáshoz viszonyított mennyisége állandó, azonban a magassággal a levegő sűrűsége csökken. A légkörnek a homoszféra fölötti részét nevezzük heteroszférának, melyre jellemző, hogy összetétele a magasság függvénye.

A légkört termikus tulajdonsága alapján megvizsgálva 5 rétegre oszthatjuk. A Föld felszínétől számított körülbelül 10-12 km átlagos rétegvastagsággal jellemezhető légréteg a *troposzféra*. A troposzféra hőmérséklete és kiterjedése a földrajzi szélesség függvénye. Magassága a sarkvidékeken 7-8 km, az egyenlítő mentén 15-17 km, a mérsékelt égövben pedig 10-11 km. Hőmérséklete átlagosan 0,65 °C-kal csökken 100 méterenként. Ebben a szférában van a légkör anyagának csaknem 80%-a, a vízgőz túlnyomó része és itt zajlik le az időjárási folyamatok többsége. Hőenergiáját a földfelszíntől kapja, ennek megfelelően hőmérséklete a Föld egészére vonatkoztatva a talaj mentén 15 °C, felső határán pedig, ugyancsak a Föld egészére vonatkoztatva -56 °C.

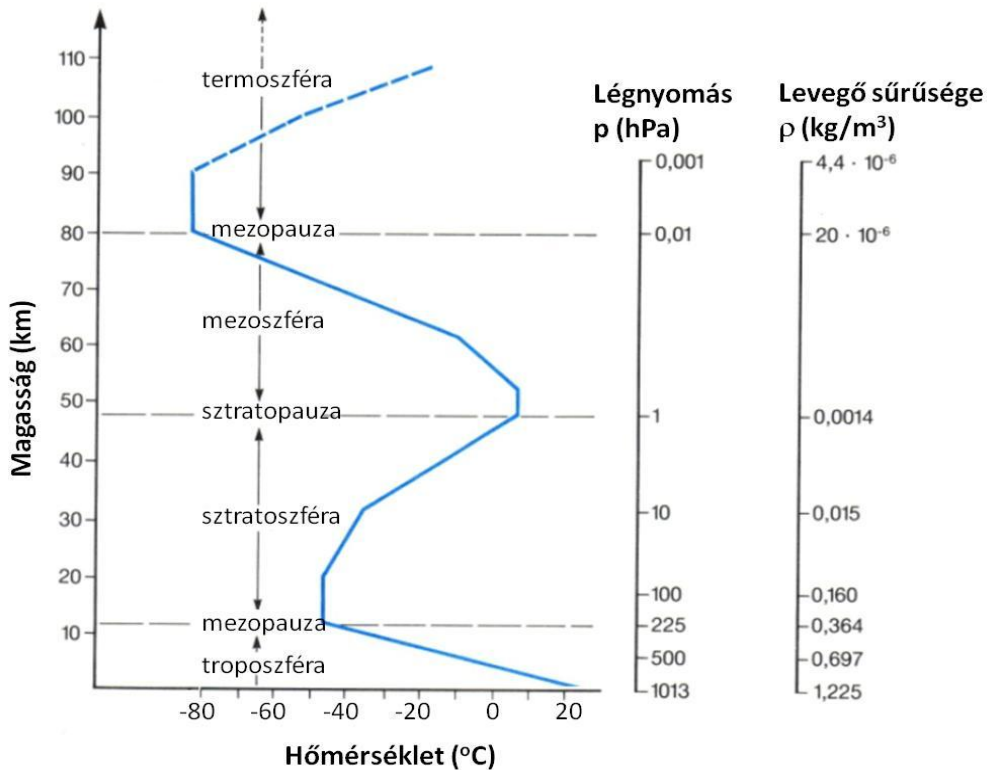
A troposzféra fölött elhelyezkedő ugyancsak a homoszférát alkotó réteg a *sztratoszféra*. A sztratoszféra a troposzféra felső határától kezdődően mintegy 50 km magasságig terjed. A sztratoszféra alsó részében közel állandó hőmérséklet uralkodik, majd a magasság növekedés függvényében intenzív hőmérséklet-emelkedés lép fel. Oka az ózon jelenléte, mely 20-30 km magasságban a Nap ultraibolya sugárzása révén képződik. Az ózon egyik fizikai tulajdonsága, hogy a napsugárzás bizonyos hullámhosszúságú elektromágneses sugarait elnyeli, ami felmelegedést okoz. A sztratoszféra felső határán a hőmérséklet ~0 °C.

A homoszférát alkotó harmadik légréteg a *mezoszféra*, melynek felső határa körülbelül 85 km-ig tart. Ebben a szférában a hőmérséklet a magasság függvényében ismét csökken, mely eredményeként a mezoszféra felső határán -90 °C, mely a légkör leghidegebb része.

A légkör mezoszféra fölött elhelyezkedő rétege a *termoszféra*, mely az összetétel tekintetében már a heteroszférához tartozik. Ebben a szférában a hőmérséklet ismételt és igen intenzív növekedése figyelhető meg. Jellemzően az 1200 °C feletti hőmérséklet jellemzi.

Felső határa kb. 1000 km-ig terjed. A termoszférát az itt elhelyezkedő ionizált rétegeknek köszönhetően ionoszférának is nevezzük.

Az atmoszféra eddig tárgyalt rétegeinek anyagát a Föld gravitációs vonzása tartja meg, ezen túl a Föld mágneses erőtere is fogva tart elektromosan töltött részecskéket. Ezt a körülbelül 60000 km magasságig terjedő réteget nevezzük *magnetoszférának*.



5.1. ábra. A légkör hőmérsékleti rétegződése

## 5.2. A LÉGSZENNYEZÉS FORRÁSAI ÉS TÍPUSAI

Levegőszennyező minden anyag származásától és állapotától függetlenül, amely olyan mértékben jut a levegőbe, hogy az embert és környezetét károsítja, vagy anyagi kárt okoz.

### 5.2.1. A légszennyezés forrásai

A légszennyező forrásokat két csoportra oszthatjuk:

- biológiai - természetes eredetű és
- antropogén (emberi tevékenységhez kapcsolódó) források.

Természetes levegőszennyező források például a vulkánok, melyek tevékenységük során nagy mennyiségű port és gázt (kén-dioxid) juttatnak a légkörbe.

A tengerek és óceánok szintén a természetes források közé sorolhatók, melyek a szél által elragadott vízcseppeket, illetve azok beszáradása után nátrium-, valamint káliumsót bocsátanak a levegőbe. A hidroszféra a nagy mennyiségű aeroszol mellett a tengeri élővilág által jelentős mennyiségű anyagcsere terméket is juttat a levegőbe. Legfontosabb ezek közül a szén-dioxid.

Természetes eredetűek az erdő- és bozóttüzek égéstermékai (szén-monoxid, szén-dioxid, nitrogén-oxidok, por, korom és pernye) is. Meg kell még említeni a szél által a felszínről elragadott talajszemcséket, melyek túlnyomó része különböző ásványi por (karbonátok, szulfátok, oxidok), de ezek mellett szerves anyagokat is tartalmaz, valamint a felületi megkötődés révén különböző gázokat illetve vegyszermaradványokat is tartalmazhat.

Porszennyezéshez sorolható még a pollen, mely sok embernél vált ki allergiás tüneteket. A természetes forrásokat ismerjük ugyan, de a kibocsátásba nem, vagy csak kis mértékben (parlagfű irtás) tudunk beavatkozni. Az emisszió szabályozás szempontjából tehát sokkal fontosabb az antropogén forrásból származó szennyezőanyagok ismerete.

Az antropogén szennyezők három fő területről származnak: közlekedés, energiatermelés és ipar. A fosszilis energiahordozók égetése a legjelentősebb forrás ezekben a szektorokban.

Napjainkban a legnagyobb környezetterhelést a gépjárművek okozzák. A belső égésű motorok több módon gyakorolnak hatást a környezetre. Az input oldalon az üzemanyag felhasználás található (benzin, gázolaj), amelyet egy nem megújuló erőforrás, kőolaj felhasználásával lehet előállítani.

Az output oldalon, ha a motor teljes életciklusát vesszük figyelembe, káros anyag kibocsátásokat figyelhetünk meg mind a gyártás, mind a felhasználás, mind a végső hulladékkezelés során. Míg a motor alkalmazása, felhasználása során főként légszennyező anyagokkal találkozhatunk, addig a gyártás során e-szennyezők mellett víz- és/vagy talajszennyezéssel is foglalkoznunk kell. A közlekedés az égéstermék (szén-dioxid, víz-gőz) mellett, a tökéletlen égés eredményeként szén-monoxidot, valamint különféle szén-hidrogéneket és származékait, illetve port, kormot is juttat a levegőbe.

A dízel-üzemű gépjárművek kipufogógáza a magas nyomáson és hőmérsékleten végbemenő oxidáció eredményeként nitrogén-oxidokban ( $\text{NO}_x$ ) is dús. A gázolaj kén tartalma kén-dioxiddá oxidálódik az üzemeltetés alatt. A benzin üzemű motorok a környezetszennyező szén-monoxid mellett benzingőzt, aldehideket és különböző egyenes láncú és gyűrűs szén-hidrogéneket emittálnak.

Az egyre intenzívebbé váló légiközlekedés miatt meg kell említenünk a repülőgépek légszennyező hatását is. Szennyező anyagaik elsősorban az aldehidek, a szén-oxidok és a korom. Közlekedésből származtatható kibocsátásokhoz a vízi közlekedés is hozzájárul, melynek fő hányadát a vízi szállítmányozás teszi ki.

### 5.2.2. A légszennyező források típusai

A légszennyező forrásokat kiterjedésük alapján három csoportba sorolhatjuk be. Megkülönböztetünk pontforrásokat, épületforrásokat és diffúz (felületi) forrásokat. *Pontszerű forrásról* akkor beszélhetünk, ha a kibocsátott szennyezőanyag mennyisége kielégítő pontossággal kiszámítható, vagyis a szennyezőanyag koncentrációja és a hordozógáz térfogatárama egyértelműen meghatározható. Ilyen pontforrásoknak tekinthetően például a kémények és a kürtők.

*Épületforrások* alatt olyan épületeket értünk, melyekből a szennyezőanyag az épületből természetes huzatú fali szellőzőkön, nyitott vagy nyitható nyílásokon keresztül távozik.

*Felületi (vagy diffúz) források* esetében a hordozó gáz mennyisége és sebessége nem határozható meg, így a környezetbe kerülő anyag mennyiségére közvetett mérések és számítások utalnak. A diffúz források egy speciális esetének tekinthetők az úgynevezett *vonalas források*, mint például a közutak, vasútvonalak, vízi utak és légifolyosók. A vonalas szennyezőanyag források szennyező hatását jellemzően a rajtuk áthaladó járművek száma és egyedi kibocsátása határozza meg.

Egyes irodalmak említik még a *területileg megoszló szennyezőanyag forrásokat* is, mint például a nagy gyártelepeket, melyek jellemzően egy adott területen (gyártelepen) több pontforrást és/vagy diffúz forrást is magukba foglalnak.

Lehetséges csoportosítási szempont továbbá a szennyező források primer és szekunder forrásba történő besorolása. A *primer szennyező forrás* jellemzője, hogy az általa termelt szennyezőanyagot közvetlen módon juttatja a légkörbe. Ezzel ellentétben a *szekunder szennyező források* a levegőből egyszer már eltávozott, kiülepedett, eltávolított szennyező anyagot bocsátják ismét az atmoszférába. Utóbbira szemléletes példa a szemételepeken kiülepedett por szél által felkavart ismételt légkörbe jutása, illetve a szennyvíztelepek szennyvizében elnyelt gázok, oldószergőzök kidiffundálása.

Légszennyezés alatt elsősorban a környezeti levegő minőségromlását értjük, ugyanakkor nagyon fontos ismernünk a beltéri levegő minőségét is, hiszen a mai kor embere ideje túlnyomó részét zárt térben tölti el. A beltéri levegő minősége részben függ a külső levegő minőségétől, részben pedig a zárt tér (lakás, munkahely) szennyezőanyag forrásaitól is.

A beltéri levegő minőség (indoor air quality) alatt a komfort terek levegőjének minden olyan nem termikus jellemzőjét értjük, amelyek az ember közérzetét befolyásolják. Számos szennyező forrás együttes hatása határozza meg, melyekre jellemző, hogy egyedi forrásként a szennyező anyagok mennyisége nem haladja meg az egészségügyi határértékeket, a hatásuk összességében mégis kellemetlen panaszokat okoz.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) már 1983-ban beteg épület szindrómaként (sick building syndrome) azonosította a tünet együttest. Egy épület „beteg”, ha az ott dolgozók 20%-ánál legalább két hétig kellemetlen tüneteik, diszkomfort érzésük jelentkezik, de a panaszok gyorsan megszűnnek az épület elhagyását követően. A beltéri szennyező anyagok különböző minőségű vegyületek lehetnek, melyekre néhány példa az 5.1 táblázatban látható. Az újonnan épített és a felújított létesítmények 30%-ának vannak beltéri levegőminőségi problémái.

5.1. táblázat. Beltéri szennyezőanyagok lehetséges forrásai és élettani hatásuk

Szennyezőanyag neve	Forrása	Hatása
Formaldehid	furnérlemez, ragasztók, álmennyezet, tapéta, bútor, kárpit, ruházat	nyálkahártya irritáció, köhögési inger, torokfájás, émelygés
Perklór-etilén	vegytisztítás, fém-tisztítás, zsírtalanítás	szem, orr, torok, bőr, máj és veseműködés sérülhet
Szén-monoxid	tökéletlen égés (tűzelőberendezések, kandalló)	fejfájás, szédülés, álmoság, hányinger, rendkívül mérgező
Dohányfüst: részecskék és gázok, (pl. benzol, formaldehid, hidrogén-cianid, ammónia, VOCs)	dohányzás (aktív és passzív)	Felső légút ingerültsége, köhögés, zihálás, tüsszentés, fejfájás, asztma, kardiovaszkuláris kockázat növelése, tüdőrák
Azbeszt	hőszigetelés, hullámpala	azbesztózis
Mikotoxinok	penészgomba	nyálkahártya irritáció, megfázásos tünetek, fejfájás, fáradtság, hányinger, rákos megbetegedés
Radon	talajban, kőzetekben, építőanyagokban	tüdőrák

## 5.3. LEGGYAKORIBB SZENNYEZŐANYAGOK ÉS JELLEMZŐIK

### 5.3.1. Kén-dioxid (SO<sub>2</sub>)

Színtelen, szúrós szagú, köhögésre ingerlő, vízben jól oldódó gáz. Élő szervezetekre erősen mérgező hatású, néhány század százaléknyi mennyiséget belélegezve az alsó légutak nyálkahártyáját izgatja, nagyobb koncentrációban a szem és a felső légutak nyálkahártyáját izgatja és légzési nehézségekkel járó mérgezési tüneteket produkál, míg tisztán belélegezve halált okoz. Zavarja a fehérje anyagcserét, izgatja az idegvégződéseket. Különösen érzékeny rá a növényzet.

A SO<sub>2</sub> kibocsátás körülbelül 60-70%-a antropogén forrásból származik. Igen jelentősnek mondható a természetes forrásból származó SO<sub>2</sub> kibocsátás (30-40%), mely részben vulkáni tevékenység során kerül a légkörbe, részben pedig biológiai folyamatok során képződő egyéb kénvegyületek (H<sub>2</sub>S, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S) légköri oxidációja eredményeként. A kén-dioxid természetes háttér-koncentrációja 1 ppb. Az antropogén eredetű kibocsátások között a fosszilis tüzelőanyagok égetése és a színesfém kohászat játszik nagy szerepet. A szulfidos ércekből (PbS, ZnS, CuFeS<sub>2</sub>) történő színesfém előállítás során az érc kéntartalma SO<sub>2</sub>-dá oxidálódik, és a füstgázba kerül. Az 5.1 egyenlet a réz kalkopiritből történő előállításának egyik jellemző reakcióját mutatja be.



A SO<sub>2</sub> molekuláris oxigénnel vagy fotokémiai oxidáció során kénsavvá alakul, így jelentős szerepe van a savas eső kialakulásában.

A kén-dioxid emisszió csökkentés nagyon fontos a környezet elsavasodásának mérséklése és az egészségügyi kockázat miatt egyaránt. A kén-dioxid kibocsátás redukálása a tüzelőanyag kéntartalmának csökkentésével (pl. gázolaj kéntelenítése hidrodesszulfurizálással), vagy a füstgáz tisztításával lehetséges. A SO<sub>2</sub> füstgázból való eltávolítása nedves, félszáraz, vagy száraz technológiákkal történhet, melyek során a savas karakterű SO<sub>2</sub> eltávolításához lúgos közeget alkalmaznak. A Mátrai Erőműben például a füstgázhoz vizes mészkő szuszpenziót permeteznek a mosótoronyban. Az eljárás mellékterméke a gipsz, melyet az építőipar hasznosít.

### 5.3.2. Nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>)

A nitrogén-monoxidot (NO) és a nitrogén-dioxidot (NO<sub>2</sub>) együttesen nitrózus gázoknak (NO<sub>x</sub>) nevezzük. A NO színtelen, szagtalan, vízben rosszul oldódó, mérgező gáz. Igen reakcióképes, a levegő oxigénjével nitrogén-dioxiddá oxidálódik (5.2. egyenlet), mely folyamat UV sugárzás hatására fokozottan felgyorsul.



A NO<sub>2</sub> vörösbarna színű, szúrós szagú, erősen toxikus anyag. Említést érdemel még a nitrogén-oxidjai közül a dinitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O), mely színtelen, édeskés illatú és ízű, nem toxikus, rendkívül stabil gáz.

A nitrogén-oxidok 80%-a természetes eredetű, mely villámlás során, biomassza bomlása révén, valamint a talajban lévő szervezetek bomlása során képződik. Az antropogén forrás lehet közvetlen, vagy közvetett. Közvetlen forrás például az energiatermelés (fosszilis tüzelőanyagok égetése), valamint a közlekedés (belsőégésű motorok kipufogógáza), közvetett forrás a túlzott nitrogén műtrágyázás.

A NO<sub>x</sub> belélegezve akadálytalanul jut a tüdőbe, ahol hosszabb idő elteltével hörgőgyulladást, bronchitist okoz. Közvetlen egészségkárosító hatása mellett a NO<sub>x</sub> szerepet játszik a savas eső kialakulásában (a nitrogén-oxidokból képződő salétromossav és salétromsav által), a fotokémiai szmog létrejöttében és hozzájárul az ózonréteg elvékonyodásához is. A NO<sub>x</sub> kibocsátás csökkentése lehetséges a technológia fejlesztése révén (égési folyamatok szabályozása), a fokozott füstgáztisztítás révén, valamint a nitrogén-tartalmú műtrágyák ésszerű használatával.

### 5.3.3. Szén-monoxid (CO)

A szén-monoxid színtelen, szagtalan és íztelen gáz, szén és szén-tartalmú anyagok (földgáz, fa, faszén, fűtőolaj, benzin, propán, bután, stb.) tökéletlen égése során keletkezik. Az 5.3. és 5.4. egyenletek a szén tökéletlen égése során végbemenő reakciókat mutatja. A szén és oxigén reakciója exoterm reakció (5.3.), melynek energiája fedezi a CO<sub>2</sub> redukciójához (5.4.) szükséges energiát.



A CO erősen mérgező gáz, irreverzibilisen kötődik a vér hemoglobinjához (240-szer erősebben kötődik a hemoglobinhoz, mint az oxigén), ezáltal akadályozza a szervezet oxigénfelvételét és ellátását. Szív és érrendszeri panaszokat, légzési megbetegedéseket, rosszullétet, fejfájást, végső fokon fulladást okoz. A legenyhébb tünet együttest Limuzin-betegségnek (látászervi zavarok, tájékozódás és ítélőképesség csökkenése) nevezik, mely elalváshoz vezet. A szén-monoxid sűrűsége közel áll a levegőéhez, annál csak kicsit könnyebb, ezért a levegővel kis légáramlás hatására is erősen keveredik, így helyiségen belüli rétegződést gyakorlatilag nem mutat.

Az atmoszférába kerülő szén-monoxid természetes forrásai például a mocsarak, rizsföldek, óceánok (víztestben lebomló szerves anyagokból, klorofillból), valamint közvetett módon a környezetben lévő metán. A természetes forrásból származó CO képződési és távozási sebessége közel azonos, ezt az egyensúlyt az antropogén forrásból származó CO felborítja.

Az antropogén eredetű CO kibocsátás a teljes emisszió körülbelül felét teszi ki, mely elsősorban a különböző fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből, ipari tevékenységekből (vaskohászat, hulladékégetés) és mezőgazdasági célú erdő és tarlóégetésből származik. A legjelentősebb antropogén forrás a közlekedés (belső égésű motorok), mely a mesterséges forrás 80%-a. Nagyvárosok közlekedési csomópontjaiban a szén-monoxid az egészségre ártalmas szintet általában eléri, ami az öntudat tompulásában és a reakcióképesség csökkenésében nyilvánul meg.

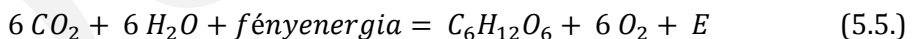
A CO kibocsátás csökkentésének egyik módja az égés tökéletesítése, mely részben a tüzeléstechnikai berendezések szabályozásával, részben a tüzelőanyag szemcseméretének, szerkezetének módosításával érhető el. A gépjárművek kibocsátásának csökkentése a gépjárművekben alkalmazott katalizátorok alkalmazásával lehetséges.

#### 5.3.4. Szén-dioxid (CO<sub>2</sub>)

A szén-dioxid színtelen, kis koncentrációban szagtalan, a levegőnél nehezebb gáz. 100 éve a levegő szén-dioxid tartalma körülbelül 280 ppm (0,028 térfogat %) volt, mennyisége azonban a múlt évszázad során, az emberi tevékenység következtében növekedést mutatott, és napjainkra körülbelül 390 ppm-et ért el.

A szén-dioxid légköri koncentrációjának növekedése sugárzási kényszert okoz, vagyis üvegházhatású gáz, amely hozzájárul a globális felmelegedéshez. A 2011-es IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) jelentés alapján 1750 és 2000 között a CO<sub>2</sub> növekedés által okozott sugárzásnövekedés volt a legnagyobb mértékű. A jelenlegi globális felmelegedés 80%-ért az antropogén forrásból származó szén-dioxid emisszió okolható.

Legnagyobb CO<sub>2</sub> nyelő a fotoszintézis, mely révén a valamilyen klorofill-formát tartalmazó élőlények, a napsugárzás energiáját felhasználva szervetlen anyagból szerves anyagot állítanak elő. A 5.5. egyenlet írja le a növények esetében a fotoszintézis nagyon leegyszerűsített egyenletét.



#### 5.3.5. Szénhidrogének

A szénhidrogének szerves vegyületek, melyek igen sokféle vegyületet foglalnak magukba (pl. metán, benzol, toluol, xilol stb.). A sokféleség a fizikai és kémiai tulajdonságokban, valamint az élettani hatásukban is megmutatkozik. Vannak közöttük különösen toxikus, rákkeltő anyagok, mint például a benzol vagy a butadién, melyek ezek mellett még közvetett hatásaikkal is szennyeznek, ugyanis hozzájárulnak a troposzférikus ózon képződéséhez, illetve üvegházhatású gázok is.

A szénhidrogének jellemzően csak néhány napig maradnak a levegőben, kivételt képez ez alól a metán, mely becsült tartózkodási ideje hét év. Hazánkban a környezeti levegő szén-hidrogén tartalmának közel 50%-a természetes forrásból származik, míg a fennmaradó antropogén forrásból származó szennyezés csaknem teljes mennyisége a közlekedésnek tulajdonítható. Az emisszió forrása benzinüzemű motoroknál elsősorban a tökéletlen égés és az üzemanyag kipárolgás, kétütemű motoroknál pedig az üzemanyaghoz kevert kenőolaj elégetése.

### 5.3.6. Ózon (O<sub>3</sub>)

Az ózon három oxigénatomból álló instabil molekula, az oxigén allotróp módosulata. Közönséges oxigénmolekulára (O<sub>2</sub>) és egyatomos, rendkívül reagens, úgynevezett naszcensz oxigénre bomlik. Szúrósszagú, mérgező gáz, az egyik legerősebb oxidálószer. Míg az ózon jelenléte (képződése és bomlása) a sztratoszférában elengedhetetlen a földi élet szempontjából, addig a troposzférikus ózon megnövekedett mennyisége közvetlen közegészségügyi kockázati tényező. A földközeli ózonképződés fő hányada a NO<sub>x</sub> szennyezésből származtatható. Intenzív napsugárzás hatására lejátszódik a NO<sub>2</sub> fotólízise, ami során NO molekula és oxigén gyök képződik, mely az oxigén molekulával egyesülve ózont képez (lásd 5.6. és 5.7. egyenletek).



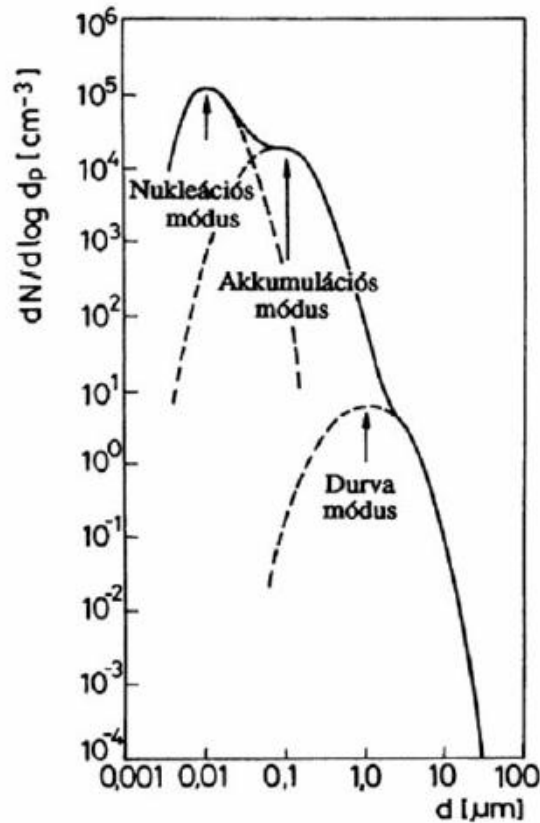
A troposzférikus NO<sub>2</sub> szennyezés túlnyomó többsége a közlekedésnek tulajdonítható. A kipufogógáz NO és NO<sub>2</sub> molekulákat egyaránt tartalmaz, azonban a NO a környezeti levegőben, különböző oxidáló ágensek hatására gyorsan oxidálódik NO<sub>2</sub> molekulává (lásd. 5.8., 5.9. és 5.10. egyenletek).



### 5.3.7. Szilárd halmazállapotú szennyeződések (por, részecskék)

A légköri szilárd szennyeződések többféle szempont szerint csoportosíthatóak. Aerodinamikai sajátosságai alapján a porszennyezés két frakcióra különíthető el, ülepedő porra, melyet más néven szedimentumnak nevezünk, illetve szálló porra (TSP = Total Suspended Particulates), mely hosszabb ideig lebegve maradó frakciót jelent. Ezek mellett megkülönböztetünk vízben oldódó és vízben oldhatatlan frakciót, illetve szerves és szervetlen porokat. A légköri szilárd szennyezőanyagok természetes (pl. vulkáni por, hamu, kőzetek mállása) és antropogén eredetű egyaránt lehet.

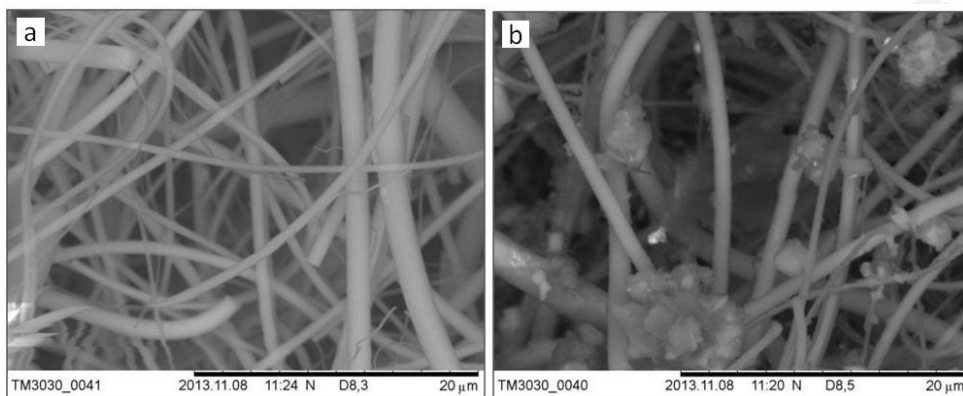
Nagy mennyiségű szilárd szennyezőanyag kerül a légkörbe az égési folyamatok során is. Pontosabb azonban, ha szennyezőanyag tekintetében nem tárgyaljuk külön a szilárd szennyezőket, hanem együttesen vizsgáljuk a légköri aeroszolt. Aeroszoknak nevezzük valamely gáznemű közegben finoman eloszlott szilárd vagy folyadék részecskék együttes rendszerét. A légköri aeroszol mérete több nagyságrendet átívelve néhány nanométertől egészen 100 mikrométer nagyságig változhat. Nagyság szerinti eloszlásukat három módus alkotja. A módusok mérettartományait az 5.2. ábra szemlélteti.



5.2. ábra. Légköri aeroszol részecskék számának ( $N$ ) átmérő ( $d$ ) szerinti eloszlása szennyezett levegőben [Mészáros, 1997]

A légköri aeroszol éghajlatra, egészségre, élő és épített környezetre gyakorolt hatása egyaránt ismeretes. A légzőszervekbe való lejutás eltérő mechanizmusa alapján  $PM_{10}$  frakciót,  $PM_{2,5}$  frakciót, valamint  $PM_1$  frakciót különböztetünk meg. Az egészségre gyakorolt hatás a porszennyezés részecskeméret eloszlása mellett több tényezőtől is függ, mint például a részecskék morfológiája. Jól ismert például a régebben szigetelőanyagként használt azbeszt egészségkárosító hatása (tüdőrákot okoz), mely az előző megállapításra jó példa, ugyanis az anyag egészét apró szilárd, tús kristályok alkotják.

A környezeti levegő minőségvizsgálata során a levegőből vett különböző frakciójú aeroszol minták (PM10, PM2,5, esetleg PM1) mennyiségi elemzését végzik (esetleg minőségi elemzését is), nem vizsgálják azonban a részecskék morfológiáját. Az 5.1. képen a budapesti Gilice téri mérőállomáson vett aeroszol mintáról készített pásztázó elektronmikroszkópos felvétel, illetve referenciaként a tiszta szűrőpapírról készített felvétel látható. Megfigyelhető, hogy az aeroszol mintát egyedi és aggregálódott elsősorban szabálytalan alakú részecskék alkotják.



5.1. kép. Szennyeződést nem tartalmazó (a) és téli aeroszol mintát tartalmazó (b) szűrőpapír SEM felvételei

#### 5.4. A LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK TERJEDÉSE A LÉGKÖRBE

A légszennyező anyagok környezeti levegőbe való juttatását, kibocsátását emisszióknak nevezzük. A szennyezőanyagok koncentrációja a kilépési pontnál maximális. A levegőt szennyező anyagok terjedését, transzportját a levegőbe került vegyi anyag mozgékonyasága és a mindenkori meteorológiai viszonyok határozzák meg, melyek közül a légmozgás és a csapadék a legjelentősebb befolyásoló tényező. Vannak anyagok, melyek stabilan megmaradnak a légkörben, mások különböző kémiai reakciók (pl. fotokémiai bomlás) során átalakulnak, vagy a csapadékkal együtt kihullnak a felszínre, illetve részecskemérettől függően kiülepednek (pl. por). A szennyező anyagok transzportját és keveredését a felszíni egyenetlenségek is nagymértékben befolyásolják, melyek lehetnek természetes (domborzat, növényzet), vagy mesterséges (városok beépítettsége) környezeti elemek.

#### 5.5. LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK A KÖRNYEZETBEN

A légszennyező anyagok környezetünkben a lokális légszennyezettségtől a globális légszennyezésig igen széles skálán megtalálhatóak. A skálán az öt leggyakrabban alkalmazott lépték a nemzetközi irodalomban: a helyi, városi, regionális, kontinentális és a globális.

Helyi szennyeződésen a forrástól számított 5 km-es távolságig terjedő területet értjük a földfelszín mentén, a városi skála 50 km-es távolságig van kiterjesztve, a regionális 50 km-től 500 km-ig, a kontinentális skála 500 km-től néhány 1000 km-ig és a globális skála alatt az egész világra kiterjedő légszennyeződést értjük.

#### 5.5.1. Helyi légszennyezési problémák

A helyi légszennyezési problémák rendszerint egy- vagy több nagy kibocsátó, vagy nagyszámú relatív kis kibocsátó eredményeként jönnek létre. Minél kisebb magasságban történik a szennyező forrás által a kibocsátás, annál nagyobb a várható hatás. Például a gépjárművek CO kibocsátása az úttest közelében nagy szennyezőanyag koncentrációt eredményez.

Számos talaj közeli forrás, mint például a szennyvízkezelő telepek medencéiből vagy a hulladéklerakó telepek csurgalékvíz tározójából történő illékony szerves vegyületek elpárolgása a forrás közelében nagyobb szennyezőanyag kibocsátást eredményez és ez a koncentráció rendszerint csökken a távolság függvényében.

A nagy kibocsátók, mint például az erőművek, vagy egyéb ipari kibocsátók, melyek magas kéményeken keresztül emittálnak, kedvezőtlen meteorológiai körülmények eredményeként szintén okozhatnak helyi problémákat.

#### 5.5.2. Városi léptékű légszennyezettség

Egyedi légszennyező forrás városi léptékben is okozhat légszennyezettséget csakúgy, mint lokálisan.

A viszonylag nem reaktív szennyező anyagok, mint például a szén-monoxid és a diszpergált részecskék (partikulate matter), vagy a viszonylag kis reaktivitású szennyező anyagok, mint a széndioxid, az egyedi forrásokból származtatható szennyező anyagokkal kombinálódva nagy koncentrációt eredményezhetnek. A közlekedésnek tulajdonítható a CO fő kibocsátása köszönhetően a megnövekedett gépjármű forgalomnak.

A nagy forgalmi csomópontokban magas szennyezőanyag koncentrációk alakulnak ki, melyeket a nemzetközi szakirodalom ún. „hot spots”-nak definiál.

Jelentős városi légszennyezést eredményez a másodlagos légszennyező anyagként jelentkező troposzférikus ózon is. Számos nagyvárosi környezetben tapasztalható ózonszennyezés, mely nitrogén-oxidok és különböző szénhidrogén molekulák fotokémiai reakciói által képződik. A fotokémiai reakciókat a nap UV sugárzása katalizálja. A nitrogén oxidok, úgy, mint a nitrogén-monoxid és nitrogén-dioxid a gépjárművekben lejátszódó égési folyamatok során képződnek, a szénhidrogének pedig számos különböző forrásból származhatnak.

### 5.5.3. Regionális légszennyezettség

A regionális légszennyezés három fő probléma eredményeként alakulhat ki.

Bizonyos esetekben a városi légszennyezések elérve egymást, regionális lefedettségű alakulnak. Regionális légszennyezettség jöhet létre például egymás szomszédságában elhelyezkedő nagyvárosok kibocsátásai révén.

A második problémát a relatív lassú reakciójú elsődleges légszennyezők okozzák, melyek a hosszú terjedési idő alatt átesnek bizonyos átalakulási folyamatokon. A gázhalmazállapotú  $SO_2$ , mely elsősorban fosszilis tüzelőanyagok égetése során képződik (főleg szén és olajtüzelés) nagy távolságú transzport során oxidálódik kéntrioxid ( $SO_3$ ) molekulává (5.11. egyenlet)



A gázhalmazállapotú  $SO_2$  oxidációja a troposzférában folyadék és gázfázisban egyaránt végbemehet. A  $SO_3$  reakcióba lép a vízgőzzel, melynek eredményeként kénsav képződik (5.12. egyenlet).



A kénsav számos anyaggal reakcióba lép finom eloszlású szulfát részecskéket képezve.

A nitrogén-monoxid magas hőmérsékletű égés során képződik például erőművekben és egyéb magas hőmérsékleten működő ipari üzemekben, valamint a gépjárművek motorjában. A nitrogén-monoxid oxidációja nitrogén-dioxidá az atmoszférában lejátszódhat meglehetősen lassan, vagy az ózonképzési reakciókat eredményezve gyorsabban is. A  $NO_2$  szintén reakcióba léphet a légkörben lévő különböző komponensekkel, melyek eredményeként szintén finom eloszlású részecskék képződnek. A szulfát és nitrát részecskék az atmoszférában rendszerint finom eloszlású diszperziót képeznek, melyben a részecskék átmérője kisebb, mint  $1 \mu m$ .

A harmadik típusa a regionális problémáknak a látótávolságban mutatkozik meg. A látótávolságot csökkentheti füst vagy köd.

### 5.5.4. Kontinentális légszennyezettség

Viszonylag kis kontinensen, mint amilyen Európa, általában csak kis különbség mutatkozik a regionális és a kontinentális légszennyezettség között, míg a nagy kontinenseken számottevő különbség lehet. Bizonyos esetekben a nemzeti környezetvédelmi politika légszennyezésre vonatkozó irányelvei hatással lehetnek a szomszédos országokra is. Például a skandináviai savas eső létrejöttéhez Nagy-Britannia és Nyugat-Európa légszennyező anyagai is hozzájárulnak. A brit ipar néhány évvel ezelőtt egyszerűen megnövelte a kémény magasságokat a levegőtisztaság-védelmi hatóság előírásainak megfelelően.

Így csökkentve ezáltal a talajszint közeli koncentrációkat. Az Egyesült Királyságban javult ugyan a levegő minősége, azonban Európa más részén savas esőt eredményezett.

#### 5.5.5. Globális légszennyezettség

A csernobili atomkatasztrófa révén kialakuló radioaktív szennyeződést először csak regionális és kontinentális problémaként kezelték, azonban ez hamarosan globális szennyeződésként mutatkozott meg, miután az Amerikai Egyesült Államok területén is megnövekedett radioaktivitást mértek.

A perzisztens szerves vegyületek, mint a poli-klórozott-bifenilek (PCBs) kimutathatóak sarkvidéki emlősállatokban távol a szennyező forrástól.

Jól ismert globális probléma továbbá az ózonréteg elvékonyodása, melyet a hajtógázként alkalmazott klór-fluor-karbonok okoztak.

Ugyancsak globális probléma a klímaváltozás, melyet az üvegházhatású gázok, mint például a metán és a szén-dioxid megnövekedett mennyisége okoz.

Természetes eredetű légszennyező anyagok ugyancsak eredményezhetnek globális hatást, mint például a vulkáni tevékenység révén a légkörbe kerülő finom részecskék. Amennyiben elegendő anyag kerül a légkörbe képes a sugárzási mérleget is megváltoztatni.

### 5.6. KÖRNYEZETI HATÁSOK

#### 5.6.1. Egészségügyi kockázat

Feltételezések szerint az európai városlakók körülbelül 30-40%-a az Egészségügyi Világszervezet vagy az Európai Unió által megadott levegőminőségi mutatók fölötti átlagos légszennyezés koncentrációnak vannak kitéve. Ennek ellenére azonban az itt élők közül nem mindenkinek lesz egészségügyi problémája. Azt, hogy valakinek lesz-e légszennyezéssel kapcsolatos egészségügyi problémája vagy sem, számos egyéb tényező határozza meg, mint például a légszennyezés mértéke, tartama, térbeli kiterjedése, az életkor, egyéni érzékenység stb.

Egy felnőtt ember körülbelül 7-14 liter levegőt lélegez be percenként, de a belélegzett levegő mennyisége elérheti a percenkénti 50 litert is erős fizikai munka esetén. Egy hároméves gyermek egységnyi testsúlyra levetített levegő szükséglete nyugalmi állapotban kétszer annyi, mint egy felnőtt emberé. Emellett számolni kell azzal is, hogy a kisgyermek tüdeje még fejlődik, illetve a légútjaik keskenyebbek. Vagyis mindent összevetve a gyermekekre nézve a légszennyező anyagok komolyabb problémát jelentenek, hatásuk rájuk nézve erőteljesebb és tovább fennmarad.

A légszennyező anyagok hatásai két csoportba sorolhatók, akut (rövid tartamú) és krónikus (hosszú tartamú) hatásokba. A hatás, legyen az akut vagy krónikus hatás, a kényelmetlen érzéstől a kisebb betegségeken át egészen a halálig terjedhet.

Ugyanaz a környezeti kockázat nem minden személyt érint egyformán, ugyanis az egyéni érzékenységben lényeges eltérések lehetnek. Az egyéni érzékenység függhet a kortól, a táplálkozási körülményektől, a genetikai adottságoktól, s az általános egészségi állapottól.

A különösen veszélyeztetett csoportokra (pl. gyermekekre, fiatalokra, időskorúakra, a terhes nőkre stb.) kockázatbecsléseket kívánatos elvégezni.

A kockázat mennyiségileg meghatározható fogalom, melyet az 5.13. egyenlet ír le, ahol R a kockázat, H a szennyezőanyag és E a kitettség.

$$R = H \times E \quad (5.13.)$$

A környezeti kockázat értékelés számos lépést tartalmaz.

A leggyakoribb légszennyező anyagok egészségügyi hatásai az 5.3. pontban megtalálhatóak.

#### 5.6.2. Növényekre és állatokra gyakorolt hatás

A szilárd halmazállapotú szennyezők a növények leveleire kiülepedve csökkentik azok hasznos felületét és ezzel az asszimilációt. A kolloidális porok továbbá eltömítik a növény légcsere nyílásait. Amennyiben a szilárd légszennyező anyag még toxikus tulajdonságú is, az anyagcsere folyamatokra is hatással lehet. Károsodási tünetek általában nagyobb szennyezőanyag terhelés mellett jelennek meg. A levelek és szirmok széleinek elszíneződése (marginális nekrozis) általában kisebb légszennyezettség mellett következik be. Nagyobb szennyezőanyag koncentrációk mellett, vagy hosszabb idejű kitettség következtében bekövetkezik a nekrozis, mely kiterjedhet a növény egészére. Hazánkban főként a tölgyesek pusztulnak, néhány helyen már 50 %-os a károsodott állomány aránya. A vegyi gyárak bűzös kibocsátásai adszorbeálódva a termésekhez élvezhetetlenné teszik azokat. Vannak növények, melyek bizonyos szennyezőanyagokra igen érzékenyen reagálnak. Ezek a növények úgynevezett indikátornövényként megfigyelhetőek és a levegő minőségével kapcsolatos értékes információkat nyújthatnak. A zuzmók például érzékenyek a levegő SO<sub>2</sub> tartalmára, míg a dohány jó ózonindikátor. A növényzet szerepe a troposzféra tisztulási folyamataiban igen jelentős, szűri, tisztítja a levegőt. Jól ismert és bizonyított például az iparterületek mellett húzóó védőerdősávok kedvező hatása, valamint a városi zöldövezetek, út menti fasorok jótékony szerepe is.

Az állatvilágban a légszennyező anyagok a légutakon keresztül jutnak az élő szervezetbe és fejtik ki káros hatásukat.

Ismeretes, hogy szennyező levegőjű városokból számos madárfaj elvándorol. A túlzott mértékű, vagy szabálytalanul használt növényvédő szerek, rovarirtó szerek komoly gondot okozhatnak a tavak, folyók elszennyezése révén. A rovarirtó szerek alkalmazása során gyakran esnek áldozatul az erdők, mezők ízeltlábúi is.

### 5.6.3. Művi környezetre gyakorolt hatás

A légszennyező anyagok szerkezeti anyagokra gyakorolt hatása több területen megfigyelhető. Jól ismert például a korrózió hajlamos fémekre és a kőépítményekre gyakorolt hatás, de ezek mellett említést érdemel a szövetekre, festékanyagokra, bőr, papír, üveg és gumi tárgyra kifejtett hatás is.

A savképző szennyeződések (kén-dioxid, hidrogén-szulfid, porok) a levegő víztartalmával reagálva savas kémhatású oldatokat képeznek, melyek a fém felületén elektrokémiai folyamatokat indítanak. A kialakuló lokális elemekben anód folyamat révén a fém feloldódik, rozsdásodik. Kimutatták, hogy az acél korróziója szennyezett levegőjű ipartelepeken ötször gyorsabb, mint tiszta területeken. Vas esetén a korrózió mértéke negyvenszeres is lehet.

A savas eső az építőanyagok kalcium-karbonát tartalmával lép reakcióba, mely az építőanyag gyorsabb mállását eredményezi, felületi eróziót eredményezve. Szembetűnő a kőszobrokon jelentkező károk.

Bizonyos légszennyező anyagok, mint például a kén-dioxid, nitrogén-oxidok, hidrogén-szulfid, porok, ózon, a festékek elszíneződését, fénytelené válását, lepattogzását okozzák, de ismeretes a gumi és bőr törékennyé válása is ózon és egyéb fotokémiai oxidánsok miatt.

### 5.6.4. A légkörre, talajra és a víztestekre gyakorolt hatás

#### *Látási viszonyok*

A Föld felszínén az aeroszol csökkenti a napsugárzás fluxusát, vagyis elhomályosodást okoz a felszínen tiszta égbolt esetén is. Az elhomályosodás inhomogén eloszlású, de valószínűleg globális jelentőségű a Földön, ellentétes hatású a Föld felszínének globális felmelegedésével. Az 1960-as évektől az 1990-es évekig növekvő tendenciát mutatott, míg napjainkban inkább már globális "kifényesedés" történik

Végül néhány példa az elhomályosodást okozó aeroszol képződésére. Aeroszolt képez például a  $\text{SO}_2$ , mely másodlagos formában szulfáttá alakul, ami ködöt okozhat, rontva a látási viszonyokat. A redukáló típusú (főleg télen előforduló) füstköd fő alkotórésze. A  $\text{NO}_2$  szintén hozzájárul a légköri aeroszol képződéséhez azáltal, hogy szekunder részecskéket, nitrátokat alkot, amelyek ködöt képezhetnek, rontva a látási viszonyokat. A  $\text{NO}_2$  és más nitrogén-oxidok fő alkotórészei a barnás színű, fotokémiai (nyári) füstködnek.

Az ózon atmoszférában lezajló fotokémiai reakciókban vesz részt, ezek szilárd részecskéket hoznak létre, mint a szulfátok, nitrátok és szerves részecske maradványok. Ezek szórják a fényt, ami rontja a látási viszonyokat. A finom por is rontja a látási viszonyokat, megtöri, illetve elnyeli a fényt.

### Üvegházhatás

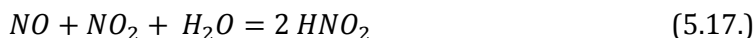
A napsugárzás széles spektrumú elektromágneses sugárzás, melyek közül az infravörös sugárzás szállítja a hőenergiát a Földre. A rövidhullámú IR-sugárzás a légkörön akadálytalanul átjut. A Földre érkező felszínen, valamint a felszínen található különböző szférákon elnyelődik felmelegítve azokat. Más része visszaverődik, és ki is jut az atmoszférából. A felmelegedett Földről és objektumairól a felvett hőenergia egy részének leadására hosszúhullámú infravörös sugárzás jellegű (földsugárzás) indul meg a légkör magasabb rétegei felé. Ez a sugárzás azonban már gyakorlatilag nem tud áthatolni a szennyezőanyag-rétegen, arról a földfelszín irányába visszaverődik tovább melegítve azt. A folyamat ismétlődve egymást erősíti, az atmoszféra alsó rétegeiben visszatartva a meleget, ezt a folyamatot nevezzük üvegházhatásnak. Az üvegházhatás nem egyértelműen káros jelenség, hiányában a Földön nem létezhetnének az életfeltételek (átlag  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  hőmérséklet uralkodna). A természetes üvegházhatás révén körülbelül  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al magasabb,  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a földi átlaghőmérséklet.

Üvegházhatású gázok például a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ , freonok. Ezek közül a leggyakoribbak, illetve a legnagyobb befolyással bíró gázok a szén-dioxid, a metán és a víz-gőz.

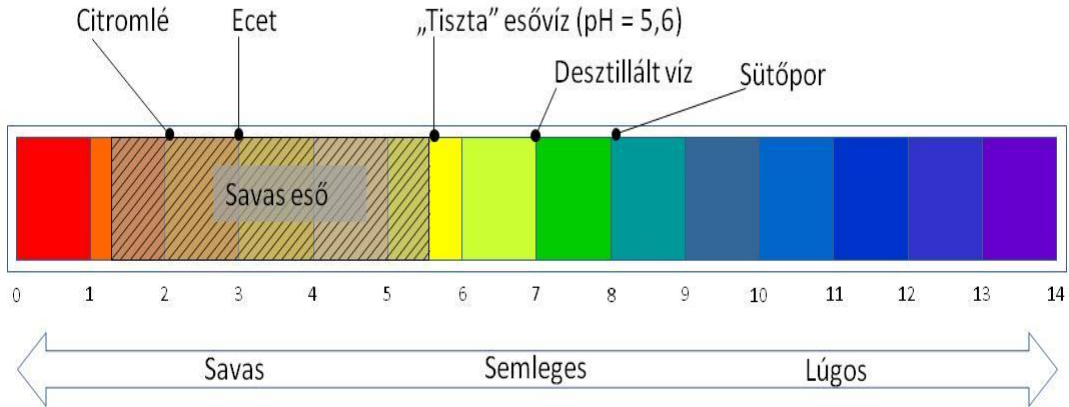
A szén-dioxid tartózkodási ideje igen hosszú, így a Föld és atmoszférája sugárzási mérlegében jelentős szerepet betöltő gáz. A  $\text{CO}_2$  légköri mennyiségének csökkenése lehűléshez, növekedése pedig felmelegedéshez vezet.

### Savas eső

A csapadékvíz kémhatása természetes körülmények között a benne oldott  $\text{CO}_2$  miatt enyhén savas kémhatású ( $\text{pH} = 5,6$ ). Az emberi tevékenység, az energiaipar, egyéb ipari termelés, valamint a közlekedés nagy mennyiségű savas karakterű szennyezőanyagot ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$  és  $\text{NO}_2$ ) bocsát a légkörbe. Az atmoszférába kikerülő oxidok reakcióba lépnek a légköri ózonnal és vízgőzzel. Az 5.14. – 5.17. egyenletek a  $\text{NO}_x$  ózonnal és vízzel való reakcióit mutatja be.



A nitrogén-oxidokhoz hasonlóan a kén-dioxid is átalakul különböző kémiai reakciók révén kénessavvá és kénsavvá. A képződő vegyületek jól oldódnak vízben és annak pH-ját megváltoztatják. A savas eső pH-ja 3,6, vagy akár 2,6 pH értékre is lecsökkenhet.



5.3. ábra. Az esővíz, a savas eső és néhány hétköznapi anyag pH értéke

A tavak, termőtalajok és a talajvíz vonatkozásában jól mérhető egyes területeken a környezet savasodása, valamint az épületekben, műemlékekben okozott kár is igen jelentős.

A csapadék savasodása közvetlen és közvetett módon is károsíthatja a környezetet. Egyrészt a növényekben roncsolja a klorofillt és a növények elhullatják a leveleiket is, közvetett módon pedig a talajban lévő fémek oldhatóság növekedésével mérgezést okozhatnak.

### Szmogok

A füstköd a levegőszennyeződés olyan szélsőséges formája, amely több légszennyező együttes, egymást erősítő hatására lép fel. A londoni és Los Angeles-i füstköd katasztrófák nyomán két alapvető típust különböztetünk meg, a Los Angeles típusú szmogot, és London típusú szmog (5.2. táblázat).

A londoni füstköd katasztrófát a szén tüzelése során légkörbe került, ott kedvezőtlen inverziós körülmények miatt feldúsult  $\text{SO}_2$ , CO és korom okozta 1952 decemberében. Ekkor voltak először párhuzamot a légszennyezettség és a lakossági halálozás között. A légszennyező anyagok kémiai jellegéből adódóan ezt a szmogot redukáló, londoni típusú füstködnek nevezik.

A Los-Angeles típusú, oxidáló jellegű füstköd a nagy gépjárműforgalom által kibocsátott nitrogén-oxidok és szénhidrogének, valamint az erős napsugárzás (katalizáló) hatásának és a magaslégköri páratartalomnak a következménye. A kibocsátott légszennyezőkből napfény hatására ózon és peroxi-acil-nitrát származékok keletkeznek, melyek fojtó, irritáló, mérgező hatásúak.

5.2. táblázat. A London-típusú szmog és a Los-Angeles-típusú szmog főbb jellemzői

Jellemző	London-típusú szmog	Los-Angeles típusú szmog
Hőmérséklet	0 - +5 °C	+24 - +32 °C
Relatív páratartalom	80% felett, köd	70% alatt
Szélesség	2 m/s alatt	2 m/s alatt
Fő komponensek	SO <sub>2</sub> , CO, korom	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , RH, CO
Kémiai jelleg	redukáló	oxidáló
Hatás	légzőszervi irritáció	kötőhártya irritáció
Jellemző szín	szürkés	barnás
Maximális koncentráció fellépése	reggel és este	délben
Leggyakoribb előfordulás	novembertől januárig	júniustól szeptemberig

### 5.6.5. A Földet érő hosszú távú hatás

#### *Globális klímaváltozás*

Egyre több bizonyítékunk van arra, hogy az erdőirtás és az emberi tevékenységek által a levegőbe kerülő bizonyos szennyező anyagok globális klímaváltozást okoznak. A Föld atmoszférájának hőmérsékletét nagymértékben befolyásolják azok a természetes és antropogén tényezők, amelyek az atmoszférán áthaladó napsugárzás mennyiségét és minőségét határozzák meg.

Az üvegházhatás globális klímaváltozáshoz vezethet. Számítógépes szimulációs programokkal próbálják a kutatók előrevetíteni a hőmérséklet emelkedésének hatásait a Földön. Az eredmények a folyamat összetett volta miatt jelentős szórást mutatnak.

Egyes számítások szerint, ha a szén-dioxid mennyisége 550 mg/kg-ra emelkedne, az 4 °C fokos átlagos felmelegedést eredményezne, a sarkok felett 13-14 °C-kal, a trópusokon 1-2 °C-kal nőne a hőmérséklet. A sarkok jégtakarójának olvadása, valamint az óceánok hőtágulása következtében az óceánok vízszintje legalább 60 cm-rel emelkedne.

#### *Ózonritkulás*

Földünk magas légköri zónájában, a sztratoszférában az oxigén a napsugárzás UV spektrumának energiája következtében, ózonná alakul (5.18. és 5.19. egyenletek), ám az ózon jelenléte révén az UV spektrum energiájának nagy részét elnyeli (miközben elbomlik), így megóvja az élőket a nagy energiájú, halálos sugárzási dózistól (5.20. és 5.21. egyenletek).

Az ózon keletkezése és bomlása egymással egyensúlyban lévő folyamatok, s az ún. Chapman reakciók alapján játszódnak le.



Az ózon vertikális koncentráció-eloszlása nem egyenletes, koncentrációjának 35 km magasságban maximuma van.

Az ózonritkulás jelenségét, az ózonréteg elvékonyodásaként, illetve ózonlyukként is szokták említeni. A magas légköri ózonréteg - először az Antarktisz fölött, később a déli, majd északi félteke fölött is - fokozatosan vékonyodni kezdett. Ma már bizonyított tény, hogy az ózonréteg károsodását elsősorban a hűtőgázként és spray-palackok hajtógázaként, de tűzoltásra is elterjedten használt, úgynevezett CFC-vegyületek (klór-fluor-szénhidrogének), azaz a freonok, halonok légköri feldúsulása okozza. Kísérletileg igazolták, hogy a folyadék- és gáz-halmazállapotú klórozott (fluorozott) szénvegyületek ózonkárosító hatása annál nagyobb, minél több halogént tartalmaz molekulájuk.

## Felhasznált szakirodalom:

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) 2011. évi Tematikus Jelentése a szélsőséges éghajlati események kockázatáról és kezeléséről:

Barótfi István: Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, 2000.

[ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2\\_mm\\_mlo.txt](ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_mm_mlo.txt) Mauna Loa CO<sub>2</sub> éves átlagadatok a NOAA-tól.

[http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/IPCC\\_jelentes/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/IPCC_jelentes/)

Mészáros, E., Levegőkémia. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1997.

Thyll Szilárd: Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban, Mezőgazda kiadó, 1996.

Valero, Daniel A.: Fundamentals of Air Pollution, (4th Edition), Elsevier, 2014.

Wild, Martin; Gilgen, H.; Roesch, A.; Ohmura, A.: From Dimming to Brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at the Earth's Surface. Science. 308, 847-850., 2005.

## 6. LEVEGŐMINŐSÉG ÉS LEVEGŐTISZTASÁG-VÉDELEM A HAZAI TELEPÜLÉSEKEN

### 6.1. A LEVEGŐT SZENNYEZŐ BÚZ ÉS CSÖKKENTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

A légkörbe emittált szennyezőanyagok átalakulásai során az embert és a környezetét súlyosan veszélyeztető vegyületek képződhetnek, melyek különböző, kellemetlen szagok formájában jelennek meg a közösség számára. A kellemetlen szag, a bűz általában valamilyen rothadási, bomlási vagy ipari folyamat levegőszennyezése.

A szagingert kiváltó szag egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy illékony. Az érzékelt szag általában a levegő által szállított illó részecskék, illetve gáznemű anyagok által keltett érzet, melyek képesek feloldódni a szaglómot borító vékony váladékban.

#### 6.1.1. Kellemetlen szaganyagok és mérésük

A szagok azok az anyagok, melyek szagérzetet keltenek, szagingert okoznak, szagot terjesztenek. Közös jellemzőjük, hogy mindegyikük tartalmaz valamilyen szaghoz tartozó funkciócsoportot (ozmofor csoportot). A kellemetlen szaganyagokat bűznek, a kellemes szaganyagokat illatnak nevezzük. Az anyagok szaghatása valamely jellegzetes ozmofor funkciócsoporttal (pl.  $-SH$ ,  $-CHO$ ,  $>CO$ ,  $CH_2OH$ ,  $-COOR$ ,  $-SR$  stb.) hozható kapcsolatba. Néhány jellegzetes szagú vegyületet a 6.1. táblázat tartalmaz.

6.1. táblázat Néhány vegyület jellegzetes szaga [Paul N. Cheremisinoff 1988]

Vegyület	Szag jellege	Képlete
Acetaldehid	átható, orrfacsaró, szúrós, maró, fojtó, fullasztó szagú	$CH_3COH$
Ecetsav	ecet	$CH_3COOH$
Ammónia	szúrós, maró, ingerlő hatású	$NH_3$
Széndiszulfid	édes, édeskés, kellemes, kloroform jellegű szag	$CS_2$
Klór	fertőtlenítő, szúrós, maró	$Cl_2$
Formaldehid	szúrós, maró, fojtó szagú	$HCOH$
Hidrogénszulfát	záptojás	$H_2S$
Fenol	erősen édes, édeskés szagú	$C_6H_5OH$
Valeriánsav	testszagú	$CH_3(CH_2)_3COOH$

A kellemetlen szaghatás súlyosabb esetben szagártalmat is okozhat, mely az erős és huzamosabb ideig tartó, nagy koncentrációban jelen lévő, felismerési szagküszöbérték feletti szagkoncentráció által okozott egészségkárosodás.

A szaghatás mérésének módszere az olfaktometria. Az olfaktometriás mérés során a szagkoncentráció meghatározása emberi érzékszervi vizsgálattal történik. A mérési eljárásnak két típusa ismert, a statikus olfaktometria, és a dinamikus olfaktometria. A statikus olfaktometria esetén a vizsgálandó levegő bűzmintát a mérés előtt adott mértékben hígítják és ezt a mintát vizsgáltatják a mérő személyekkel. A dinamikus olfaktometriánál állandó áramlási sebességű referenciagázhoz növekvő mértékben keverik a mérendő mintát. Az emberi érzékelés miatt szubjektív mérési módszer. A mérőcsoport kiválasztásakor az egyéneket tesztelni kell, a kiválasztás egy referencia anyag (n-butanol) szagküszöb meghatározása alapján történik. Ha a leendő mérőszemély orra alacsonyabb értéket is érzékel a szabványban megadott koncentrációtartománynál (20-80 ppb), akkor túl érzékeny, ha pedig a szagészlelési küszöbérték magasabb koncentrációtartományba esik, akkor túl érzéketlen. A mérés során a vizsgálandó bűzös levegőt semleges, szagtalan referenciagázzal (tisztított, szárított, szagmentes levegő, szintetikus levegő vagy oxigéngáz) hígítják, amíg a mérő személy a kialakított orrmaszokban megérzi a szag megjelenését. A hígítás csökkenő mértékben történik így próbálja meg kiküszöbölni az orr rövid időn belüli telítődését, „elfáradását”. A szagkoncentrációra jellemző hígítási szám ( $Z'$ ) meghatározása, a 6.1. képlettel történik, ahol  $V_m$  a mintagáz (bűzös levegő) térfogatárama [ $m^3/s$ ],  $V_h$  a hígítógáz (referenciagáz) térfogatárama [ $m^3/s$ ].

$$Z' = \frac{V_m + V_h}{V_m} \quad (6.1.)$$

Ha a  $Z'$  értéket egységnyi térfogatban lévő szaganyagra vonatkoztatjuk, megkapjuk a szagkoncentrációt ( $Z$ ), melynek mértékegysége a szagegység/ $m^3$  [ $SZE/m^3$ ]. A szagkoncentráció a 6.2. képlet alapján számítható, ahol  $Z'$  a hígítási szám [ $SZE/m^3$ ],  $c_0$  pedig a szagküszöbnél mért szagkoncentráció [ $1SZE/m^3$ ].

$$Z = Z' \cdot c_0 \quad (6.2.)$$

### 6.1.2. A bűz, mint környezetvédelmi probléma

Általános, nem ipari települések tekintetében bűzprobléma leggyakrabban a szennyvízzel, szennyvízkezeléssel hozható kapcsolatba. Szennyvíz tekintetében bűz anyagok megjelenése és keletkezése két helyen történhet, a csatornahálózatban és a szennyvíztisztító telepeken. Szaghatást okozó folyamatok például az illékony anyagok emissziói, a biológiai lebontódás, az adszorpció csökkenése a szilárd anyagok felszínén, a transzportálódás a teljes rendszeren keresztül, az anyagok keletkezése az oxidáció, redukció és fertőtlenítés hatására, vagy a prekursor (előjelző) vegyületek lebontódása.

A szennyvíztisztító telepen és a csatornahálózatban megjelenő bűzanyagok, anyagi tulajdonságukat tekintve kétféleképpen lehetnek, szerves vegyületek (merkaptánok, indol, szkatol) és szervetlen vegyületek (hidrogén-szulfid, ammónia).

### 6.1.3. A szagkibocsátás csökkentésének lehetőségei

A kibocsátott szaghatás a szagkoncentráció és a szagos levegő áramlási sebességének a függvénye. A szagtalanítás szokásos módszere a szaghordozó anyag oxidációja (pl. klórmész, nátrium-hipoklorit, katalitikus oxidáció), adszorbensen való leválasztása (pl. aktív szén, gázalarc), vagy biológiai úton való megkötése (pl. tőzegágy). A bűzscsökkentésre különböző fizikai, kémiai, biológiai módszerek állnak rendelkezésre, melyek kombinálhatók. Alkalmazható technikai megoldások például a megfelelő távolságba való telepítés és a védő-erdősáv kialakítása, a kevésbé környezetszennyező, valamint bűzt nem termelő technológia keresése. A bűzszennyezés csökkentésére alkalmas még az égetés (termikus vagy katalitikus oxidáció), az abszorpció (abszorbens – víz, lúgos, vagy savas oldószer), vagy nedves mosás és szűrés, az adszorpció, a kondenzáció, a szagmódosítás (maszkírozás, közömbösítés), a biológiai szűrés (biomosó, bioszűrő, bioreaktor).

Csatornahálózati szag és korrózió elleni védekezés egyik lehetősége a hidraulikai tervezési lehetőségek kihasználása. A csatorna-fenékvonal lejtése a szulfidproblémák kiküszöbölése szempontjából alapvető paraméter. A nagyobb csatornalejtés a szennyvízáramlás turbulensebb állapotát, illetve az aktívabb oxigénabszorpciót, így a szennyvízbeli aerob állapot fenntartását, végső soron a szulfidképződés akadályozását segíti. A nyírófeszültség a csatorna fenékfelületén a másik tervezési paraméter. A minimális nyírófeszültség legyen fenntartható a csatornafének felületén, ezáltal feltételezés szerint - a szuszpendált lebegőanyagok ülepedése a csatornafenekre elkerülhető. Ez azt jelenti, hogy nagyobb csatornaátmérők esetében nagyobb lejtéseket kell alkalmazni, annak érdekében, hogy a megfelelő elragadó sebesség fenntartható legyen. Csatornaátmérő tervezésekor figyelembe kell venni, hogy a kis csatornaátmérő a szulfidképződés szempontjából jelentősebb előnyt nem eredményez.

Az oldott szulfidot csak kismértékben vagy egyáltalán nem tartalmazó szennyvíz bukása vagy esése közben tekintélyes mennyiségű oxigént vesz fel és az aerob állapot fenntartását, a szulfidképződés elmaradását, vagy mérséklését segíti. Azonban, ha a szennyvíz tetemes mennyiségű oldott szulfidot tartalmaz, a bukás, általában nem ajánlott. A turbulencia a szulfid szennyvízből való távozását, így szag képződését segíti elő.

Csatornacsatlakozások tekintetében célszerű a sima áramlási átmenet, a minimális turbulencia és az áramlási árnyékoktól mentes hidraulikai viszonyok biztosítása. A kellemetlen szaghatások szempontjából az átemelő úgy tervezendő, hogy a csatornarendszer összes szulfidképződési potenciálja ne növekedjen. Az átemelő tározóterében szulfid várhatóan nem képződik, ha a tartózkodási időt csökkentjük (a maximális tartózkodási idő 30 perc, vagy annál kisebb).

A szulfid szabályozás alternatívái átemelők esetében: a tározótérbeli szennyvíz levegőztetése, kémiai kezelés, a tározótér feletti  $H_2S$  tartalmú levegő összegyűjtése és tisztítása, szennyezett levegő elvezetése az átemelő alatti csatornaszakaszba, levegő vagy oxigén injektálása az átemelő feletti csatornaszakaszba.

A tervezési lehetőségek mellett a hagyományos kémiai vegyszeres kezelésnek több megoldása ismert, úgymint:

- klórgáz adagolás, hypo adagolás,
- hidrogénperoxid adagolás,
- fémsók adagolása,
- pH növelés nátrium-hidroxid, mész, vagy egyéb lúg adagolásával.

A bűzös gázok keletkezésének csökkentésére alkalmas eljárás a nitrátok adagolása a szennyvízhez. Az eljárás szerint a nitrátot a szállított, vagy kezelt szennyvíz, szennyvíziszap mennyiségéhez igazítják. A szennyvízben és a szennyvíziszapban élő mikroorganizmusok elsősorban az oldott oxigént, majd a nitrátok kötött oxigénjét, ennek elfogyása után a szulfátok kötött oxigénjét fogyasztják. Amíg az oldott oxigén, vagy nitrát jelen van a rendszerben az ezeket hasznosító mikroorganizmusok szaporodnak, s ezzel elvonják a szaporodás lehetőségét az alacsonyabb energiaszinten létező mikroorganizmusoktól, vagyis nem következik be szulfátbontás.

## 6.2. A BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROK LEVEGŐSZENNYEZŐ HATÁSA ÉS CSÖKKENTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

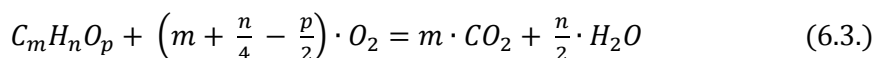
A robbanó motor felfedezése óta a gépjárművek piaca napról napra terjed. A fejlett országokban mára már szinte elképzelhetetlen egy család élete autó nélkül, de természetesen olyan családokat is ismerünk, ahol két vagy akár több jármű is megtalálható. Az általunk használt járművek jelentős hányadát úgynevezett belső égésű motor hajtja. Belső égésű motornak nevezzük azt az elektromechanikai rendszert, amely az általa felhasznált tüzelőanyagot elégeti, és a keletkezett hőt mechanikai munkává alakítva működteti a járművet.

### 6.2.1. A belső égésű motorok levegőszennyező hatása

A belső égésű motorban végbemenő tökéletes égés esetén, égésterméként főként széndioxid ( $CO_2$ ) és víz ( $H_2O$ ) keletkezik (6.3. egyenlet). A gyakorlatban megfigyelhető égés tökéletlensége, valamint a robbanómotorokban uralkodó magas hőmérséklet és nyomás viszonyok miatt egyéb összetevők is keletkeznek:

- szénmonoxid ( $CO$ ),
- szénhidrogének ( $CH$ ),
- nitrózus gázok ( $NO_x$ ): nitrogén monoxid ( $NO$ ), nitrogén dioxid ( $NO_2$ ).

Természetesen a kipufogógáz legnagyobb részét az égést tápláló közeg (levegő) nitrogén tartalma jelenti, mely azonban a maradék oxigénhez és a keletkező vízgőzhez hasonlóan környezetbarát. A kipufogógázban lévő összes egyéb komponens szennyezőanyag, melyek jelentős része mérgező és néhány rákkeltő tulajdonságú.



A tökéletes égés során képződő CO<sub>2</sub> környezetszennyező anyagnak tekinthető, mert az üvegházhatás kialakulásának elősegítésével hozzájárul a Föld globális felmelegedéséhez.

A belső égésű motorok emissziója sajátos környezetszennyezést okozhat. Az őszi és téli ködös időszakban a leszálló hideg légáramlat hatására nem tudnak a légtér magasabb rétegében elkeveredni, hígulni, így jön létre a „szmog”, a füstköd, amely az embereknél légzési nehézséget, szem és nyálkahártya irritációt, és súlyosabb esetekben mérgezést is okozhat.

Meleg, nyári napokon is keletkezhet szmog ugyancsak szélcsendes időben a gépjárművek kipufogó gázaiból. Az így képződő szmogot fotokémiai szmognak nevezzük. Emberi egészségkárosító hatása pedig koncentrációzavar, fáradékonyság formájában jelentkezik. A belső égésű motorok kipufogógáz tisztító berendezés nélküli üzemvitel esetén kapott kipufogógáz összetétele a 6.2. táblázatban látható. A motortípusokat összehasonlítva megfigyelhető, hogy a dízelmotornál jelentősen kisebb a rákkeltő szénhidrogének, aldehidek és az igen rákkeltő benzpirén kibocsátása, a benzinmotornál pedig alacsonyabb a korom kibocsátás.

6.2. táblázat Az Ottó és Diesel motor kipufogógázának összetétele [Barótfi 2000]

Komponens megnevezése	Otto motor	Diesel motor	Hatás
Nitrogén	74–77 tf%	76–78 tf%	nem szennyező
Oxigén	0,1–3 tf%	2–14 tf%	nem szennyező
Vízgőz	3–6 tf%	0,5–6 tf%	nem szennyező
Szendioxid	5–12 tf%	1–6 tf%	szennyező
Szénmonoxid	0,5–10 tf%	100–2000 ppm	nem rákkeltő
Nitrogén oxidok	500–3000 ppm	200–5000 ppm	rákkeltő
Szénhidrogének	100–10000 ppm	10–500 ppm	rákkeltő
Aldehidek	0–200 ppm	0–50 ppm	rákkeltő
Korom	0–2 mg/m <sup>3</sup>	10–11000 mg/m <sup>3</sup>	rákkeltő
Benzpirén	10–20 µg/m <sup>3</sup>	0–10 µg/m <sup>3</sup>	igen erős rákkeltő

Napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak a tisztán elektromos meghajtással működő és a hibrid motorral működő személygépkocsik. Az utóbbiak közül a benzinnel működtetett hibrid motorok kilométerenként nagyjából 25%-kal kevesebb üvegházhatást okozó gázt bocsátanak ki, mint a hagyományos társaik.

A hibrid motor működtette személyautó károsanyag-kibocsátása bizonyítottan kisebb, mint egy a hagyományos benzines autóé. Mérések támasztják alá, hogy a hibrid autó akár 90%-kal kevesebb szén-monoxidot, szénhidrogént és nitrogén-oxidot bocsát ki a környezetbe.

### 6.2.2. A városi közlekedés modellezése

A közlekedési hálózat jellemzése során több közlekedési rendszert (járművek, szállító tárgyak, közlekedési hálózat) is figyelembe kell venni. A közlekedés modellezésének fő célja a személyszállítási és áruszállítási szükségletek levezetésére optimális infrastruktúra létrehozása. A megvalósítás alapja a forgalom részletes elemzése, az igények ismerete, valamint az adatok általi előrejelzés a jövőre nézve. A forgalom előrebecslése során részletes forgalom felvételi adattáblázatot kell készíteni. Vizsgálni kell a jelenlegi városszerkezeti adatokat, a közlekedési jellemzőket és szokásokat. Az adatok ismerete alapján különböző modellezési módszereket alkalmazhatunk, mint például a keltési-, szétoszlási-, megoszlási- és a ráterhelési modellek. Az eredmények értékelésénél figyelembe kell venni, hogy a forgalom sztochasztikus jelenség, vagyis nagysága, lefolyása teljes bizonyossággal nem határozható meg előre. A keltési modell esetén a forgalom meghatározása a rendelkezésre álló egyéb modellek eredményeiből (népesség, településszerkezet, motorizáció, stb. alakulása) történik. A szétoszlási modell alapja a forgalomáramlás meghatározása (célforgalmi, honnan-hová) mátrix formátumban. A megoszlási modell meghatározza a helyváltoztatási igényeket közlekedési módokként, melyeket eszközhez rendel. Végül a ráterhelési modell az előző három modell által kapott adatok ismeretében gráf formájában ábrázolja a hálózat terhelését.

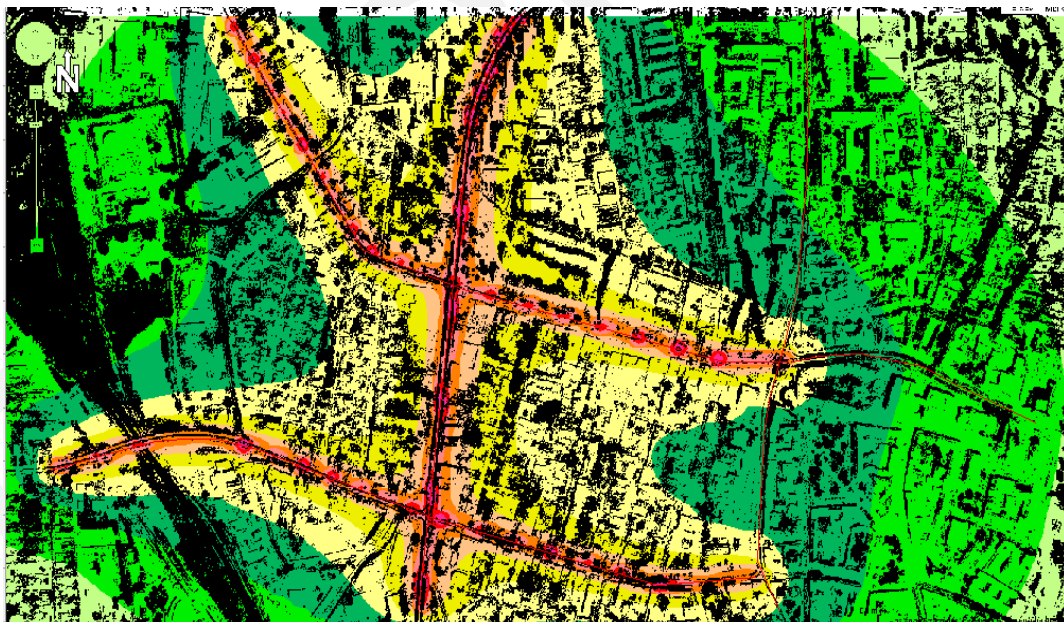
### 6.2.3. A városi közlekedés környezeti hatásainak modellezése

A forgalom emissziójának becslésére alapvetően két fő megközelítési módszert ismerünk, a mikroszkopikus, valamint a makroszkopikus módszert. A mikroszkopikus módszer esetében a közlekedő járművek egyedi sebességprofilja áll rendelkezésre, míg a makroszkopikus módszernél a forgalom nagysága, illetve átlagsebessége ismert. A kétféle megközelítés kombinációjából következik az úgynevezett mezoszkopikus modell, amely során a modell a makroszkopikus változókat állítja elő, amelyből meg lehet határozni mikroszkopikus változókat, azaz az egyedi járműsebességeket, és gyorsulásokat. Az emisszió modell építés első lépése a modellosztályok képzése (pl. csoportosítás járműkategóriák alapján, jármű erőforrás alapján). Ezt követően minden egyes osztályhoz elkészül egy emissziós modell. Ennek a modellnek a bemenetét képezi a járműre vonatkozó adatok (sebesség, gázpedál állása, menetellenállás) és a környezeti paraméterek (légtörnyomás, hőmérséklet és páratartalom). Ezekből a bemeneti adatokból számol a modell káros anyag kibocsátást.

Az emisszió modellek felépítésének alapja a motorikus folyamatok modellezése. A leggyakrabban alkalmazott szimulációs motormodellek a statikus motormodellek tekinthetők, amelyek a motor karakterisztikáit használják fel az üzemállapot, és ez alapján a szennyezőanyag kibocsátás meghatározásához. A kipufogógáz minden összetevőjére térkép készíthető, aminek a segítségével a motor által kibocsátott káros anyagokat is számíthatjuk.

Megkülönböztetünk szimuláció alapú emisszió térképeket és mérés alapú emisszió térképeket. A szimuláció alapú emisszió térképek esetén a különböző osztályokban felépített motormodellekkel elvégzett szimulációk eredményeit adatbázisba rendezve, a nyomatéki karakterisztika és az emisszió térképek használhatóak a járműmodellben. A környezeti változók hatását a szimulációban egyszerűen meg tudjuk vizsgálni, hiszen a környezeti állapotváltozókat is meg kell adni a szimulációk lefuttatásához.

A mérés alapú emisszió térképek készítésének alapja, hogy a belső égésű motor által meghajtott járművek emissziójának térképezését nem csupán szimulációval, hanem méréssel is meg lehet határozni. A mérés során egy görgős teljesítménymérő fékpadot alkalmaznak, illetve a kipufogógáz összetételét és szennyezőanyag koncentrációját egy mintavevő, elemző műszer segítségével határozzák meg.



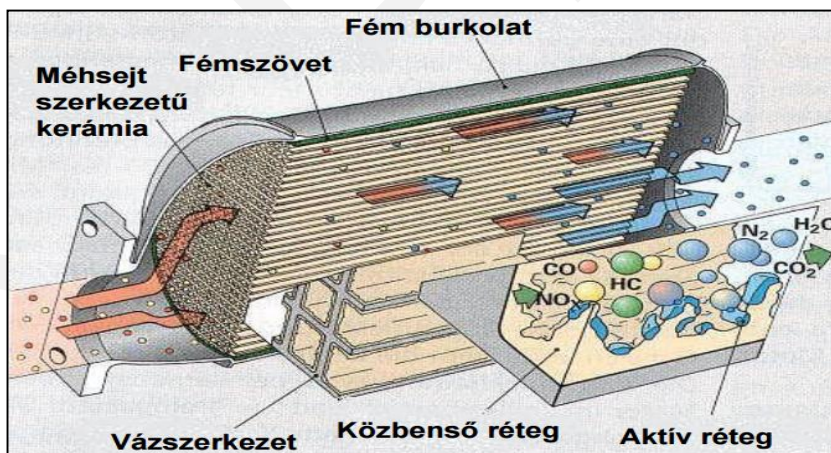
6.1. ábra Nyíregyháza, Széna tér és környékének szennyezettségi állapota a járműforgalom alapján [Báki N.]

A 6.1. ábrán Nyíregyháza, Széna tér és környéke szennyezettségi állapota látható a járműforgalom alapján.

Az immissziós térkép két program segítségével készült, az egyik a szolnoki KÖTI-KTF két szakembere, Légrádi Attila és Nagy Tibor által kifejlesztett hatásterület-becslő program, amely a bevitt forgalmi és meteorológiai adatokból számítja az emissziót, valamint a forrástól adott távolságonként a szennyezőanyag-koncentrációt is megbecsüli. A másik program az IMMI zaj- és levegőimmisszió térképező szoftver, mely az előző program által számított kibocsátási értékek, valamint a mértékadó óras forgalom alapján elkészíti a levegőszennyezettségi térképet. A térkép 2015-ös nitrogén-dioxid és szálló por kibocsátási értékek alapján történt. A térképen jelölve van az egyes szennyezőanyagok hozzávetőleges koncentrációjának alakulása a kibocsátó forrás (esetünkben vonalforrás) környezetében.

#### 6.2.4. A belső égésű motorok károsanyag-kibocsátásának csökkentése

A benzinmotor káros anyag kibocsátásának csökkentése a robbanómotorban végbemenő égési folyamat tökéletesítésével, illetve a kipufogógáz utólagos kezelése révén lehetséges. Kibocsátás csökkentés érhető el az égéstér helyes kialakítása révén, a megfelelő sűrítési arány megválasztásával, illetve a jól megválasztott légviszonyok alkalmazásával (oxigénhiány esetében tökéletlen az égés, és nagy a CO és CH kibocsátás). A katalizátor a kipufogógáz káros anyagait egészségre ártalmatlan anyaggá alakítja át (a nitrogén-oxidokat nitrogénné és oxigénné, a szén-monoxidot szén-dioxiddá, míg az el nem égett szénhidrogént vízzé és szén-dioxiddá), miközben önmaga változatlan marad.



6.2. ábra Háromutas katalizátor szerkezeti rajza [medic-car.hu]

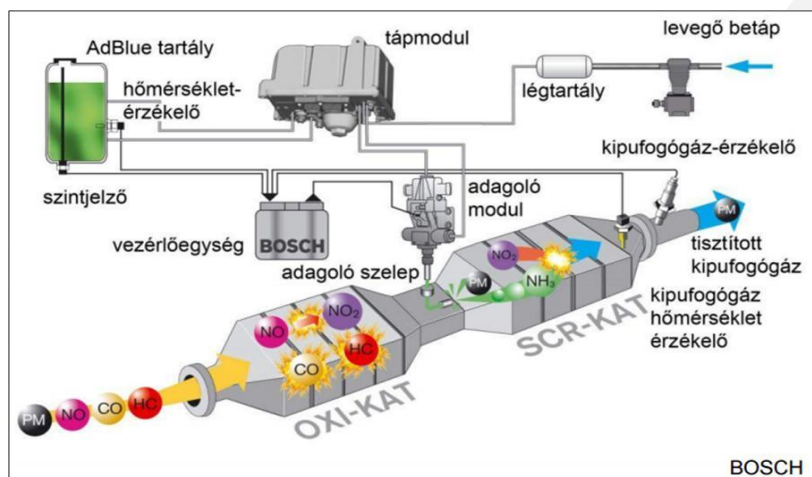
Anyagát tekintve kerámiából vagy fémfóliából készült porózus test, melynek felületét alumínium-oxid borítja. Ez van bevonva platnával, illetve ródiummal. A platina a szén-monoxid és a szénhidrogének oxidációját gyorsítja, a ródium a nitrogén-oxidok redukcióját. A személygépkocsik katalizátorának aktív felülete körülbelül 5000 m<sup>2</sup>, nemesfém-tartalma 2-5 g. A 6.2. ábrán a háromutas katalizátor szerkezeti rajza látható.

A dízelmotor károsanyag-kibocsátásának csökkentésére bevált gyakorlat a katalizátor alkalmazása, illetve a kipufogógáz visszavezetése a szívó-csőbe.

A káros anyagok csökkentését szolgáló eljárások:

- CO, CH csökkentés: reakció oxigénnek, oxidációs katalizátorban,
- NO<sub>x</sub> csökkentés: NO<sub>x</sub>-tároló katalizátoros eljárás (NSC-eljárás) és a szelektív katalitikus redukció (SCR-eljárás),
- korom kibocsátás csökkentés: kerámia részecskeszűrővel.]

A 6.3. ábra a dízelmotor kipufogógázának tisztító rendszerét mutatja be.



6.3. ábra Dízelmotor kipufogógáz tisztító rendszere [medic-car.hu]

Egyes dízelmotoroknál alkalmazzák a kipufogógáz egy részének visszavezetését a kipufogótorokból a szívó-csőbe. A visszavezetés hatékonyan csökkenti az égési csúcshőmérsékletet, és mivel a NO<sub>x</sub> képződéshez magas hőmérséklet és nagy parciális oxigénnyomás szükséges, a csúcshőmérséklettel együtt a NO<sub>x</sub> kibocsátást is csökken.

#### 6.2.5. A környezet hatása, mint eszköz

Az utak mentén fákkal és bokrokkal beültetett céltudatos növénytelepítés jelentős tisztító hatást biztosít, amely a káros anyag terjedés erőteljes csökkentését eredményezi.

A vegetáció tisztító hatása a következőképpen értelmezhető:

- a növényzet csökkenti a szélsőséget és a turbulenciát, ezzel elősegíti a por fokozott kiülepedését,
- a levelek környezetében a fokozott párolgás lehűlést és ezzel együtt a finom por lerakódását idézi elő,
- a levelek felülete a felülettel arányos mértékben köti meg a por- és gázanyagokat,
- a levelekről a csapadék hatására történő lemosódás, illetve a talajban történő megkötés további felületi megkötési tehetőségeket szabadít fel.

## 6.3. A KÖRNYEZETI LEVEGŐSZENNYEZETTSÉG MÉRÉSE

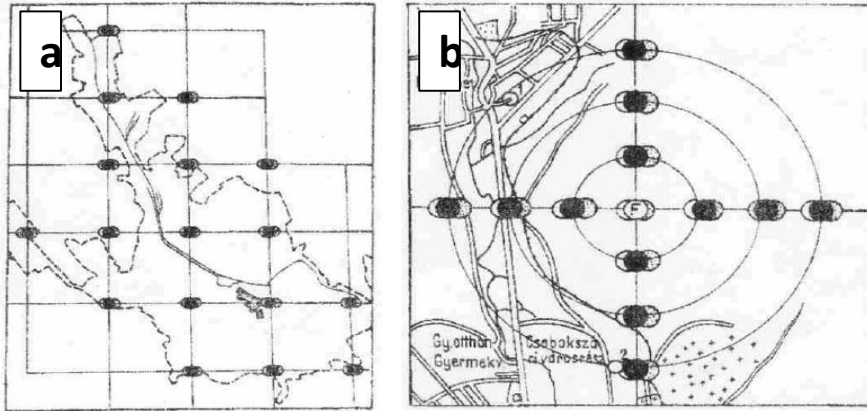
### 6.3.1. Levegőszennyezettség vizsgálatok tervezése

A levegőt szennyező anyagok mérése szükségszerű lehet a szabad légkörben, zárt helyiségekben (lakás, munkahely), vagy a forrásokban (kémény, kürtő, diffúz forrás). A szabad légköri levegőminőség vizsgálatokat immiszió-méréseknek, a kibocsátások vizsgálatát emisszió-méréseknek nevezzük, míg a zárt helyiségek levegőjének minőségi vizsgálata a munkaegészségügyi és lakáshigiénia területére tartozik.

Az immiszió területi és időbeni alakulásának ismerete minden levegőtisztaság-védelmi intézkedés alapja. Az immiszió vizsgálatának célja nagyon szerteágazó lehet a szennyezőanyagok fajtáinak és koncentrációinak megismerésétől, a szennyező források góccok felderítésén, a lakossági panaszok kivizsgálásán, a tudományos tevékenységhez nyújtott adatszolgáltatásig sokféle területet felölel. A levegő szennyezettségének térbeli kiterjedése a szennyező forrásoktól, illetve légköri folyamatoktól függően, nagyon különböző lehet, megkülönböztetünk lokális, városi, regionális, kontinentális, globális levegőszennyezettséget. Ugyanakkor beszélhetünk háttérszennyezettségről és alapterhelésről.

A legsűrűbb állomáshálózat és leggyakoribb mintavétel a lokális vizsgálatok során szükséges. Az állomás helyének kijelölése a globális mérésekhez igényli a legnagyobb gondosságot, valamint ebben az esetben van szükség a mérések igen huzamos ideig (évtizedekig) való végzésére. Kivitelezésüket tekintve a mérések lehetnek, alkalmoszerű, rendszeres időszakos, telepített szakaszos és telepített folyamatos jellegű vizsgálatok. Az állomáskijelölést, a terület térképének birtokában, mindig helyszíni bejárás előzi meg. Fontos követelmény, hogy a mintavételi pont álljon szabadon, ahol a levegő akadálytalanul áramlik, nem pang.

A leggyakoribb feladatok közé a városok, települések levegőjének vizsgálata tartozik. Az állomások elhelyezése végezhető geometriai rendszerben, célszerűen a térképre felvitt négyzetháló, vagy koncentrikus körök mentén, égtájak szerint elhelyezett mérőállomások segítségével (6.4. ábra). Az utóbbi egy adott szennyező forrás hatásának vizsgálata esetén bevált gyakorlat. A háló sűrűsége 200 m-től 20 km-ig változhat (a terület nagyságától, a szennyezőforrások sűrűségétől, népsűrűségtől, terepviszonyoktól stb. függően). A kevésbé jellemző metszéspontokra nem szükséges mérőpontot helyezni. A négyzetháló szerinti állomáskijelölés alkalmazható régiók és települések vizsgálatára is.



6.4. ábra MÉRŐÁLLOMÁSOK ELHELYEZÉSI LEHETŐSÉGEI VÁROSI NÉGYZETHÁLÓS RENDSZER (a) ÉS SZENNYEZŐ FORRÁS KÖRÉ TELEPÍTETT (b) KONCENTRIKUS KÖRÖK MENTÉN

Az Egészségügyi Világszervezet a lakosság egészségi állapotára vonatkozó adatgyűjtés céljára településekenként előírja egy-egy mérőállomás elhelyezését a belvárosban, az ipari területen és a külső lakóterületen.

Az immisszió mértéke jelentősen változik az idő függvényében, egyrészt az emisszió változása miatt, másrészt a meteorológiai tényező alakulása következtében, ezért mértékadónak az egy éven át tartó rendszeres mérés tekinthető. A szennyezettség mértékének egy meghatározott napra történő megadásához a vizsgált napon 24 órás mintát kell venni, vagy folyamatos üzemű analizátort kell alkalmazni 24 órán keresztül. Egy adott hónap szennyezettségének megadásához legalább havi nyolc 24 órás mintát kell venni.

Az évi szennyezettség átlagának megállapítására minimálisan kéthetenként, azaz évi 26 alkalommal kell 24 órás mintát venni.

A füstköd intézkedési terv (szmog-riadó terv) bevezetése valamely településen csak on line mérőrendszer megléte esetén lehetséges, vagyis a település telepített, távközlésbe kapcsolt, automatikus analizátorok rendszerével kell, hogy rendelkezzen.

### 6.3.2. Folyamatos működésű állomások felépítése és üzemeltetése

A folyamatos üzemű mérőállomások automatikus működésű mérőkészülékekből épülnek fel. A mérőállomások felszereltsége kismértékben eltérő, de az alapegységek a mintavevő rendszer, a SO<sub>2</sub>, NO/NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, szennyező komponensek és szállópor mérésére szolgáló elemző készülékek, a meteorológiai érzékelők, az adatgyűjtő és adattovábbító egység, valamint a kalibráláshoz szükséges felszerelés minden mérőállomáson megtalálható. A mérőállomások felszerelése fix telepítésű konténerben, vagy mérőkocsiban van elhelyezve. A folyamatos működésű nitrogéndioxid és nitrogénoxidok mérésére a kemilumineszcencia, kén-dioxid mérésére az UV fluoreszcencia, szén-monoxid mérésére az infravörös abszorpció,

ózon mérésére az UV fotometria és szálló por mérésére a  $\beta$  abszorpció szerepel referencia módszerként. A mérőhálózat néhány állomásán mérik a mintagáz teljes nem-metán szén-hidrogén tartalmát katalitikus kivonást követő lángionizációs detektorral.

Az adatgyűjtő modul a Magyarországon előforduló összes mérőállomás adatformátumait felismeri és átkódolja saját rendszerébe. Napi, havi, éves riportok adhatók segítségével, amelyek a felhasználó által konfigurálhatók. Az elemző készülékeket pontosságuk érdekében meghatározott időközönként nullázni és kalibrálni kell, mivel átviteli függvényük az idő függvényében változhat (kúszhat). A nullapont ellenőrzése nulla levegő segítségével történik. Nulla levegőt elő lehet állítani a környezeti levegőből a szennyező komponensek kiszűrésével (pl. aktív szénrel), palackból (pl. szintetikus levegő), generátorból.

### 6.3.3. Háttérszennyezettség mérő állomások üzemeltetése

A légkör háttér-szennyezettségének mérésére való globális és kontinentális bázisállomások telepítésének fő szempontjai, hogy az állomást olyan helyen kell elhelyezni, ahol a következő 50 évben nem terveznek változtatást a talaj felhasználásának gyakorlatában, 100 km-es körzetben. Távol kell lennie településektől és közlekedési vonalaktól. Előnyösek a szigetek, a magas hegyek, a jégfelszínnel borított területek.

Az állomás közelében lokális jelenségek (vulkáni tevékenység, porvihar stb.) csak ritkán fordulhatnak elő. A kontinentális háttér-szennyezettséget vizsgáló mérőállomások a jelentős szennyezőforrásoktól legalább 100 km távolságban legyenek, lehetőleg hegyvidéken. Fontos, hogy a helyi hatások ne módosítsák a vizsgálatokat.

A légköri háttérszennyezettség mérése a regionális (és kontinentális) bázisállomások fontos információt szolgáltatnak a hazai légköri alapterhelés mértékéről, illetve ennek évszakos és hosszú időtávú változékonyságáról. Magyarországon jelenleg az Országos Meteorológiai Szolgálat 4 mérőállomást üzemeltet (K-pusztá, Farkasfa, Nyírjes, Hortobágy), illetve a hatóság ezek mellett két további mérőponton (Fertő-Hanság, Majlátpusztá) végez megfigyeléseket.

### 6.3.4. A levegőszennyezettség minősítése

Az ország levegőminőségi állapotának meghatározásakor a kisebb térségeket jellemző, helyi sajátosságokat figyelmen kívül hagyó, átlagos állapotot írunk le. Az ennél részletesebb állapotértékeléshez kisebb területegységeket veszünk figyelembe, amelyeken a levegőminőségi állapotot a kiválasztott szempontok alapján a vizsgálatok megbízhatóan jellemzik, a megfelelő beavatkozásokkal az állapot kedvező irányba befolyásolható. Ezeket a területegységeket a hatályos jogszabályok zónáknak nevezik és hat különböző zóna csoportot határoznak meg.

A jogszabály a zónák alábbi típusait különbözteti meg:

- A csoport: az agglomeráció, olyan sűrűn lakott terület, ahol a lakosok száma 250 000 vagy azt meghaladó, illetve azon település(ek), vagy településrészek ahol a népesség 250 000 lakosnál kevesebb, de a népsűrűség meghaladja az 500 fő/km<sup>2</sup>-t.
- B csoport: azon terület, ahol a légszennyezettség egy vagy több légszennyezőanyag tekintetében a légszennyezettségi határértéket és a tűrészatárt meghaladja.
- C csoport: azon terület, ahol a légszennyezettség egy vagy több légszennyezőanyag tekintetében a légszennyezettségi határérték és a tűrészatár között van.
- D csoport: azon terület, ahol a légszennyezettség egy vagy több légszennyezőanyag tekintetében a felső vizsgálati küszöb és a légszennyezettségi határérték között van.
- E csoport: azon terület, ahol a légszennyezettség egy vagy több légszennyezőanyag tekintetében a felső és az alsó vizsgálati küszöb között van.
- F csoport: azon terület, ahol a légszennyezettség az alsó vizsgálati küszöböt nem haladja meg.

A minősítés fő szempontja a mérési eredményeknek a jogszabályban előírt levegőminőségi határértékekkel való egybevetés. A levegőt szennyezettnek minősítjük, ha az immisszió koncentrációk a jogszabályban előírt határértéket meghaladják.

A levegő minősítése egyrészt szükséges lehet kiterjedt területek (régiók) és települések esetében, másrészt szűkebb területen (környezeti hatásvizsgálat, engedélyezési eljárás, panasz kivizsgálás stb.), vagy valamely szennyező forrás környezetében. Minősítés során többnyire sokféle szempontot kell figyelembe venni. Települések, régiók levegő minősítése esetén többek között figyelembe kell venni a szennyezőanyagok fajtáit és veszélyességüket, a szennyezőanyagok jellemző koncentrációit, területi, időbeni alakulásukat, az érintett lakosság, természeti és anyagi javait stb..

Valamely szennyező forrás környezetére, illetve szűkebb területekre érvényesíthető szempontok például a szennyező forrás helye és környezete, beépítettség, más szennyező üzemek, az érintett lakosság, a forrás emissziója, a környező terület immisszió viszonyai, meteorológiai és helyrajzi viszonyok, védőövezet betartása, a szennyező forrás levegőtisztaság-védelmi berendezései stb..

#### 6.4. A LEVEGŐ SZENNYEZÉSÉNEK SZABÁLYOZÁSA

#### 6.4.1. Hazai joganyag

**306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet** a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról. A rendelet hatálya azokra a természetes és jogi személyekre, továbbá jogi személyiséggel nem rendelkező szervezetekre terjed ki, akik, vagy amelyek tevékenysége, létesítménye, terméke levegőterhelést okoz vagy okozhat.

**4/2011. (I. 14.) VM rendelet** a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről. A rendelet hatálya a helyhez kötött légszennyező pontforrásokra, azok üzemeltetőire, valamint a pontforrások kibocsátására terjed ki, valamint meghatározza a levegőterheltségi szintre vonatkozó határértékeket.

**6/2011. (I. 14.) VM rendelet** a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról. A rendelet előírja a levegőterheltségi szint, a helyhez kötött légszennyező pontforrás, a diffúz forrás vizsgálatának, ellenőrzésének, értékelésének szabályait, a levegőterhelés és levegőterheltségi szint mérését végző, valamint a helyhez kötött légszennyező pontforrást és a diffúz forrást üzemeltető természetes és jogi személyekre, valamint jogi személyiséggel nem rendelkező szervezetek vonatkozásában állapít meg feladatokat, illetve kötelezettségeket.

**4/2002. (X. 7.) KvVM rendelet** a légszennyezettségi agglomerációk és zónák kijelöléséről. A rendelet az ország területét légszennyezettségi agglomerációba és zónákba sorolja.

**26/2014. (III. 25.) VM rendelet** az egyes tevékenységek illékony szerves vegyület kibocsátásának korlátozásáról. A rendelet hatálya az 1. mellékletében felsorolt tevékenységekre terjed ki, ha azok szerves oldószer felhasználása meghaladja a 2. mellékletében megállapított besorolási küszöbértéket. A rendelet hatálya alá nem tartozó tevékenységekből származó szerves légszennyező anyagok kibocsátási határértékeit a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet határozza meg.

**29/2014. (XI. 28.) FM rendelet** a hulladékégetés műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről.

**110/2013. (XII. 4.) VM rendelet** az 50 MWth és annál nagyobb teljes névleges bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezések működési feltételeiről és légszennyező anyagainak kibocsátási határértékeiről.

**23/2001. (XI.13.) KöM rendelet** a 140 kWth és az ennél nagyobb, de 50 MWth-nál kisebb névleges bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezések légszennyező anyagainak technológiai kibocsátási határértékeiről.

**7/1999. (VII. 21.) KÖM rendelet** a 140 KWth és az ennél nagyobb, de 50 MWth-nál kisebb bemenő hőteljesítményű, helyhez kötött gázturbinák légszennyező anyagainak technológiai kibocsátási határértékeiről.

**32/1993. (XII.23.) KTM rendelet** a helyhez kötött földgázüzemű gázmotorok technológiai kibocsátási határértékeinek és azok alkalmazására vonatkozó szabályok megállapításáról.

**120/2013. (XII. 16.) VM rendelet** a titán-dioxidot előállító létesítmények kibocsátásáról.

**310/2008. (XII. 20.) Korm. rendelet** az ózonréteget lebontó anyagokkal és egyes fluortartalmú üvegházhatású gázokkal kapcsolatos tevékenységekről.

*Levegőtisztaság-védelmi EU-s és nemzetközi joganyag*

**Az Európai Parlament és a Tanács 2010/75/EU irányelve** (2010. november 24.) az ipari kibocsátásokról (a környezetszennyezés integrált megelőzése és csökkentése).

**Az Európai Parlament és a Tanács 166/2006/EK rendelete** (2006. január 18.) az Európai Szennyezőanyag-kibocsátási és -szállítási nyilvántartás (E-PRTR) létrehozásáról, valamint a 91/689/EGK és a 96/61/EK tanácsi irányelv módosításáról.

**Az Európai Parlament és a Tanács 1005/2009/EK rendelete** (2009. szeptember 16.) az ózonréteget lebontó anyagokról.

**Az Európai Parlament és a Tanács 517/2014/EU rendelete** (2014. április 16.) a fluortartalmú üvegházhatású gázokról és a 842/2006/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről.

#### 6.4.2. Nemzetközi egyezmények

**1979. Genfi Egyezmény:** Az országhatáron áterjedő levegőszennyezésről szól. Az egyezmény csak a kén-dioxid kibocsátásokat nevesítette, a többi csak általánosságban említette, és nem tartalmazott tételes kibocsátás csökkentési előírásokat. A későbbiekben az egyezményhez csatolt jegyzőkönyvek tartalmazzák az előírt intézkedéseket és a kibocsátás csökkentési célokat.

**1985. évi Helsink-i jegyzőkönyv:** A Jegyzőkönyvben foglaltak az 1980. évi kibocsátáshoz viszonyított, egységesen 30 %-os kén-dioxid kibocsátási mérséklést írtak elő 1993-ig. Magyarország tekintetében a Jegyzőkönyv az 1980. évi 1632 kt kén-dioxid emisszió 1142 kt-ra történő csökkentését írta elő 1993-ra. (A tényleges kibocsátásunk 1993-ban 757 kt volt). A Jegyzőkönyvben foglaltak teljesítésének következtében Európában összességében mintegy 38 %-kal csökkent a kén-dioxid

kibocsátás, javult a levegő minősége és megállt a sérült ökoszisztémák állapotának további romlása.

**1985-ben a Bécsi Egyezmény** az ózonréteg védelméről elfogadást nyert.

**1987-ben a Montreali Protokoll** elfogadást nyert. Az aláírók vállalták, hogy freontermelésüket 1992-ig nem emelik, 1998-ig pedig az 1996-os kibocsátás felére csökkentik.

**1988. évi Szófia Jegyzőkönyv:** A Jegyzőkönyv a nitrogén-oxid kibocsátások „befagyasztására” tartalmazott előírásokat. Az aláíró országok alapvető kötelezettségként vállalták, hogy nitrogén-oxid (NO<sub>x</sub>) kibocsátásaik 1994. év végén nem fogják túllépni az 1987. évi szintet. Magyarország 1987. évi NO<sub>x</sub> kibocsátása 265 kt volt, ennek szinten tartását vállaltuk (tényleges kibocsátásunk 1994-ben 183 kt volt). A Jegyzőkönyvben az alapvető kötelezettségek között megjelent az elérhető legjobb technika (BAT) alkalmazásának igénye a legfontosabb helyhez kötött forráskategóriákra (erőművi tüzelőberendezésekre), valamint az új mozgó forrásokra (gépjárművekre).

**1990-es Londoni Egyezmény.** Az ózonréteg védelmével kapcsolatos további szigorításokat tartalmazza.

**1991. évi Genfi Jegyzőkönyv:** Az aláíró országok kötelezettséget vállaltak arra, hogy az illékony szerves vegyületek (Volatile Organic Compounds: VOCs) kibocsátását az 1988. évi szinthez képest 1999-ig 30 %-kal csökkentik.

**1992-es Koppenhágai Megállapodás** az ózon bomlását okozó ipari tevékenységből származó halogénezett szénhidrogének és freon kibocsátására vonatkozó további szigorításokat tartalmaz.

**1994. évi Oslói Jegyzőkönyv:** A második kén-dioxid Jegyzőkönyv, mely 2010-ig jelölt ki kibocsátási célokat. Hazánk 2010-ig az 1980-as viszonyítási évhez képest 60%-os csökkentést vállalt.

**1997-es Montreali Egyezmény** zárja a sztratoszférikus ózon védelmét szolgáló vállalások körét. Elfogadták az ózoncsökkentő gázok teljes kivonását.

**1998. évi Aarhusi Nehézfém Jegyzőkönyv** feladata a kadmium, az ólom és a higany ipari forrásokból, technológiai folyamatokból, hulladékok égetéséből és a közlekedésből származó kibocsátások csökkentése. Az Aarhusi POP jegyzőkönyv pedig a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok (POP) légköri kibocsátásának csökkentéséről szól.

**1999. évi Göteborgi Jegyzőkönyv** a légszennyező anyagok (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, VOCs, szálló por) kibocsátását korlátozza. A Jegyzőkönyv komplex módon próbálja kezelni a hagyományos elsődleges légszennyező anyagok (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) mellett a másodlagos,

illetve egyéb szennyezők által okozott környezeti károsodásokat, mint például a savasodást, az eutrofizációt és a talajközeli ózon szennyezettséget.

**2001. évi Stokholmi Egyezmény** a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagokról. Az Egyezmény kiemelten kezeli a nők védelmét, és rajtuk keresztül a következő generációkat, valamint az Északi sarkvidék ökoszisztémáit és az ott élő közösségeket.

**2002-ben a Kiotói Jegyzőkönyv jóváhagyásra** kerül. A Kiotói Jegyzőkönyv hat üvegházhatást okozó gáz kibocsátása ellen lép fel: szén-dioxid (CO<sub>2</sub>); metán (CH<sub>4</sub>); nitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O); fluorozott szénhidrogének (HFC-k); perfluor-karbonok (PFC-k); kén-hexafluorid (SF<sub>6</sub>). Hazánk 6%-os CO<sub>2</sub> csökkenést vállalt 2008-2012-ig az 1958-87-es időszakhoz képest.

## Felhasznált szakirodalom:

Bagány Mihály: Belső égésű motorok, Typotex kiadó, 2011.

Báki Nikolett: Nyíregyháza levegőminőségének vizsgálata fotokémiai szmogot okozó és szilárd szennyezőanyagok tekintetében, Szakdolgozat, 2016.

Barótfi István: Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, 2000.

EUR-Lex Access to European Union law

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=URISERV%3A128060>

Európai Bizottság Kommunikációs Főigazgatóság: Közérthetően az Európai Unió szakpolitikáiról Éghajlat-politika, Luxembourg: az Európai Unió Kiadóhivatala, 2014.

Bozó László, Györgyné Váraljai Irén, Ivanics István, Vaskövi Béláné, Várkonyi Tibor: A környezeti levegőszennyezettség mérésének gyakorlata, Budapest, 2001.

[http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=A1000306.KOR](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1000306.KOR)

Paul N. Cheremisinoff: Industrial odor control Pocket Handbook, 1988.

Revision of the Gothenburg Protocol – Definition of PM:

[http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2009/EB/wg5/wgsr45/Informal docs/No 11Revision of the Gothenburg Protocol-Definition of PM.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2009/EB/wg5/wgsr45/Informal_docs/No_11Revision_of_the_Gothenburg_Protocol-Definition_of_PM.pdf)

Ritvay Dorottya-Kondics Lajosné: A levegőt szennyező bűz [www.vituki.hu/files/buz\\_levego.pdf](http://www.vituki.hu/files/buz_levego.pdf)

OECD/IEA, Nordic Energy Technology Perspectives: Pathways to a Carbon Neutral Energy Future, International Energy Agency, Paris, 2013.

## 7. A HULLADÉKGAZDÁLKODÁS ALAPJAI

### 7.1. A HULLADÉKOKRA VONATKOZÓ ÁLTALÁNOS SZABÁLYOK

A hulladékgazdálkodás a hulladékok káros hatása elleni védelemnek a hulladékok teljes életciklusára kiterjedő tevékenységek összehangolt sorozata. Gyakorlatilag a hulladékok keletkezésének megelőzését, csökkentését, a keletkezett hulladékok elkülönített gyűjtését és hasznosítását, a nem hasznosítható hulladékok környezetszennyezés nélküli átmeneti tárolását és ártalmatlanítását foglalja magában.

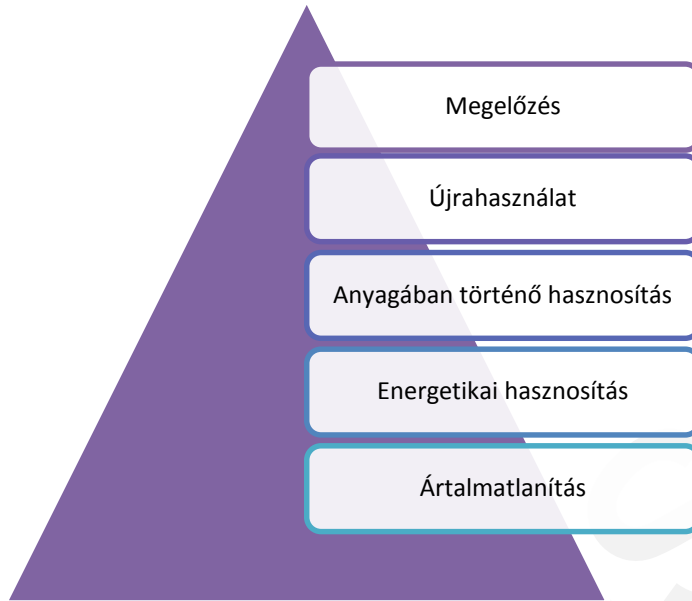
Az Európai Unió tagállamaiban a hulladékgazdálkodását átfogó szabályozását a 2008. december 12-én hatályba lépett Hulladék Keretirányelv (HKI) biztosítja (2008/98/EK irányelv a hulladékokról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről).

Hazánkban a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény (Ht.) ülteti át a Hulladék Keretirányelv szabályait. A hulladékról szóló törvény alapját a hulladékhierarchia rendszere képezi (7.1. ábra), mely szerint minden tevékenységet úgy kell megtervezni és végezni, hogy

- biztosítsa a hulladék keletkezésének megelőzését,
- a keletkező hulladék mennyiségének és veszélyességének csökkentését,
- a hulladék hasznosítását (újrahasználat, anyagában történő illetve energetikai célú hasznosítás, komposztálás),
- környezetkímélő ártalmatlanítását.

Ez a prioritási sorrend egyben meghatározza a cselekvések egymáshoz való viszonyát, vagyis azt, hogy csak akkor lehet a sorrendben később szereplő megoldást választani, ha az előző lépcsőben több megoldási lehetőség már nincs. A prioritási sorrend érvényesítése a gazdálkodó feladata. Ahhoz, hogy a hulladékképződés megelőzhető legyen, illetve hogy a keletkező hulladék mennyisége és veszélyessége csökkenjen, előnyben kell részesíteni:

- az anyag- és energiatakarékos, hulladékszegény technológiák alkalmazását;
- az anyagnak, illetőleg a hulladéknak a termelési-fogyasztási körfolyamatban tartását;
- a legkisebb tömegű és térfogatú hulladékot és szennyező anyagot eredményező termékek előállítását;
- a hulladékként kockázatot jelentő anyagok kiváltását.



7.1. ábra: A hulladékhierarchia rendszer

A keletkezett hulladékot hasznosítani kell. Amennyiben a hasznosítás gazdasági és technológiai feltételei adottak, a hulladékot a hasznosítás elősegítése érdekében a hasznosítási lehetőségeknek megfelelően elkülönítve kell gyűjteni (szelektív hulladékgyűjtés). A hulladékban rejlő anyag és energia hasznosítása érdekében törekedni kell a hulladék ettől nagyobb arányú újbóli felhasználására, a nyersanyagoknak hulladékkal történő helyettesítésére. Abban az esetben, ha ez valamilyen okból (gazdaságossági, technológiai, stb.) nem lehetséges a hulladékban lévő energiát kell kinyerni.

Ártalmatlanításra csak az a hulladék kerülhet, amelynek anyagában történő hasznosítására vagy energiahordozóként való felhasználására a műszaki, illetőleg gazdasági lehetőségek még nem adottak, vagy a hasznosítás költségei az ártalmatlanítás költségeihez viszonyítva aránytalanul magasak.

Ezen szempontokon túl természetesen tilos a hulladékot elhagyni, felhalmozni, ellenőrizetlen körülmények között elhelyezni, illetve kezelni.

Minden tevékenységet úgy kell megtervezni és végezni, hogy a környezet terhelése a legkisebb legyen, és ne okozzon környezetszennyezést. Ehhez elengedhetetlen a hulladékképződés megelőzése, a képződő hulladék mennyiségének és veszélyességének csökkentése, a hulladék hasznosítása, valamint az előírásoknak megfelelő, a környezetet nem veszélyeztető ártalmatlanítása.

A hulladékképződés megelőzése, a képződő hulladék mennyiségének és veszélyességének csökkentése érdekében előnyben kell részesíteni:

- a) az anyag- és energiatakarékos, hulladékszegény technológiák alkalmazását;
- b) az anyag termelési-fogyasztási körfolyamatban tartását;
- c) a legkisebb tömegű és térfogatú hulladékot, továbbá a kevesebb szennyező anyagot, illetve kisebb környezetterhelést eredményező termékek előállítását;
- d) a hulladékként kockázatot jelentő anyagok kiváltását.

A hulladékképződés megelőzése érdekében törekedni kell arra, hogy a technológiából származó, de a technológiai folyamatba visszavezetett gyártási maradék, anyag, valamint a már használt, de eredeti céljára ismételten felhasználható termék, illetve melléktermék a gyártásfelhasználás ciklusban maradjon. Az anyag vagy termék, illetve melléktermék a gyártásfelhasználás ciklusból történő kilépésekor válik hulladékká.

A hulladékban rejlő anyag, energia hasznosítása érdekében törekedni kell a hulladék lehető legnagyobb arányú újrahasználatra történő előkészítésére, újrafeldolgozására, valamint a nyersanyagok hulladékkal történő helyettesítésére.

A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékhierarchia bevezetésén túl meghatározza, hogy valamely anyag vagy tárgy milyen esetekben tekinthető mellékterméknek, nem pedig hulladéknak. Ez azt a célt szolgálja, hogy a gyártásnál képződő hulladék elkülönüljön a gyártási folyamat hasznos termékeitől.

A törvény rendelkezik továbbá a hulladéktápusz megszűnésének eseteiről is. Azokat a feltételeket írja elő, amelyek teljesülése esetén az anyag vagy tárgy már nem tekinthető hulladéknak, hasznosításával elhagyhatja a hulladékkört és így ismét termékké válhat.

## 7.2. A HULLADÉKGAZDÁLKODÁS INTÉZMÉNYI HÁTTERE

Az Országos Környezetvédelmi és Természetvédelmi Főfelügyelőség Nemzeti Hulladékgazdálkodási Igazgatóság jogelődjének (Országos Hulladékgazdálkodási Ügynökség Nonprofit Kft., OHÜ) megalapítását a környezetvédelmi termékdíjról szóló 2011. évi LXXXV. törvény írta elő. Az OHÜ 2014. december 31-i megszűnéséig egyedüli közvetítőként szervezte és irányította a termékdíj-köteles termékekkel kapcsolatos hazai hulladékgazdálkodást.

A 322/2014. Korm. rendelet értelmében az OHÜ által ellátott feladatokat 2015. január 1-jétől az Országos Környezetvédelmi és Természetvédelmi Főfelügyelőség látja el. Az Országos Környezetvédelmi és Természetvédelmi Főfelügyelőség keretein belül létrehozott Nemzeti Hulladékgazdálkodási Igazgatóság (NHI) végzi.

Az NHI alapfeladata, hogy Magyarországon rendezett, átlátható, nyomon követhető, ellenőrizhető és számon kérhető legyen a hulladékgazdálkodás.

Tevékenysége kereteit az idevonatkozó jogszabályok határozzák meg, melyek egyaránt érintik a lakosságnál, az iparban, a kereskedelemben és a szolgáltatások során keletkezett termékdíj-köteles termékekből képződött hulladékok gyűjtésére, kezelésére és hasznosítására vonatkozó teendőket.

Az NHI összesíti a magyarországi hulladékgazdálkodást jellemző adatait, főbb mutatóit, s ezzel biztosítja az európai uniós adatszolgáltatást is.

- A Hulladékgazdálkodási Navigáció Országos Rendszer (HUNOR) kiépítésével és működtetésével az NHI folyamatosan gyűjti és értékeli a vele szerződéses kapcsolatban álló gazdasági társaságok hulladékgazdálkodási tevékenységére vonatkozó adatait, nyomon követi a szállítmányokat, továbbá a részükre juttatott részfinanszírozások szabályos és hatékony felhasználását.
- A termékdíj-köteles termékekből keletkezett hulladékok gyűjtésének és hasznosításának hulladékaramonkénti arányát és mennyiségét az Országos Gyűjtési és Hasznosítási Terv (OGyHT) tartalmazza.
- Az NHI – a kormány által biztosított forrás révén – támogatja a magyarországi hulladékgazdálkodási ágazat fejlesztését. A fejlett nyugat európai országokban elfogadott szemlélet, hogy a fenntartható anyaggazdálkodást és az ökoinnovációt tekintik az ágazat jövőjének. Ennek lényege, hogy a hulladékot - a benne rejlő értékek miatt - minél nagyobb mennyiségben és arányban kell anyagában hasznosítani.
- Törvényben megfogalmazott feladata továbbá, hogy kedvező szemléletváltás történjék mind a lakosság, mind az ágazat vállalkozásai körében. Felhívja a figyelmet a hulladékok keletkezésének megelőzésére, továbbá ösztönözzön arra, hogy a termékdíj-köteles termékekből keletkezett hulladékok gyűjtési és hasznosítási aránya - a munkahelyteremtéshez is hozzájárulva - jelentősen javuljon. Ennek érdekében törekszik arra, hogy az ágazat többi, helyi szereplőjével együtt a lakosság minél nagyobb hányadát megismertesse a szelektív hulladékgyűjtés hasznosságáról, fontosságáról.

## 7.3. 2012. ÉVI CLXXXV. TÖRVÉNY A HULLADÉKRÓL

### 7.3.1. A törvény hatálya

(1) A törvény hatálya *kiterjed*

- a) a (3) pontban felsoroltakon kívül minden hulladékra,
- b) a hulladékképződés megelőzését szolgáló tevékenységekre,
- c) a hulladékgazdálkodásra és
- d) a hulladékgazdálkodási létesítményekre.

(2) Ha a hulladékokról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről szóló 2008/98/EK irányelven kívül, más jogszabály e törvényben foglaltaktól eltérően rendelkezik, e törvény hatálya *nem terjed ki*

- a) a szennyvízre,
- b) az ásványi nyersanyagok kutatásából, kitermeléséből, feldolgozásából és tárolásából származó hulladéokra,
- c) az állati melléktermékekre, ideértve a belőlük származó feldolgozott termékeket, kivéve, ha azokat hulladéklerakóban történő lerakásra, égetésre, valamint biogáz- vagy komposztáló üzemben történő hasznosításra szánják, valamint
- d) a nem vágás következtében elpusztult és ártalmatlanításra kerülő állatokra, ideértve a járványos állatbetegségek leküzdése érdekében leölt állatok tetemeit is.

(3) *Nem terjed ki a törvény hatálya*

- a) a levegőbe kibocsátott légnemű anyagokra,
- b) a radioaktív hulladéokra,
- c) a hatástalanított robbanóanyagokra,
- d) a természetes állapotában meglévő ki nem termelt földre, beleértve a ki nem termelt szennyezett talajt, valamint a földhöz tartós jelleggel rögzített építményeket, beleértve a használaton kívüli, elhagyott, romos épületeket is,
- e) a szennyezetlen talajra és más, természetes állapotában meglévő olyan anyagra, amelyet építési tevékenység során termelnek ki, és azt a kitermelés helyén természetes állapotában építési tevékenységhez használják fel,
- f) a fekáliára, a szalmára, valamint a mezőgazdasági termelőtevékenység, az erdőgazdálkodás, továbbá a fafeldolgozás során képződő egyéb nem veszélyes természetes anyagra, amelyet a mezőgazdaságban, az erdőszetben vagy biomasszaként energia előállítására használnak a környezetre és az emberi egészségre veszélytelen eljárással vagy módszerrel,
- g) a vizek és vízi utak kezelése, árvízmentesítés, vízkárelhárítás vagy talajfeltöltés céljából a felszíni vizekben áthelyezett üledékre, iszapra, amely az Ht. 1. mellékletében meghatározott veszélyességi jellemzők egyikével sem rendelkezik.

## 7.4. HULLADÉKGAZDÁLKODÁSI ALAPELVEK

a) *az újrahasználat és az újrahasználatra előkészítés elve:* a hulladékképződés megelőzése érdekében a termékek újrahasználatát, javítását, újratöltését, a hulladék

újrahasználatra előkészítését, az újrahasználati és javító hálózatok kiépítését jogi, gazdasági és műszaki eszközökkel elő kell segíteni;

*b) a kiterjesztett gyártói felelősség elve:* a gyártó felelős a termék és a technológia jellemzőinek a megelőzés és a hulladékgazdálkodás követelményei szempontjából történő kedvező megválasztásáért, beleértve a felhasznált alapanyagok megválasztását, a termék külső behatásokkal szembeni ellenálló képességének, élettartamának és újrahasználhatóságának, javíthatóságának, továbbá a termék előállításából és felhasználásából származó, illetve a termékből képződő hulladék hasznosításának és ártalmatlanításának megtervezését, a kiterjesztett gyártói felelősség alapján a gyártó felelős továbbá a visszavitt termék visszaváltásáért, visszavételéért, a termékből származó hulladék átvételéért, gyűjtéséért, valamint a környezetvédelmi termékdíjról szóló törvényben meghatározott további hulladékgazdálkodási tevékenységek elvégzéséért, amelyek az e tevékenységekért vállalt pénzügyi felelősséget is magukban foglalják;

*c) az önellátás elve:* az Európai Unió tagállamaival együttműködésben biztosítani kell, hogy Magyarország területén a hulladék ártalmatlanítására, valamint a vegyes hulladék hasznosítására alkalmas hulladékgazdálkodási létesítmények önálló hálózata jöjjön létre és működjön, figyelembe véve a földrajzi adottságokat, valamint azt, hogy bizonyos hulladék esetében különleges hulladékgazdálkodási létesítményekre van szükség; az önellátás elve nem jelenti azt, hogy Magyarországnak a hasznosító létesítmények teljes skálájával kell rendelkeznie;

*d) a közelség elve:* biztosítani kell, hogy a c) pont szerinti hálózat lehetővé tegye a hulladék egyik legközelebbi, a célnak megfelelő hulladékgazdálkodási létesítményben és a leginkább alkalmas módszerek, valamint technológiák segítségével történő hasznosítását vagy ártalmatlanítását, figyelembe véve a környezeti adottságokat, a környezeti és gazdasági hatékonyságot, az elérhető legjobb technikát, valamint az adott hulladék különleges kezelési igényét; a közelség elve nem jelenti azt, hogy Magyarországnak a hasznosító létesítmények teljes skálájával kell rendelkeznie;

*e) a szennyező fizet elve:* a hulladéktermelő, a hulladékbirtokos vagy a hulladékká vált termék gyártója felelős a hulladék kezeléséért, a hulladékgazdálkodás költségeinek megfizetéséért;

*f) a biológiailag lebomló hulladék hasznosításának elve:* elő kell segíteni a biológiailag lebomló hulladék elkülönített gyűjtését és hasznosítását annak érdekében, hogy a hasznosítás után a természetes szervesanyag-körforgásba minél nagyobb tisztaságú anyag kerülhessen vissza, valamint a hulladéklerakókon lerakásra kerülő települési hulladék biológiailag lebomló tartalma csökkenjen;

g) a költséghatékony hulladékgazdálkodási közszolgáltatás biztosításának elve: a hulladékgazdálkodási közszolgáltatást a költséghatékony környezetvédelmi célok megválasztásával és a közszolgáltatást igénybe vevő lakosság fizetőképessége szerint fenntartható üzemeltetési költségekre figyelemmel úgy kell biztosítani, tervezni és fejleszteni, hogy a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás körébe tartozó feladatok ellátása a legkisebb mértékben tegye szükségessé a hulladékgazdálkodási közszolgáltatási díj és a hulladék ártalmatlanítása után fizetendő díj emelését, és az ártalmatlanítás díja ne eredményezhesse a hulladéklerakási járulék közszolgáltatóra vagy a lakosságra történő áthárítását;

h) a keresztfinanszírozás tilalmának elve: a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás díját úgy kell megállapítani, hogy az fedezetet nyújtson a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás indokolt költségeire és ráfordításaira, valamint a közszolgáltató e tevékenységével kapcsolatos ésszerű nyereségére; az ésszerű nyereség nem tartalmazhatja a hulladékgazdálkodási közszolgáltatáson kívül eső egyéb gazdasági tevékenységei költségeinek, ráfordításainak fedezetét.

## 7.5. HULLADÉKGAZDÁLKODÁSI TERVEK

A hulladékról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről szóló 2008/98/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv előírja, hogy a tagállamok illetékes hatóságainak egy vagy több hulladékgazdálkodási tervet kell készíteniük. Az említett tervnek önmagában vagy több tervnek együttesen az érintett tagállam teljes területét le kell fedniük. Magyarország ennek a feltételnek az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT) elkészítésével tesz eleget.

A hulladékgazdálkodás stratégiai célkitűzéseinek, alapelveinek érvényesítése érdekében a hulladékról szóló törvény alapján elkészült az Országos Hulladékgazdálkodási Terv. A [2055/2013 kormány határozattal](#) kihirdetett Országos Hulladékgazdálkodási Terv meghatározza a 2014-2020 között elérendő célokat, valamint a kitűzött célok elérését szolgáló országos szintű programokat és intézkedéseket.

Az OHT tartalmazza hazánk hulladékgazdálkodással kapcsolatos szakmapolitikai elképzeléseit. Bemutatja hazánk hulladékgazdálkodásának jogszabályi hátterét, majd hulladékaramonként ismerteti az adott hulladékarom kezelésének jelenlegi helyzetét, a tapasztalt hiányosságokat, meghatározva az elérendő célokat és a megvalósításhoz szükséges eszközöket, intézkedéseket.

Az OHT részét képezi az Országos Megelőzési Program (OMP), amely tartalmazza a hulladékképződés megelőzésével kapcsolatos célkitűzéseket és az ezek elérése érdekében megvalósítandó intézkedéseket.

Az OMP egyik fő célja a szükségleteken alapuló, ésszerű gazdasági növekedés és a hulladékképződés által okozott környezeti hatások közötti összefüggés megszüntetése.

Az OHT hosszú távú célkitűzései a hulladékhierarchia rendszerének pillérein nyugszanak. A jövőben remélhetőleg a környezeti elemeket kímélő hulladékkezelés, a környezetbarát, innovatív technológiák alkalmazása kerül előtérbe, csökken a veszélyes anyagok használata. A hulladékra a társadalom, mint erőforrásra tekint majd. Az OHT által meghatározott célok teljesülésének köszönhetően a hulladéklerakás csökken, a jövőben csak az a hulladék kerül lerakásra, amelynek a hasznosítása nem megoldható.

Az OHT által megfogalmazott átfogó célkitűzések 4 fő területhez kapcsolódnak:

1. hasznosítási arányok növelése,
2. hulladékképződés csökkentése,
3. elkülönített gyűjtés kialakítása és fejlesztése,
4. a hulladékká vált termékek újrahasználató összetevőinek elkülönítése, javítása és ismételt felhasználása.

Az Országos Hulladékgazdálkodási Terv és a területi hulladékgazdálkodási terv, valamint az Országos Megelőzési Program és a területi megelőzési program elkészítésében a tervezési területen működő helyi önkormányzatok, érdekképviselői és környezetvédelmi civil szervezetek, az állami hulladékgazdálkodási közfeladat ellátásra létrehozott szervezet, továbbá a 310/2013. Korm. rendelet 1. mellékletében meghatározott hatóságok vesznek részt.

A területi hulladékgazdálkodási tervet és a területi megelőzési programot a környezetvédelmi hatóságok illetékességi területére kell elkészíteni.

A hulladékgazdálkodási terv és a megelőzési program előkészítésébe bevonandó területileg illetékes hatóságok:

- területileg illetékes vízügyi hatóság,
- Nemzeti Közlekedési Hatóság Útügyi, Vasúti és Hajózási Hivatala,
- Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatala,
- területileg illetékes települési, fővárosi kerületi önkormányzat jegyzője,
- Országos Meteorológiai Szolgálat,
- megyei katasztrófavédelmi igazgatóság, a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság,
- területileg illetékes fővárosi és megyei kormányhivatal, stb.

#### 7.5.1. A hulladékgazdálkodási terv szerkezeti felépítése és tartalmi elemei

I. A hulladékgazdálkodási terv szerkezeti felépítése:

- A hulladékgazdálkodási terv címe.
- A tervezés pontos időtartama és a báziséve.
- A hulladékgazdálkodási terv készítőjének neve és címe.
- A készítés dátuma.

A hulladékgazdálkodási tervet az áttekinthetőség érdekében fejezetekre és címekre, szükség esetén további szerkezeti egységekre kell tagolni.

II. A hulladékgazdálkodási terv tartalmi elemei:

a) *A tervezési terület hulladékgazdálkodási sajátosságai:*

A tervezési területre vonatkozólag a következőket kell bemutatni: a képződött, a felhalmozott, a hasznosításra és az ártalmatlanításra előkészített, valamint a hasznosított és az ártalmatlanított hulladéokra vonatkozó mennyiségi adatokat.

A hulladékstátusz megszűnésére vonatkozó feltételek teljesülésével kapcsolatban – az adott tervezési terület vonatkozásában – a hulladékkörből kikerülő anyagok, illetve termékek éves becsült mennyiségét is meg kell adni (tonnában kifejezve).

A hasznosított hulladékkal kapcsolatban a hasznosításnak a hulladékgazdálkodási terv készítése idején fennálló jellemzőit, továbbá a hasznosítás módjait is meg kell adni, amely magában foglalja az egyes hulladékáramokat érintő, és a tervezést megelőző 5 évben teljesített hasznosítási és ártalmatlanítási arányokat.

A biológiailag lebomló hulladékkal kapcsolatban, illetve a Ht. hatálya alá tartozó állati melléktermékekkel kapcsolatban a lerakásra kerülő mennyiséget is meg kell adni.

Az adatokat csak a tervezési területen meglévő hulladékokra kell meghatározni. Adathiány esetén statisztikai, illetve méréseken alapuló műszaki becslés is alkalmazható. Ahol ez sem lehetséges, ott az „n.a.” (nincs adat) jelölés alkalmazandó.

Be kell mutatni a tervezési területen élő lakosok, valamint az ott működő gazdálkodó szervezetek, közintézmények által követett, hulladékgazdálkodással – így különösen a hulladék gyűjtésével, elszállításával, illetve kezelésével – kapcsolatos szokásait, továbbá azokat az intézkedéseket, amelyeket a hulladékképződés megelőzése érdekében gyakorolnak, figyelembe véve a tervezési területen belül az egyes térségek, körzetek, települések eltérő műszaki-technikai felkészültségét, viszonyrendszerét.

Be kell mutatni a hulladék gyűjtését, kezelését végző hulladékgazdálkodási létesítményeket a következők szerint:

- a tervezési területen üzemelő gyűjtőhelyek, valamint hulladéktároló helyek fajtája, technológiája, állapota, továbbá kapacitásának és kihasználtságának bemutatása az üzemeltető megnevezésével;

- a tervezési területen működő komposztáló telepek, átrakóállomások, válogatóművek, előkezelő, hasznosító, illetve ártalmatlanító vagy egyéb, a hulladékgazdálkodásba bevont létesítmények fajtája, technológiája, állapota, továbbá kapacitásának és kihasználtságának bemutatása, üzemeltetőjének megnevezése, a telephely jellemzőinek általános ismertetése;
- a fejlesztést vagy felszámolást, illetve utógondozást igénylő hulladékgazdálkodási létesítmények, hulladéklerakók meghatározása, állapotának bemutatása, tulajdonosának, üzemeltetőjének megnevezése, a telephely jellemzőinek általános ismertetése.

Be kell mutatni a tervezési területen működő közszolgáltató által végzett hulladékgazdálkodási tevékenységeket, valamint a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás által a tervezési terület hulladékgazdálkodására gyakorolt hatást.

*b) A megvalósítani tervezett célkitűzések és feladatok:*

A tervezési területen megvalósítandó hasznosítási célkitűzéseket kell bemutatni, figyelemmel a hasznosítási kapacitások kialakításának lehetőségeire, szükségleteire, prioritásaira.

Be kell mutatni, hogy a jogellenesen üzemelő hulladékgazdálkodási létesítmények felszámolása vagy jogszerű módon történő tovább működtetése rövid vagy hosszú távon hogyan biztosítható, és ennek eléréséhez milyen feltételek szükségesek.

Be kell mutatni, hogy az illegális vagy környezeti ártalommal járó hulladékgazdálkodási tevékenységekből – így különösen hulladéklerakásból, felhagyott ipari ingatlanokon található hulladékból – származó környezeti károk száma hogyan csökkenthető, illetve számolható fel.

Be kell mutatni, hogy a környezetvédelmi szempontból nem megfelelően üzemelő hulladékgazdálkodási létesítményeket milyen módon és eszközökkel lehet a környezetvédelmi célok elérése érdekében felszámolni, fejleszteni.

Be kell mutatni a tervezési területre vonatkozó célok megvalósításával és a célok meg nem valósításával járó környezeti, társadalmi és gazdasági hatásokat.

*c) A cselekvési program:*

A hulladék kezelésének racionalizálása és hatékonyságának növelése érdekében meg kell határozni:

- a hulladékképződés csökkentését szolgáló rövid és hosszú távú intézkedéseket;
- a gyűjtési és szállítási rendszerek fejlesztését szolgáló rövid és hosszú távú intézkedéseket;

- a hasznosítással és az ártalmatlanítással kapcsolatos célkitűzések megvalósítását biztosító fejlesztéseket, intézkedéseket, figyelemmel az egyes hasznosítási és ártalmatlanítási rendszereknek a tervezési területre vonatkozó környezetvédelmi programokban, a területfejlesztési koncepciókban és programokban, a településfejlesztési koncepcióban és integrált településfejlesztési stratégiában, valamint terület- és településrendezési eszközökben foglaltakkal való összehangolásának követelményére;
- a célkitűzések megvalósítását szolgáló intézkedéseket, feladatokat;
- az egyes célkitűzések, fejlesztések, beruházások megvalósításhoz szükséges eszközöket, előkezelő, hasznosítási és ártalmatlanítási eljárásokat, berendezéseket és létesítményeket.

Meg kell határozni az egyes fejlesztések, beruházások megkezdésének prioritási rendjét, továbbá a fejlesztések, beruházások, intézkedések végrehajtásának, megvalósításának sorrendjét.

Meg kell határozni az egyes célkitűzések megvalósításához szükséges becsült költségeket.

*d) A megelőzési program:*

A hulladékgazdálkodási terven belül a megelőzési program önálló szerkezeti egységet képez.

*e) Összefoglalás:*

Az összefoglalásban be kell mutatni a tervezési időszak alatt várható eredményeket, valamint a hulladékgazdálkodás további fejlesztésének lehetőségeit.

## 7.6. A HULLADÉKOK MEGHATÁROZÁSA, CSOPORTOSÍTÁSA

### 7.6.1. A hulladék fogalma

Általános értelemben hulladéknak tekintendő az ember:

- mindennapi élete,
- munkája,
- gazdasági tevékenysége során keletkező,
- a keletkezés helyén feleslegessé vált,
- ott közvetlen fel nem használható,
- különböző minőségű és halmazállapotú anyag, anyagegyüttes, termék, maradvány, tárgy, leválasztott szennyező anyag, szennyezett kitermelt föld, amelyet a tulajdonosuk sem közvetlenül felhasználni, sem értékesíteni nem tud, és amelynek kezeléséről külön kell gondoskodni.

A meghatározás leszűkíti a hulladékfogalmat az anyagi kategóriára. A hulladék fogalmat ki kell egészíteni két további csoportosítással:

- *melléktermék*: az az anyag, amelyet soros anyaghasználat jelleggel közvetlenül felhasználnak vagy értékesítenek;
- *másodnyersanyag, másodlagos energiahordozó*: az a hulladék, amely a felhasználás helyére abban a formában került, ahogyan azt hasznosítják.

A hulladékok az anyagi rendszereknek egy sajátos csoportját alkotják. Amíg az anyagi rendszereknek egyes csoportjai szerkezeti-mechanikai, fizikai, kémiai stb. anyagi jellemzőkkel egyértelműen meghatározhatók, addig abban, hogy egy anyag, tárgy stb. hulladéknak minősül e vagy sem, az anyagi jellemzőkkel azonos súlyú szerepet játszanak a társadalmi, gazdasági tényezők is. Az, hogy egy adott anyagot, tárgyat, maradványt stb. az ember, a társadalom hulladéknak tartja-e vagy sem, függ az emberek anyagi helyzetétől, a társadalmi, a műszaki és a gazdasági fejlettség szintjétől.

### 7.6.2. A hulladékok csoportosítása

A hulladékok csoportosítása számos szempont alapján történhet pl. eredet, halmazállapot, illetve a környezeti hatás alapján (veszélyes, nem veszélyes hulladékok). A leggyakrabban azonban a hulladékok megnevezése hulladékáramok alapján történik.

A legfontosabb hulladékáramok a következők:

- települési hulladék;
- ipari és egyéb gazdálkodói nem veszélyes hulladék (termelési hulladék);
- mezőgazdasági és élelmiszeripari nem veszélyes hulladék;
- a Ht. hatálya alá tartozó szennyvíziszap;
- építési-bontási hulladék;
- veszélyes hulladék, amely legalább a következő kiemelten kezelendő veszélyes hulladékáramokat foglalja magában:
  - PCB és PCT tartalmú hulladék,
  - hulladékolaj,
  - elem-, illetve akkumulátorhulladék,
  - elektromos és elektronikus berendezésekből származó hulladék,
  - hulladékká vált gépjárművekből származó hulladék,
  - egészségügyi intézményekben képződő hulladék, gyógyszerhulladék,
  - növényvédő szerekből és csomagolóeszközökből képződő hulladék,
  - azbeszthulladék;

- csomagolási hulladék:
  - papír és karton alapanyagú csomagolási hulladék,
  - műanyag alapanyagú csomagolási hulladék,
  - fa alapanyagú csomagolási hulladék,
  - fém alapanyagú csomagolási hulladék,
  - vegyes összetételű kompozit alapanyagú csomagolási hulladék,
  - üveg alapanyagú csomagolási hulladék;
- biológiailag lebomló hulladék.

## 7.7. A MAGYARORSZÁGI HULLADÉKGAZDÁLKODÁS JELLEMZŐI

### 7.7.1. Keletkezett hulladék

2000-ben még Magyarországon 40 millió t/év keletkezett hulladékról beszélhettünk, amely 2009-re évi 20 millió tonna alá süllyedt és egyértelműen csökkenő tendenciájú (7.1. táblázat). Ezzel együtt a GDP éves értéke a 2000-ben mért 13089,047 Mrd Ft-ról 2011-re 27635,435 Mrd Ft-ra nőtt, és az 1000 Ft bruttó hazai termék előállítására jutó 3 kg hulladék mennyisége 2011-re 0,66 kg-ra csökkent. A GDP növekedését nem követte a hulladékok mennyiségi növekedése. A GDP adatok növekedése mellett a hulladék mennyiségének csökkenése tapasztalható.

7.1. táblázat: Magyarországon évente keletkező hulladék mennyiségének alakulása

Megnevezés	2009	2010	2011
Összes hulladékmennyiség (ezer t/év)	19758	18621	18596
Hulladékmennyiség az előző évhez képest (%)	87,2	94,25	99,87
Bruttó hazai termék (GDP) (millió Ft)	25626480	25513032	27635435
GDP az előző évhez képest (%)	93,2	101,1	101,6
1000 Ft bruttó hazai termékre jutó hulladék mennyisége (kg/ezer Ft)	0,77	0,70	0,66

(Forrás: VM-HIR, KSH, OHT 2014-2020.)

Az EUROSTAT adatai alapján 2012-ben Magyarországon az egyes iparágakban és háztartásokban együttesen keletkezett hulladék mennyisége 16310 ezer t volt.

Az egyes hulladékkategóriákban a csökkenés mértéke eltérő volt a vizsgált időszakban (7.2. táblázat).

7. 2. táblázat: A keletkező hulladékok megoszlása a főbb kategóriák szerint (tonna)

Megnevezés	2009	2010	2011
Mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladék	964804	773467	743701
Ipari és egyéb gazdálkodói hulladék	6186088	5805675	5927565
Építési-bontási hulladék	3925562	4166936	4415406
Veszélyes hulladék	851126	569348	777287
Települési szilárd hulladék	4311870	4033106	3808878
Települési folyékony hulladék	3518984	3272733	2923173

(Forrás: VM-HIR, OHT 2014-2020.)

A mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladék mennyisége 23%-kal csökkent. Amiben kulcsszerepet játszott a válság okozta ágazati leépülés és egyéb kedvezőtlen folyamatok mellett (a feldolgozóipar jelentős visszaesése, az állatlétszám csökkenése) az, hogy 2007-től már nem szerepelnek a hulladékstatisztikában azok a növényi, állati melléktermékek (növényi maradványok, trágyák), amelyek közvetlenül visszaforgatásra kerülnek a termelési folyamatokban, így azokat a hulladékról szóló törvény alapján nem tekintünk hulladéknak.

Az ipari és az gazdálkodói hulladék jelenti a legnagyobb szegmensen a keletkező hulladékmennyiségben belül. Ezen hulladékok képződése lehet a legközvetlenebb összefüggésben egyrészt a gazdaság zsugorodásával, másrészt a korszerű, kis anyagigényű ágazatok térnyerésével, a hulladékképződés megelőzését támogató programok kidolgozásával és megvalósításával. A képződő mennyiség 4%-kal csökkenő tendenciája megállni látszik a 6000 ezer tonna körüli értékben.

Az építési-bontási hulladék képződésében kulcsfontosságú ezen ágazat teljesítményének visszaesése, az építőipari beruházások elmaradása, bár itt a hulladék mennyiségének némi növekedése már megfigyelhető.

A képződő veszélyes hulladék mennyisége a nagy állami kármentesítési projektek lezárultával a korábbi években képződött mennyiséghez képest lényegében nem csökkent.

A települési szilárd hulladékok mennyisége a 2000-2006 években tapasztalt enyhe mennyiségi növekedést követően – a táblázati adatok alapján – 11%-os csökkenő tendenciát mutatva 4 M t alá esett 2011-re. Az adatok mögött vélhetően a gazdasági válság okozta visszafogottabb lakossági fogyasztás állhat, illetve a tudatosabb fogyasztói magatartásnak tudható be.

A települési folyékony hulladék (nem közművel összegyűjtött háztartási szennyvíz) képződése összefüggésben van az országos szennyvízelvezetési és csatornázási projektek előrehaladásával, illetve a lakosság vízfogyasztásának takarékosabbá válásával. A Ht. megjelenését követően a települési folyékony hulladék már nem számítandó bele a képződő hulladék mennyiségébe, mivel a HKI és így a Ht. hatálya alá csak nagyon szűk körben tartozik.

### 7.7.2. A keletkezett hulladék kezelése

2011-ben a hazánkban képződő összes (beleértve a települési hulladékot is) hulladékmennyiségnek mintegy 0,5%-át ártalmatlanították égetéssel (7.3. táblázat). A hulladék égetése csak abban az esetben támogatható, ha az adott hulladékfrakciónak más jellegű hasznosítása nem lehetséges, és akkor is csak úgy, ha az égetés során nagyobb kedvezőtlen környezeti hatással bíró összetevőket az égetés előtt eltávolítják (pl. PVC, nehézfémek).

Az adatokból jól látható, hogy a lerakás aránya rendkívül magas, 40% fölötti. A vizsgált években a képződő hulladék mennyisége csökkenést mutat, viszont az évi 30% körüli hasznosítási arány alig változik.

7.3. táblázat: A hulladékképződés, -kezelés alakulása (szennyvíziszap nélkül)

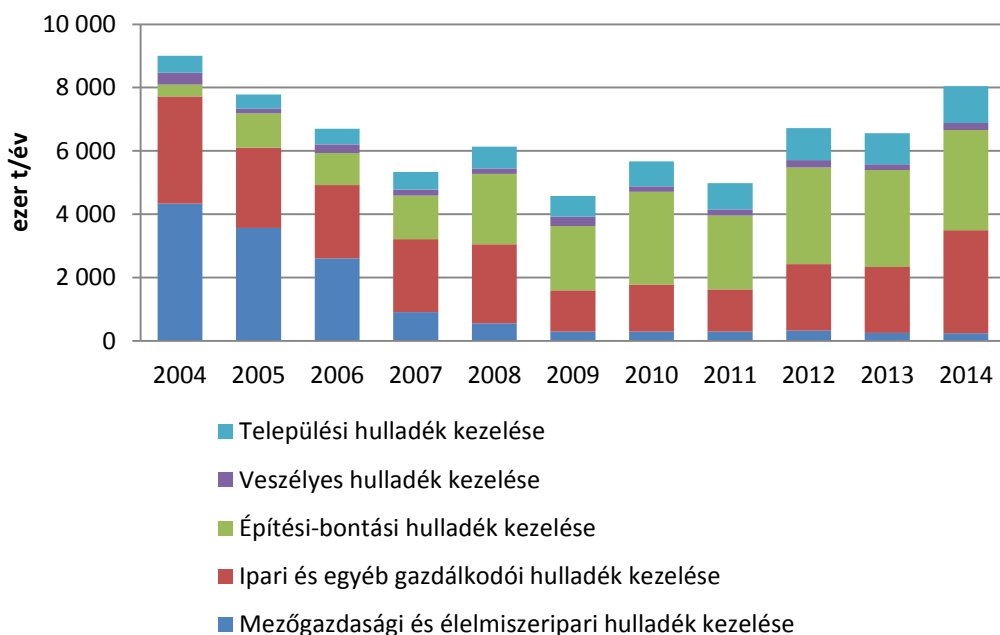
Megnevezés	2009		2010		2011	
	ezer tonna	%	ezer tonna	%	ezer tonna	%
Hulladékmennyiség	19758		18621		18596	
Anyagában hasznosítás	4584	23,2	5682	30,5	5001	26,9
Energetikai hasznosítás	787	4,0	824	4,4	822	4,4
Égetés	75	0,4	160	0,9	91	0,5
Lerakás	8536	43,2	7475	40,1	8580	46,1
Egyéb	5777	29,2	4480	24,1	4101	22,1

(Forrás: VM-HIR, KSH, OHT 2014-2020.)

Fontos, hogy a megelőzés elveinek alkalmazása mentén képződő hulladék esetében törekedjünk azok minél nagyobb arányban történő újrahasználatára.

Az újrahasználat minden olyan műveletet tartalmaz, amelynek révén a hulladéknak nem minősülő terméket vagy alkatrészét újrahasználik arra a célra, amelyre eredetileg szolgált. Ha egy anyag vagy tárgy hulladékká vált, az csak akkor használható újra, ha azt újrahasználatra előkészítik tisztítással, javítással, valamint ellenőrzéssel végzett hasznosítási művelet útján. Ennek során a hulladékká vált terméket vagy alkatrészét előkészítik arra, hogy bármilyen egyéb előkezelés nélkül újrahasználatra legyen. A gazdasági tevékenységekből származó hulladék újrahasználat, hasznosítása a hulladéktermelő felelőssége, és azt a szennyező fizet elvire figyelemmel kell végeznie.

A hazai hulladékgazdálkodásban el kell érni, hogy minél inkább meghatározóvá válják a megelőzés és az újrahasználat, valamint az anyagában történő hasznosítás, és minél inkább elkerülhetővé váljon a lerakás.



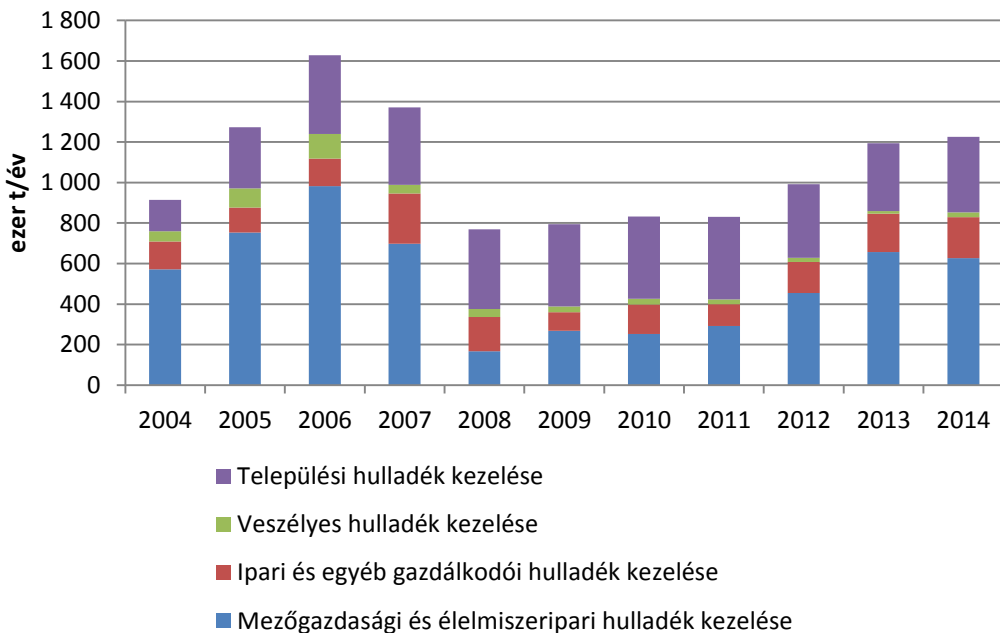
7.2. ábra: Az anyagában hasznosított hulladék mennyiségének alakulása hulladékkategóriánként (2004-2014) (Forrás: VM-HIR, KSH)

A 7.2. ábrán megfigyelhető az ipari és egyéb gazdálkodói, az építési-bontási hulladék a hasznosítási arányának utóbbi 3 évben bekövetkező növekedése. 2011-2014. között a települési szilárd hulladék anyagában történő hasznosítása mennyiségében és arányában is növekedett.

A hasznosítás a megelőzést és az újrahasználatot követi a hulladékhierarchiában. Lényege az, hogy a természeti erőforrások helyettesítésre kerüljenek hulladékkal vagy hulladékból kinyert, előállított anyagokkal, termékkel.

Fontos, hogy minden hasznosítható hulladék rész hasznosítása megvalósuljon, illetve energetikai hasznosításra csak másként már nem hasznosítható hulladék kerüljön, ezzel csökkentve az ártalmatlanítandó hulladék mennyiségét.

A hasznosítás egyik alapfeltétele, hogy a technológiákba bekerülő hulladék minél nagyobb tisztasági fokkal kerüljön be, ezért kulcsfontosságú és elsődleges a hulladékarámok képződési helyhez kötött elkülönített gyűjtése, vagy a nagyobb erőráfordítással megvalósítható, megfelelő szintre történő utólagos tisztítás-válogatása. Számos hasznosítható hulladékfajta hasznosítása – a gyűjtés és előkészítés magas költségei, a helyettesíthető elsődleges alapanyag olcsósága, a felhasználás rendezetlen feltételei és nem utolsósorban érdektelenség következtében – csak minimális mértékben valósul meg. Ilyen hulladékok pl. az építési-bontási törmelék, a kohászati és erőművi salakok, a bányászati meddő, stb. Az egyes hulladékarámok tekintetében eltérő, gyakran nem megfelelő nagyságú hazai hasznosító kapacitások épültek ki, amelyek igen érzékenyen reagálnak a változásban lévő világgazdasági helyzetre, nemzetközi nyersanyagárakra, feldolgozóipari igényekre. Emiatt a gazdasági érdekek gyakran felülírják a környezetvédelmi érdekeket. A hulladékhasznosítási célkitűzések során figyelembe kell venni a költséghatékonyság elve alapján a nagy mennyiségben, viszonylag homogén összetételben és koncentráltan képződő és hasznosítható hulladékokat (pl. erőművi, bányászati, kohászati és építőipari hulladékok).

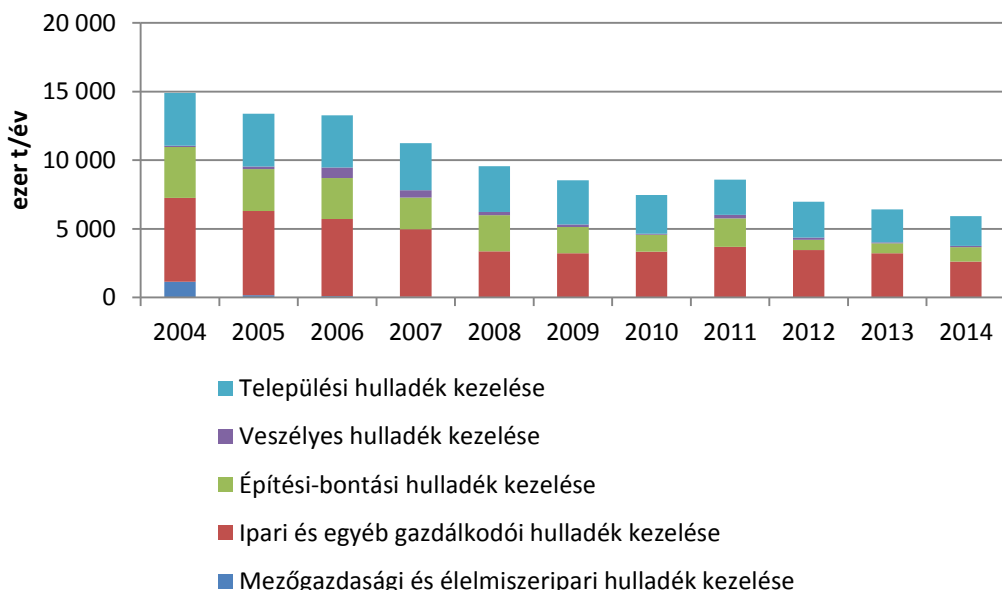


7.3. ábra: Az energetikai hasznosításra került hulladék mennyiségének alakulása hulladékkategóriánként (2004-2014) (Forrás: VM-HIR, KSH)

A 7.3. ábra az egyes hulladékáramok energetikai hasznosításának mértékét mutatja be. Az energetikailag hasznosított hulladékok mennyisége a 2007. évet követően jelentős mértékben visszaesett. Ez elsősorban a kedvezőtlen gazdasági folyamatoknak az eredménye, másrészt azonban a mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékok egyéb irányú hasznosításának (biogáz előállítás, komposztálás) tulajdonítható. A 2011-2014 közötti időszakban a hulladékok energetikai hasznosítása újra előtérbe került. A mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékok mellett az ipari és egyéb gazdálkodói hulladékok ilyen irányú hasznosítása növekedett. Míg a települési hulladékok energetikai hasznosítása stagnálni látszik, éves szinten 400 ezer t alatt marad, ez a kezelt települési hulladéknak csupán mintegy 10%-ka.

A lerakással ártalmatlanított hulladék mennyisége enyhe növekedést mutat a 2009-2011. közötti időszakra vonatkozóan. Az ezt követő években viszont egyértelműen csökkent (7.4. ábra).

A hulladékkal kapcsolatos tevékenységek prioritási sorrendjében az ártalmatlanítás áll az utolsó helyen. Ennek megfelelően az ártalmatlanításra kerülő hulladék mennyiségét a lehető legalacsonyabb mértékre kell szorítani. A gazdasági tevékenységből származó hulladék ártalmatlanításáról – amennyiben a hulladékot gazdaságosan nem lehet hasznosítani – a hulladék termelőjének a szennyező fizet elv alapján kell gondoskodnia. Az ártalmatlanítandó hulladék mennyiségi csökkentésében fontos szerepe lehet az elsődlegesen a képződés helyszínén elvégzendő hulladék-előkezelési technikáknak és az elkülönített gyűjtésnek.



7.4. ábra: A hulladéklerakással ártalmatlanított hulladék mennyiségének alakulása hulladékkategóriánként (2004-2014) (Forrás: VM-HIR, KSH)

A hulladék lerakással történő ártalmatlanítása hazánkban sokáig a legolcsóbb és legelterjedtebb hulladékkezelési megoldásnak számított, különösen a települési hulladék kezelésében igen magas a 2012-es közel 65,4 %-os lerakási arány. Ezen a helyzeten kíván változtatni az egyes európai tagállamokban már bevett gyakorlat, a hulladéklerakási járulék 2013-ban hazánkban történő bevezetése. Ezen intézkedés hatására a lerakott hulladékok mennyisége jelentősen csökkent és ez a csökkenés előreláthatólag az elkövetkező években tovább folytatódik. Azonban ez egy lassú folyamat, egyes hulladékarományoknál a lerakás aránya még mindig nagyon magas. Az egyik ilyen hulladékaromány a települési hulladék kategória, amely esetében 2014-ben a kezelt mennyiség (3712 ezer t) mintegy 59%-ka (2181 ezer t) lerakással lett ártalmatlanítva.

### 7.7.3. Hulladék kivitel, behozatal

A hazai hulladékgazdálkodásban nem játszik jelentős szerepet sem a képződő hulladék külföldön történő kezeltetése, sem az itthoni kezelő létesítményekbe történő hulladék behozatal, bár mindkét területen növekedési ütem jelentkezik. Igen jelentős a tranzitforgalom, amely egyes években a 4-5 millió tonnát is elérheti.

Az általánosan kis volumenű forgalomban azonban az EU-csatlakozás óta mind a kivitelben, mind a behozatalban növekvő tendencia figyelhető meg, ami egyrészt a közösségi belső határok megszűnésének, másrészt a hasznosítási piac globalizációjának köszönhető.

Általánosan, országos szinten a hazai feldolgozó kapacitások kihasználtságát legtöbb esetben a világpiaci üzleti viszonyok határozzák meg. E kapacitások fenntarthatósága érdekében az EU piaci és hulladék szabályozásával egyaránt összhangban lévő, az önellátás és a közelség elveit érvényesítő intézkedéseket kell hozni a kivitel és a behozatal hazai feltételeinek közelítésével.

Nem engedhető meg a hulladék lerakásra történő importja, vagy olyan, még előkezelést igénylő hulladék behozatala, amelynek tényleges hasznosítása idehaza nem biztosított.

Egyre több esetben fordul elő, hogy a meglévő hazai kapacitások ellenére a külföldi kezelés gazdaságossága miatt hulladék kivitel történik, felülírva a hulladékgazdálkodási érdekeket. A kivitelnek alapvetően arra kell irányulnia, hogy a Magyarországon feldolgozási kapacitáshiány miatt nem hasznosítható hulladék biztonságos feldolgozása megtörténjen, és ne a hazai lerakókba kerüljön. Hazai hasznosító kapacitás hiányában ilyenek például egyes speciális papír hulladékok, az üveghulladék (színes) jelentős hányada, egyes műanyag hulladékok, valamint az elem- és akkumulátor hulladék.

Magyarországon az elmúlt évi adatokat figyelembe véve 50-60 gazdálkodó szervezet foglalkozik hivatásszerűen hulladék kivitelével és behozatalával. Mind a kivitel célországai, mind a behozatal forrásai alapvetően az EU tagállamai, de a behozatalban egyre inkább megjelennek a környező nem EU-tagországok, a kivitelben pedig Ukrajna, illetve a hasznosítási piac globalizálódása következtében már távol-keleti célpontok is megjelentek.

## 7.8. A HULLADÉKKAL KAPCSOLATOS ADATSZOLGÁLTATÁSI KÖTELEZETTSÉGEK

A hulladékkal kapcsolatos adatszolgáltatási kötelezettségeket a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény, a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény, valamint a hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről szóló 309/2014. Korm. rendelet alapján kell teljesíteni.

### 7.8.1. Kinek kell adatot szolgáltatnia?

Adatszolgáltatási kötelezettsége a hulladéktermelőnek, a gyűjtőnek, a kereskedőnek és a hulladékkezelőnek van.

A hulladéktermelőnek akkor, ha a telephelyen a tárgyévben képződött és birtokolt hulladék összes mennyisége meghaladja

- veszélyes hulladék esetén a 200 kg-ot,
- nem veszélyes hulladék esetén – a nem veszélyes építési és bontási hulladék kivételével – a 2000 kg-ot,
- nem veszélyes építési-bontási hulladék esetén az 5000 kg-ot.

A hulladékgazdálkodási közszolgáltatás körébe tartozó hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségek teljesítéséről a közszolgáltató gondoskodik.

Ha a hulladék birtokosa a hulladékot a kötelező visszavétel keretében adja át, akkor arról nem kell adatszolgáltatást teljesítenie. A nevelési-oktatási intézménynek a területén kialakított átvételi helyen átvett papírhulladékról nem kell adatszolgáltatást teljesítenie. A nyilvántartásba vételhez kötött tevékenység esetén a nyilvántartásba vett kereskedőnek van adatszolgáltatási kötelezettsége. Az adatszolgáltatási kötelezettség a nyilvántartásba vétellel keletkezik. Hulladékgazdálkodási engedélyhez kötött tevékenység esetén a hulladékgazdálkodási engedély jogerőre emelkedését követően keletkezik az adatszolgáltatási kötelezettség.

### 7.8.2. Hulladékgazdálkodásra vonatkozó adatok lekérdezése

Az OKIR (Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer) Elektronikus Hulladékgazdálkodási Információs

Rendszermodulja (EHIR) a Földművelésügyi Minisztérium által üzemeltetett számítógépes rendszer, amelynek célja, hogy a hulladékgazdálkodás jellemző adatait összegyűjtse, egységes, ellenőrzött adatbázisba rendezze, és ebből a különböző lekérdezési igényeket kiszolgálja. A rendszer elsődleges adattartalmát a hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről szóló 309/2014. Korm. rendelet szerinti bejelentési rendszer biztosítja.

A 309/2014. Korm. rendelet előírásai szerint a hulladék termelője, a gyűjtő, a hulladékkereskedő és a hulladékkezelő rendszeresen (negyedévente vagy évente) adatokat kell, hogy szolgáltatson a tevékenységéből származó vagy kezelt hulladékokról, amennyiben az adott évben, adott telephelyükön a rendeletben meghatározott mennyiségnél több hulladékuk képződik vagy kezelnek. A hulladékkezelőknek minden általuk átvett, kezelt hulladékról, valamint a náluk keletkezett hulladékról is bejelentést kell tenniük.

Az OKIR EHIR-ben 2004-től rendelkezésre állnak az alábbi adatok:

- a termelők által bejelentett éves képződött hulladék mennyiségéről,
- a kezelők által bejelentett, az év során kezelt nem veszélyes hulladékokról,
- a kezelők által bejelentett, negyedévenként kezelt veszélyes hulladékokról.

## Felhasznált szakirodalom:

Barótfi István: Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000.

Bodnár Ildikó, Csőke Barnabás, Halász János, Hári László, Molnár Károly, Nagy Géza, Örvös Mária, Rózsáné Szűcs Beatrix, Simon Miklós, Szabó Imre, Szakácsné Földényi Rita: Hulladékgazdálkodás. (Ed.: Csőke Barnabás), Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011.

Buruzs Adrienn, Csőke Barnabás, Czupy Imre, Domokos Endre, Fazekas Bence, Horváth László, Kárpáti Árpád, Kovács Barnabás, Kurdi Róbert, Nagy Géza, Pitás Viktória, Szűcs István, Thury Péter, Torma András, Vagdalt László, Vágvolgyi Andrea, Várhegyi András: Hulladékgazdálkodás II. (Ed.: Kurdi Róbert), Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011.

European Commission: Being wise with waste: the EU's approach to waste management. European Union, 2010.

European Commission, Directorate-General for the Environment: Preparing a Waste Management Plan. European Union, 2012.

Eurostat Statistics Explained: Waste statistics. European Union, 2015.

Eurostat Statistics Explained: Municipal waste statistics. European Union, 2016.

Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020. 2013.

## 8. TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉKOK KEZELÉSE

### 8.1. ÚJ ÚTON A HAZAI HULLADÉKGAZDÁLKODÁS

A hazai hulladékgazdálkodás jelenlegi helyzetét az utóbbi évtizedben egy erőteljes átalakulás jellemezte. Ezt az átalakulást részben a globális gazdasági válság alatt megváltozó európai gazdasági környezet, részben a fenntarthatóság figyelembevételével megfogalmazott új fejlesztéspolitikai irányelvek befolyásolták.

Az Európai Unión belül egyre inkább általánosan elfogadottá vált az a jövőkép, miszerint az európai lakosságnak környezettudatosabbá, valamint anyag- és energiatakarékosabb társadalommá kell válnia belátható időn belül. Ehhez mindenképpen szükséges, hogy a rendelkezésre álló forrásokat a legmagasabb forráshatékonysági szinten használjuk fel, illetve a hulladékká vált anyagokat újrahasznosítsuk.

Napjainkban világszerte mintegy 1,3 milliárd t települési hulladék keletkezik évente és előreláthatólag 2025-re ez a mennyiség meg fog duplázódni, elsősorban a Föld népességének gyors növekedése, a városiasodás és a fejlődő országok bekövetkező szociális-gazdasági fejlődés következtében.

Magyarország Nemzeti Reform Programjában meghatározott alapvető törekvése a nemzeti közjó megteremtése polgárai számára. Ezzel összhangban egyre jelentősebb erőfeszítéseket tesz az egészséges környezet, valamint a fenntartható fejlődés biztosítása érdekében. Ez utóbbi célkitűzés szempontjából kiemelkedő fontosságú feladat a fogyasztás során képződő szilárd hulladékok biztonságos, gazdaságos, fenntartható összegyűjtése és kezelése.

A fogyasztási hulladékok a következők:

- a lakosság mindennapi életvitele során képződő települési szilárd hulladék (TSZH),
- a lakossági szolgáltatások körébe eső egyéb hulladék (bútorok, elektromos és elektronikai berendezések, gumiabroncsok, akkumulátorok, stb.),
- valamint az építési és bontási hulladék (ÉBH).

A hulladékgazdálkodás, azon belül a települési szilárd hulladék kezelés átfogó rendszerszintű fejlesztése már az Európai Unióhoz történő csatlakozást megelőzően megindult. Jelentős lökést adtak a fejlesztésnek a csatlakozással megnyíló kohéziós és strukturális források, amelynek köszönhetően 2006-ban elkészült az iparág fejlesztésének 2007-2016 közötti időszakra vonatkozó terve. E terv, számos pozitív elemet tartalmazott, többek közt 2016-ra a TSZH 44%-os lerakási szintre csökkentését, az elkülönített gyűjtés arányának 33%-ra emelését.

A kialakított stratégia végrehajtása azonban hamar súlyos problémákba ütközött. Egyrészt nem számolt a 2008-ban kitört, és hosszan elhúzódó világgazdasági válsággal, másrészt nincs teljesen összhangban az Európai Unió 2008-ban kiadott Hulladék Keretirányelvével (HKI) sem. Ezen tényezők megjelenése miatt a terv az érvényességét elvesztette, miközben az átdolgozása elmaradt.

A Hulladék Keretirányelv előírja, hogy 2020-ig a háztartásokból származó papír-, fém-, műanyag-, és üveghulladék, illetve egyéb, a háztartásokból származó, az említettekhez hasonló hulladék esetében az újrahasználatra való előkészítést és az újrafeldolgozást tömegében átlagosan minimum 50%-ra kell növelni.

A nem veszélyes építési-bontási hulladék újrahasználatra történő előkészítését, újrafeldolgozását és az egyéb, anyagában történő hasznosítását 2020-ig tömegében minimum 70%-ra kell növelni.

A hulladéknak a hulladéklerakóktól történő eltérítését és a nagyobb arányú hulladékhasznosítást segíti elő az is, hogy 2015-ig elkülönített hulladékgyűjtési rendszert kell felállítani a háztartásokban képződő üveg-, fém-, műanyag- és papír hulladék vonatkozásában.

A Keretirányelv előírja továbbá, hogy a települési hulladék részeként lerakásra kerülő biológiailag lebomló szervesanyag-mennyiséget az 1995-ben országos szinten képződött, a települési hulladék részét képező biológiailag lebomló szervesanyag-mennyiséghez képest 2016. július 1-jéig 35%-ra kell csökkenteni.

Ahhoz, hogy a HKI által meghatározott célok időben teljesülni tudjanak, szükség van arra, hogy hasznosítási kapacitásainkat növeljük, és a hasznosítható hulladékot eltérítsük a lerakóktól.

## 8.2. A TELEPÜLÉSI HULLADÉKGAZDÁLKODÁS FEJLESZTÉSÉNEK KONCEPCIÓJA

A hazai hulladékgazdálkodás, azon belül a települési szilárd hulladékgazdálkodás jelenlegi helyzetét áttekintve megállapítható, hogy jelentős változtatásokra van szükség. A Hulladékgazdálkodási Fejlesztési Konceptióban (HFK) meghatározásra került a 2014-2027 közötti 14 éves időszakra vonatkozóan a hulladékgazdálkodás fejlesztésének lépései és céljai.

A HFK alapvető célja, hogy meghatározza a hazai TSZH gazdálkodás igényeiből és az Európai Uniós kötelezettségekből kiindulva a 2014-2027-es időszakban szükséges fejlesztések fő irányait és az azokhoz rendelhető forrásokat.

A TSZH gazdálkodás fejlesztés fő céljai, összhangban az Európai Uniós kötelezettségekkel és a hazai szabályokkal az alábbiak:

*1. főcél: A közösségi szerepvállalás megerősítése a hulladékgazdálkodás területén.*

- A hulladékgazdálkodás fejlesztéséhez, irányításához és ellenőrzéséhez szükséges jogi-szervezeti háttér továbbfejlesztése.

*2. főcél: Előrelépés a hulladékok keletkezésének megelőzése tekintetében.*

- A hulladék keletkezésének megelőzését célzó fejlesztések kidolgozása és megvalósítása.
- Az újrahasználat ügyének előmozdítása.

*3. főcél: A hulladékok hasznosításának komplex továbbfejlesztése.*

- A hulladékkezelés területén a hasznosítás előtérbe helyezése, ehhez kapcsolódóan az EU normákhoz igazodó modern, környezetbarát, fenntartható hulladékkezelési technológiák elterjesztése.
- A korszerű települési szilárd hulladék kezelési közszolgáltatási rendszer továbbfejlesztése.

*4. főcél: A hulladéklerakás rendszerének véglegesítése.*

- A korszerűtlen hulladéklerakók bezárását és rekultiválását megvalósító program befejezése.

Minden alacsonyabb szintű tervezési feladat meghatározása e célokkal és ütemezéssel összhangban történik.

A koncepció által érintett fejlesztési területek:

- a hulladékgazdálkodás felügyeletét, irányítását és fejlesztését biztosító szervezeti struktúra fejlesztése,
- a hulladék keletkezését megelőző infrastruktúra,
- TSZH gazdálkodással kapcsolatos, kötelezően ellátandó feladatok,
- TSZH, ÉBH és egyéb lakossági szolgáltatási körben keletkező hulladékok anyagában és termikus hasznosítása.

A TSZH gazdálkodással kapcsolatos fejlesztési célkitűzések megvalósítása jellegénél fogva elsősorban a Környezeti és Energetikai Hatékonysági Operatív Program (KEHOP), illetve a Gazdaságfejlesztési és Innovációs Operatív Program (GINOP) prioritástengelyeihez kapcsolódik.

### 8.3. TERMÉKDÍJ A KÖRNYEZETÜNK VÉDELMEÉRT

Egy termék előállítása, használata óhatatlanul is környezeti károkkal jár, ha máskor nem, amikor hulladékká válik. Ezeknek a károknak a mérséklését, és a rendelkezésünkre álló erőforrásokkal való tudatosabb, felelősségteljesebb gazdálkodást hivatott támogatni és elősegíteni hazánkban a termékdíj.

A vonatkozó jogszabály (2011. évi LXXXV. törvény a környezetvédelmi termékdíjról) a gyártói felelősség és a „szennyező fizet” elvet igyekszik érvényre juttatni.

A környezetvédelmi termékdíj egy gazdasági szabályozó eszköz (adónem), amelynek megfizetésével az állam pénzügyi forrásokat kíván teremteni a környezetet terhelő termékek előállítására, forgalmazására és felhasználására során keletkezett károk megelőzéséhez, csökkentéséhez.

A termékdíj eszköz arra, hogy az állam a gyártói felelősség és a „szennyező fizet” elv erőteljesebb érvényesítésével a hulladékok keletkezésének megelőzésére, a hasznosításra ösztönözzön.

A termékdíj szabályozása alá tartozhatnak olyan termékek, amelyek használata esetén, a termék általi közvetlen kibocsátás képviseli a környezeti veszélyt, illetve olyan termékek, amelyek esetében a termékből képződő hulladék minősége vagy jelentős mennyisége jelenti a környezet terhelését.

A termékdíj-szabályozás értelmében az állam a meghatározott termékkörök esetében a kibocsátóktól díjat szed. A kialakult rendszerben az államra háruló feladatok ellátása érdekében jött létre az Országos Hulladékgazdálkodási Ügynökség, majd 2015. január 1-ét követően az Országos Környezetvédelmi és Természetvédelmi Főfelügyelőség Nemzeti Hulladékgazdálkodási Igazgatóság (OKTF NHI), amely az így befolyt többletforrás egy részéből gazdálkodva, teljesítési segédként biztosítja az államra háruló kötelezettségek teljesülését.

### 8.3.1. A termékdíj célja

Az egyes termékek funkciójuk betöltése során használatukkal, valamint elhasználódásuk után - általában hulladékként - terhelik vagy veszélyeztetik a környezetet. A termékdíjas szabályozás célja, hogy

- ösztönzőleg hasson a szennyezőanyag kibocsátásának csökkentésére, elősegítse a természeti erőforrásokkal való takarékos gazdálkodást,
- segítse a hazai és nemzetközi előírásokon alapuló hulladékgazdálkodási célkitűzések megvalósulását,
- pénzügyi forrásokat teremtsen az állam számára a termékdíjköteles termékek által közvetve vagy közvetlenül okozott környezeti károk megelőzéséhez, mérsékléséhez.

### 8.3.2. A termékdíjköteles termékek

A környezetvédelmi termékdíjról szóló 2011. évi LXXXV. törvény a termékdíjköteles termékekre és a termékdíjköteles termékkel kapcsolatos tevékenységekre terjed ki.

Az 1. § (3) bekezdés szerint a termékdíjköteles termékek a következők:

- akkumulátor;
- a csomagolóeszköz, az egyéb csomagolószer;
- az egyéb kőolajtermék;
- az elektromos, elektronikai berendezés;
- a gumiabroncs;
- a reklámhordozó papír;
- az egyéb műanyag termék;
- az egyéb vegyipari termék;
- az irodai papír.

A termékdíjköteles termékeket vámtarifaszám alapján határozzák meg. A fizetési kötelezettség a termékdíjköteles termék forgalomba hozatala vagy saját célú felhasználása esetén keletkezik, és általában az első belföldi forgalomba hozót vagy az első saját célú felhasználót terheli. A termékdíj bevallással, a fizetéssel és az ellenőrzéssel kapcsolatos feladatokat a Nemzeti Adó- és Vámhivatal végzi.

### 8.3.3. A termékdíj összege

A termékdíj összegét alapvetően az adott termék súlya határozza meg. Egy 10-15 kg súlyú gépjármű akkumulátor után például 570-855 Ft közötti összeget kell fizetni termékdíjként. Ennél nagyobb a termékdíj költsége egy 40-50 kg súlyú hűtőszekrénynek, amely esetében a termékdíj összege 2280-2850 Ft közötti. Egy 9-10 kg-os gumiabroncs után 513-570 Ft, egy tetra pack csomagolás (0,026-0,03 kg-os tejes, üdítős doboz) után 0,50-0,57 Ft, míg egy PET palack után, amely 0,02-0,025 kg-ot nyom, 1,10-1,40 Ft termékdíjat kell fizetni.

## 8.4. HULLADÉKLERAKÁSI JÁRULÉK

Ezt a célt szolgálja a hulladékról szóló törvény (Ht.) által bevezetett hulladéklerakási járulék, amely a környező országokban már bevált és évek óta működő intézmény. A hulladéklerakás utáni járulékfizetési kötelezettség bevezetése minden korszerű környezetpolitikának és hulladékgazdálkodásnak az alapja.

A járulék lényege, hogy bevezetésével a lerakás nem lesz többé olcsó megoldás. A hasznosításnak nagyobb teret és több lehetőséget biztosítunk, így a hulladék nagyobb arányban hasznosulhat. A hulladéklerakási járulék megfizetése után befolyó összeg a vonatkozó, a hulladéklerakási járulék megfizetéséről és felhasználásának céljairól szóló 318/2013. Korm. rendeletben meghatározott célokra fordítható.

A fentieken túlmenően a Ht. lehetőséget biztosít arra, hogy a települési szennyvíziszapot a Ht.-ben és a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló kormányrendelet mellékletében meghatározott feltételek, illetve határértékek teljesítése esetén kedvezményes

hulladéklerakási járulék megfizetése mellett lehessen lerakni, vagy egyáltalán ne legyen kötelező a települési szennyvíziszap lerakása utáni hulladéklerakási járulék megfizetése. A megfelelő minőségű komposzt mezőgazdasági célú felhasználásának jótékony hatása lehet a mezőgazdaságra, figyelemmel arra, hogy a termőtalaj szervesanyag-tartalma ezúton számottevően növelhető.

## 8.5. HULLADÉKGAZDÁLKODÁSI KÖZSZOLGÁLTATÁS

A hulladékkezelés ugyanúgy közszolgáltatás, mint pl. az ivóvíz-ellátás és szennyvízkezelés biztosítása, az energiaellátás biztosítása, a közösségi közlekedés biztosítása, az elektronikus hírközlés (pl. telefon, internet, mobilkommunikáció) és postai szolgáltatások biztosítása. A hulladékgyűjtés közszolgáltatással kapcsolatos változtatásokra több ok is alapot szolgáltatott. Az állami vagy önkormányzati szerepvállalás erősítése következtében a közszolgáltatók versenyi és profitorientált szempontjait felváltják a lakossági és hulladékgyűjtési szempontok. A minőségi közszolgáltatás így azokon a településeken is elérhetővé válik, ahol a versenyi érdekek miatt az már nem lenne kifizetődő a magántulajdonban lévő közszolgáltatók számára.

Magyarországon a közszolgáltatásnak el kell érnie a fejlett nyugat-európai országokban tapasztalható színvonalat. Ezért elő kell mozdítani azt, hogy hazánkban erősödjön az elkülönített hulladékgyűjtés, egyre több szemléletformáló kampány induljon, és ennek révén több nagyobb tisztaságú, könnyebben és gazdaságosabban utóválogatható, illetve hasznosítható hulladék kerüljön a közszolgáltatókhoz. Ezzel párhuzamosan további fontos szempont és célkitűzés marad az is, hogy egyre kevesebb hulladék kerüljön a lerakókra, és egyre több a hasznosítóba.

A közszolgáltatóknak törekedniük kell arra, hogy az elkülönített hulladékgyűjtési rendszert egyre több hulladékáramra kialakítsák, és az elkülönített gyűjtést, valamint a lomtalanítást házhoz menő gyűjtésként szervezzék meg. A közszolgáltatók a hulladékgyűjtési közszolgáltatási engedélyt határozott időre, de legfeljebb 10 évre szerezhetik meg. A közszolgáltatás biztosítása a települési önkormányzat feladata maradt.

## 8.6. TELEPÜLÉSI HULLADÉK MENNYISÉGÉNEK ALAKULÁSA

A települési hulladék mennyiségében az elmúlt években csökkenés figyelhető meg, ami részben a gazdasági válság következményeképpen fellépő megváltozott fogyasztási szokásoknak köszönhető.

A Ht. alapján települési hulladék kategóriába a háztartási és a háztartási hulladékhoz hasonló hulladékok tartoznak.

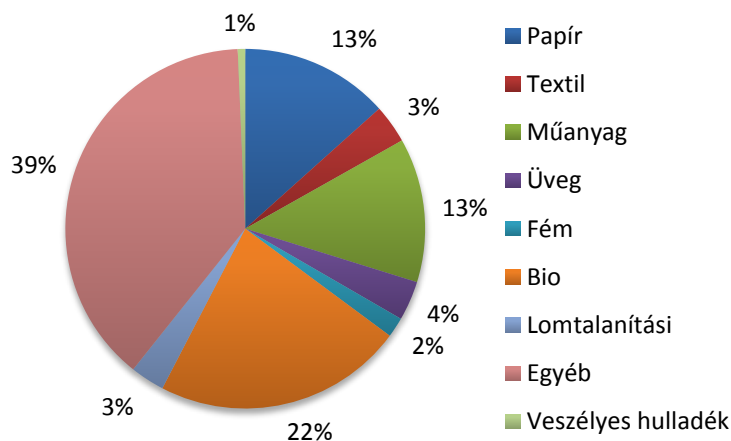
A definíció szerint a háztartási hulladékhoz tartozik a háztartásokban képződő vegyes, elkülönítetten gyűjtött, valamint nagydarabos hulladék, ideértve a lakásokban, lakóingatlanokban, a pihenés, üdülés céljára használt helyiségekben, valamint a lakóházak közös használatú helyiségeiben és területein képződő hulladékot. A törvény definíciója alapján a háztartási hulladékhoz hasonló hulladék pedig az a vegyes, illetve elkülönítetten gyűjtött hulladék, amely a háztartásokon kívül képződik, és jellegében, összetételében a háztartási hulladékhoz hasonló. A települési hulladék mintegy 55%-a a lakosságtól származik, 45% pedig az intézményekben, a szolgáltatói ágazatban, a kereskedelemben és az ipari területeken képződik, amely a háztartási hulladékhoz hasonló, ezért azzal együtt kezelik, hasznosítják. A települési hulladék mennyisége az elmúlt években a következőképpen alakult Magyarországon (8.1. táblázat).

8.1. táblázat: Települési hulladék mennyisége 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Települési hulladék mennyisége (ezer t)	4592	4646	4711	4594	4553	4312	4033	3809	3988

(Forrás: VM-HIR)

Az országos illetve a fővárosi települési hulladék összetétele az elmúlt években nem változott jelentősen. A közszolgáltatás keretében begyűjtött és elszállított települési szilárd hulladék jelentős mennyiségben tartalmaz papírt, műanyagot és biológiailag bontható hulladékot (8.1. ábra), annak ellenére, hogy a szelektív gyűjtés az ország teljes lakosságának rendelkezésére áll. A települési hulladék esetén a papír, a műanyag-, az üveg- és a fémhulladékok újra feldolgozhatók, azonban e hulladékáramok külön gyűjtése a lakosság körében még nem megfelelő mértékű.



8.1. ábra: A közszolgáltatás keretében elszállított települési hulladék összetétele (Forrás: KSH, 2015)

## 8.7. TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK KEZELÉSE

Ma Magyarországon a települési hulladék jelentős hányada – a 2014. évi adatok alapján - mintegy 58,8%-a lerakókra kerül, nem pedig hasznosítóba (8.2. táblázat). Ez az érték az utóbbi időben javulni látszik, 2012-ben a települési hulladék 65,4%-a került lerakásra. Reményeink szerint ez a kedvező tendencia a jövőben is megmarad, és települési szilárd hulladék egyre nagyobb hányadát sikerül a lerakóktól eltéríteni. Ugyanez az arány Ausztriában kb. 3,7%, Németországban és Hollandiában pedig alig több mint 1%.

8.2. táblázat: A települési hulladék kezelése 2007-2014

Települési hulladék kezelése (ezer t)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Összes képződött hulladék	4594	4553	4312	4033	3809	3987	3738	3712
Anyagában hasznosított	554	692	665	789	837	1015	987	1159
Energetikai hasznosítás	382	393	406	406	408	364	336	373
Lerakás	3429	3341	3212	2838	2563	2608	2415	2181
Egyéb	228	126	29	-	-	-	-	-

(Forrás: VM-HIR, KSH, OHT 2014-2020.)

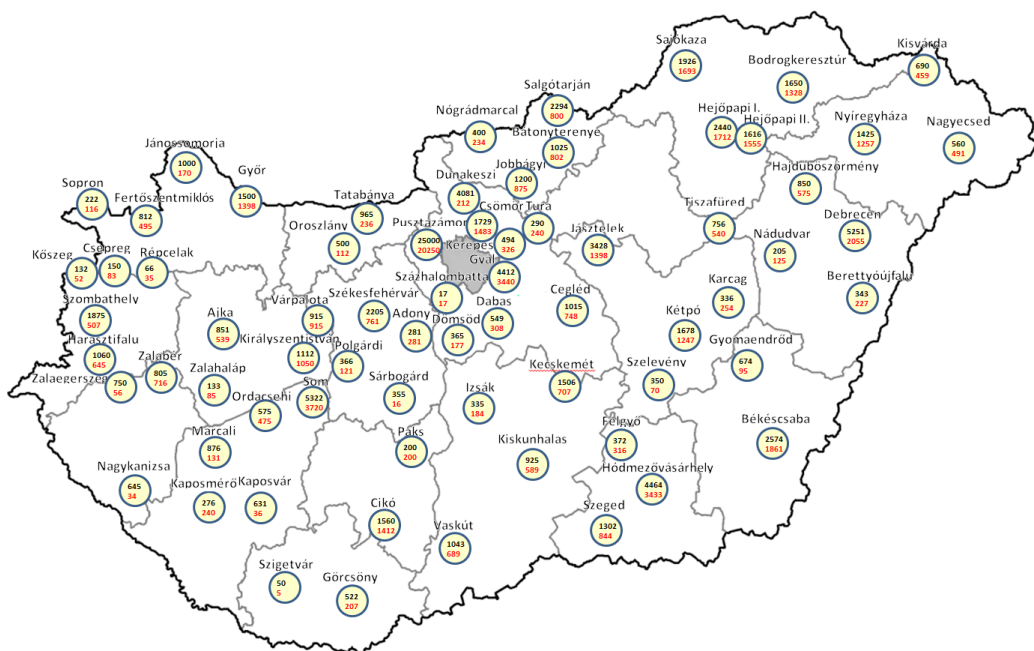
Amíg Magyarországon a települési hulladéknak a 2014. évi adatok alapján mintegy 31,2% át hasznosították anyagában, addig Belgiumban ugyanez az arány kb. 60%, Németországban kb. 65%, Ausztriában pedig kb. 69%. Vagyis ahelyett, hogy a hulladékból hasznos termékeket állítanánk elő és azokat a kereskedelmi forgalomban értékesítenénk, Magyarországon a hulladékot lerakjuk, így hagyjuk, hogy a benne rejlő erőforrások elvesszenek, és nem utolsó sorban a környezetünket is terheljük vele. Ezen a területen is megfigyelhető némi változás, hisz 2012-ben a települési hulladéknak csupán 25,5%- át hasznosították anyagában, 2014-re ez az érték 30% fölötti volt.

A különböző országokra érvényes nemzetközi adatok azt mutatják, hogy a hulladékkezelés tekintetében, ahol a lerakás aránya magas (Bulgária és Románia), abban az országban fejletlen a hulladékgazdálkodás, míg a fejlett országokban (Németország, Ausztria, Hollandia, Dánia) a hasznosítási és termikus hasznosítási arány magas értéket ér el, szemben a lerakási arány alacsony értékével.

## 8.7.1. Hulladéklerakás

A hulladék legális lerakására Magyarországon a Környezetvédelmi Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek által üzemeltetésre engedélyezett létesítményekben van lehetőség. Hazánkban 2009 júliusában bezártak azok a lerakók, amelyek nem feleltek meg az Európai Unió előírásoknak. A KEOP pályázati rendszeren belül, EU-s projektek általi együttfinanszírozás során elindultak a régi lerakók rekultivációs programjai, amelyek a 2014-2020 fejlesztési időszakban is folytatódnak.

Jelenleg hazánkban 70, a környezetvédelmi előírásoknak megfelelő lerakó üzemel (8.2 ábra).



Amikor a keletkezett hulladékból kiválogatták a javítható, az újrahasznosítható, vagy anyagában hasznosítható, komposztálható összetevőket el kell dönteni, hogyan ártalmatlanítsák a megmaradt hulladék mennyiségét. Két lehetőség kínálkozik, az egyik a hulladék lerakóba helyezése. Ebben az esetben a hulladékban lévő energia hasznosítása elmarad, és ezeket az anyagokat évtizedekre, vagy akár örökre a lerakókba helyezik. A hulladék ártalmatlanításának másik módja a hulladék elégetése. Ebben az esetben a hulladékot elégetik vagy azért, hogy a veszélyes anyag tartalmát ártalmatlanítsák, vagy pedig hogy a hulladékban lévő energiát kinyerjék, és azt hőenergia, vagy villamos energia előállítására használják. Természetesen nem minden hulladék alkalmas égetésre (pl. nagy nedvességtartalmú, alacsony szerves anyag, illetve alacsony energiatartalmú hulladékok). A települési szilárd hulladék viszont általában jól égethető és megfelelő energiatartalommal rendelkezik ahhoz, hogy égetéssel a benne lévő energiát kinyerjék, és hasznosítsák.

*A hulladékégetés előnyei:*

- a keletkező hulladékok térfogatát és tömegét jelentősen csökkenti,
- energiatermelés, a keletkezett hő hasznosítható,
- korszerű füstgáztisztítási technológiával betarthatók a kibocsátási előírások,
- közegészségügyi szempontból a leghatékonyabb.

*A hulladékégetés hátrányai:*

- az égetés másodlagos szennyezéssel jár,
- beruházási és üzemeltetési költsége magasabb a lerakásénál,
- a települési hulladék heterogén jellemzői miatt anyag-előkészítés válhat szükségessé,
- ökológiai szempontból kedvezőtlen, mert az anyag kikerül a körforgásból.

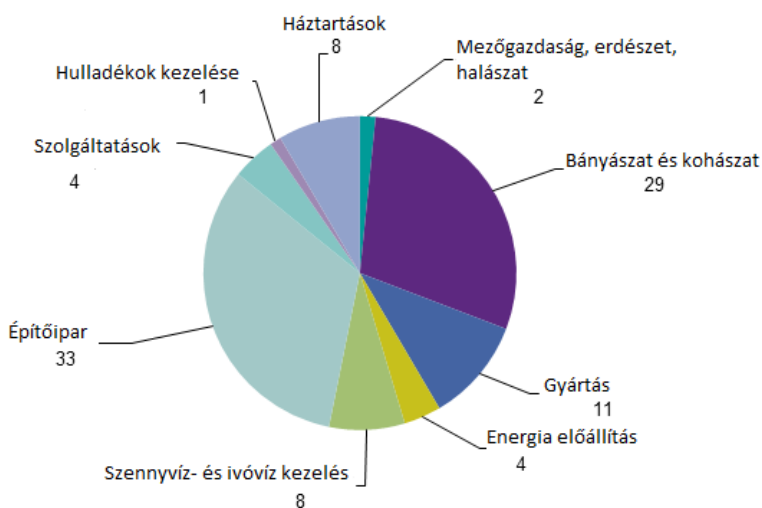
Magyarországon évente megközelítőleg 4 millió t települési szilárd hulladék keletkezik, amelynek közel 25%-át Budapesten termelik.

A Fővárosi Hulladékhasznosító Mű Magyarország egyetlen kommunális hulladéktüzelésű erőműve, és jelentős szerepet vállal a fővárosban keletkező hulladék hasznosításában. A létesítmény feladata, hogy termikusan ártalmatlanítsa a Budapesten keletkező települési szilárd hulladék mintegy 60 százalékát. A hulladék elégetéséből származó hőt távhő és villamosenergia előállítására használják fel. Egy év alatt mintegy 410000 t hulladékot égetnek el, amelyből több mint 1 millió GJ energia kerül értékesítésre. Ez a mennyiség kb. 140000 ember évi villamosenergia szükségletét képes fedezni, valamint 25000 lakos távhő ellátását szolgálja.

A Fővárosi Hulladékhasznosító Mű valamennyi paraméterében, emissziós értékeiben megfelel mind a hazai, mind az Európai Unió környezetvédelmi előírásoknak és jelentős szerepet tölt be a hulladék energetikai hasznosítása terén.

### 8.7.3. Települési hulladék kezelése az Európai Unió országában

Az Európai Unió tagállamaiban a lakosság által megtermelt hulladék mennyisége csupán mintegy 10%-a az összes hulladék mennyiségnek (8.3. ábra). Ennek ellenére mind gazdasági, mind politikai szempontból nagyon fontos hulladékáram. Jelentőségét az adja, hogy egy nagyon komplex hulladéktípusról van szó. Az összetétele nagyon változatos, az egyes alkotók mennyisége és aránya eltérő lehet akár településenként, akár az év különböző időszakában. A települési hulladék mennyiségét tekintve (pl. Budapesten, Debrecen) megfigyelhető, hogy a hulladék mennyisége nagyobb a nyári hónapokban, míg november és február között lecsökken. Ez a tendencia más nagyobb európai városokban (pl. Bécs) is hasonlóképpen alakul.



8.3. ábra: Hulladék termelés megoszlása a gazdasági tevékenységek és a háztartások között az EU-28 tagországaiban (2012) (Forrás: eurostat Statistics Explained, 2015)

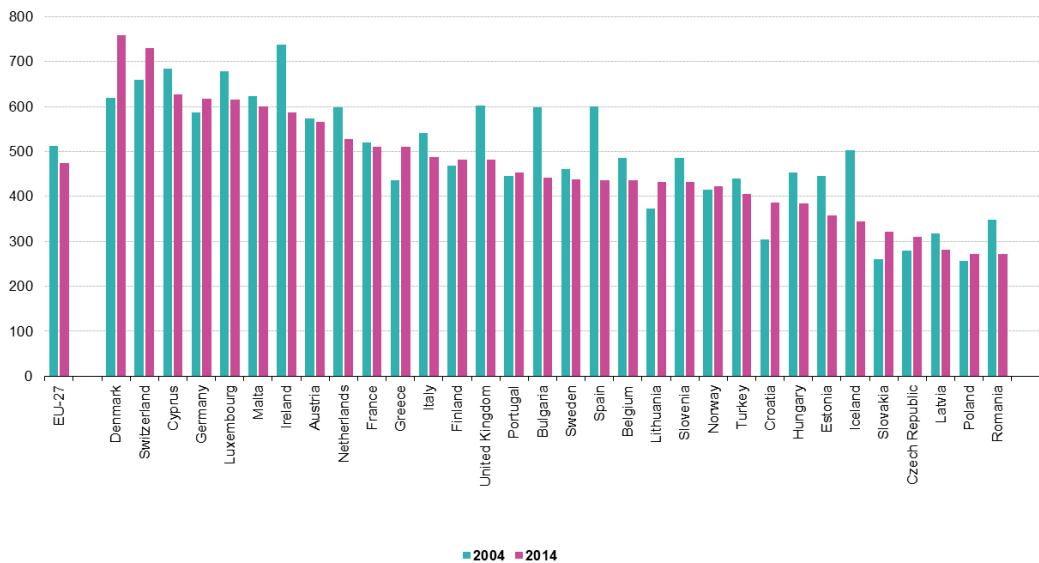
A másik tényező pedig az, hogy mind mennyiségét, mind összetételét alapvetően meghatározza a lakosság vásárlási szokásai, anyagi helyzete, környezettudatossága. 2012-ben az EU-28 országában a háztartásokhoz és a gazdasági tevékenységekhez köthetően megtermelt hulladék összes mennyisége 2514 millió t volt, ez a mennyiség csak kis mértékben haladta meg a 2010-ben (2460 millió t) és 2008-ban keletkezett mennyiséget (2427 millió t).

Az egy év alatt, az EU-28 országai által termelt hulladék mennyisége a következőképpen oszlik meg az egyes szektorok között. A legnagyobb mennyiséget az építési- és bontási hulladékok jelentik (821 millió t), azt követi a bányászat és kohászatból származó hulladékok (734 millió t). 270 millió t hulladék termelődött a gyártási folyamatok során, míg a háztartásokban összesen 213 millió t hulladék

keletkezett. Az energia előállításához köthetően 96 millió t hulladék keletkezett, és a fennmaradó mennyiséget az egyéb gazdasági tevékenységek állították elő.

Az egy főre jutó megtermelt átlagos hulladékmennyiség közel 5 t (4982 kg) volt 2012-ben (EU-28).

Ebből a mennyiségből mintegy 0,5 t (475 kg) a települési hulladék mennyisége egy főre vetítve (2014). Természetesen az egyes tagországokban az egy főre jutó települési hulladék mennyisége igen eltérő lehet (8.4. ábra). Egyes országokban kevesebb, mint 300 kg (Románia, Lettország, Lengyelország). A lista másik végén állnak azok az országok, ahol kiugróan magas az egy főre jutó átlagos települési hulladék mennyisége. Az élen áll Dánia, 759 kg/fő értékkel, őt követi Luxemburg, Ciprus és Németország, ahol az egy főre jutó átlagos települési hulladék mennyisége meghaladja a 600 kg-ot. Magyarország a lista utolsó harmadában helyezkedik el, hazánkban 400 kg alatti (385 kg, 2014-ben) települési hulladék keletkezik egy lakosra vetítve évente.



8.4. ábra: Az egy főre jutó települési hulladék mennyisége az EU-27 tagországaiban (2004, 2014) (Forrás: eurostat Statistics Explained, 2016)

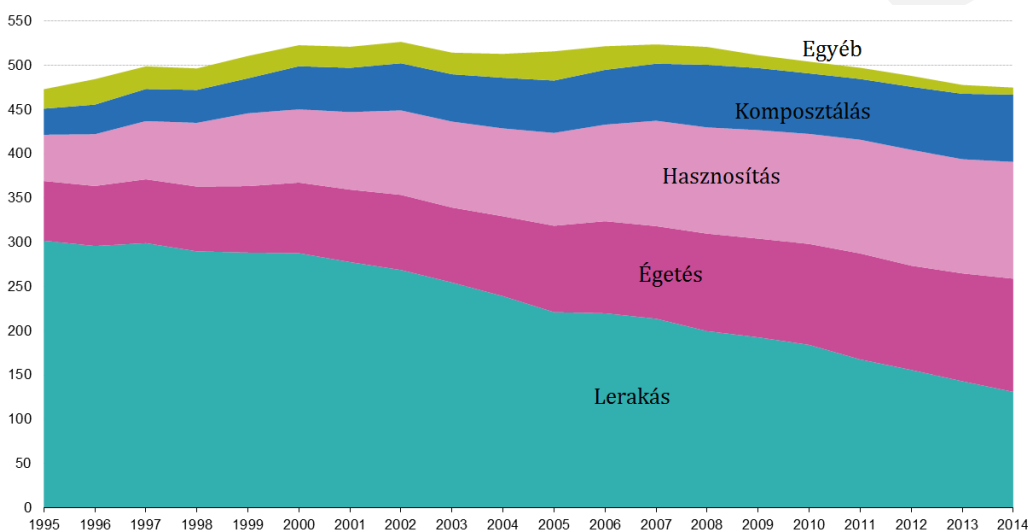
Annak ellenére, hogy a keletkezett települési hulladék mennyisége az utóbbi két évtizedben növekedett az Európai Unióban (EU-27), az éves szinten lerakott települési hulladék 144 millió tonnáról (1995), 66 millió tonnára csökkent (2014). A lerakás aránya is jelentősen változott 1995-ben a települési hulladéknak 63,8%-át lerakták, addig ez az érték 2014-ben csak 27,5% volt (8.5. ábra).

Ezzel egy időben a hasznosítás aránya jelentősen mértékben javult, 2014-ben a települési hulladék 28%-át hasznosították anyagában, mintegy 66 millió t

mennyiségben. A vizsgált időszakban a biológiailag hasznosítható hulladékok komposztálással történő hasznosítása is nagymértékben javult (38 millió t 2014-ben).

Az elégetett hulladék mennyisége egyenletesen nőtt, bár nem olyan mértékben, mint a hasznosított és komposztált mennyiségek. Az 1995-ös 32 millió t elégetett hulladékhoz képest, 2014-ben ennek dupláját 64 millió t települési hulladékot égettek el.

Az adatok alapján egyértelműen megállapítható, hogy az EU hulladékgazdálkodásában jelentős változások történtek. A hulladék lerakás helyett sokkal inkább annak hasznosítása került előtérbe.



8.5. ábra: A települési hulladék kezelése az Európai Unióban (kg/fő, EU-27, 1995-2014)(Forrás: eurostat Statistics Explained, 2016)

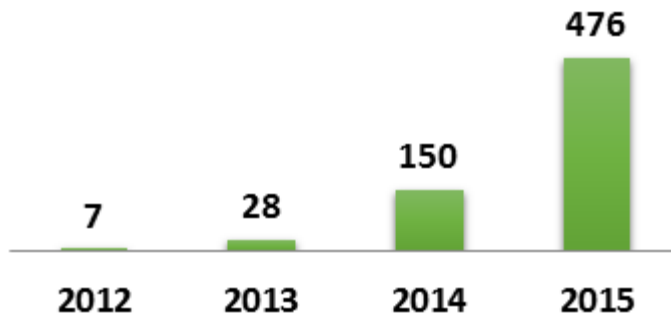
## 8.8. AZ EURÓPAI HULLADÉKCSÖKKENTÉSI HÉT ÉS A TESZEDD AKCIÓ

Az Európai Hulladékcsökkentési Hét egy minden év november utolsó hetében megrendezésre kerülő kezdeményezés. Ennek keretében lelkes önkéntesek saját akcióötleteiket megvalósítva hívják fel a figyelmet a hulladék keletkezés megelőzésének, a keletkezett mennyiség csökkentésének, a termékek újrahasználatának, valamint az anyagok újrahasznosításának fontosságára.

A különböző akcióötletek megvalósítását a programban részt vevő országok mindegyikében egy, a hulladékok keletkezésének megelőzését segítő szervezet koordinálja, mint Szervező. Magyarországon az Országos Környezetvédelmi és Természetvédelmi Főfelügyelőség Nemzeti Hulladékgazdálkodási Igazgatóság (OKTF NHI) látja el a nemzeti koordinátori feladatot.

2009-ben indult újtára a kezdeményezés, amely a negyedik alkalommal, 2012-ben ért el igazán kiugró eredményt. Abban az évben az Európai Hulladékcsökkentési Hét minden tekintetben rekordévnek számított: november 17-25. között több akcióval, jóval több résztvevő csatlakozott a kezdeményezéshez, mint a korábbi években.

2012-ben 27 országban 10793 akció valósult meg, melyek közt már Magyarország is szerepelt (8.6. ábra). Azóta ezek az akciószámok tovább növekedtek. 2013-ban a számuk már meghaladta a 12000-et.



8. 6. ábra: Az Európai Hulladékcsökkentési Hét keretében szervezett programok Magyarországon (2012-2015)

A Földművelésügyi Minisztérium megbízásából az OKTF Nemzeti Hulladékgazdálkodási Igazgatóság által szervezett 6. TeSzedd! akció (2016. április 28. – május 1.) keretében mintegy 190 ezer önkéntes vett részt ténylegesen, akik összesen 2.240 helyszínt tisztítottak meg az eldobált, illegálisan lerakott szeméttől (8.7. ábra). Az összegyűjtött 2.857 tonna több mint Budapest lakossága által másfél nap alatt megtermelt teljes szemétmennyiség.



8.7. ábra: Az Európai Hulladékcsökkentési Hét és a TeSzedd akció 2016. évi emblémája

## 8.9. A HULLADÉKGAZDÁLKODÁS TERÜLETÉN HASZNÁLT FOGALMAK

*Anyagában történő hasznosítás:* bármilyen hasznosítási művelet az energetikai hasznosítás kivételével.

*Ártalmatlanítás:* minden olyan kezelési művelet, amely nem hasznosítás; a művelet abban az esetben is ártalmatlanítás, ha az másodlagos jelleggel anyag- vagy energiakinyerést eredményez.

*Biohulladék:* a biológiailag lebomló, parkokból származó vagy kerti hulladék, háztartásokban, éttermekben, étkeztetőkben és kiskereskedelmi tevékenységet folytató létesítményekben képződő élelmiszer- és konyhai hulladék, valamint az ezekhez hasonló, élelmiszer-feldolgozó üzemekben képződő hulladék.

*Biológiailag lebomló hulladék:* minden szervesanyag-tartalmú hulladék, amely aerob vagy anaerob úton biológiailag lebomlik vagy lebontható, ideértve a biohulladékot is.

*Előkezelés:* a hasznosítást vagy ártalmatlanítást megelőző előkészítő művelet.

*Energetikai hasznosítás:* hasznosítási művelet, amelynek során a hulladék energiatartalmát kinyerik, ideértve a biológiailag lebomló hulladékból történő energia-előállítás, valamint az olyan anyaggá történő feldolgozást, amelyet üzemanyagként, illetve tüzelőanyagként használnak fel.

*Építési-bontási hulladék:* az épített környezet alakításáról és védelméről szóló törvény szerinti építési tevékenységből származó hulladék.

*Hasznosítás:* bármely kezelési művelet, amelynek fő eredménye az, hogy a hulladék hasznos célt szolgál annak révén, hogy olyan más anyagok helyébe lép, amelyeket egyébként valamely konkrét funkció betöltésére használtak volna, vagy amelynek eredményeként a hulladékot oly módon készítik elő, hogy ezt a funkciót akár az üzemben, akár a szélesebb körű gazdaságban betölthesse.

*Háztartási hulladék:* a háztartásokban képződő vegyes, elkülönítetten gyűjtött, valamint lomhulladék, ideértve a lakásokban, lakóingatlanokban, a pihenés, üdülés céljára használt helyiségekben, valamint a lakóházak közös használatú helyiségeiben és területein képződő hulladékot.

*Háztartási hulladékhoz hasonló hulladék:* az a vegyes, illetve elkülönítetten gyűjtött hulladék, amely a háztartásokon kívül képződik, és jellegében, összetételében a háztartási hulladékhoz hasonló.

*Hulladék:* bármely anyag vagy tárgy, amelytől birtokosa megválnak, megválni szándékozik vagy megválni köteles.

*Hulladékbirtokos:* a hulladéktermelő, továbbá bármely jogalany, akinek, vagy amelynek a hulladék a birtokában van.

*Hulladékgazdálkodás:* a hulladék gyűjtése, szállítása, kezelése, az ilyen műveletek felügyelete, a kereskedőként, közvetítőként vagy közvetítő szervezetként végzett tevékenység, a hulladékgazdálkodási létesítmények és berendezések üzemeltetése, valamint a hulladékkezelő létesítmények utógondozása.

*Hulladékgazdálkodási közszolgáltatás:* a közszolgáltatás körébe tartozó hulladék átvételét, gyűjtését, elszállítását, kezelését, valamint a hulladékgazdálkodási közszolgáltatással érintett hulladékgazdálkodási létesítmény fenntartását, üzemeltetését, vagyonkezelését és a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás országos szintű megszervezését biztosító, kötelező jelleggel igénybe veendő szolgáltatás.

*Hulladéktermelő:* akinek tevékenységeiből hulladék képződik (eredeti hulladéktermelő), vagy bárki, aki előkezelést, keverést vagy egyéb olyan kezelési műveletet végez, amely a hulladék jellegében vagy összetételében változást eredményez.

*Kezelés:* hasznosítási vagy ártalmatlanítási műveletek, ideértve a hasznosítást vagy ártalmatlanítást megelőző előkészítést is.

*Lomhulladék:* az ingatlanhasználótól a közszolgáltató által a lomtalanítás során átvett olyan háztartási hulladék, amely a közszolgáltatás keretében rendszeresített gyűjtőedény méreteit meghaladja.

*Megelőzés:* az anyag vagy termék hulladékká válását megelőzően hozott olyan intézkedés, amely csökkenti a hulladék mennyiségét, többek között a termékek újrahasználatra vagy a termékek élettartamának meghosszabbítása révén, a képződött hulladék környezetre és emberi egészségre gyakorolt káros hatásait, vagy az anyagok és a termékek veszélyesanyag-tartalmát.

*Települési hulladék:* a háztartási és a háztartási hulladékhoz hasonló szilárd hulladék.

*Újrafeldolgozás:* olyan hasznosítási művelet, amelynek során a hulladékot terméké vagy anyaggá alakítják annak eredeti használati céljára, akár más célokra; ez magában foglalja a szerves anyagok feldolgozását, de nem tartalmazza az energetikai hasznosítást és az olyan anyaggá történő feldolgozást, amelyet feltöltési műveletek során használnak fel.

*Újrahasználat:* olyan művelet, amelynek révén a hulladéknak nem minősülő terméket vagy alkatrészét újrahasználik arra a célra, amelyre eredetileg szolgált.

*Újrahasználatra előkészítés:* tisztítással, javítással, valamint ellenőrzéssel végzett hasznosítási művelet, amelynek során a hulladékká vált terméket vagy alkatrészét előkészítik arra, hogy bármilyen egyéb előkezelés nélkül újrahasználható legyen.

*Vegyes hulladék:* a háztartási és a háztartási hulladékhoz hasonló hulladéknak az a különböző fajtájú és összetételű hulladékot tartalmazó része, amelyet az elkülönítetten gyűjtött hulladéktól eltérő külön gyűjtőedényben gyűjtenek.

*Veszélyes hulladék:* az Ht 1. mellékletében meghatározott veszélyességi jellemzők legalább egyikével rendelkező hulladék.

## 8.10. A HULLADÉKGAZDÁLKODÁS JOGI SZABÁLYOZÁSA

- Az Európai Parlament és a Tanács [2008/98/EK irányelve](#) (2008. november 19.) a hulladékokról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről
- [2012. évi CLXXXV. törvény](#) a hulladékról
- [2013. évi CXXV. törvény](#) a hulladékgazdálkodási közszolgáltatási tevékenység minősítéséről
- [1995. évi LIII. törvény](#) a környezet védelmének általános szabályairól
- [439/2012. \(XII. 29.\) Korm. rendelet](#) a hulladékgazdálkodási tevékenységek nyilvántartásba vételéről, valamint hatósági engedélyezéséről
- [246/2014. \(IX. 29.\) Korm. rendelet](#) az egyes hulladékgazdálkodási létesítmények kialakításának és üzemeltetésének szabályairól
- [385/2014. \(XII. 31.\) Korm. rendelet](#) a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás végzésének feltételeiről
- [64/2008. \(III. 28.\) Korm. rendelet](#) a települési hulladékkezelési közszolgáltatási díj megállapításának részletes szakmai szabályairól
- [309/2014. \(XII. 11.\) Korm. rendelet](#) a hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről
- [78/2007. \(IV. 24.\) Korm. rendelet](#) a környezeti alapnyilvántartásról
- [197/2014. \(VIII. 1.\) Korm. rendelet](#) az elektromos és elektronikus berendezésekkel kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- [445/2012. \(XII. 29.\) Korm. rendelet](#) az elem- és akkumulátorhulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- [369/2014. \(XII. 30.\) Korm. rendelet](#) a hulladékká vált gépjárművekről
- [442/2012. \(XII. 29.\) Korm. rendelet](#) a csomagolásról és a csomagolási hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- [374/2012. \(XII. 18.\) Korm. rendelet](#) egyes veszélyes anyagok elektromos és elektronikus berendezésekben való alkalmazásának korlátozásáról
- [180/2007. \(VII. 3.\) Korm. rendelet](#) az országhatárt átlépő hulladékszállításról
- [98/2001. \(VI. 15.\) Korm. rendelet](#) a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről
- [101/1996. \(VII. 12.\) Korm. rendelet](#) a veszélyes hulladékok országhatárokat átlépő szállításának ellenőrzéséről és ártalmatlanításáról szóló, Bázelen, 1989. március 22. napján aláírt Egyezmény kihirdetéséről
- [318/2013. \(VIII. 28.\) Korm. rendelet](#) a hulladéklerakási járulék megfizetéséről és felhasználásának céljairól

- [310/2013. \(VIII. 16.\) Korm. rendelet](#) a hulladékgyűjtési tervekre és a megelőzési programokra vonatkozó részletes szabályokról
- [271/2001. \(XII. 21.\) Korm. rendelet](#) a hulladékgyűjtési bírság kiszabásának és megállapításának módjáról és mértékéről
- [95/2013. \(X. 14.\) VM rendelet](#) a hulladékgyűjtési engedélyhez vagy nyilvántartásba vételhez kötött tevékenységekkel kapcsolatos felületei díj megfizetésének részletes szabályairól
- [4/2007. \(II. 21.\) KvVM rendelet](#) az egységes környezethasználati engedélyhez kötött tevékenységekkel kapcsolatos felületei díj megfizetésének részletes szabályairól
- [72/2013. \(VIII. 27.\) VM rendelet](#) a hulladékjegyzékről
- [20/2006. \(IV. 5.\) KvVM rendelet](#) a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről
- [29/2014. \(XI. 28.\) FM rendelet](#) a hulladékégetés műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről
- [15/2003. \(XI. 7.\) KvVM rendelet](#) a területi hulladékgyűjtési tervekről
- [23/2003. \(XII. 29.\) KvVM rendelet](#) a biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről
- [45/2004. \(VII. 26.\) BM-KvVM együttes rendelete](#) az építési és bontási hulladék kezelésének részletes szabályairól
- [145/2012. \(XII. 27.\) VM rendelet](#) a hulladékolajjal kapcsolatos hulladékgyűjtési tevékenységek részletes szabályairól
- [144/2012. \(XII. 27.\) VM rendelet](#) a PCB, valamint a PCB-t tartalmazó berendezések kezelésének részletes szabályairól
- [14/2008. \(IV. 3.\) GKM rendelet](#) a bányászati hulladékok kezeléséről
- [20/2005. \(VI. 10.\) EüM rendelet](#) a humán gyógyszerek és csomagolásuk hulladékainak kezeléséről
- [1/2002. \(I. 11.\) EüM rendelet](#) az egészségügyi intézményekben keletkező hulladékok kezeléséről
- [16/2002. \(IV. 10.\) EüM rendelet](#) a települési szilárd és folyékony hulladékkal kapcsolatos közegészségügyi követelményekről
- [89/2004. \(V. 15.\) FVM rendelet](#) a növényvédő szerek forgalomba hozatalának és felhasználásának engedélyezéséről, valamint a növényvédő szerek csomagolásáról, jelöléséről, tárolásáról és szállításáról
- [103/2003. \(IX. 11.\) FVM rendelet](#) a növényvédő szerrel szennyezett csomagolóeszköz hulladékok kezeléséről
- [45/2012. \(V. 8.\) VM rendelet](#) a nem emberi fogyasztásra szánt állati eredetű melléktermékekre vonatkozó állategészségügyi szabályok megállapításáról

## Felhasznált szakirodalom:

Barótfi István: Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000.

Bodnár Ildikó, Csőke Barnabás, Halász János, Hári László, Molnár Károly, Nagy Géza, Örvös Mária, Rózsáné Szűcs Beatrix, Simon Miklós, Szabó Imre, Szakácsné Földényi Rita: Hulladékgazdálkodás. (Ed.: Csőke Barnabás), Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011.

Buruzs Adrienn, Csőke Barnabás, Czupy Imre, Domokos Endre, Fazekas Bence, Horváth László, Kárpáti Árpád, Kovács Barnabás, Kurdi Róbert, Nagy Géza, Pitás Viktória, Szűcs István, Thury Péter, Torma András, Vagdalt László, Vágvolgyi Andrea, Várhegyi András: Hulladékgazdálkodás II. (Ed.: Kurdi Róbert), Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011.

European Commission: Being wise with waste: the EU's approach to waste management. European Union, 2010.

Eurostat newsrelease: Each person in the EU generated 481 kg of municipal waste in 2013. 54/2015, European Union, 2015.

Eurostat Statistics Explained: Waste statistics. European Union, 2015.

Eurostat Statistics Explained: Municipal waste statistics. European Union, 2016.

Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020. 2013.

## 9. ZAJVÉDELEMI ALAPOK

### 9.1. HANG ÉS ZAJ

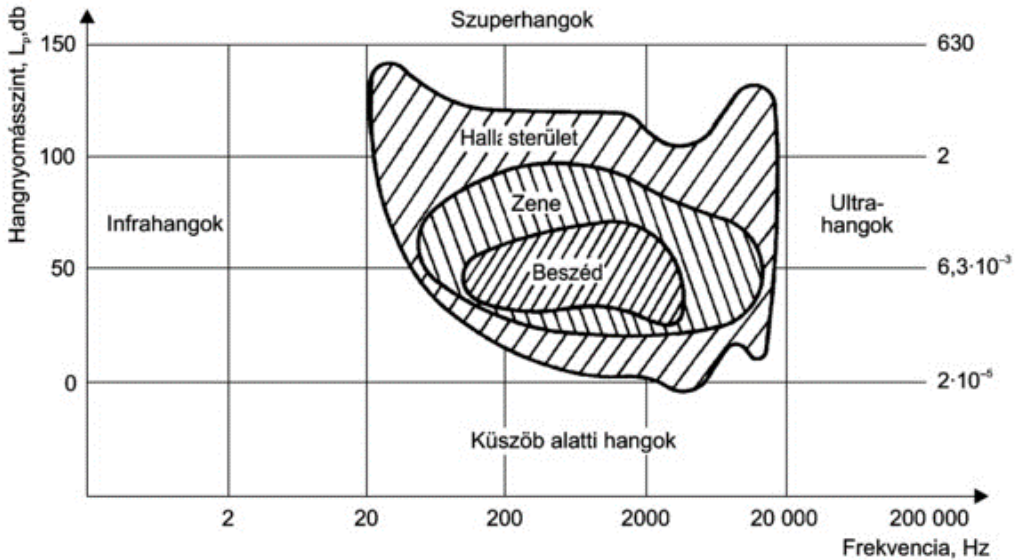
A hang rugalmas közegben (például levegőben, folyadékban, szilárd anyagban) terjedő rezgés. A hang terjedése során tényleges anyagáramlás nem jelentkezik, a közeg részecskéinek rezgési állapota hullámként terjed tovább.

Zajnak a megfigyelő szubjektív megítélése által kellemetlennek ítélt hangjelenséget nevezzük, röviden úgy is definiálhatjuk, mint nemkívánatos hang. Fontos kiemelni a szubjektivitást, vagyis a megfigyelő szerepét abban, hogy mit tekinthetünk zajnak. Ugyanaz a hangjelenség, például egy koncert a hallgatósága számára nyújthat kellemes élményt, míg a koncerthelyiség szomszédságában tartózkodók számára akár kellemetlen, zavaró is lehet. A megfigyelő pillanatnyi fizikai, érzelmi, stb. állapotától is függ, hogy egy adott hangjelenséget egy adott időpillanatban kellemesnek vagy kellemetlennek értékel.

A hangenergia teljes jellemzéséhez három mennyiség egyidejű meghatározása szükséges:

- Szint vagy magnitúdó: az akusztikus energia intenzitásának mérőszáma.
- Frekvencia vagy spektrális összetevő: a hangenergia frekvencia tekintetében történő leírása.
- Idő vagy időbeli változás: az akusztikus energia változása az idő függvényében.

Az ember hallástartománya (9.1. ábra) megközelítőleg 18 Hz és 18 000 Hz közé esik ez a tartomány az életkor előrehaladtával szűkül. Infrahangnak nevezzük az ennél kisebb frekvenciájú hangokat, míg a hallástartomány fölé esőket ultrahangnak. Az érzékelhetőséget nem csak a hangfrekvencia, hanem a hangnyomásérték is meghatározza. Hallásküszöbnek nevezzük az ember számára éppen hallható hangok frekvenciafüggvényét. A hallásküszöb alatti hangnyomású hangokat küszöb alatti hangoknak nevezzük. A hangnyomás növelésével elérhető a szintén frekvenciafüggő fájdalomküszöb, amely fölötti hangnyomású hangok esetén szuperhangokról beszélünk.



9.1. ábra Az ember hallástartománya (Barótfi, 2003)

A 9.1. ábra alapján jól látható, hogy az ember hallása evolúciós okoknak köszönhetően az emberi beszéd tartományában a legérzékenyebb. Innen az alacsonyabb frekvenciaértékek irányába a hallásküszöb jelentősen növekszik, hallásunk az alacsonyabb frekvenciák irányába jelentősen érzéketlenebbé válik. A magas frekvenciák irányába jellemzően éles törésvonal jelentkezik, amely frekvenciaérték fölött az emberi fül már nem érzékel hangokat. Ez a felső frekvencia küszöbérték jelentősen csökkenhet az életkor előrehaladtával.

## 9.2. A HANGTÉR JELLEMZŐI

### 9.2.1. Jellemző mennyiségek

Méréstechnikai szempontból a hangnyomás effektív értékének van nagy gyakorlati jelentősége, a műszerek is elsősorban ezt mérik. A hangnyomás effektív értékét  $p_e$ -vel jelölik, amelynél az indexben szereplő „e” rendszerint elmarad és  $p$  szokásos módon a hangnyomás effektív értékét jelöli. A hangnyomás effektív értékét a következő egyenlet fejezi ki:

$$p_e = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt \quad (9.1)$$

Ahol:

T - integrálási idő (időállandó) [s];

p - hangnyomás pillanatnyi értéke [Pa].

A hangtér szintén fontos jellemzője a részecskesebesség, amelynek effektív értéke ( $v_e$ ) a következőképpen írható fel:

$$v_e = \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt \quad (9.2)$$

Ahol:

$v$  – a részecskesebesség pillanatnyi értéke [m/s].

A hanghullám intenzitása a hullám terjedési irányára merőleges egységnyi felületen áthaladó hangenergia mennyisége, ami a hangnyomás és a részecskesebesség szorzatának időbeli átlagával egyenlő:

$$I = \overline{p(t)v(t)} \quad (9.3)$$

Ahol:

a felülvonás időbeli átlagolást jelöl;

$I$  – hangintenzitás [W/m<sup>2</sup>].

A hangteljesítmény a hangforrást körülvevő teljes felület és az intenzitás szorzatával egyenlő a következő egyenlet szerint:

$$P = \int I ds = \int \overline{p(t)v(t)} ds \quad (9.4)$$

Ahol:

$P$  – a hanghullám teljesítménye [W].

### 9.2.2. Szintek

Az emberi fül által érzékelhető hangnyomások meglehetősen széles tartományt ölelnek át. A legalacsonyabb hallható hangnyomás - amelyet egy fiatal, egészséges, nagy zajterhelésektől megkímélt emberi fül érzékelni képes - megközelítőleg  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa. Ez 4000 Hz környékén jelentkezik és ez tekinthető a molekuláris mozgás következtében a hallás fizikai korlátjának. Az ennél alacsonyabb hangnyomás értékeket az emberi fül a levegő „termikus zajai” miatt már képtelen érzékelni.

Általános esetben az emberi fül számára a fájdalom 60 Pa nagyságrendű tartományban jelentkezik. Az érzékelés alsó és felső határa közötti nagy távolság miatt lineáris skála helyett célszerű áttérni egy tömörített, logaritmikus skálára. Ennek eredményeképpen a gyakorlatban könnyebben kezelhető adatokkal dolgozhatunk, ráadásul a logaritmikus skála jobban illeszkedik a szubjektív érzethez, mint a lineáris skála. A gyakorlatban ennek megfelelően a 10-es alapú logaritmus segítségével képzett skálát alkalmaznak, amely esetben egy referenciaértékkel hasonlítjuk össze a hangnyomás értékét a következők szerint:

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_e^2}{p_{ref}^2} = 20 \log_{10} \frac{p_e}{p_{ref}} \quad (9.5)$$

Ahol:

$L_p$  – hangnyomásszint [dB];

$p_{ref}$  – a referencia hangnyomás érték, a korábban említett  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa, vagy másképpen 20  $\mu$ Pa.

A hangnyomásszint mértékegysége decibel, Alexander Graham Bell tiszteletére. A hangnyomáshoz hasonlóan a hangintenzitás és a hangteljesítmény is jellemzően szintként kezelt mennyiségek a következő egyenletek szerint:

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{ref}} \quad (9.6)$$

Ahol:

$L_I$  – a hangintenzitásszint [dB];

$I_{ref}$  – az intenzitás referencia értéke,  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>.

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} \quad (9.7)$$

Ahol:

$L_W$  – a hangteljesítményszint [dB];

$P_{ref}$  – a teljesítmény referencia értéke,  $10^{-12}$  W.

A 9.1. táblázatban jellegzetes zajesemények és a hozzájuk tartozó hangnyomás és hangnyomásszint értékek láthatóak.

9.1. táblázat Jellegzetes zajeseményekhez tartozó hangnyomás és hangnyomásszint értékek (Domokos, 2011 és Goelzer et al., 2001)

Zajesemény	Hangnyomás [Pa]	Hangnyomásszint [dB]
Nagy katonai fegyverek	20000	180
Lőfegyverek	2000	160
Repülőgép motor (50 m)	20	120
Kiabálás (1,5 m)	2	100
Városi utca	0,2	80
Beszélgetés (1 m)	$2 \cdot 10^{-2}$	60
Nappali szoba	$2 \cdot 10^{-3}$	40
Rádióstúdió	$2 \cdot 10^{-4}$	20
	$2 \cdot 10^{-5}$	0

### 9.2.3. Műveletek szintekkel

Két vagy több forrásból származó hangok esetében szükséges lehet az eredő hangnyomásszint meghatározása. Ha a források inkoherezensek (a források közötti fázis véletlenszerű, „random”), akkor a hangnyomásszintek eredője a következő képlettel kiszámítható:

$$L_{pe} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \quad (9.8)$$

Ahol:

$L_{pe}$  – az eredő hangnyomásszint [dB];

$L_i$  – az  $i$ -ik összegzendő szint [dB].

A fenti képlet nemcsak hangnyomásszintek, hanem más szint jellegű mennyiségek (hangteljesítmény szint, hangintenzitás szint, stb.) összegzésére is alkalmas. A 9.2. táblázat két decibel érték összegzéséhez nyújt segítséget. A táblázat felső sorában a két összegzendő érték közötti különbség látható, az alsó sorban pedig az az érték, amelyet a nagyobbik decibel értékhez adva megkapjuk az eredő értéket.

9.2. táblázat Két decibel érték összegzése (Hansen, 2001)

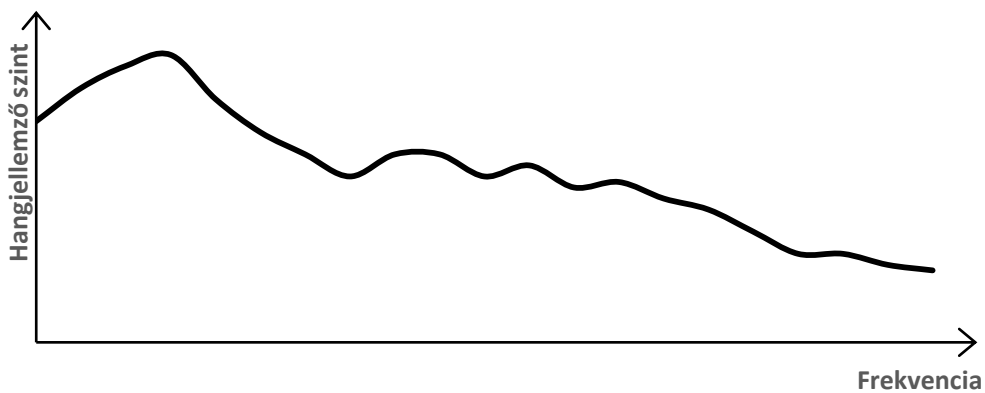
Különbség [dB]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Növekmény [dB]	3,0	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4

A fentiekből látható, hogy két különböző forrásból származó szint összegzése esetén a maximális növekedés 3 dB lehet, amely abban az esetben jelentkezik, amikor a két érték egymással megegyezik. Bármely más esetben az eredő érték kevesebb, mint 3 dB-el haladhatja meg az összegzendő értékek közül a nagyobbat. Ha a két érték közötti különbség legalább 10 decibel, akkor a gyakorlatban az alacsonyabb értéket elhanyagolhatónak tekinthetjük, ilyen esetben az alacsonyabb értékkel rendelkező forrás gyakorlatilag nem hallható.

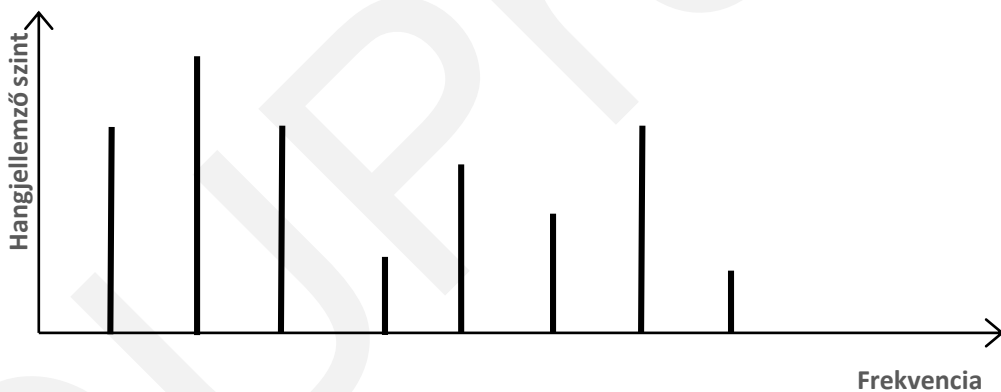
### 9.2.4. Hangszínek

A gyakorlatban jelentkező hangjelenségek jellemzően széles frekvenciatartományt ölelnek át. A hangnyomásszintek frekvencia függvényében történő ábrázolását hangszíneknek nevezzük. A hangszínek segítségével lehetőségünk van azonosítani, hogy a hangenergia milyen frekvencia tartományban jelentkezik, ami lehetővé teszi a hatékony zajcsökkentést.

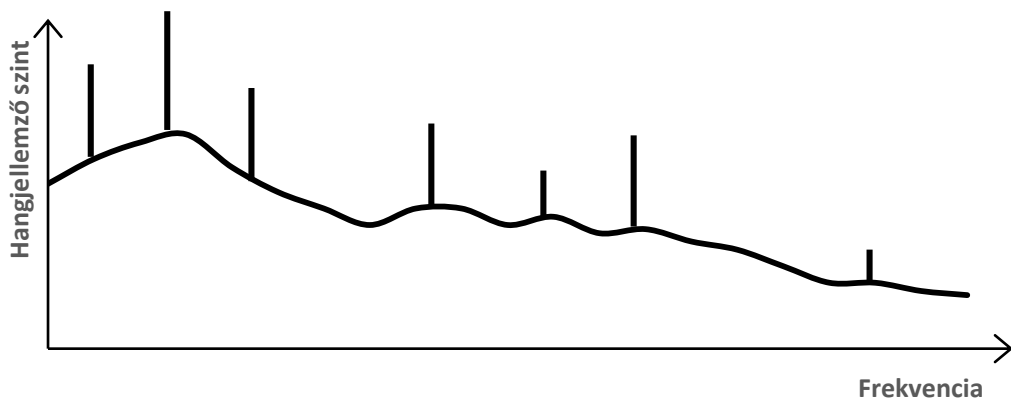
A színeké lehet folytonos (9.2. ábra), vonalas (9.3. ábra) és vegyes (9.4. ábra). Folytonos esetben valamennyi frekvenciához, vonalas esetben csak meghatározott frekvenciákhoz tartozik kimagasló hangjellemző szint. Vegyes színeképről akkor beszélünk, ha a folytonos spektrum bizonyos frekvenciákon kiemelkedő összetevőkkel bír.



9.2. ábra Folytonos hangszíneké



9.3. ábra Vonalas hangszíneké



9.4. ábra Vegyes hangszínkép

A vizsgált frekvenciatartományt jellemzően szabványosított részekre bontják, és vizsgálják az egyes részekhez tartozó hangnyomás értékeket. Mérések során ezt sávszűrők alkalmazásával valósítják meg, amelyek egy meghatározott frekvenciatartományban átengedik, a sávon kívül viszont visszatartják a hangenergiát. Leggyakrabban oktáv- vagy tercsávós szűrőkkel dolgoznak, de léteznek keskenyebb sávú szűrők is.

Oktáv-sáv esetén a sáv alsó határfrekvenciája fele a felső határfrekvenciának, valamint a középfrekvencia az alsó és felső határfrekvencia mértani közepe.

$$f_f = 2f_a \quad (9.9)$$

$$f_k = \sqrt{f_a f_f} \quad (9.10)$$

Ahol:

$f_f$  – a sáv felső határfrekvenciája [Hz];

$f_a$  – alsó határfrekvencia [Hz];

$f_k$  – középfrekvencia [Hz].

Az oktáv-sávós felbontásnál részletesebb a tercsávós felbontás. Tercsávokat más néven harmadoktáv-sávoknak is szokás nevezni, esetükben a határfrekvenciák hányadosa logaritmikusan harmada az oktáv-sávénak.

$$f_f = \sqrt[3]{2} f_a = 2^{\frac{1}{3}} f_a \quad (9.11)$$

$$f_k = \sqrt{f_a f_f} \quad (9.12)$$

A gyakorlatban jellemzően elegendő a 63 Hz és 8000 Hz közötti középfrekvenciájú 8 oktáv-sáv figyelembe vétele. Részletesebb felbontást igénylő vizsgálatoknál ugyanezen tartományban lévő 24 tercsávot vizsgálják, vagy ennél is részletesebb keskenysávú

elemzést végeznek. A szabványos terc- és oktávsvág középfrekvenciák és sávhatárok láthatóak a 9.3. táblázatban.

9.3. táblázat Oktáv- és tercsávok (Hansen, 2001)

Oktávsvág középfrekvenciája [Hz]	Tercsáv középfrekvenciája [Hz]	Alsó határfrekvencia [Hz]	Felső határfrekvencia [Hz]
31,5	25	22	28
	31,5	28	35
	40	35	44
63	50	44	57
	63	57	71
	80	71	88
125	100	88	113
	125	113	141
	160	141	176
250	200	176	225
	250	225	283
	315	283	353
500	400	353	440
	500	440	565
	630	565	707
1000	800	707	880
	1000	880	1130
	1250	1130	1414
2000	1600	1414	1760
	2000	1760	2250
	2500	2250	2825
4000	3150	2825	3530

	4000	3530	4400
	5000	4400	5650
8000	6300	5650	7070
	8000	7070	8800
	10000	8800	11300
16000	12500	11300	14140
	16000	14140	17600
	20000	17600	22500

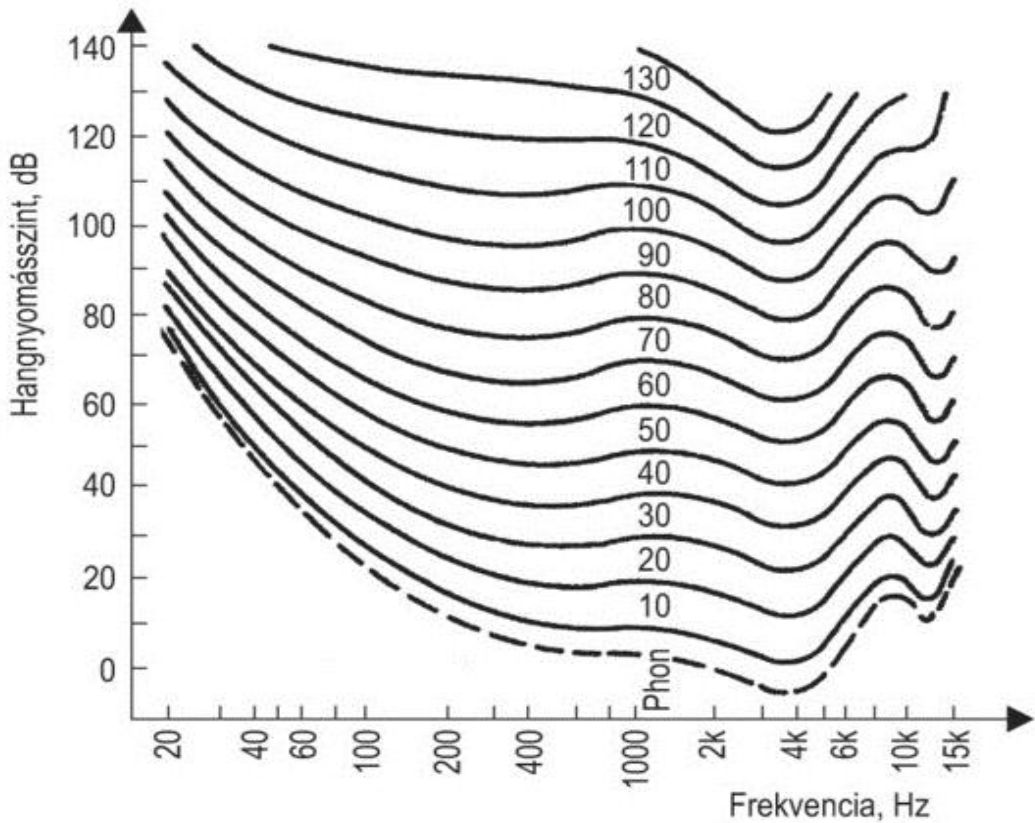
### 9.3. AZ EMBERT ÉRŐ ZAJ MEGÍTÉLÉSE

#### 9.3.1. Egyenlő hangosság görbék

Az előzőekben láthattuk, hogy az emberi fül érzékenysége a hang frekvenciájának változtatásával jelentősen módosul. Ez azt eredményezi, hogy az emberi fül két különböző frekvenciájú hang közül nem feltétlenül azt érzékeli hangosabbnak, amelyiknek a hangnyomásszint értéke nagyobb.

Például egy 1000 Hz frekvenciájú 30 dB hangnyomásszintű hangot ugyanolyan hangosnak érzékel az emberi fül, mint egy 4000 Hz frekvenciájú, 26 dB hangnyomásszintűt. Ezek alapján megalkották az egyenlő hangosság szintek görbéit (más néven phon görbék, vagy Fletcher-Munson görbék), amelyek az emberi hallás sajátosságait figyelembe véve, sok emberen végzett kísérlet útján kerültek meghatározásra. Az 9.5. ábrán látható folyamatos vonallal jelölt egyes görbék minden pontját az ember ugyanolyan hangosnak érzékeli. Az ábrán látható szaggatott vonal a hallásküszöböt jelzi.

Tetszés szerinti frekvenciájú, és intenzitású hang hangosság szintje annyi phon, amennyi dB a hangnyomásszintje az azzal szubjektíven ugyanolyan hangosnak ítélt 1000 Hz-es tisztahangnak. Az ábrán látható az emberi fül érzékenységének változása a magas és alacsony frekvenciatartományok irányában. Az észlelés függ a hangnyomásszinttől is, az ábra alapján látható, hogy a hangnyomásszint növekedésével a görbék egyre laposabbak.

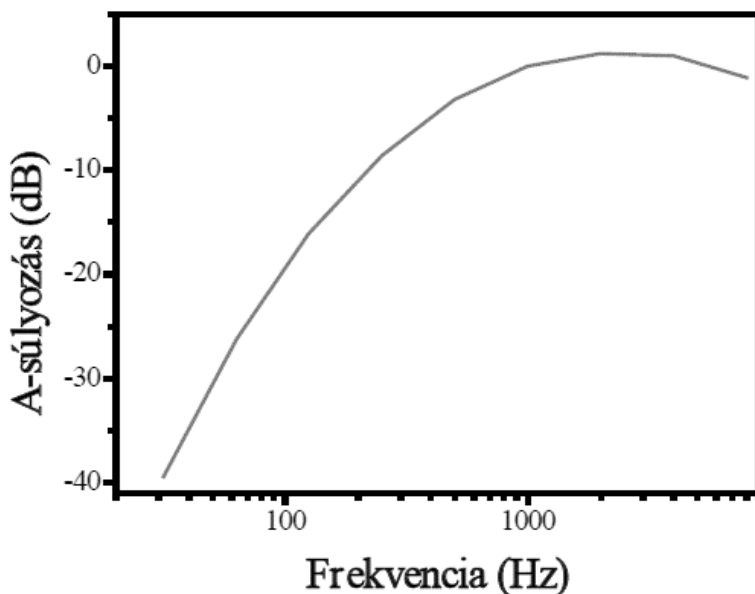


9.5. ábra Az egyenlő hangosság szintek görbéi (Barótfi, 2003)

Két zajesemény közül a megfigyelő akkor érzékeli szubjektív megítélése szerint az egyik eseményt kétszer olyan hangosnak, mint a másikat, ha a hangosság szintek különbsége 10 phon.

### 9.3.2. Súlyozott hangnyomásszintek

Az eddigiekből nyilvánvaló, hogyha a zajeseményeket az emberre gyakorolt hatás alapján szeretnénk vizsgálni, akkor olyan mérési eljárást kell alkalmaznunk, amely figyelembe veszi az emberi fül frekvenciánként különböző érzékenységét. Ennek megfelelően a legtöbb esetben súlyozott hangszint meghatározásra törekszünk, amely a hangnyomásszint egy korrigált változata lesz a frekvenciaértékek függvényében. Számos súlyozó szűrő létezik, a leggyakrabban használt az A-szűrő, vagy másképpen A-súlyozás (9.6. ábra).



9.6. ábra Az A-súlyozás frekvenciamenete (Domokos, 2011)

Az A-hangnyomásszint ( $L_{pA}$ ) A-súlyozással mért hangnyomásszintből ( $p_A$ ) állítható elő:

$$L_{pA} = 10 \log_{10} \frac{p_A^2}{p_{ref}^2} \quad (9.13)$$

Az A-szűrővel kapott hangnyomásszint, mint a 9.6. ábra alapján látható, jelentősen eltérhet a szűretlen hangnyomásszint értékétől, különösen, ha jelentős alacsonyfrekvenciájú elem alkotja a zajeseményt, amelyet az A-szűrő nagymértékben korrigál. A gyakorlatban találkozhatunk más szűrőkkel is (B és C súlyozó szűrő). A C-szűrőt elsősorban magas hangnyomásszintű zajjelenségek esetén szokás alkalmazni, ahol a 9.5. ábra alapján az egyenlő hangosság szintek görbéi már lényegesen laposabbak, mint alacsonyabb hangnyomásszintek esetén.

### 9.3.3. Egyenértékű hangnyomásszint

A mindennapi életben egy zajmérés során egy adott időtartamon belül több különböző zajesemény fordulhat elő, valamint a zajforrások által kibocsátott hangteljesítmény is változhat az idő függvényében. Ezért az időben változó zajok jellemzését egy olyan állandó zajjal tudjuk legegyszerűbben elvégezni, amelynek emberre gyakorolt hatása megegyezik az időben változó zaj hatásával. A bevezetett hangnyomásszintet egyenértékű A-hangnyomásszintnek nevezzük és a következőképpen számítandó:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_a^2(t)}{p_{ref}^2} dt \right) \quad (9.14)$$

Ahol:

$L_{aeq}$  – egyenértékű A-hangnyomásszint [dB(A)];

$t_1$  - a vonatkoztatási idő kezdőpontja [s];

$t_2$  – a vonatkoztatási idő végpontja [s].

Az  $L_{aeq}$  értékét gyakran  $L_{aeq,T}$  formában adják meg a  $T$  vonatkoztatási idő jelölésével. A vonatkoztatási idő tipikus értéke 30 másodperc műszaki berendezéseknél, 8 óra munkatéri zajméréseknél és 24 óra közlekedési zajméréseknél. A zajmérők az egyenértékű A-hangnyomásszintet a fentiek szerint mérik. Ha bizonyos  $t_i$  szakaszokra ismerjük az egyenértékű A-hangnyomásszintet, akkor  $T$  vonatkoztatási időre a következőképpen számolható:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \sum t_i 10^{0,1L_{pAi}} \right) \quad (9.15)$$

Ahol:

$T$  – a teljes mérési időtartam (vontatkoztatási idő):  $T = \sum t_i$ ;

$L_{pAi}$  – a  $t_i$  időtartam alatt jelentkező A-hangnyomásszint.

## 9.4 HANGFORRÁSOK

Alak szerint három alapvető típust különböztetünk meg a hangforrások között, amelyek segítségével az összetett sugárzók is modellezhetők:

- Pontforrás;
- Vonalforrás;
- Felületi forrás.

A különböző típusú hangforrásokat különböző esetek vizsgálatára használjuk. Például egy repülőgép sok esetben pontforrásként modellezhető, egy közútvonal vonalforrásként, és egy vékony falfelület felületi sugárzóként kezelhető. Sok esetben a forrás által kisugárzott teljesítmény a tér nem minden irányában azonos intenzitással terjed. Az irányítottság jellemzésére szolgál a  $D$  irányítási tényező:

$$D = \frac{I}{I_g} \quad (9.16)$$

Ahol:

$D$  – irányítási tényező [dimenzió nélküli];

$I_g$  – az az intenzitás érték, ami akkor lenne mérhető, ha a forrás minden irányban azonos intenzitással sugározna.

Az irányítási tényező értéke látható a 9.4. táblázatban pont-, illetve vonalforrás esetében.

9.4. táblázat Irányítási tényező egyes értékei különböző hangforrástípusok esetében

<b>Irányítási tényező</b>	<b>Pontforrás</b>	<b>Vonalforrás</b>
1	<i>Gömb sugárzó</i>	<i>Hengersugárzó</i>
2	<i>Félgömb sugárzó</i>	<i>Félhengersugárzó</i>
4	<i>Negyed térbe sugárzó</i>	<i>Negyed henger-sugárzó</i>
8	<i>Nyolcad térbe sugárzó</i>	<i>Nyolcad henger-sugárzó</i>

## 9.5 HANGTERJEDÉS

A hang a forrásból kiindulva az azt körülvevő térben tovaterjed. A kialakuló hangtér energiaviszonyait, valamint a terjedést számos tényező befolyásolja. Jelentős hatása van a hangteljesítmény és a hangtér közötti kapcsolatra a következő tényezőknek:

- A hangforrás alakja;
- A forrást körülvevő tér jellege (szabad vagy zárt tér);
- A forrás térben elfoglalt pozíciója;
- A forrás hangteljesítmény kisugárzásának megoszlása a tér különböző részeibe;
- Akadályok a hangterjedés útjában;
- A hangtér állapota (hőmérséklet-eloszlás, szélirány és sebesség, páratartalom, stb.).

### 9.5.1. Szabad térben történő hangterjedés

Hangterjedés szempontjából szabad térről akkor beszélünk, amikor a hang terjedésének útjában semmilyen akadály nincsen, vagyis ekkor nem jelentkezik a hanghullámok elhajlása, visszaverődése és törése sem. Ez egy nagyon erős absztrakció, a valóságban ilyen esettel nem találkozunk, de mégis számos gyakorlati probléma megoldását jól szolgálja ez a közelítés.

A szabadtéri terjedést befolyásoló tényezők

A forrástól történő hangterjedés esetén elmondható, hogy a hangnyomásszint jellemzően csökken. Ez a csökkenés több tényező hatásának köszönhető:

- Távolság (geometria) hatása;
- Levegő hangelnyelő hatása;
- Földfelület hatása;

- Növényzet hatása;
- Épületek, falak, domborzat hatása.

A fentiek alapján a teljes gyengülést ( $A_{teljes}$ ) a következőképpen írhatjuk fel:

$$A_{teljes} = A_{div} + A_{levegő} + A_{föld} + A_{egyéb} \quad (9.17)$$

Ahol:

$A_{div}$  – a távolság (geometriai divergencia) hatása;

$A_{levegő}$  – a levegő hangelnyelő hatása;

$A_{föld}$  – a földfelszín által okozott gyengülés;

$A_{egyéb}$  – több más tényező esetenként jelentkező hatása, úgymint a növényzet, beépítettség, stb. által okozott gyengülés.

A fenti gyengülések a divergencia okozta veszteségen kívül minden esetben frekvenciafüggőek, vagyis a különböző frekvenciájú összetevőknél a gyengülés mértéke különböző. Az egyetlen frekvenciafüggetlen gyengülés a divergencia, vagyis a távolság okozta gyengülés, amely annak a következménye, hogy a forrástól távolodva a hangenergia egyre nagyobb felületen oszlik szét. Az egyszerű gömbsugárzó esetén a távolság megkétszereződésével a hangnyomásszint 6 dB-lel csökken.

Levegőben történő terjedés során az tapasztalható, hogy a gyengülés nagyobb, mint ami pusztán a távolság hatásából adódna, amelynek egyik oka a levegő hangelnyelése. A levegő hangelnyelése során a hanghullám akusztikus energiájának egy része molekuláris folyamatokon keresztül hőenergiává válik. A levegő csillapítása által okozott veszteséget levegőcsillapítási tényezővel szokás figyelembe venni.

$$A_{levegő} = \frac{\alpha r_0}{1000} \quad (9.18)$$

Ahol:

$\alpha$  – a levegőcsillapítási tényező [dB/km];

$r_0$  – a forrás és az érzékelési pont közötti távolság [m].

A levegőcsillapítási tényező értéke erősen függ a frekvenciától és a páratartalomtól, kevésbé a hőmérséklettől és a nyomástól (tengerszint feletti magasságtól). A gyakorlatban rövid távolságokra a levegő okozta hangelnyelés elhanyagolható, kivéve a magas frekvenciák esetében (jellemzően 5000 Hz fölött).

A 9.5. táblázatban a levegő által okozott terjedési csillapítás értékei láthatóak a 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet „a stratégiai zajtérképek, valamint intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól” dokumentumból.

9.5. táblázat Adott hőmérséklet ( $T$ ) és relatív páratartalom ( $h_r$ ) mellett a levegő által okozott terjedési csillapítás értékei [dB/km] (KvVM. 25/2004. (XII. 20.) rendelet)

T [°C]	$h_r$ [%]	Névleges oktávsváv középfrekvencia [Hz]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,12	0,41	1,04	1,93	3,66	9,66	32,8	117
20	70	0,09	0,34	1,13	2,80	4,98	9,02	22,9	76,6
30	70	0,07	0,26	0,96	3,14	7,41	12,7	23,1	59,3
15	20	0,27	0,65	1,22	2,70	8,17	28,2	88,8	202
15	50	0,14	0,48	1,22	2,24	4,16	10,8	36,2	129
15	80	0,09	0,34	1,07	2,40	4,15	8,31	23,7	82,8

A 9.5. táblázat alapján jól látható az  $\alpha$  értékének nagyon jelentős frekvencia függése. Ezzel a hétköznapi életben is gyakran találkozhatunk, például szabadtéri koncertek esetén, amikor az alacsony frekvenciájú összetevők (pl. dob, basszus) már a színpadtól jóval távolabb hallhatóak, mint a magas frekvenciájúak. A helyszínhez közeledve viszont a magasabb frekvenciájú komponensek is egyre jobban hallhatóvá válnak. Ennek nagyon jelentős mértékben a levegő hangelnyelő hatásának frekvencia függése az oka.

A földfelszín körül további többletcstillapítás jelentkezik, amely a földfelszín hangvisszaverő és hangelnyelő képességének köszönhető. Egy adott felület elnyelő és visszaverő képességét a felszín akusztikai tulajdonságain kívül a forrás és az észlelő magassága és helyzete egyaránt befolyásolja. Általánosságban elmondható, hogy a kemény felszínek a felületükre érkező hangenergia csekély részét nyelik el, és többségét visszaverik. Ilyen felület lehet például a beton, kő, és aszfalt felületek, vagy a vízfelszín is. Az elnyelés jellemzően nő a porózusabb felületek irányába, így a túlévéllel, vagy hóval borított felület jóval kevesebb hangenergiát ver vissza.

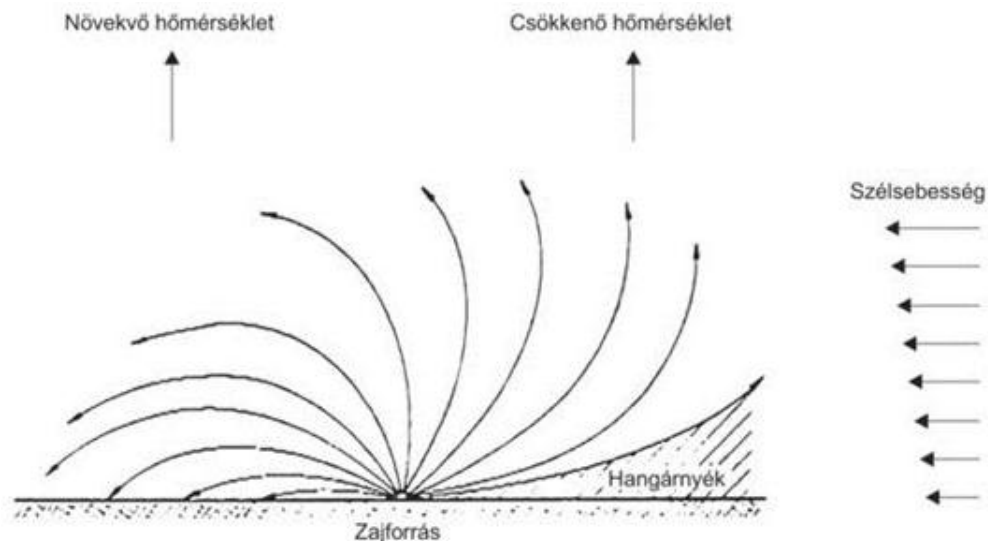
Szintén fontos szerepe van a hang terjedése során az útjába kerülő növényzetnek. A növényzet típusa, fajtája, sűrűsége, és a hang növényzetben megtett útjának hossza függvényében a növényzet hangelnyelő képessége tág határok között váltakozhat. A hang frekvenciája is fontos tényező, ugyanis a csillapodás ebben az esetben is jelentősen frekvencia-függő. Egy aljnövényzettel sűrűn benőtt erdősávnak lényegesen nagyobb a csillapítása, mint egy szegényes aljnövényzettel rendelkező. Tervezéskor figyelembe kell venni, hogy a növényzet nem nyújt védelmet magasan fekvő zajforrásokkal szemben, valamint szintén fontos figyelembe venni a növényzet szezonális változását. Éghajlatunkon többségében lombhullató fajok élnek, amelyek

az az eredménye, hogy télen jóval kisebb zajcsillapítást eredményeznek, mint a dús vegetációjú nyári hónapokban. Ez alól részben kivételt az örökzöldek képezhetnek. Ezek alapján látható, hogy az évszakonkénti zajcsillapító hatás változását zajvédelmi problémáknál figyelembe kell venni.

A *hangvisszaverődést* figyelembe kell venni, ha a hangforrás vagy a megfigyelési pont közelében nagyobb hangvisszaverő felületek találhatóak. Ilyenek lehetnek például épületek, falak, stb. Ebben az esetben zajforrás visszaverő felületre történő tükrözésével tükörzajforrást állíthatunk elő, és ennek a tükörforrásnak a bevonásával együtt végezhetjük el a számítást. Gyakorlati tapasztalatok alapján a hangnyomásszint visszaverő felületek közelében 3 dB-lel emelkedik.

A földfelszín *beépítettségének* és *domborzati viszonyainak* köszönhetően a hang terjedése során számos más akadály is (házsorok, falak, töltések, gátak, stb.) az útjába kerülhet. Ezen akadályok mögött hangárnyék alakulhat ki, azonban ebbe az akadály mögötti térrészbe is juthat hangenergia az akadály éleit megkerülve. Ezt a jelenséget nevezzük elhajlásnak.

A hang terjedését nagyon jelentős mértékben befolyásolják a *meteorológiai hatások*. Ezek közül a szél és hőmérséklet hatása a legfontosabb. A hang terjedése szempontjából a szél irányát és sebességét, valamint annak magasság szerinti változását is figyelembe kell venni. A szél és hangsebesség vektoriálisan összegződik, a magasság emelkedésével a szélesebbesség jellemzően növekszik, ugyanis egyre kevesebb akadály fékezi a terjedését. Emiatt a széllel szemben történő hangterjedés esetén hangárnyék alakulhat ki, míg szélirányban a zajcsökkentő hatás gyengülhet. A hőmérsékletnek a szélhez nagyon hasonló hatása lehet. A légrétegek különböző hőmérséklete miatt kialakuló hőmérsékleti gradiens a hanghullám elhajlásához vezet. Ha a földfelszín közelében magasabb a hőmérséklet (mint például nyáron intenzív napsütés következtében), akkor a hanghullám útját jelző nyomvonal a felső légrétegek irányába görbül, amely a földfelszín közelében hangárnyék kialakulását vonhatja maga után. Ellenkező esetben, amikor a felső rétegek a melegebbek (például a felhőtlen téli éjszakán) a hanghullám útját jelző nyomvonalak a földfelszín felé görbülnek. A szél és a hőmérséklet hangterjedésre gyakorolt hatása látható a 9.7. ábrán.



9.7. ábra A szél és a hőmérséklet hatása a hangterjedésre (Barótfi, 2003)

### 9.5.2. Zárt térben történő hangterjedés

A zárt térben kialakuló hangtérre nagy befolyással van a terem mérete és alakja, valamint a határoló felületek, úgymint a falak, padlózat és mennyezet egyéb tulajdonságai. A szabad térben történő terjedéshez képest zárt térben bonyolultabb terjedési viszonyokkal találkozunk. Ha veszünk egy egyszerű esetet, például egy pisztolylövés keltette zajjelenséget, akkor visszaverő felületek nélküli szabad térben azt tapasztaljuk, hogy az észlelő csak egy lövést fog hallani és erőssége attól függ, hogy milyen messze tartózkodik a forrástól. A lövés hangja  $t$  idő elteltével érkezik meg az észlelési pontba.

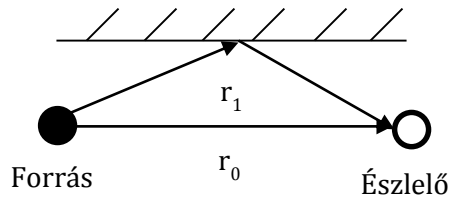
$$t = \frac{r_0}{c} \quad (9.19)$$

Ahol:

$r_0$  – a forrás és az észlelési pont közötti távolság [m];

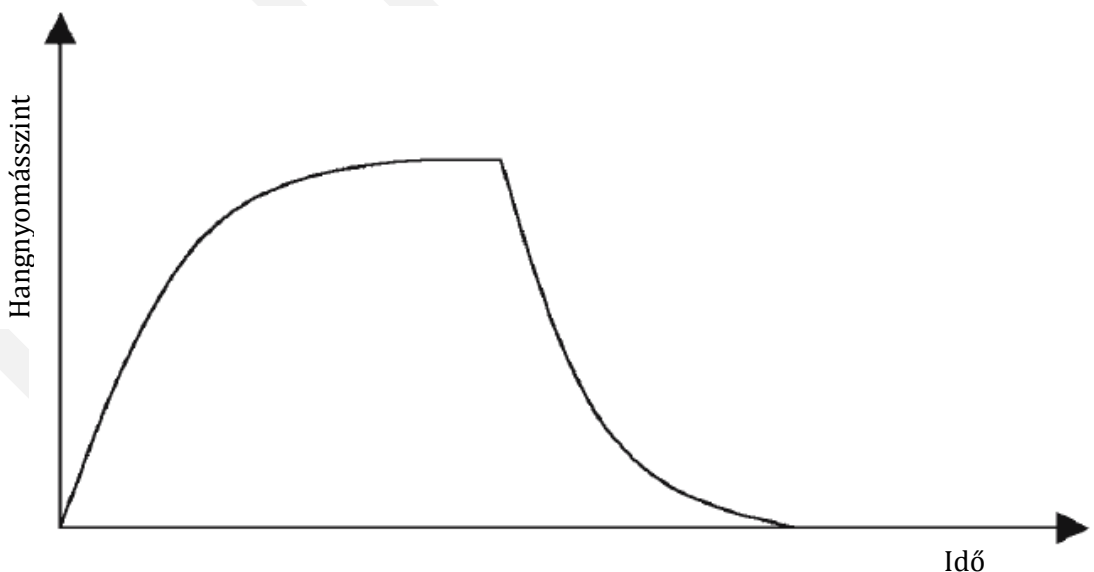
$c$  – a hang terjedési sebessége [m/s].

A forrástól az észlelés pontba közvetlenül érkező hangenergiát nevezzük direkt hangnak, a terjedést direkt hangterjedésnek. Ha az észlelési pont közelében egy nagyobb hangvisszaverő felületet is elhelyezünk, akkor nyilvánvaló, hogy az arról visszaverődő hang is eljut az észlelési pontba, azonban az más időben fog megérkezni, ugyanis hosszabb utat fog megtenni. Az ilyen terjedést nevezzük közvetett hangterjedésnek. Ha az észlelési pontba történő érkezési idők között 50 ms különbség van, akkor azt a megfigyelő már két külön hangként fogja érzékelni. A közvetlen és a közvetett hangterjedés egyszerű példája látható a 9.8. ábrán.



9.8. ábra Közvetlen és közvetett hangterjedés

A visszaverődés után érkező hanghullám gyengébb, mint a közvetlenül érkező, ugyanis egyrészt hosszabb utat tesz meg, másrészt a visszaverő felületen a hangenergia egy része elnyelődik. Ha az előbbi példánál maradva a pisztolylovást zárt térben végezzük, akkor elképzelhető, hogy észlelési pontba sok közvetett úton érkező hanghullám fog érkezni a számos visszaverő felületről, jelentős időkülönbséggel. A következőekben vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor a zárt térben bekapcsolunk egy hangforrást egy meghatározott ideig! Ebben az esetben is tekintsünk egy forrást és egy a térben elhelyezkedő megfigyelési pontot! Ekkor a forrás bekapcsolása után a megfigyelési pontnál a fentiek szerint valamekkora időkülönbséggel megérkezik a direkt úton érkező hang. Az első közvetett úton megérkező hang után a hangnyomásszint folyamatosan növekedik, egy állandó értékig, megtörtént a tér feltöltése hangenergiával, a megfigyelési pontban beállt az állandó hangnyomásszint. Ha ezt követően kikapcsoljuk a forrást, akkor az észlelési pontban először a közvetlen úton érkező hangenergia marad el, majd az időkülönbséggel érkező közvetett úton jövő hangenergia is. Az exponenciális csökkenés egészen addig tart, amíg el nem érjük újra a nyugalmi értéket. A jelenség szemléltetése látható a 9.9. ábrán.



9.9. ábra A hanggal való feltöltés és csökkenés zárt térben (Wang et al., 2005)

Az előbbi példánál a hangenergiával feltöltött térben a hangforrás kikapcsolása után az addig eltelt időt, amíg a hangnyomás az ezredrészére, vagyis a hangnyomásszint 60 dB-lel csökken, utózengési időnek ( $T$ ) nevezzük. Egy helyiség utózengési idejét meghatározhatjuk méréssel vagy számítással. A számítás az úgynevezett Sabine, vagy Eyring formulával történik (az utózengési idő nagyságának függvényében). Mérést impulzusválaszos módon (például pisztolylövés segítségével), vagy zajgerjesztéses módon (a terem hangenergiával történő feltöltése után a zajforrás kikapcsolásával) végzik.

Az utózengési időnek a gyakorlatban nagy jelentősége van, ugyanis meghatározza a terem felhasználhatóságát. A nagy utózengési idő rontja a beszédérthetőséget és a csökkenti a zene élvezhetőségét. A  $T$  nagy, ha sok a helyiségben a visszaverődés, például fürdőszoba esetén. Az utózengési idő kicsi, ha a teremben sok az elnyelő elem, például nappali szobában, ahol bútorok, könyvespolcok, stb. találhatóak.

TV és rádió stúdió esetén 1 másodperc alatti utózengési idő kívánatos. A megfelelő zenei élményhez szükség van közvetett úton érkező hangokra is, ezért nem kívánatos koncerttermek esetén az utózengési idő túlzott csökkentése. Koncerttermeknél 1 és 2 másodperc közötti érték nyújthatja a legkedvezőbb zenei élményt. Nagy termek akár 3 másodpercnél hosszabb utózengési idővel is rendelkezhetnek, amely nagyon jelentősen leronthatja a beszéd érthetőségét.

## Felhasznált szakirodalom:

Barótfi I. Környezettechnika. Mezőgazda, Budapest, 2003.

Domokos E, Horváth B, ed. Zaj- és rezgésvédelem. Pannon Egyetem - Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011.

Goelzer B, Hansen CH, Sehrndt G. Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control. World Health Organisation, 2001.

Hansen CH, Sehrndt C. Fundamentals of acoustics. Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control. World Health Organization 2001.

Jacobsen F, Poulsen T, Rindel JH, et al. Fundamentals of acoustics and noise control. Department of Electrical Engineering, Technical University of Denmark 2011.

József B, László P. Helikopterzaj elmélete és gyakorlata. Campus Kiadó, Debrecen 2010.

Kiss Á, Tasnádi P. Környezetfizika. Typotex, Budapest, 2012.

KvVM. 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet a stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól. 2004.

Ray EF. Fundamentals of Environmental Sound. Universal, Stoughton, WI, 2010.

Wang LK, Pereira NC, Hung Y. Advanced air and noise pollution control. Humana Press, Totowa, New Jersey, 2005.

# 10. A ZAJTERHELÉS ÉS EGÉSZSÉGÜGYI HATÁSAI

## 10.1. A ZAJTERHELÉS INDIKÁTORAI

A zajterhelés leírására számos zajindikátort határoztak meg és használnak a különböző esetekben. Tudományos szempontból az indikátorokkal szembeni legfontosabb kritérium az egyes hatások előrejelzésének képessége. Ennek megfelelően az emberi egészségre gyakorolt hatások vizsgálatához különböző indikátorok használata lehet a legmegfelelőbb. Például szív- és érrendszeri megbetegedések vizsgálatához hosszú időtávú, az akusztikai körülményeket összegző indikátor a leginformatívabb. Alvászavarok esetén olyan indikátor használata indokolt, amely egy zajesemény (például egy repülőgép, vonat vagy tehergépjármű elhaladása) maximális hangnyomásszintjét jelzi. Gyakorlati szempontból a mutatóknak a közvélemény számára könnyen, intuitív módon értelmezhetőeknek kell lenniük. Emellett összhangban kell lenniük a meglévő gyakorlatokkal és jogszabályokkal, ami lehetővé teszi a könnyű és gyors alkalmazhatóságukat.

A közös európai indikátorkészlet meghatározásában és bevezetésében nagyon fontos szerepet kapott az Európai Unió 2002/49/EK irányelve (2002/49/EK irányelv a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről), amely egységes keretek közé emelte a környezeti zaj értékelését és kezelését. Az angolul Environmental Noise Directive irányelvet kezdőbetűiből END megnevezéssel szokás rövidíteni. Ez a direktíva célozta meg a közös megközelítés kidolgozását a környezeti zajból eredő káros hatások elkerülésére, megelőzésére és csökkentésére. Ezen cél elérése érdekében számos lépés fokozatos megvalósítását tűzték ki, valamint alapot szolgáltatottak a legjelentősebb zajforrásokból származó nemkívánatos zajterhelés csökkentésére. A források között az irányelv kiemelte a közúti és vasúti járműveket és infrastruktúrákat, a légi közlekedést, és a szabadtéri és ipari berendezések zaját egyaránt.

Az irányelv az egységes értelmezhetőség és kezelhetőség érdekében zajindikátorokat határoz meg. Ezek közül a folyamatos zajterhelés nagyságának meghatározására alkották meg az ún. nappal-este-éjjel zajszint fogalmát. Ez a direktívában  $L_{den}$  jelöléssel szerepel, amelyben a den index az angol megfelelő rövidítéséből származik (**d**ay-**e**vening-**n**ight). Ennek értéke a következő képlet szerint számítható:

$$L_{den} = 10 * \lg \left[ \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \right] \quad (10.1)$$

Ahol:

$L_{day}$  – A-súlyozósűrűvel a nappali 12 órás időszakra (reggel 7 órától 19 óráig) meghatározott egyenértékű hangnyomásszint ( $L_{aeq}$  érték) [dB];

$L_{\text{evening}}$  – A-súlyozószűrővel az esti 4 órás időszakra (19 órától 23 óráig) meghatározott egyenértékű hangnyomásszint ( $L_{\text{aeq}}$  érték) [dB];

$L_{\text{night}}$  – A-súlyozószűrővel az éjszakai 8 órás időszakra (23 órától reggel 7 óráig) meghatározott egyenértékű hangnyomásszint ( $L_{\text{aeq}}$  érték) [dB].

A fenti időszaki felbontás esetén az egyes időszakok kezdőértékének meghatározása során az egyes tagországok saját szokásaik, hagyományaik alapján kis mértékben eltérhetnek. Így például Magyarországon a nappali időszak reggel 6 órától 18 óráig, az esti 18 órától 22 óráig és az éjszakai 22 órától reggel 6 óráig tart.

Az  $L_{\text{den}}$  értéke a fentiek alapján folyamatos napi zajterhelés leírására alkalmas. A képlet alapján látható, hogy az este és az éjszaka nagyobb súllyal szerepel (az  $L_{\text{evening}}$  mellett +5, míg az  $L_{\text{night}}$  mellett +10 érték szerepel). Ennek az az oka, hogy az ember nagyobb érzékenységet mutat a zajterhelésekkel szemben az esti és éjjeli időszakokban, amelyek általánosságban a pihenőidőszakot képzik.

Amint már említésre került, az END direktíva által meghatározott indikátorokon kívül még számos más tényező található, amelyeket különböző helyzetekben a zajterhelés leírására használhatunk. A 10.1. táblázatban néhány további zajindikátor látható.

10.1. táblázat Zajindikátorok (Babisch, 2010)

Indikátor	Leírás	Időálló
$L_{\text{max}}$	Egy időtartam során jelentkező legmagasabb hangnyomásszint érték (pl. járműelhaladás)	125 ms (gyors időálló esetén)
SEL	Egy időtartam hangnyomásszintjének 1 másodpercre normalizált értéke	1 s
$L_{\text{day}}$	Egy napközhez tartozó átlagos hangnyomásszint értéke	12 vagy 16 h
$L_{\text{night}}$	Egy éjszakához tartozó átlagos hangnyomásszint értéke	8 h
$L_{24\text{h}}$	Egy teljes nap során jelentkező átlagos hangnyomásszint értéke	24 h
$L_{\text{dn}}$	Egy teljes nap során jelentkező átlagos hangnyomásszint értéke, amelyben az éjszakai időszak +10 dB-es súllyal szerepel	24 h

L <sub>den</sub>	Az év minden napjához (napközben, estét és éjszakát is beleértve) tartozó átlagos hangnyomásszint értéke  Az este +5 dB, az éjjel +10 dB-es súllyal szerepel benne	év
------------------	--	----

A 10.1. táblázatban látható indikátorok közül a korábban kiemelt L<sub>den</sub> és L<sub>night</sub> indikátorok felelnek meg leginkább az Európai Unió mutatókkal szemben támasztott követelményeinek, amelyek az alábbiak (Babisch, 2010 alapján):

- *Érvényesség a hatásokkal való kapcsolat tekintetében:*

Jellemzően politikai kérdés az, hogy milyen hatásokat vesszünk figyelembe. A legtöbb európai országban a zajszabályozások elsősorban a jelentős panaszok és a zavaró hatások elkerülését szolgálják, továbbá az emberi egészségre gyakorolt káros hatások megelőzését. Sok esetben az indikátor értékek és a káros hatások közötti számszerű kapcsolat leírása meglehetősen bonyolult, vagy nem lehetséges. Jelenleg is számos kutatás törekszik a kapcsolatok pontosabb leírására.

- *Gyakorlati alkalmazhatóság:*

Fontos szempont, hogy a rendelkezésre álló adatokból könnyen számíthatóak, vagy a rendelkezésre álló eszközökkel könnyen mérhetőek legyenek az indikátorok. Továbbá rendkívül lényeges, hogy a hatóságok számára megbízható alapot kell nyújtaniuk a zajcsökkentési intézkedések és döntések meghozatalához.

- *Átláthatóság:*

Cél, hogy a mutatók könnyen magyarázhatóak és érthetőek legyenek, akár intuitív módon is. Továbbá legyenek kapcsolatban a fizikai jellemzőkkel, és adott esetben minél kevesebb indikátorra (lehetőség szerint csak egyetlen egyre) legyen szükség.

- *Végrehajthatóság:*

Az indikátoroknak alkalmasnak kell lenniük változások értékelésére és határérték-túllépések jelzésére.

- *Következetesség:*

Lehetőség szerint a jelenlegi gyakorlathoz legjobban illeszkedjen, legkisebb mértékű változtatásokra legyen szükség a használatához. Indikátorokat csak alaposan indokolt esetben célszerű lecserélni, amikor lényegesen alkalmasabbnak bizonyul az új mutató.

## 10.2. A ZAJ EMBERI EGÉSZSÉGRE GYAKOROLT HATÁSA

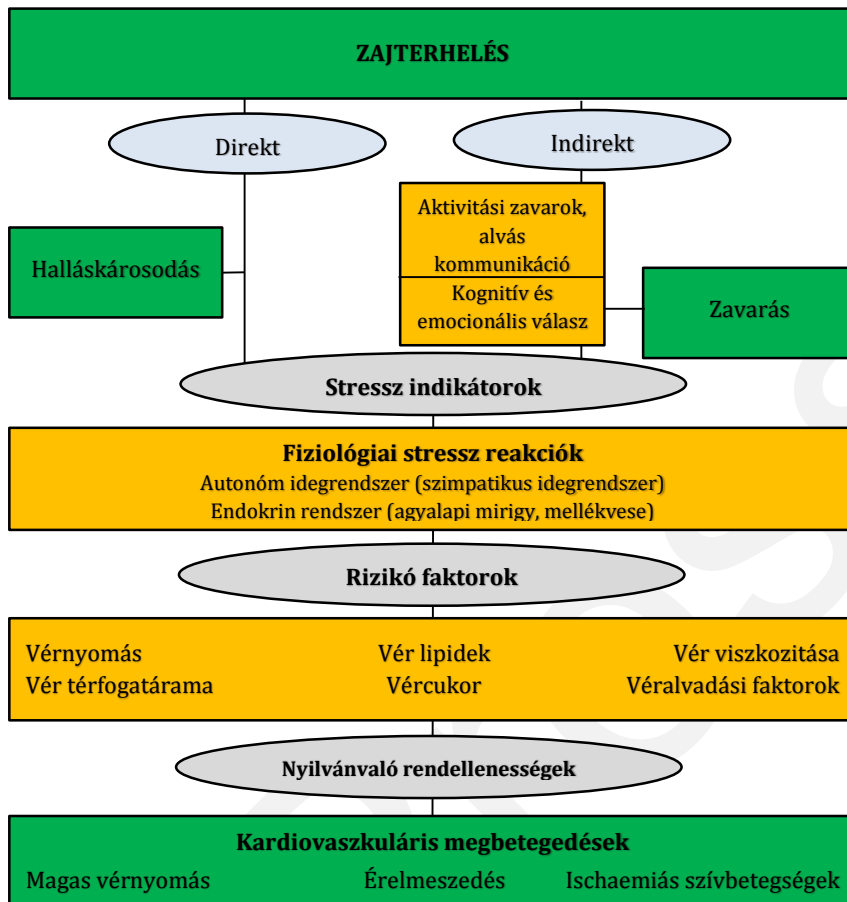
### 10.2.1. Áttekintés a zaj egészségügyi hatásairól

A zaj korunk egy jelentős környezeti problémájává vált, amely napjainkra különösen az urbánus környezetben lakó emberek nagy számát érinti. A különböző kutatásoknak köszönhetően egyre több információ áll rendelkezésünkre a zaj emberi egészségre gyakorolt hatását illetően.

Ezek alapján a 2011-es WHO (World Health Organization) és JRC (European Commission's Joint Research Centre) közös jelentése alapján a közlekedésből fakadó zajterhelés az Európai Unióban évente 1 millió egészséges életév elvesztését okozza. Így nem meglepő, hogy az EEA (European Environment Agency) 2014-es jelentése szerint a zajterhelés - a levegőszennyezés után - a második legnagyobb környezeti probléma Európában.

A zaj emberi egészségre gyakorolt hatása meglehetősen sokrétű. Régóta ismert, hogy zajterhelés hatására halláskárosodás alakulhat ki, de emellett károsan hat a beszédértésre, a pihenésre és az alvásra, valamint általános zavaró hatása révén az általános jólétet és érzékelt életminőséget negatívan befolyásolja.

Ezeket túl újabb vizsgálatok arra utalnak, hogy a környezeti zajterhelés élettani következményekkel jár, úgymint magas vérnyomás és szív- és érrendszeri betegségek. Emellett társadalmi-élettani hatásokat is eredményez, mint zavarásérzet és alvászavar, illetve károsan befolyásolja a mentális egészséget és a kognitív teljesítményt. A következőekben ezen hatások részletesebb tárgyalása kap szerepet. A 10.1. ábrán a zaj által okozott emberi egészségre gyakorolt hatások sematikus ábrája látható.



10.1. ábra A zaj által okozott egészségügyi hatások (Babisch, 2002)

### 10.2.2. Zaj okozta halláskárosodás

A halláskárosodás alatt leggyakrabban a hallásküszöb megemelkedését értjük. Kimutatása ennek megfelelően hallásküszöb-méréssel történik. Nagyothallásnak a halláskárosodás azon fokát tekintjük, amely már akadályozza az egyén mindennapi életben való tájékozódását. Világszerte emberek milliói szenvednek különböző fokú halláskárosodásban, amely azonban nem csak az egyént ért zajterhelés következménye lehet, hanem kiválthatja számos más tényező is, úgymint betegség – amely lehet örökletes eredetű is -, vegyi anyagok, balesetek, agyrázkódás.

A hallásvesztés mértéke az ember hallástartományában jellemzően nem egyenletes, hanem kifejezetten frekvenciafüggő és leggyakrabban a magasabb frekvenciatartományban a legerőteljesebb. Kockázat szempontjából a nemek között nem állapítottak meg lényeges különbséget, de az egyének válaszreakciója nagyon jelentős mértékben függ az egyéni érzékenységtől. Az életkor előrehaladtával természetes folyamatként jelentkezik a hallásgyengülés, szintén frekvenciafüggő mértékben.

A halláskárosodáshoz kapcsolódóan célszerű megemlíteni az úgynevezett tinnitust (fülcsöngést) is. Számos szerző a tinnitusra tünetként tekint és nem önálló betegségként. Ennek egyik oka, hogy a halláskárosodással nagyon sok esetben egyidejűleg jelentkezik. A tinnitus alatt az olyan hangérzékelést értjük (például zúgó, sípoló vagy csengő hang), amely nem tulajdonítható külső hangforrásnak. Másként fogalmazva azt is mondhatjuk, hogy a tinnitus a csendet érzékelő képesség elvesztése. Széles körben elterjedt nézet szerint szinte mindenki találkozik vele az élete során, elsősorban enyhe, alkalmi, vagy akut átmeneti tinnitus formájában, amely aztán spontán meg is szűnik.

Ennek megfelelően osztályozni szokás az esemény hossza alapján (például, hogy a csengés milyen hosszán jelentkezik, vagy jellege szerint szakaszos vagy folyamatos), az időbeli időtartama alapján (nap, hónap, év), valamint a súlyossága alapján (okozott bosszúság foka vagy mindennapi életre gyakorolt hatása alapján). A betegség által világszerte érintettek száma nem ismert, de például az American National Center for Health felmérése szerint az Egyesült Államokban a teljes lakosság 32%-a érintett a betegség által, és a populáció 2%-nál súlyos tinnitus jelentkezik.

### 10.2.3. Zaj hatása a beszédértésre

A zaj egyik jelentős hatása, hogy zavarja a beszéd értését, amelynek eredményeképpen elterelheti a hallgató figyelmét, fáradtságot, bizonytalanságot, félreértést, csökkenő munkateljesítményt és stressz-reakciókat eredményezhet. Különösen veszélyeztetettek közé tartoznak az idősek és a beszélni tanuló gyerekek, valamint a halláskorlátozottak és az adott nyelvet rosszul ismerők. A 100-6000 Hz frekvenciatartományba esik az emberi beszéd hangenergiájának legnagyobb része, amelyen belül is az információ hordozása szempontjából a 300-3000 Hz tartománynak van rendkívül nagy jelentősége. A beszéd során a változások nagyságrendje 1 ms-tól 100 ms-ig terjed.

A zaj hatására a beszédhang elfedése jelentkezik, amely lerontja annak érzékelését. Az, hogy milyen mértékben csökken a beszéd érthetősége, az egyrészt az elfedő zaj energiájától, valamint annak frekvenciájától függ. Különösen rontja a beszéd értését az a zaj, amely akusztikai energiájának jelentős része esik az emberi beszéd szempontjából fontos, információhordozó 300-3000 Hz frekvenciatartományba. A kiesett információ egy részét az ember képes pótolni, illetve visszaállítani. Ennek sikerességét több tényező befolyásolja, például az észlelő izgalmi állapota, vagy a hallott beszéd jellege (kiabálás, nyugodt beszéd, stb.). Természetes emberi reakció az, hogy nagy háttérzaj esetén az ember felemeli a hangját, megpróbálva túlkiabálni a zajt, ezáltal megszüntetni annak elfedő hatását.

A környezetünkben jelentkező zajok, nemcsak az emberi beszéd elfedését okozhatják, hanem számos más, számunkra fontos hangjelenség (például: figyelmeztető hangok, csengők, telefonhangok, stb.) érzékelését is ronthatják.

#### 10.2.4. Zaj okozta alvászavar

A jelentős zajterhelésnek kitett lakosság egyik leggyakoribb panasza az alvászavarok, amelyeknek nagy hatása lehet az emberi egészségre és az élet minőségére. Az alvászavarokat hatásaik jelentkezése alapján különböző csoportokba sorolhatjuk:

- Azonnal jelentkező hatások (például: éberségi válaszok, alvásállapot változások, ébredések, test mozgása, teljes ébrenlét ideje, vegetatív válaszok);
- Utóhatások (például: álmosság, nappali teljesítmény csökkenés, kognitív funkciók romlása);
- Hosszú távú hatások (például: saját bevallás szerinti krónikus alvászavar).

Kellő hosszúságú zavartalan alvás szükséges az ember számára az egészsége és a mindennapi teljesítőképessége megőrzése érdekében. Az emberi szervezet alvó állapotban is érzékeli, értékeli a környezeti zajokat és reagál is rájuk. Ez a szervezet aktiválási folyamatainak szerves része, amely olyan hatásokat okozhat, mint például megváltozó alvásszerkezet vagy szaporább pulzus. Ezek nemcsak természetes, hanem szükséges reakciók is, de azt feltételezzük, hogy egy jelentős számbeli növekedés esetén kihat az emberi egészségre is. A környezeti zaj ronthatja az alvás pihentető, regeneráló funkcióit ismétlődően jelentkező aktiválások (úgynevezett alvási fragmentáció) útján. Kutatások kimutatták, hogy az akut vagy krónikus alvásmegvonás és alvástöredezettség (fragmentáció) többek között befolyásolja az ébrenléti pszichomotoros teljesítményt, a memóriára, a kreativitásra, a kockázatvállalásra, a jelfelismerő képességre és a balesetek kockázatára is hatással van.

Az egyes hatások által érintett populáció nagyságának meghatározása nem könnyű feladat. A saját bevalláson alapuló krónikus alvászavarok esetén ez kérdőívek segítségével történik. A kapott válaszokból adatbázisok képezhetőek és több adatbázis használatával polinomiális függvények határozhatóak meg, amelyek jól közelíthetik a hatásnak kitett lakosság százalékos arányát a terhelés függvényében. Például egy kutatás során (Hurtley, 2009) szintén több adatbázist felhasználva az  $L_{\text{night}}$  indikátor segítségével a krónikus alvászavar által érintett arányszámok meghatározását végezték el. Az  $L_{\text{night}}$  értékei a zajterhelésnek leginkább kitett homlokzatra értendőek, kültéri indexként. A meghatározott görbeértékek megadják a százalékos érintettség közelítő értékét az  $L_{\text{night}}$  40-70 dB (A) tartományban súlyosság szerinti három kategóriában. A következő egyenletekben a közúti zajterhelés által okozott alvászavarokra meghatározott összefüggések láthatóak (Hurtley, 2009):

$$\%HSD = 20,8 - 1,05L_{night} + 0,01486(L_{night})^2 \quad (10.2)$$

$$\%SD = 13,8 - 0,85L_{night} + 0,01670(L_{night})^2 \quad (10.3)$$

$$\%LSD = -8,4 + 0,16L_{night} + 0,01081(L_{night})^2 \quad (10.4)$$

Ahol:

- HSD: súlyos alvászavar (high sleep disturbance);
- SD: alvászavar (sleep disturbance);
- LSD: csekély alvászavar (low sleep disturbance).

A fentiek példaként szolgálnak arra, hogy különböző forrású környezeti zajok esetén tapasztalati úton, hogyan lehet összefüggéseket meghatározni és leírni különböző terhelések és hatások között. A saját bevalláson alapuló alvászavarok felmérése jóval könnyebbnek bizonyulhat más hatások meghatározásánál, tekintettel arra, hogy itt kérdőív segítségével van lehetőség adatokat gyűjteni, míg más esetek költséges fiziológiai mérések elvégzését igénylik.

A zaj alvásra gyakorolt különböző hatásainak leírására különböző indikátorok bizonyulhatnak a legalkalmasabbaknak. Például a felébredések számának meghatározásához a beltéri SEL értéket (lásd 10.1. táblázat) használják. Jellemzően az emberek alvásuk során 1-2 alkalommal ébrednek fel. Az ennél nagyobb felébredés számot érdemes komolyan venni. Tekintettel az alvás fontosságára a szervezet természetes módon hajlamos az ébredések elnyomására, ennek köszönhető, hogy a felébredések száma nagy zajterhelés esetén is jellemzően alacsony marad.

#### 10.2.5. Zaj kardiovaszkuláris és élettani hatásai

Az ischaemiás szívbetegség (beleértve a miokardiális infarktust) és a magas vérnyomás zajjal való összefüggése régóta kutatott téma. A feltételezést, hogy a krónikus zajterhelés hatással van a kardiovaszkuláris egészségre a következő tények támasztják alá (Babisch, 2010):

- Embereken végzett laboratóriumi kísérletek azt mutatták, hogy akut zajterhelés befolyásolja a szimpatikus idegrendszert és az endokrin rendszert, nem specifikus élettani reakciókat (például: vérnyomás, szívritmus, érszűkület, stressz hormonok) eredményezve.

- Zaj okozta azonnali autonóm válaszok nem csak ébrenlétben fordulnak elő, hanem alvás közben is. A szervezet hosszútávon nem képes teljes mértékben alkalmazkodni, még ha néhány éjszakát követően a szubjektív szoktatási viselkedés egyértelműen jelentkezik is.

- Állatokon végzett kísérletek megmutatták, hogy hosszú távú magas zajterhelés egészségügyi rendellenességekhez vezet, úgymint magas vérnyomás és a „szív öregedése”.

- Zajos munkakörnyezetben dolgozók esetében kimutatható a magas vérnyomás és a szívinfarktus megemelkedett kockázata.

Az általános stressz-elmélet indokolja a zaj nem hallást érintő élettani hatásait. A zaj hatással van a szervezetre akár közvetlenül a szimpatikus idegrendszerrel való kölcsönhatásokon keresztül, akár közvetett úton a hang érzelmi és kognitív érzékelése révén. Az objektív (hangnyomásszint) és szubjektív (zavaró) zajterhelés kapcsolatának szintén fontos szerepe lehet az egészség szempontjából fontos terhelési értékek meghatározásában. A rövidtávú keringési változások, úgymint a vérnyomás, pulzusszám, stb., valamint a stressz hormonok felszabadulása, köztük az adrenalin és noradrenalin szint változását kísérleti körülmények között dokumentálták. Magas zajterhelésnek kitett egyének esetében klasszikus biológiai kockázati tényezők megemelkedett szintjét mutatták ki.

Továbbá a szervezet válaszreakciói alapján kijelenthető, hogy akut zajhatások nemcsak magas hangnyomásszintű munkahelyi környezetben fordulnak elő, hanem relatíve alacsony környezeti zajterhelés esetén is, amikor bizonyos tevékenységek (alvás, koncentráció, relaxáció, stb.) megzavarása történik.

A zaj akár közvetlenül, akár közvetett úton hat az autonóm idegrendszerre és az endokrin rendszerre, megbontva a szervezet élettani egyensúlyát, amely növeli a betegségek kialakulásának kockázatát (lásd 10.1. ábra). A közvetett hatás azt jelenti, hogy a szubjektív hangérzékelés kognitív értelmezése fontos szerepet játszik az élettani reakciók szempontjából. Másrészről a közvetlen hatás alatt azt értjük, hogy a szabályozó rendszer aktiválása a hallóidegek és a központi idegrendszer más elemei (például hipotalamusz) közötti közvetlen interakció eredménye. Ez különösen fontos alvás alatt, ahol kimutatták, hogy egy zajeseményre adott független válaszok (például vérnyomás és pulzusszám változása) jelentkeznek olyan alanyoknál is, akik alvásukban szubjektíven nem érzékelték zavart.

#### 10.2.6. Zaj hatása a teljesítményre

Számos korábbi kutatás jelezte a zaj tanulási képességre és teljesítményre gyakorolt lehetséges hatását, amely összességében meglehetősen összetettnek nevezhető. Sok esetben iskolás gyerekek tanulási képességét vizsgálták különböző zajterhelés esetén. Egyértelmű teljesítménycsökkenést állapítottak meg növekvő zajterhelés kapcsán.

A zaj figyelemelterelő ingerként is jelentkezhet, impulzusjellegű zajok esetén az ember által végzett tevékenység megszakítását eredményezheti.

Rövid idejű zaj ugyanakkor teljesítménynövelő is lehet, felébresztve az emberben az ellenállást és jobb koncentrációra ösztökélve. Komplex, összetettebb feladatok esetén, amikor több tényezőre kell figyelni, akkor a zajjelenségek jelentősen lerontják koncentrációt, csökkentve ezáltal a munkavégzés hatékonyságát.

A zajterhelésnek nemcsak azonnali, hanem utólagos teljesítménycsökkentő hatását is figyelembe kell vennünk. Repülési zajterhelést követően gyermekek által szövegjavítási feladatokban elkövetett hibák számának növekedését figyelték meg, valamint esetükben feladatmegoldó játékokban rövid időtartam után következett be kifáradás.

Érdekes kérdés továbbá a nappali és éjjeli zajterhelés okozta hatások különbségének a vizsgálata. Az éjjeli zajterhelés esetében azt feltételezik, hogy nem mindegy az expozíció időpontja, mivel a szervezet különböző alvásszakaszaiban különbözőképpen reagál. Így például feltételezések szerint az éjjel korai szakaszában domináns lassú hullámú alvásfázis (SWS: slow-wave sleep) és a deklaratív memória között szoros kapcsolat van, szemben a később domináns gyors szemmozgású (REM: rapid eye movement) alvásfázissal. Ezért ezen memória szempontjából a kora éjjeli (például éjfélig jelentkező) zajeseményeknek kifejezetten káros hatásuk lehet. A témakör még jelentős további kutatásokat igényel, csakúgy, mint a gyerekeket érő zajterhelés időbeliségének és annak hatásainak vizsgálata, tekintettel arra, hogy esetükben jelentős különbségek mutatkoznak a felnőttekhez képest.

#### 10.2.7. Zaj hatása a lakóhelyi magatartásra és a zavarásérzetre

A zavarás egy kényelmetlen érzéshez, haraghoz, depresszióhoz, és kiszolgáltatottsághoz kapcsolódó érzelmi állapot. Meghatározása kérdőív segítségével történik (ISO 15666), amely jellemzően egy 11 pontos numerikus skálát használ a „nem zavar” kezdőponttól a „rendkívül zavar” végpontig. A skálaérték függvényében határozzák meg a nagyon zavaró (a skála 72%-a fölötti), és a zavaró (50% fölötti) állapotokat.

Széles körben elfogadott, hogy a zavarást tekintik a környezeti zaj lakosságra gyakorolt hatásainak vizsgálata során az egyik támpontnak. A zavarás nagyon erősen forrás függő, más a küszöbértéke a közlekedési zajoknak, mint például a szélturbinák által keltett zajnak. Zajterhelés által zavarásnak kitett emberek számos negatív választ produkálnak, úgymint düh, csalódottság, elégedetlenség, elzárkózás, kiszolgáltatottság, depresszió, szorongás, nyugtalanság vagy kimerültség. Megállapították továbbá, hogy a stresszhez kapcsolódó tünetek, úgymint fáradtság, vagy hasi diszkomfort érzés összefügg a zaj zavaró hatásával.

A gyakorlatban a zaj zavaró hatása által érintettek meghatározását tapasztalati úton, adatbázisokból meghatározott összefüggések segítségével végzik, mint a zaj alvást zavaró hatása alfejezetben bemutatott összefüggések esetén. A közúti zaj okozta zavarás által érintettek százalékos megoszlásának számítására szolgálnak a következő összefüggések (Miedema, 2002):

$$\%A = 1,795 * 10^{-4}(L_{den} - 37)^3 + 2,110 * 10^{-2}(L_{den} - 37)^2 + 0,5353(L_{den} - 37) \quad (10.5)$$

Ahol:

- %A: a zavarás (a skála 50%-a fölötti) által érintett lakosság százalékos aránya.

$$\%HA = 9,868 * 10^{-4}(L_{den} - 42)^3 - 1,436 * 10^{-2}(L_{den} - 42)^2 + 0,5118(L_{den} - 42) \quad (10.6)$$

Ahol:

- %HA: a zavarás (a skála 72%-a fölötti) által érintett lakosság százalékos aránya.

Az összefüggések az  $L_{den}$  45 és 75 dB közötti értékeire vonatkoznak. Szükséges megjegyezni, hogy ezek átlagos kapcsolat leírására hivatottak, vagyis a közúti zaj és zavarás kapcsolatát írják le sajátos jellemzőket nélkülöző esetekben. Bizonyos tényezők módosítják a fenti összefüggésekkel leírt kapcsolatot, például:

- Nem folyamatos (szakaszos) forgalomáramlás;
- Nagyobb alacsony frekvenciájú zaj nagyobb zavaró hatást eredményez;
- Csendes útburkolat esetén nagyobb csökkenést figyeltek meg, mint ami a fizikai jellemzők alapján várható volt.

A fentiekhez hasonló képletek segítségével határozzák meg a vasúti zaj és zavarás, valamint a repülési zaj és zavarás közötti összefüggéseket is. A zavarásnak kitett emberek esetében az adott reakciót számos egyéb más tényező is befolyásolhatja. Az előzőekben már említett alacsony frekvenciás összetevők nagyságának növekedése jelentősen emeli a zavarás-érzetet. Emellett hasonlóan erősebb reakciót vált ki az impulzusos zaj (például robbanások, lövések, kalapálások, stb.), valamint jelentős befolyásoló szerepe van a zaj időbeli lefutásának is.

### 10.2.8. Küszöbértékek

A zaj által okozott kellemetlen hatások küszöbértékeinek azokat tekintjük, amely értékektől kezdődően jelentkezik az adott hatás, vagy már egyértelműen kiemelkedik a háttérből. A különböző hatások jellemzésére sok esetben különböző indikátorokat használnak, jelenleg is folynak kutatások a hatások leírására, minden szempontból legmegfelelőbb indikátorok kiválasztására.

10.2. táblázat Zajterhelés kellően alátámasztott hatásai az emberi egészségre és közérzetre (Babisch, 2010)

Hatás	Zajindikátor*	Küszöbérték** [dB(A)]	Időtartomány
Bosszúság, zavarás	$L_{den}$	42	Krónikus
Saját bevalláson alapuló alvászavar	$L_{night}$	42	Krónikus
Tanulás, memória	$L_{eq}$	50	Akut, krónikus
Stressz hormonok	$L_{max}$ $L_{eq}$	nem meghatározott	Akut, krónikus
Alvás	$L_{max,indoors}$	32	Akut, krónikus
Jelentett ébredés	$SEL_{indoors}$	53	Akut
Jelentett egészségügyi	$L_{den}$	50	Krónikus
Magas vérnyomás	$L_{den}$	50	Krónikus
Ischaemiás szívbetegség	$L_{den}$	60	Krónikus

Megjegyzések:

\*Az  $L_{den}$  és  $L_{night}$  kültéri zajterhelési értékek, a beltéri értékek indexben indoors-zal vannak jelölve (pl:  $L_{max,indoors}$ )

\*\*Az az érték, ami fölött megjelenik, vagy kiemelkedik a háttérértékből.

## 10.3 EURÓPAI ZAJTERHELÉSI HELYZET

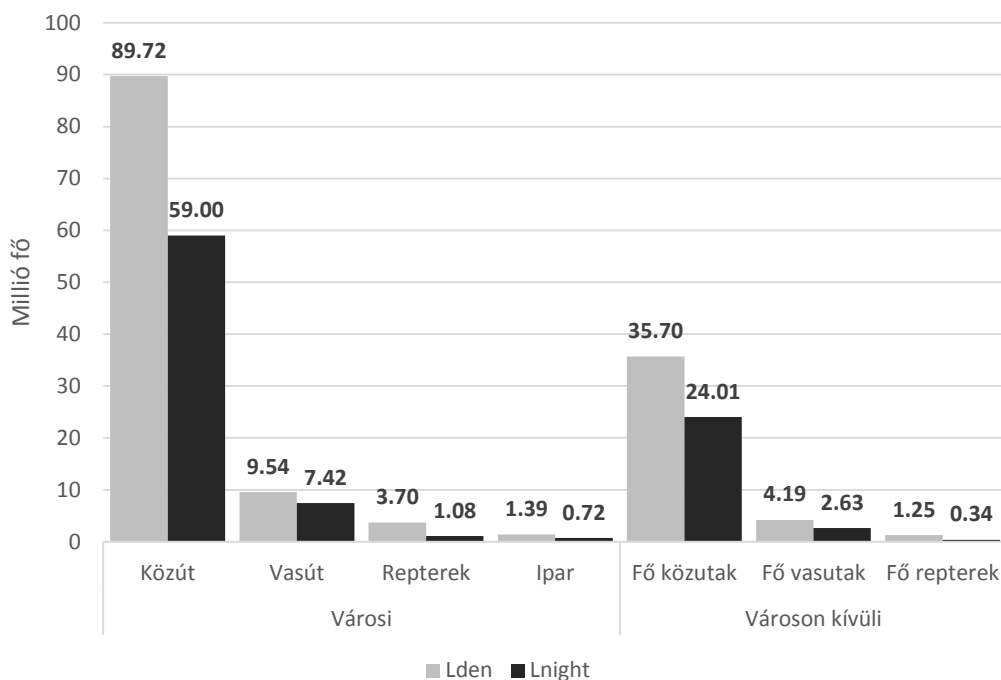
### 10.3.1 Európai helyzetkép

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (European Environmental Agency, röviden EEA) 2014-ben elkészített első zajértékelő jelentését Noise in Europe 2014 címmel. Ennek célja, hogy áttekintést és elemzést nyújtson a tagországok által a korábban már említett 2002/49/EK irányelvben meghatározottak szerint szolgáltatott környezeti zaj információkról. Az END irányelv a környezeti zajt, úgy határozza meg, mint az emberi tevékenységek következtében okozott nemkívánatos vagy káros kültéri zajok. A számításba vett emberi tevékenységek alatt az irányelv a következő zajokat veszi figyelembe: közlekedési zaj (közúti, vasúti, repülési zaj) és ipari zaj. Nem számol a zajterhelésnek kitett személy által keltett zajjal, a háztartási tevékenységek és a szomszédok által keltett zajokkal, valamint nem foglalja magába a munkahelyi vagy katonai tevékenységek zajait.

A jelentés 34 ország által szolgáltatott adatokat foglalja magába, köztük a 33 EEA tagország és Macedónia adatait. Az értékelés 471 városi területet (agglomerációt) érint, és a városi környezeten kívül eső 91 repülőtérrel, valamint 181 767 km közutat és 40 066 km vasutat vesz figyelembe. Az adatok alapján egyértelműen kijelenthető, hogy mind a városi, mind a városon kívüli környezetben a közúti közlekedés okozta zajterhelés a legdominánsabb tényező Európa zajterhelésében. A jelentéshez a rendelkezésre álló beszolgáltatott hiányos adatokat kiegészítették és becslést végeztek a zajexpozícióknak kitettek számának meghatározására. Ezek alapján közúti zajterhelés esetén legalább 55 dB  $L_{den}$  értéknek kitett lakosság számát 125 millió főben, míg legalább 65 dB  $L_{den}$  terhelés által érintetteket 37 millió főben határozták meg.

A közúti zaj domináns szerepe nem csak európai szinten, hanem az országok szintjén is igaz, valamint a városokon belül és a városokon kívül is egyaránt a legnagyobb zajforrás. Emellett a városi területek nagysága növekszik Európán belül, ami együtt jár az urbanus területeken a népsűrűség csökkenésével. A szállítás növekvő igénye jelentős mértékben hozzájárul a közúti forgalom növekedéséhez, amely a zajterhelésen kívül számos más környezetvédelmi kérdést (például levegőszennyezés) is felvet a zajszennyezésen kívül.

Számos ország esetében (Ausztria, Észtország, Hollandia, Írország, Lengyelország, Litvánia, Románia, Spanyolország, és Svájc) megállapítható, hogy a 100 000 főnél népesebb városokban élő lakosság több mint fele 55 dB fölötti  $L_{den}$  terhelésnek van kitéve. Ha figyelembe vesszük az előző alfejezet végén, a 10.2. táblázatban szereplő küszöbértékeket, akkor láthatjuk, hogy ez több hatás szempontjából is meghaladja az abban szereplő értéket. Három ország esetében (Belgium, Bulgária, Luxemburg) pedig az urbanus környezetben élő lakosság több, mint 75%-a esetén állapították meg 55 dB fölötti  $L_{den}$  terhelést.



10.2. ábra  $L_{den} > 55$  dB és  $L_{night} > 50$  dB környezeti zajterhelésnek kitett lakosság szám (Noise in Europe 2014)

Vasúti zajterhelés jelenti a második legnagyobb környezeti zajforrást, ahogy a 2. ábrán is látható. Itt néhány ország esetében (Belgium, Finnország, Franciaország, Norvégia) 55 dB  $L_{den}$  érték fölötti terhelés által a 100 000 főnél népesebb városok esetén a lakosság több mint 5%-a érintett, míg három ország esetében (Ausztria, Svájc, Svédország) az érintettek aránya a 10%-ot is meghaladja.

A meghatározott repülési zajterheléssel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a légi közlekedés zaja szempontjából csak a repterek környezetét veszi figyelembe a jelentés, követve az END irányelv útmutatásait. Ezáltal csak az adott reptérhez köthető le- és felszállási tevékenységek képezték a kiértékelés alapját, és semmilyen átrepülés jellegű események okozta zajterhelés nem került számításba. A repterekhez kapcsolódó meghatározott  $L_{den}$  és  $L_{night}$  értékeket meghaladó terhelésnek kitett lakosság szám szintén a 10.2. ábrán látható.

### 10.3.2. Noise in Europe 2014 jelentés által meghatározott kulcsfontosságú üzenetek

A Noise in Europe 2014 jelentés az európai zajterhelés és annak következményeivel kapcsolatban a következő kulcsfontosságú üzeneteket határozta meg:

1. A zajszennyezés egy jelentős környezet-egészségügyi probléma Európában;

2. A közúti közlekedés a legnagyobb környezeti zajforrás. A becslések szerint 125 millió ember esetében az okozott közúti zajterhelés meghaladja az 55 dB  $L_{den}$  értéket;
3. A környezeti zaj évente legalább 10 000 esetben okoz idő előtti elhalálózást Európában;
4. Közel 20 millió felnőtt esetében jelentkezik zavarásérzet, és további 8 millió fő szenved környezeti zajterhelés okozta alvászavarban;
5. Évente több mint 900 000 magas vérnyomásos megbetegedés kialakulásáért felelős a környezeti zajterhelés;
6. A zajszennyezés következtében éves szinten 43 000 kórházi betegfelvételre kerül sor;
7. További értékelésre van szükség a hangtér szélesebb körű vizsgálatához, beleértve az élővilágot és a csendes területeket;
8. Nagy politikai ambíciók mutatkoznak az Európai Unió Hetedik Környezetvédelmi Akcióprogramjában, amely jelentős zajcsökkenést céloz meg 2020-ra, közeledve az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által javasolt értékekhez;
9. A teljes körű kiértékelést és a jövőbeli kilátásokat nehezíti, hogy az országokra vonatkozó expozíciók becslése nem teljes, ugyanis a várt adatoknak átlagosan csak 44%-a érkezett be a különböző országoktól;
10. Az egységes összehasonlítási és értékelési módszerek hiánya gyakran jelentős eltéréseket eredményez a terhelések becslésében a különböző országok között, vagy esetenként egy országon belül is.

### 10.3.3. Csendes területek

A környezeti zaj által érintett lakosság és területek meghatározásán túl az utóbbi időben egyre több figyelem fordul a csendes, vagy másképpen nyugodt helyek meghatározása, értékelése és kezelése iránt. Bár kifejezetten a csendes környezetnek emberi egészségre gyakorolt hatása nem ismert, mégis joggal feltételezhetjük, hogy pozitív hatással van mentális és egészségi állapotunkra, tekintettel arra, hogy a legtöbb ember értékeli, és időnként felkeresi ezen helyeket rekreációs és pihenős szándékkal.

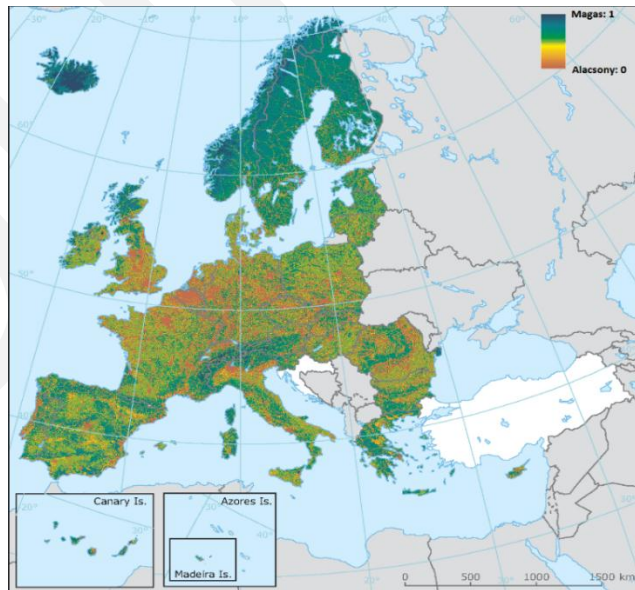
A csendes területek az END irányelv szerinti meghatározása alapján nyílt területen az illetékes hatóságok által kijelölt terület, amely háborítatlan a közlekedési, ipari és szabadidős tevékenységek zajától. A jelenlegi gyakorlat azt mutatja, hogy a módszerek és indikátorok, amelyekkel meghatározzák a csendes helyeket, széles határok között változhatnak ugyanúgy, mint a fizikai, hatás-orientált definíciók. Lehetséges a

zajindikátorokkal történő meghatározása (például városon kívül csendes helynek tekinthető a 30 és 40 dB  $L_{day}$  zajterhelésű értékkel rendelkező terület), de emellett lehetnek funkcionális szempontok, vagy nagy forgalmú közúti létesítményektől és agglomerációktól való minimális távolság kritériumok is.

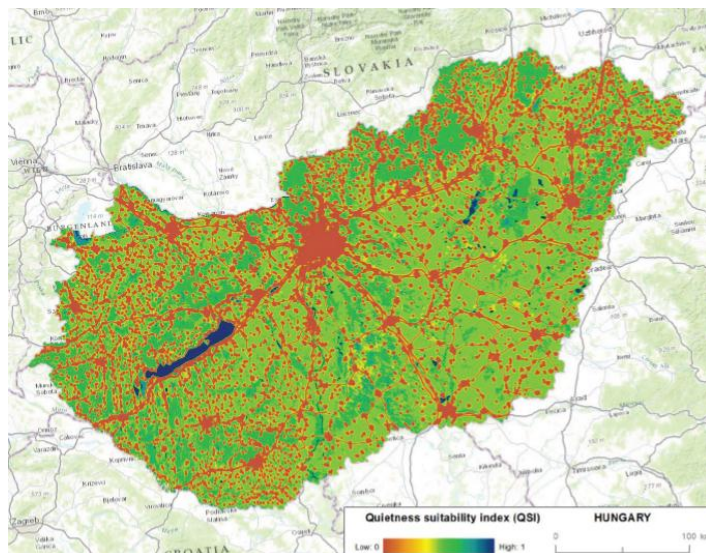
A csendes helyek meghatározásában a területre jellemző hangnyomásszinten túl, számos egyéb tényezőt is figyelembe kell venni, úgymint az emberi érzékelést, képalkotási kölcsönhatásokat és várakozásokat. Ez magában foglalja a kívánt és a nemkívánatos hang közötti egyensúlyt és a terület rekreációs értékét, továbbá hogy a nyugalom szempontjából a megfelelő hangok vannak-e jelen a területen.

Sok esetben nyugalmas környezetnek értékeljük az olyan helyeket, ahol alacsony az emberi eredetű zajszint, de a természetes hangok viszonylag hangosak. Vagyis az ember alkotta hangoknak az alacsony szintje, és a természetes hangok dominanciája segíti elő a nyugalmas érzetet. Szintén fontos további tényező az emberi építmények tájba való behatolása, vagy illeszkedése is.

A fentieket figyelembe vevő, a nyugalmas helyek azonosítására bevezetett mutató a QSI (Quietness Suitability Index), amely a fő forrásoktól való távolságtól, a hangnyomásszinttől ( $L_{den}$  indikátorral értékelt), és a terület természetességétől is függ. Az EEA 2016-os Quiet areas in Europe jelentés részletesen bemutatja a QSI indexet és összeurópai, valamint országokénti értékelést is végez. Az index értéke 0 és 1 közé eshet, ahol a minél nagyobb érték az annál nyugalmasabb környezetet jelöli. A jelentésben Európára, illetve Magyarországra közölt adatok a 10.3 és 10.4 ábrákon láthatóak.



10.3. ábra Potenciális csendes területek Európában QSI érték alapján (Quiet areas in Europe, 2016)



10.4. ábra Potenciális csendes területek Magyarországon QSI érték alapján (Quiet areas in Europe, 2016)

## Irodalmi hivatkozások

Babisch W, Dutilleul G, Paviotti M, et al. Good practice guide on noise exposure and potential health effects. European Environmental Agency, EEA Technical report 2010:2010.

Babisch W. The Noise/Stress Concept, Risk Assessment and Research Needs. Noise Health 2002; 4:1-11.

Barger LK, Cade BE, Ayas NT, et al. Extended work shifts and the risk of motor vehicle crashes among interns. N Engl J Med 2005; 352:125-134.

Basner M, Rubinstein J, Fomberstein KM, et al. Effects of night work, sleep loss and time on task on simulated threat detection performance. Sleep 2008; 31:1251-1259.

Domokos E, Horváth B, ed. Zaj- és rezgésvédelem. Pannon Egyetem - Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011.

European Environment Agency. Quiet areas in Europe. 2016;14/2016.

European Environment Agency. Noise in Europe 2014. 2014;10/2014.

Fields J, De Jong R, Brown A, et al. Guidelines for reporting core information from community noise reaction surveys. J Sound Vibrat 1997; 206:685-695.

Fields J, De Jong R, Gjestland T, et al. Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation. J Sound Vibrat 2001; 242:641-679.

- Fritschi L, Brown L, Kim R, et al. Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy years life lost in Europe. World Health Organisation, 2011.
- Hurtley C. Night noise guidelines for Europe. WHO Regional Office Europe, 2009.
- Hygge S. Environmental noise and cognitive impairment in children. 2011.
- Job R. The role of psychological factors in community reaction to noise. 1993;3:47-79.
- Joint Research Centre of the European Commission. ENNAH – European Network on Noise and Health. 2013.
- Kiss Á, Tasnádi P. Környezetfizika. Typotex, Budapest, 2012.
- Mckenna BS, Dickinson DL, Orff HJ, et al. The effects of one night of sleep deprivation on known-risk and ambiguous-risk decisions. *J Sleep Res* 2007; 16:245-252.
- Miedema H, Oudshoorn C. Position Paper on Dose Response Relationships between Transportation Noise and Annoyance. EU's Future Noise Policy, WG2–Dose/Effect 2002; 20.
- Müller G, Möser M. Handbook of engineering acoustics. Springer Science & Business Media, 2012.
- Öhrström E, Skånberg A, Svensson H, et al. Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *J Sound Vibrat* 2006; 295:40-59.
- Öhrström E. Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise—annoyance, activity disturbances, and psycho-social well-being. *J Acoust Soc Am* 2004; 115:719-729.
- Scott LD, Hwang W, Rogers AE, et al. The relationship between nurse work schedules, sleep duration, and drowsy driving. *Sleep-New York then Westchester* - 2007; 30:1801.
- Stickgold R. Sleep-dependent memory consolidation. *Nature* 2005; 437:1272-1278.
- Van Dongen HP, Maislin G, Mullington JM, et al. The cumulative cost of additional wakefulness: dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep-New York then Westchester*- 2003; 26:117-129.
- Wagner U, Gais S, Haider H, et al. Sleep inspires insight. *Nature* 2004; 427:352-355.
- Watts GR, Pheasant RJ. Identifying tranquil environments and quantifying impacts. *Appl Acoust* 2015; 89:122-127.
- Watts GR, Pheasant RJ. Factors affecting tranquillity in the countryside. *Appl Acoust* 2013; 74:1094-1103.