

DEBRECENI EGYETEM
KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Holb Imre
egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

Dr. habil Zsembeli József
tudományos tanácsadó

**AZ OPTIMÁLIS FÖLDTÖMEG-ELOSZTÁS (SZKRÉPEREZÉS)
TALAJÁLLAPOTRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK KOMPLEX VIZSGÁLATA**

Készítette:

Nagy Pál Máté
doktorjelölt

Debrecen

2025

**Az optimális földtömeg-elosztás (szkréperezés) talajállapotra gyakorolt hatásának
komplex vizsgálata**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében, növénytermesztési és
kertészeti tudományok tudományágában

Írta: Nagy Pál Máté
doktorjelölt

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskolája
(Növénytermesztési és kertészeti tudományok doktori programja) keretében

Témavezetők:

Dr. habil. Zsembeli József
tudományos tanácsadó

Az értekezés bírálói:

név	tudományos fokozat	aláírás
.....
.....

Az értekezés bírálói:

név	tudományos fokozat	aláírás
elnök:
tag:
titkár:

Az értekezés védésének időpontja:

Tartalomjegyzék

1	BEVEZETÉS	4
1.1	Témafelvetés	4
1.2	Célkitűzések	5
2	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1	A talaj funkciói és fizikai állapota.....	7
2.1.1	A talajtömörödés kialakulásának okai és jelentősége.....	10
2.1.2	A talajtulajdonságok változása tömörödés hatására	11
2.1.3	A kötött réti talajok jellemzői	12
2.2	A talajhasználat és a talajállapot összefüggései	13
2.2.1	Az okszerű talajhasználat jelentősége	13
2.2.2	A talajművelés és a talajszerkezet összefüggései	15
2.3	A belvív kialakulásának tényezői, hatásai és kezelése a mezőgazdaságban	16
2.3.1	A belvív fogalma és talajra gyakorolt hatása	16
2.3.2	A belvizek megjelenésének természeti tényezői	19
2.3.3	A belvizek megjelenésének antropogén tényezői.....	23
2.4	Digitális talajtérképezés a mezőgazdaságban	25
2.4.1	A 3D talajtérképezés alkalmazási területei.....	25
2.4.2	NDVI-alapú differenciált térképezés.....	25
2.5	A talajminőség javítása szkrépezéssel	26
2.5.1	A szkrépezés mint a precíziós gazdálkodás eleme	26
2.5.2	A szkrépezés hatása a talaj fizikai, kémiai és biológiai állapotára	30
2.5.3	A szkrépezés hatása a növényekre és a termés hozamra	35
3	ANYAG ÉS MÓDSZER	37
3.1	A mintaterület jellemzése.....	37
3.2	Az alkalmazott földtömeg-elosztási technika leírása	41
3.3	A kutatás során alkalmazott módszerek	43
3.3.1	A mintavételi pontok besorolása	43
3.3.2	A mozgatott földtömeg becslése.....	43
3.3.3	A talajminták vizsgálati módszerei.....	44
3.3.4	A talajjellenállás meghatározása penetrométerrel	44
3.4	Adatfeldolgozási és értékelési módszerek.....	46
4	EREDMÉNYEK	47
4.1	A szkrépezés hatása a táblák mezodomborzatára	47
4.1.1	A T8-as tábla domborzatának alakulása	47
4.1.2	A T9-es tábla domborzatának alakulása	49
4.1.3	A T10-es tábla domborzatának alakulása	51
4.2	A szkrépezés hatása a talaj kémhatására	53
4.2.1	A T8-as tábla talajának kémhatása	53
4.2.2	A T9-es tábla talajának kémhatása	54
4.2.3	A T10-es tábla talajának kémhatása	55
4.2.4	A kémhatás változásának értékelése.....	57
4.3	A szkrépezés hatása a talaj kötöttségére	58
4.3.1	A T8-as tábla talajának kötöttsége.....	58
4.3.2	A T9-es tábla talajának kötöttsége.....	59
4.3.3	A T10-es tábla talajának kötöttsége.....	61
4.3.4	A kötöttség változásának értékelése	62
4.4	A szkrépezés hatása a talaj összes oldott só tartalmára.....	63
4.4.1	A T8-as tábla talajának összes oldott só tartalma	63
4.4.2	A T9-es tábla talajának összes oldott só tartalma	65
4.4.3	A T10-es tábla talajának összes oldott só tartalma	66

4.4.4	Az összes oldott sótartalom változásának értékelése.....	68
4.5	A szkrépezés hatása a talaj szénsavas mésztartalmára.....	69
4.5.1	A T8-as tábla talajának szénsavas mésztartalma.....	69
4.5.2	A T9-es tábla talajának szénsavas mésztartalma.....	70
4.5.3	A T10-es tábla talajának szénsavas mésztartalma.....	72
4.5.4	A szénsavas mésztartalom változásának értékelése.....	73
4.6	A szkrépezés hatása a talaj humusztartalmára.....	75
4.6.1	A T8-as tábla talajának humusztartalma.....	75
4.6.2	A T9-es tábla talajának humusztartalma.....	76
4.6.3	A T10-es tábla talajának humusztartalma.....	77
4.6.4	A humusztartalom változásának értékelése.....	78
4.7	A szkrépezés hatása a talaj foszfortartalmára.....	79
4.7.1	A T8-as tábla talajának foszfortartalma.....	79
4.7.2	A T9-es tábla talajának foszfortartalma.....	81
4.7.3	A T10-es tábla talajának foszfortartalma.....	82
4.7.4	A foszfortartalom változásának értékelése.....	84
4.8	A szkrépezés hatása a talaj káliumtartalmára.....	85
4.8.1	A T8-as tábla talajának káliumtartalma.....	85
4.8.2	A T9-es tábla talajának káliumtartalma.....	87
4.8.3	A T10-es tábla talajának káliumtartalma.....	88
4.8.4	A káliumtartalom változásának értékelése.....	89
4.9	A szkrépezés hatása a talaj nátriumtartalmára.....	91
4.9.1	A T8-as tábla talajának nátriumtartalma.....	91
4.9.2	A T9-es tábla talajának nátriumtartalma.....	92
4.9.3	A T10-es tábla talajának nátriumtartalma.....	94
4.9.4	A nátriumtartalom változásának értékelése.....	95
4.10	A szkrépezés hatása a talaj magnéziumtartalmára.....	97
4.10.1	A T8-as tábla talajának magnéziumtartalma.....	97
4.10.2	A T9-es tábla talajának magnéziumtartalma.....	98
4.10.3	A T10-es tábla talajának magnéziumtartalma.....	100
4.10.4	A magnéziumtartalom változásának értékelése.....	101
4.11	A szkrépezés hatása a talaj kén tartalmára.....	103
4.11.1	A T8-as tábla talajának kén tartalma.....	103
4.11.2	A T9-es tábla talajának kén tartalma.....	104
4.11.3	A T10-es tábla talajának kén tartalma.....	105
4.11.4	A kén tartalom változásának értékelése.....	107
4.12	A szkrépezés hatása a talaj penetrációs ellenállására.....	108
4.13	A szkrépezés hatása a hozamokra.....	111
4.13.1	A T8-as táblán mért hozamok alakulása.....	112
4.13.2	A T9-es táblán mért hozamok alakulása.....	114
4.13.3	A T10-es táblán mért hozamok alakulása.....	116
4.13.4	A terméseredmények értékelése.....	118
5	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	120
6	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	126
7	GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK.....	128
8	ÖSSZEFOGLALÁS.....	129
9	SUMMARY.....	132
10	IRODALOM.....	135
	PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN.....	146
	TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	150
	ÁBRAJEGYZÉK.....	153
	NYILATKOZATOK.....	156

1 BEVEZETÉS

1.1 Témafelvetés

Hazánk egyik legnagyobb kincse a termőföld, kulcsfontosságú eleme a mezőgazdasági termelésnek, amely a gazdasági életet nagymértékben befolyásolja. A mezőgazdaság, mint ágazat sikere vagy sikertelensége, társadalmunk egyik szereplője számára sem közömbös. A mezőgazdasági tevékenység a történelem során és napjainkban is, megélhetést, gazdasági gyarapodást és fejlődést jelentett az adott területen élő gazdálkodó ember számára. Annak érdekében, hogy egy sikeres gazdálkodói tevékenység hosszú ideig folytatható legyen egy adott területen, mindenképpen meg kell őrizni a talajok termékenységét.

A talaj állapota megítélhető a művelhetőség, a növénytermesztésre való alkalmasság és a környezetre gyakorolt hatások szerint. Optimálisnak nevezzük azt a talajállapotot, amikor a növénytermesztés az adott területen nagy biztonsággal végrehajtható (Reynolds et al. 2002), valamint a talajművelési eljárások különböző talajnedvességi állapotok mellett is elvégezhetőek. Az optimális talaj további kritériuma, hogy a benne zajló kémiai, fizikai és biológiai folyamatok ne rontsák se a talaj se a környezet állapotát. Amennyiben az adott talajon csak költséges agrotechnikai beavatkozások segítségével lehet eredményesen növénytermesztést folytatni, akkor a talajt kedvezőtlen állapotúnak nevezzük, ilyenkor a talaj fizikailag (pl. levegőtlen, erősen tömörödött, rossz vízgazdálkodású, poros szerkezetű), kémiailag (pl. másodlagosan szikesedett, savanyú) vagy biológiailag (pl. alacsony alga, gomba, sugárgomba, baktérium aktivitás) károsnak minősül (Birkás 2006). Napjainkra a talajok fizikai degradációja, szerkezet leromlása világméretű problémává nőtte ki magát (Wibaux 2024). Magyarországon, különös tekintettel a klímaváltozásra és az agrárpolitikai szabályozásokra, igen kevés az olyan alkalom, amikor optimális időben és állapot mellett végezhető el a termőhelyhez igazított talajművelés. Ez a probléma közvetlen környezetemben, a Tiszántúlon is nagy területet érint, úgy érzem, érdemes erre a témára hangsúlyt fektetni. Kutatómunkám témaválasztásánál a talajdegradációs problémák feltárása, a probléma újszerű megközelítése vezérelt, különös tekintettel a talaj felszíni egyenlőtlenségeinek vizsgálatára. A problémák feltárásához fel kell térképeznünk talajaink 3D-s domborzati modelljét, hogy képet kapjunk, milyen mértékű felszínformálást kell végrehajtanunk. Sok esetben tapasztalható, hogy a felszíni összefolyás, főként kötöttebb talajokon nagy kiterjedésű belvizet eredményez, ez pedig termés depressziót és művelésből való kiesést eredményez.

Magyarországon az aszály és a belvíz egyaránt veszélyeztetik a mezőgazdasági termelés kiszámíthatóságát. A belvíz kialakulása hazánk vízföldrajzi szempontból meghatározó medencejellegéből adódik, ami a belvíz megjelenését általános problémává teszi az Alföldön (Szesztay 2000). A belvíz időszakosan előforduló jelenség, amely az alföldi területek sajátos vízfórmája, kiterjedt, síkvidéki térségeket borítva el (Pálfai 1994). A belvíz, amely évente akár többször is megjelenhet, nemzetközi összehasonlításban is egyedi probléma, amely különösen Magyarországra jellemző (Bárdos és Muhoray 2012). Hazánkban a belvíz által erősen és nagyon erősen veszélyeztetett területek nagysága körülbelül 530 ezer hektár (Körösparti et al. 2022).

Az éghajlatváltozás következtében az extrém időjárási események egyre gyakoribbá válnak, és ezek az események növelik a helyi vízkárokkal érintett területek arányát. Az Alföld mélyfekvésű, nagy agyagtartalmú, gyenge vízáteresztő képességű talajain, különösen ott, ahol a helytelen talajművelés következtében évek alatt egy felszínközeli, elzáródott, szinte vízzáró réteg alakult ki, a belvíz szinte minden csapadékos tél után megjelenik (Birkás et al. 2009).

A belvíz kialakulását számos tényező befolyásolja, amelyek közül a talajviszonyok, a geológiai sajátosságok és a domborzati jellemzők viszonylag állandónak tekinthetők (Bozán et al. 2008). A felszíni káros vizek elvezetése csak megfelelő meliorációs és agrotechnikai beavatkozások (például talajjavítás, helyes talajművelési rendszer, mélylazítás, vakondjárat-drénezés stb.) komplex alkalmazásával érhető el (Thyll et al. 1983). Az ilyen meliorációs beavatkozások egyike lehet a kaparás, amely magában foglalja a domborzat teljes átalakítását, a felszín szintezését, valamint egy kívánt irányú lejtés kialakítását (Ligetvári et al. 2004).

1.2 Célkitűzések

Kutatómunkám általános célja a síkvidéki, mezőgazdasági hasznosítású, kedvezőtlen víz- és levegőforgalmú, belvizzel érintett alföldi talajok állapotának, fizikai degradációjának és domborzati modelljének vizsgálata volt. Olyan összefüggések feltárása, melyek a talajok termékenységét befolyásoló, a felszíni egyenlőtlenlégek okozta fizikai és kémiai változásokat jellemzik. Ezen összefüggések megismerése hozzájárulhat az egyes termőhelyeken bekövetkezett fizikai és kémiai talajdegradáció létének és mértékének meghatározásához, illetve azon lehetőségek feltárásához, amelyekkel a probléma

megszüntethető. A belvízzel érintett területek egyik alapvető melioratív és rekultivációs kezelésének eszköze az optimális földtömeg elosztás szkréper (scraper) láda segítségével.

A szkrépezés céljai:

- a nehezen művelhető területek javítása, az időszakos belvizek megszüntetése,
- a kezelésen átesett talaj rekultivációja, mint például a talajélet-regenerálás, vagy a termőréteg átrendeződésének helyreállítása.

Kutatásomban a talajdegradáció problémáit újszerű megközelítéssel vizsgáltam, különös tekintettel a talajfelszín egyenetlenségeire. Kutatómunkám céljait a következőképpen határoztam meg:

- A még bolygatatlan talaj 3D-s domborzati modelljének elkészítése, amely alapján a mérési pontok kijelölhetők.
- A precíziós eszközökre alapozott, differenciált talajmozgatás eredményességének vizsgálata.
- Az átmozgatott talaj fizikai, kémiai állapotára és a termesztett növény hozamára gyakorolt hatások megállapítása.

2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A talaj funkciói és fizikai állapota

Amióta az ember állattenyésztéssel, majd földműveléssel foglalkozik, figyelmet fordít a talajra, mint a gazdálkodás sikerének egyik fontos tényezőjére. A talaj fogalma az évezredek érdeklődés, odafigyelés ellenére is csak néhány évtizede alakult ki. Ahogy a földdel foglalkozó tudományok szintje fejlődött, úgy alakult, fejlődött a talaj meghatározása is. A talajt úgy határozhatjuk meg, mint a földkéreg felső szilárd rétege, amely egy biológiailag aktív, porózus közet. Gázok, folyadékok és szerves ásványok keveréke alkotja ezt a közetet és élőhelyül szolgál állatoknak, növényeknek, gombáknak, mikroorganizmusoknak, valamint termesztett növényeink termőhelyét is adja (Stefanovits 1992; Sposito 2024). A talaj és a környezet többi eleme, az alapközet, a légkör, a víz, a biota és a növényzet sokoldalú összefüggésben hat egymásra, és ezek hatására válik a talaj sajátos természeti erőforrássá (Várallyay 1989; Brady és Weil 1999; Németh et al. 2005).

A fenntartható fejlődés alapeleme, hogy az egyik legfontosabb természeti erőforrásunkat képező talajkészleteinket észszerűen hasznosítsuk, védjük, állapotát megőrizzük, valamint sokoldalú funkcióját fenntartsuk (Rosenzweig és Hillel 2000). A talaj fenntartható használata nemcsak a földhasználó, de a földtulajdonos és az állam közös érdeke és feladata, amely végsősoron az egész társadalom részéről megkülönböztetett figyelmet kellene élvezzen. Ehhez olyan átgondolt és összehangolt kezelések és intézkedések lennének szükségesek, amelyekkel hosszú távon biztosítható talajaink optimális állapotának fenntartása (Várallyay 1994, 1996, 1997a).

A fenntartható fejlődés megvalósítása során egyre nagyobb figyelem fordul a talaj optimális állapotának megőrzésére. Ehhez a talaj sokrétű funkcióinak kihasználására segítséget nyújt. E funkciók közül az egyik legfontosabb, hogy a talaj egy feltételesen megújuló természeti erőforrásként képes megőrizni minőségét, feltéve, hogy használata ésszerű keretek között történik (Várallyay 1997a, 1997b, 1998; Nagy et al. 2004).

A fenntartható talajhasználat érdekében kiemelkedő jelentőséggel bír a talajvédelem és a melioráció, amelyek biztosítják a talaj termőképességének és funkcióképességének zavartalan fenntartását. A talaj fontos szerepet tölt be a természeti erőforrások, így a napenergia, a levegő, a felszíni és felszín alatti vizek, valamint a biológiai erőforrások közötti kapcsolatok szabályozásában (Bíró 2005). Életeret biztosít a benne élő élőlények számára, miközben termőhelyül szolgál a termesztett növényeknek és a természetes

vegetációnak is. A talaj egyedülálló módon képes támogatni a primer biomassza-termelést, hiszen tartalmazza a növények számára szükséges vizet, levegőt és tápanyagok összességét (Láng 2005).

A talaj hozzájárul a felszínközeli légkör hőmérsékleti ingadozásainak mérsékléséhez, valamint a mikroorganizmusok és a növények számára szükséges víz- és tápanyagellátás biztosításához. A talaj nagy pufferkapacitással rendelkezik, ami lehetővé teszi, hogy ellenálljon a különböző stresszhatásoknak, legyenek azok természeti eredetűek (pl. aszály, fagy) vagy emberi tevékenység (pl. mezőgazdasági gépek, vegyi anyagok használata) következményei (Várallyay 2005). Sajnos a túlzott talajhasználat ezt a pufferkapacitást sok esetben kihasználja (Stefanovits 2005).

Egy másik lényeges funkció a talaj szűrő- és detoxikáló szerepe, amely képes megóvni a mélyebb talaj- és vízrétegeket a szennyeződések behatásától. Ez a képesség különösen fontos az ivóvíz minőségének védelme szempontjából (Kádár 2005). A talaj továbbá a bioszféra fontos gén-rezervoárjaként is működik, hiszen az élő szervezetek számos faja közvetlenül vagy közvetve a talajhoz kapcsolódik, ezáltal a talajnak kiemelt szerepe van a biodiverzitás fenntartásában. Végül, de nem utolsó sorban, a talaj a történelmi örökségek hordozója, hiszen a múltbeli emberi tevékenység számos nyomát őrzik meg, amelyek fontosak lehetnek a történelmi kutatások és a kulturális örökség megőrzése szempontjából.

E funkciók fontossága, jelentősége térben és időben egyaránt változott és változik ma is. Az, hogy hol és mikor melyik funkciót hasznosítja az ember, az adott gazdasági helyzettől, szocioökonómiai körülményektől és politikai döntésektől, és az ezek által megfogalmazott céloktól függ. Hosszú időn keresztül csak a biomassza termeléssel kapcsolatos funkciók voltak fontosak, elsősorban a talaj termőképessége, termékenysége volt közismerten fontos (Várallyay 1994). A terméshozam volt szinte az egyetlen értékmérő, valamint a nagy termés elérése a fő cél a talaj hasznosítása során. Később társultak ehhez a minőségi követelmények, a gazdaságosság, majd később a környezetvédelmi követelmények (Ángyán et al. 2005). Szélsőséges csapadékviszonyok esetén felértékelődött a talaj „vízraktározó” funkciója; az intenzív műtrágyázás időszakában, majd a műtrágyák állami dotációjának megszűnése után „tápanyagraktározó” funkciója. Sajnos a talajt érő stresszhatások és az ezek hatására bekövetkező káros folyamatok köre egyre szélesebb, azok egyre erősebbek, egyre inkább fenyegetik talajkészleteinket. Emiatt különös jelentőséget kapnak a talajok pufferszűrő-detoxikáló-génrezervoár funkciói. Elsősorban a különböző stresszhatásoknak erősen kitett,

szennyezett vagy a szennyeződés által fenyegetett, illetve különösen érzékeny területeken (ivóvízbázisok területe, védett területe és azok pufferzónái stb.), (Németh et al. 2005; Kátai és Sándor 2011).

Mindezek csak erősítik azt az alaptételt, hogy a talaj és talajhasználat, valamint a környezet közötti kölcsönhatás lényegében kétoldalú. A talajhasználat káros hatásai egyrészt talajkészleteinket, azok sokoldalú funkcióinak zavartalanságát veszélyeztetik, másrészt fenyegetést jelentenek környezetünk többi elemére, különösen a talaj élővilágára, a talajvíz készletre, de közvetetten a teljes élővilágra és a tájra is. (Kátai és Sándor 2011). Azon hatások kivédése, megszüntetése és megelőzése tehát, amelyek a talajt károsítják nem csak magát a talajvédelmet szolgálják, hanem a környezetvédelemnek és ezen belül az agrár-környezetvédelemnek lényegi részét képezik (Szűcs 2005; Kátai és Sándor 2011). A talajvédelem nem korlátozódhat csupán a kedvezőtlen talajhasználati hatások megelőzésére, hanem – a környezetvédelem szerves részeként – ki kell terjednie a talajt érő egyéb környezeti hatások felügyeletére és szabályozására is (Várallyay 1996, 1997a).

A talajok állapotának ismerete a gazdálkodók számára az egyik legfontosabb feladat (Farkas és Gyuricza 2006). Ezen ismeretekre támaszkodva dönthetnek az elvégzendő talajmunkák időpontjáról, a tápanyag-utánpótlás mennyiségéről és minőségéről, vagy esetlegesen az öntözés tervezéséről.

A mezőgazdasági termelés alapja, helye és közege a talaj. A termelésre szánt növény életfeltételeit és lehetőségeit a talaj fizikai, kémiai és biológiai állapota határozza meg. Ezeket az állapotokat az emberi tevékenységek intenzívebben határozzák meg, mint a természeti tényezők. A talajműveléskor alkalmazott agronómiai eljárások, termesztéstechnológiák, talajhasználati rendszerek és módszerek igen sokrétűek. Azt nevezzük a növény számára kedvező talajállapotnak, ha fizikai szempontból lazult, ezáltal kedvező víz- és levegőgazdálkodású. Ha ezek a tényezők nem megfelelőek talajainkon vagyis erősen tömör szerkezetű, túlzottan poros vagy levegőtlen anaerob állapotok uralkodnak, akkor fizikai talajjavítást kell alkalmazni (Zsembeli 2006).

A talajok egzakt jellemzésére különböző fizikai paraméterek szolgálnak, mint például a talaj színe és textúrája, a talajszemcsék mérete, a talaj sűrűsége és térfogattömege, a talaj szerkezete és porozitása (Peng et al. 2009), valamint a talaj vízgazdálkodása (Kátai és Sándor 2011).

A talaj külső, mechanikai terhelésekkel szembeni ellenálló képességét a talaj szilárdsága más néven konzisztenciája határozza meg. A talaj szilárdágát befolyásoló tényezők a

következők: nedvességtartalom, a szemcse- és agyagásvány összetétel, a kicserélhető kationok mennyisége és összetétele, a szervesanyag-tartalom, a térfogattömeg, a pórusok méret szerinti eloszlása és kontinuitása. Ezen tulajdonságok közül a nedvességtartalom, a szemcseösszetétel és a szervesanyag-tartalom szerepe a legjelentősebb. Ha a fellépő mechanikai terhelés mértéke meghaladja a talaj szilárdságát, abban az esetben a szilárd alkotórészek gyakorlati összenyomhatatlansága miatt a talaj pórustere csökken, térfogattömege nő, penetrációval szembeni ellenállása nő. Kijelenthetjük, hogy fellép a tömörödés, mivel ekkor a talajrészecskék közelebb kerülnek egymáshoz, térbeli elrendeződésük megváltozik, nagyobb felületen érintkeznek (Birkás 2006).

2.1.1 A talajtömörödés kialakulásának okai és jelentősége

A talajtömörödés egy olyan fizikai degradációs folyamat, amely során a mechanikai nyomás hatására a levegő kiszorul a talajból és a talaj térfogata csökken. A talaj tömörödése magával hozza a porozitás és az áteresztőképesség csökkenését és egyúttal emeli a talaj ellenállását és sűrűségét (Birkás 1993). Magyarországon a talajok 34,8%-a érzékeny a tömörödéssel szemben (Németh et al. 2005). Mivel ez Magyarország jelentős területét jelenti, fontos, hogy védjük talajainkat a tömörödéssel szemben.

A talaj tömörödésének mértékét és milyenségét számos tényező befolyásolja, beleértve a talaj típusát, mechanikai összetételét, a cementáló anyagok jelenlétét, valamint az alkalmazott agrotechnikai eljárásokat, beszélhetünk felszín alatti és felszíni talajtömörödöttségről. Emellett a szerkezeti stabilitás változásai és különböző stresszhatások – legyenek azok természetes vagy emberi eredetűek – szintén hozzájárulhatnak a tömörödési folyamatokhoz (Lipiec et al. 2003).

A talaj természetes állapotában is jelentkezhethet tömörödöttség, egyes talajtípusok különböző szintjeinek tömörödöttsége maga a talajtípus adottsága is lehet. Ilyen például a talaj fekvése, minősége és magának a talaj tömegének a tömörítő hatása. A talajképző folyamatok hatására szintén kialakulhatnak tömődött rétegek, szintek, valamint a talajvíz vagy belvíz is kialakíthat tömörödött rétegeket. Talajtani okok, az alacsony szervesanyag-tartalom, a leromlott szerkezet is okozhatnak tömörödést. A talaj tömörödés legjellemzőbben a kevés szerves és szervesetlen kolloidot tartalmazó genetikai szinteken alakul ki (Szabolcs és Várallyay 1978).

Emberi tényezők közé sorolható a kultúrnövények okszerűtlen termesztése (vetésforgó elmaradása, monokultúrás termelés), a nem megfelelő talajnedvességi állapotokban

történő művelés, periodikus mélységű művelés elhagyása, mélyművelés hiánya. Horn és munkatársai (1995) szerint a tömörödés kialakulásának egyik fő oka a nehéz gépek alkalmazása a mezőgazdasági művelés során. Ilyen például a művelőtalpréteg, ami a nem megfelelő nedvességtartalomnál végzett művelés következménye. További károkat tudnak okozni a művelő elemek kenései, gyúrásai, valamint a járószerkezetek csúszásai a nedves talajon. Megoldást jelenthet a járószerkezetek talajjal érintkezett felületének növelése, amivel csökkenteni tudjuk a talajra gyakorolt nyomást. Ilyen megoldások a gumiabroncs nyomásának csökkentése, vagy a gumihevederes szerkezet alkalmazása.

2.1.2 A talajtulajdonságok változása tömörödés hatására

A talajtömörödés hatására nő a talaj térfogattömege és mechanikai ellenállása, és csökken a porozitása. A porozitás csökkenésének egyenes következménye, hogy a talaj vízbefogadó képessége és vízáteresztő képessége is romlik, valamint nehezebbé válik a biológiai tevékenység megőrző szerepe a romló levegő és hőgazdálkodás miatt. (Nyíri 1993; Füleky 2011). Ez a szerkezeti romlás gyakran nem látható a felszínen, így a probléma azonosítása csak fizikai vizsgálatokkal és monitoring segítségével lehetséges. (McGarry and Sharp 2001) Károsan tömörödöttnek nevezzük azt a talajt, amelynek az összes pórustérfogata 40% alá csökken, a térfogattömeg eléri az 1,60-1,70 g/cm³, a behatolási ellenállás (nyirkos talajban mérve) meghaladja a 2,75-3,0 MPa értékeket (Birkás 2006).

A tömörödés a talaj szervesanyag-tartalmának mineralizációját is befolyásolja, amely a talaj szén- és nitrogénkörforgásában is zavart okozhat (Neve és Hofman 2000). Emellett módosulhat a talaj CO₂-koncentrációja is, ami további hatással lehet a talajbiológiai aktivitásra (Conlin és Driessche 2000). A talajtömörödés különösen tartós a mélyebb talajrétegekben, ahol a természetes vagy mesterséges fellazítás hatékonysága csekély, emiatt az Európai Unió is a talajdegradáció egyik súlyos formájaként ismeri el (Akker és Canarache 2001).

A már tömörödött talajokon csökkennek a pórusok méretei és a talajalkotó részek közötti kapcsolat is megváltozik. A pórustér, különösen a makropórusok arányának csökkenése, negatívan befolyásolja a vízbefogadást és -vezetést, valamint az oxigénellátottságot. (Hamza and Anderson 2003), mivel a lecsökkent gravitációs pórusok mennyiségével párhuzamban csökken a vízbefogadó képesség és nő a gravitációval szemben megtartott vízmennyiség. A lecsökkent pórus szám gátolja a gázok transzportját (Klimes-Szmik

1957). A részecskék közötti megváltozott kapcsolati ok miatt romlik a talaj művelhetősége. Ennek következtében nő a vonóerő és üzemanyagigény. A lemezessé vált talajon gátolt a növény gyökérzetének fejlődése, ez által csökken a víz és tápanyagfelvétel. A növények korai fejlődési stádiumában ez különös gondot okoz. Vontatott kelés, vagy esetlegesen a cserepesedés hatására a csíranövény pusztulása is megfigyelhető.

A levegőtlené vált talaj akadályozza az aerob folyamatokat. Az anaerob környezet lehetőséget teremt a denitrifikációs folyamatoknak, aminek következtében csökken a talaj nitrogéntartalma. A talaj kémhatásának megváltozása miatt a többi tápanyag is nehezen felvehetővé válik. Ezek a hatások talajminőség romlást, terméscsökkenést és különböző káros degradációs folyamatokat okoznak. Tömörödött talajban a szerves maradványok feltáródása helyett rothadnak, penészesedés lép fel, növényi mérgek keletkeznek, és a lassan feltáródó lignin talajuntságot idézhet elő (Birkás 2006; Farkas és Gyuricza 2006). A lassú mineralizációs folyamatok miatt nem végezhető kímélő és energiatakarékos művelés.

A legszembetűnőbb következményei a túlzottan tömör talajnak a vízpangás, az eliszapolódás, a cserepesedés, a kémiai anyagok felhalmozódása és a talajnedvességforgalom gátlása (Birkás 2002). Ilyen szélsőséges körülmények között a termesztett növény gyökerei inkább vízszintes irányba nőnek, fejlődésük vontatott, nehezebben viselik a hőstresszt, hamarabb kerülnek vízhiányos állapotba.

A felvehető víz mennyisége jelentősen lecsökken kötött talajon, ezért előfordulhat az, hogy egy-egy növény levegőigényét kielégíti, míg vízigényét nem képes fedezni, akár egy 70%-os relatív nedvességtartalomnál (Ruzsányi 1997).

2.1.3 A kötött réti talajok jellemzői

Pető és Barczy (2012) szerint a kötött réti talajok kialakulásában meghatározó szerepet játszik az időszakos vízhatás, amely lehet a felszíni vízborítás vagy a közeli talajvíz következménye. A vízzel telített, levegőtlen állapot kedvez a sajátos szervesanyagképződésnek és az ásványi részek redukciójának, amely a réti talajokra jellemző sötét, szürkés-fekete humuszos réteget eredményezi. A humuszanyag rendszerint vasvegyületekkel kapcsolódik, így a humuszos szint éles határú, szervesanyag-tartalma pedig jelentős (Demeter et al. 2013). Fizikai tulajdonságait a magas agyagtartalom határozza meg. Ez erősen befolyásolja vízgazdálkodásukat, hiszen a talaj egyszerre képes

nagy mennyiségű vizet visszatartani és a száraz időszakokban erőteljesen repedezni (Tóth et al. 2014). A talajfelszín kiszáradását követően sűrű, kemény réteg alakul ki, amely akadályozza a víz és a levegő mozgását, tovább nehezítve a növények gyökérfejlődését. A túlzott nedvesség és a tavaszi levegőtlenység gyakran gátolja a nitrogén feltáródását, így a természetlag nedves években alacsony, míg szárazabb periódusokban kedvezőbb lehet (Fekete és Stefanovits 2002).

Kémiai szempontból a réti talajokra jelentős humusztöke jellemző, amely azonban csak részben áll a növények rendelkezésére. A foszfor erősen megkötődik, a nitrogén pedig lassan hasznosul, míg a kalcium- és magnéziumsók helyenkénti felhalmozódása a talaj szerkezetét és termékenységét is befolyásolja (Fórizs et al. 2001; Hamuda et al. 2009). A szervesanyag-feltöltöttség és a változó vízhatás következtében a mikrobiológiai aktivitás élénk, amely hozzájárul a talaj ökológiai funkcióinak fenntartásához (Prettl et al. 2022).

2.2 A talajhasználat és a talajállapot összefüggései

2.2.1 Az okszerű talajhasználat jelentősége

A talajhasználat a szántóföldön a különböző biológiai igényű és hatású növények és termesztési technológiáik összessége. A termőhely és a termesztési technológia közötti összhang megteremtése fontos a fenntarthatóság szempontjából (Birkás et al. 1999). Ha ez az egyensúly nem jön létre, az károsítja a termőhelyet és az élőhelyet egyaránt. A szántóföldi talajhasználat akkor kedvező, ha a termőhelyi adottságokhoz és a gazdálkodási feltételekhez igazodik a növénytermesztés során, így a talaj nem szenved egyre halmozódó károsodást. Kedvezőtlen talajhasználat esetén a termesztéstechnológia egyes elemei vagy egésze rontják a talaj és a környezet állapotát is. A talajhasználat minőségét befolyásoló tényezők közül alapvetőek a talajművelési eljárások, a tápanyag ellátottság és a növényi sorrend. Ezek mellett a fajtaválasztás, a trágyázás, a növényvédelem és az öntözés szintén befolyásoló tényezőként hatnak a növénytermesztésre, mivel közvetlenül alakítják a termelési folyamatot és a talaj állapotát (Birkás 2001).

A talajművelés a talaj állapotán keresztül befolyásolja a növénytermesztés eredményességét. A klasszikus szerzők többsége úgy tartotta, hogy a talaj termőrétegének termesztésre alkalmas állapotba hozása, és megtartása biztosítja a növényeknek a jó „álláshelyet”. Az „alkalmas”, többnyire a fizikai állapotra, a kellő mélységig kialakított kedvező lazultságra vonatkozott. A talajok biológiai tevékenységének már az 1800-as

évek végén Manninger G. Adolf, majd a talajfizikai kutatások fellendülésével egyidejűleg (1960-as években) Kemenesy Ernő tulajdonítottak nagyobb jelentőséget. Az 1980-as években a fejlett országokban több szerző (Kladivko et al. 1986; Blum 1990; Brussaard és van Faassen 1994) a talajok biológiai állapotát a talaj minőség fokmérőjének tartották, és felhívták a figyelmet a biológiai talajállapot javítás fontosságára. Kimutatták azt is, hogy a fizikai és a biológiai talajdegradáció között szoros az összefüggés, és a minőség megtartása érdekében mindkettőre figyelmet kell fordítani. Megjegyzendő, hogy a talajok biológia tevékenysége a fizikai állapotjavítás eredményességének stabilizálásában is fontos szerepet játszik (Szabó et al. 1986).

A különböző talajdegradációs folyamatok Magyarországon is nagy területeken akadályozzák a talaj különböző célú hasznosíthatóságát. Ezek közül a legfontosabbak (Szabolcs és Várallyay 1978):

- víz- vagy szél okozta talajerózió,
- savanyodás,
- szikesedés,
- fizikai degradáció (szerkezet leromlás, tömörödés),
- a talaj vízgazdálkodásának szélsőségessé válása,
- biológiai degradáció,
- növényi tápanyagforgalom kedvezőtlen megváltozása,
- a talaj pufferkapacitásának csökkenése,
- talajszennyezés.

A talajvédelem a talajpusztulás megakadályozása, hatékony védelem a környezet és/vagy a gazdálkodás fenntartása érdekében (Birkás et al. 2000). Eredményes gazdálkodás degradált, erodált talajon nem folytatható, és az ilyen talajokon végzett termelőtevékenység tovább súlyosbítja a talaj és a környezet állapotát is (Birkás 1995; Fekete 1996; Jolánkai et al. 1997). A talajállapot javító és fenntartó művelés agronómiai és környezetvédelmi előnyökkel jár, csökken a tömörödés (Håkansson és Voorhees 1997), az elporosodás veszélye, a szén-dioxid kibocsátás és ezen keresztül a szervesanyag fogyás (Gyuricza 2000). Ezek az előnyök a talaj kíméletes bolygatásának, és a talajon járás mérséklésének (Lipiec és Simota 1994) következtében állnak elő. A szántóföldi művelés alatt álló talajokon a mechanikai beavatkozások számának redukálása, a tarlómaradványok felszínen hagyása (részlegesen, vagy teljesen) azonban újabb kérdéseket vetnek fel: a kímélő és a talajvédő művelés hogyan befolyásolja a szén-dioxid

kibocsátást, és milyen hatással van a talaj agronómiai szerkezetére, valamint, hogy az erózió ellen milyen hatással alkalmazható.

A fentiek nyomán a termesztéstechnológia és a környezetvédelem közti harmónia kialakítására és fenntartására alkalmas módszereket célszerű kidolgozni, és azokat biológiai hatásaik szerint is elbírálni és rangsorolni. A fizikai és a biológiai talajdegradáció közötti szoros a kapcsolat. Várallyai (2000) előbb a kiváltó okok megismerésére, majd a károk enyhítésére és megelőzésére hívja fel a figyelmet. A talaj minőséget befolyásoló mindkét tényező függ a talajhasználatától, és azon belül a művelés közvetlen és közvetett hatásaitól.

2.2.2 *A talajművelés és a talajszerkezet összefüggései*

A fenntartható mezőgazdasági termelés alapfeltétele a költségtakarékos talajművelési rendszereknek való ismerete, amelyek megőrzik a talajok szerkezetét, fizikai állapotát, valamint biztosítják a természeteni kívánt növények megfelelő talajállapotát (Gyuricza 2000).

Az eredményes növénytermesztés érdekében célszerű figyelembe venni néhány tényezőt a talajművelési folyamatok megkezdése előtt. Elsődleges szempont a növények talajállapot igénye (magágy minőség, vetésmélység), állandó és változó talajtényezők és a talajművelés hatástartalma. A talajművelés a talaj szerkezetének megváltoztatásával - elsősorban annak porozitási és morfológiai viszonyait módosítva – közvetlen módon befolyásolja a talajbeli vízmozgást és a nedvességtartalmat (*1. táblázat*), így közvetve lényegesen kedvezően hat és elősegíti a növényi mag csírázását és a gyökérfejlődést is.

1. táblázat: A víz talajba jutásának folyamata és befolyásolása talajműveléssel (Nyíri 1993) nyomán

vízbefogadás	
I. víznyelő képesség	II. vízáteresztő képesség
felszínközeli folyamat	felszín alatti folyamat
a legfontosabb ráható tényezők	
1. a felületre jutó víz fizikai romboló hatása	1. a talajpórusok mennyisége és minősége
2. a talaj eliszapolódásra való hajlama	2. a talaj duzzadásra való hajlama
a megváltoztatás módja	
felszíni ráhatással	mélyiségi ráhatással

Stefanovits (1992) véleménye szerint a művelés módját, idejét és eredményességét nagyban befolyásolják a talajtulajdonságok, valamint a talajban bekövetkező változások.

Szintén befolyásolják a talajművelés minőségét az állandó és változó talajtényezők. Állandó tényezők közé soroljuk a talaj sűrűséget, kötöttségét, fizikai féleségét, a talaj konzisztencia jelenségeit (szilárdság, képlékenység, viszkozitás, tapadás), a talaj szerves anyag tartalmát, a talaj kémiai és biológiai tulajdonságait. A változó talajfizikai tényezők közé soroljuk a talajok térfogattömegét, pórustérfogatát, ellenállását, nedvességtartalmát, szerkezetét, a talaj agronómiai állapotát, valamint hordképességét (Birkás 1995, 2001). Kazó (1995) vizsgálatai agyagos vályog és vályog talajok fizikai jellemzőinek romlását mutatta ki. Ezek a kutatások azt bizonyították, hogy a talajok vízgazdálkodási tulajdonságai nagymértékben romlanak nagytömegű erő- és munkagépek táblán történő mozgás következtében. Mivel az utóbbi évtizedben jelentősen megnőtt a mezőgazdaságban alkalmazott erőgépek tömege, ez által a talajfelszín ért mechanikain terhelés is fokozódott. A legfőbb problémát az jelenti, hogy az erőgépek tömegének növekedése nem vonta maga után a gumiabroncsok talajjal érintkező felületének lényeges változását (Soane és van Ouwerkerk 1994).

Ennek a problémának egyik megoldását jelenti az erő- és munkagépek csökkentése vagy a járószerkezetek felületének növelése, esetleg mindkettő egy idejű alkalmazása, aminek következtében jelentősen mérsékelhető a talajra gyakorolt nyomás. Ezen kutatások alapján fejlesztették ki a gumihevederes járószerkezeteket, a dupla, vagy tripla kerekes futóművet és az alacsony profilú változtatható nyomású gumiabroncsokat, melyek lehetővé teszik a műúton megfelelő és biztonságos vontatási sebességet és a táblán történő mozgás során a talajok védelmét. A talaj térfogattömegében 35-40%-os különbség volt mérhető kerekes és gumihevederes traktor mozgása után (Joóri 1997).

2.3 A belvíz kialakulásának tényezői, hatásai és kezelése a mezőgazdaságban

2.3.1 A belvíz fogalma és talajra gyakorolt hatása

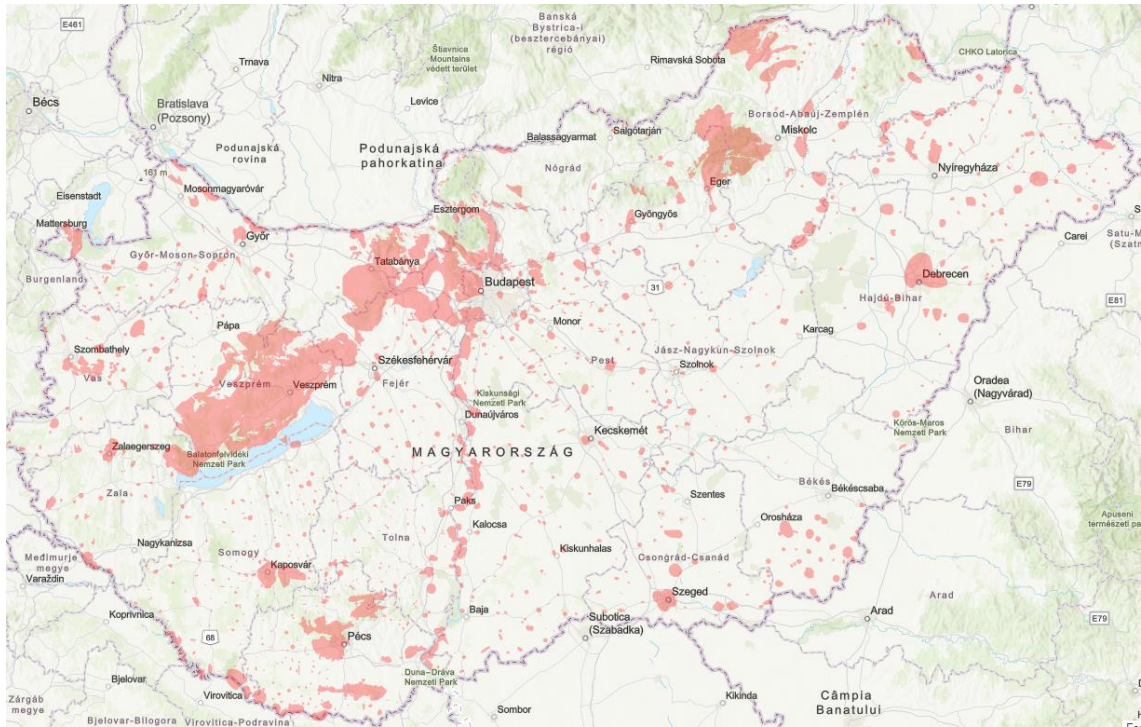
A belvíz a XIX. században végrehajtott árvízmentesítési-töltésépítési munkásságok következtében jelentek meg elsőként, mivel a kialakított árvízvédelmi töltések egyrészt az árterületeken megszüntették a folyók áradásai révén felgyülemlt vízmennyiséget, ugyanakkor meggátolta a víz folyókba történő visszafolyását (Halász és Földi 2014). A belvizek legkorábbi definíciója szerint 1856-ban látott napvilágot, mely szerint „*E vizek, vagy oly földön gyűlnek össze, melynek alrétege a hó- és esővizet át nem bocsátja, vagy pedig ahol a földnek, a folyó felé kellő lejtőssége nincs, s a hó- és esővíz a magasabb helyekről az alantabb fekvőkre folyt...*” (Kozák 2006). A belvíz definícióját tekintve

voltaképp nem létezik egyöntetű meghatározás, mivel egyes megfogalmazások szerint kizárólag az ártereken keletkező vizek számítanak belvíznek, míg más definíciók szerint az ártereken kívül a sík vidékeken kialakult vizek is belvíznek tekinthetők. A különböző megfogalmazások egy dologban egyeznek azonban: „*a belvíz a sík vidékek időszakos, de meglehetősen tartós és viszonylag nagy területre kiterjedő jelensége, sajátos vízfajtája*” (Rakonczai et al. 2001).

A belvizek kialakulását számos különböző tényező határozza meg:

- a természeti tényezők:
 - a domborzat alakulása döntő mértékben befolyásolja a belvizek kialakulását, mivel a katlanszerűen kialakult, lefolyástalan, alacsonyabb fekvésű területeken gyűlik össze a víz,
 - az éghajlati viszonyok között a csapadékmennyiség eloszlása a döntően meghatározó tényező, mivel a csapadékos és hűvös időjárású területeken gyakrabban alakul ki belvíz, mint a száraz éghajlatú területeken,
 - a talajtani tényezők kiemelt szerepet játszanak a talaj vízbefogadó és vízelvezető képességében. A talaj hézagterefogatának csökkenésével arányosan nő a befogadható vízmennyiség. Emellett a belvizek kialakulásában meghatározó tényező a talaj vízelnyelő képessége, amely azt mutatja, hogy a talaj milyen gyorsan képes elvezetni a felszínen megjelenő víztöbbletet,
 - a sekélyföldi tényezők, vagyis a talajképző kőzet adottságai. A talajképző kőzet regionális méretekben határozza meg a mélyebb rétegekbe beszivárgó víz mozgását, elhelyezkedését, valamint annak talajfelszínre való kerülését egyaránt
 - a hidrológiai tényezők közül a legjelentősebb a talajvíz elhelyezkedése, mivel a magas talajvíz következtében a talaj vízmegkötő-képessége romlik (Vízi 2019).
- a humán tényezők között meghatározó tényező a területhasználat módja, valamint a meliorációs és vízrendezési munkálatok (belvízi csatorna-építés, tereprendezés, talajcsövezés, szivattyúzás), (Bárdos és Muhoray 2012).
- a területhasználat következtében a terület természetes növénytakarója számos esetben teljes mértékben megváltozik. A különböző talajművelési módok jelentősen megváltoztatják a talaj vízviszonyait.

Magyarországon a síkvidéki területek jelentős része belvízveszélynek kitett területnek minősül. Hazánk belvízi veszélyeztetettségi térképe az *1. ábrán* látható.



1. ábra: Magyarország belvízi veszélyeztetettségi térképe (Forrás: www.ovf.hu)

Magyarország mezőgazdasági szempontból kedvező természeti adottságokkal rendelkezik, amelyben jelentős szerepet tölt be a víz. Az árvíz-mentesített területek kialakításával egyrészt megszűnt az Alföld időszakos vízboritottsága, amely lehetőséget biztosított a mezőgazdaság fejlődésének, másrészt olyan problémák jelentek meg, amelyek éppen a belvízrendszerek kiépítésével összefüggésben alakultak ki (Forgóné 2000).

A belvíz a természetes és a mesterséges, azaz épített környezetben is rendkívüli károkat okozhat. Közvetlen belvízkárok akkor alakulnak ki, amikor a víz által elöntött épületekben, infrastruktúrában okoz károkat, valamint csökkenti a mezőgazdaság termelékenységét, valamint termésnövekedést, minőségromlást eredményez (Sziebert et al. 2016). Közvetett belvízkárról akkor beszélünk, amikor a belvíz következményeképpen a talajszerkezet degradálódik, megváltozik a tápanyagkészlete, csökken a terméshozam, romlik a termésmínőség és változik a tenyésztési idő hossza, valamint a talaj mikrobiológiai aktivitása jelentősen lecsökken. Mindezek következtében romlik a talajstruktúra, a talaj minősége, és annak termékenységei is (Bíró 2016).

A belvíz rövid távon csökkenti a mezőgazdasági termelés mennyiségét és minőségét, növeli a költségeket, hosszú távon pedig talajdegradációt idéz elő. A káros folyamatok közé tartozik a talajszerkezet romlása, szikesedés, tömörödés és a vízáteresztő képesség csökkenése. (Van Leeuwen, 2012) Gál és Farsang, 2012 tanulmánya szerint a belvíz

okozta tartós vízborítás következtében hidromorf talajképződési jegyek jelenhetnek meg, nő a talaj tömörödöttsége, csökken az oxigénellátottság, amely káros a növényzet és a talajélet szempontjából. A vízzel telített körülmények gyorsítják a fizikai degradációs folyamatokat, így a szerkezetromlást, tömörödést, illetve bizonyos esetekben másodlagos szikesedést is okozhatnak.

Napjainkban a globális éghajlatváltozás következményeképpen egyre intenzívebben és egyre többször jelentkeznek olyan szélsőséges időjárási jelenségek, amelyek olykor vízhiánnyal, máskor víztöbblettel jellemezhetők. Az ilyen időszakok leginkább a mezőgazdasági ágazatot veszélyezteti, mivel a bevizés időszakok során a szántóföldi növénytermesztésben akár a termesztett kultúra teljes elpusztulását idézheti elő a vízzel telített feltalaj miatt, ezzel ellentétben az aszályal sújtott nyári időszakokban a felszíni és a felszín alatti vízkészletek is megcsappannak, amely révén veszélybe kerül a termésbiztonság is. Az ellentétes előjelű időjárási szélsőségek kiegyenlítésének megoldására a belvizek visszatartása a kézenfekvő eljárás. Számos kutató vizsgálta a belvízelvezetésének lehetőségeit, amelyek között megtalálható a talajban történő tározás, vagy a felszíni-tározás, valamint az öntözés lehetőségei (Körösparti et al. 2013; Blanka és Ladányi 2014; Ladányi és Blanka 2019).

A belvíz elvezetése, valamint visszatartása nem csupán mennyiségi, hanem még inkább minőségi problémákat vet fel. Az elsődleges probléma abból adódik, hogy a belvíz elvezetése során a belvízzel együtt az oldott, illetve kötött formában talajban lévő hasznos tápanyagok is elvezetésre kerülnek (Pálffy et al. 2022). A táblákon megjelenő belvízfoltokban megtalálható elemek, vegyületek nem csupán limitáló szennyezőanyagok, hanem a talaj hasznosuló tápanyagai is (Vajdai 2010).

A vízvisszatartás esetén ugyancsak jelentősen megváltozik a vízminőség. Mindebből az következik, hogy az eltérő talajadottságokkal, eltérő mennyiségű belvív-borítással rendelkező és eltérő területhasznosítás alá eső területeken alapvetően különböző belvízkezelési módszer alkalmazása javasolt (Pálffy et al. 2022).

2.3.2 A belvizek megjelenésének természeti tényezői

A belvizek megjelenését meghatározó és befolyásoló tényezők két fő csoportra oszthatók eredetük alapján. Az egyik csoportot a természetes eredetű tényezők alkotják, míg a másikba az emberi tevékenység hatására kialakuló tényezőket soroljuk (Kozák 2006).

A belvízi jelenség kialakulására számos természeti tényező hat, amelyek közül kiemelt szerepet játszanak a meteorológiai, domborzati, talajtani, hidrogeológiai és földtani jellemzők. A meteorológiai tényezők, mint a csapadékmennyiség és a hőmérséklet, közvetlenül befolyásolják a vízfelhalmozódást. A domborzati viszonyok – például a tengerszint feletti magasság, a terep tagoltsága és a felszín konvexitása – meghatározzák a víz lefolyásának irányát és sebességét.

A talaj tulajdonságai, mint a vízáteresztő képesség (infiltráció), a szerkezet, a tározóképesség és a fizikai féleség, szintén jelentősen befolyásolják, hogy a felszíni víz mennyire képes bejutni a talajba. A hidrogeológiai adottságok, például a talajvíz mélysége és annak ingadozása, szintén fontosak, mivel a magas talajvízszint gátolhatja a víz elvezetését. Végül, a földtani tényezők – mint a talajképző kőzet típusa és a vízzáró rétegek jelenléte – szintén befolyásolják a víz mozgását a talajban, elősegítve vagy gátolva a víz beszivárgását és elvezetését.

A belvizek kialakulásában jelentős szerepet játszanak a meteorológiai tényezők, különösen a csapadék mennyisége és a hőmérsékleti viszonyok. A csapadék nemcsak a belvizek keletkezését megelőző akkumulációs időszakban segíti elő a víz felhalmozódását, hanem a belvizes területek fennmaradására is hatással van, mivel a csapadék formájában történő vízutánpótlás folyamatosan növeli a felszíni vízmennyiséget. A környezeti hőmérséklet jelentős hatással van a párolgás mértékére, és a csapadék mellett jelentős meghatározója a belvizes területek kiterjedésének és tartósságának (Kozák 2006).

Az éghajlati viszonyok jelentősen befolyásolják a belvizek kialakulásának feltételeit. Hűvösebb, csapadékosabb éghajlaton – azonos egyéb tényezők mellett – nagyobb a csapadék mennyisége, mint a meleg, száraz területeken, ami fokozza a belvizek kialakulásának valószínűségét. A csapadék mennyiségét elsősorban a tenger felől érkező paradús légáramlatok szabályozzák (Schmidt 1929), míg a szárazföldi párolgás kisebb mértékben befolyásolja azt. Az évek időjárási jellege – például egy csapadékbőséggel jellemezhető humid év vagy egy csapadékhiányos arid év – szintén meghatározza a belvízi események gyakoriságát. Péczeli (1979) megállapította, hogy az Alföld délkeleti részén az 1931 és 1977 közötti időszakban a humid évek előfordulási aránya körülbelül 20% volt. Ezekben az időszakokban még a nyári hónapokban is előfordult, hogy a talaj telítetté vált vízzel, növelve a belvizek kialakulásának kockázatát.

A hőmérsékleti viszonyok közvetlen és közvetett módon is befolyásolhatják a belvízi elöntések kialakulásából eredő károkat. Közvetlenül a csapadék halmazállapota, illetve

az olvadási körülmények határozzák meg a víz viselkedését és hatását a növényzetre. A közvetett hatások példaként Kreybig (1953) kutatásai alapján megállapította, hogy a növények jobban elviselik a hólét vagy az álló hideg vizet, mint a melegebb vizet. Őszi búza és lucerna állományokkal végzett kísérletek az bizonyítják, hogy a hidegebb vizek kevésbé károsítják a növényeket, mint a melegebbek (Petrasovits és Vajdai 1982).

Az időjárási tényezők közül a szél szerepe különösen fontos a párolgás intenzitásának növelésében. Az erősebb szél hatására a belvizekben tárolt vízmennyiség csökken, mivel a párolgás fokozódik. A gyakori szelek tehát mérsékelhetik a belvízi elöntések következményeit. Magyarország egyik legszelesebb vidékének az Ásotthalom, Szeged, Orosháza és Békéscsaba közötti terület számít (Keveiné és Mezősi 1992). Ezen a térségen a kora tavaszi hónapokban (március, április, május) gyakran kialakulhat szélerózió is.

A belvíz kialakulásában a domborzati adottságok meghatározó szerepet játszanak (Pálfai 1994). A mélyebben fekvő területek a belvíz szempontjából eleve kedvezőtlen helyzetben vannak, mivel ezeken a területeken a víz rendszeres összegyűlése a talaj tömörödöttségéhez vezet. Kimutatható, hogy a kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotok és a felszín domborzati egyenetlenségei között szoros kapcsolat áll fenn, amit a 0,73-as korrelációs együttható is alátámaszt (Thyll és Bíró 1999).

A talaj hógazdálkodására jelentős hatást gyakorol a lejtők tájolása (Dvoracek 1957). Különösen tavasszal van ennek kiemelt jelentősége, mivel a talaj felmelegedésének mértéke nagymértékben függ a lejtő tájolásától és a napsugárzás beesési szögétől. Az ebből adódó különbségek leginkább az őszi, téli és tavaszi időszakokban figyelhetők meg, míg nyáron kevésbé érzékelhetők.

A talaj vízbefogadó képessége különösen nagy hatást gyakorol a belvizek kialakulására. Minél nagyobb a talaj hézagterfогata, annál több vizet képes befogadni (Peng et al. 2009), ami meghatározza a belvizek kialakulásának valószínűségét (Pálfai 1994). E tekintetben a legkedvezőbbek a vastag termőrétegű, közepkötött vályogtalajok, valamint a laza homoktalajok, míg az erősen kötött agyagtalajok és a szikes talajok kedvezőtlenebbnek számítanak. Magyarországon a szikesedés fő okai közé tartozik a lefolyástalanság, valamint a talajvíz magas sótartalma (Endrédy 1941). Ezek a tényezők kedvezőtlenül befolyásolják a szikes területek vízgazdálkodását, ami hozzájárulhat a belvízi elöntések kialakulásához.

A belvízi elöntések kialakulásában meghatározó szerepet játszik, hogy a talaj milyen gyorsan képes a felszíni vizet a mélyebb rétegekbe vezetni. Ez különösen a heves nyári záporok esetében válik fontossá, mivel, ha a talaj víznyelő- és vízvezető-képessége nem

haladja meg a csapadék intenzitását, akkor a felszínen összegyűlő víz elöntéseket, belvizeket okozhat. A talajokban állandó vízutánpótlás mellett négy különböző réteg alakul ki (Klimes-Szmik 1957). A legfelső, mintegy 1-1,5 cm vastagságú telített réteg jellemzően független a talajtípustól. Ezt követi egy vízáteresztő réteg, amelynek vastagsága a talaj típusától függően változhat. Az átmedvesedési réteg következik, amely a határrétegig tart, ez a legmélyebb réteg, amely víztartalma független a talajtípustól, és általában a minimális kapacitásig telítődik. Ezek az egymásra épülő rétegek befolyásolják, hogy a talaj mennyire képes megelőzni a felszíni vízfelhalmozódást, így kulcsszerepet játszanak a belvízi elöntések kialakulásában.

A talaj rétegződése is fontos tényező a vízgazdálkodás szempontjából. Különösen kedvezőtlen, ha a vízbefogadó- és vízvezető-képesség lefelé haladva csökken. Ez a helyzet például a Duna-Tisza közén, ahol mészkőpadok, vagy a Tiszántúlon, ahol sós talajrétegek akadályozzák a víz szivárgását a talajban. A talaj szivárgási tényezője és a kedvezőtlen vízgazdálkodási helyzetek gyakorisága között a korrelációs együttható $-0,56$, ami arra utal, hogy a jobb vízszivárgású talajok esetén kisebb a kedvezőtlen vízgazdálkodási helyzetek kialakulásának valószínűsége. A magyar talajokat fizikai paramétereik alapján kilenc kategóriába sorolhatjuk, amely besorolás szerint az ország területének körülbelül 11%-án jelentős a kedvezőtlen vízgazdálkodási helyzetek kialakulásának kockázata (Várallyay et al. 1980).

A talajvíz szintje és helyzete befolyásolhatja a felszínen összegyűlt víz vízszintes irányú mozgását. Amikor a talajvízszint megemelkedik, az gátolhatja a felszíni víz beszivárgását a mélyebb rétegekbe. A belvíz kialakulását befolyásoló tényezők között fontos szerepe lehet a tavaszi talajvízállás (Bogárdi 1953), amit az őszi minimális talajvízszint, a december és március közötti csapadékösszeg, valamint a december-februári átlagos léghőmérséklet is meghatározhat.

A felső talajréteg vízáteresztési képessége határozza meg, hogy az eső, zápor vagy elolvadt hó mennyi vizet képes elnyelni a talaj, és mennyi marad a felszínen elfolyó vízként. A fő talajtípusok – homok, por és agyag – vízáteresztő képessége és szerkezeti jellemzőik jelentősen eltérnek egymástól. A homoktalajok nagyobb vízáteresztést biztosítanak, míg az iszap és agyag hajlamosabb a tömörödéssre. Ennek eredményeként a laza homoktalajok a legkevésbé hajlamosak ugyan a víz felhalmozódására, de intenzív esőzésekkor jelentős belvízi elöntések alakulhatnak ki rajtuk is (Kozák 2006), erre példa a 2020-as nagy mennyiségű csapadék után kialakult belvízhelyzet (URL 2020a, 2020b).

Az elhagyott egykori folyómedrek különleges földtani és domborzati adottságokkal rendelkeznek, és gyakran a belvíz megjelenésének helyszínei. Erre példa, hogy az 1965–1967-es években a Maros hordalékkúp területén a homokos részeken beszivárgott a víz az elhagyott folyó medrekbe (Hartyányi 1974). E folyamat következményeként nyomáshullám alakult ki, amely számos helyen a vízszint emelkedését eredményezte. Ezt a jelenséget a Kondoros-völgyi mintavízgyűjtő, valamint Békés és Csongrád egyéb területein is megfigyelték. Az egykori folyómedrek és vízfolyás medrek kulcsfontosságúak a felszín közeli áramlások kialakulásában, és ezek mentén a távolabbi területekre hullott csapadék, vagy a folyókból kiinduló áramlások hatására talajvíz emelkedhet, ami elöntéseket is okozhat (Pálfai 1994). A Dél-Alföldön található elhagyott folyómedrekben a felszín közelében vízvezető képességű durvább szemcséjű üledékek találhatóak, amelyek magas talajvízállás esetén könnyen felszínre emelhetik a vizet, és lehetővé teszik annak horizontális áramlását (Baukó et al. 1981). A Maros hordalékkúp központi része, például Nagykamarás térsége, tipikus példája annak, hogy az egyes mederrendszerek keresztezik egymást. Az Alföldön gyakoriak az egymást horizontálisan szabálytalanul váltó, eltérő vízáteresztő képességű rétegek, valamint az elhagyott folyómedrek, amelyek kedvezőtlen vízföldtani adottságokkal rendelkeznek.

2.3.3 A belvizek megjelenésének antropogén tényezői

A belvizek elvezetése elsősorban az emberi tevékenység által létrehozott vízelvezető rendszerek segítségével történik, amelyek megfelelő kapacitással rendelkeznek a víz elvezetésére. Az elvezetési rendszerek tervezésekor figyelembe kell venni az elöntéssel érintett növényzet fejlődési fázisát, és ennek megfelelően határozni meg a kiépítendő rendszerek teljesítményét. A rendszerek kiépítését általában a domborzati adottságokhoz igazítják (Kozák 2006). Egy így működtetett rendszer szükségszerűen igényli, hogy a vízelvezető rendszer elemei – amelyek különböző kezelési módok alatt állnak – képesek legyenek biztosítani a megfelelő teljesítményt, és karbantartásuk is összhangban legyen egymással. Azonban a tulajdonviszonyok változásai miatt a rendszer elemeinek teljesítménye inhomogénné válhat. A Dél-Alföld térségében a belvizek elvezetését gyakran akadályozzák a vasúti és közúti töltések, amelyek nem rendelkeznek megfelelő átereszekkel, illetve az átereszek eltömődése miatt nem képesek hatékonyan biztosítani a vizek elfolyását (Kozák 2006). A csatornahálózat tervezési hiányosságai, alacsony kiépítettsége és a karbantartás elégtelensége szintén hozzájárultak a kedvezőtlen

vízgazdálkodási helyzetek fennmaradásához. Fontos megemlíteni, hogy a talaj vízháztartási viszonyait jelentősen befolyásolhatják az olyan létesítmények, amelyekből víz szivároghat, például öntözőcsatornák vagy víztározók.

A belvízelvezető rendszerek vízelvezető képessége gyakran csak töredéke a nyilvántartott értéknek, mivel a folyamatos karbantartás elmaradása jelentős hatással van a rendszer hatékonyságára (Forgóné 2000). Ráadásul a tulajdonviszonyok változása miatt a belvízöblözeten belül módosulnak a vízelvezetési prioritások is. A tervezési időszakban meghatározott vízelvezetési igények a tulajdonosi szerkezet átalakulásával módosulnak, és így a vízelvezető rendszerek felülvizsgálatát már a megváltozott igények figyelembevételével kell elvégezni (Forgóné 2000). Ideális és fenntartható az lenne, ha a csapadékvizet nem egyszerűen elvezetnénk, hanem tudatosan gazdálkodnánk vele (Tóth 1961; Raimondi et al. 2023). Az alapelv szerint a novembertől áprilisig hullott csapadéknak egy részét fel kell fogni és hasznosítani, és csak a fölösleges vizet kell elvezetni, ezzel elősegítve a vízgazdálkodás fenntarthatóságát.

Az öntözés, mint agrotechnológiai eljárás jelentősen befolyásolhatja a talaj vízháztartását. Az öntözés hatásairól szóló vélemények megoszlanak. Az öntözés során a talajba juttatott víz hozzájárulhat a belvízi jelenségek kialakulásához. Ugyanakkor, ha az öntözés során figyelembe veszik az öntözendő kultúra vízigényeit, és biztosítják a talaj megfelelő tápanyag-utánpótlását, miközben megőrzik a talaj „egyensúlyi állapotának” kémiai jellemzőit, akkor az öntözés nem növeli a belvízi elöntések kockázatát (Kozák 2006). Ezzel szemben a talajvíz vagy rétegvíz túlzott kitermelése a talajvízszint tartós süllyedését eredményezheti, ami a belvizek gyakoriságának csökkenéséhez vezethet. Az intenzív agrotechnikai módszerek megfelelő alkalmazása növelheti a talaj víztározó-képességét, és ezáltal akár a belvizek kialakulásának csökkenését is előidézheti.

További antropológiai tényező a beépített területek növekedése, utak, települések terjeszkedése. A beépítettség és a burkolt felületek terjedésével a víz összegyűlése és lefolyása gyorsabbá vált. Ennek következtében jelentős vízelvezetési gondok merültek fel olyan területeken is, ahol korábban nem jelentkeztek problémák a belvizek elvezetésével. A települések belterületén, ahol gyakran hiányzik a szennyvíz- és csapadékvíz-elvezető hálózat, az elszikkadt csapadék és szennyvizek növelik a talaj nedvességekészletét. Ez tartósan megemeli a talajvíz szintjét, elősegítve a talaj túltelítődését és a felszíni vízborítások kialakulását.

2.4 Digitális talajtérképezés a mezőgazdaságban

2.4.1 A 3D talajtérképezés alkalmazási területei

A digitális talajtérképezés (Digital Soil Mapping – DSM) új generációs megközelítései közé tartozik a háromdimenziós (3D) talajtérképezés, amely a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak térbeli eloszlását nemcsak felszíni, hanem mélységi dimenzióban is képes feltárni. A domborzati tényezők (pl. lejtés, kitettség, felszíni heterogenitás) integrálásával a DSM nagy felbontású, részletes talajinformációkat biztosít, amelyek alapvetően járulnak hozzá a precíziós mezőgazdaság fejlődéséhez (Minasny és McBratney, 2016). A 3D talajtérképezés által nyújtott pontosabb talajprofilok lehetővé teszik a mezőgazdasági inputanyagok – például műtrágya és növényvédő szerek – célzott, helyspecifikus alkalmazását, amely növeli a termelés hatékonyságát, miközben csökkenti a környezeti terhelést (Malone et al. 2016).

Heung és munkatársainak (2016) munkája alapján elmondható, hogy a talaj nedvességmegtartó képességének, tápanyagkészleteinek és szerkezetének mélységbeli vizsgálata kritikus fontosságú a megfelelő növényfajták kiválasztásában és az öntözési stratégiák kialakításában. Mindezekon felül lehetőséget teremt a szántóföldi menedzsmentzónák mélyebb megértésére, támogatva a zónaspecifikus gazdálkodást, amely optimalizálja a hozamot és minimalizálja a termelési kockázatokat. A talajtani térképek különösen fontosak azokon a területeken, ahol a talajképződésben a domborzat meghatározó szerepet játszik, mivel segítenek feltárni azokat a mélységi változásokat, amelyek felszíni térképezéssel nem azonosíthatók (Brevik 2016).

A pontos, mélységfüggő talajadatok ismerete elősegíti a talajegészség megőrzését és a vízhasználat hatékonyságát. (Baruck 2016). Alkalmazása révén a víz és tápanyagok helyes elosztása hozzájárul a vízmegtakarításhoz, csökkenti a talajszennyezést, és elősegíti az éghajlatváltozás hatásainak mérséklését (Li et al. 2016).

2.4.2 NDVI-alapú differenciált térképezés

A normalizált vegetációs index (NDVI) a legszélesebb körben alkalmazott vegetációs index a növények tápanyagellátottságának felmérésére, mivel információt ad a talajborítottságról, a klorofilltartalomról, ezáltal a növények általános vitalitásáról (Zhou és Yin 2018; Vizzari et al. 2019). Az NDVI-alapú változó dózisu térképezés lehetővé teszi a helyspecifikus tápanyag-utánpótlást azáltal, hogy feltárja a növényállomány térbeli változatosságát. A gazdálkodó ennek alapján dönthet úgy, hogy a magasabb NDVI-értékű

területeken több nitrogént (N) juttat ki a terméspotenciál maximalizálása érdekében, vagy épp kevesebbet, költségoptimalizálási és talajvédelmi célból (Basso et al. 2011; Fabbri et al. 2023). Bár az NDVI-alapú értelmezés hasznos, gyakran leegyszerűsíti a növények tényleges tápanyagigényét. (Basso et al. 2011).

A térképkészítés és a menedzsment zónák lehatárolása szorosan kapcsolódik az NDVI-alapú elemzésekhez, mivel a vegetációs index térbeli eloszlása jól tükrözi a terméspotenciál és a tápanyagellátottság különbségeit egy adott táblán belül. A differenciált térképek készítése során a műholdfelvételekből származó NDVI-adatok geosztatisztikai módszerekkel kerülnek feldolgozásra, hogy homogén, jól elkülöníthető termékenységi zónák alakuljanak ki. (Koshla et al. 2002) Ezek a zónák alapot adnak a változó dózisú kijuttatási térképek előállításához, amelyek a precíziós tápanyag-gazdálkodás központi eszközei. Az NDVI-idősorok feldolgozása lehetővé teszi a növényállomány dinamikájának és az évjáráthatásoknak a figyelembevételét, így a térképezés nemcsak pillanatképet ad, hanem a termőhelyi stabilitás jellemzésére is alkalmas. A távérzékelési adatokból készített térképek integrálhatók talajvizsgálati eredményekkel, hozamadatokkal vagy topográfiai tényezőkkel, ami tovább növeli a kezelési zónák pontosságát és a döntéshozatal megbízhatóságát (Fabbri et al. 2020; Bauwei et al. 2018; Page et al. 2005). Az így előállított NDVI-alapú térképek tehát nemcsak a növényzet állapotát tükrözik, hanem kulcsfontosságú alapját képezik a helyspecifikus, környezetkímélő és gazdaságos tápanyag-utánpótlási stratégiáknak (Peralta et al. 2013).

2.5 A talajminőség javítása szkréperézéssel

2.5.1 A szkréperezés mint a precíziós gazdálkodás eleme

A klímaváltozás hatására a talajok hidrológiai és talajtani tulajdonságai megváltoztak, amelynek következményei között napjainkban is láthatók anyagforgalmi és vízforgalmi változások. Mindezek révén folyamatosan az adott körülményekhez igazodó talajhasználati, talajjavítási lehetőségeket kell kialakítani. A környezetkímélő mezőgazdaság egyik alapfeltétele az eltérő tulajdonságú talajfoltoknak megfelelő talajhasználat és a táblán belüli talajfoltok eltérő tulajdonságait szem előtt tartó „precíziós” gazdálkodás. A precíziós mezőgazdaság az agroökológiai elemek térbeni diverzifikációjához igazodó, a környezetet kímélő, precíziós mezőgazdaság alapvetően igényli a növénytermesztési táblák térbeli és időbeni változékonyságát, és a változékonyságot elsődlegesen befolyásoló tényezők megismerését, feltárását. A

precíziós gazdálkodás egyik nagy előnye, hogy általa lehetővé válik az eltérő talajjavítási, talajművelési, tápanyag-visszapótlási eljárások az eltérő tulajdonságú talajfoltok igényeihez igazodó differenciált alkalmazása (Tamás 2001; Németh et al. 2007).

A precíziós gazdálkodás jelentős előnyeit az alábbiak szerint lehet összefoglalni (Princy 2021): a világ egy modern mezőgazdasági forradalom kellős közepén van, amelyet olyan látványos új technológiák bevezetése indított el, mint az intelligens szenzorok, a nagy pontosságú GPS-rendszerek, valamint az IT-alkalmazások széles skálája csúcstechnológiával kombinálva. A hagyományos gazdálkodás hosszú ideig egész szántóföldi gazdálkodásra támaszkodott, jól bevált kézi technikák és regionális viszonyok alapján. A precíziós gazdálkodás a gazdálkodás modern generációja, amely információs technológiát használ, hogy segítse a gazdákat gazdaságuk egészségi állapotának megértésében. A távolról szerelt vagy helyhez kötött érzékelők, valamint a kamerával felszerelt drónok segítségével a gazdálkodók valós idejű adatokat kapnak a termésről.

A precíziós növénytermesztés célja a termőhelyi viszonyokhoz való termesztéstechnológiai adaptáció, amely minél pontosabb kell, hogy legyen (Jolánkai et al. 2005). Ezen technológia elterjedését elősegítő tényező az input anyagfelhasználás mennyiségének a csökkentése, a befektetett energiamennyiség csökkentése és ebből következően magasabb jövedelmezőség (Gaál et al. 2017). A precíziós gazdálkodás számos technológiai berendezéssel, elemmel és komplett rendszerrel rendelkezik, amelyek önmagukban is alkalmasak a hatékony gazdálkodás feltételeinek megteremtésére, a környezetterhelés csökkentésére és a gazdálkodók befektetésének optimális megtérülésére (Masi et al. 2022).

A precíziós gazdálkodás elveinek alkalmazása hazánkban ma még alig vizsgált területe a talajjavítás, azzal ellentétben, hogy a javításra szoruló talajok zöme erősen heterogén. A talajjavítás során az ökológiai és az ökonómiai szempontok összehangolása kizárólag akkor valósítható meg, ha minél szélesebb körű helyspecifikus ismeretekkel rendelkezünk a talajokban végbemenő folyamatokkal kapcsolatban (Blaskó 2017).

A talajnyeső (scraper) a leggyakrabban alkalmazott berendezés a talajmozgatásra. A szkrépezés során a talaj felső rétege kerül eltávolításra, amely tápanyagban gazdag, így az alatta lévő talajréteg kerül a felszínre, valamint ezáltal a talaj visszanyerheti korábbi biodiverzitását (Kang et al. 2013). A talajnyesővel végzett munkálatok erősen szezonális jellegű munkálatok, amelyek nagy munkaterheléssel és magas munkaerőköltséggel járnak, ebből kifolyólag gépesített talajnyesőt használnak a talaj eltávolítására, mozgatására. A talajnyesők egyszerű mechanikai szerkezettel rendelkeznek, alacsony

gyártási költségekkel előállíthatók, könnyű kezelhetőség jellemzi, és eltérő talajtípusokhoz adaptálhatók (Ma et al. 2021).

A szkrépezés egy olyan eljárás, amelynek alapvető célja a homogén domborzatú egyenletes felszínű táblák kialakítása. A szkrépezett tábla enyhén lejtős kialakítású annak érdekében, hogy az időszakos belvív-borítással fedett területről a felesleges vizet le tudják vezetni olyan területekre, ahol már könnyű a felesleges vízbőség elvezetése (Nagy et al. 2024).

A mezőgazdasági területek egyenetlen felszíne kedvezőtlenül befolyásolja az öntözővíz eloszlását és a művelési munkák hatékonyságát, ezért a felszín tereprendezése (földkiegyenlítés) világszerte elterjedt gyakorlat már évtizedek óta (Parfitt et al., 2014). A talajfelszín kiegyenlítésének célja egy sík vagy enyhén lejtős felület kialakítása, amely biztosítja az egyenletes vízeloszlást és megkönnyíti a gépi műveleteket a táblán (Parfitt et al., 2014; Alaamer és Alsharifi, 2023). Hagyományosan ezt a munkát egyszerű eszközökkel vagy a gépkezelő tapasztalatára hagyatkozva végezték, ám napjainkban speciális földmunkagépeket – elsősorban szkrépereket – alkalmaznak a precíziós felszínkiegyenlítéshez (Khudaev et al., 2022). A szkréper egy traktorral vontatott, ládaszerű tolóeszköz, amellyel a talaj magasabb pontjairól földet hántanak le és a mélyebben fekvő foltokba terítik, ezáltal kiegyenlítve a mikro-domborzatot.

Jelentős technológiai ugrást hozott a lézervezérlésű földkiegyenlítés bevezetése az 1970-es években, amelyet azóta széles körben átvettek a fejlett és fejlődő mezőgazdasági régiókban is. A lézeres talajszintező rendszer egy forgólézeres adóberendezésből és a szkréperre szerelt vevőegységből áll: a lézer által kijelölt referencia síkhoz viszonyítva hidraulikusan szabályozzák a szkréper vágólapjának magasságát, így centiméter pontosságú felszín alakítható ki (Jat et al. 2006; Chen et al. 2024). A lézeres módszer jóval precízebb és gyorsabb a hagyományos, szemrevételezésen alapuló gréderezésnél, csökkentve a szükséges menetszámot és munkaidőt, miközben szinte tökéletes síkot eredményez. A lézertechnológiát követően megjelent a GNSS (műholdas helymeghatározáson alapuló) talajkiegyenlítés is, amely RTK GPS segítségével térképezi fel a terepet és vezérli a földmunkagépet. A GNSS-vezérlés előnye, hogy nem igényel lézeres rálátást a teljes területre, és bonyolultabb, 3D lejtéskialakítás is megvalósítható vele, ami nagyobb táblákon vagy tagolt domborzat esetén is hatékony kiegyenlítést tesz lehetővé. Ezek a precíziós talajszintezési technológiák a precíziós mezőgazdaság fontos elemeivé váltak, mivel alkalmazásukkal optimalizálható a termőhely kihasználtsága és az erőforrások (víz, tápanyagok, munkaidő) felhasználása (Chen et al. 2024).

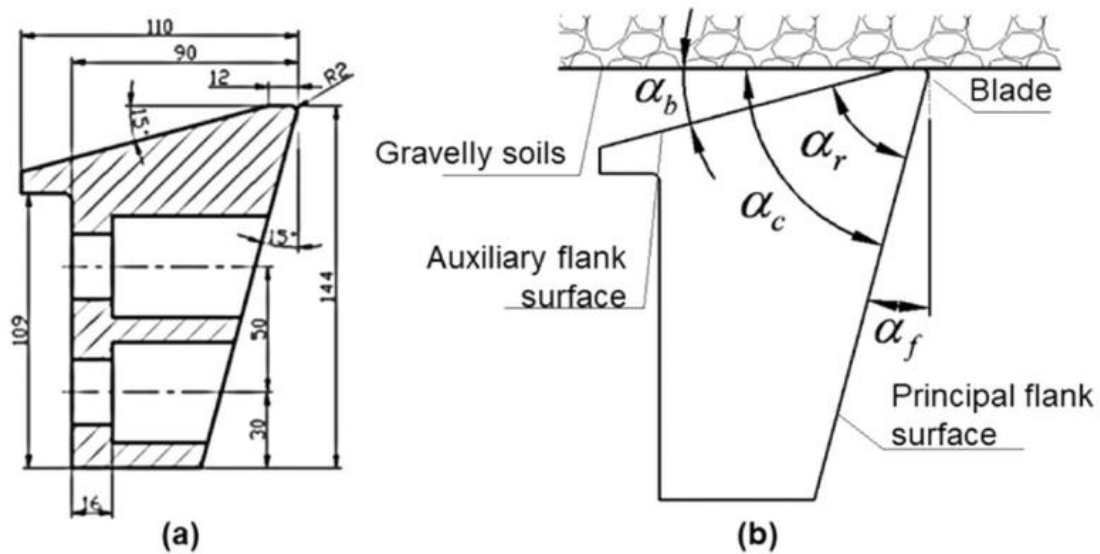
A lézeres földkiegyenlítést sokhelyütt a termésnövelő és erőforrás-kímélő gazdálkodás alapvető eszközeként tartják számon (Jat et al. 2006). Ezzel szemben a hagyományos, lézer nélküli felszínplanírozás pontatlansága miatt a területen apró mélyedések és kiemelkedések maradhatnak, amelyek egyenetlen vízborítást és foltszerű termésingadozásokat okoznak. A modern lézeres technika ezzel szemben egységes felszínt ad nagyobb egybefüggő művelhető területtel, míg a tradicionális módszerrel kialakított terepen sokszor kis medencékből álló mikrorelief marad (Alaamer és Alsharifi, 2023). Újabb fejlesztések történtek a szkréperék kialakításában is: például egy módosított lézervezérlésű szkréperet írtak le, amely megnövelt kapacitással és jobb működési jellemzőkkel bír a hagyományos változathoz képest (El-Shikha et al. 2005). Összességében elmondható, hogy a földkiegyenlítés technológiája egyre nagyobb fokú precizitás és automatizálás irányába halad – a humán tényezők csökkentésével és a talajkiegyenlítés hatékonyságának növelésével (Chen et al. 2024).

Kara és Williardson (2006) szerint a szkréperezés egy olyan kármentesítési eljárás, melyet egyaránt használnak a száraz és félszáraz talajok esetében, ahol a sófelhalmozódás komoly problémát okoz, valamint olyan területeken, ahol magas a belvív-borítottság.

A precíziós vezérléssel ellátott szkréperezés hatására az időszakos belvívborítású táblán egyenetlen domborzat kialakítását eredményezte, amely következtében megszüntethető a nagyobb vízmennyiség, időszakos vízbőség kialakulása a szkréperezett táblán. Valamint az is bizonyítást nyert, hogy szkréperezés hatására homogénebbé vált táblán a termesztett növények hozamai és termésátlagai emelkedtek (Nagy et al. 2024).

A talajnyesők a talaj állapotát jelentős mértékben befolyásoló eszközök. Kialakításukat tekintve beszélhetünk tárcsás talajnyesőről, illetve a talajkaparóról (Ning et al. 2023; Zhan et al. 2023).

A talajnyesők egy típusának felépítését a 2. ábra mutatja be. A szerkezeti paraméterek meghatározzák a vágási teljesítményt, valamint a talajnyeső erő kifejtését egyaránt. A talajfeltárás során a talajnyeső egy spirális felületet képez, amely révén lineáris vágási felület alakul ki (Zhou és Zhai 2018; Wang et al. 2023; Copur et al. 2024). A talajnyesők vágóéleinek pengeszélessége a 15-20 cm közötti tartományban mozognak (Yi 2017).



2. ábra: A talajnyeső méretparamétere (a) és szerkezeti felépítése (b), (Forrás: Yang et al. 2024)

A talajnyesők hatékonyságát elemezve Yang et al. (2024) megállapították, hogy a talaj kavicstartalma nemlineáris hatással van a talajnyeső nyesési munkafolyamataira. Magasabb kavicstartalom esetén ezért tanácsos nagyobb pengeszélességű talajnyesőt használni, lágy talajrétegekben a pengék erőteljesebben kopnak, ezért a penetráció növelésével felgyorsítható a munkavégzés.

2.5.2 A szkrépezés hatása a talaj fizikai, kémiai és biológiai állapotára

A földkiegyenlítési műveletek jelentős mechanikai behatással járnak a talajra, ami a talaj fizikai tulajdonságainak módosulását eredményezi. A szintezés során a nehéz gépek taposása és a talajrétegek bolygatása miatt rendszerint nő a talaj tömörödöttsége. Számos vizsgálat kimutatta, hogy a művelet hatására emelkedik a talaj térfogattömege (tömegsűrűsége) és csökken az összes pórustérfogat a felszíni rétegekben (Sabahy et al. 2024; Parfitt et al. 2014; Öztekin 2013). Egy egyiptomi kísérletben a lézeres talajegyengetés következtében a felszínközeli talaj porozitása ~57%-ról ~54%-ra csökkent, vagyis a pórustér ~3%-kal lett kisebb a beavatkozás után. Ugyanakkor a talajfizikai változások mértéke függ a használt technológiától: ugyanezen vizsgálatban egy rotációs talajművelő eszközzel végzett szintezés épp ellenkező tendenciát mutatott, kissé növelve a pórustérfogatot a talaj fellazítása révén (Sabahy et al. 2024). A lézervezérlésű szkrépek a talajt vágják és tolják, ami a felszíni rögös szerkezet összetörésével és a szemcsék közelítésével jár; ennek hatására a 0–10 cm-es rétegben a

legnagyobb a porozitáscsökkenés. Parfitt és munkatársai (2014) egy dél-amerikai öntözött rizstáblán kimutatták, hogy a szintezés után szignifikánsan csökkent a talaj makroporozitása és mikroporozitása is, miközben a térfogattömeg nőtt a teljes szántott rétegben. A talaj aggregátumainak stabilitása szintén romolhat: a vízálló morzsák átlagos mérete kisebb lett a szintezést követően, jelezve a talajszerkezet átmeneti degradációját. A talaj fizikai tulajdonságaiban bekövetkező változások jellemzően a felszínközeli rétegben a legkifejezettebbek. A tömörödés hatása lefelé fokozatosan csökken, bár 20–30 cm mélységben is mértek még a kiindulási állapotnál magasabb térfogattömegértékeket a beavatkozás után. Jasim et al. (2023) kísérletében a talaj 0–15 cm-es rétegének tömörödése fokozódott a talajkiegyenlítő gépek áthaladását követően, ami a későbbi talajművelésnél és a gyökérfejlődés során nagyobb mechanikai ellenállást jelenthet. Érdeemes megjegyezni, hogy bizonyos technológiák kevésbé roncsolják a talaj struktúráját: például a rotációs eszköz lazító hatása miatt kisebb tömörödést hagy maga után, mint a nehéz tolólapos szintezők (Sabahy et al. 2024). Mindazonáltal általános tapasztalat, hogy a földkiegyenlítés rövid távon növeli a talaj tömörségét és csökkenti a talaj porozitását, ami befolyásolja a talaj vízáteresztő és víztároló képességét is.

Beum és munkatársai (2019) kutatása alapján a szkrépezés jelentős hatással van a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaira, különösen a művelt területeken. A fizikai tulajdonságok közül kiemelte a térfogattömeget, amely a szkrépezés és a talajművelés következtében nő, ezáltal csökkentve a pórusteret, ami negatívan befolyásolja a víz infiltrációját és a gyökérnövekedést. A talaj szervesanyag-tartalma is érzékenyen reagál a szkrépezésre, hisz az eljárás eltávolítja a felszíni szerves rétegeket, így jelentősen csökken a talaj szerves szénkészlete. Ez a veszteség negatívan befolyásolja a tápanyag- és vízmegtartó képességet, hosszú távon a talajminőség romlásához és degradációhoz vezet (Karthika et al. 2021; Tang et al. 2023). Kim és Chung (2011) szerint a szkrépezés következtében bekövetkező szervesanyag-veszteség csökkentheti a kén elérhetőségét, mivel a szerves anyag alapvető szerepet játszik az ásványi anyagok egyensúlyának fenntartásában a talajszerkezetben. Ez a zavar felboríthatja a talaj kémiai egyensúlyát, ami összességében a tápanyagok csökkent rendelkezésre állásához vezethet.

Több kutató (Fu et al. 2004; Mulat et al. 2021) szerint kémiai szempontból a szkrépezés a tápanyagok, különösen az összes foszfor (TP), az elérhető nitrogén (AN) és a kálium (AK) csökkenését eredményezi. A földhasználat intenzív megváltozása, beleértve a szkrépezést is, jelentősen csökkenti a talaj tápanyagszintjét, ezzel rontva annak termőképességét és a természetes tápanyagkörforgás hatékonyságát.

A talajfelszín kiegyenlítése közvetlenül hat a terület vízgazdálkodására. Az egyenletes felszínű táblákon az öntöző- vagy csapadékvíz szétterülése sokkal egyöntetűbb, elkerülhetők a vízmegállások a mélyedésekben és a száraz foltok a kiemelkedéseken (Mansour et al. 2023; Alaamer és Alsharifi 2023). Ennek köszönhetően a növényállomány vízellátása kiegyenlítődik, ami csökkenti a vízhiányos és vízzel túlterhelt zónák kialakulását a táblán belül. A lézeres talajszintezés egyik gyakorlati előnye, hogy jelentősen mérsékli az öntözéshez szükséges vízmennyiséget és időt: a sík területen gyorsabban és kevesebb veszteséggel teríthető szét a víz, mint egyenetlen felszínen (Alaamer és Alsharifi 2023). Számos vizsgálat eredménye szerint a precíziós földkiegyenlítés hatására 20–30%-kal kevesebb öntözővíz is elegendő ugyanazon termés eléréséhez (Asif et al. 2003; Jat et al. 2006; Tomar et al. 2020). Indiában például a lézerezett táblákon a rizs, búza, cukornád és repce termesztése során 16–31%-os öntözővíz-megtakarítást figyeltek meg a hagyományos módszerrel művelt földekhez viszonyítva. Mansour et al. (2023) egy Egyiptomban végzett kísérletben azt találták, hogy árpa kultúrában a lézeres kiegyenlítés ~10–13%-kal növelte a vízhasznosítás hatékonyságát, vagyis egységnyi vízfelhasználás mellett ennyivel nagyobb szemtermést sikerült betakarítani. Hasonlóképpen Eid et al. (2014) arról számolt be, hogy deficitese öntözési körülmények között lézerezett területen javult a búza vízproduktivitása a nem kiegyenlített kontrollhoz képest. Összességében tehát a víztakarékosság és a magasabb vízhasznosulás a talajkiegyenlítés egyik legfontosabb agronómiai haszna, különösen vízszűkében levő vagy arid éghajlatú régiókban.

A talaj vízmegtartó képességét (mezőgazdasági hasznosítható vízkészletét) illetően a felszínkiegyenlítés vegyes hatású lehet. A talaj tömörödése általában csökkenti a talaj pórusteret – különösen a nagy átmérőjű pórusok térfogatát –, ami a vízbefogadó képesség mérséklődésével járhat. Parfitt et al. (2014) kimutatták, hogy a szintezés után csökkent a talaj hasznos víztartalma (elérhető vízkészlete) a porozitás és a mikropórusok arányának csökkenése miatt. Ugyanakkor egy törökországi vizsgálatban Öztekin (2013) arra az eredményre jutott, hogy közvetlenül a szintezés után a felszíni talajban nőtt a növények számára hozzáférhető víz mennyisége. Ebben az esetben a jelenség oka az volt, hogy a talaj textúrája és rétegzettsége megváltozott: a szintezés során bizonyos helyeken agyagosabb altalaj került feljebb, ami csökkentette a holtvíz (permanens hervadáspont) értékét, így a hasznos vízkészlet kis mértékben növekedett. Látható, hogy a szintezés talajnedvességre gyakorolt hatása függ a talaj típusától és a beavatkozás mértékétől –

általában azonban törekedni kell arra, hogy a beavatkozás minimális talajréteg-cserével járjon a víztároló képesség megőrzése érdekében (Parfitt et al. 2014).

A talaj vízháztartásának javulásával összefüggésben a földkiegyenlítés közvetett módon a talaj kémiai környezetére is hatással lehet. Az egyenletes vízeloszlás következtében csökken a sófelhalmozódás kockázata a talaj egyes részein: kimutatták, hogy a lézeres szintezés 2–3%-kal növeli a művelhető terület arányát és mérsékli a talaj szikesedését a jobb vízáramlás és lefolyás révén (Alaamer és Alsharifi, 2023).

Egyes speciális esetekben a szkréperézést kifejezetten talajjavítási céllal, a felszíni sóban gazdag réteg eltávolítására is alkalmazzák. Japánban Endo és Kang (2015) sikeresen kombinálta a felső néhány centiméter talajréteg „lehúzását” a természetes csapadék általi kimosódással, hogy egy sóval károsított terület talaját regenerálják. Hasonlóképpen, egy átfogó szakirodalmi áttekintés is rámutatott, hogy a felszín nyeséses mozgatása hatékony lehet a sós talajok rehabilitációjában, de ezzel együtt a termékeny felső réteg is eltávolításra kerül, amit utólagos talajjavítással kell ellensúlyozni (Shaygan és Baumgartl 2022).

A földmozgatással járó felszínkiegyenlítés a talaj tápanyag-eloszlását és szervesanyag-tartalmát is befolyásolja. A felszíni egyenetlenségek kiegyenlítésekor a dombos részek tetejéről gyakran jelentős mennyiségű termőtalaj kerül eltávolításra – ez a talaj legmagasabb tápanyag- és humusztartalmú rétege. Ennek következtében a „vágott” területrészekben a beavatkozás után csökkenhet a talaj tápanyagszintje és szervesanyag-készlete, míg a „feltöltött” mélyedésekben a leterített altalaj keveredik a korábbi felső réteggel. Parfitt et al. (2014) rámutattak, hogy a földkiegyenlítés a termőréteg vastagságának csökkenéséhez vezethet, és a lemunkált A-horizont helyén feltároló B-horizont általában gyengébb termékenységű, kedvezőtlen fizikai tulajdonságú közeg a növények számára. Egy korábbi vizsgálat eredményeit ismertetve megjegyzik, hogy a talajbiológiai aktivitás mutatói (pl. mikroorganizmusok biomasszája) is csökkentek a szintezést követően, jelezve, hogy a mikroorganizmusok élőhelye átmenetileg sérül a talaj bolygatása miatt. Mindezek alapján várható, hogy a frissen szintezett területeken visszaeshet a talaj tápanyag-szolgáltató képessége a műveletet követő első időszakban.

Ugyanakkor a precíziós földkiegyenlítés hosszabb távon elősegítheti a hatékonyabb tápanyag-gazdálkodást. Mivel az öntözés és a kijuttatott tápanyagok (pl. műtrágya) egyenletesebben oszlanak el, a növények kiegyenlítettebben veszik fel a rendelkezésre álló tápanyagokat, és kevesebb vész kárba (Chen et al. 2024). Egy kísérlet szerint a lézeres talajszintezés hatására a búza szemtermése 11,7%-kal nőtt, és a növények által felvett

nitrogén mennyisége is 6,5 kg-mal magasabb volt hektáronként a hagyományos felszínnel művelt területhez képest (Sabahy et al. 2024). Ez arra utal, hogy a jobb vízellátottság mellett a tápanyagok is jobban hasznosulnak a szintezett talajon, kevesebb a kimosódás vagy a pangó vizek miatti veszteség. Chen et al. (2024) megjegyzi, hogy a precíziós talajkiegyenlítés nyomán csökkenthető a kijuttatott műtrágya mennyisége, mert a tápanyagok hasznosulása hatékonyabb, ami a költségek és a környezeti terhelés mérséklését is lehetővé teszi.

Ami a talaj szervesanyag-tartalmát illeti, vegyes eredményekkel találkozhatunk. Rövid távon a termőréteg bolygatása és részleges eltávolítása tényleges szervesanyag-veszteséget jelenthet a vágott területeken. Hosszabb távon viszont a javuló termésátlagok és a nagyobb gyökértömeg visszaforgása ellensúlyozhatja ezt a hatást. Tomar et al. (2020) három éven át vizsgálták a lézeres szintezés hatását és azt tapasztalták, hogy a szintezett parcellákon a 0–15 cm-es talajréteg összes széntartalma és szerves szénkészlete magasabb lett a harmadik év végére, mint a szintezetlen kontrolltalajban. A jobb terméseredmények következtében több szerves maradvány került a talajba, ami hosszabb távon a humusztartalom növekedését eredményezte a kiegyenlített területen (Tomar et al. 2020). Fontos kiemelni, hogy a jelentős talajmozgatással járó beavatkozást követően évekbe telhet, mire a talaj biológiai aktivitása és szervesanyag-dinamikája újra egyensúlyba kerül. Izadpanah et al. (2024) rámutattak, hogy a földkiegyenlítést követő talajtakarás (pl. takarónövények vetése) enyhítheti a talajkémiai és biológiai degradáció jeleit: a szintezés utáni években a takarónövénnyel befedett parcellák talajában magasabb mikrobiális aktivitást és kedvezőbb kémiai jellemzőket mértek, mint a takaratlanul hagyott területen. Ez azt jelzi, hogy megfelelő utókezeléssel és szervesanyag-visszapótlással a földkiegyenlítés negatív hatásai mérsékelhetők, és a talaj termékenysége hosszú távon fenntartható.

Összefoglalva, a földkiegyenlítés rövid távon átstrukturálja a talaj tápanyag-eloszlását és csökkentheti a szervesanyag-készletet a bolygatás és termőréteg-veszteség miatt. Hosszabb távon azonban – különösen megfelelő gazdálkodási intézkedések (pl. takarónövények vetése, szerves trágyázás) mellett – a talaj új egyensúlyi állapotba kerülhet, és a jobb növényi produkció révén szervesanyag-tartalma ismét növekedhet. A modern precíziós módszerek hozzájárulnak a tápanyagok hatékonyabb kihasználásához is, ami akár a műtrágyaadagok csökkentését is lehetővé teheti.

2.5.3 A szkrépezés hatása a növényekre és a termés hozamra

A földkiegyenlítés egyik közvetlen és gazdasági szempontból legfontosabb hatása a terméseredmények javulása. Az egyenletes felszínű, jól kiegyenlített táblákon a vetett növények számára közel azonos feltételek adódnak a keléshez és a növekedéshez, ami egységesebb és erőteljesebb állományt eredményez. Kísérleti eredmények igazolják, hogy a lézerrel kiegyenlített területeken jobb a kelési arány és gyorsabb a kezdeti növekedés, mint egyenetlen talajfelszínen. Alaamer és Alsharifi (2023) két kukoricahibriden végzett kísérlete során a lézeres szintezést alkalmazó parcellákon ~90%-os kelési arányt mértek, szemben egy hagyományosabb módszerrel kiegyenlített terület ~78%-os értékével. A fiatal növények átlagos magassága és életerő-indexe szintén magasabb volt a precízen szintezett földön, továbbá a gyökerek szárazanyag-tömege is meghaladta a kontroll értékét. Mindez a kezdeti fejlődési előny a vegetációs időszak későbbi részében is megmutatkozik: a homogén állomány záródása egyenletesebb, a gyomelnyomó képessége jobb, a növényvédelem és a tápanyag-utánpótlás is hatékonyabban végezhető rajta (Chen et al. 2024). Végző soron a jobb vízellátás, a kiegyenlített tápanyag-felvétel és a stresszmentesebb körülmények magasabb terméshozamot eredményeznek a kiegyenlített területeken.

Szántóföldi kísérletek sora igazolja a terméshozam jelentős növekedését a felszínkiegyenlítés hatására, különböző növénykultúrákban. Pakisztánban például a búza termése ~18%-kal emelkedett lézeres talajgyegetés mellett a hagyományos módszerhez viszonyítva, mégpedig az öntözővíz-hatékonyság egyidejű javulása mellett (Asif et al. 2003). Hasonlóképpen, India északnyugati részén a lézerrel szintezett gazdaságokban a rizs hozama ~14%-kal, a búzáé ~11%-kal, a cukornádé ~16%-kal, az olajrepcéé ~15%-kal magasabb volt, mint a szintezetlen kontroll parcellákon (Tomar et al. 2020). Egy másik vizsgálatban, Irakban a lézeres és egy hagyományosabb „tabletes” vezérlésű szintező gép összehasonlításakor a kukorica szemtermése 8,59 t/ha-nek adódott lézeres kiegyenlítés esetén, míg a kevésbé precíz módszerrel szintezett területen csak 6,41 t/ha-t értek el (Alaamer és Alsharifi 2023). Ez több mint 30%-os termésnövekedést jelentett a lézer alkalmazásának köszönhetően. Hasonló tendenciát figyeltek meg Jasim et al. (2023) is, melyek szerint a talajkiegyenlítő eszközök használata mellett csökkent a talaj tömörödése és nőtt a kukorica hozama a kontrollhoz képest. Mansour et al. (2023) árpával végzett kísérlete azt mutatta, hogy két szezon átlagában ~11%-kal emelkedett a szemtermés a lézerrel szintezett és egyben minimális talajművelésű parcellákon a hagyományos módszerrel előkészített talajhoz viszonyítva. Emellett javult a szemek

ezermagtömege és a termés minősége is, ami a kedvezőbb vízellátottság és tápanyag-ellátottság eredménye lehetett.

Fontos azonban megjegyezni, hogy a földkiegyenlítés nem minden esetben jelent azonnali és mindenhol egységes hozamnövekedést. Ha a kiegyenlítés során extrém vastagságú termőrétet távolítanak el egyes helyeken, ott átmenetileg terméseszkkenés is felléphet a talajdegradáció miatt. Parfitt et al. (2014) idéz egy vizsgálatot, melyben a mélyen (kb. 0,10 m-rel) lemunkált foltokon a kukorica és a szója hozama drasztikusan visszaesett (2,4 t/ha körüli értékre), míg a feltöltött területeken jóval magasabb termést (7–8 t/ha) mértek – ez a szélsőséges beavatkozás talajheterogenizáló hatására utal. Az optimális hozam érdekében ezért a szakirodalom a lehető legkisebb mértékű talajmozgatást javasolja: csak annyit, amennyi feltétlenül szükséges az elfogadhatóan sík felszín eléréséhez (Parfitt et al. 2014). Összességében ugyanakkor elmondható, hogy a földkiegyenlítés megfelelő kivitelezés mellett jellemzően növeli a terméshozamot és javítja a növényállomány minőségét, köszönhetően a kiegyenlített termesztési feltételeknek. Ez a hozadék a technológia széleskörű elterjedésének egyik fő motorja volt számos ország öntözéses gazdálkodási rendszereiben.

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A mintaterület jellemzése

Kísérleteimet Zsadány település határában, a Zsadány Malom 97' Kft. területén végeztem. Zsadány az Alföldön, a Berettyó-Körös-vidéken, a Kis-Sárrét kistájban helyezkedik el (3. ábra). Domborzatát tekintve mélyfekvésű síkság. A talajtakarót hidromorf talajok alkotják, talajainak mintegy 44%-a szikes, 34%-a réti, 14%-a síkláptalaj (Dövényi 2010).



3. ábra: Zsadány település határának átnézeti térképe a vizsgált táblák megjelölésével
Forrás: Google Maps (a táblák határai a térképen megjelenítettekhez képest változtak)

A kistáj éghajlata mérsékelten meleg, az éves csapadékmennyiség átlagosan 540–560 mm közötti. A belvízveszély szempontjából elsősorban a téli félév (október–március) csapadékát kell figyelembe venni (2. táblázat). Az általam vizsgált táblák szomszédságában fekvő telephelyen található meteorológiai állomás rendelkezésre álló adatai alapján a szkrépezés előtti és utáni években is viszonylag egyenletes volt a téli félévekben a talajt ért vízterhelés, ami potenciálisan a belvíz kialakulását eredményezheti.

2. táblázat: A vizsgált terület téli féleves csapadékadatai havi bontásban (Zsadány, 2015-2023)

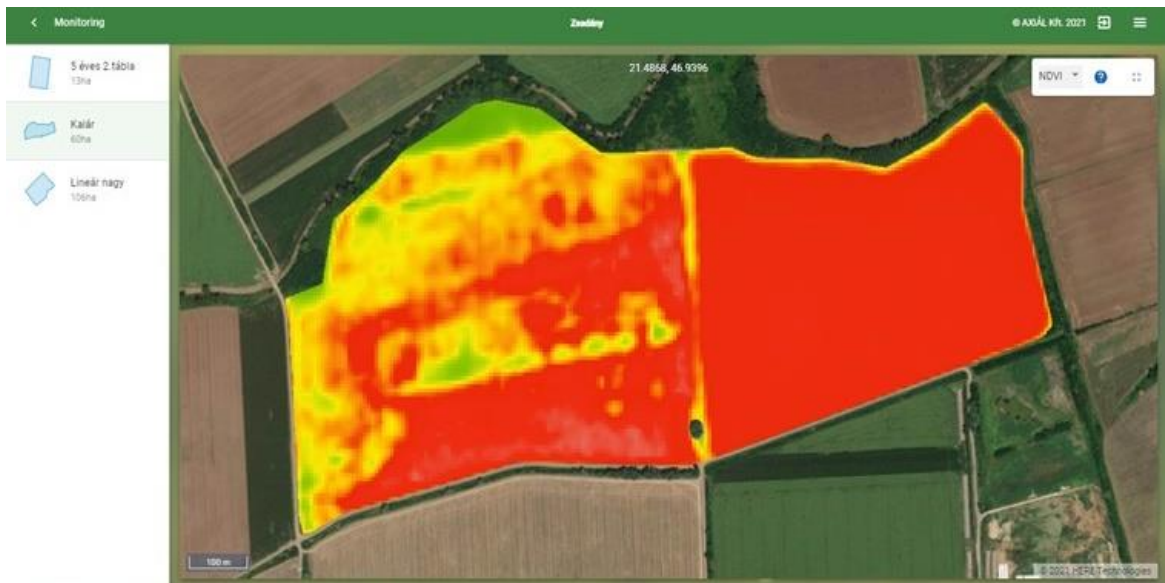
Hónapok	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
10	39	74	23	54	62	21	20	2	
11	50	31	31	61	32	45	15	40	
12	65	41	47	11	61	85	136	81	
01	32	45	64	54	36	34	31	49	
02	65	82	34	32	31	23	23	18	
03	65	32	29	31	45	43	43	34	
Összesen (mm)	316	305	228	243	267	251	268	224	

A Zsadány Malom 97' Kft. teljes üzemméretből 900 hektár szántó, a termesztett növények: napraforgó, kukorica, búza, illetve az 500-as létszámú tejelő szarvasmarha-állomány takarmány előállításához szükséges lucerna, olaszperje és szudánifű. A céget 1997-ben alapították, főtevékenysége tejhasznú szarvasmarha tenyésztése (URL 2024b). Folyamatosan fejlesztik a gépparkjukat és az alkalmazott technológiákat, ennek keretében a precíziós gazdálkodás útján is elindultak, talajvizsgálatokra alapozva, differenciáltan juttatják ki a területeikre a műtrágyát és a közeljövőben a differenciált tőszámú vetést bevezetését is tervezik. Mindazonáltal a fejlődésüket a leginkább hátráltató tényező a belvíz. A szántóterületeik több mint fele belvízzel érintett. Ennek az 500 hektárnak több mint 30%-a mezőgazdasági munkák idején víz alatt áll, így gyakorlatilag kiesik a termelésből. Az állatok folyamatos takarmányigénye miatt ekkora terület nem maradhat kihasználatlanul, ezért a belvizes táblák javításába kezdtek. Először több éven keresztül próbálkoztak talajlazítással, de a kívánt eredmények elmaradtak. Ekkor döntöttek úgy, hogy egy hatásosabb módszerrel, a GPS-vezérelt scraper (szkréper) láda használatával próbálkoznak. Olyan ládavezérlést kívántak kialakítani, amely GPS-jel segítségével a termőföldet egy síkba tudná hozni a belvízzel sújtott területeken. Egy a Trimble által fejlesztett szoftver és a hozzá kapcsolódó technológia tűnt a legjobb megoldásnak, amelyet korábban Magyarországon még nem alkalmaztak, de az előzetes információk alapján a feladat megoldására alkalmasnak tűnt (Trimble 2024b).

Először csak egy 2 hektáros területen tesztelték a földtömeg-elosztást, az első eredmények ígéretesnek bizonyultak, a talajszint-kiegyenlítés nagyon szép képet mutatott a talajfelszín vonatkozásában (4. ábra). Az elvégzett scraper ládás beavatkozás után őszi búza került elvetésre. Jól látszik az NDVI felvételeken (5. ábra), hogy a ládázás mennyire homogenizálta a táblát.



4. ábra: Talajszint különbség a szkrépezett (jobbra) és a rendezetlen terület (balra) határán (Forrás: saját fotó)



5. ábra: A próbaterület NDVI felvétele a mAXI-MAP szoftverben (Forrás: Axiál Kft.)

2020-ban a beavatkozást kiterjesztették egy 23,3 hektáros táblára (T8) is, ez lett a kutatásom első helyszíne. A T8-as tábla kiválasztásánál szerepet játszott, hogy az volt az egyik legrosszabb adottságú és egyben a legnagyobb szintkülönbségekkel rendelkező területük. 2021-ben egy ugyancsak belvízérzékeny 27,8 hektáros táblát (T9) jelöltünk ki szkrépezésre. A harmadik, 30 hektáros táblát (T10) 2022-ben vontuk be kutatásunkba.

Mindhárom tábla síkvidéki környezetben fekszik, de ezek közül a T8-as tábla felszíne mutatja a legnagyobb szintkülönbségeket (mikrorelief-eltéréseket). Talajtani paramétereik között is megfigyelhetők bizonyos különbségek (3. táblázat).

3. táblázat: A vizsgált három tábla (T8, T9, T10) talajának jellemzői a szkrépezés előtt

Paraméter	T-8	T-9	T-10
pH _(KCl)	5,85	6,17	5,60
Arany-féle kötöttség	59	56	58
Összes sótartalom m/m%	0,06	0,07	0,07
CaCO ₃ m/m%	0,87	0,83	0,47
Humusztartalom m/m%	2,67	2,55	2,78
P ₂ O ₅ mg/kg	89	145	109
K ₂ O mg/kg	207	203	282
NO _x -N mg/kg	7,66	8,26	1,97
Na mg/kg	40,0	71,2	53,0
Mg mg/kg	629	667	776
SO ₄ ²⁻ -S mg/kg	25,4	27,5	8,6
Mn mg/kg	285	190	91
Zn mg/kg	2,7	1,9	2,4
Cu mg/kg	7,2	6,7	7,0

Forrás: "Felső-Bácskai Agrolabor" (NAH-1-1125/2019)

A táblákat 2014-ig hagyományos szántással művelték, majd 2014-ben áttértek a csökkentett (kímélő) talajművelésre. Ennek célja a talaj szerves szénkészletének megőrzése volt. 2015 óta a talajműveléshez két fő eszközt alkalmaznak: a Horsch Tiger tarlóhántó kultivátort (Horsch 2024), amely 30-35 cm mélységben dolgozik a tavaszi növények vetése előtt, valamint a Väderstad TopDown univerzális kultivátort (Väderstad 2024), amely 25-30 cm mélységig műveli meg a talajt az őszi gabonák vetése előtt. Az intenzív NPK-trágyázásnak köszönhetően a vizsgált parcellákon termesztett növények hozama kiemelkedően magas, a megyei átlag 150-180%-át is elérheti.

Minden vizsgált táblán azonos vetésciklust alkalmaznak: napraforgó – búza – kukorica – kukorica sorrendben. Az agrotechnikai műveleteket a helyi viszonyokhoz igazodva, a gyakorlatban bevált módon végezték, beleértve a vetésidők optimális megválasztását is. A vetésidőket a növények igényeihez és az éghajlati viszonyokhoz igazították – a tavaszi kultúrákat (napraforgó, kukorica) jellemzően áprilisban vetették, míg az őszi gabonát (búza) októberben.

A vetőmag mennyiségének megválasztásakor a cél az optimális tőszám elérése volt; ennek megfelelően például kukoricából ~70 ezer, napraforgóból ~50 ezer, búzából ~5 millió csírárt vetettek hektáronként. A tápanyag-utánpótlás a talajmintavételi eredmények alapján differenciáltan történt: a precíziós gazdálkodás eszközeit alkalmazva a műtrágya dózisát és összetételét az egyes parcellarészek talajának tápanyag-ellátottságához

igazították. A talajművelési eljárásokban 2014-től a forgatás elhagyására álltak át – szántás helyett kímélő, kultivátorral végzett lazítást alkalmaztak (a tavaszi vetések előtt ~30 cm, az őszi vetések előtt ~25 cm mélységig). Az említett intenzív és precíziós technológiai elemek eredményeként a főbb növények átlagos hozama kiemelkedően magas volt, gyakran a megyei átlag 1,5–1,8-szorosát is elérte.

Fontos kiemelni, hogy a kukoricát minden esetben öntözték a tenyészidőszakban; a természetes csapadékkal együtt így a két vizsgált évben mintegy 350 mm víz állt a növények rendelkezésére, ami biztosította, hogy a hozamok az évek között jól összehasonlíthatóak legyenek.

3.2 Az alkalmazott földtömeg-elosztási technika leírása

A ládázáshoz használt Bos Scraper MEGA (Bos 2024) típusú munkagép 3 méteres munkaszélességgel, 1,25 méteres pengemagassággal és 7 m³-es nyesőláda-kapacitással rendelkezik. Az üzemeltetéshez egy 390 lóerős Fendt 939 Vario (Fendt 2024) traktort alkalmaztunk (6. ábra).



6. ábra: Szkrépezés a kísérleti területen. A nyesőládát egy 287 kW teljesítményű traktor üzemeltette (Forrás: saját fotó)

Az általunk használt szkréper egy olyan munkagép, amely egy nyesőládából áll, melynek feladata, hogy menet közben földforgácsot nyessen le a talajból és gyűjtsön a ládába. A láda fenéklemezén vágóéltartó található, amelyhez acél vágóél van csavarozva. A nyesőláda elején hidraulikus lengőajtó zárja le a munkát. A járószerkezet két csappal

rögzíti a ládát, és hidraulikával emeli fel és le. A járószerkezet elülső része hattyúnyak formájú, és a vontatóhoz csatlakozik. A nyesőláda hátulján található hátsó tengely tolóbakkal kapcsolódik a szerkezethez.

A munkafolyamatok vezérléséhez a Trimble cég szoftverét használtuk (Trimble 2024a). A Trimble Ag szoftver (Trimble 2024b) könnyen, gyorsan ad megbízható képet területi heterogenitásáról a növények növekedése szempontjából, illetve a jövedelmezőség tekintetében problémás táblákról táblarészekről gépek/gépkezelők munkavégzéséről. Széleskörű kompatibilitást biztosít – sok gyártó eszközeivel, gépével tud együttműködni, ismerve azok fájlformátumait. A gyűjtött információk alapján komplexebb képet tud alkotni területekről, nagyobb valószínűséggel tudja kimutatni, hogy hol és melyek azok a tényezők, amelyek gátolják a növényzet növekedését, fejlődését – azaz a jövedelmezőségét. Ezen információk birtokában mindenhol a helyes stratégiát lehet kiválasztani: ahol ezek a tényezők megszüntethetők (talaj tömörödöttség, alacsony pH stb.), képes beavatkozni, illetve domborzati modell elkészítése alapján lehet képes döntéseket hozni. Mindkét út az input anyagok, erőforrások hatékonyabb felhasználását, ezáltal pedig a javuló jövedelmezőséget eredményez. A Trimble szoftverében nem csak a tábla szintkülönbségeinek kiegyenlítését lehet beállítani, hanem sok mást is, például, hogy merre és milyen mértékben lejtessen a terület, hogy a tábla szélét övező csatornába lehessen elvezetni a felesleges vizet (Trimble 2024b).

A topográfiai térképek elkészítéséhez, valamint a térbeli adatok értelmezéséhez és megjelenítéséhez is az előre kalibrált Trimble Ag szoftvert használtuk, amely centiméteres felbontású adatokat szolgáltatott. A magassági kategóriák létrehozásához és a geológiai adatok kategóriákba rendezéséhez a Microsoft Excel programot vettük igénybe. A statisztikai értékeléshez párosított kétmintás t-próbát alkalmaztunk, amely alkalmas azonos mintavételi pontból származó, egymást követő évek mintáinak összehasonlítására, így megmutatva, hogy az beavatkozás milyen változást idézett elő. Az eredmények kiértékelésére LSD-tesztet (Least Significant Difference) alkalmaztunk, amely lehetővé teszi az átlagértékek közötti különbségek részletes összehasonlítását, és meghatározza azt a legkisebb különbséget, amely még statisztikailag szignifikánsnak tekinthető az adott megbízhatósági szinten.

3.3 A kutatás során alkalmazott módszerek

3.3.1 A mintavételi pontok besorolása

Mind a három vizsgált táblán mintavételi pontok kerültek kijelölésre: a T8-as táblán 21, a T9-es táblán 19, a T10-es táblán pedig 16. A tengerszint feletti magasságuk szerint a mintavételi pontokat magassági kategóriákba soroltam be (4. táblázat).

4. táblázat: A vizsgált táblák (T8, T9, T10) mintavételi pontjainak elemszáma magassági kategóriák szerint

T8		T9		T10	
Magassági kategória	Elemzés (n)	Magassági kategória	Elemzés (n)	Magassági kategória	Elemzés (n)
102,0-102,5 m	3	97-97,5 m	8	90,0-91,0 m	3
103,0-103,5 m	4	97,5-98 m	6	91,0-91,5 m	10
103,5-104,0 m	6	98-98,5 m	7	91,5-92,0 m	3
104,0-104,5 m	6	-	-	-	-

A magassági kategóriák meghatározásánál egyrészt az adott táblán a mintavételi pontok elhelyezkedését vettem figyelembe, így az egyes pontok által reprezentált területek, azaz a közel azonos magasságú (0,5 m-en belüli) pontok halmaza által meghatározott magassági kategóriák összessége, közel az egész táblát lefedte. Másrészt azt is figyelembe vettem, hogy az egyes magassági kategóriák statisztikailag értékelhető számú elemet tartalmazzanak.

3.3.2 A mozgott földtömeg becslése

A mintavételi pontok magasságadatai alapján becsültem a vizsgált három tábla magasabban fekvő területrészeiről eltávolított, illetve a mélyebben fekvő területrészekre ráhelyezett talaj mennyiségét. A magassági térképeken feltüntetett százalékos arányokat vettem figyelembe az egyes magassági kategóriákhoz tartozó területrészek méretének meghatározásához: a tábla méretét (pl. T8-as tábla 23,3 ha) szoroztam meg az egyes területrészekhez tartozó százalékos arányokkal (pl. 103,3-103,6 m 16%). Ezután az egyes vizsgálati táblák mintavételi pontjainak a szkrépezés előtti, illetve utáni felvételezésekor meghatározott tengerszint feletti magasságainak (m) a különbségét számítottam ki, az értékeket az egyes magassági kategóriákon belül átlagoltam.

Az átlagos magasságkülönbségek (m) és az adott területrészhez tartozó területnagyság (m²) szorzata adta az onnan eltávolított (negatív érték esetén), illetve az oda ráhordott (pozitív érték esetén) föld mennyiségét köbméterben. A mozgott föld térfogatát (m³) a

terület talajára jellemző térfogattömeg értékkel ($t\ m^{-3}$) megszorozva becsültem meg a mozgatott föld tömegét. Természetesen ezek csak becsült értékek, mivel a mintavételi pontok nem fedték le a teljes területnagyságokat, illetve a vizsgálati időpontok között eltelt 1 év alatt bekövetkezett talajtömörődéssel sem tudtam számolni. Mindazonáltal ezek a földtömegszámítási becslések hasznos alapját képezték az átmozgatott talajban lévő anyagok (pl. makro- és mezoelemek) mennyiségének számításához.

3.3.3 A talajminták vizsgálati módszerei

A talajminták laboratóriumi vizsgálata a "Felső-Bácskai Agrolabor"-ban (URL 2024a), az Agrokémiai Szolgáltató Kft. NAH-1-1125/2019 számon akkreditált vizsgálólaboratóriumában történt. A vizsgálatok nevét és módszerét az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Az elvégzett vizsgálatok neve és módszere

Vizsgálat	Vizsgálat teljes (hivatalos) neve	Módszer (szabvány) neve
Kötöttség (K_A)	Kötöttségi szám (Arany szerint)	MSZ-08-0205:1978 5.1. szakasz
Összes só (Össz. só)	Vízben oldható összes sótartalom	MSZ-08-0206-2:1978 2.4. szakasz
pH-érték ($pH_{(KCl)}$)	pH-érték (KCl-os szuszpenzió)	MSZ-08-0206-2:1978 2.1. szakasz
Mész ($CaCO_3$)	Szénsavas mésztartalom	MSZ-08-0206-2:1978 2.2. szakasz
Humusz (Hum)	Humusztartalom (Szerves széntartalom) tartalom	MSZ-08-0210:1977 2.1. szakasz
Foszfor (P_2O_5)	Foszfor tartalom (Foszfor-pentoxid (P_2O_5)-ban megadva) (AL-oldható)	MSZ 20135:1999 5.4.2. szakasz
Kálium (K_2O)	Kálium tartalom (Kálium-oxid (K_2O)-ban megadva) (AL-oldható)	MSZ 20135:1999 5.3. szakasz
Nátrium (Na)	Nátriumtartalom (AL-oldható)	MSZ 20135:1999 5.3. szakasz
Magnézium (Mg)	Magnéziumtartalom (KCl-oldható)	MSZ 20135:1999 5.2. szakasz
Nitrit+nitrát (NO_2+NO_3)	(Nitrit+nitrát)- nitrogén tartalom (KCl-oldható)	MSZ 20135:1999 5.4.3. és 5.4.4. szakaszok
Szulfát-kén (SO_4-S)	Szulfát-kén tartalom (KCl-oldható)	MSZ 20135:1999 5.4.1. szakasz
Mangán (Mn)	Mangántartalom (EDTA-oldható)	MSZ 20135:1999 5.2. szakasz
Cink (Zn)	Cinktartalom (EDTA-oldható)	MSZ 20135:1999 5.2. szakasz
Réz (Cu)	Réztartalom (EDTA-oldható)	MSZ 20135:1999 5.2. szakasz

3.3.4 A talajellenállás meghatározása penetrométerrel

A talajok tömörödését, a térfogattömeg mérése mellett, a talajellenállás mérésével is lehet jellemezni. Az utóbbi a gyakorlatban jobban elterjedt, mivel kevésbé idő- és költségigényes. Talajellenállást penetrométer segítségével lehet mérni. A penetrométer egy olyan készülék, amely a talaj nyomó és nyíró szilárdságát méri. A szondakúp talajba hatolása során a műszer memóriája regisztrálja és rögzíti a vizsgált szelvényben található eltérő szilárdságú rétegek közötti különbségeket (Takács 1990). Ennek az eszköznek különböző változatai terjedtek el a gyakorlatban. A talajt jellemző és talajtípusonként eltérő penetrációs ellenállás mérésére különböző mérőeszközök használhatók (Birkás

2002). Hazánkban leginkább a Dvoracsek-féle ejtősúlyos (Dvoracsek 1968), a szarvasi Penetronik (Daróczi és Lelkes 1999; Penetronik 2024) és a 3T SYSTEM rétegindikátorokat (Sinóros-Szabó és Szöllősi 1999) alkalmazzák a gyakorlatban. A tömörséget mérő értékeket N/cm^2 -ben (szarvasi PENETRONIK) – vagy MPa-ban (3T SYSTEM) – olvashatjuk le.

A talajellenállás érték, mint jelzőszám a talajtömörödést fejezi ki, mely számos tényezőtől függ. A talaj károsan tömörödöttnek minősül, ha a penetrométerrel mért talajellenállás meghaladja a 3-3,5 MPa értéket, a talaj térfogattömege az $1,5 g/cm^3$ határt (Birkás 1994). A talajművelő eszköz és a mérőműszer ellenállást befolyásolja a talajfizikai paraméterek. A talajellenállás fordítottan arányos a talaj nedvességtartalmával, a térfogattömeggel pedig egyenes arányos (Campbell et al. 1991). A talajellenállást leginkább befolyásolja a talaj aktuális nedvességtartalma. Ezért nagyon fontos, hogy a talajellenállás mérésével egy időben kell végezni a talaj nedvességtartalmának mérését, mivel mind tömörödött, mind erősen kiszáradt talajállapotnál kiugróan magas ellenállás értékek merhetnek (Rátonyi 1999). Egy adott agrotechnikai beavatkozás hatásának vizsgálata alkalmával a talajellenállásból tudunk következtetni a talaj tömörödöttségére, így a talaj nedvességtartalmának ismerete elengedhetetlen a talajellenállás értékek értelmezéséhez (Kocsis et al. 1992).

Penetrométerrel mérhető a talaj tömöröttsége, lazultsága, a tömörödött réteg vastagsága és mélységbeli elhelyezkedése. Ez által megállapítható a talaj fizikai állapotának térbeli és időbeli változása (Koolen és Kuipers 2012). Azért elterjedt ez a módszer, mivel a méréseket gyorsan és nagy ismétléssel kivitelezhető, valamint a tudomány számára és a gyakorlati szakembereknek pontos adatot szolgáltat. Ezek a műszerek nedvességmérővel egybeépítettek, segítséget nyújtanak az eredmények a művelési mód és időpont megválasztásában.

A penetrométert szinte minden talajtípuson alkalmazzák, kivéve a kavicsos, köves váztalajok, ahol az áthatolhatatlan, nagyméretű rögök és talajalkotó részek nem teszik lehetővé a szonda mozgását. Ha viszont mégis lehatol a szondakúp a talajba, akkor függőleges repedést okoz és nem szolgáltat pontos adatot. Az erősen tömörödött talaj ellenállását penetrométerrel nem lehet egyértelműen meghatározni, mivel ilyen körülmények között a szondát nem lehet a talajba lenyomni, ha viszont mégis akkor behatolásakor a szondakúp függőleges irányú repedéseket hoz létre, és a repedésben mért alacsony ellenállás miatt nem jellemzi megfelelően a talaj szilárdságát (Freitag 1971).

3.4 Adatfeldolgozási és értékelési módszerek

A kutatási adatok feldolgozása során a domborzati térképek mellett egyaránt alkalmaztam leíró és összetett statisztikai számításokat. Az adatok rendszerezésének és feldolgozásának megkönnyítése érdekében a három növénytermesztési táblát négy (T8-as tábla), illetve három (T9-es és T10-es tábla) tengerszint feletti magassági kategóriába soroltam. Az elemzéseket ezen magassági kategóriák szerint ábrázolom és mutatom be. A leíró statisztikai módszerek közül az átlagot a jellemző értékek meghatározására használtam, míg az összegzés segítségével a paraméterek összmenységének változását vizsgáltam. Ezek célja az volt, hogy átfogó képet kapjak a különböző magassági szintek általános talajtani jellemzőiről.

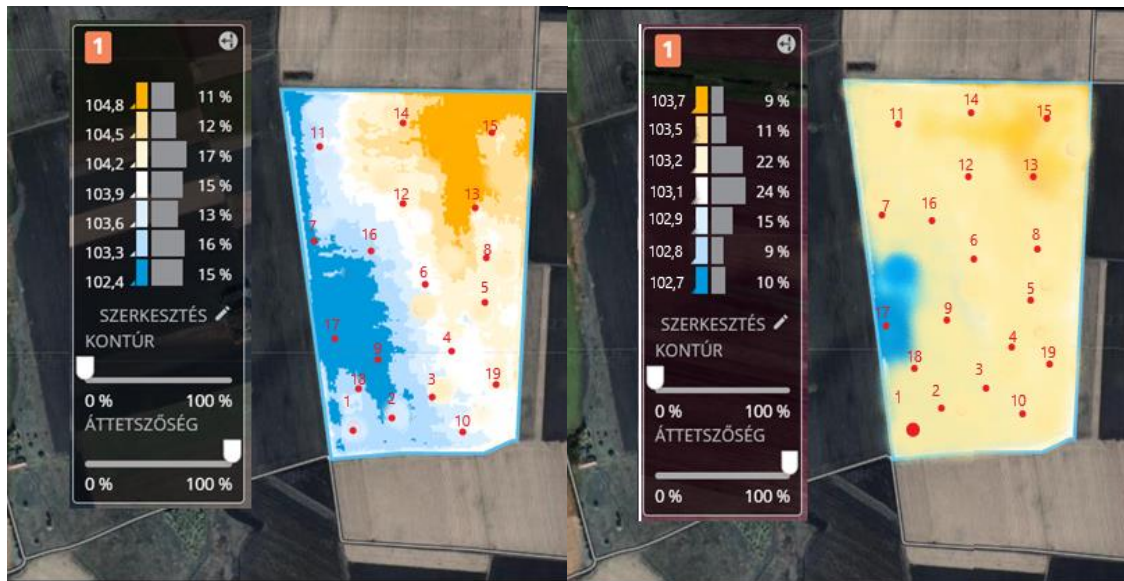
Az összetett statisztikai eljárások közül az egy tényezős varianciaanalízist (ANOVA) arra alkalmaztam, hogy megállapítsam, van-e szignifikáns különbség a talajparaméterek értékei között a különböző magassági kategóriákban. A párosított t-próba segítségével pedig azt vizsgáltam, hogy a szkréperezés beavatkozása előtt és után történt-e statisztikailag szignifikáns változás ugyanazon terület egységeken belül.

4 EREDMÉNYEK

4.1 A szkrépezés hatása a táblák mezodomborzatára

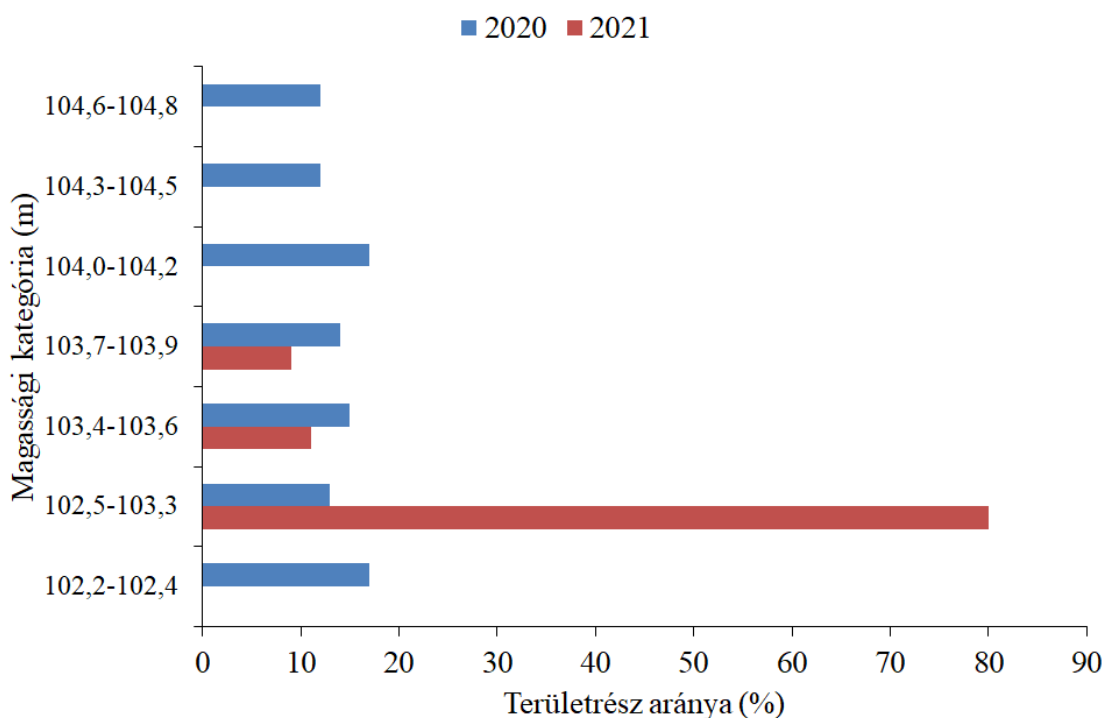
4.1.1 A T8-as tábla domborzatának alakulása

A T8-as táblán az első mintavételekre 2020-ban került sor, majd pedig a földtömeg-elosztást követően 2021-ben megismételtük a mintavételt ugyanazon a 19 ponton. A tábla domborzati térképét a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: A T8-as tábla domborzati térképei, 2020-2021

A földtömegmozgatás előtt a tábla átlagos tengerszint feletti magassága 97,8 m, a legnagyobb magasságbeli különbség 2,6 m volt. A szkrépezés hatására a tábla domborzata homogénebb lett, a legmélyebb és a legmagasabb fekvésű területek részaránya 0%-ra csökkent, míg a közepes fekvésű területek (102,5-103,3 m) részaránya 13-ról 80%-ra növekedett, a legnagyobb szintkülönbség 1 m-re csökkent (8. ábra). A beavatkozás után a kezdetben rendkívül heterogén domborzatú tábla három, egyenként homogénnek tekinthető domborzatú részre oszlott, ami megfelel a földtömeg-elosztás céljának.



8. ábra: A különböző magasságú területrészek százalékos arányának változása a földtömeg-áthelyezés hatására a T8-as táblán (2020-2021)

A mintavételi pontok magasságadatai alapján megbecsültem a T8-as tábla magasabban fekvő területrészeiről eltávolított, illetve a mélyebben fekvő területrészekre ráhelyezett talaj mennyiségét (6. táblázat).

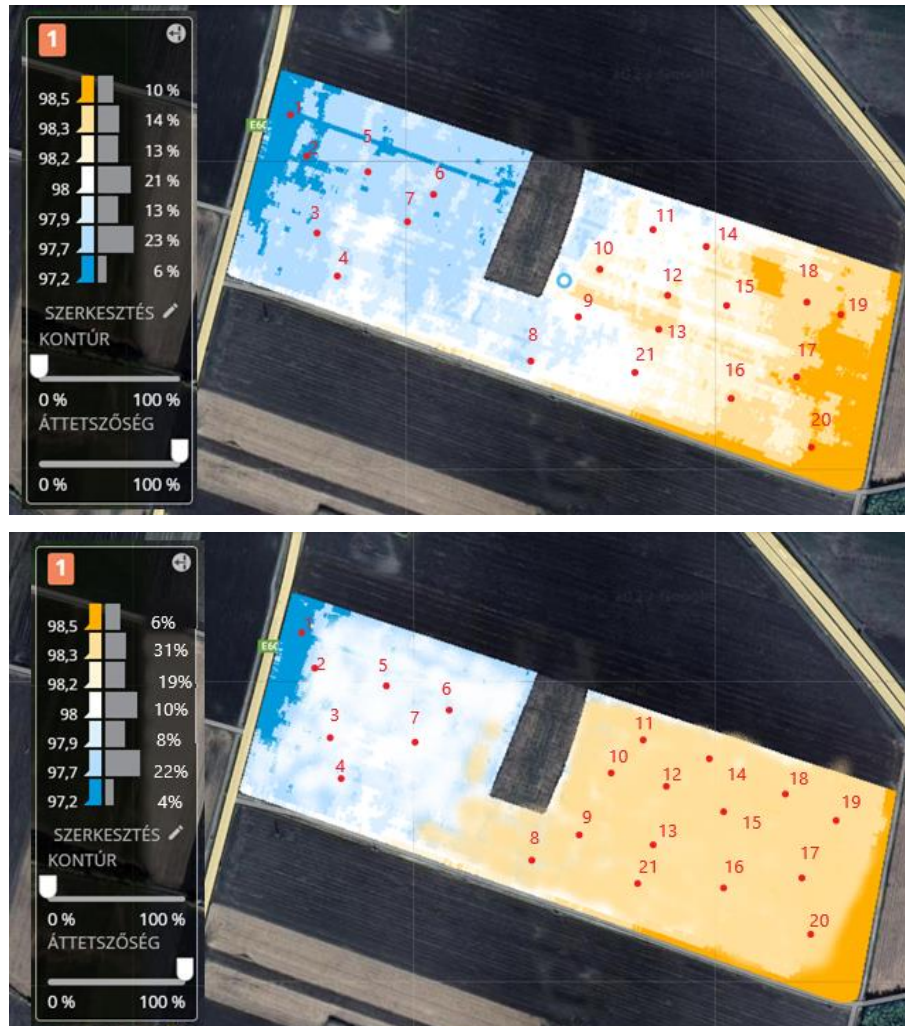
6. táblázat: A T8-as tábla területrészein áthelyezett föld térfogata és tömege (2020)

Magassági kategória (m)	Területrész nagysága (ha)	Átlagos magasságváltozás (m)	Mozgatott földtérfigat (m ³)	Mozgatott földtömeg (t)
102,2-102,4	3,96	0,95	+37.630	+52.681
102,5-103,3	3,03	0,34	+10.299	+14.418
103,4-103,6	3,50	0,16	+5.592	+7.829
103,7-103,9	3,26	-0,04	-1.305	-1.827
104,0-104,2	3,96	-0,40	-15.844	-22.182
104,3-104,5	2,80	-0,40	-11.184	-15.658
104,6-104,8	2,80	-0,90	-25.187	-35.262
Összesen	23,3		53.520	74.928

A táblázat adatai alapján jól látszik, hogy a 12,8 hektárnyi magasabban fekvő (103,7-104,8 m) területekről eltávolított 53.520 m³ mennyiségűre becsült földet a 10,5 hektárnyi mélyebben fekvő (102,2-103,9 m) területrészekre osztotta el a nyesöláda. A magasabb területrészekről átlagosan 42 cm vastag talajréteg került letermelésre és átlagosan 51 cm vastagságban lett szétterítve a mélyebb fekvésű területrészekre.

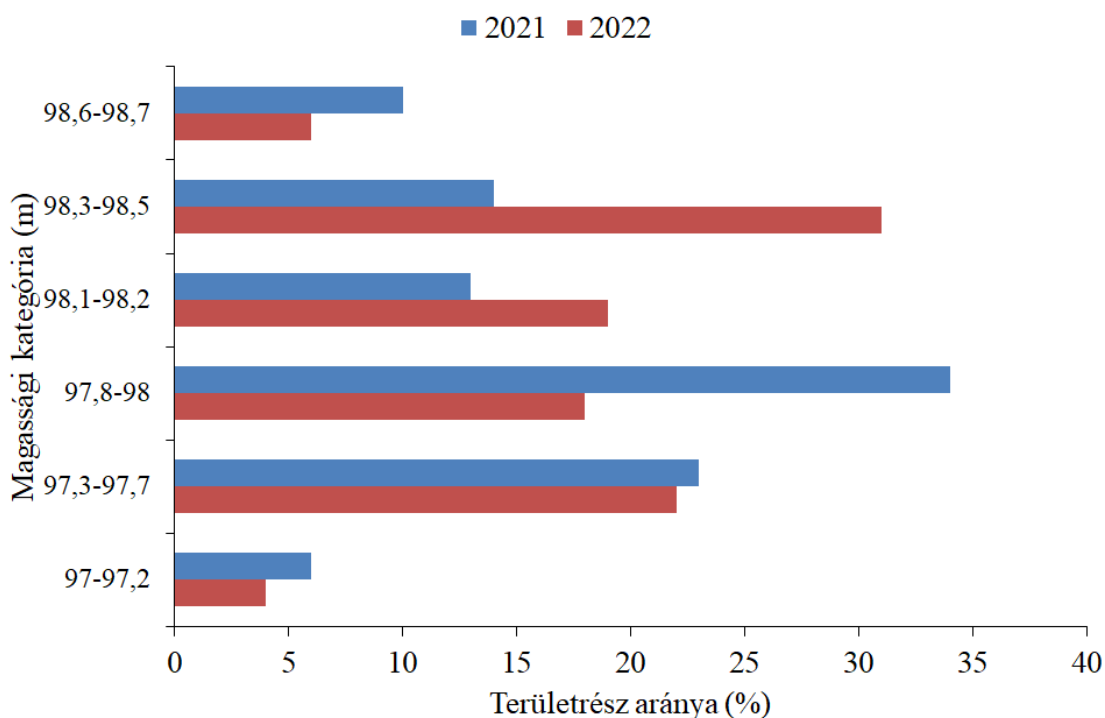
4.1.2 A T9-es tábla domborzatának alakulása

A T9 jelű táblán 2021-ben a beavatkozás előtt 21 ponton történt magasságmérés és mintázás, amit 2022-ben ugyanezekben a pontokon megismételtünk. A tábla domborzati térképét a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra: A T9-es tábla domborzati térképei, 2021-2022

A földtömegmozgatás előtt a tábla átlagos tengerszint feletti magassága 97,8 m, a legnagyobb magasságbeli különbség 1,3 m volt. A szkrépezés hatására a tábla domborzata homogénebb lett, a legmélyebb fekvésű területek részaránya 6%-ról 4%-ra, legmagasabb fekvésű területeké 10%-ról 6%-ra csökkent, míg a 98,3 és 98,5 m magasság közé eső terület részaránya jelentősen megnövekedett (14-ről 31%-ra), ami a szkrépezés eredményességére utal (10. ábra). Ugyanakkor a legalacsonyabb és a legmagasabb pontok közötti szintkülönbség (1,3 m) nem változott.



10. ábra: A különböző magasságú területrészek százalékos arányának változása a földtömeg-áthelyezés hatására a T9-es táblán (2021-2022)

A táblán a mintavételi pontokat tengerszint feletti magasságuk szerint három kategóriába soroltuk be: 1. 97-97,5 m; 2. 97,5-98 m; 3. 98-98,5 m. Az első kategóriába 8, a másodikba 6, a harmadikba pedig 7 pont esett ($n = 8, 6, 7$). A mintavételi pontok magasságadatai alapján megbecsültem a T9-es tábla magasabban fekvő területrészeiről eltávolított, illetve a mélyebben fekvő területrészekre ráhelyezett talaj mennyiségét is (7. táblázat).

7. táblázat: A T9-es tábla területrészein áthelyezett föld térfogata és tömege (2021)

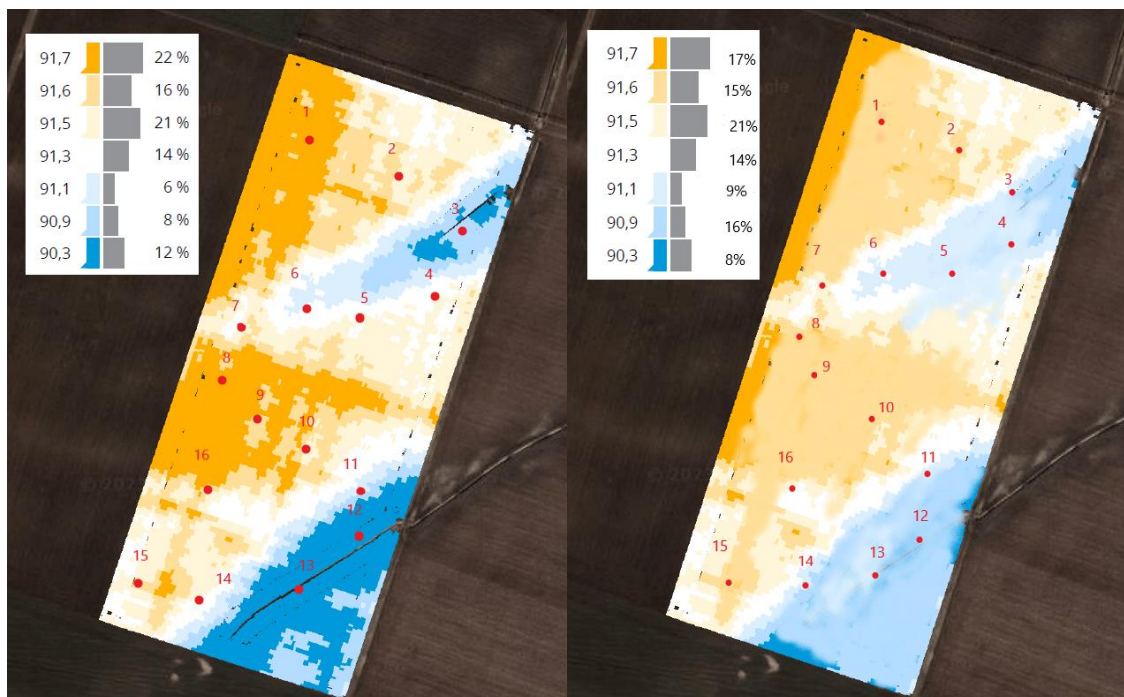
Magassági kategória (m)	Területrész nagysága (ha)	Átlagos magasságváltozás (m)	Mozgatott földtérfigat (m^3)	Mozgatott földtömeg (t)
97-97,2	1,11	0,40	6.672	9.341
97,3-97,7	6,12	0,30	19.182	26.855
97,8-98	5,00	0,10	9.452	13.233
98,1-98,2	5,28	-0,20	-7.228	-10.119
98,3-98,5	8,62	-0,30	-11.676	-16.346
98,6-98,7	1,67	-0,59	-16.402	-22.963
Összesen	27,8		35.306	49.428

A 10,3 hektárnyi magasabban fekvő (98,1-98,7 m) területekről eltávolított $35.306 m^3$ mennyiségűre becsült földet a 17,5 hektárnyi mélyebben fekvő (97-98 m) területrészekre osztotta el a nyesöláda. A magasabb területrészekről átlagosan 34 cm vastag talajréteg

került letermelésre és átlagosan mindössze 20 cm vastagságban lett szétterítve a mélyebb fekvésű területrészeken.

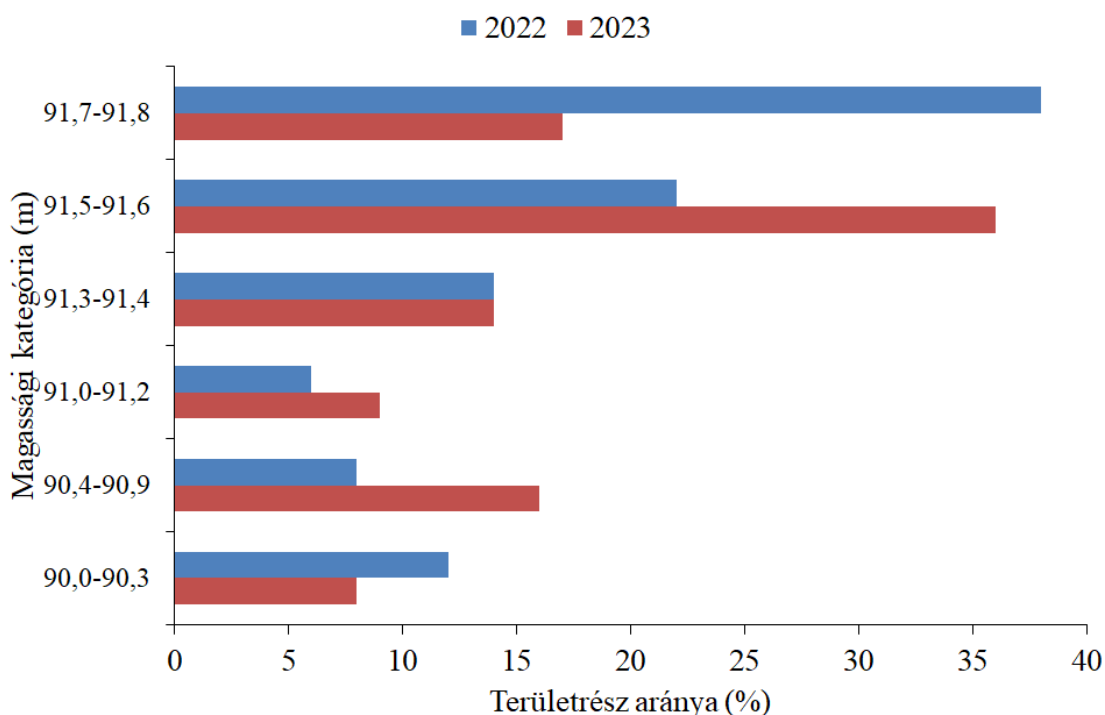
4.1.3 A T10-es tábla domborzatának alakulása

A T10 jelű táblán 2022-ben a beavatkozás előtt 16 ponton történt magasságmérés és mintázás, amit 2023-ban ugyanezekben a pontokon megismételtünk. A tábla domborzati térképét a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra: A T10-es tábla domborzati térképei, 2022-2023

A földtömegmozgatást megelőzően a tábla átlagos tengerszint feletti magassága 91,23 m, a legnagyobb magasságbeli különbség 1,4 m volt. A szkrépezés hatására a tábla domborzata csupán kis mértékben lett homogénebb, a legmélyebb fekvésű területek részaránya 12%-ról 8%-ra csökkent. A legmagasabb fekvésű területek arányának a változása volt a legjelentősebb, 38%-ról 17%-ra csökkent, míg a közepes fekvésű terület részaránya jelentősen megnövekedett (50-ről 75%-ra). A legalacsonyabb és a legmagasabb pontok közötti szintkülönbség (1,4 m) nem változott, mindazonáltal csökkent a belvizes területek vízborítottsága, a területek átlagos magasságváltozása nem kiemelkedő (12. ábra).



12. ábra: A különböző magasságú területrészek százalékos arányának változása a földtömeg-áthelyezés hatására a T10-es táblán (2022-2023)

A T10-es táblán a mintavételi pontokat ugyancsak a tengerszint feletti magasságuk szerint három kategóriába soroltuk be: 1. 90-91,0 m; 2. 91-91,5 m; 3. 91,5-92 m. Az első kategóriába 3, a másodikba 10 a harmadikba pedig 3 pont esett (n = 3, 10, 3).

A mintavételi pontok magasságadatai alapján a T10-es táblára vonatkoztatva is megbecsültem a magasabban fekvő területrészeiről eltávolított, illetve a mélyebben fekvő területrészekre ráhelyezett talaj mennyiségét is (8. táblázat).

8. táblázat: A T10-es tábla területrészein áthelyezett föld térfogata és tömege (2022)

Magassági kategória (m)	Területrész nagysága (ha)	Átlagos magasságváltozás (m)	Mozgatott földtérfigat (m ³)	Mozgatott földtömeg (t)
90-91,0	5,63	0,77	67.555	94.577
91,0-91,5	18,75	-0,13	-10.500	-14.700
91,5-92	5,63	-0,33	-57.055	-79.877
Összesen	30,0		67.555	94.577

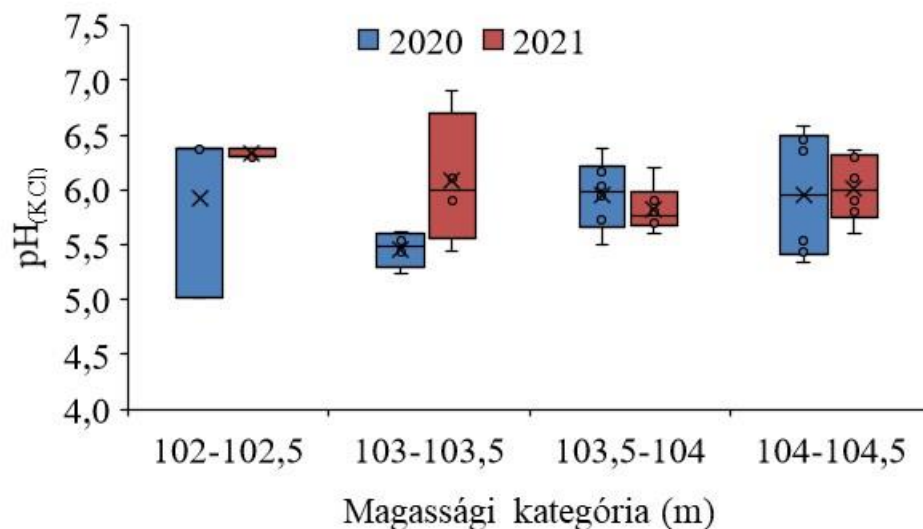
A 22,2 hektárnyi magasabban fekvő (91,0-92 m) területekről eltávolított 67.555 m³ mennyiségűre becsült földet a 7,8 hektárnyi mélyebben fekvő (90-91,0 m) területrészekre osztotta el a nyesöláda. A magasabb területrészekről átlagosan 30 cm vastag talajréteg

került letermelésre és átlagosan 87 cm vastagságban lett szétterítve a mélyebb fekvésű területe részekén.

4.2 A szkrépezés hatása a talaj kémhatására

4.2.1 A T8-as tábla talajának kémhatása

A T8-as vizsgálati tábla 19 pontján a 0-30 cm-es talajrétegből vett minták pH értékeit a 4 magassági kategóriába sorolva mutatom be (13. ábra).



13. ábra: A T8-as tábla talajának pH(KCL) értékei a földtömeg-elosztás előtt és után ($n=3, 4, 6, 6$)

A pH vizsgálati eredmények tekintetében megállapítható, hogy a 102-102,5 m-es tengerszint feletti magasságnál a pH érték 5,0 és kb. 6,4 pH között mozgott, ami a szkrépezés után nőtt és jóval kisebb szórást mutatott. A 103 és 103,5 m-es tengerszint feletti magasság kategória esetében az eredeti 5,3 és 5,6 pH közötti érték egyértelmű növekedést mutatott a földtömeg-elosztás után, a legalacsonyabb érték az eredeti legmagasabbjának felelt meg. A két nagyobb magassági kategória (103,5-104 m és 104-104,5 m) esetében gyakorlatilag átlagosan nem vagy alig változott a talaj kémhatása, bár némileg csökkentek a szórási értékek.

A párosított t-próba eredményei (9. táblázat) azt mutatják, hogy mind a négy magassági kategória esetében a statisztikai eltérések kimutathatók, mivel minden magassági kategória esetében a talaj kémhatása (pH) a szkrépezés hatására emelkedett, azaz a talaj savanyúsága csökkent. Az alacsonyabban fekvő területeken (102-102,5 és 103-103,5 m)

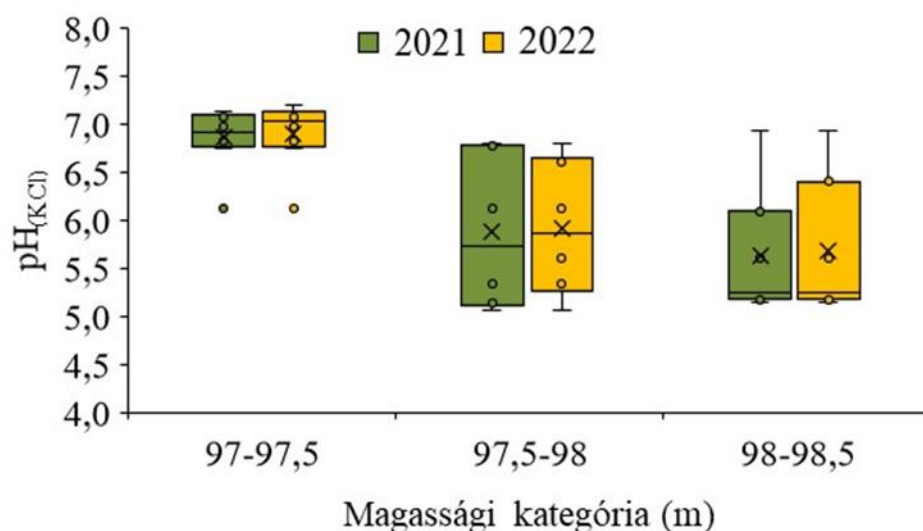
a kémhatás nagyobb arányú növekedést mutat, mint a magasabban fekvő területeken (103,5-104 és 104-104,5 m).

9. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	5,923	6,326	5,460	6,085	5,967	5,820	5,952	6,010
Variancia	0,612	0,002	0,027	0,371	0,099	0,045	0,327	0,088
Darabszám	3	3	4	4	6	6	6	6
t Stat	-0,919		-1,719		1,169		-0,404	
P(T<=t) two-tail	0,455		0,184		0,295		0,702	
t Critical two-tail	4,302		3,182		2,570		2,570	

4.2.2 A T9-es tábla talajának kémhatása

A T9-es vizsgálati tábla 21 pontján a 0-30 cm talajrétegből vett minták pH értékeit a 3 magassági kategóriába sorolva mutatom be (14. ábra).



3. ábra: A T9-es tábla talajának pH (KCL) értékei a földtömeg-elosztás előtt és után ($n=3, 10, 2$)

A 97-97,5 m-es tengerszint feletti magasság esetében megállapítható volt, hogy a szkréperézést megelőzően a pH érték magasabb volt a magasabban fekvő területrészekhez képest: 6,8 és 7,1 pH között mozgott. A szkréperézést követően nem volt számottevő a pH változása egyik területrészen sem.

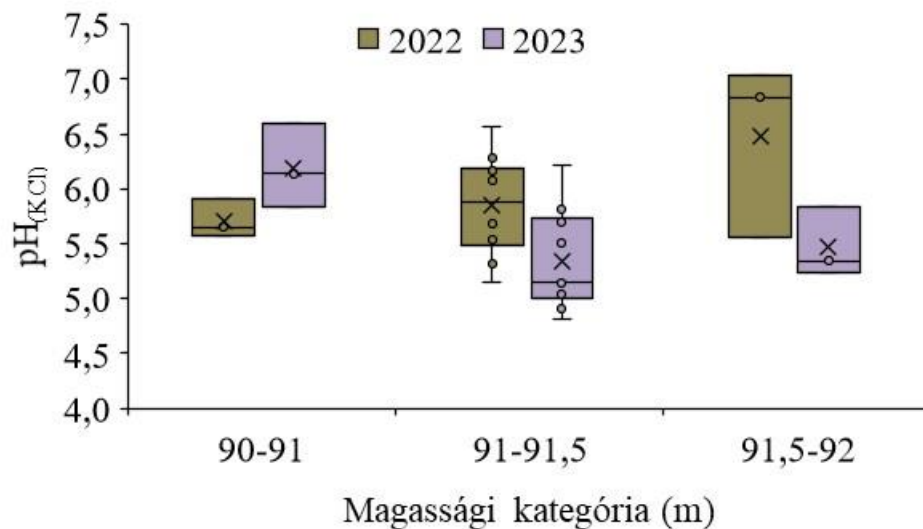
A párosított t-próba eredményei (10. táblázat) szerint a szkrépezés hatására az alacsonyabban fekvő területek pH értéke nagyobb arányban növekedett, mint a magasabban fekvő területek esetében, viszont az is tisztán látható, hogy az adatok szórása a 97,5-98 méteres magasságú területek esetében jelentősen csökkent, míg az ennél alacsonyabb (97-97,5), valamint a magasabb (98-98,5) területek tekintetében emelkedett az adatok szórása.

10. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	6,869	6,900	5,870	5,920	5,630	5,680
Variancia	0,110	0,120	0,640	0,490	0,450	0,510
Darabszám	8	8	6	6	7	7
t Stat	-1		-0,556		-1	
P(T<=t) two-tail	0,350		0,602		0,356	
t Critical two-tail	2,364		2,570		2,447	

4.2.3 A T10-es tábla talajának kémhatása

A T10-es tábla esetében a mintavételi pontokon a mintavételezés 2022-ben történt a földtömegelosztást megelőzően, majd pedig a szkrépezést követően, 2023-ban megismételtük a mintavételezést ugyanazokon a pontokon. A talaj kémhatásának alakulását a 15. ábra szemlélteti. A 90-91 m-es tengerszint feletti magasság esetében a szkrépezést megelőzően a pH értékek 5,6 és 5,9 között voltak, míg a szkrépezést követően az értékek az 5,8 pH és 6,6 tartományba estek. A 91-91,5 m-es tengerszint feletti magasságnál a pH értékek a szkrépezést követően a talaj kémhatása elcsúszott a savas közeg felé, azaz a pH értékek 5,0 és 5,7 közé (11. táblázat).



4. ábra: A T10-es tábla talajának pH (KCL) értékei a földtömeg-elosztás előtt és után (n=8, 6, 7)

A párosított t-próba eredményei (11. táblázat) alapján megállapítható, hogy az alacsonyabban fekvő (90-91) területek esetében a szkréperezésnek köszönhetően jelentős mértékben emelkedett a pH értéke, míg a magasabban fekvő területeken (91-92) pedig a pH értéke csökkenést mutat, a legmagasabban fekvő területek esetében a pH csökkenés nagyobb arányban volt kimutatható. A területeken mért mintapontok esetében a legmagasabban fekvő területeken (91,5-92) az értékek szórása jelentősen lecsökkent (0,720-ról 0,005-re), míg az alacsonyabb területeken a szórás mértéke kisebb arányban csökkent, a legalacsonyabban fekvő területek (90.91) esetében viszont a pH érték szórásának növekedés figyelhető meg (5,733-ról 6,617-re).

11. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	90-91		91-91,5		91,5-92	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	5,733	6,167	5,860	5,330	6,467	5,433
Variancia	0,023	0,163	0,216	0,204	0,720	0,005
Darabszám	3	3	10	10	2	2
t Stat	-2,982		2,649		3,147	
P(T<=t) two-tail	0,096		0,026		0,087	
t Critical two-tail	4,302		2,262		4,302	

4.2.4 A kémhatás változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (12. táblázat) alapján megállapítható, hogy a legmagasabb fekvésű T8-as tábla esetében a talaj átlagos pH értéke mintegy 3%-kal nőtt (5,85-ről 6,02-re) a szkrépezés után. A savas kémhatás mérséklődése és a semleges irányába történő elmozdulása a növénytermesztés szempontjából pozitívnak tekinthető, különös tekintettel arra, hogy a csökkenő variancia egyenletesebb táblán belüli eloszlást mutat, ami a földtömeg-elosztás alapcélja. A 0,05-nél magasabb p-érték azt jelzi, hogy nincs statisztikailag szignifikáns eltérés a pH értékben a vizsgálati évek között. A viszonylag alacsony F-érték (1,527) arra utal, hogy a csoportátlagok közötti variabilitás nem nagyobb, mint az egyes csoportokon belüli.

12. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Szkrépezés előtt	19	111,06	5,85	0,23
Szkrépezés után	19	114,30	6,02	0,13

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	0,276	1	0,276	1,527	0,225	4,113
Csoporton belül	6,511	36	0,181			
Összesen	6,787	37				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (13. táblázat) a talaj átlagos pH értéke, némileg csökkenő szórás mellett, csak 0,64%-kal nőtt (6,17-ről 6,21-re) a szkrépezés után, ami csekély növekedésnek tekinthető, de az iránya a növénytermesztés szempontjából pozitív. A 0,05-nél jóval magasabb p-érték azt jelzi, hogy nincs statisztikailag szignifikáns eltérés a pH értékben a vizsgálati évek között. A kritikusnál jóval alacsonyabb F-érték (0,033) arra utal, hogy a csoportátlagok közötti variabilitás kisebb, mint az egyes csoportokon belüli.

13. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Szkrépezés előtt	21	129,54	6,17	0,65
Szkrépezés után	21	130,48	6,21	0,63

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	0,021	1	0,021	0,033	0,857	4,085
Csoporton belül	25,655	40	0,641			
Összesen	25,676	41				

A legalacsonyabb fekvésű T10-es tábla esetében (14. táblázat) a talaj átlagos pH értéke, ami a vizsgált három tábla közül eleve a legalacsonyabb volt, mintegy 7%-kal csökkent (5,94-ről 5,52-re) a szkrépezés után, ami a tábla egészét nézve kedvezőtlen változás, ráadásul a különbség statisztikailag szignifikáns ($p < 0,05$).

2. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

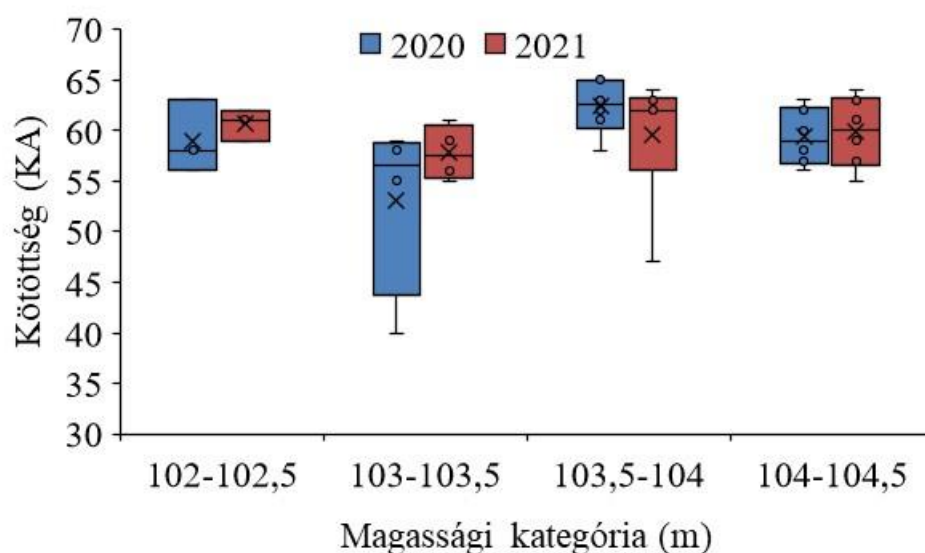
Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Szkrépezés előtt	16	95	5,94	0,29
Szkrépezés után	16	88,35	5,52	0,27

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	1,382	1	1,382	4,962	0,034	4,171
Csoporton belül	8,356	30	0,279			
Összesen	9,738	31				

4.3 A szkrépezés hatása a talaj kötöttségére

4.3.1 A T8-as tábla talajának kötöttsége

A T8-as tábla esetében a kötöttség vizsgálata során a mintapontokat 4 kategóriába soroltuk. Az 1. kategória 102-102,5 m, a 2. 103-103,5 m, 3. 103,5-104 m és a 4. a 104-104,5 m. Az egyes kategóriákba tartozó mintapontok száma 3, 4, 6, 6 (16. ábra).



5. ábra: A T8-as tábla talajának Arany-féle kötöttsége a földtömeg-elosztás előtt és után (n=3, 4, 6, 6)

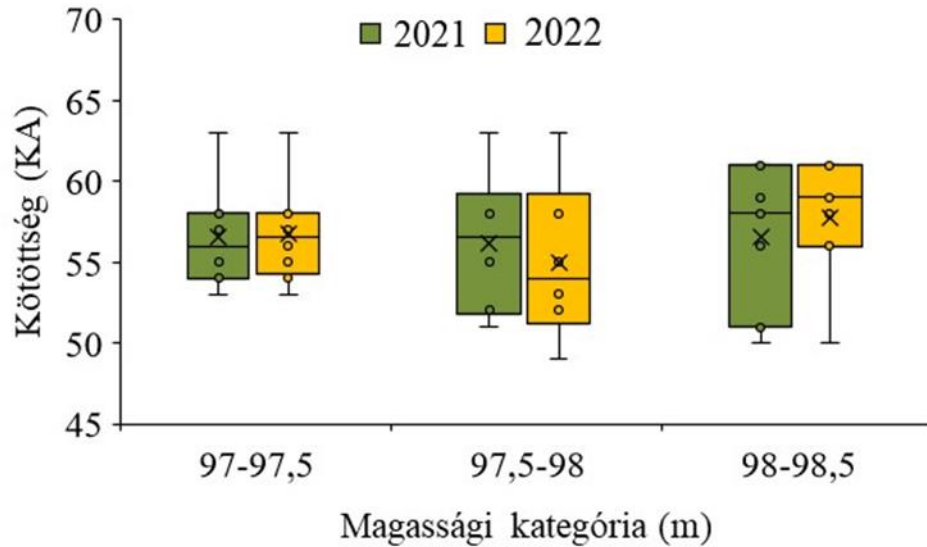
A 2020-as eredmények tekintetében megállapítható, hogy a 102-102,5 m-es tengerszint feletti magasság kategória esetében nagyobb szórás volt tapasztalható, mint a földtömeg-elosztást követő mintavételkor. Ugyanezen jellemzőket mutatta a 103-103,5 m-es tengerszint feletti magasság is, azonban itt a szkréperézést követően nem csak a szórás csökkent, hanem a kötöttségénél is emelkedés volt tapasztalható (60 K_A -ig). A 103,5-104 m-es magassági kategória esetében a szkréperézést követően csökkent a kötöttség, és 65-60 K_A helyett 56-60 K_A -ra csökkent a kötöttség a mintavételi pontokon. A párosított t-próba eredményei (15. táblázat) szerint a két mélyebben fekvő területeken az Arany-féle kötöttség esetében szignifikáns eltérés igazolódott (102-102,5 és 103-103,5), míg a legmagasabb fekvésű területeken az eltérés statisztikailag nem igazolható.

3. táblázat A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának Arany-féle kötöttségére a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	59,00	60,67	53,00	57,75	61,83	58,17	59,33	59,83
Variancia	13	2,33	78	7,58	642,45	627,21	7,87	12,17
Darabszám	3	3	4	4	5	5	6	6
t Stat	-0,945		-1,133		2,001		-0,344	
P(T<=t) two-tail	0,444		0,339		0,102		0,745	
t Critical two-tail	4,302		3,182		2,570		2,570	

4.3.2 A T9-es tábla talajának kötöttsége

A T9-es táblán – hasonlóan a T8-ashoz – az elsődleges mintavételre 2020-ban került sor, melyet a szkréperézést követően, 2021-ben megismételték ugyanazokon a mintavételi pontokon. Az eredményeket a 17. ábrán mutatom be.



6. ábra: A T9-es tábla talajának Arany-féle kötöttsége a földtömeg-elosztás előtt és után

A 97-97,5 méteres magassági kategória esetében, mint az a 17. ábrán is látható, a szkréperézést követően nem volt jelentős változás, a földtömeg-elosztást követően az értékek ugyanúgy 54 K_A és 58 K_A között mozogtak. A 97,5 és 98 méteres magassági kategóriánál a szkréperézést megelőzően az értékek 52 K_A és 59 K_A között helyezkedtek el, míg a földtömeg-elosztást követően az értékekben nagyobb szórás volt megfigyelhető, és az alsó érték esetében eltolódás volt látható, 51 K_A -re. A legnagyobb változás a 98-98,5 méteres magassági kategória esetében volt tapasztalható, mint azt a 15. ábra is alátámasztja. A földtömeg-elosztást megelőzően a kötöttség ebben a magassági kategóriában 51 K_A és 61 K_A között mozgott, míg a szkréperézést követően ez a szórás lecsökkent 56 K_A és 61 K_A közé. A párosított t-próba eredményei (16. táblázat) azt mutatják, hogy a három eltérő magasságú területek esetében az eltérés nem szignifikáns.

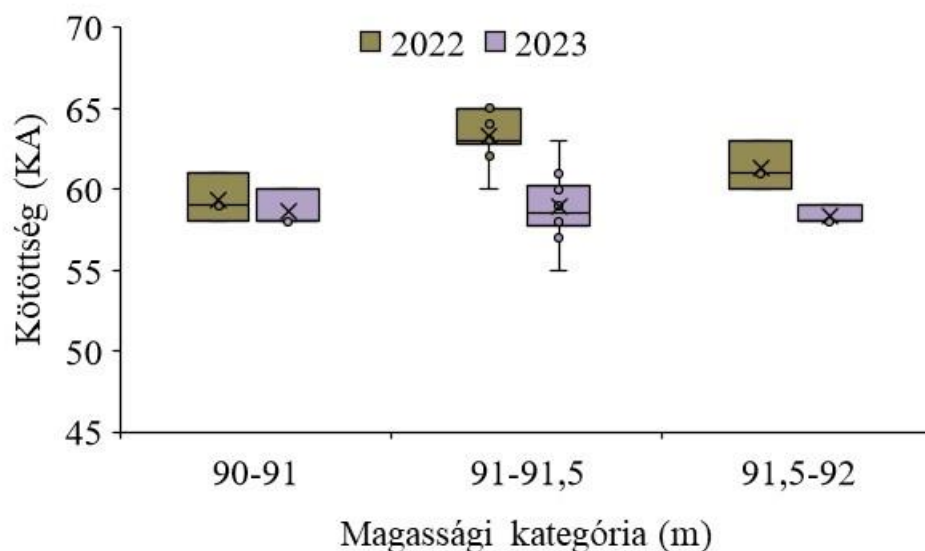
4. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának Arany-féle kötöttségére a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	56,60	56,75	56,17	55,00	56,57	57,71
Variancia	10,57	9,64	19,77	24,40	20,29	14,57
Darabszám	8	8	6	6	7	7
t Stat		-1		1,4		-1
P(T<=t) two-tail		0,351		0,220		0,356
t Critical two-tail		2,365		2,570		2,447

A szkréperezés hatására a legalacsonyabban fekvő területek (97-97,5 m) vonatkozásában elenyésző a változás, a 97,5-98 méteres magasságban fekvő területek esetében kismértékű csökkenés, míg a legmagasabban fekvő területek (98-98,5 m) esetében kis mértékű növekedés figyelhető meg a szkréperezést követően.

4.3.3 A T10-es tábla talajának kötöttsége

A T10-es tábla esetében szintén 2020-ban történt meg az első mintavétel a kijelölt mintavételi pontokon, majd pedig a földtömeg-elosztást követően, 2021-ben ismételtük meg a mintavételezést. Az eredmények a 18. ábrán láthatók.



18. ábra: A T10-es tábla talajának Arany-féle kötöttsége a földtömeg-elosztás előtt és után

Az első magassági kategória esetében a földtömeg-elosztást követően csökkent a kötöttségben tapasztalható szórás: az eredetileg 58-61 K_A közötti értékek a 58-60 K_A tartományba kerültek. Ebből megállapítható, hogy a szkréperezés javította a kötöttséget ebben a magasságban. Ezzel szemben a 91-91,5 méteres magassági kategória esetében teljes eltolódás volt észlelhető. A kezdeti 63-65 K_A kötöttség a földtömeg-elosztást követően 57-61 K_A -re változott. A 91,5-92 méteres magassági kategória esetében 61-63 K_A kötöttség volt megállapítható, melynél a szkréperezést követően csökkenés volt tapasztalható mind az értékekben, mind pedig a szórásban (57-58 K_A).

A párosított t-próba eredményei (17. táblázat) alapján megállapítható, hogy a legalacsonyabban fekvő területek (97-97,5 m) esetében a szkréperezést követően kapott Arany-féle kötöttség kis mértékű növekedése nem mutat szignifikáns különbséget, ezzel

szemben a két magasabb fekvésű terület (97,5-98 és 98-98,5 m) esetében az eltérések szignifikáns összefüggést jeleznek. A 97,5-98 méteres magasságú területek tekintetében megállapítható, hogy a talaj kötöttségének szórása a szkrépezést követően jelentős mértékben emelkedett, míg az alacsonyabb, illetve a magasabb területek vonatkozásában csökkenés tapasztalható.

5. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának Arany-féle kötöttségére a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	59,33	58,67	63,30	58,90	61,33	58,33
Variancia	2,333	1,333	2,455	4,989	2,333	0,333
Darabszám	3	3	10	10	3	3
t Stat	0,458		4,069		3	
P(T<=t) two-tail	0,691		0,003		0,095	
t Critical two-tail	4,302		2,306		4,302	

4.3.4 A kötöttség változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (18. táblázat) alapján megállapítható, hogy a legmagasabb fekvésű T8-as tábla esetében a talaj átlagos Arany-féle kötöttsége mintegy 0,899%-kal nőtt (58,89-ről 59,42-re) a szkrépezést követően, ami elenyésző emelkedésnek tekinthető, viszont a kötöttség emelkedése a növénytermesztés szempontjából negatívnak tekinthető, ezzel ellentétben a jelentősen csökkenő variancia egyenletesebb táblán belüli eloszlást mutat, amely a földtömeg-elosztás alapvető célja. A 0,05-nél magasabb p-érték azt jelzi, hogy nincs statisztikailag szignifikáns eltérés a kötöttség értékben a vizsgálati évek között. Az alacsony F-érték (0,7407) arra utal, hogy a csoportátlagok közötti variabilitás nem nagyobb, mint az egyes csoportokon belüli.

6. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának kötöttség értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Szkrépezés előtt	19	1119	58,89	30,32
Szkrépezés után	19	1129	59,42	17,03

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	2,631	1	2,631	0,1113	0,7407	4,1131
Csoporton belül	852,42	36	23,67			
Összesen	855,05	37				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (19. táblázat) a talaj átlagos kötöttségi értéke, elenyésző mértékben csökkenő szórás mellett, csak 0,25%-os emelkedést mutat (56,42-ről 56,57-re) a szkrépezés után, ami csekély emelkedésnek tekinthető, viszont az emelkedés iránya a növénytermesztés szempontjából fontos tényező, amely negatív eltérést mutat. A 0,05-nél jelentősen magasabb p-érték azt mutatja, hogy nincs statisztikailag kimutatható szignifikáns eltérés az Arany-féle kötöttség tekintetében a vizsgálati évek között. A kritikus F-értéknél jóval alacsonyabb F-érték (0,014) arra utal, hogy a csoportátlagok közötti variabilitás alacsonyabb, mint az egyes csoportokon belüli.

7. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának kötöttség értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Szkrépezés előtt	21	1185	56,42	14,75
Szkrépezés után	21	1188	56,57	15,05

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	0,2142	1	0,2142	0,0143	0,9051	4,084
Csoporton belül	596,28	40	14,907			
Összesen	596,5	41				

A legalacsonyabb fekvésű T10-es tábla esetében (20. táblázat) a talaj átlagos Arany-féle kötöttségi értéke, ami a vizsgált három tábla közül a legmagasabb volt, mintegy 5,53%-kal csökkent (62,19-ről 58,75-re) a szkrépezést követően, ami a tábla egészét nézve kedvezőnek mondható, ráadásul a különbség statisztikailag szignifikáns ($p < 0,05$).

20. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának kötöttség értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Szkrépezés előtt	16	995	62,19	4,695833
Szkrépezés után	16	940	58,75	3,266667

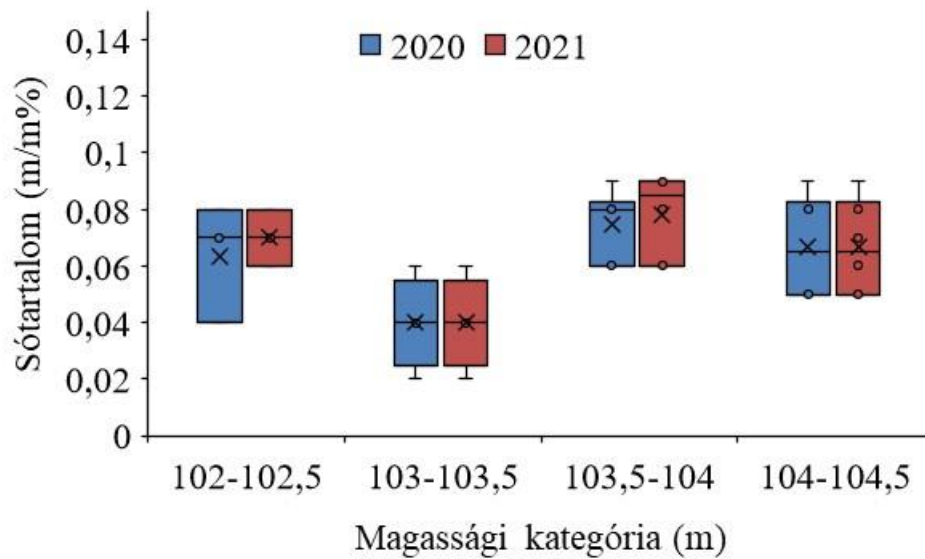
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	94,53125	1	94,53125	23,744	3,34E-05	4,170877
Csoporton belül	119,4375	30	3,98125			
Összesen	213,9688	31				

4.4 A szkrépezés hatása a talaj összes oldott sótartalmára

4.4.1 A T8-as tábla talajának összes oldott sótartalma

Az összes oldott sótartalom mintavételére a T8-as tábla esetében először 2020-ban került sor, majd pedig a földtömeg-elosztást követően 2021-ben megismételtük a vizsgálatot

ugyanazokon a mintavételi pontokon és ugyanazon körülmények között. Az eredményeket a 19. ábrán foglaltam össze.



7. ábra: A T8-as tábla talajának összes vízoldható sótartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

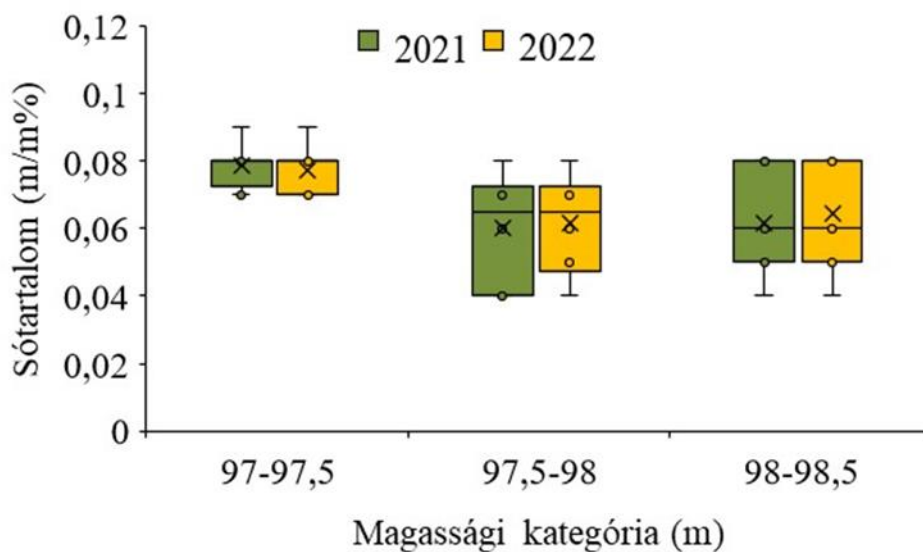
Az összes vízoldható sótartalomnál kevésbé volt érzékelhető változás a szkrépezést követően, mely alól kivételt jelentett a 102-102,5 méteres magassági kategória. Ebben az esetben ugyanis a kezdeti vízoldható sótartalom 0,04 m/m% és 0,08 m/m% között mozgott a mintavételi pontokon, mely a földtömeg-elosztást követően kisebb szórás lett tapasztalható (0,06 m/m%-0,08 m/m%). Mint az jól látható a 19. ábrán, a 103-103,5 méteres magassági kategória esetében nem történt változás az összes vízoldható sótartalom tekintetében a szkrépezést követően, mely mintát követte a 104-104,5 méteres magassági kategória is. A 103,5-104 méteres magassági kategória esetében volt tapasztalható még eltérés, ugyanis a földtömeg-elosztást megelőzően (2020-as mintavétel) az összes vízoldható sótartalom 0,06-0,085 m/m% között mozgott, míg a szkrépezést követően ezen érték felső határértéke kitolódott, és 0,06-0,09 m/m% közötti értékeket mutatott. A párosított t-próba eredményei azt bizonyítják, hogy a vizsgált tábla összes oldott sótartalma a szkrépezést megelőzően és azt követően sem mutat érdemi változást, vagyis a szkrépezés hatására nem mutatható ki szignifikáns eltérés az összes oldott sótartalom tekintetében (21. táblázat).

21. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-es tábla talajának összes oldott sótartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	0,06	0,07	0,047	0,047	0,074	0,078	0,064	0,064
Variancia	0,0008	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0003
Darabszám	3	3	4	4	6	6	6	6
t Stat	-1		0		-1,580		0	
P(T<=t) two-tail	0,423		0		0,175		1	
t Critical two-tail	4,302		0		2,570		2,570	

4.4.2 A T9-es tábla talajának összes oldott sótartalma

A T9-es tábla első mintavételére 2020-ban került sor a földtömeg-elosztást megelőzően, majd pedig 2021-ben megismételtük a mintavételezést ugyanazon mintavételi pontokon. Az eredmények a 20. ábrán láthatók.



20. ábra: A T9-es tábla talajának összes vízoldható sótartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

Hasonlóan a T8-as tábla eredményeihez, itt is kismértékben volt tapasztalható változás az összes vízoldható sótartalom esetében a szkrépezést megelőzően, valamint azt követően. A 97-97,5 méteres tengerszint feletti magasság esetében a földtömeg-elosztást megelőzően az összes vízoldható sótartalom 0,075 m/m% és 0,08 m/m% között mozgott, mely a szkrépezést követően 0,07 m/m% és 0,08 m/m% közé módosult, tehát növekedés volt tapasztalható a szórásban, valamint alacsonyabb összes vízoldható sótartalmú mintákat is vizsgáltam.

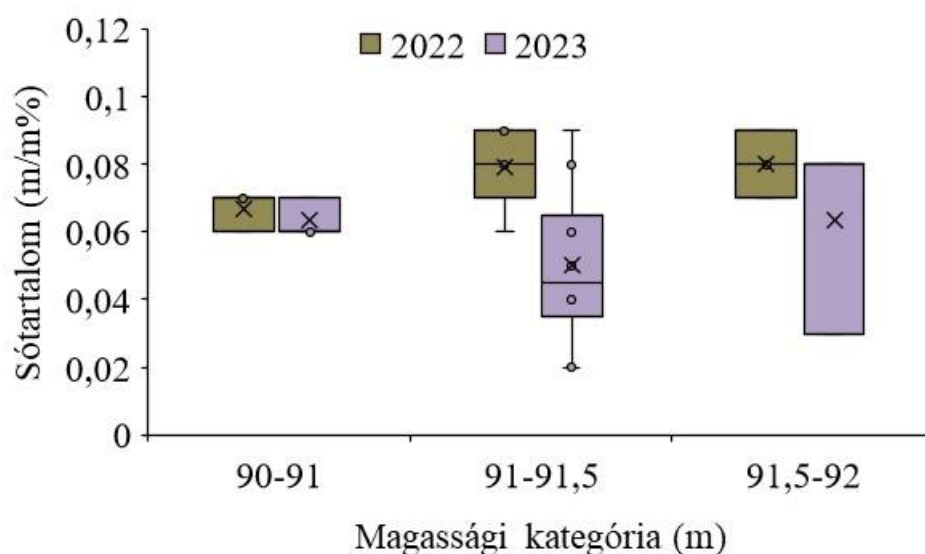
A párosított t-próba eredményei alapján megállapítható, hogy a T9 tábla talajának összes oldott sótartalma a szkrépezés után a legalacsonyabban fekvő területeken az összesoldott sótartalom kis mértékben, míg a két magasabban fekvő területek esetében kismértékű növekedés volt kimutatható. Vagyis a szkrépezés hatására a talaj összes oldott sótartalmában bekövetkező eltérés szignifikáns (22. táblázat).

22. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának összes oldott sótartalma a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	0,079	0,077	0,058	0,06	0,058	0,061
Variancia	0,000	0,000	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003
Darabszám	7	7	5	5	6	6
t Stat	1		-1		-1	
P(T<=t) two-tail	0,350		0,363		0,356	
t Critical two-tail	2,364		2,570		2,447	

4.4.3 A T10-es tábla talajának összes oldott sótartalma

A T10-es tábla esetében az első mintavételi pontok kijelölésére, valamint mintavételezésre 2022-ben került sor, melyet a földtömeg-elosztást követően megismételtünk 2023-ban, ugyanazokon a pontokon és a lehetőségekhez mérten ugyanazon körülmények között. A vizsgálatok során kapott eredményeket a 21. ábrán foglaltam össze.



21. ábra: A T10-es tábla talajának összes vízoldható sótartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A 90-91 méteres magassági kategória esetében nem történt változás az összes vízoldható sótartalom tekintetében a szkrépezést megelőzően, valamint azt követően, tehát ugyanúgy 0,06 m/m% és 0,07 m/m% között mozogtak a minták értékei, melyek esetében úgy vélem, hogy kicsi szórás volt tapasztalható. A 91-91,5 méteres magassági kategóriánál azonban nem csak a szórásban volt változás tapasztalható a szkrépezést követően, hanem az értékek esetében is megmutatkozott eltolódás. A földtömeg-elosztást megelőzően az összes vízoldható sótartalom 0,07 m/m% és 0,09 m/m% között oszlott meg, azonban a szkrépezést követően az értékek eltolódtak, így pedig az összes vízoldható sótartalom a T10-es tábla 91-91,5-ös magassági kategória esetében 0,035 m/m% és 0,065 m/m% közé módosultak a minták értékei. Tehát ebben a magassági kategóriában a beavatkozást követően csökkent az összes vízoldható sótartalom, míg a 90-91 méteres magassági kategória esetében nem volt tapasztalható változás a beavatkozás után. A 91,5-92 méteres tengerszint feletti magasság esetében nem csak csökkenés volt tapasztalható a szkrépezést követően az összes vízoldható sótartalom esetében, hanem növekedett a szórás is. A beavatkozást megelőzően az összes vízoldható sótartalom 0,07 m/m% és 0,09 m/m% között alakult, majd a földtömeg-elosztást követően a legalacsonyabb érték 0,03 m/m%-ra módosult, míg a legmagasabb érték 0,08 m/m% volt.

A párosított t-próba elvégzését követően azt tapasztaltuk, hogy a T10 tábla talajának összes vízben oldható sótartalma a szkrépezést követően mindhárom magassági kategóriába tartozó terület esetében némi csökkenést mutat (23. táblázat). Az összes vízoldható sótartalom csökkenése a legalacsonyabb területen (90-91 m) 5,97%-os, a 91-91,5 méteres magasságú területen 36,70%-os, míg a legmagasabb fekvésű terület esetében pedig 21,25%-os mértékű volt. A három magassági kategóriából egyetlen esetben sem volt kimutatható szignifikáns összefüggés.

23. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának összes vízoldható sótartalma a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	90-91		91-91,5		91,5-92	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	0,067	0,063	0,079	0,05	0,08	0,063
Variancia	0,00003	0,00003	0,0001	0,0005	0,0001	0,0008
Darabszám	3	3	10	10	3	3
t Stat	0,211		3,267		0,945	
P(T<=t) two-tail	0,422		0,009		0,444	
t Critical two-tail	4,302		2,262		4,303	

4.4.4 Az összes oldott sótartalom változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (24. táblázat) alapján megállapítható, hogy a legmagasabb fekvésű T8-as tábla esetében a talaj összes vízdoldható sótartalma mintegy 3,67%-kal nőtt (0,063-ról 0,065-re) a szkrépezés után, ami kismértékű emelkedésnek tekinthető, ezzel ellentétben az összes vízdoldható sótartalom emelkedése a növénytermesztés szempontjából negatívnak tekinthető, valamint a variancia változásának hiánya nem mutat egyenletesebb táblán belüli eloszlást, pedig a földtömeg-elosztás alapvető célja az egyenletesebb táblán belüli eloszlás kialakítása. A 0,05-nél magasabb p-érték azt jelzi, hogy nincs statisztikailag szignifikáns eltérés az összes vízdoldható sótartalomban a vizsgálati évek között.

24. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának összes vízdoldható sótartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>			
Szkrépezés előtt	18	1,13	0,063	0,000421			
Szkrépezés után	18	1,17	0,065	0,000415			
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>	
Csoportok között	0,000045	1	0,000045	0,1063	0,7463	4,13	
Csoporton belül	0,0142	34	0,00041				
Összesen	0,0142	35					

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (25. táblázat) a talaj összes vízdoldható sótartalma, elenyésző mértékben csökkenő szórás mellett, csak 1,15%-os növekedést mutat (0,067-ről 0,068-ra) a szkrépezést követően, ami jelentős emelkedésnek tekinthető, és az emelkedés iránya a növénytermesztés szempontjából negatívan hat. A 0,05-nél magasabb p-érték alapján megállapítható, hogy nincs statisztikailag kimutatható szignifikáns eltérés az összes vízdoldható sótartalom tekintetében a vizsgálati évek között.

8. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának összes vízdoldható sótartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>			
Szkrépezés előtt	20	1,34	0,067	0,000233			
Szkrépezés után	20	1,36	0,068	0,000206			
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>	
Csoportok között	0,00001	1	0,00001	0,0456	0,8321	4,0981	
Csoporton belül	0,00834	38	0,00022				
Összesen	0,00835	39					

A legalacsonyabb fekvésű T10-es tábla esetében a talaj összes oldható sótartalma 0,077-ről 0,055-re csökkent a szkrépezést követően, ami a tábla egészére vonatkoztatva kedvezőnek mondható (26. táblázat). Az összes vízdoldható sótartalomban a szkrépezés hatására bekövetkezett különbség statisztikailag szignifikánsnak tekinthető ($p < 0,05$).

9. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának összes vízdoldható sótartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után

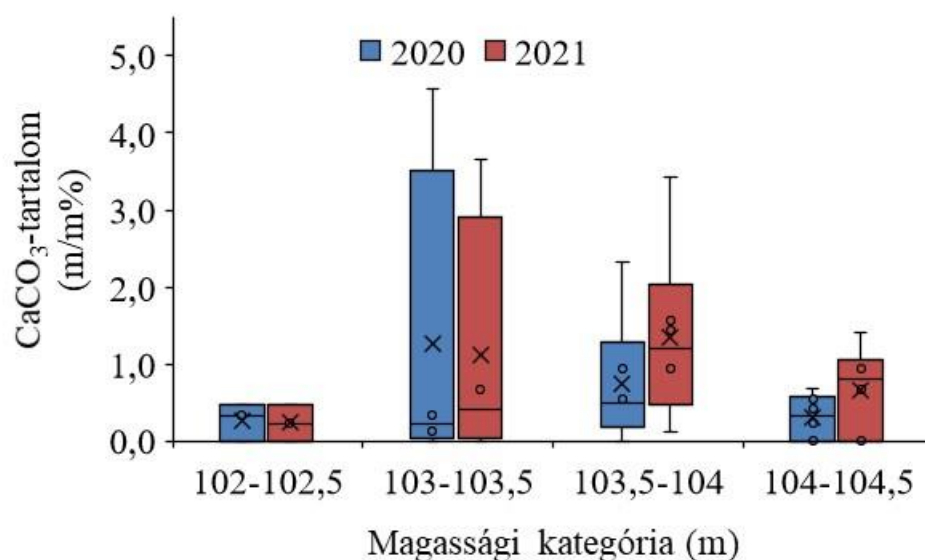
Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Szkrépezés előtt	15	1,16	0,0773	0,0001
Szkrépezés után	15	0,82	0,0546	0,0005

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	0,0038	1	0,0038	12,4492	0,0014	4,1959
Csoporton belül	0,0086	28	0,0003			
Összesen	0,0125	29				

4.5 A szkrépezés hatása a talaj szénsavas mésztartalmára

4.5.1 A T8-as tábla talajának szénsavas mésztartalma

A T8-as tábla esetében a szénsavas mésztartalom vizsgálatra először 2020-ban került sor, a beavatkozást megelőzően, majd pedig a földtömeg-elosztást követően (2021) megismételtük a mintavételezést és a szénsavas mésztartalomra vonatkozó vizsgálatokat. Az eredmények a 22. ábrán tekinthetők meg.



22. ábra A T8-as tábla talajának szénsavas mésztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A 102-102,5 méteres magassági kategóriánál megfigyelhető volt, hogy a szénsavas mésztartalomban nem történt jelentős változás a szkrépezést követően, így az eredmények ugyanúgy maximum 0,5 m/m%-os CaCO₃ tartalmat mutattak. A 103-103,5 méteres magassági kategória esetében az értékek a földtömeg-elosztást megelőzően 3,5 m/m%-ig mozogtak, melynél csökkenés volt tapasztalható a szkrépezés után. Ekkor a minták már csak 2,9 m/m% CaCO₃ tartalmat mutattak ki maximálisan. Továbbá megállapítható a 18. ábra segítségével, hogy itt a legmagasabb a kimutatható szénsavas mésztartalom a T8-as tábla esetében, azonban a szórás is itt a legmagasabb. A 103,5-104 méteres magassági kategóriánál látható (22. ábra), hogy a szénsavas mésztartalom 0,2 m/m% és 1,3 m/m% érték között mozgott, mely a szkrépezést követően 0,5 m/m% és 2,1 m/m% közötti szénsavas mésztartalom értékeket mutattak a vizsgált minták.

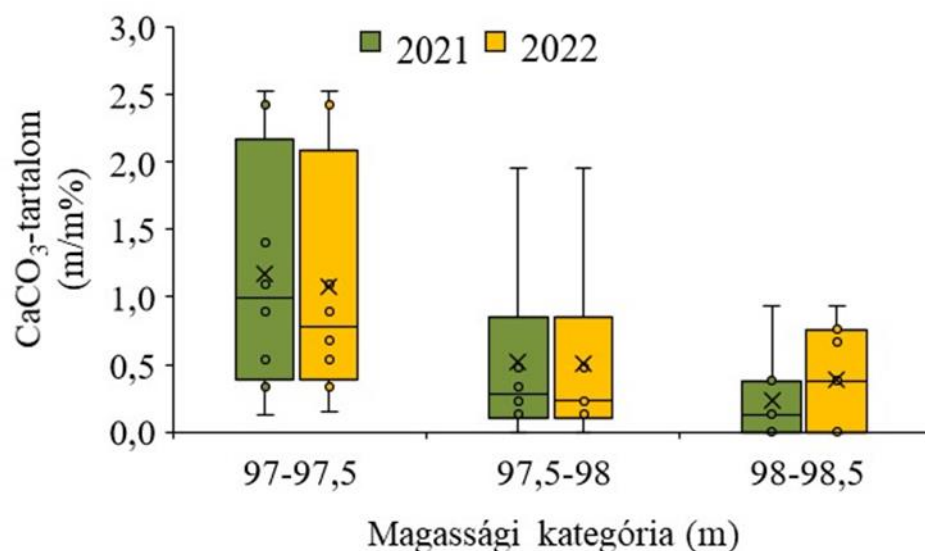
A párosított t-próba eredményei alapján megállapítható, hogy a T8 tábla talajának szénsavas mésztartalma a szkrépezést követően a legalacsonyabb magassági kategóriába tartozó terület esetében némi csökkenést mutat, a 103-103,5 méteres magasságú területen a szénsavas mésztartalom nem változott, míg a két magasabban fekvő területeken (103,5-104 és 104-104,5) a szénsavas mésztartalom 118,22%-os, illetve 122,96%-os növekedést jelez (27. táblázat).

10. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-es tábla talajának szénsavas mésztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	0,24	0,115	1,63 3	1,63 3	0,428	0,93 4	0,27	0,602
Variancia	0,115	0,026	6,49	4,27	0,124	0,35	0,087	0,370
Darabszám	2	2	5	7	2	6	3	1
t Stat			3	3	5	5	5	5
t Stat	1		2		-2,28		-2,33	
P(T<=t) two-tail	0,5		0,3178		0,085		0,080	
t Critical two-tail	12,70		4,30		2,776		2,776	

4.5.2 A T9-es tábla talajának szénsavas mésztartalma

A T9-es táblánál az első mintavételezésre 2020-ban került sor, majd közvetlenül ezután földtömeg-elosztást végeztek a táblán. A beavatkozás után (2021) ismételten elvégeztük a mintavételezést, és az így kapott mintákon szénsavas mésztartalom vizsgálatot hajtottunk végre. A vizsgálat során kapott eredményeket a 23. ábrán foglaltam össze.



23. ábra: A T9-es tábla talajának szénsavas mésztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A magassági kategóriák esetében szeretném felhívni először is a figyelmet arra, hogy mind a 97-97,5 méteres magassági kategóriánál, mind pedig a 97,5-98 méteres magassági kategória esetében közel azonos eredményeket mutattak ki a vizsgálatok a szénsavas mésztartalommal összefüggésben. Az első kategória esetében megfigyelhető némi eltérés, mivel a beavatkozást megelőzően a legmagasabb érték 2,2 m/m%-os CaCO₃ tartalom volt kimutatható a mintákban, míg a beavatkozást követően pedig a legmagasabb értékben volt csökkenés tapasztalható (2,1 m/m%-os szénsavas mésztartalom). Azonban a második magassági kategória esetében teljes mértékben azonosak maradtak az értékek a szkrépezés előtt vett mintákéval. A 98-98,5 méteres magassági kategória esetében megfigyelhető volt azonban növekedés a szénsavas mésztartalomban, mely magasabb szórást is eredményezett ebben a kategóriában. A beavatkozást megelőzően az értékek maximum 0,4 m/m%-ig emelkedtek, azonban a földtömeg-elosztást követően a legmagasabb CaCO₃ tartalom 0,75 m/m% volt.

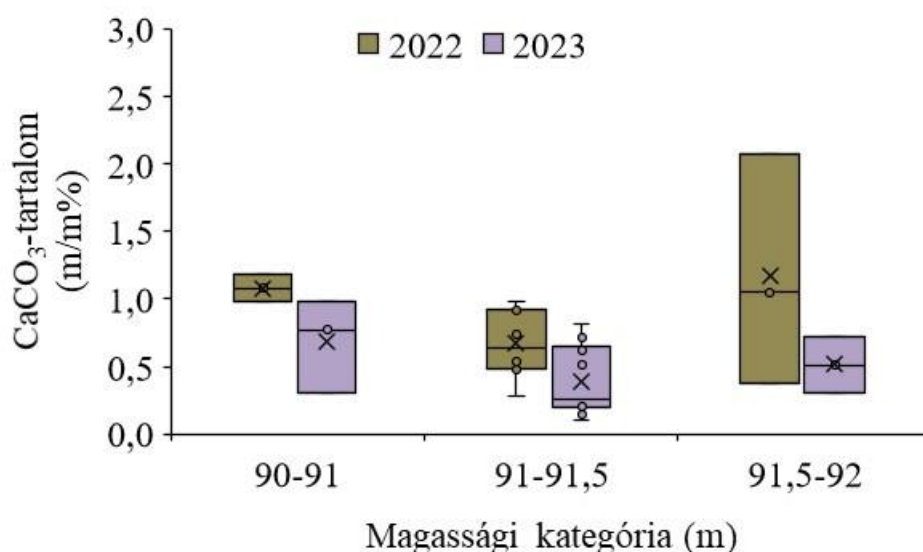
A párosított t-próba eredményei azt mutatják, hogy a T9 tábla talajának szénsavas mésztartalma a szkrépezést követően a legmagasabb magassági kategóriába tartozó terület esetében az átlagos szénsavas mésztartalom 68,73%-os emelkedést mutat, ezzel ellentétben a két alacsonyabb magassági kategóriába tartozó területek esetében a szénsavas mésztartalom némileg csökkent (28. táblázat).

28. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának szénsavas mésztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	1,1675	1,08	0,5216	0,505	0,2328	0,3928
Variancia	0,8189	0,8305	0,5235	0,5329	0,1162	0,1623
Darabszám	8	8	6	6	7	7
t Stat	0,9645		1		-1,579	
P(T<=t) two-tail	0,3707		0,3739		0,1750	
t Critical two-tail	2,447		2,776		2,570	

4.5.3 A T10-es tábla talajának szénsavas mésztartalma

A T10-es tábla első mintavételezésére 2022-ben került sor, majd pedig megtörtént a szkrépezés. Az újbóli mintavételezés is vizsgálat 2023-ban történt meg, melynek az eredményei a 24. ábrán látható.



8. ábra: A T10-es tábla talajának szénsavas mésztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

Míg az előző két tábla esetében hasonló eredményeket mutattak a mintavételi pontok a beavatkozást megelőzően, valamint azt követően is, addig a T10-es tábla esetében ez egyáltalán nem volt jellemző. A 90-91 méteres tengerszint feletti magasság esetében a legalacsonyabb érték 0,9 m/m% volt, míg a legmagasabb 1,2 m/m%. A szkrépezést követően megfigyelhetővé vált, hogy az értékek eltolódtak, valamint a szórás is megnövekedett, mivel a legalacsonyabb érték 0,3 m/m%-ra csökkent, ezzel szemben pedig a legmagasabb CaCO₃ tartalomra utaló érték pedig 0,9 m/m%-ra csökkent. A 91-

91,5 méteres magassági kategóriánál a legalacsonyabb érték 0,5 m/m%-os CaCO₃ tartalom volt, míg a legmagasabb az előző kategóriához hasonlóan 0,9 m/m%-ra volt tehető. A szkrépezést követően a legalacsonyabb érték 0,2 m/m%-ot mutatott, míg a legmagasabb 0,65 m/m%-os CaCO₃ tartalomra volt tehető. A 91,5-92 méteres magassági kategória esetében megfigyelhető, hogy nem csak az előzőekben jellemző értékcsökkenés volt tapasztalható, hanem a szórásban is csökkenést tapasztaltam.

A párosított t-próba eredményei szerint a T10 tábla talajának szénsavas mésztartalma a földtömeg-elosztást követően a legmagasabb magassági kategóriába tartozó terület esetében az átlagos szénsavas mésztartalom 68,73%-os emelkedést mutat, ezzel ellentétben a két alacsonyabb magassági kategóriába tartozó területek esetében a szénsavas mésztartalom némileg csökkent (29. táblázat).

11. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának szénsavas mésztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	1,1675	1,08	0,5216	0,505	0,2328	0,3928
Variancia	0,8189	0,8305	0,5235	0,5329	0,1162	0,1623
Darabszám	8	8	6	6	7	7
t Stat	0,9645		1		-1,579	
P(T<=t) two-tail	0,3707		0,3739		0,1750	
t Critical two-tail	2,447		2,776		2,570	

4.5.4 A szénsavas mésztartalom változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (30. táblázat) szerint a T8-as tábla esetében a talaj szénsavas mésztartalma mintegy 41,16%-os növekedést mutat (0,659-ről 0,93-ra) a szkrépezést követően, ami jelentős emelkedésnek tekinthető, amely a növénytermesztés szempontjából pozitív irányú elmozdulásnak tekinthető, valamint a variancia csökkenése azt mutatja, hogy a táblán belüli eloszlás egyenletesebb, tehát a földtömeg-elosztás az alapvető célját elérte.

A 0,05-nél magasabb p-érték azt jelzi, hogy nincs statisztikailag szignifikáns eltérés a szénsavas mésztartalomban a vizsgálati évek között. Az F-érték (0,5455) azt jelzi, hogy a csoportátlagok közötti variabilitás kisebb, mint az egyes csoportokon belüli.

30. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának szénsavas mésztartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	18	11,86	0,66	1,2486		
Szkrépezés után	18	16,74	0,93	1,1765		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	0,6615	1	0,6615	0,5455	0,4652	4,1300
Csoporton belül	41,22	34	1,2125			
Összesen	41,89	35				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (31. táblázat) a talaj szénsavas mésztartalma kismértékben csökkenő szórása mellett, csupán 2,26%-kal emelkedett (0,6714-ről 0,6866-ra) a szkrépezés után, ami csekély emelkedésnek tekinthető, viszont az emelkedés iránya a növénytermesztés szempontjából fontos tényező, hiszen a talaj szénsavas mésztartalma befolyásolja a termeszhető növények körét.

A 0,05-nél magasabb p-érték azt jelzi, hogy nincs statisztikailag szignifikáns eltérés a szénsavas mésztartalom tekintetében a vizsgálati évek között. A kritikus F-értéknél jelentősen alacsonyabb F-érték (0,00406) pedig arra utal, hogy a csoportátlagok közötti variabilitás alacsonyabb, mint az egyes csoportokon belüli.

31. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának szénsavas mésztartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	21	14,1	0,6714	0,6248		
Szkrépezés után	21	14,42	0,6866	0,5746		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	0,0024	1	0,0024	0,00406	0,9494	4,084
Csoporton belül	23,98	40	0,5997			
Összesen	23,99	41				

A legalacsonyabb fekvésű T10-es tábla esetében a talaj szénsavas mésztartalma 0,8166-ról 0,4493-ra csökkent a szkrépezést követően, ami a tábla egészére vonatkoztatva kedvezőtlennek mondható. A szénsavas mésztartalomban a szkrépezés következtében kialakult eltérés statisztikailag szignifikánsnak tekinthető ($p < 0,05$). A kritikus F-értéknél nagyobb F-érték (7,75) pedig arra utal, hogy a csoportátlagok közötti variabilitás magasabb, mint az egyes csoportokon belüli (32. táblázat).

32. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának szénsavas mésztartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után

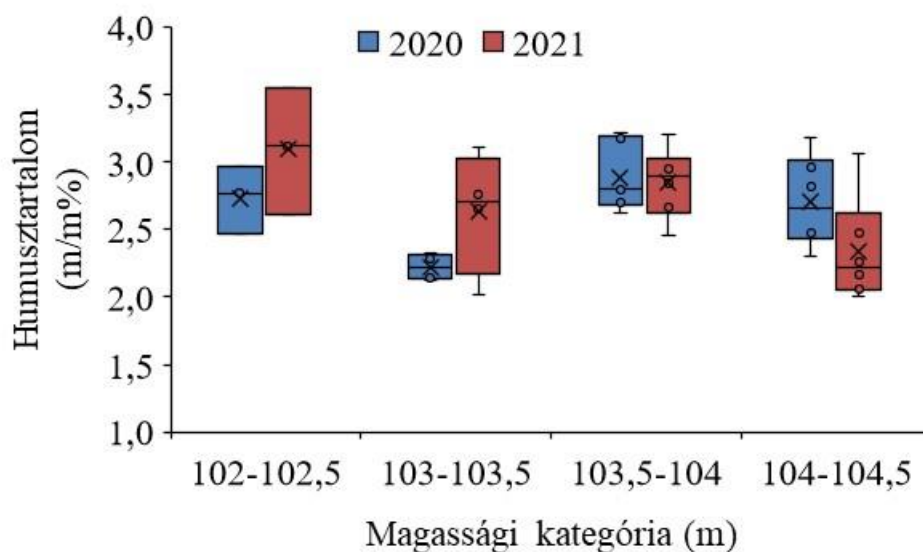
<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Szkrépezés előtt	15	12,25	0,8166	0,1884
Szkrépezés után	15	6,74	0,4493	0,0726

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	1,012	1	1,012	7,750	0,0095	4,196
Csoporton belül	3,656	28	0,130			
Összesen	4,668	29				

4.6 A szkrépezés hatása a talaj humusztartalmára

4.6.1 A T8-as tábla talajának humusztartalma

A T8-as vizsgálati tábla 19 pontján a 0-30 cm-es talajrétegből vett minták humusztartalom értékeit a 4 magassági kategóriába sorolva mutatom be (25. ábra). Nyilvánvalóan az volt a hipotézisünk, hogy a magasabb területrészek humuszban gazdag feltalaja a mélyebb területekre lett átmozgatva.



9. ábra: A T8-as tábla talajának humusztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

Megállapítható, hogy az átlagos humusztartalom magasabb lett (2,73%-ról 3,09%-ra, illetve 2,22%-ról 2,64%-ra nőtt). A két, eredetileg mélyebb (102-202,5 és 103-103,5 m) területen, míg a magasabb (103,5-104 m) mintavételi helyek talajában kissé csökkent (2,89%-ról 2,85%-ra) a humusztartalom.

Az adatok kétmintás páros t-próbával végzett elemzésének eredményeit a 33. táblázat foglalja össze, amely szerint a két, eredetileg mélyebb területen az eltérések statisztikailag

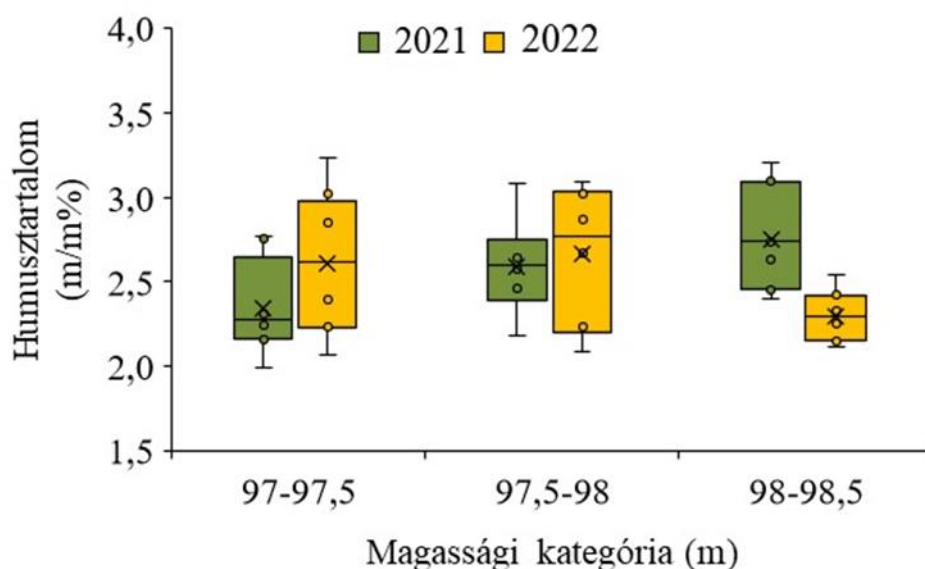
nem igazolhatók, ellentétben a legmagasabban fekvő területtel (104-104,5 m), ahol a humusztartalom jelentősen csökkent (2,7%-ról 2,34%-ra, LSD5% = 0,266%).

33. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	2,73	3,09	2,22	2,64	2,89	2,85	2,70	2,34
Variancia	0,065	0,221	0,010	0,207	0,062	0,067	0,111	0,152
Darabszám	3	3	4	4	6	6	6	6
t Stat	-2,855		-1,804		0,366		2,783	
P(T<=t) two-tail	0,104		0,169		0,729		0,039	
t Critical two-tail	4,303		3,182		2,571		2,571	

4.6.2 A T9-es tábla talajának humusztartalma

A T9-es vizsgálati tábla 21 pontján a 0-30 cm talajrétegből vett minták humusztartalom értékeit a 3 magassági kategóriába sorolva mutatom be (26. ábra). Az eredetileg legmélyebb (97-97,5 m) területen az átlagos humusztartalom jelentősen emelkedett (2,34%-ról 2,61%-ra, LSD5% 0,225-re). A közepes mélységű területen (97,5-98 m) kismértékben (2,59%-ról 2,66%-ra) nőtt a talaj humusztartalma.



10. ábra: A T9-es tábla talajának humusztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A párosított t-próba eredményei (34. táblázat) szerint, hasonlóan a T8-as táblán tapasztaltakkal, a két mélyebb területen az eltérések statisztikailag nem igazolhatók, de a

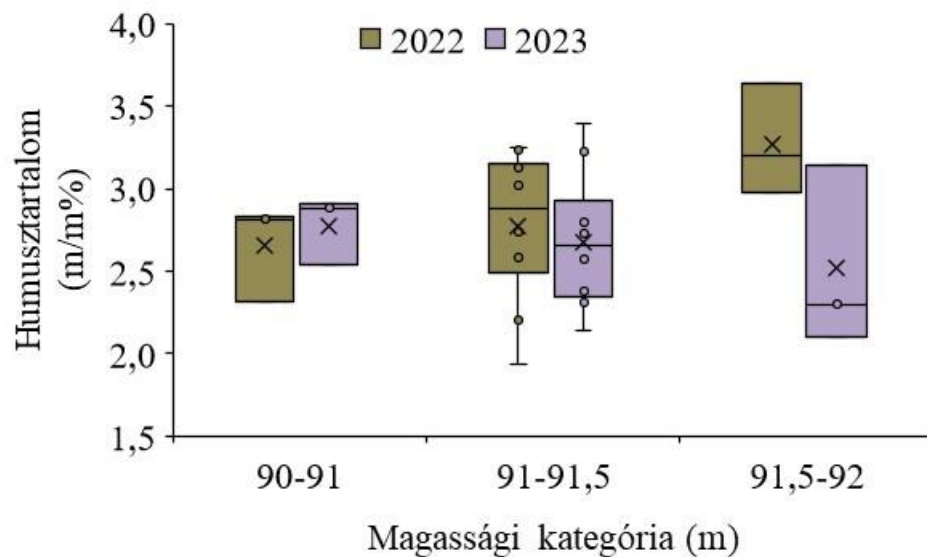
legmagasabb pontokon (98-98,5 m) az átlagos humusztartalom statisztikailag szignifikáns mértékben, 2,75%-ról 2,30%-ra csökkent (LSD5% 0,16%).

12. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	2,34	2,61	2,59	2,66	2,75	2,30
Variancia	0,078	0,185	0,085	0,174	0,092	0,022
Darabszám	8	8	6	6	7	7
t Stat	2,488		-0,385		3,663	
P(T<=t) two-tail	0,042		0,716		0,011	
t Critical two-tail	2,365		2,571		2,447	

4.6.3 A T10-es tábla talajának humusztartalma

A T10-es vizsgálati tábla 16 pontján a 0-30 cm talajrétegből vett minták humusztartalom értékeit a 3 magassági kategóriába sorolva a 27. ábrán mutatom be. A másik két vizsgált táblához hasonlóan, a T10-es táblán is az eredetileg legmélyebb fekvésű (90-91 m) területen kis mértékben növekedett (az átlagos 2,56%-ról 2,87%-ra) a talaj humusztartalma. A közepes (91-91,5 m) és a legmagasabb (91,5-92 m) fekvésű területeken csökkent (az átlagos 2,78%-ról 2,67%-ra, illetve 3,27%-ról 2,52%-ra) a talaj humusztartalma.



11. ábra: A T10-es tábla talajának humusztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A T10 parcellára számított humusztartalom adatok kétmintás párosított t-próbájának eredményeit a 35. táblázat tartalmazza. Az eredmények alapján megállapítható, hogy mindhárom magassági kategóriában emelkedett a szénsavas mésztartalom.

13. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint

Magassági kategória (m)	90-91		91-91,5		91,5-92	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	2,78	2,66	2,67	2,78	2,74	3,05
Variancia	0,044	0,084	0,165	0,200	0,313	0,467
Darabszám	3	3	10	10	3	3
t Stat	0,492		-0,673		-0,464	
P(T<=t) two-tail	0,671		0,518		0,688	
t Critical two-tail	4,303		2,262		4,303	

4.6.4 A humusztartalom változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (36. táblázat) alapján megállapítható, hogy a legmagasabb fekvésű T8-as tábla esetében a talaj átlagos humusztartalma tulajdonképpen nem változott a szkrépezés után (2,67% és 2,68% 2020-ban, illetve 2021-ben), így természetesen statisztikailag sincs szignifikáns eltérés a vizsgálati évek között. Ez tulajdonképpen pozitívumnak tekinthető, hisz táblaszinten nem történt humuszvesztés, ugyanakkor egyenletesebb lett a talaj szervesanyag eloszlása a tábla egyes részei között, ami a növénytáplálási technológiát is egyszerűbbé teszi (nem kell precíziós tápanyagutánpótlást alkalmazni a táblán belül).

14. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának humusztartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Szkrépezés előtt	19	50,65	2,67	0,12
Szkrépezés után	19	50,95	2,68	0,20

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	0,002	1	0,002	0,015	0,903	4,113
Csoporton belül	5,678	36	0,158			
Összesen	5,680	37				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (37. táblázat) sem változott jelentős mértékben a talaj átlagos humusztartalma csak nagyon csekély (0,03%) csökkenést mutattunk ki, de ez a különbség statisztikailag nem szignifikáns (p=0,799).

15. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának humusztartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>			
Szkrépezés előtt	21	53,54	2,55	0,11			
Szkrépezés után	21	52,95	2,52	0,14			
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>	
Csoportok között	0,008	1	0,008	0,066	0,799	4,085	
Csoporton belül	4,996	40	0,125				
Összesen	5,004	41					

Az alacsony magassági fekvésű T10-es tábla esetében (38. táblázat) a talaj átlagos humusztartalma mintegy 5,6%-kal csökkent a szkrépezés után. Bár ez a különbség statisztikailag nem szignifikáns ($p=0,335$), szakmai szempontból mindenképpen figyelemre méltó, hiszen a földtömeg-elosztás során jelentős volt a szervesanyag áthelyezés a magasabb területekről az alacsonyabb részekre, ami a táblán belül egyenletesebb tápanyagszolgáltató képességet eredményezett, ugyanakkor a tápanyag utánpótlás újragondolását teszi szükségessé.

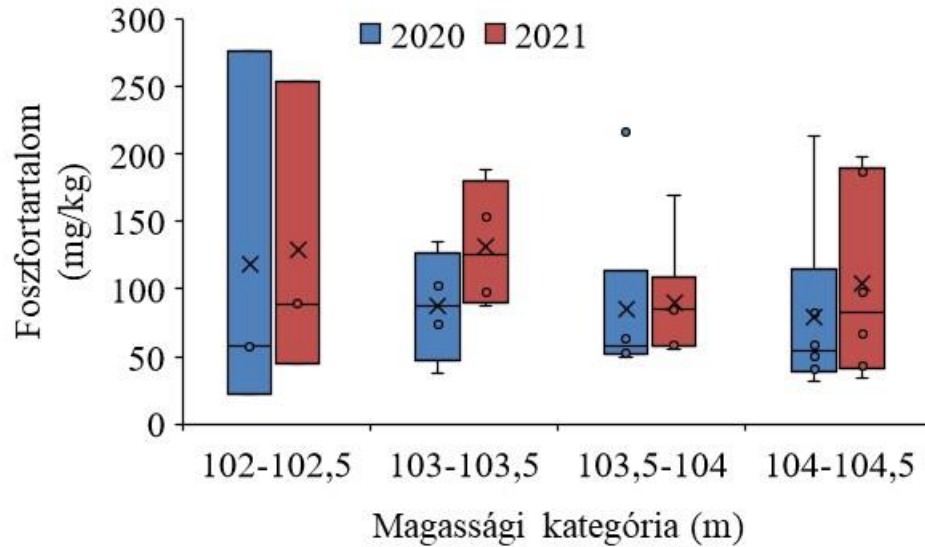
16. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának humusztartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>			
Szkrépezés előtt	16	45,24	2,83	0,20			
Szkrépezés után	16	42,91	2,68	0,15			
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>	
Csoportok között	0,169	1	0,169	0,961	0,335	4,171	
Csoporton belül	5,289	30	0,176				
Összesen	5,458	31					

4.7 A szkrépezés hatása a talaj foszfortartalmára

4.7.1 A T8-as tábla talajának foszfortartalma

A T8-as táblán az első mintavételezésre, hasonlóan az előzőekhez, 2020-ban került sor, majd pedig megtörtént a földtömeg-elosztás a vizsgált táblán belül. Az újabb mintavételezést és vizsgálatot 2021-ben végeztük el, melynek eredményei a 28. ábrán tekinthetőek meg.



12. ábra: A T8-as tábla talajának foszfortartalma (P_2O_5) a földtömeg-elosztás előtt és után

Mint az jól látható a 28. ábrán, a foszfortartalom igencsak változóan alakult a szkrépezést követően, így mindegyik kategóriát külön-külön elemeztem. A 102-102,5 méteres magassági kategóriánál a beavatkozást megelőzően a foszfortartalom 20 mg/kg és 275 mg/kg értékek között mozogtak, míg a szkrépezést követően a legalacsonyabb érték növekedett (45 mg/kg), azonban a legmagasabb értékben csökkenés volt tapasztalható (255 mg/kg). A 103-103,5 méteres magassági kategóriánál emelkedés volt tapasztalható a földtömeg-elosztást követően, mivel előtte a legalacsonyabb kimutatott érték 45 mg/kg-ra volt tehető, a legmagasabb pedig 125 mg/kg foszfortartalomra. A szkrépezést követően a legalacsonyabb mért érték 90 mg/kg-ra növekedett, míg a legmagasabb érték esetében 180 mg/kg foszfortartalom volt megállapítható. 103,5-104 méteres magassági kategória esetében a beavatkozást követően kismértékű csökkenés volt tapasztalható a szórásban, azonban a 104-104,5 méteres magassági kategóriánál növekedést tapasztaltam mind a szórás terén, mind pedig a foszfortartalom esetében is. A beavatkozást megelőzően 40 mg/kg foszfortartalom volt a legalacsonyabb érték, míg a legmagasabb 90 mg/kg-ra volt tehető, azonban a földtömeg-elosztást követően a legalacsonyabb értékben kismértékű emelkedés volt tapasztalható (45 mg/kg), viszont a legmagasabb érték 195 mg/kg-os foszfortartalomra növekedett.

Az adatok kétmintás páros t-próbával végzett elemzésének eredményeit a 39. táblázat foglalja össze, amely szerint a mind a négy magassági kategóriában statisztikailag szignifikáns eltérés mutatható ki a szkrépezést követően. A két alacsonyabb magasságú

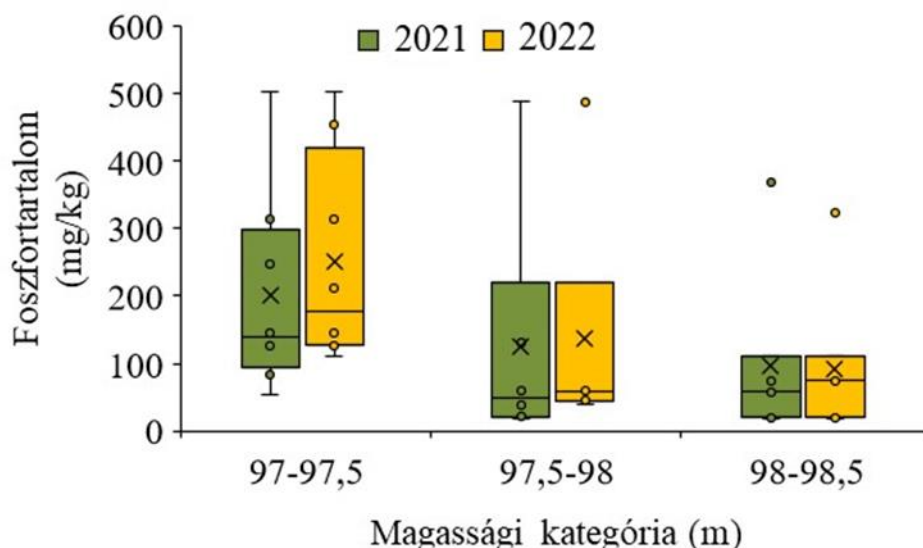
területeken a talaj foszfortartalmának varianciája növekedést mutat, míg a két magasabban fekvő terület esetében a variancia csökkenést mutat, mindemellett mind a négy magassági kategória esetén a talaj foszfortartalma növekedett, amely a növénytermesztés szempontjából pozitívnak tekinthető.

17. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának foszfortartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	39,75	67	103,63	143,33	87,12	91,4	78,84	88
Variancia	616,005	968	925,92	2686,33	5265,10	2110,8	5764,99	4395,5
Darabszám	2	2	3	3	5	5	5	5
t Stat	-0,6890		-2,97		-0,2756		-0,8949	
P(T<=t) two-tail	0,6159		0,0971		0,7964		0,4213	
t Critical two-tail	12,706		4,302		2,7764		2,776	

4.7.2 A T9-es tábla talajának foszfortartalma

A T9-es táblán az első mintavételezésre, hasonlóan az előzőekhez, 2020-ban került sor, majd pedig lezajlott a földtömeg-elosztás a vizsgált táblán belül. Az újabb mintavételezést és vizsgálatot 2021-ben végeztük el, melynek eredményeit a 29. ábrán szemléltetem.



13. ábra: A T9-es tábla talajának foszfortartalma (P_2O_5) a földtömeg-elosztás előtt és után

A T9 tábla talajának átlagos foszfortartalma a földtömeg-elosztást megelőzően 139,46 volt, míg a szkrépezést követően 150,765-re emelkedett, amely mintegy 8,08%-os

növekedést jelent. A 97-97,5 méteres magassági kategóriába tartozó terület esetében a szkrépezés hatására a foszfortartalom 100-300 mg/kg között mozgott, amely a földtömeg-elosztás után 112-455 mg/kg közötti értékeket vett fel, valamint a szkrépezés hatására az értékek szórása jelentős mértékben emelkedett. A 97,5-98 méteres magasságú terület tekintetében megállapítható, hogy a szkrépezés előtt és után is a legmagasabb foszfortartalom a szkrépezést megelőzően a T9 tábla talajának foszfortartalma 200 mg/kg volt, míg az értékek szórása a földtömeg-elosztást követően némileg csökkent. A legmagasabban fekvő területeken (98-98,5) ahogy az a 29. ábrán is látható, a talaj foszfortartalma azonos a földtömeg-elosztás előtt és azt követően.

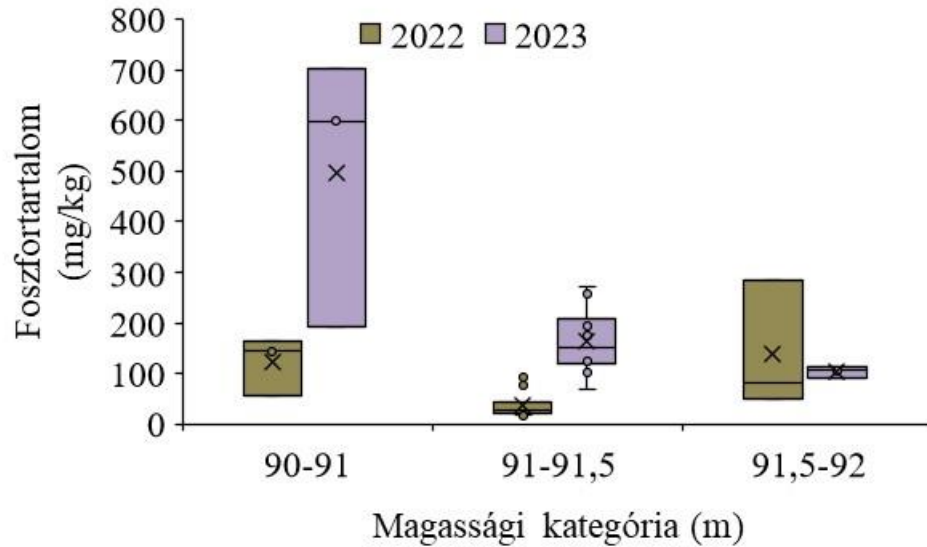
Az adatokon a kétmintás páros t-próba elvégzését követően az eredményeket a 40. táblázat foglalja össze, amely szerint a mind a négyhárom magassági kategóriában statisztikailag szignifikáns eltérés látható a szkrépezést követően. A két alacsonyabb magasságú területeken a talaj foszfortartalmának varianciája csökkenést mutat, míg a legmagasabban fekvő terület (98-98,5) esetében a variancia növekedést mutat, mindemellett mind a négyhárom magassági kategória esetén a talaj foszfortartalma emelkedett, amely a növénytermesztés szempontjából pozitív irányú változást jelent.

18. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának foszfortartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	194,35	220,82	124,84	137,9	50,78	54,18
Variancia	25469	20513	41484	38382	1370	1504
Darabszám	7	7	5	5	6	6
t Stat	-1,409		-1,537		-1	
P(T<=t) two-tail	0,2082		0,1989		0,3632	
t Critical two-tail	2,446		2,776		2,570	

4.7.3 A T10-es tábla talajának foszfortartalma

A T10-es tábla esetében az első mintavételezés 2022-ben történt, amelyet 2023-ban ismételtünk meg a szkrépezést követően. A három magassági kategóriába sorolt területeken az átlagos foszfortartalom 72,44 mg/kg volt, míg a szkrépezés után 188,51 mg/kg-ra növekedett. A T10-es tábla talajának foszfortartalmának földtömeg-elosztás előtti és utáni adatait a 30. ábra mutatja be.



30. ábra: A T10-es tábla talajának foszfortartalma (P_2O_5) a földtömeg-elosztás előtt és után

Amint az a 30. ábrán is jól látható, a legalacsonyabban fekvő területen az átlagos 121,63 mg/kg foszfortartalom a földtömeg-elosztást követően 497,67-re emelkedett, amely mintegy négyszeres (309,16%) növekedést jelent. A 91-91,5 méteres magasságú terület tekintetében elmondható, hogy az átlagos foszfortartalom még nagyobb mértékben növekedett a szkrépezést követően, mint az alacsonyabb (90-91 m) magassági kategóriába tartozó területen. Az átlagos foszfortartalom növekedésének mértéke ebben az esetben 345,3%-os volt. A magasabb fekvésű terület (91,5-92 m) vonatkozásában megállapítható, hogy a talaj átlagos foszfortartalma 137,67-ről 102,8-re csökkent, amely a növénytermesztés szempontjából negatívnak tekinthető. Az adatok szórása viszont jelentős mértékben csökkent.

A kétmintás páros t-próba eredményeit a 41. táblázat foglalja össze.

41. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának foszfortartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	90-91		91-91,5		91,5-92	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	121,63	497,67	36,49	162,49	137,67	102,8
Variancia	3335,4	73279	688,12	4337,7	16177	139,7
Darabszám	3	3	10	10	3	3
t Stat	-1,192		-5,561		-1,348	
P(T<=t) two-tail	0,444		0,0005		0,406	
t Critical two-tail	12,70		2,306		12,70	

Megállapítható, hogy a mindhárom magassági kategória talajának foszfortartalma statisztikailag szignifikáns eltérést mutat a szkrépezést követően. Míg a két alacsonyabb magasságú területeken (90-91 és 91-91,5 m) a talaj foszfortartalmának varianciája jelentős emelkedést mutat, addig a legmagasabban fekvő terület (91,5-92 m) esetében a variancia jelentősen csökkent, így a földtömeg-elosztás alapcélja (homogénebb talaj kialakítása) csupán a 91,5-92 méteres magasságú területek esetében valósult meg.

4.7.4 A foszfortartalom változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (42. táblázat) szerint a T8-as tábla esetében a talaj átlagos foszfortartalma tulajdonképpen a szkrépezést követően 29,03%-kal emelkedett (78,83-ról 101,72-re). A $p > 0,05$, tehát a földtömeg-elosztás után kimutatható eltérés nem szignifikáns. Az F-érték jóval alacsonyabb, mint a kritikus F-érték, ezért megállapítható, hogy a csoportok közötti variabilitás magasabb, mint a csoporton belüli.

42 táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának foszfortartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Szkrépezés előtt	18	1419	78,83	3147,156
Szkrépezés után	18	1831	101,72	2883,036

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	4715,111	1	4715,111	1,563	0,2196	4,1300
Csoporton belül	102513,3	34	3015,096			
Összesen	107228,4	35				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (43. táblázat) a talaj átlagos foszfortartalma kisebb mértékű növekedést tapasztaltunk a földtömeg-elosztást követően, viszont ez a különbség statisztikailag nem szignifikáns ($p=0,8132$).

43. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának foszfortartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Szkrépezés előtt	20	2789,9	139,495	23553,66
Szkrépezés után	20	3015,3	150,765	21332,34

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	1270,129	1	1270,129	0,056594	0,8132	4,098172
Csoporton belül	852833,8	38	22443			
Összesen	854104	39				

Az alacsonyabb fekvésű T10-es tábla (44. táblázat) talajának átlagos foszfortartalma mintegy 160,22%-os növekedést mutat a szkrépezés után. Ez az eltérés statisztikailag szignifikánsnak ($p=0,0139$) tekinthető. Szakmai szempontból mindenképpen figyelemre méltó ez az eltérés, hiszen a földtömeg-elosztást követően jelentős volt a szervesanyag áthelyezés a magasabb területekről az alacsonyabban fekvő részekre, ami a táblán belül egyenletesebb tápanyagszolgáltató képességet eredményezett, viszont mindez a tápanyag-utánpótlás újratervezését teszi szükségessé.

44. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának foszfortartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

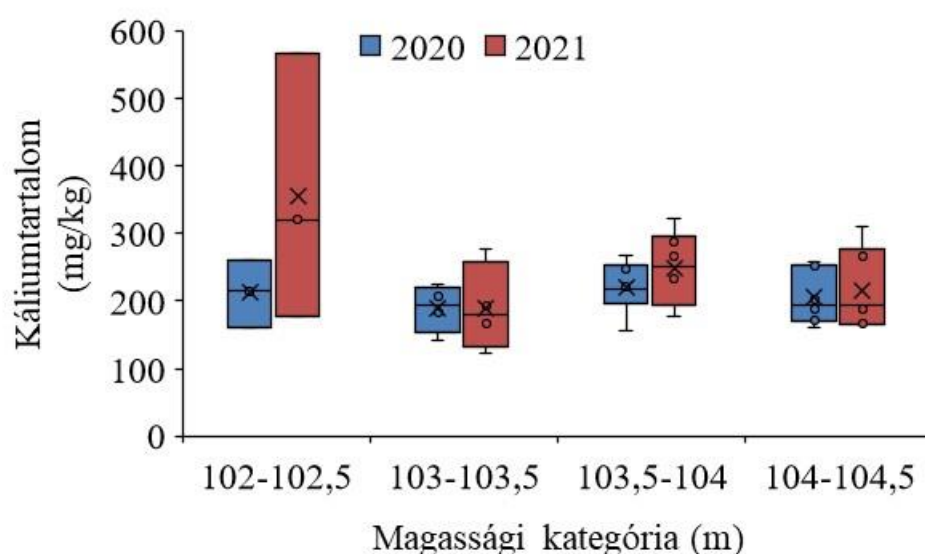
Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Szkrépezés előtt	15	1086,7	72,44	5564,24
Szkrépezés után	15	2827,7	188,51	23803,2

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	101036	1	101036	6,8807	0,0139	4,1959
Csoporton belül	411145,5	28	14683,77			
Összesen	512181,5	29				

4.8 A szkrépezés hatása a talaj káliumtartalmára

4.8.1 A T8-as tábla talajának káliumtartalma

A 31. ábrán a káliumtartalom változása látható a 2020-ban és a 2021-ben végzett vizsgálatokat követően.



31. ábra: A T8-as tábla talajának káliumtartalma (K_2O) a földtömeg-elosztás előtt és után

A 2020-ban végzett vizsgálatok alapján a 102-102,5 méteres magassági kategória esetében látható, hogy a legalacsonyabb mért káliumtartalom 150 mg/kg-os értéket mutat, míg a legmagasabb 250 mg/kg-os káliumtartalomra tehető. A szkrépezést követően a legalacsonyabb érték esetében növekedés volt tapasztalható (160 mg/kg), míg a legmagasabb mért káliumtartalom pedig 570 mg/kg-os értéket mutatott. A 103-103,5 méteres magassági kategóriánál szintén emelkedés volt tapasztalható a szkrépezés után a káliumtartalomban, de ugyanez volt jellemző a 103,5-104 méteres magassági kategóriára, valamint a 104-104,5 méteres magassági kategóriára is. Továbbá az is látható az ábrán, hogy a káliumtartalom emelkedése mellett a szórásban is növekedés állt be a földtömeg-elosztást követően.

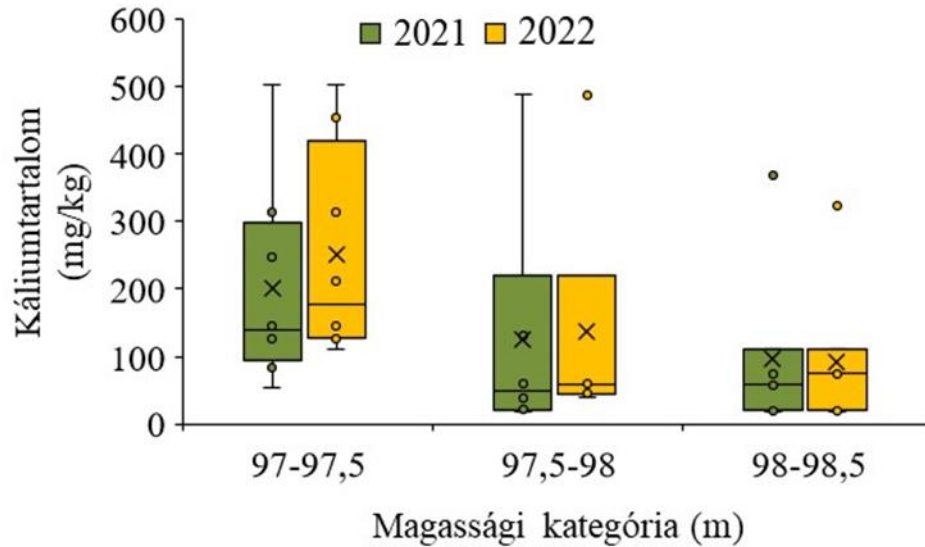
A kétmintás páros t-próba eredményei a 45. táblázatban láthatók, melyek szerint minden magassági kategória esetén az átlagos káliumtartalom növekedést mutat a szkrépezést követően, valamint az adatok varianciája is egyaránt növekedést mutat. Az átlagos káliumtartalom emelkedése a növénytermesztés szempontjából pozitívnak tekinthető.

19. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának káliumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	188,05	372,5	204,63	213	220,42	244,2	196,5	206
Variancia	1485,1	7566 0	406,62	3351	1818,8	3670	1451,8	3645
Darabszám	2	2	3	3	5	5	5	5
t Stat	-1,102		-		-1,106		-0,5646	
P(T<=t) two-tail	0,4688		0,7503		0,3666		0,6024	
t Critical two-tail	12,70		4,302		2,776		2,776	

4.8.2 A T9-es tábla talajának káliumtartalma

A T9-es tábla talaja káliumtartalmának szkrépezés előtti és utáni változását a 32. ábrán szemléltetem.



32. ábra: A T9-es tábla talajának káliumtartalma (K_2O) a földtömeg-elosztás előtt és után

A T9-es tábla talajának káliumtartalma 55-504 mg/kg között mozgott a szkrépezést megelőzően, míg a földtömeg-elosztás után 112-504 mg/kg közötti értékeket vett fel az alacsonyabb magassági kategóriába tartozó területen. A 97,5-98 méteres kategóriába tartozó terület esetében megállapítható, hogy a talaj káliumtartalma némileg emelkedett, hiszen a földtömeg-elosztást megelőzően 21-488 mg/kg volt, míg azt követően 45-488 mg/kg között mozgott. A magasabban fekvő terület (98-98,5 m) tekintetében elmondható, hogy a földtömeg-elosztást megelőző 50,78 mg/kg káliumtartalom lényeges változást nem mutat a szkrépezést követően.

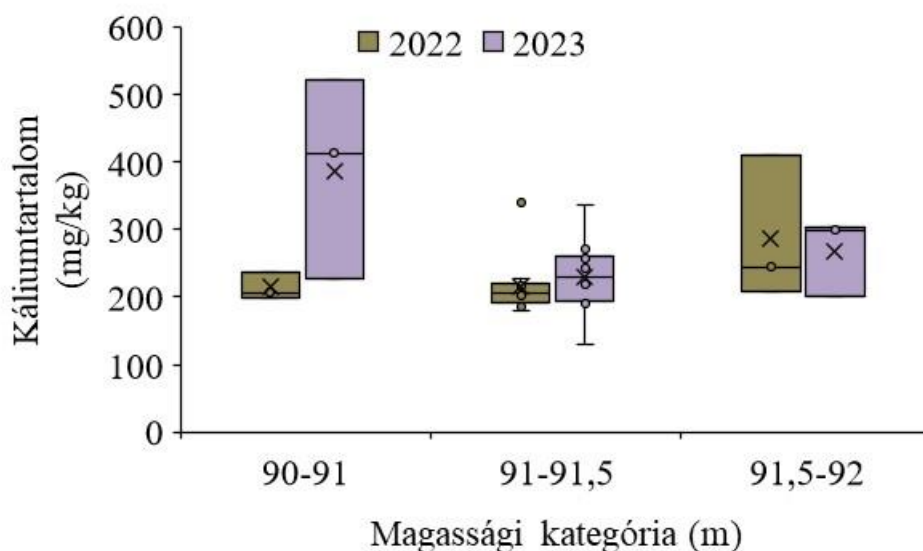
A kétmintás t-próba eredményei szerint (46. táblázat) a két alacsonyabban fekvő terület esetén a szkrépezés után a talaj káliumtartalma nagyobb arányú növekedést (13,61% és 10,46%) mutat, mint a 98-98,5 méteres magasságú terület esetében (6,69%). Az adatok szórását tekintve megállapítható, hogy a legmagasabban fekvő területen a szórás kismértékű növekedést mutat a földtömeg-elosztást követően, ezzel ellentétben a két alacsonyabban fekvő (97-97,5 és 97,5-98) területeken jelentős csökkenés következett be az adatok szórásában.

20. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának káliumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	194,36	220,82	124,84	137,9	50,78	54,18
Variancia	25469	20514	41484	38382	1370,9	1504,1
Darabszám	7	7	5	5	6	6
t Stat	-1,409		-1,537		-1	
P(T<=t) two-tail	0,2082		0,1989		0,3632	
t Critical two-tail	2,447		2,776		2,570	

4.8.3 A T10-es tábla talajának káliumtartalma

A T10-es táblán a talaj káliumtartalmának elemzését először 2022-ben végeztük el, majd a szkrépezést követően 2023-ban került sor az újabb mintavételre. A mintavétel a földtömeg-elosztást megelőző és azt követő eredményeit a 33. ábra szemlélteti.



33. ábra: A T10-es tábla talajának káliumtartalma (K_2O) a földtömeg-elosztás előtt és után

A 33. ábrán látható, hogy a földtömeg-elosztást követően a legnagyobb mértékű változást a 90-91 méteres magasságban lévő terület esetében tapasztaltuk. A 90-91 méteres magasságú terület esetén az átlagos káliumtartalom 214,8-ról 386,8-ra emelkedett, amely mintegy 80,10%-os növekedést jelent. A növénytermesztés szempontjából ez a nagyarányú növekedés a termesztett növény igényeitől függően lehet pozitív, illetve negatív irányú is. A 91-91,5 méteres kategóriába tartozó terület vonatkozásában megállapítható, hogy a szkrépezést megelőzően az átlagos káliumtartalom 216,66 mg/kg

volt, míg a földtömeg-elosztást követően 230,51 mg/kg-ra növekedett. Az adatok szórását tekintve kisebb mértékű a növekedés (42,22%), mint a 90-91 méteres magasságú terület (53%) esetén. A magasabb terület (91,5-92 m) esetében megállapítható, hogy a szkrépezés előtt mért átlagos káliumtartalom 287,7 mg/kg a szkrépezést követően 268 mg/kg-ra csökkent, amely mintegy 6,85%-os csökkenést jelent. Az adatok szórása ebben az esetben is növekedést mutat.

A párosított t-próba eredményei szerint (47. táblázat) a két alacsonyabb fekvésű terület esetén a talaj átlagos káliumtartalma a szkrépezést követően emelkedést mutat, míg a magasabb fekvésű (91,5-92 m) területen az átlagos káliumtartalom csökkent. Az adatok variabilitása ugyancsak a legmagasabb területen csökkent, míg a 90-91 méteres és a 91-91,5 méteres magasságú területeken növekedett. A termesztett növényektől függően a növénytermesztés vonatkozásában a magasabb káliumtartalom kedvező lehet.

47. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának káliumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	90-91		91-91,5		91,5-92	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	214,8	386,8	216,4	230,5	287,7	268
Variancia	412,11	22113	2094,6	2979,1	11407,5	3298,8
Darabszám	3	3	10	10	3	3
t Stat	-2,075		-0,7143		0,3402	
P(T<=t) two-tail	0,1735		0,4931		0,7660	
t Critical two-tail	4,302		2,262		4,302	

4.8.4 A káliumtartalom változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei szerint a T8 tábla vonatkozásában (48. táblázat) a talaj átlagos káliumtartalma a földtömeg-elosztást követően 204,63-ról 213-ra emelkedett.

21. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának káliumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
Szkrépezés előtt	3	613,9	204,6333	406,6233		
Szkrépezés után	3	639	213	3351		
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	105,0017	1	105,0017	0,055887	0,8247	7,708647
Csoporton belül	7515,247	4	1878,812			
Összesen	7620,248	5				

A szkréperezés után a p-érték magasabb, mint 0,05, tehát a földtömeg-elosztás hatására bekövetkezett eltérés szignifikánsnak tekinthető.

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (49. táblázat) a talaj átlagos káliumtartalma 10,78%-os növekedést tapasztaltunk a földtömeg-elosztás után, viszont ez a különbség statisztikailag nem szignifikáns ($p=0,4933$). A T9-es tábla esetén a káliumtartalom vonatkozásában a T8-as táblához hasonlóan a csoportok közötti variabilitása alacsonyabb, mint a csoporton belüli.

22. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának káliumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>			
Szkréperezés előtt	5	1102,1	220,42	1818,897			
Szkréperezés után	5	1221	244,2	3670,2			
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>	
Csoportok között	1413,721	1	1413,721	0,515	0,493	5,318	
Csoporton belül	21956,39	8	2744,549				
Összesen	23370,11	9					

Az alacsonyabb fekvésű T10-es tábla (50. táblázat) talajának átlagos káliumtartalma mintegy 4,8%-os növekedést mutat a földtömeg-elosztás után. Ez az eltérés statisztikailag nem tekinthető szignifikánsnak, mivel $p = 0,0139$. Az eltérés nem jelentős, viszont szakmai szempontból mindenképpen figyelemre méltó, hiszen a szkréperezést követően jelentős volt a szervesanyag áthelyezés a magasabb területekről az alacsonyabban fekvő területrészekre, ami a táblán belül egyenletesebb tápanyagszolgáltató képességet alakított ki, viszont mindez a tápanyag-utánpótlás átgondolását teszi szükségessé.

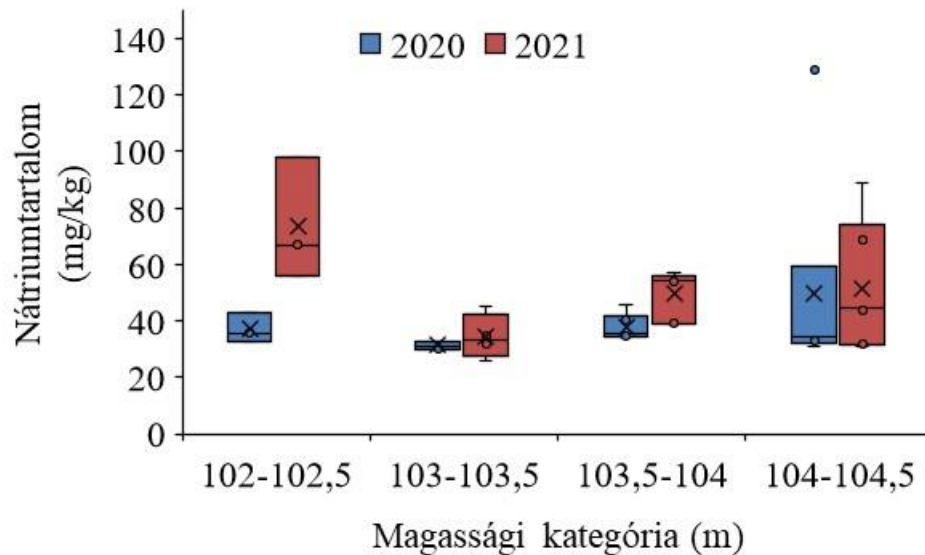
50. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának káliumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>			
Szkréperezés előtt	5	982,8	196,56	1451,843			
Szkréperezés után	5	1030	206	3645			
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>	
Csoportok között	222,784	1	222,784	0,08742	0,775012	5,317655	
Csoporton belül	20387,37	8	2548,422				
Összesen	20610,16	9					

4.9 A szkrépezés hatása a talaj nátriumtartalmára

4.9.1 A T8-as tábla talajának nátriumtartalma

A nátriumtartalomra vizsgálatára a szkrépezést megelőzően 2020-ban került sor, majd pedig – a beavatkozás után – 2021-ben megismételtük a mintavételezést. A minták vizsgálata során kapott eredményeket a 34. ábrán foglaltam össze.



14. ábra: A T8-as tábla talajának nátriumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A nátriumtartalom esetében is növekedés volt tapasztalható mind a négy magassági kategória esetében. A 102-102,5 méteres magassági kategóriánál a legalacsonyabb érték 30 mg/kg-ra volt tehető, míg a legmagasabb érték 42 mg/kg-ot mutatott. A földtömeg-elosztást követően a legalacsonyabb nátriumtartalom 55 mg/kg volt, ezzel szemben a legmagasabb megközelítette a 100 mg/kg értéket is. A 103-103,5 méteres magassági kategóriába tartozó terület esetén megállapítható, hogy az átlagos nátriumtartalom 37,07 mg/kg-ról 73,67 mg/kg-ra emelkedett. A szkrépezést követően a talaj nátriumtartalmi adatok szórása 18-szorosára emelkedett. a földtömeg-elosztást megelőző legalacsonyabb káliumtartalmi érték 33 mg/kg volt, míg a szkrépezés után a minimum nátriumtartalom 56 mg/kg volt. A 103,5-104 méteres magasságban lévő talaj átlagos nátriumtartalom a földtömeg-elosztást megelőzően 37,68 mg/kg-ról 50 mg/kg-ra növekedett, amely mintegy 32,69%-os emelkedésnek felel meg. A magasabb területen (104-104,5 m) tapasztalható változás teljes mértékben eltér az előző három magassági kategóriába tartozó területektől, hiszen a földtömeg-elosztás előtti és utáni átlagos nátriumtartalom

legalacsonyabb értéke nem mutat jelentő változást (49,63 mg/kg-ról 501,67 mg/kg-ra emelkedett).

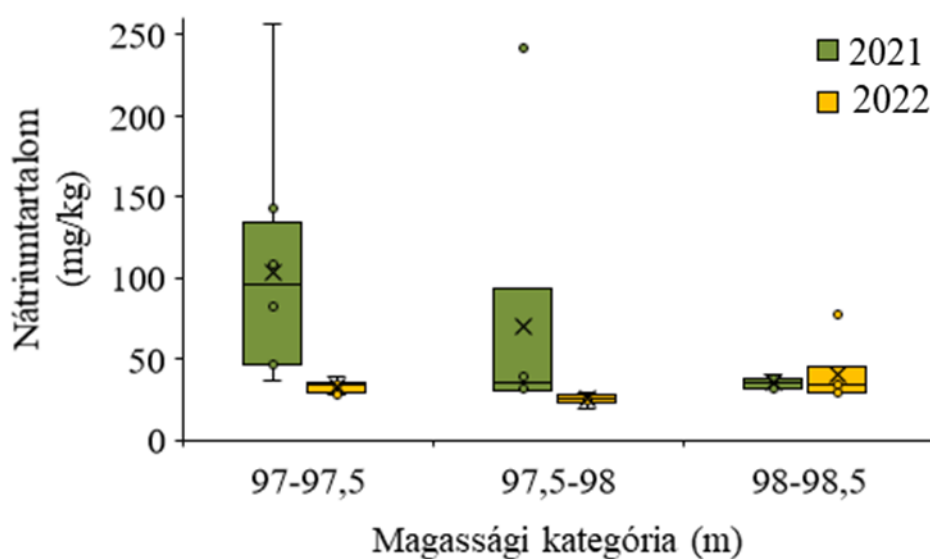
A párosított t-próba eredményei szerint (51. táblázat) minden magassági kategória esetén a talaj átlagos nátriumtartalma a szkréperezés után emelkedést mutat, a legnagyobb arányú növekedést a 102-102,5 méteres magasságú területen tapasztaltuk. Az adatok variabilitása az alacsonyabb területek esetén jelentős mértékű növekedést mutat, ezzel ellentétben a legmagasabb (104-104,5 m) fekvésű terület esetén nagymértékű csökkenés látható.

51. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának nátriumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	37,07	73,67	31,4	34,5	37,68	50	49,63	51,67
Variancia	25,90	474,3	1,86	63	21,87	73,6	1503,7	522,27
Darabszám	3	3	4	4	6	6	6	6
t Stat	-2,551		-0,8792		-3,186		-0,1959	
P(T<=t) two-tail	0,1253		0,4440		0,0243		0,8523	
t Critical two-tail	4,302		3,182		2,570		2,570	

4.9.2 A T9-es tábla talajának nátriumtartalma

A T9-es tábla talajának nátriumtartalomra vonatkozó eredményeit a 35. ábra szemlélteti.



15. ábra: A T9-es tábla talajának nátriumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

Az alacsonyabb magassági kategóriába (97-97,5 m) tartozó területen a földtömeg-elosztást követően a talaj nátriumtartalmának szórása jelentős mértékben csökkent. Az eljárást megelőzően a nátriumtartalom értékei széles tartományban mozogtak (47-256 mg/kg között), míg a földtömeg-elosztás után ezek 50 mg/kg alá estek, ezzel a nátriumeloszlás egyenletesebbé vált. A kétmintás t-próba eredménye alapján azonban a változás statisztikailag nem igazolható ($t \text{ stat} = 1,430$, $p = 0,1957$, $p > 0,05$), bár a nagy mértékű csökkenés gyakorlati szempontból fontos (35. ábra; 50.táblázat).

A közepes magassági kategóriába (97,5-98 m) tartozó területen a földtömeg-elosztás előtt a nátriumtartalom 30-44 mg/kg közötti értékeket mutatott, egy kiugróan magas, 242 mg/kg-os értékkel. A beavatkozás után az adatok szórása csökkent és a nátriumtartalom 46-67 mg/kg közötti tartományba esett. Ez a változás a nátriumtartalom egyenletesebb eloszlását jelzi a közepes magasságú területeken. A t-próba eredménye alapján a változás statisztikailag nem szignifikáns ($t \text{ stat} = 0,1177$, $p = 0,9108$, $p > 0,05$).

A magasabb magassági kategóriában (98-98,5 m) a szórás kismértékű növekedést mutatott a földtömeg-elosztás után, míg a nátriumtartalom szintje a korábbi, 32-40 mg/kg közötti értékekről 46-67 mg/kg közötti tartományba emelkedett. Az adatok varianciája nőtt (10,81-ről 56,81-re). A t-próba eredménye szerint ez a növekedés statisztikailag igazolható ($t \text{ stat} = -9,283$, $p = 0,00008$, $p < 0,05$). Ez jelzi, hogy a szkrépezés következtében a magasabb területeken a nátriumtartalom jelentős mértékben növekedett, amelyet a statisztikai elemzés egyértelműen alátámaszt.

A kétmintás t-próba eredményei szerint (52. táblázat) a T9-es tábla talajának nátriumtartalma a magassági kategóriák függvényében eltérő változásokat mutatott.

52. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának nátriumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

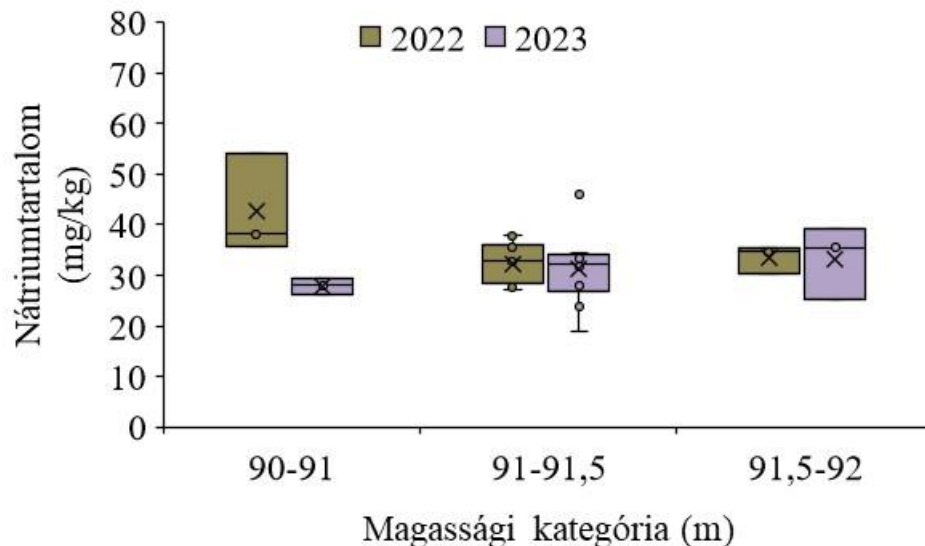
Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	104	68,25	69,67	65,67	35,14	57,85
Variancia	5159,1	105,64	7157,06	41,47	10,81	56,81
Darabszám	8	8	6	6	7	7
t Stat	1,430		0,1177		-9,283	
P(T<=t) two-tail	0,1957		0,9108		0,00008	
t Critical two-tail	2,364		2,570		2,446	

Az alacsonyabb és közepes magasságú területeken a nátriumtartalom igazolhatóan csökkent, azonban csak az alacsonyabb kategóriában figyelhető meg nagyobb mértékű

változás. Ezzel szemben a magasabb magassági kategóriában a nátriumtartalom szignifikáns növekedést mutatott. Az adatok varianciájának csökkenése a legtöbb esetben az eljárás homogenizáló hatását jelzi, amely egyenletesebb eloszlást eredményezett a területen belül.

4.9.3 A T10-es tábla talajának nátriumtartalma

Az alacsonyabb magasságú T10-es tábla talajának nátriumtartalmának szkrépezést megelőző és azt követő eredményeit a 36. ábra mutatja be. Az eredmények alapján összességében elmondható, hogy az adatok szórása az alacsonyabb, 90-91 méteres magasságú területen a legnagyobb.



16. ábra: T10-es tábla talajának nátriumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A 90-91 méteres magassági kategóriába tartozó terület tekintetében megállapítható, hogy a legalacsonyabb nátriumtartalom 36 mg/kg volt, míg a földtömeg-elosztás után ez az érték 26 mg/kg-ra esett vissza. A legmagasabb nátriumtartalom a szkrépezést megelőzően 54 mg/kg-ról 29 mg/kg-ra csökkent. Mindezek alapján megállapítható, hogy a nátriumtartalom a földtömeg-elosztást követően egyenletesebbé vált. A 91-91,5 méteres magasságú terület esetén a szkrépezés előtti és utáni nátriumtartalom esetében nincs jelentős változás, mivel az eljárást megelőzően a talaj nátriumtartalma 27-38 mg/kg, azt követően pedig 24-34 mg/kg között mozgott. A következő magassági kategória tekintetében a nátriumtartalmi adatok szórása a földtömeg-elosztást követően jelentős

mértékben, megközelítőleg hatszorosára növekedett. A talaj átlagos nátriumtartalma a beavatkozás előtt és után lényegében nem változott (33,43-ról 33,23 mg/kg-ra).

A párosított t-próba eredményei szerint (53. táblázat) az alacsonyabb, 90-91 méteres magasságban fekvő terület vonatkozásában az átlagos nátriumtartalom 34,65%-os csökkenést mutat, amely a két magasabb fekvésű terület esetén nem élesedik ki ilyen mértékben (0,06%, illetve 0,59%).

53. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának nátriumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	90-91		91-91,5		91,5-92	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	42,63	27,86	31,14	31,12	33,43	33,23
Variancia	100,3	2,263	16,39	51,85	7,023	51,82
Darabszám	3	3	10	10	3	3
t Stat	2,262		0,392		0,040	
P(T<=t) two-tail	0,1520		0,703		0,9714	
t Critical two-tail	4,302		2,262		4,302	

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az adatok variabilitása a 90-91 méteres magasságú terület kivételével növekedett, ezzel szemben az alacsony területen jelentős mértékben csökkent. Tehát a földtömeg-elosztás alapvető célja, amely a terület homogenitásának növelése, csupán az alacsonyabb fekvésű terület esetében valósult meg.

4.9.4 A nátriumtartalom változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (54. táblázat) alapján megállapítható, hogy a legmagasabb fekvésű T8-as tábla esetében a talaj átlagos nátriumtartalma jelentősen megemelkedett a szkrépezés után (40,03 mg/kg és 51 mg/kg 2020-ban, illetve 2021-ben). A $p > 0,05$ így az eltérés statisztikailag nem tekinthető szignifikánsnak a vizsgálati évek között. Ez tulajdonképpen pozitívumnak tekinthető, hisz táblaszinten nem történt nátriumvesztés, ugyanakkor a talaj nátriumtartalmának eloszlása a tábla egyes részei között egyenletlenebbé vált, ami a növénytáplálási technológiát nehezebbé teszi (szükség van a precíziós tápanyagutánpótlás alkalmazására a táblán belül).

23. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának nátriumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	19	760,7	40,03	477,55		
Szkrépezés után	19	969	51	375,33		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	1141,81	1	1141,81	2,677	0,1104	4,113
Csoporton belül	15352,06	36	426,44			
Összesen	16493,88	37				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (55. táblázat) a talaj átlagos nátriumtartalma a földtömeg-elosztás után 10,09%-os csökkenést mutatott (71,24 mg/kg-ról 64,05 mg/kg-ra). Az egytényezős varianciaanalízis (ANOVA) eredménye szerint azonban ez az eltérés statisztikailag nem igazolható ($p=0,6286$, $p>0,05$). A nátriumtartalom eloszlását tekintve a szórás jelentős mértékű csökkenése figyelhető meg (4484,29-ről 85,65-re), ami egyenletesebb eloszlásra utal. Ez a homogenizáció kedvező lehet a talajminőség szempontjából, de ennek hatása a növénytermesztésre a termesztett növénykultúra igényeitől függően lehet pozitív vagy semleges. A nátriumtartalom eloszlását tekintve pozitívan értékelendő az eredmény, mivel a szkrépezés hatására egyenletesebbé vált a talaj nátriumtartalmának eloszlása.

24. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának nátriumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	21	1496	71,238	4484,29		
Szkrépezés után	21	1345	64,048	85,64762		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	542,881	1	542,881	0,237588	0,629	4,084746
Csoporton belül	91398,76	40	2284,969			
Összesen	91941,64	41				

Az alacsony magassági fekvésű T10-es tábla esetében (56. táblázat) a talaj átlagos nátriumtartalma mintegy 10,04%-kal csökkent a szkrépezést követően. Bár ez a különbség statisztikailag nem szignifikáns ($p = 0,14$). A T10-es tábla talaján végzett földtömeg-elosztás voltaképp nem eredményezett változást a talaj nátriumtartalmában, valamint annak eloszlásában.

25. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának nátriumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

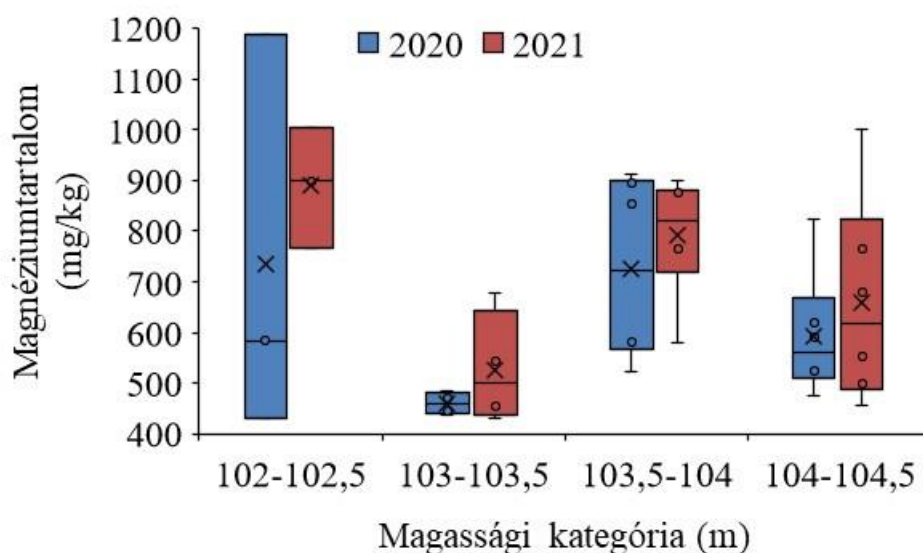
<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>
Szkrépezés előtt	16	549,6	34,35	41,29
Szkrépezés után	16	494,5	30,90	41,28

<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	94,87	1	94,87	2,297	0,1400	4,170
Csoporton belül	1238,70	30	41,29			
Összesen	1333,58	31				

4.10 A szkrépezés hatása a talaj magnéziumtartalmára

4.10.1 A T8-as tábla talajának magnéziumtartalma

A magnéziumtartalomra vonatkozó eredményeket a 37. ábrán mutatom be.



17. ábra: A T8-as tábla talajának magnéziumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A magnéziumtartalom esetében eléggé eltérő eredmények születtek a magassági kategóriákban, így mindegyik kategóriára külön kitértem. A 102-102,5 méteres magassági kategóriánál a szkrépezést megelőzően nagy szórás volt tapasztalható az eredmények tekintetében, mivel a legalacsonyabb érték 420 mg/kg-os magnéziumtartalmat mutatott, míg a legmagasabb érték pedig 1200 mg/kg-os magnéziumtartalomra volt tehető. A földtömeg-elosztást követően csökkent a szórás, valamint a legalacsonyabb értékben növekedés volt tapasztalható, azonban a legmagasabb értékben pedig csökkenés volt tapasztalható. Ennek értelmében az érintett skála a következőképpen módosult: 760 mg/kg magnéziumtartalom és 1000

mg/kg magnéziumtartalom közötti értékeket mértem. A 103-103,5 méteres magassági kategóriánál megfigyelhető, hogy a 2020-as mintavétel során az értékek 420 mg/kg-os legalacsonyabb magnéziumtartalmat mutattak, míg a legmagasabb érték kb. 490 mg/kg-ra volt tehető. Azonban a szképervezést követően növekedést tapasztaltam a szórásban, melynek köszönhetően növekedett a legmagasabban mért magnéziumtartalom (650 mg/kg). A 103,5-104 méteres magassági kategóriánál csökkent szórás volt tapasztalható, melynek következtében a 2020-as legalacsonyabb magnéziumtartalom (570 mg/kg) a 2021-ben végzett mintavételezésre megnövekedett (710 mg/kg), míg a legmagasabb érték (900 mg/kg) csökkent 890 mg/kg magnéziumtartalomra.

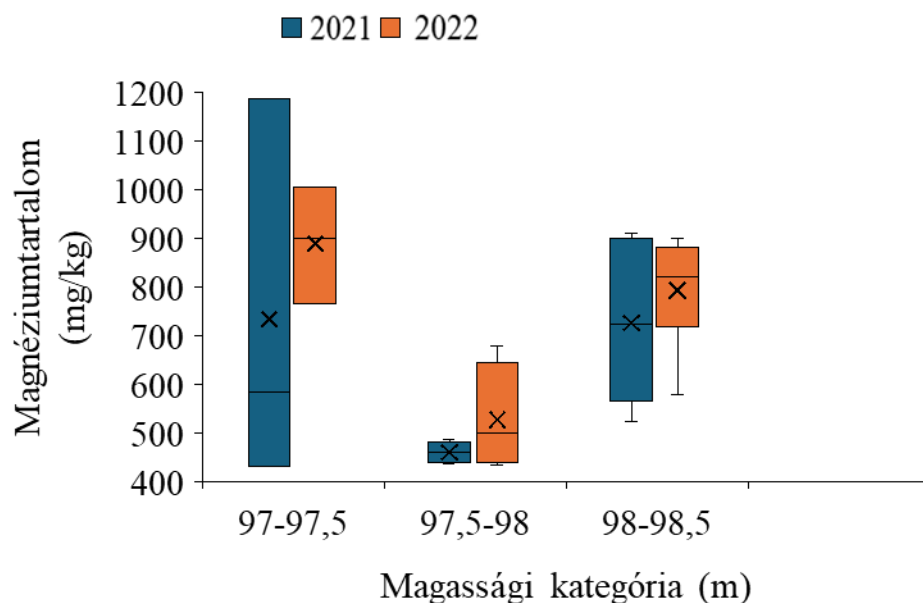
A párosított t-próba eredményei (57. táblázat) alapján megállapítható, hogy talaj átlagos magnéziumtartalma minden magassági kategóriában növekedett, viszont az növekedés nem azonos arányú. A 102-102,5 méteres magasságban fekvő terület esetén a talaj magnéziumtartalmának emelkedése 21,18%, a 103-103,5 méteres magassági kategória talajának esetében 14,69%, addig a 103,5-104 méteres magasságú terület esetén a talaj magnéziumtartalmának emelkedése csupán 9,24%-os, a 104-104,5 méteres magasságban fekvő terület esetén pedig 11,05%-os volt a szképervezést követően.

57. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának magnéziumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	734,17	889,67	459,72	527,25	726,07	793,17	593,12	658,67
Variancia	160196	14465	518,30	12374	31737	14561	15308	41437
Darabszám	3	3	4	4	6	6	6	6
t Stat	-0,6237		-1,169		-0,649		-0,7737	
P(T<=t) two-tail	0,5964		0,3454		0,544		0,4740	
t Critical two-tail	4,302		3,182		2,570		2,570	

4.10.2 A T9-es tábla talajának magnéziumtartalma

A közepes fekvésű T9-es tábla talajának magnéziumtartalom vizsgálatára 2020-ban, valamint a szképervezés után 2021-ben került sor. A mintavételi eredményeket a 38. ábra mutatja be. A T9-es tábla esetében a három magassági kategóriát tekintve jelentősen eltérő eredményeket kaptunk.



18. ábra: A T9-es tábla talajának magnéziumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A 97-97,5 méteres magasságú tábla talajának magnéziumtartalma a földtömeg-elosztást megelőzően jelentős szórást mutatott, a talajon mért magnéziumtartalmi értékek 432-1188 mg/kg között mozogtak, a szkrépezés után pedig 765-1005 mg/kg közötti értékeket vettek fel. A 97,5-98 méteres magassági kategóriában lévő talajok tekintetében megállapítható, hogy a földtömeg-elosztás előtt sokkal alacsonyabb volt a magnéziumtartalmi adatok szórása, mint a szkrépezést követően. A legalacsonyabb értékek (432, illetve 436 mg/kg) közel egyformának mondhatók, míg a legmagasabb magnéziumtartalmi érték a szkrépezést követően jelentősen megemelkedett (486 mg/kg-ról 678 mg/kg-ra növekedett). A 98-98,5 méteres magassági fekvésű területen az adatok szórása az alacsony kategóriához (97-97,5 m) hasonlóan csökkent, ugyanakkor a legalacsonyabb magnéziumtartalmi érték 523 mg/kg-ról 578 mg/kg-ra nőtt.

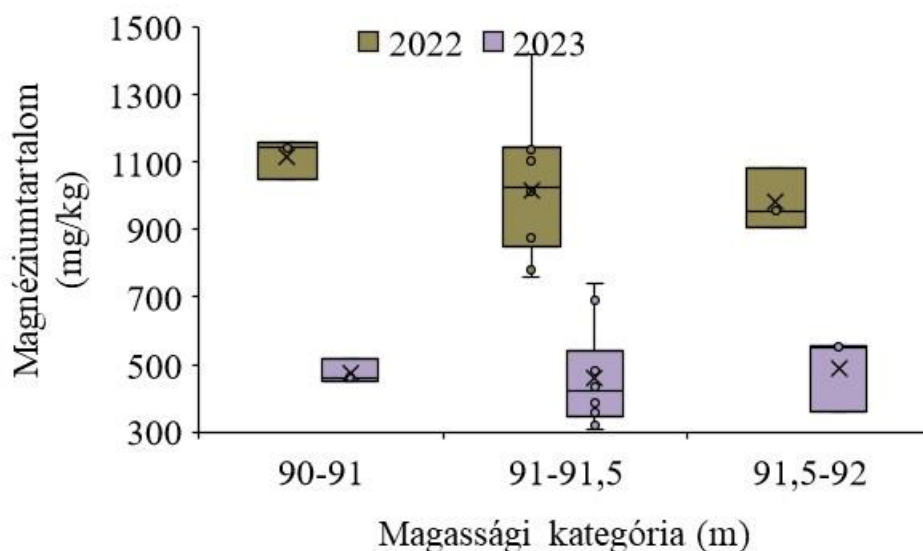
A kétmintás t-próba eredményei szerint (58. táblázat) mindhárom magassági kategória vonatkozásában emelkedés volt tapasztalható a földtömeg-elosztás után az átlagos magnéziumtartalomban, amely alapján véve a növénytermesztés szempontjából pozitív változást jelent.

26. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának magnéziumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	97-97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	734,17	889,67	459,7	527,2	726,1	793,2
Variancia	160196	14465	508,3	12374	31737	14561
Darabszám	3	3	4	4	6	6
t Stat	-0,6237		-1,117		-0,6498	
P(T<=t) two-tail	0,5964		0,3454		0,5444	
t Critical two-tail	4,302		3,182		2,570	

4.10.3 A T10-es tábla talajának magnéziumtartalma

Az alacsonyabb fekvésű T10-es tábla talajának magnéziumtartalmának földtömeg-elosztás előtti és utáni eredményeit a 39. ábra mutatja be.



19. ábra: A T10-es tábla talajának magnéziumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után

A 90-91 méteres magassági kategóriába tartozó terület vonatkozásában az eredmények azt mutatják, hogy a szkrépezés hatására a talaj magnéziumtartalma jelentős mértékben csökkent, a szkrépezés előtt a magnéziumtartalom 1049-1158 mg/kg között mozgott, addig a földtömeg-elosztás után 451-518 mg/kg-ra esett vissza. A magnéziumtartalom csökkenése mellett az adatok szórása is jelentős csökkenést mutat (62,49%). A 91-91,5 méteres magasságban fekvő területen is csökkenés mutatkozott mind a talaj magnéziumtartalmában, mind az adatok szórásában. A szkrépezést megelőzően a talaj magnéziumtartalma 761-1150 mg/kg között, míg a beavatkozást követően 309-741

mg/kg közötti értékeket vett fel. A 91,5-92 méteres magassági kategóriába tartozó talaj esetében az adatok szórása a földtömeg-elosztás után nagymértékben emelkedett (49,75%). A talaj magnéziumtartalma a földtömeg-elosztás előtt 905-1080 mg/kg között mozgott, míg a szkrépezés után 362-554 mg/kg közötti értékeket vett fel.

A párosított kétmintás t-próba eredményei (59. táblázat) alapján megállapítható, hogy az átlagos magnéziumtartalom mindhárom magassági kategóriában csökkent a földtömeg-elosztást követően (57,35%; 54,56%; 50,16%), viszont az adatok variabilitása a két alacsonyabban fekvő területen csökkenést mutat (62,47% és 45,27%), addig a magasabban fekvő terület esetében növekedést (49,75%) tapasztaltunk.

27. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának magnéziumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	90-91		91-91,5		91,5-92	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	1117	476,4	1017	462,1	980,4	488,57
Variancia	3517	1320	39734	21746	8075	12092
Darabszám	3	3	10	10	3	3
t Stat	21,31		5,923		4,310	
P(T<=t) two-tail	0,0022		0,0002		0,0498	
t Critical two-tail	4,302		2,262		4,302	

4.10.4 A magnéziumtartalom változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (60. táblázat) szerint a magasabb fekvésű T8-as tábla vonatkozásában a talaj átlagos magnéziumtartalma kis mértékben növekedett a földtömeg-elosztás után (11,956 mg/kg-ról 13,489 mg/kg-ra). A magnéziumtartalom emelkedése a növénytermesztés szempontjából pozitívumnak tekinthető, valamint a talaj magnéziumtartalmának eloszlása a tábla egyes részei között egyenletesebbé vált, ami a tápanyagutánpótlási technológiát megkönnyíti.

60. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának magnéziumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
Szkrépezés előtt	19	11956,5	629,3	42733		
Szkrépezés után	19	13489	709,9	35211		
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	61804,11	1	61804,11	1,586	0,2160	4,113
Csoporton belül	1402994	36	38972,05			
Összesen	1464798	37				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (61. táblázat) a talaj átlagos magnéziumtartalma mintegy 13,56%-os emelkedést mutat a földtömeg-elosztást követően. Ez az eltérés statisztikailag nem tekinthető szignifikánsnak ($p > 0,05$), ennek ellenére figyelmet kell fordítani a növénytermesztés szempontjából a magnéziumtartalom emelkedésére, mivel a termesztett növénykultúra igényeitől függően pozitív hatással lehet. A magnéziumtartalom eloszlását tekintve mindenképpen pozitív eredményt tapasztaltunk, mivel a szkrépezés hatására kis mértékben egyenletesebbé vált a talaj magnéziumtartalmának eloszlása.

61. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának magnéziumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	13	8397,8	645,9	56765		
Szkrépezés után	13	9537	733,6	33628		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	49914	1	49914	1,104	0,3037	4,259
Csoporton belül	1084726	24	45196			
Összesen	1134640	25				

Az alacsonyabb magasságban fekvő T10-es tábla esetében (62. táblázat) a talaj átlagos magnéziumtartalma mintegy 54,34%-kal csökkent a földtömeg-elosztás után. Ez az eltérés statisztikailag szignifikánsnak ($p < 0,05$) tekinthető. A T10-es tábla talaján végzett földtömeg-elosztás negatív irányú változást eredményezett a talaj magnéziumtartalmában, ezzel szemben pozitív eltérés mutatkozott annak eloszlásában.

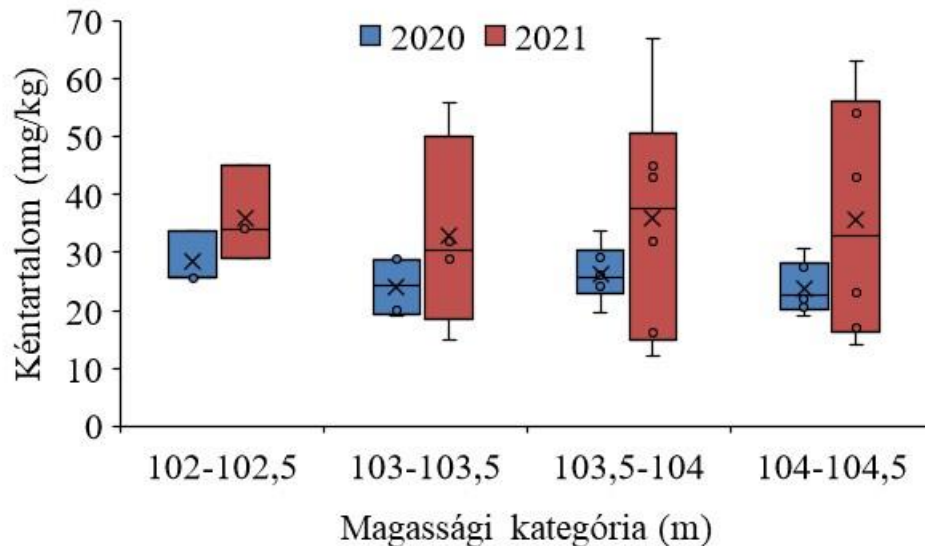
62 táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának magnéziumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	16	16462,9	1028,93	27502,64		
Szkrépezés után	16	7516,5	469,781	14954,98		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	2501190	1	2501190	117,8205	6,55E-12	4,170877
Csoporton belül	636864,3	30	21228,81			
Összesen	3138054	31				

4.11 A szkrépezés hatása a talaj kéntartalmára

4.11.1 A T8-as tábla talajának kéntartalma

A T8-as tábla talajának kéntartalom vizsgálatára először 2020-ban, majd a földtömeg-elosztás után 2021-ben került sor. A mintavételezés során realizálódott eredményeket a 40. ábra szemlélteti.



40. ábra: T8-as tábla talajának kéntartalma (SO_4^{2-}) a földtömeg-elosztás előtt és után

A T8-as tábla talajának kéntartalma a földtömeg-elosztást megelőzően 26-34 mg/kg volt, amely a szkrépezés után 29-45 mg/kg között mozgott. Mindez azt jelenti, hogy a szkrépezés hatására a 102,102,5 méteres magassági kategóriába tartozó terület kéntartalma, valamint annak szórása egyaránt növekedett. A 103-103,5 méteres magasságú területen a kéntartalom 19-29 mg/kg között mozgott, amely a szkrépezést követően nagyobb tartományban szóródott (15-56 mg/kg). Az adatok szórása jelentős mértékű (27,07%) növekedést mutat. A 103,5-104 méteres magassági kategóriába tartozó terület vonatkozásában megállapítható, hogy a szkrépezés előtt a talaj kéntartalma 20-34 mg/kg közötti értékeket vett fel, amely a földtömeg-elosztás után 12-67 mg/kg közötti tartományban mozgott. Ebből kifolyólag a kéntartalom eloszlása a szkrépezést követően jelentősen megemelkedett. A legmagasabb fekvésű talaj tekintetében elmondható, hogy az előző három magassági kategóriához hasonlóan a kéntartalmi adatok szórása jelentős növekedést mutat, amely a 104-104,5 méteres magassági kategóriába tartozó terület esetén mintegy 21x-ese.

A párosított t-próba eredményei (63. táblázat) azt mutatják, hogy a talaj kéntartalma a szkrépezést követően mind a négy magassági kategória esetében emelkedett, amely a

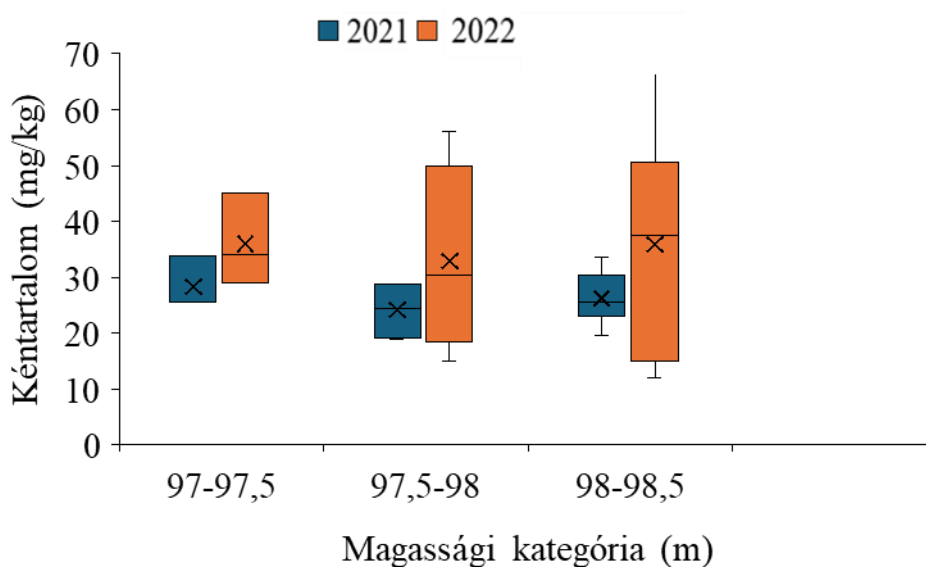
kéntartalom talajban való eloszlására egyaránt érvényes, mivel a kéntartalom eloszlása mind a négy magassági kategória talaja vonatkozásában emelkedést mutatott.

63. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának kéntartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	102-102,5		103-103,5		103,5-104		104-104,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	28,33	36	24,12	32,95	26,27	35,83	23,8	35,66
Variancia	22,41	67	29,34	290,54	22,89	416,56	19,84	423,06
Darabszám	3	3	4	4	6	6	6	6
t Stat	-1,095		-0,8172		-1,267		-1,478	
P(T<=t) two-tail	0,3874		0,4736		0,2607		0,1992	
t Critical two-tail	4,302		3,182		2,570		2,570	

4.11.2 A T9-es tábla talajának kéntartalma

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla talajának kéntartalmát 2020-ban és a földtömeg-elosztás után 2021-ben mértük, melynek eredményeit a 41. ábrán foglaltam össze. A T9-es tábla talajának kéntartalmát három magassági kategória szerint vizsgáltuk (97-97,5; 97,5-98, és 98-98,5 m).



41. ábra: A T9-es tábla talajának kéntartalma (SO_4^{2-}) a földtömeg-elosztás előtt és után

A 97-97,5 méteres magassági kategóriába tartozó terület vonatkozásában megállapítható, hogy a földtömeg-elosztás előtt 26-34 mg/kg volt a kéntartalom, míg a szkrépezés után

29-45 mg/kg-ra változott. Vagyis a szkrépezést követően az adatok szórása némileg növekedett (198,9%), amely a növénytermesztés szempontjából egy kevésbé egyenletes kén-eloszlású talajt eredményezett. A 97,5-98 méteres magassági fekvésű területen a kén-tartalom változása nagyobb mértékű a szkrépezést követően, mivel az eredeti kén-tartalom 19-29 mg/kg volt, míg a beavatkozást követően 15-56 mg/kg közötti tartományban mozgott a talaj kén-tartalma. Az adatok szórása ennek megfelelően mintegy nyolcszorosára emelkedett. A 98,-98,5 méteres magassági kategória talajának kén-tartalma az előző két kategória talajához hasonlóan a szkrépezést megelőzően alacsonyabb szórással rendelkezett, az adatok szórása 22,89%-ról 416,56%-ra növekedett.

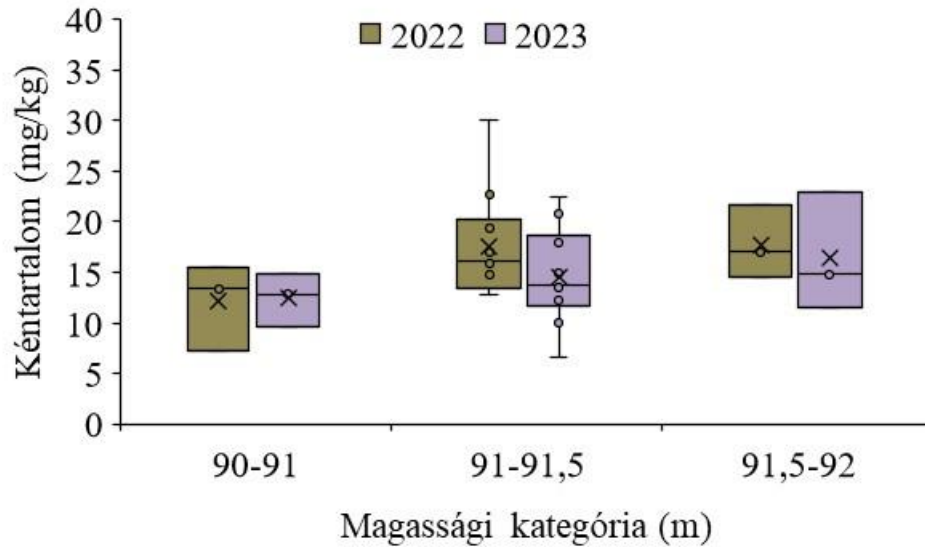
A párosított t-próba eredményei (64. táblázat) szerint a T9-es tábla talajának kén-tartalma a szkrépezést megelőzően mindhárom magassági kategória vonatkozásában alacsonyabb volt, mint a földtömeg-elosztást követően (27,07%; 36,60%; 36,39%). Ez mindenképpen pozitív eredménynek mondható a növénytermesztés szempontjából, viszont az adatok varianciája mindhárom magassági kategória esetén jelentős növekedést mutat (198,97%; 890,25%; ~18x-os).

28. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának kén-tartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	97.97,5		97,5-98		98-98,5	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Átlag	28,33	36	24,12	32,95	26,27	35,83
Variancia	22,41	67	29,34	290,54	22,89	416,56
Darabszám	3	3	4	4	6	6
t Stat	-1,095		-0,8172		-1,267	
P(T<=t) two-tail	0,3874		0,4736		0,2607	
t Critical two-tail	4,302		3,182		2,570	

4.11.3 A T10-es tábla talajának kén-tartalma

A T10-es tábla talajának kén-tartalom vizsgálatára 2022-ben, majd a földtömeg-elosztás után 2023-ban került sor. A vizsgálati eredményeket a 42. ábrán szemléltetem.



42. ábra: A T10-s tábla talajának kéntartalma (SO_4^{2-}) a földtömeg-elosztás előtt és után

A 90-91 méteres magassági fekvésű talaj esetén a kéntartalom a földtömeg-elosztás előtt 7-16 mg/kg között változott, míg a szkrépezés után 10-15 mg/kg közötti értékeket vett fel a talaj kéntartalma. Mindez pozitívnak tekinthető a növénytermesztés tekintetében, hiszen a talaj kéntartalma némileg egyenletesebbé vált a beavatkozás előtt. A 91,5-92 méteres magassági kategória talajának kéntartalma 13-30 mg/kg közötti tartományban mozgott a földtömeg-elosztás előtt, majd a beavatkozást követően 7-22 mg/kg között mozgott a kéntartalom, amely révén megállapítható, hogy a átlagos kéntartalom 17,22%-os csökkenést mutat. A 91,5-92 méteres magassági kategóriába tartozó terület vonatkozásában megállapítható, hogy míg a szkrépezést megelőzően 17-22 mg/kg közötti tartományban mozgott a talaj kéntartalma, viszont a földtömeg-elosztás után 12-23 mg/kg közötti értékeket vett fel. Ez a változás nem jelentős, viszont szakmai szempontból figyelemre méltó, mivel az adatok szórása némileg növekedett.

A párosított t-próba eredményei szerint (65. táblázat) a 90-91 méteres magassági kategória esetén a legalacsonyabb az átlagos kéntartalom-csökkenés. Az adatok szórása a szkrépezést követően a két alacsonyabb magassági kategória esetén csökkenést mutat, míg a 91,5-92 méteres magasságú terület vonatkozásában növekedést tapasztaltunk.

29. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának kén-tartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként

Magassági kategória (m)	90-91		91-91,5		91,5-92	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Átlag	12,06	12,4	17,53	14,51	17,73	16,4
Variancia	18,14	6,88	28,59	22,99	13,36	34,41
Darabszám	3	3	10	10	3	3
t Stat	-03388		2,022		0,2825	
P(T<=t) two-tail	0,767		0,073		0,8040	
t Critical two-tail	4,302		2,262		4,302	

4.11.4 A kén-tartalom változásának értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (66. táblázat) alapján megállapítható, hogy a magasabb fekvésű T8-as tábla esetén a talaj átlagos kén-tartalma jelentős arányú növekedést (38,09%) mutat a földtömeg-elosztás után (25,36 mg/kg-ról 35,2 mg/kg-ra). A $p < 0,05$ ennek megfelelően a szkrépezés után tapasztalt eltérés statisztikailag szignifikánsnak tekinthető a vizsgálati évek között. A kén-tartalom emelkedése a növénytermesztés szempontjából pozitív változásnak tekinthető. Az F-érték (5,879) magasabb, mint a kritikus F-érték, ezért megállapítható, hogy a csoportok közötti variabilitás magasabb, mint a csoporton belüli. A T8-as tábla talajának kén-tartalmának eloszlása a tábla egyes részei között drasztikusan emelkedett (mintegy tizenkétszeresére), ami a tápanyagutánpótlási technológiát jelentősen megnehezíti.

30. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának kén-tartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
Szkrépezés előtt	19	481,9	25,36	22,14
Szkrépezés után	19	668,8	35,2	290,53

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	919,25	1	919,25	5,879702	0,0204	4,11
Csoporton belül	5628,3	36	156,34			
Összesen	6547,6	37				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (67. táblázat) a talaj átlagos kén-tartalma mintegy 34,12%-kal emelkedett a földtömeg-elosztást követően. Ez az eltérés statisztikailag nem tekinthető szignifikánsnak ($p > 0,05$), ennek ellenére figyelmet kell fordítani a növénytermesztés szempontjából a kén-tartalom emelkedésére, mivel a

termesztett növénykultúra igényeitől függően pozitívan befolyásolhatja a termesztés eredményességét. A kéntartalom eloszlását tekintve negatív eredményt tapasztaltunk, mivel a szkrépezés hatására jelentősen növekedett a talaj kéntartalmának eloszlása.

67 táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának kéntartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	13	339,1	26,085	23,17141		
Szkrépezés után	13	454,8	34,985	259,3697		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	514,865	1	514,865	3,644531	0,068281	4,259677
Csoporton belül	3390,494	24	141,2706			
Összesen	3905,359	25				

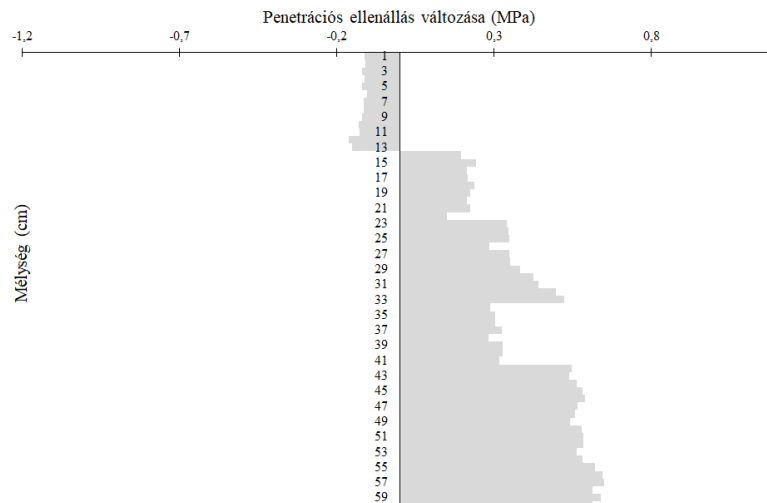
Az alacsonyabb magasságban fekvő T10-es tábla esetében (68. táblázat) a talaj átlagos kéntartalma mintegy 12,51%-os visszaesés volt tapasztalható a földtömeg-elosztás után. Ez az eltérés statisztikailag nem tekinthető szignifikánsnak ($p > 0,05$). Bár a T10-es tábla talaján végzett földtömeg-elosztás negatív irányú változást eredményezett a talaj kéntartalmában, ezzel szemben pozitív eltérés mutatkozott annak némileg csökkenő eloszlásában (20,73%).

31. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának kéntartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	16	264,7	16,544	26,29596		
Szkrépezés után	16	231,5	14,469	20,84762		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	34,445	1	34,445	1,461281	0,236168	4,170877
Csoporton belül	707,1538	30	23,57179			
Összesen	741,5988	31				

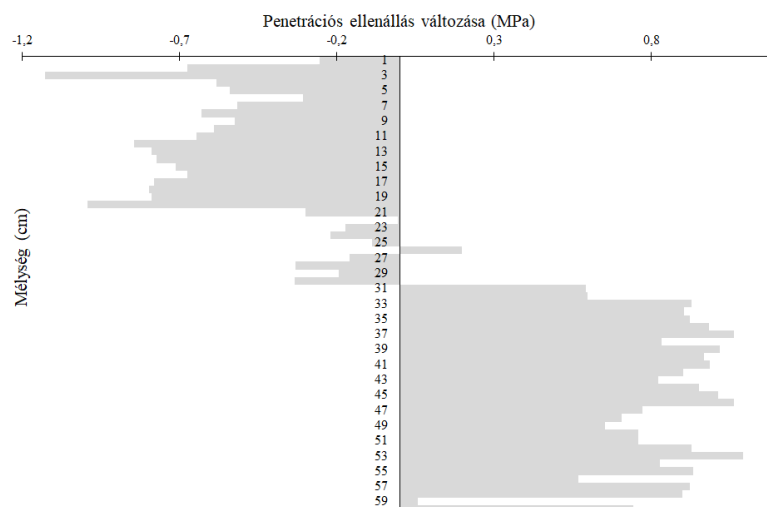
4.12 A szkrépezés hatása a talaj penetrációs ellenállására

A legelső szkrépezési beavatkozáson átesett T8-as táblát kiválasztva, esettanulmány jelleggel megvizsgáltam annak a felső 60 cm-es rétegében mért penetrációs ellenállás értékeit a szkrépezés előtt és egy évvel később. A változás mértékét a 43-46. ábrákon szemléltetem.

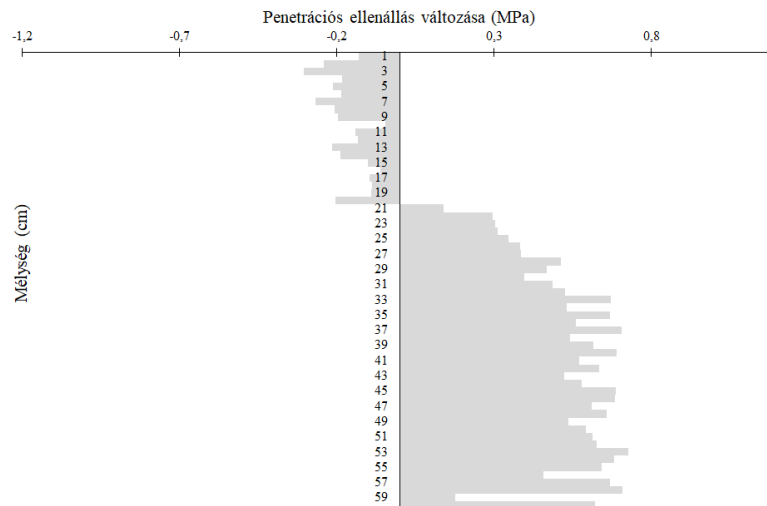


43. ábra: A penetrációs ellenállás átlagos változása a T8-as tábla 102-102,5 m-es magassági kategóriájának 6 pontján a szkrépezés előtt (2020) és után (2021) mérve

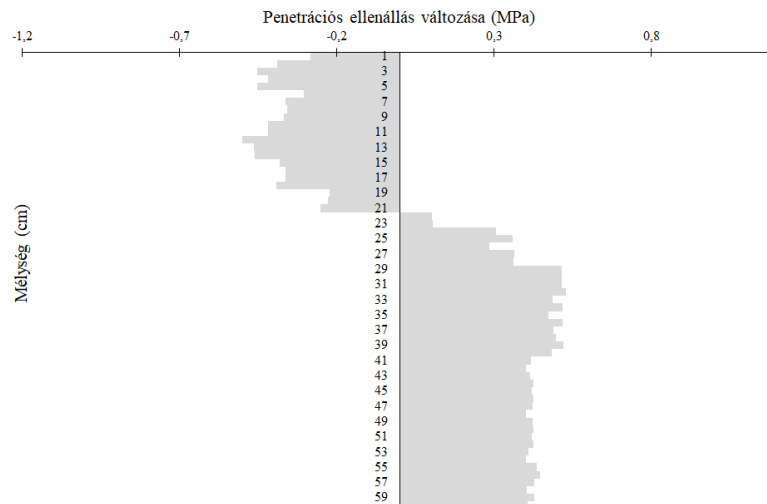
A szkrépezés a talaj penetrációs ellenállására gyakorolt hatásának elemzése során azt tapasztaltam, hogy mind a négy kategória esetében a felső talajrétegben (0-13 cm; 0-30 cm; 0-20 cm; 0-21 cm) csökkent a penetrációs ellenállás, míg a mélyebb rétegben növekedett.



20. ábra: A penetrációs ellenállás átlagos változása a T8-as tábla 103-103,5 m-es magassági kategóriájának 6 pontján a szkrépezés előtt (2020) és után (2021) mérve



21. ábra: A penetrációs ellenállás átlagos változása a T8-as tábla 103,5-104 m-es magassági kategóriájának 6 pontján a szkrépezés előtt (2020) és után (2021) mérve



22. ábra: A penetrációs ellenállás átlagos változása a T8-as tábla 104-104,5 m-es magassági kategóriájának 6 pontján a szkrépezés előtt (2020) és után (2021) mérve

A magassági kategóriánként végzett vizsgálat során megállapítottam, hogy a táblán átlagosan 22 cm mélységben van az a kritikus pont, ahol a szkrépezés okozta penetrációs ellenállás változás értéke nulla, átlagosan ebben a mélységben fordul meg a beavatkozás hatásának iránya. A feltalajban mért talajellenállás értékek azt mutatják, hogy a szkrépezés pozitív, lazító hatással volt erre a rétegre, a beavatkozás után mért értékek átlaga 0,26 MPa-al, statisztikailag igazolható mértékben (69. táblázat), alacsonyabb, mint a szkrépezés előtt, az $LSD_{5\%} = 0,11$ MPa.

32. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának penetrációs ellenállás értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után a feltalajt vizsgálva

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	323	958,87	2,97	1,403		
Szkrépezés után	323	873,80	2,71	1,434		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	11,20	1	11,203	7,899	0,005	3,856
Csoporton belül	913,33	644	1,418			
Összesen	924,53	645				

A teljes 60 cm mély vizsgált réteget tekintve megállapítható, hogy a tábla átlagában a szkrépezés után tömödöttebb volt talaj, az átlagos penetrációs ellenállás nagyobb szórás értékek (mellett mintegy 0,28 MPa-al növekedett, ami szignifikáns mértékű különbséget jelent, $LSD_{5\%} = 0,07$ MPa (70. táblázat).

70. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának penetrációs ellenállás értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után 60 cm mélységig vizsgálva

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>		
Szkrépezés előtt	1045	3974,37	3,80	1,382		
Szkrépezés után	1045	4262,66	4,08	2,101		
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>
Csoportok között	39,76	1	39,76	22,84	1,8872E-06	3,85
Csoporton belül	3635,76	2088	1,74			
Összesen	3675,52	2089				

A T8-as tábla penetrációs ellenállás értékeit vizsgálva arra a következtetésre jutottam, hogy a szkrépezés kis mértékben tömörítette ugyan a mélyebben fekvő talajrétegeket, de ez az ellenállás növekedés (táblaszinten átlagosan 0,28 MPa) nem olyan nagy mértékű, amit a gazdaságban rendszeresen használt 28-30 mélységben művelő szántóföldi kultivátorral ne lehetne megszüntetni. A talaj felső 22 cm-es rétege pedig kedvezően lazultak bizonyult a földtömeg mozgatás után.

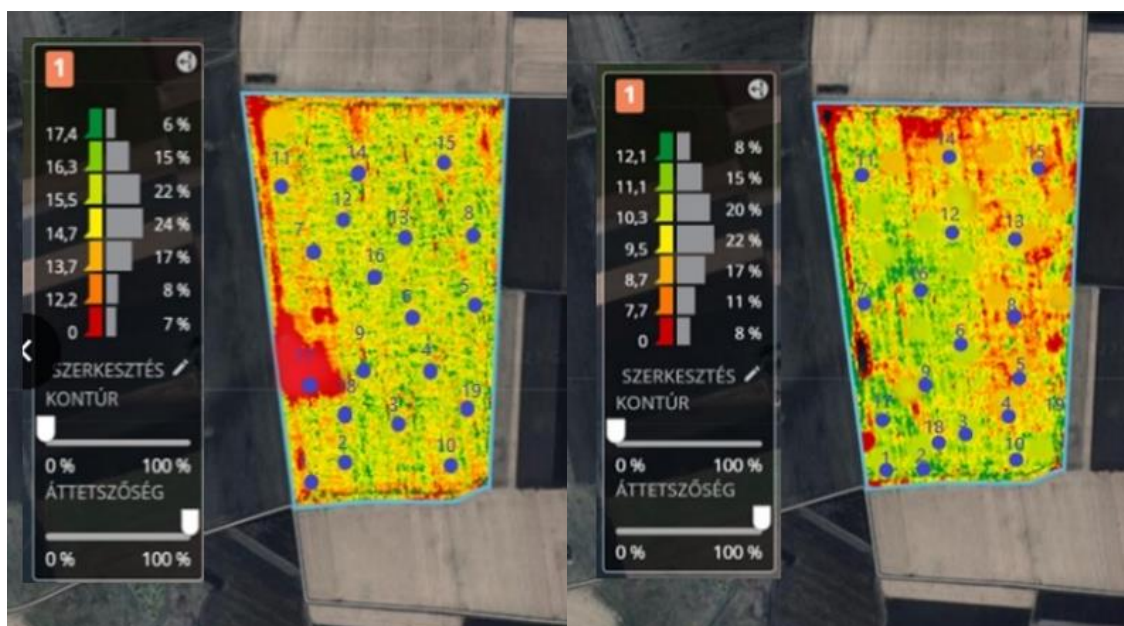
4.13 A szkrépezés hatása a hozamokra

Két egymás követő évben ugyanazon a területen elért terméshozamot a tábla talajtani és domborzati adottságain kívül az évjárat hatás és a gazdálkodás intenzitása is nagy mértékben befolyásolja. Ezen kívül a vetésváltás miatt nem valószínű, hogy ugyanazon a táblán két egymás követő évben ugyanazt a növényt termesztik, így a hozamok

összehasonlítása nehéz, a hozamokban mutatkozó különbségek nem szükségszerűen a felszínalakításnak, földtömegmozgatásnak tudhatók be. Ennek elkerülése érdekében minden év terméseredményét önmagában értékelem a magassági kategóriák szerint és a szkréperezés termésre gyakorolt hatását a terméshozam homogenitásának növekedésével jellemzem. Azokban az esetekben, amikor a szkréperezés előtti és utáni évben ugyanazt a növényt termesztették az adott táblán, bemutatom és elemzem a hozamok változását is.

4.13.1 A T8-as táblán mért hozamok alakulása

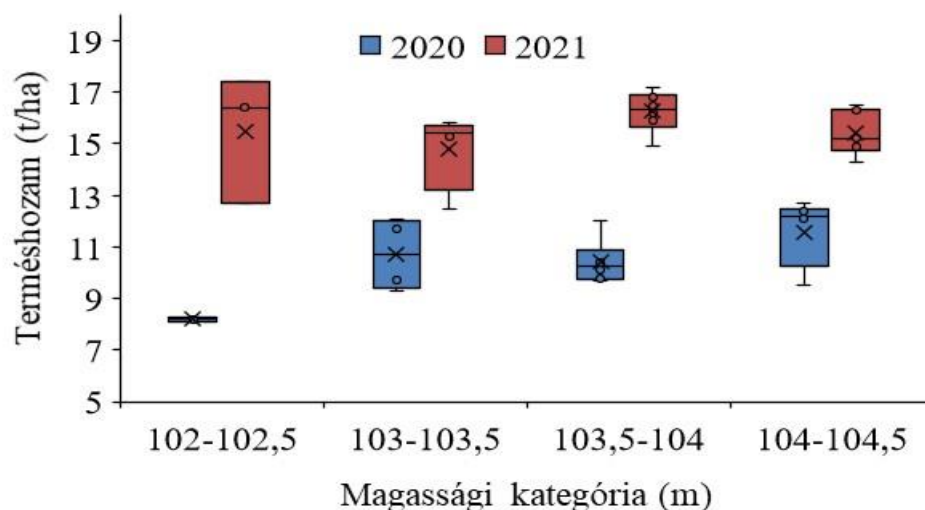
A 47. ábrán a T8-as tábla 2020. és 2021. évekre készített hozamtérképét mutatom be.



23. ábra: A T8-as tábla hozamtérképei, 2020-2021

A térképen is jól látszik, hogy a szkréperezés előtti állapotban, amikor a tábla felszíne magassági szempontból egyenetlenebb volt, a termés nagysága is hasonlóan egyenetlen képet mutatott. 2020-ban a szkréperezés előtt a T8 tábla mezodomborzata nagy heterogenitást mutatott, a tengerszint feletti magasságban jelentkező legnagyobb különbség 2,4 m volt, a tábla átlagos magasságánál 1,5 méterrel mélyebb és 0,9 méterrel magasabb területek is előfordultak. Az egyes mintavételi pontokra meghatározott konkrét hozamokat az előzőekben ismertetett paraméterekhez hasonlóan elemeztem.

A szkréperezés a T8-as táblán 2020-ban, illetve 2021-ben termesztett kukorica hozamára gyakorolt hatását a 48. ábra szemlélteti.



24. ábra: A T8-as táblán termesztett kukorica hozama a földtömeg-elosztás előtt és után

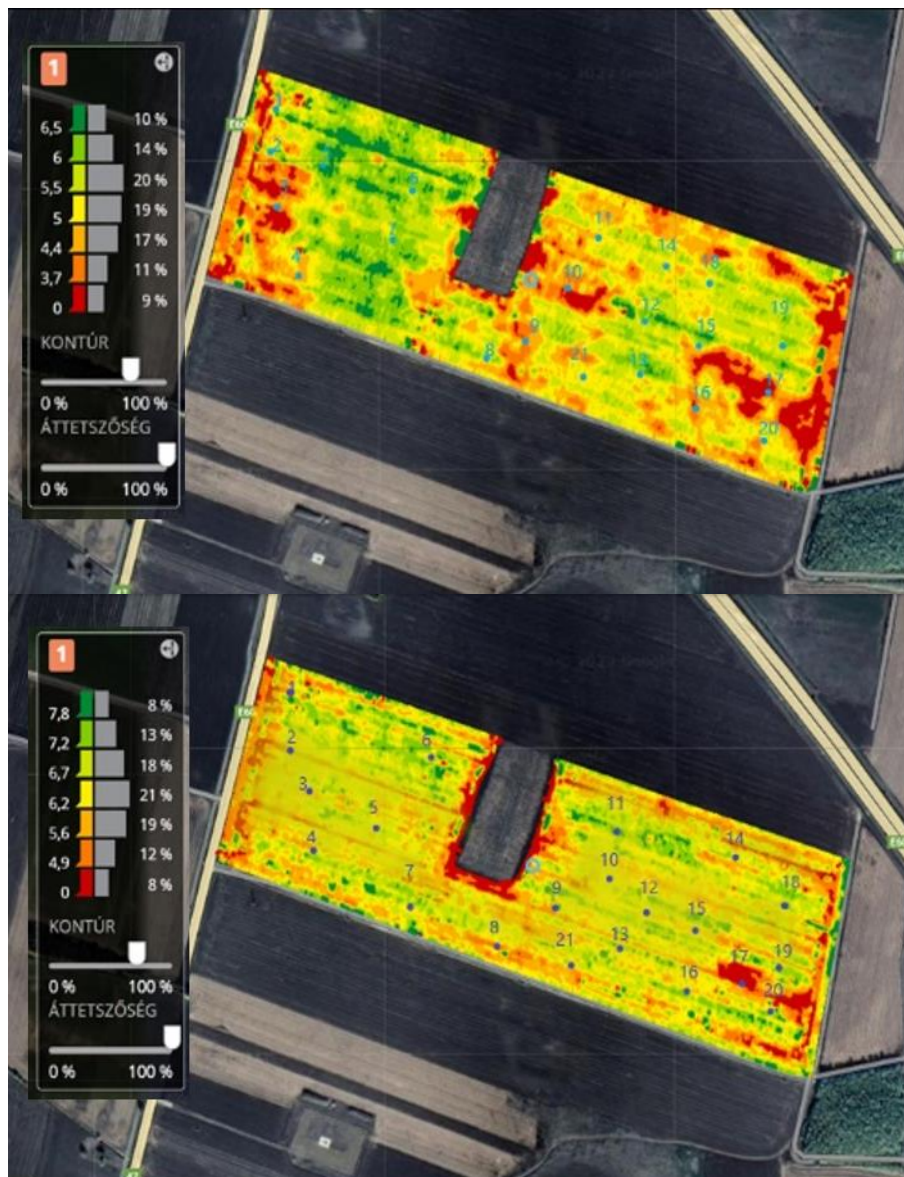
2020-ban, a szkrépezés előtt, a mély fekvésű területen (102-102,5 m magassági kategória) alacsony, a többi kategóriától jelentős mértékben eltérő a termés alakulása. A szkrépezés után, 2021-ben, a magassági kategóriák hozamában nem tudtam jelentős különbséget kimutatni, az egész táblára vonatkoztatott terméshozam homogénnek tekinthető. A legmélyebb fekvésű területen növekedett legnagyobb mértékben a termés, így az kismértékben meghaladta a tábla átlagát. Az elvégzett egytényezős varianciaanalízis és LSD teszt is igazolja a hatást, míg 2020-ban statisztikailag szignifikáns a különbség a legmélyebb fekvésű és a többi terület között (p -érték 0,005; $LSD_{5\%}$ 0,63 t/ha), ez a különbség a domborzat kiegyenlítődése miatt 2021-ben már nem mutatkozott (71. táblázat).

71. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a T8-tábla terméshozamaira földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	2020					2021						
	<i>N</i>	Σ	Átlag	Variancia		<i>N</i>	Σ	Átlag	Variancia			
102-102,5	3	24,6	8,20	0,01		3	46,5	15,50	6,13			
103-103,5	4	42,8	10,70	1,97		4	59,1	14,78	2,34			
103,5-104	6	62,5	10,42	0,70		6	97,5	16,25	0,64			
104-104,5	6	69,5	11,58	1,64		6	92,4	15,40	0,71			
Tényezők	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i> <i>krit.</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i> <i>krit.</i>
Csoportok között	23,11	3	7,70	6,55	0,00	3,29	5,48	3	1,83	1,05	0,4	3,29
Csoporton belül	17,66	15	1,18				26,06	15	1,74			
Összesen	40,77	18					31,55	18				

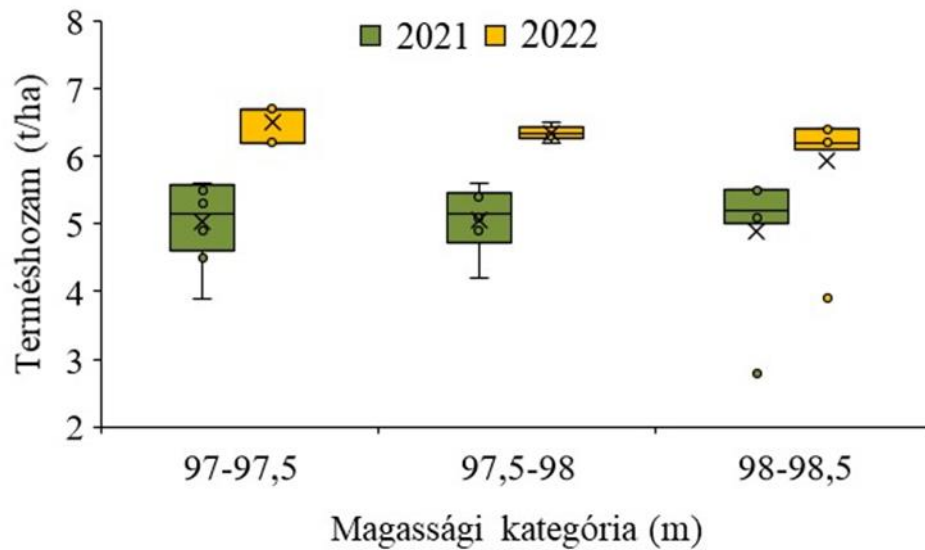
4.13.2 A T9-es táblán mért hozamok alakulása

A 49. ábrán a T9-es tábla 2020. és 2021. évekre készített hozamtérképét mutatom be. A térképen is jól látszik, hogy a szkrépezés előtti állapotban, amikor a tábla felszíne magassági szempontból egyenetlenebb volt, a termés nagysága is hasonlóan egyenetlen képet mutatott. 2020-ban a szkrépezés előtt a T9-es tábla mezodomborzata nagyobb heterogenitást mutatott, a tengerszint feletti magasságban jelentkező legnagyobb különbség 4,6 m volt, a tábla átlagos magassága 10,49 méter volt. Az egyes mintavételi pontokra meghatározott konkrét hozamokat az előzőekben ismertetett paraméterekhez hasonlóan elemeztem.



25. ábra: A T9-es tábla hozamtérképei, 2020-2021

A szkrépezés a T9-es táblán 2020-ban, illetve 2021-ben termesztett kukorica hozamára gyakorolt hatását az 50. ábra szemlélteti.



50. ábra: A T9-es táblán termesztett kukorica hozama a földtömeg-elosztás előtt és után

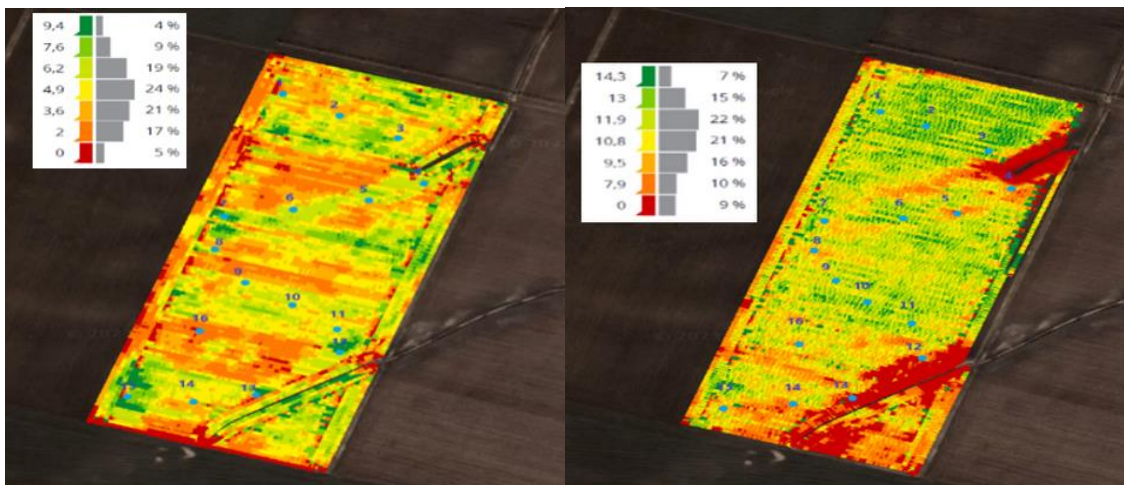
A szkrépezés előtt a mélyebb fekvésű területen (97-97,5 m magassági kategória) a többi kategóriával hasonló volt a termés alakulása. A szkrépezés után, 2021-ben, a magassági kategóriák hozamában nem tudtam jelentős eltérést kimutatni, viszont az egész táblára vonatkoztatott terméshozamban kismértékű heterogenitás volt tapasztalható. A legmélyebb fekvésű területen növekedett legnagyobb mértékben a termés, így az alig meghaladta a tábla átlagát (5,04 t/ha). Az elvégzett egytényezős varianciaanalízis és LSD teszt is igazolja a hatást, míg 2020-ban statisztikailag szignifikáns a különbség a legmélyebb fekvésű és a többi terület között (p-érték 0,059; LSD_{5%} 0,63 t/ha), ez a különbség a domborzat kiegyenlítődése miatt 2021-ben már nem mutatkozott (72. táblázat).

33. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a T9-tábla terméshozamaira földtömeg-elosztás előtt és után

2020					2021							
Csoport	N	Σ	Átlag	Variancia	N	Σ	Átlag	Variancia				
97-97,5	8	40,3	5,04	0,36	8	52,1	6,51	0,07				
97,5-98	6	30,4	5,07	0,24	6	38,1	6,35	0,01				
98-98,5	7	34,3	4,90	0,89	7	41,5	5,93	0,81				
<i>Tényezők</i>												
	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	3,70	1	3,703	4,34	0,059	4,7	16,97	1	16,97	42,69	8,408	4
Csoporton belül	10,23	12	0,853				15,90	40	0,397			
Összesen	13,93	13										

4.13.3 A T10-es táblán mért hozamok alakulása

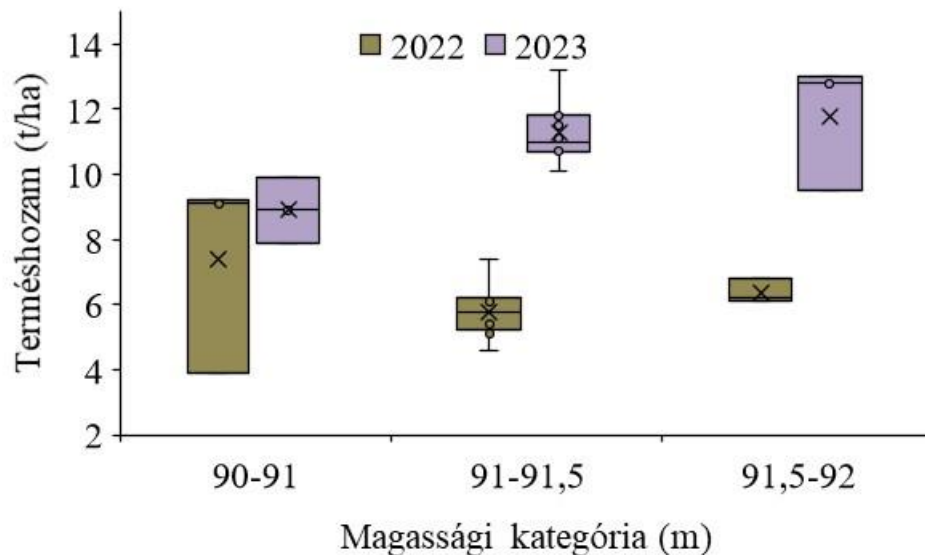
Az 51. ábrán a T10-es tábla 2022. és 2023. évekre készített hozamtérképei kerülnek bemutatásra.



51. ábra: A T10-es tábla hozamtérképei, 2022-2023

A térkép is jól tükrözi, hogy a földtömeg-elosztás előtti állapotban, amikor a tábla felszíne magassági szempontból némileg egyenetlenebb volt, a termés nagysága a felszínnel ellentétben egyenletesebb képet mutatott. 2022-ben a szkréperézést megelőzően, valamint a földtömeg-elosztást követően 2023-ban is a T10-es tábla mezodomborzata nagy heterogenitást mutatott, a tengerszint feletti magasságban jelentkező legnagyobb különbség mindkét évben 5,30 m volt, viszont a tábla átlagos magassága 2022-ben 6,20

méter, míg 2023-ban 10,92 méter volt. Az egyes mintavételi pontokra meghatározott konkrét hozamokat az előzőekben ismertetett paraméterekhez hasonlóan elemeztem. A szkrépezés a T10-es táblán 2022-ban, illetve 2023-ban termesztett kukorica hozamára gyakorolt hatását az 52. ábra szemlélteti.



52. ábra: A T10-es táblán termesztett kukorica hozama a földtömeg-elosztás előtt és után

Az 52. ábra jól szemlélteti, hogy 2022-ben a szkrépezést megelőzően a mélyebb fekvésű területen (90-91 m magassági kategória) talajának vonatkozásában a nagymértékű heterogenitás jelentős mértékben lecsökkent. A 91-91,5 méteres magassági kategória esetében a hozamváltozás jelentősen emelkedett, amely a 91,5-92 méteres magasságban fekvő területre is elmondható, viszont a két magassági kategória eltérése a magasabb fekvésű területen kisebb mértékű heterogenitás volt tapasztalható. A szkrépezés után, 2023-ban, a magassági kategóriák hozamában jelentős eltérést mutatkozott, a 90-91 méteres magassági kategória esetén 20,27%-os, a 91-91,5 méteres magasságban fekvő terület esetén 94,64%-os, míg a legmagasabb fekvésű területen 84,61%-os mértékű hozamnövekedés volt látható. Az egész táblára vonatkoztatott terméshozamban nagymértékű heterogenitás volt tapasztalható. A közepes magassági fekvésű területen növekedett legnagyobb mértékben a termés, így az alig meghaladta a tábla átlagát (11,27 t/ha). Az elvégzett egytényezős varianciaanalízis és LSD teszt is igazolja a hatást, míg 2020-ban statisztikailag szignifikáns a különbség a legmélyebb fekvésű és a többi terület között (p-érték 0,059; LSD_{5%} 0,63 t/ha), ez a különbség a domborzat kiegyenlítődése miatt 2021-ben már nem mutatkozott (73. táblázat).

73. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a T9-tábla terméshozamaira földtömeg-elosztás előtt és után

2020					2021							
Csoportok	N	Σ	Átlag	Variancia	N	Σ	Átlag	Variancia				
97-97,5	3	22,2	7,4	9,19	3	26,7	8,9	1				
97,5-98	10	57,9	5,79	0,6254	10	112	11,27	0,7623				
98-98,5	3	19,1	6,36	0,1433	3	35,3	11,76	3,863				
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	150,1	1	150,1	216,3	1,78E-11	4,41	178,1	1	178,1	85,3	2,78E-10	4,17
Csoporton belül	12,49	18	0,6938				62,58	30	2,086			
Összesen	162,6	19										

4.13.4 A terméseredmények értékelése

Az egytényezős varianciaanalízis eredményei (74. táblázat) szerint a magasabb fekvésű T8-as tábla esetén a termesztett növény átlagos hozama jelentősen növekedett (48,23%) mutat a földtömeg-elosztás után (10,49 t/ha-ról 15,55 t/ha-ra). A $p < 0,05$ ennek megfelelően a szkrépezés után realizálódott eltérés statisztikailag szignifikánsnak tekinthető a vizsgálati évek között. A terméshozam emelkedése a növénytermesztés szempontjából pozitív változásnak tekinthető. Az F-érték (120,98) jóval magasabb, mint a kritikus F-érték, ezért a csoportok közötti variabilitás nagyobb, mint a csoporton belüli. A T8-as táblán megtermelt hozam eloszlása hasonlóan alakult a szkrépezés előtt és után is.

34. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla hozamára a földtömeg-elosztás előtt és után

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
Szkrépezés előtt	19	199,4	10,49	2,26		
Szkrépezés után	19	295,5	15,55	1,75		
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Csoportok között	243,03	1	243,03	120,98	4,592E-13	4,113
Csoporton belül	72,316	36	2,009			
Összesen	315,34	37				

A közepes magassági fekvésű T9-es tábla esetében (75. táblázat) a talaj átlagos hozama mintegy 25,4%-kal emelkedett a földtömeg-elosztást követően. Ez az eltérés statisztikailag szignifikánsnak tekinthető ($p < 0,05$). A hozam táblán belüli eloszlását tekintve némileg pozitív eredményt tapasztaltunk, mivel a szkrépezés hatására

kismértékben csökkent a hozam eloszlása. Az F-érték (42,69) sokkal magasabb, mint a kritikus F-érték, ezért a csoportok közötti variabilitás magasabb, mint a csoporton belüli.

35. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla hozamára a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>			
Szkrépezés előtt	21	105	5	0,459			
Szkrépezés után	21	131,7	6,271429	0,336143			
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>	
Csoportok között	16,97	1	16,97	42,69	8,4E-08	4,084	
Csoporton belül	15,90	40	0,3975				
Összesen	32,87	41					

Az alacsonyabb magasságú T10-es tábla esetében (76. táblázat) a talajon termesztett kukorica átlagos hozama mintegy 76,13%-os növekedése volt tapasztalható a földtömeg-elosztást követően. Ez az eltérés statisztikailag szignifikánsnak tekinthető ($p < 0,05$).

36. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla hozamára a földtömeg-elosztás előtt és után

<i>Csoportok</i>	<i>Darabszám</i>	<i>Összeg</i>	<i>Átlag</i>	<i>Variancia</i>			
Szkrépezés előtt	16	99,2	6,2	2,025333			
Szkrépezés után	16	174,7	10,91875	2,146958			
<i>Tényezők</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-érték</i>	<i>F krit.</i>	
Csoportok között	178,13	1	178,13	85,39	2,78531E-10	4,17	
Csoporton belül	62,58	30	2,086				
Összesen	240,71	31					

5 KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A vizsgált területeken a földtömeg-elosztást azért alkalmazták, mert a nagy agyagtartalmú talajon mélylazítással nem sikerült kiküszöbölni az elöntés és a belvíz kockázatát. A szkrépezés során homogén topográfiájú parcellákat hoztunk létre, ahol a felszín enyhén és egy irányba lejt. Ennek a felszínnek a kialakításával, a felesleges víz lefolyhat egy olyan területre, ahonnan könnyen elvezethető a parcellákat szegélyező csatornákba. Az beavatkozást GPS-vezérlésű (Trimble Ag Software) precíziós géppel hajtottuk végre. Eredményeim alapján megállapítható, hogy a precíziós vezérlésű szkrépezéssel kiegyenlített domborzatú felszín és homogén domborzatú tábla alakítható ki, ami hozzájárul a belvívveszély elkerüléséhez.

A tudományos kutatás során számos szakirodalmat áttekintettem és feldolgoztam, illetve saját vizsgálatot, valamint elemzést végeztem, amelyek eredményeként az alábbiakban felsorolt következtetéseket tudtam levonni.

Műszaki vonatkozásban arra a megállapításra jutottam, hogy az alkalmazott 3 méter munkaszélességű, eredetileg útjavításra készült láda helyett mezőgazdasági (talajjavítási) célú alkalmazásra nagyobb (5-7 méteres) eszköz javasolt, amelyet egy erősebb gumihevederes traktorral húzva gyorsabb és költséghatékonyabb lehet a földtömeg-áthelyezés, illetve csökkenthető a talaj taposási terhelése.

A földtömeg-elosztásnak a mezodomborzatra gyakorolt hatását tekintve arra a következtetésre jutottam, hogy a felszín egyenletesebbé vált, a belvizes területek aránya csökkent. A domborzat vonatkozásában a magasabb fekvésű területeken nagyobb változást mutattam ki, míg az alacsonyabb fekvésű területeken kisebb arányú változást eredményezett a földtömeg áthelyezés.

Az Eredmények fejezetben taglalt, a szkrépezésnek a talaj vizsgált paramétereiben bekövetkezett változását elemezve következtettem a táblaszintű változások mértékére és okaira. Az egyes táblák esetében tapasztalt változásokat a *77-79. táblázatokban* foglaltam össze.

77. táblázat: A vizsgált paraméterek átlagos változása és mérlege a T8-as tábla talajában a földtömeg-elosztás hatására

Paraméter	Átlagos változás	Anyagmérleg (t)	Anyagmérleg (t/ha)
pH-érték (pH _(KCl))	+0,17	-	-
Kötöttség (K _A)	+0,53	-	-
Sótartalom (%)	+0,022	+16,48	+0,707
Szénsavas mésztartalom (%)	+0,27	+202,31	+8,683
Humusztartalom (%)	+0,01	+7,49	+0,322
Foszfortartalom (mg/kg)	+22,89	+1,72	+0,074
Káliumtartalom (mg/kg)	+8,37	+0,63	+0,027
Nátriumtartalom (mg/kg)	+10,97	+0,82	+0,035
Magnéziumtartalom (mg/kg)	+80,6	+6,04	+0,259
Kéntartalom (mg/kg)	+9,84*	+0,74	+0,032

* a változás 5% valószínűségi szinten szignifikáns mértékű

78. táblázat: A vizsgált paraméterek átlagos változása és mérlege a T9-es tábla talajában a földtömeg-elosztás hatására

Paraméter	Átlagos változás	Anyagmérleg (t)	Anyagmérleg (t/ha)
pH-érték (pH _(KCl))	+0,04	-	-
Kötöttség (K _A)	+0,15	-	-
Sótartalom (%)	+0,001	+0,49	+0,02
Szénsavas mésztartalom (%)	+0,015	+7,41	+0,27
Humusztartalom (%)	-0,03	-14,83	-0,53
Foszfortartalom (mg/kg)	+11,27	+0,56	+0,02
Káliumtartalom (mg/kg)	+23,78	+1,18	+0,04
Nátriumtartalom (mg/kg)	-7,19	-0,36	-0,01
Magnéziumtartalom (mg/kg)	+87,7	+4,33	+0,16
Kéntartalom (mg/kg)	+8,9	+0,44	+0,02

79. táblázat: A vizsgált paraméterek átlagos változása a T10-es tábla talajában a földtömeg-elosztás hatására

Paraméter	Átlagos változás	Anyagmérleg (t)	Anyagmérleg (t/ha)
pH-érték (pH _(KCl))	-0,42*	-	-
Kötöttség (K _A)	-3,44*	-	-
Sótartalom (%)	-0,023*	-21,75	-0,73
Szénsavas mésztartalom (%)	-0,37*	-349,93	-11,66
Humusztartalom (%)	-0,15	-141,87	-4,73
Foszfortartalom (mg/kg)	+116,07*	+10,98	+0,37
Káliumtartalom (mg/kg)	+9,44	+0,89	+0,03
Nátriumtartalom (mg/kg)	-3,45	-0,33	-0,01
Magnéziumtartalom (mg/kg)	-559,15*	-52,88	-1,76
Kéntartalom (mg/kg)	-2,075	-0,20	-0,01

* a változás 5% valószínűségi szinten szignifikáns mértékű

A vizsgált táblák talajainak kémhatásának változása azt mutatja, hogy a T8-as táblán nőtt, a T9-es táblán alig változott, míg a T10-es táblán csökkent a talaj pH-értéke. Arra a következtetésre jutottam, hogy a T8-as táblán a kismértékű növekedés oka, hogy

táblaszinten a szkréperezés által a kilúgzott feltalaj átlagosan 42 cm vastagságban lett elhordva, ezzel a bázisokban és karbonátokban gazdagabb talajréteg felszínre kerülése volt a domináns a terület 55%-án. Ezt támasztják alá a szénsavas mésztartalom változásai is. A T10-es tábla 74%-án sekélyebben, átlagosan 30 cm vastagságban, került letermelésre a feltalaj. Úgy vélem, hogy a mélyebb fekvés miatt, ennél nagyobb volt a kilúgzott réteg vastagsága, ezért az új felszín közeli réteg gyengén savas kémhatásának túlsúlya eredményezte a pH-érték és a mésztartalom táblaszintű csökkenését.

A talaj kötöttségének és összes vízdoldható sótartalmának alakulása hasonló tendenciát mutatott a pH és szénsavas mésztartalom értékekhez, azaz a T8-as és T-9-es táblán enyhe növekedést, míg az alacsonyabb fekvésű T-10-es táblán csökkenést mértem. A táblaszintű változások nem jelentősek, a textúra mindenhol agyag besorolású, illetve a gyengén sós kategóriában maradt. A változásokat, véleményem szerint, ebben az esetben is a csökkenő és növekvő magasságú területek arányából, illetve az el- és ráhordott feltalaj rétegvastagságából adódó különbségek okozták. Megjegyzendő, hogy mindhárom tábla öntözött volt, öntözésre a közelben lévő Holt-Körösből származó vizet használtak. Arra a következtetésre jutottam, hogy az összes vízdoldható sótartalom változásának az értékelése csak az öntözővíz minőségének és mennyiségének az ismeretében lenne pontos.

Növénytermesztési szempontból az egyik legfontosabb kérdés, hogy a szkréperezés okoz-e humuszvesztést. A talaj humusztartalmának vonatkozásában a földtömeg-elosztás nem okozott számottevő táblaszintű változást a magasabb fekvésű területeken (+0,01% és -0,03%), bár tudvalevő, hogy a földtömeg átmozgatása aerob viszonyokat eredményez, ami szervesanyag veszteséget okoz. A T10-es táblán mozgatták a meg a legnagyobb mennyiségű földet, ezzel magyarázható így itt már említésre méltó, de statisztikailag nem szignifikáns csökkenést állapítottam meg a humusztartalomban (4,73 t/ha).

Eltérően az összes többi paramétertől, a talaj foszfor- és káliumtartalom értékei minden vizsgált tábla esetében növekedtek. Az elhordott feltalaj foszforban és káliumban szegényebb volta az intenzív növénytermesztésnek és öntözésnek köszönhető, egyrészt a növényi tápanyagfelvétel, illetve az öntözés kilúgzó hatása miatt. Viszont a növekedés igen kismértékű volt, azaz a ráhordott feltalaj nem különbözött az eredeti, szintén kilúgzott talajrétegtől, amire azt ráterítették. Kivételt ez alól a T10-es tábla

foszfortartalma képez, ahol a ráhordás eredményeként nagymértékű növekedést tapasztaltam. Ez számomra ellentmondásos eredmény, hiszen a foszforban szegényebb feltalaj szétterítése ilyen mértékű növekedést nem eredményezhetne. Konkrét, egyértelmű agrotechnikai okot sem találtam a növekedésre, viszont megjegyzendő, hogy a cég 2022 őszén az addig használt MAP műtrágya helyett ortofoszforsav hatóanyagú műtrágyát juttatott ki a területekre. Ez a váltás adataimban csak a T10-es tábla esetében jelentkezett, a korábban vizsgált tábláknál nem. Ennek az átállásnak talaj foszfortartalmára gyakorolt hatását külön kísérletben lenne érdemes megvizsgálni.

A szkréperezésnek a talaj nátriumtartalmára gyakorolt hatása is különböző eredményekkel járt a vizsgált három táblán, bár a különbségek statisztikailag nem voltak szignifikánsak. Míg a T8-as táblán enyhe növekedés volt tapasztalható, de csakis az eredetileg legmélyebb fekvésű részen. A másik két táblán kismértékű csökkenést detektáltam, ami elsősorban a Na táblán belüli eloszlásának a kiegyenlítődése által jött létre. Az összes oldott sótartalomhoz hasonlóan, a Na-tartalom változásának az értékelése is csak az öntözővíz minőségének és mennyiségének az ismeretében lenne precíz.

A talaj magnézium- és kén-tartalmának alakulása a legtöbb más vizsgált paraméter esetében tapasztalt tendenciát mutatta, azaz a T8-as és T9-es táblán növekedést, míg az alacsonyabb fekvésű T10-es táblán csökkenést mértem. A táblaszintű változások nem jelentősek, kivéve talán a T10-es tábla magnéziumtartalmát, ahol nagyobb mértékű volt a csökkenés, ami valószínűleg az eleve magas (1029 mg/kg) magnéziumtartalomnak köszönhető.

A három vizsgált tábla (T8–T10) talajvizsgálati eredményei arra utalnak, hogy a T8 és T9 jelű táblákon a beavatkozás elsősorban a talajszerkezet homogenizálását és a tápanyag-eloszlás kiegyenlítését eredményezte, míg a mélyebben fekvő, belvizesedésre még inkább hajlamos T10-es táblán a fizikai paraméterek (pH, kötöttség, sótartalom) jelentősebb csökkenése mellett néhány tápanyag (különösen a foszfor és a kálium) koncentrációja növekedett. A különbségek oka abban keresendő, hogy az adott táblán mekkora volt a magasabb fekvésű területrészek (ahonnan letermelés történt) és a mélyebb fekvésű területrészek (ahová a ráhordás történt) aránya. A T8-as táblán ez az arány 1,2 volt (55:45%) volt, azaz a letermelés enyhe dominanciája volt jellemző, ez okozta, hogy ezen a táblán kismértékű változás volt tapasztalható minden vizsgált talajparaméterben.

A T9-es tábla esetében a magasabb és a mélyebb fekvésű területrészek aránya 0,59 (37:63%) volt, azaz egy kisebb területről került áthordásra a föld egy annál lényegesen nagyobb területre. Ez magyarázza azt, hogy táblaszinten a legkisebb változásokat detektáltam a talajparaméterekben, hiszen a viszonylag kis mennyiségű föld nagy területen, átlagosan mindössze 20 cm-es vastagságban elosztva kevésbé befolyásolja azokat. A T10-es tábla esetében a magasabb és a mélyebb fekvésű területrészek aránya igen magas, 2,85 (74:26%) volt, azaz a tábla majdnem háromnegyedéről elhordásra került a talaj felső 30 cm-es rétege, ami a maradék egynegyed területen átlagosan 87 cm vastagságban lett elterítve. Nyilvánvaló, hogy a nagy területrészről letermelt nagy mennyiségű föld kis területen, tehát vastagabb rétegben történő elosztása jóval nagyobb, a legtöbb vizsgált paraméter esetében statisztikailag szignifikáns mértékben, módosította a talaj tulajdonságait.

Összességében kijelenthető, hogy a precíziós vezérlésű szkrépezés – megfelelően megválasztott lejtési paraméterekkel és munkamélységgel – képes a vízfolyás és a tápanyageloszlás térbeli egyenletességét javítani, de a talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak stabilizálása érdekében további finomhangolt beavatkozásokra (pl. célzott meszezés, szervesanyag-visszapótlás) is szükség van. Eredményeim tehát egyértelműen alátámasztják, hogy a szkrépezés nemcsak a belvíz-problémák csökkentésében, hanem a hosszú távú talajjavítási stratégiákban is kulcsfontosságú szerepet tölthet be.

A T8-as táblán, esettanulmány jelleggel elvégezett penetrációs ellenállás mérések eredményeiből megállapítható, hogy a rendszeresen művelt rétegben a talajellenállás csökkent, míg a mélyebb rétegekben növekedés volt mérhető a szkrépezés után, de ez nem önmagában ennek a beavatkozásnak volt tulajdonítható. A beavatkozás talajellenállásra gyakorolt hatása kettős volt. A lédázást követő talajlazítás hatására a felső talajréteg (0-22 cm) pórusvolumene nőtt, javult a szerkezet. A mélyebb rétegekben kismértékben növekedett a talaj mechanikai ellenállása, ami, feltételezésem szerint, a nagy tömegű erő- és munkagépek talajtömörítő hatásának tulajdonítható.

A vizsgált táblákon termesztett növény hozamára vonatkozóan arra a következtetésre jutottam, hogy a terméshozamban történt növekedés nem szükségszerűen a földtömeg-elosztás hatásának tudható be. Megállapítottam, hogy míg a terület egyenletlenségek

csökkentek, a termés hozamok területi szórása kevésbé. A mélyebben fekvő területrészekben mutatkozott a legnagyobb relatív hozamnövekedés, ami a korábbi vízborítási és tápanyag-ellátottsági problémák részleges megszűnésének tudható be. Ezek a területek a szkrépezés előtt jelentős termés potenciál-korlátokkal küzdöttek, így a beavatkozás után itt volt a legnagyobb arányú javulás. Ezzel szemben a magasabban fekvő területrészekben a beavatkozást követően alakultak ki kiugró hozamú foltok, vélhetően a javított vízháztartási viszonyok miatt. Ez arra utal, hogy a hozamok alakulását nem csupán a domborzati viszonyok, hanem a korábbi termőhelyi adottságok és a beavatkozás utáni talajszerkezeti változások együttesen befolyásolták. Ezért is javasolható az általam, de a mezőgazdasági gyakorlatra nem jellemző, talajtani megközelítés és vizsgálatok elvégzése. A talaj különböző elemtartalmának, valamint humusztartalmának, illetve a rajta termesztett növény hozamának megítéléshez és tápanyagutánpótlás szempontjából való elemzésének fontossága jelentős, hiszen a növénytermesztés szempontjából mind az esszenciális, mind a mezo-, és nyomelemek talajban megtalálható mennyisége limitáló tényezőként hathat.

Vizsgálataim alapján javaslom a földtömeg-elosztás hatásvizsgálati eredményeinek tudományos és gyakorlati célú felhasználását, illetve annak beépítését a felsőoktatási tanulmányokba, valamint az eredmények széleskörű publikálását annak érdekében, hogy a növénytermesztő gazdák megismerjék a szkrépezés talajra gyakorolt hatását. Ehhez azonban mindenképpen javasolt a talaj mélységi mintázása. Mivel a letermelés mélysége alatti talajréteg lesz a szkrépezés utáni feltalaj (termőréteg), annak ismerete elengedhetetlen. Másrészt a ráhordás mélysége meghatározza az új termőréteg vastagságát, ezért annak minőségi szempontú vizsgálata szintén hasznos információ a növénytermesztés sikerességének előzetes felméréséhez.

6 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a szkréper (földnyeső) földmunkagép sikeresen használható a kedvezőtlen víz- és levegőforgalmú, belvízzel érintett talajok melioratív és rekultivációs kezelésére is.
2. Megállapítottam, hogy az optimális földtömeg-elosztás, legyen az bármilyen célú is, a talajtulajdonságokra gyakorolt hatását mennyiségi szempontból elsősorban a magasabb fekvésű területrészek (ahonnan letermelés történik) és a mélyebb fekvésű területrészek (ahová a ráhordás történik) táblán belüli aránya, minőségi szempontból pedig elsősorban a letermelés mélysége alatti talajréteg milyensége és a ráhordás vastagsága határozza meg.
3. Azon a vizsgált területen, ahol az elhordás és a ráhordás aránya magas, 2,85 volt (T10-es tábla) a szkrépezés hatásának tulajdonítható, statisztikailag igazolható különbségeket mutattam ki több vizsgált talajparaméter esetében: táblaszinten a pH értékek mintegy 7%-kal csökkentek ($p=0,034$); a kötöttség 5,53%-kal csökkent, az összes oldott sótartalom 28,6%-kal nőtt ($p=0,0014$); a szénsavas mésztartalom 45%-kal csökkent ($p=0,0095$); a foszfortartalom 160,2%-kal nőtt ($p=0,0139$); a magnéziumtartalom 54,34%-kal csökkent ($p=6,55E-12$).
4. A kisebb elhordás:ráhordás arányú (1,2) területen (T8-as tábla) a szkrépezés hatására táblaszinten csak a talaj kéntartalma változott statisztikailag igazolhatóan ($p=0,02$), 38,09%-os növekedést mutatva.
5. Azon a vizsgált területen, ahol az elhordás és a ráhordás aránya igen alacsony, 0,59 volt (T9-es tábla) a földtömeg-elosztás nem okozott a vizsgált talajparaméterekben statisztikailag igazolható változásokat.
6. Megállapítottam, hogy a vizsgált domborzati viszonyok között a több ezer tonna talaj megmozgatása és áthelyezése nem járt szignifikáns humuszvesztéssel. Azokon a területeken, ahol az elhordás:ráhordás aránya alacsony volt, a talaj humusztartalmának táblaszintű változása (+0,01% és -0,03%) elhanyagolható volt, míg a magas elhordás:ráhordás arányú területen is csak 0,15%-os csökkenést mutattam ki.
7. Kimutattam, hogy a földtömeg-elosztás a talaj penetrációs ellenállását rétegenként differenciáltan változtatta meg. Összességében, táblaszinten 7,4% növekedést mutattam ki a 0-60 cm-es talajrétegben, viszont megállapítottam, hogy a vizsgált táblán van egy kritikus mélység (inflexiós pont), ahol a

szkrépezés okozta penetrációs ellenállás változás értéke nulla, ebben a mélységben megfordul a beavatkozás hatásának az iránya. A vizsgált területen átlagosan 22 cm mélységig mutattam ki a szkrépezés pozitív, lazító hatását: a penetrációs ellenállás értékek átlaga 0,26 MPa-lal, statisztikailag igazolható mértékben, volt alacsonyabb szkrépezés után, mint egy évvel előtte.

8. Megállapítottam, hogy mindhárom vizsgált területen statisztikailag igazolhatóan ($p=4,592E-13$; $8,4E-08$; $2,785E-10$) magasabb volt a termesztett kukorica hozama a szkrépezést követő évben, mint előtte. A különbségek az évjárathatás függvényében mind magas, mind alacsony termésszint esetében is jelentősek voltak (+1,27 – 5,06 t/ha). A táblákon belül korábban meglévő magassági kategóriák hozamai közötti szignifikáns különbségek lecsökkentek, a homogén domborzat homogén terméshozamot eredményezett mindhárom vizsgált táblán.

7 GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

A növénytermesztési gyakorlat során a földtömeg-elosztás egyfajta talajjavítási technológiaként használható. A szkrépezés során a magasabban fekvő területeken a talaj felső rétegének eltávolításával az alsóbb rétegek kerülnek felszínre, valamint a mélyebb fekvésű területekre való talaj-átmozgatás a talaj szerkezetét megváltoztathatja. A mélyebb fekvésű területekre áthelyezett talajréteg alapvetően az eddigi talajfelszín mélyebbre kerülését eredményezi, így a talaj „A” szintjébe új talajréteg kerül.

A vizsgált területen a szkrépezés fő célja a homogén, enyhe lejtésű domborzat létrehozása és ezáltal a belvíz elvezetése volt. A szkrépezés lényege a talaj mozgatása egyik helyről a másikra, ami azt jelenti a talaj összes összetevőjének szállítása is az eljárás velejárója. A talaj összetevői közül termékenységi szempontból a humusz (szerves anyag) a legfontosabb. A vizsgált területen takarmánykukoricát termesztenek egy nagyüzemi állattartó telep takarmányszükségletének kielégítésére. A kukorica igényes a talajra, ezért a szkrépezés általi jelentős humuszvesztés akadályozná a talaj eredeti termékenységének fenntartását. A kutatási tevékenységem során a szkrépezés a talaj humuszkészletére és egyéb elemtartalmára gyakorolt hatását az újraelosztás számszerűsítésével határoztam meg.

Megállapítottam, hogy a szkrépezés hatékony művelet a terület mentesítésére a káros víztöbbletektől, anélkül, hogy humusz- vagy tápanyagkészletben parcella léptékű veszteséget eredményezne, miközben az egyenletesebb szervesanyag eloszlás potenciálisan homogénebb hozam elérését, a kukoricatermesztés és a saját termesztésű takarmányellátás biztonságának a növelését teszi lehetővé.

8 ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági tevékenység a történelem során és napjainkban is, mindig is megélhetést, gazdasági gyarapodást és fejlődést jelentette az adott területen élő gazdák számára. Annak érdekében, hogy a sikeres gazdálkodói tevékenység fenntartható és kivitelezhető legyen, még hosszú ideig, mindenképpen meg kell őrizni a talajok termékenységét. A növénytermesztés természetstechnológiai fejlődése, az innovációk, újítások, az alkalmazott géprendszerek folyamatosan fejlődnek, amelyek szerves részét képezik a növénytermesztés gyakorlatának. A precíziós gazdálkodás legnagyobb előnye elsősorban a szántóföldi növénytermesztésben alkalmazott technológiai eljárások végrehajtásában, valamint annak eredményességében nyilvánul meg.

Napjainkra a talajok fizikai degradációja, szerkezetromlása jelentős és elsődleges problémává vált, s mivel közvetlen környezetemben, a Tiszántúlon is nagy területet érint ez a probléma, úgy gondoltam, érdemes erre a témára hangsúlyt fektetni. Kutatómunkám témaválasztása során is ezeknek a talajdegradációs problémáknak a feltárása, a probléma újszerű megközelítése vezérelt, különös tekintettel a talajfelszíni egyenlőtlenségeinek vizsgálatára. Ehhez az újszerű megközelítéshez fel kell térképeznünk talajaink 3D-s domborzati modelljét, hogy képet kapjunk, milyen mértékű felszínformálást kell végrehajtanunk. Sok esetben tapasztalható, hogy a felszíni összefolyás, főként kötöttebb talajokon nagy kiterjedésű belvizet eredményez, ennek köszönhetően pedig termésdepresszió és művelésből való kiesés alakul ki.

Kutatómunkám általános célja a síkvidéki, mezőgazdasági hasznosítású, kedvezőtlen víz- és levegőforgalmú, belvízzel érintett alföldi talajok állapotának, fizikai degradációjának és domborzati modelljének vizsgálata volt. A belvízzel érintett területek egyik alapvető melioratív és rekultivációs kezelésének eszköze az optimális földtömeg elosztás szkréper (scraper) láda segítségével. Kutatásomban a talajdegradáció problémáit újszerű megközelítéssel vizsgáltam, különös tekintettel a talajfelszín egyenlenségeire. Kutatómunkám céljait a következőképpen határoztam meg:

- A még bolygatatlan talaj 3D-s domborzati modelljének elkészítése, amely alapján a mérési pontok kijelölhetők.
- A precíziós eszközökre alapozott, differenciált talajmozgatás eredményességének vizsgálata.
- Az átmozgatott talaj fizikai, kémiai állapotára és a termesztett növény hozamára gyakorolt hatások megállapítása.

Kísérleteimet Zsadány település határában, a Zsadány Malom 97' Kft. területén végeztem. Zsadány az Alföldön, a Berettyó-Körös-vidéken, a Kis-Sárrét kistájban helyezkedik el. A vizsgált terület három parcellát (T8, T9, T10) foglal magában, melyek évtizedek óta szántóföldi művelés alatt állnak. A földtömeg-elosztást 2020-ban kezdték el a 23,3 hektáros T8-as táblán. Ennek a táblának a kiválasztásánál szerepet játszott, hogy az volt az egyik legrosszabb adottságú és egyben a legnagyobb szintkülönbségekkel rendelkező területük. 2021-ben egy ugyancsak belvízérzékeny 27,8 hektáros táblát (T9) jelöltünk ki szkrépezésre. A harmadik, 30 hektáros táblát (T10) 2022-ben vontuk be kutatásunkba. A szkrépezés során homogén topográfiájú parcellákat hoztunk létre, ahol a felszín enyhén és egy irányba lejt. Ennek a felszínnek a kialakításával, a felesleges víz lefolyhat egy olyan területre, ahonnan könnyen elvezethető a parcellákat szegélyező csatornába. Az beavatkozást GPS-vezérlésű (Trimble Ag Software) precíziós géppel hajtottuk végre. Eredményeim alapján megállapítható, hogy a precíziós vezérlésű szkrépezéssel kiegyenlített domborzatú felszín és homogén domborzatú tábla alakítható ki, ami hozzájárul a belvízveszély elkerüléséhez.

Talajvizsgálati eredményeim alapján a T8 és T9 jelű táblákon a beavatkozás elsősorban a talajszerkezet homogenizálását és a tápanyag-eloszlás kiegyenlítését eredményezte, míg a mélyebben fekvő, belvizesedésre még inkább hajlamos T10-es táblán a fizikai paraméterek (pH, kötöttség, sótartalom) jelentősebb csökkenése mellett néhány tápanyag (különösen a foszfor és a kálium) koncentrációja növekedett. A különbségek oka abban keresendő, hogy az adott táblán mekkora volt a magasabb fekvésű területrészek (ahonnan letermelés történt) és a mélyebb fekvésű területrészek (ahová a ráhordás történt) aránya. A T8-as táblán ez az arány 1,2 volt (55:45%) volt, azaz a letermelés enyhe dominanciája volt jellemző, ez okozta, hogy ezen a táblán kismértékű változás volt tapasztalható minden vizsgált talajparaméterben. A T9-es tábla esetében a magasabb és a mélyebb fekvésű területrészek aránya 0,59 (37:63%) volt, azaz egy kisebb területről került áthordásra a föld egy annál lényegesen nagyobb területrésze. Ez magyarázza azt, hogy táblaszinten a legkisebb változásokat detektáltam a talajparaméterekben. A T10-es tábla esetében a magasabb és a mélyebb fekvésű területrészek aránya igen magas, 2,85 (74:26%) volt, azaz a tábla majdnem háromnegyedéről elhordásra került a talaj felső 30 cm-es rétege, ami a maradék egynegyed területen átlagosan 87 cm vastagságban lett elterítve. A nagy területrésztől letermelt nagy mennyiségű föld kis területen, tehát vastagabb rétegben történő elosztása jóval nagyobb, a legtöbb vizsgált paraméter esetében statisztikailag szignifikáns mértékben, módosította a talaj tulajdonságait.

A penetrációs ellenállás mérések eredményeiből megállapítható, hogy a rendszeresen művelt rétegben a talajellenállás csökkent, míg a mélyebb rétegekben növekedés volt mérhető a szkrépezés után, de ez nem önmagában ennek a beavatkozásnak volt tulajdonítható. A lédázást követő talajlazítás hatására a felső talajréteg (0-22 cm) pórusvolumene nőtt, javult a szerkezet. A mélyebb rétegekben kismértékben növekedett a talaj mechanikai ellenállása, ami, feltételezésem szerint, a nagy tömegű erő- és munkagépek talajtömörítő hatásának tulajdonítható.

A vizsgált táblákon termesztett növény hozamára vonatkozóan arra a következtetésre jutottam, hogy a hozamok alakulását nem csupán a domborzati viszonyok, hanem a korábbi termőhelyi adottságok és a beavatkozás utáni talajszerkezeti változások együttesen befolyásolták. A terméshozamokban mindhárom vizsgált területen növekedést mutattam ki, ami nem szükségszerűen a földtömeg-elosztás hatásának tudható be. A mélyebben fekvő területrészekben mutatkozott a legnagyobb relatív hozamnövekedés, ami a korábbi vízborítási és tápanyag-ellátottsági problémák részleges megszűnésének tudható be.

A növénytermesztési gyakorlat során a földtömeg-elosztás egyfajta talajjavítási technológiaként használható. A szkrépezés során a magasabban fekvő területeken a talaj felső rétegének eltávolításával az alsóbb rétegek kerülnek felszínre, valamint a mélyebb fekvésű területekre való talaj-átmozgatás a talaj szerkezetét megváltoztathatja. Összességében kijelenthető, hogy a precíziós vezérlésű szkrépezés – megfelelően megválasztott lejtési paraméterekkel és munkamélységgel – képes a vízlefolyás és a tápanyageloszlás térbeli egyenletességét javítani. Megállapítottam, hogy a szkrépezés nemcsak a belvív-problémák csökkentésében, hanem a hosszú távú talajjavítási stratégiákban is kulcsfontosságú szerepet tölthet be.

9 SUMMARY

Throughout history and today, agricultural activity has always meant livelihood, economic growth, and development for farmers living in a given area. In order for successful farming activity to be sustainable and feasible for a long time to come, it is essential to preserve the fertility of the soil. The technological development of crop production, innovations, and applied machine systems are constantly developing, which are an integral part of the practice of crop production. The greatest advantage of precision farming is primarily manifested in the implementation of technological procedures applied in arable crop production and their effectiveness. Nowadays, the physical degradation and structural deterioration of soils have become a significant and primary problem. Since this problem affects a large area in my immediate environment, in the Trans-Tisza region, I thought it was worth emphasizing this topic. The choice of topic for my research work was guided by the exploration of these soil degradation problems and a novel approach to the problem, with particular attention to the examination of soil surface inequalities. For this novel approach, we need to map the 3D relief model of our soils in order to get an idea of the extent of surface formation that we need to carry out. In many cases, it can be observed that surface runoff, especially on more cohesive soils, results in large-scale excess water, which in turn leads to crop depression and loss of cultivation.

The general aim of my research work was to examine the condition, physical degradation, and relief model of lowland soils affected by excess water in flatland areas with poor water and air circulation. One of the fundamental meliorative and recultivation treatment tools for areas affected by excess water is the optimal distribution of soil mass using a scraper box. In my research, I examined the problems of soil degradation with a novel approach, with particular attention to the unevenness of the soil surface.

I defined the goals of my research as follows:

- Preparation of a 3D relief model of the undisturbed soil, based on which the measurement points can be designated.
- Examination of the effectiveness of differentiated soil movement based on precision tools.
- Determination of the effects on the physical and chemical state of the moved soil and the yield of the cultivated plant.

I conducted my experiments on the border of the Zsadány settlement, on the territory of Zsadány Malom 97' Kft. Zsadány is located in the Great Plain, in the Berettyó-Körös region, in the Kis-Sárrét microregion. The studied area includes three plots (T8, T9, T10), which have been under arable cultivation for decades. The land mass distribution began in 2020 on the 23.3-hectare T8 plot. The selection of this plot was based on the fact that it was one of the areas with the worst conditions and the largest differences in level. In 2021, we designated a 27.8-hectare plot (T9), also sensitive to excess water, for scraping. The third, 30-hectare plot (T10) was included in our research in 2022. During scraping, we created plots with homogeneous topography, where the surface slopes gently and in one direction. By creating this surface, excess water can flow to an area from which it can be easily drained into the canals bordering the plots. The intervention was carried out with a GPS-controlled (Trimble Ag Software) precision machine. Based on my results, it can be stated that precision-controlled scraping can create a surface with a levelled relief and a field with a homogeneous relief, which contributes to avoiding the risk of excess water.

Based on my soil test results, the intervention on the T8 and T9 plots primarily resulted in the homogenization of the soil structure and the equalization of nutrient distribution, while on the deeper-lying T10 plot, which is even more prone to waterlogging, the concentration of some nutrients (especially phosphorus and potassium) increased, in addition to a significant decrease in physical parameters (pH, cohesion, salinity). The reason for the differences is to be found in the ratio of higher-lying areas (from which the harvest took place) to lower-lying areas (where the application took place). On the T8 plot, this ratio was 1.2 (55:45%), i.e., the harvest was slightly dominant, which caused a small change in all tested soil parameters on this plot. In the case of the T9 plot, the ratio of higher and lower lying areas was 0.59 (37:63%), i.e., the soil was transferred from a smaller area to a significantly larger area. This explains why I detected the smallest changes in the soil parameters at the plot level. In the case of the T10 plot, the ratio of higher and lower lying areas was very high, 2.85 (74:26%), i.e., the upper 30 cm layer of soil was transferred from almost three-quarters of the plot, which was spread on the remaining one-quarter area with an average thickness of 87 cm. The distribution of a large amount of soil extracted from a large area in a small area, i.e., in a thicker layer, modified the soil properties to a much greater extent, and in most of the examined parameters to a statistically significant extent.

The results of the penetration resistance measurements show that the soil resistance decreased in the regularly cultivated layer, while an increase was measured in the deeper layers after scraping, but this was not attributable to this intervention alone. As a result of the soil loosening after box-laying, the pore volume of the upper soil layer (0-22 cm) increased, and the structure improved. In the deeper layers, the mechanical resistance of the soil increased slightly, which, according to my assumption, can be attributed to the soil compaction effect of the large-scale power and work machines.

Regarding the yield of the crops grown on the examined plots, I came to the conclusion that the development of the yields was influenced not only by the topographic conditions, but also by the previous characteristics of the growing site and the soil structure changes after the intervention. I showed an increase in the crop yields in all three examined areas, which cannot necessarily be attributed to the effect of the soil mass distribution. The highest relative yield increase was observed in the deeper areas, which can be attributed to the partial elimination of previous water cover and nutrient supply problems.

During crop production practice, soil mass distribution can be used as a type of soil improvement technology. During scraping, the removal of the upper layer of soil in higher lying areas brings the lower layers to the surface, and the movement of soil to deeper lying areas can change the soil structure. Overall, it can be stated that precision-controlled scraping - with appropriately selected slope parameters and working depth - can improve the spatial uniformity of water runoff and nutrient distribution. I have established that scraping can play a key role not only in reducing excess water problems but also in long-term soil improvement strategies.

10 IRODALOM

1. Akker, –, J.J.H. – Canarache, A. (2001). Two European concerted actions on subsoil compaction. *Landnutzung und Landentwicklung*. 42. 15-22.
2. Alaamer, S. A., & Alsharifi, S. K. A. (2023). Levelling machines and its effect on the growth characteristics and productivity for two corn cultivars. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 29(3), 552-563.
3. Ángyán, J. – Szalai, T. – Fodor, Z. – Lőrinci, R. – Nagy, G.: 2005. A földhasználat alakulása. In Stefanovits, P. – Michéli, E. (szerk.): A talajok jelentősége a 21. században. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, pp. 10-14., 5 p.
4. Asif, M., Ahmed, M., Gafoor, A., & Aslam, Z. (2003). Wheat productivity, land and water use efficiency by traditional and laser land-leveling techniques. *Online Journal of Biological Sciences (Pakistan)*, 3(2), 141-146.
5. Axiál: 2024. mAXI-MAP. <https://www.axial.hu>. Text. Elérhető: <https://www.axial.hu/gps/vantage/szoftveres-hatter/maxi-map> [Letöltve: 2024.12.10].
6. Bárdos, Z. – Muhoray, Á.: 2012. A belvíz kialakulása és az ellene való védekezés lehetőségének vizsgálata. *Hadmérnök VII. évf.(1. szám): 78–90.*
7. Baruck, J. –, Weber, E. –, Lair, G. J. –, Gerzabek, M. H., –& Strauss, P. (2016). Soil classification and mapping in the Alps: The current state and future challenges. *Geoderma*, 264, 312–331. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.005>
8. Bao-wei, S. – Geng-xing, Z. – Chao, D. (2018). Spatio-temporal variability of soil nutrients and the responses of growth during growth stages of winter wheat in the north of China. *PLoS ONE*, 13, e0198701.
9. Basso, B. – Ritchie, J. T. – Cammarano, D. – Sartori, L. 2011. A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field. *European Journal of Agronomy*, 35(4), 215–222.
10. Baukó, Zs. – Dövényi, Z. – Rakonczai, J.: 1981. Természeti és társadalmi tényezők szerepe a belvizek kialakulásában a Maros hordalékkúp keleti részén. *Alföldi Tanulmányok. Békéscsaba III. kötet, 35-39 p.*
11. Begum, F. – Alam, M., –Mumtaz, S. – Ali, M. – Wafee, S. – Khan, M., – Khan, A. (2019). Soil quality variation under different land use types in Haramosh Valley, Gilgit, Pakistan. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, 10(2), 32-37. <https://doi.org/10.46660/ijeeg.vol10.iss2.2019.259>
12. Birkás, M.: 1993. Talajművelés. In Nyíri, L. (szerk.): *Földműveléstan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 96-191 p.
13. Birkás M. 1994. A talajlazítás fontosságáról. *Agrofórum*. V/8. 18-20. p.
14. Birkás, M.: 1995. Soil compaction effect on the quality and energy requirement of the tillage. *Habilitációs előadás, Szent István Egyetem, Gödöllő.*
15. Birkás, M.: 2001. A talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése. In Birkás, M. (szerk.): *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban*. Akaprint Kiadó, Budapest, 99-120 p.
16. Birkás, M.: 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Kiadó, Budapest.
17. Birkás, M.: 2006. Talajművelés. In Birkás, M. (szerk.): *Földművelés és földhasználat*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 88-177 p.
18. Birkás, M. – Krisztián, J. – Nagy, J. 1999. Talajhasználat és talajvédelem. *Növénytermesztés Tudományi Nap, 1999. jan. 26., „Magyarország az ezredfordulón” Stratégiai Kutatások az MTA-n. Növénytermesztés és környezetvédelem (szerk. Ruzsányi L., Pepó P.), MTA Agrár Tudományok Osztálya, Budapest, 19-29 p.*

19. Birkás, M. – Stingli, A. – Farkas, C. – Bottlik, L. (2009): Összefüggés a művelés eredetű tömörödés és a klímakárok között. *Növénytermelés* 58.(3.): 5-26 o.
20. Birkás, M. – Szalai, T. – Gyuricza, C. – Jolánkai, M. – Gecse, M. (2000): Subsoil compaction problems in Hungary (Ed. Horn R., van den Akker, J.J.H., Arvidsson, J.) *Advances in GeoEcology*, 32. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, 354-362 p.
21. Bíró, B. (2005) A talaj, mint a mikroszervezetek élettere. In Stefanovits, P. – Michéli, E. (szerk.): *A talajok jelentősége a 21. században*. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, 141-146 p.
22. Bíró, T. (2016): A hazai belvízkutatás néhány időszerű kérdése. *Hidrológiai Közlöny* 96 (2) 5–12. o.
23. Blanka V. – Ladányi Z. (2014): *Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban = Suša i upravljanje vodama u južnoj mađarskoj ravnici i Vojvodini = Drought and water management in South Hungary and Vojvodina*. Szeged: Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék. Elérhető: <https://acta.bibl.u-szeged.hu/64675/>
24. Blaskó, L. (2017) Soil Degradation Processes, Amelioration and Land Use possibilities on The heavy clay Soils of The Trans-Tisza Region. In Tamás, J. – Zsembeli, J. (szerk.): *A talajok gyógyítója: Prof. Dr. Blaskó Lajos, 70 éves*. Debreceni Egyetem Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen,.
25. Blum, W. E. H. (1990): The Challenge of Soil Protection in Europe. *Environmental Conservation* 17(1): 72–74. <https://doi.org/10.1017/S037689290001732X>
26. Bogárdi, J. (1953): A várható tavaszi maximális havi közepes talajvízállások előrejelzése az Alföldön. *Hidrológiai Közlöny* (11-12.sz): 415-422 p.
27. Bos (2024): Box scraper MEGA. Elérhető: <https://www.bosbolsward.com/en/machines/soil-moving-and-leveling/box-scraper-kb5004-mega/> [Letöltve: 2024.12.13].
28. Bozán, C. – Bakacsi, Z. – Szabó, J. – Pásztor, L. – Pálfai, I. – Körösparti, J. – Tamás, J. (2008): A belvíz-veszélyeztetettség talajtani összefüggései a Békés-Csanádi löszháton. Talajtani Vándorgyűlés, 2008. május 28-29., Nyíregyháza. *Talajvédelem Különszám* 43-53.
29. Brady, N. C. – Weil, R. R. (1999): *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall. 881 p.
30. Brevik, E. C., . – Calzolari, C., Miller –, B. A., Pereira, P. –, Kabala, C. – , Baumgarten, A., –& Jordán, A. (2016). Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. *Geoderma*, 264, Part B, 256–274. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.05.017>
31. Brussaard, L. – van Faassen, H. G. (1994) Chapter 10 - Effects of Compaction on Soil Biota and Soil Biological Processes. In Soane, B. D. – van Ouwerkerk, C. (szerk.): *Developments in Agricultural Engineering*. Elsevier,11, 215–235.
32. Campbell, D. J. – O’ Sullivan, M. F. – Campbell, D. J. – Sullivan, M. F. (1991): The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage. *Soil Analysis Physical Methods* 399–429.
33. Chen, G., Hu, L., Luo, X., Wang, P., He, J., Huang, P., ... & Tu, T. (2024). A review of global precision land-leveling technologies and implements: Current status, challenges and future trends. *Computers and Electronics in Agriculture*, 220, 108901.
34. Conlin T. S. S. –van den Driessche. R. 2000. Response of soil CO₂ and O₂ concentrations to forest soil compaction at the Long-term Soil Productivity sites in central British Columbia. *Canadian Journal of Soil Science*.80(4): 625-632.

35. Copur, H. – Shaterpour-Mamaghani, A. – Tumac, D. – Balci, C. (2024): Relationships between performances of a button cutter and a disc cutter based on full-scale linear cutting tests. *Acta Geotechnica* 19(5): 2731–2752. <https://doi.org/10.1007/s11440-023-02146-2>
36. Daróczi, S. – Lelkes, J. (1999): A szarvasi PENETRONIK talajvizsgáló nyomószonda alkalmazása. *Gyakorlati agrofórum* 10. évf.(7. sz.): 16-18 o.
37. Demeter, I. – Makádi, M. – Aranyos, T. – Ferenczy, A. – Posta, K. (2013). Az ökológiai és konvencionális művelés alá eső nyírségi talajok mikrobiológiai és talajkémiai vizsgálatai. *Tájökológiai Lapok*, 11(2), 311–319.
38. De Neve, S. – Van De Steene, J. – Hartman, R. – Hofman, G. (2000) Using Time Domain Reflectometry for Monitoring Mineralization of Nitrogen from Soil Organic Matter. *European Journal of Soil Science*, 51, 295-304.
39. Dövényi Z. (2010): *Magyarország kistájainak katasztere*. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet.
40. Dvoracek M. (1957) Talaj és a hó. In Di Gleria I. – Klimes-Szmik A. – Dvoracek M. (szerk.): *Talajfizika és talajkolloidika*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 626-664 p.,
41. Dvoracek, M. (1968): Penetrométer a talaj mechanikai ellenállásának szabadföldi méréséhez. *Agrokémia és Talajtan* 17.(3.): 319–326.
42. Eid, A. R., Mohamed, M. H., Pipars, S. K., & Bakry, B. A. (2014). Impact of laser land leveling on water productivity of wheat under deficit irrigation condations. *Current research in agricultural sciences*, 1(2), 53-64.
43. El-Shikha, M. A., El-Berry, A., El-Shikha, D. M., & Zayerj, M. (2005). A modified laser scraper and its effect on performance and capabilities. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 30(4), 2119-2136.
44. Endrédi, E. (1941): A szikesek keletkezésének kérdéséről. *Öntözésügyi Közlemények* III: évf.(1. sz.): Magyar Királyi Országos Öntözésügyi Hivatal.
45. Endo, A., & Kang, D. J. (2015). Salt removal from salt-damaged agricultural land using the scraping method combined with natural rainfall in the Tohoku district, Japan. *Geoderma Regional*, 4, 66-72.
46. Fabbri, C. – Mancini, M. – Dalla Marta, A. – Orlandini, S. – Napoli, M. (2020). Integrating satellite data with a nitrogen nutrition curve for precision top-dress fertilization of durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 120, Article 126148.
47. Farkas, C. – Gyuricza, C. (2006) Hidrológiai tényezők. In Birkás, M. (szerk.): *Földművelés és földhasználat*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 32-55 p.,
48. Fekete, J. (1996): A tömődöttség hatása a talaj ökológiai funkcióira és termékenységére. *Környezet és tájgazdálkodási füzetek, Pszicholingva Kiadó Bt* II. kötet(1. szám): 5-8 p.
49. Fekete, J., – Stefanovits, P. (2002). Dunántúli vörösgyagok fizikai és kémiai tulajdonságai. *Agrokémia és Talajtan*, 51(3–4), 305–324.
50. Fendt (2024): Fendt traktorok | Fendt 900 Vario széria. Elérhető: <https://www.fendt.com/hu/mezogazdasagi-gepek/traktorok/fendt-900-vario-mt> [Letöltve: 2024.12.13].
51. Forgóné, N. M. (2000): A belvízrendszer-fejlesztés mezőgazdasági megalapozása földrajzi információs rendszerekkel. *Hidrológiai Közöny* (3. szám): 179-185 p.
52. Főríz, I., Tóth, T., & Kuti, L. (2001). A sófelhalmozódás tényezőinek változása a hortobágyi „nyírólapos” mintaterület talajainál. *Agrokémia és Talajtan*, 50(3–4), 409–426.
53. Freitag, D. R. (1971) Methods of measuring soil compaction. In Barnes, K. K. – Carleton, W. N. – Taylor, H. M. – Throckmorton, R. I. – Vanden Berg, G. E. (szerk.): *Compaction of agricultural soils*. 47-103 p.

54. Fu, B. – Liu, S. – Chen, L. – Lu, Y. – Qiu, J. (2004). Soil quality regime in relation to land cover and slope position across a highly modified slope landscape. *Ecological Research*, 19(1), 111-118. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00614.x>
55. Füleky, G. (2011) Talajvédelem, talajtan. In Domokos, E. (szerk.): *Környezetmérnöki Tudástár*. Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet,.
56. Gaál M. – Kiss A. – Péter K. – Sulyok D. – Takácsné György K. – Domán C. – Illés I. – Keményné Horváth Z. (2017): *A precíziós szántóföldi növénytermesztés összehasonlító vizsgálata = Comparative study of precision arable crop production*. Kemény G. – Lámfalusi I. – Molnár A. (szerk.): . Budapest: Agrárgazdasági Kutató Intézet. Elérhető: <https://www.aki.gov.hu/ekpolc/reszletek/a:2147>
57. Gál, N. – Farsang, A. 2012: Interactions between soil structure and excess water formation on chernozem soils, EGU General Assembly 2012
58. Gyuricza, C. (2000): Az értékörző és hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásainak értékelése. Doktori értekezés, Szent István Egyetem. 148 p.
59. Håkansson, I. – Voorhees, W. B. (1997) Soil Compaction. In Rattan, R. (szerk.): *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, 167-179 p.
60. Halász, L. – Földi, L. (2014): Környezetbiztonság. Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Budapest.
61. Hamuda, H., Orosz, E., Horváth, M., Palágyi, A., Baranyai, B., Patkó, I., ... & Kecskés, M. (2009). Effect of sewage sludge on soil properties, the growth of *Lycopersicon esculentum* L. and the properties of the rhizosphere in a model experiment. *Agrokémia és Talajtan*, 58(2), 325–342.
62. Hamza, M. – Anderson, Walter. (2003). Responses of soil properties and grain yields to deep ripping and gypsum application in a compacted loamy sand soil contrasted with a sandy clay loam soil in Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*. 54. 273-282. [10.1071/AR02102](https://doi.org/10.1071/AR02102).
63. Hartyányi, L. (1974): A Kondoros-völgyi mintavízgyűjtőn folyó vízháztartási vizsgálatok. *Öntözéses gazdálkodás, Szarvas* Vol. XI.(No. 2.): 13-32 p.
64. Heung, B. –, Ho, H. C., Zhang, J., . – Knudby, A., Bulmer, C. E., & – Schmidt, M. G. (2016). An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping. *Geoderma*, 265, 62–77. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.014>
65. Horn R. – Domżzał H. – Słowińska-Jurkiewicz Anna –van Ouwerkerk C., Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment, *Soil and Tillage Research*, Volume 35, Issues 1–2, 1995, Pages 23-36, ISSN 0167-1987,
66. Horsch (2024): Tiger MT - Kultivátorok - Talajművelés | HORSCH. Elérhető: <https://www.horsch.com/hu/termekek/talajmuveles/kultivatorok/tiger-mt> [Letöltve: 2024.12.13].
67. Izadpanah, M., Shabanpour, M., Abrishamkesh, S., & Bagheri, I. (2024). Land leveling and cover cropping impacts on chemical and biological properties of paddy soil. *Spanish journal of agricultural research*, 22(1), 1101.
68. Jasim, A. A., Alathami, Z. A., & Yousif, A. J. (2023). Effect of Leveling and Tillage Equipment on Soil Bulk Density and Yield of Maize. *Diyala Agricultural Sciences Journal*, 15(2), 110-119.
69. Jat, M. L., Chandna, P., Gupta, R., Sharma, S. K., & Gill, M. A. (2006). Laser land leveling: A precursor technology for resource conservation. *Rice-Wheat consortium technical bulletin series*, 7, 48.

70. Jolánkai, M. – Berzsényi, Z. – Kismányoky, T. – Nagy, J. (2005) Növénytermesztési kutatások a precíziós mezőgazdaságban. In Lazányi Sándor – Németh Tamás (szerk.): *Fenntartható homoki gazdálkodás megalapozása a Nyírségben*. Nyíregyháza: Westsik Vilmos Nyírségi Tájfejlesztési Alapítvány.
71. Jolánkai, M. – Birkás, M. – Szalai, T. (1997): Soil tillage influenced by the physical state of soil. *Acta Agronomica Hungarica* Vol. 45(No. 2): 155-161 p.
72. Joóri, J. I. (1997): Talajkímélő járószerkezetű Challenger traktorok a hazai mezőgazdaságban. *Gyakorlati agroforum* VIII. évf.(7. szám): 40-44. p.
73. Kádár, I. (2005) A környezetszennyezés forrásai és következményei. In Stefanovits, P. – Michéli, E. (szerk.): *A talajok jelentősége a 21. században*. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, pp. 10-14., 5 p, 177-179 p.
74. Kang, D.-J. – Endo, A. – Seo, Y.-J. (2013): Effects of soil scraping on the reclamation of tsunami-damaged paddy soil. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 16(3): 219–223. <https://doi.org/10.1007/s12892-013-0049-y>
75. Kara, T. – Williardson, L. S. (2006): Leaching Requirements to Prevent Soil Salinization. *Journal of Applied Sciences*, 6: 1481-1489. <https://doi.org/10.3923/jas.2006.1481.1489>
76. Kádár, I., & Morvai, B. (2009). Bőrgyári szennyvíziszap-terhelés hatása a tavaszi árpa B, Ba, Ni, Co, Cu elemeinek forgalmára tenyészedény-kísérletben. *Növénytermelés*, 58(2), 41–57.
77. Kátai, J. – Sándor, Z. (2011): *Alkalmazott talajtan*. Debreceni Egyetem. Elérhető: https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/8704/0010_1A_Book_02_Alkalmazott_talajtan.pdf?sequence=1
78. Kazó B. (1995): A talajok hasznosítható vízkészletének csökkenése vályog és agyagos vályog talajok esetében 33 év talajművelésének tükrében. *Agrokémia és talajtan* 44(3–4): 387–394.
79. Keveiné, B. I. – Mezösi, G. (1992): A szélerózió és szélenergia regionális különbségei az Alföldön. *Alföldi tanulmányok, MTA Regionális Kutatások Központja, Alföld Tudományos Intézet Békéscsabai Osztály, Békéscsaba* XIV. kötet 7-14. o.
80. Khudaev, I. J., Kuchkarov, J. J., Norov, B. N., Khojiev, A. A., & Kodirov, Z. Z. (2022, August). The importance, methods of land leveling and analysis of equipment for their implementation. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1076, No. 1, p. 012075). IOP Publishing.
81. Kim, B. – Chung, J. (2011). Acidification and changes of mineral nutrient availability in soils amended with elemental sulfur. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 44(1), 22-28. <https://doi.org/10.7745/kjssf.2011.44.1.022>
82. Kladvko, E. J. – Mackay, A. D. – Bradford, J. M. (1986): Earthworms as a Factor in the Reduction of Soil Crusting. *Soil Science Society of America Journal* 50(1): 191–196. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000010036x>
83. Klimes-Szmik A. (1957) A talajok főbb mechanikai és fizikai tulajdonságai. In Di Gleria I. – Klimes-Szmik A. – Dvoracek M. (szerk.): *Talajfizika és talajkolloidika*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 204-340 p.
84. Kocsis, I. – Daróczi, S. – Czinkóczky, M. – Nagy, J. (1992): Nedvességmérős penetrométer gyepen. *Természetes állattartás 2. tudományos és termelési tanácskozás, Debrecen*, 75-84 p.
85. Koolen, A. J. – Kuipers, H. (2012): *Agricultural Soil Mechanics*. Springer Science & Business Media.

86. Khosla, R. – Fleming, K. – Delgado, J. A. – Shaver, T. M. – Westfall, D. G. (2002). Use of site specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(5), 513–518.
87. Kozák P. (2006, július 3): A belvízjárás összefüggéseinek vizsgálata az Alföld délkeleti részén, a vízgazdálkodás európai elvárásainak tükrében, Doktori Értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Szeged. Elérhető: <https://doktori.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/1679/>
88. Körösparti, J. T. – János, T. – Bozan, C. (2013): Belvizes területek alternatív hasznosítási lehetőségeinek értékelése, és a belvíz tározására alkalmas területek lehatárolása Békés megyében. *XXXI. Országos Vándorgyűlés : Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXI. országos vándorgyűlés dolgozatai p. 18*. Elérhető: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/2965975> [Letöltve: 2024.12.07].
89. Körösparti J. T. – Kajári B. – Kerecsi G. – Túri N. – Pásztor L. – Bozán C. (2022): A területhasználat racionalizálásának hatása Magyarország síkvidéki területeinek belvíz-veszélyeztetettségére. *Journal of Central European Green Innovation* 10(Suppl 2): 21–37. <https://doi.org/10.33038/jcegi.3552>
90. Kreybig L. (1953) Az okszerű agrotechnika alaptényezői. In Kreyblig L. (szerk.): *Az agrotechnika tényezői és irányelvei*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 17-162 p.
91. Ladányi, Z. – Blanka, V. (2019): *Aszály és belvíz monitoring és menedzsment, valamint a kapcsolódó kockázatok a Dél-Alföldön és a Vajdaságban*. Szeged: Szegedi Tudományegyetem. Természettudományi és Informatikai Kar. Földrajzi és Földtudományi Intézet. Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék.
92. Láng, I. (2005) A biomassa-képződés és a talajadottságok. In Stefanovits, P. – Michéli, E. (szerk.): *A talajok jelentősége a 21. században*. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, pp. 10-14., 5 p, 17-22 p.
93. Li, Y. –, Zhu, A. X. –, Shi, Z. –, Liu, J. –, & Du, F. (2016). Supplemental sampling for digital soil mapping based on prediction uncertainty from both the feature domain and the spatial domain. *Geoderma*, 275, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.08.013>
94. Ligetvári, F. – Kovács, L. – Soós, A. (szerk.). (2004): *Mezőgazdasági vízgazdálkodás 2.: Vízrendezés*. Szarvas: Debreceni Agrártudományi Egyetem Mezőgazdasági Víz-és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar.
95. Lipiec, J. – Arvidsson, J. – Murer, E. (2003): Review of modelling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. *Soil and Tillage Research* 73(1): 15–29. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00096-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00096-5)
96. Lipiec, J. – Simota, C. (1994) Chapter 16 - Role of Soil and Climate Factors in Influencing Crop Responses to Soil Compaction in Central and Eastern Europe. In Soane, B. D. – van Ouwerkerk, C. (szerk.): *Developments in Agricultural Engineering*. Elsevier, 11, 365–390.
97. Ma, S. – Niu, C. – Yan, C. – Tan, H. – Xu, L. (2021): Discrete element method optimisation of a scraper to remove soil from ridges formed to cold-proof grapevines. *Biosystems Engineering* 210 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.08.014>
98. Masi, M. – De Rosa, M. – Vecchio, Y. – Bartoli, L. – Adinolfi, F. (2022): The long way to innovation adoption: insights from precision agriculture. *Agricultural and Food Economics* 10(1): 27. <https://doi.org/10.1186/s40100-022-00236-5>
99. Malone, B. P. –, Jha, S. K., Minasny, B., & – McBratney, A. B. (2016). Comparing regression-based digital soil mapping and multiple-point geostatistics for the spatial

- extrapolation of soil data. *Geoderma*, 267, 172–186. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.037>
100. Mansour, N. E., El-Sayed, A., Sabra, D. M., Nassar, S. M. A., Bakry, B. A., Abdelraouf, R. E., & Ragab, R. (2023). Water productivity of barley crop under laser land leveling technique and minimum tillage. *Water Science*, 37(1), 458-471.
101. Mc Garry, D. – Sharp, G. (2003). A Rapid, Immediate, Farmer-Usable Method of Assessing Soil Structure Condition to Support Conservation Agriculture. In: García-Torres, L., Benites, J., Martínez-Vilela, A., Holgado-Cabrera, A. (eds) Conservation Agriculture. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1143-2_45
102. Minasny, B., – & McBratney, A. B. (2016). Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.017>
103. Mulat, Y. – Kibret, K. – Bedadi, B. – & Mohammed, M. (2021). Soil quality evaluation under different land use types in kersa sub-watershed, eastern ethiopia. *Environmental Systems Research*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-021-00224-6>
104. Nagy, P. M. – Jobbágy, J. – Tuba, G. – Kovács, G. – Zsembeli, J. (2024): Effect of Scraping on Humus Content of Heavy Textured Soil Degraded by Excess Waters. *Acta Technologica Agriculturae* 27(3): 157–164. <https://doi.org/10.2478/ata-2024-0021>
105. Nagy, P. M. – Tuba, G. – Kovács, G. – Zsembeli, J. (2024): A szkrépezés hatása a domborzatra és a terméshozamra egy kötött talajú, belvízzel veszélyeztetett területen (The effect of soil scraping on topography and yield on soil with heavy texture and endangered by excess water). *Növénytermelés* 73(2):45-60. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/383976794_A_szkrepezes_hatasa_a_domborzatra_es_a_termeshozamra_egy_kotott_talaju_belvizzel-veszelyeztetett_teruletten_The_effect_of_soil_scraping_on_topography_and_yield_on_soil_with_heavy_texture_and_endanger [Letöltve: 2024.12.07].
106. Nagy, S. – Varga, Z. – Jolánkai, M. – Tóth, E. – Nagy, J. – Balogh, J. – Németh, L. – Fekete, G. – Várallyay, G. – Láng, I. – Vermes, L. – Csete, L. – Solymos, R. – Kuroli, G. – Nagy, Z. – Farkas, C. – Szentkirályi, F. – Bartha, S. – Szerdahelyi, T. – Virágh, K. – Birkás, M. – Veisz, O. – Varga-Haszonits, Z. – Czóbel, S. – Szirmai, O. – Balázs – Engloner, A. – Szentpétery, Z. – Weidinger, T. – Horváth – Pintér, K. – Csintalan, Z. – Bernáth – Gyuricza, C. – Fónagy, A. – Ábrahám, R. – Juhász, A. – Palicz, G. – Péli, E. – Polgár, Á. – Sellyei, B. – Sente, K. – Szöllösi, G. – Ujj, A. (2004) A talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata talajművelési kísérletben. In: „AGRO-21” Füzetek 2004/37.: *Agroökológia/agroökoszisztémák környezeti összefüggései és szabályozásának lehetőségei*. Budapest: „AGRO-21” Kutatási Programiroda, 217 oldal.
107. Németh, T. – Neményi, M. – Harnos, Z. (2007): *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. Csizmazia, Z. – Morschhauser, T. (szerk.): . Szeged: JATE Press-MTA TAKI.
108. Németh, T. – Stefanovits, P. – Várallyay, G. (2005) Országos Talajvédelmi Stratégia tudományos háttere. In Németh, T. (szerk.): *Talajvédelem*. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest
109. Ning, L. – Zhou, Y. – Xie, Y. – Duan, Z. – Yu, F. – Cheng, H. (2023): Ultrasensitive and colorimetric small extracellular vesicles (sEVs) analysis via dual-cycle signal tool. *J Anal Sci Technol* 14(1):. <https://doi.org/10.1186/s40543-023-00370-9>

110. Nyíri L. (1993): *Földműveléstan*. Elérhető: https://bookline.hu/product/home.action?_v=Nyiri_Laszlo_Foldmuvelestan&type=20&id=129959
111. Öztekin, T. (2013). Short-Term Effects of Land Leveling on Irrigation-Related Some Soil Properties in a Clay Loam Soil. *The Scientific World Journal*, 2013(1), 187490.
112. Page, T. – Haygarth, P. M. – Beven, K. J. – Jones, A. – Butler, T. – Keeler, C. – Freer, J. – Owens, P. N. – Wood, G. A. (2005). The spatial variability of soil phosphorus in relation to topographic indices and important source areas: Samples to assess the risks to water quality. *Journal of Environmental Quality*, 34, 2263–2277.
113. Pálfa, I. (1994): Az Alföld belvív-veszélyeztetettségi térképe. *Vízügyi közlemények* 76. évf.(3-4. sz.): 278-290 o.
114. Pálffy, B. – Fekete, I. – Barta, K. (2022): Konceptióváltás a belvízgazdálkodásban: talajtani és vízminőségi kérdések. <https://doi.org/10.1556/0088.2022.00114>
115. Parfitt, J. M. B., Timm, L. C., Reichardt, K., & Pauletto, E. A. (2014). Impacts of land leveling on lowland soil physical properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 315-326.
116. Péczeli, G. (1979): A talaj vízháztartásának néhány éghajlati sajátossága Békés megyében. *Alföldi tanulmányok, MTA Regionális Kutatások Központja, Alföld Tudományos Intézet Békéscsabai Osztály, Békéscsaba* 31-40 p.
117. Peralta, N. R. – Costa, J. L. (2013). Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99, 218–226.
118. Penetronik (2024): PENETRONIK | talajtömörtség és talajnedvesség vizsgáló készülék. Elérhető: <https://penetronik.hu/#> [Letöltve: 2024.12.12].
119. Peng, X. – Dörner, J. – Zhao, Y. – Horn, R. (2009): Shrinkage behaviour of transiently- and constantly-loaded soils and its consequences for soil moisture release. *European Journal of Soil Science* 60(4): 681–694. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01147.x>
120. Petrasovits, I. – Vajdai, I. (1982) A termőhelyi víztöbbletek termelést korlátozó hatásai. In Petrasovits, I. (szerk.): *Síkvidéki vízrendezés és gazdálkodás*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
121. Pető, Á., & Barczy, A. (2012). A Magyarországon előforduló meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolit profiljának katasztere V.: A vizsgált réti és öntéstalajok eredményei. *Tájökológiai Lapok*, 10(1), 87–114.
122. Prettl, N., Bíró, B., Nugroho, P., & Juhos, K. (2022). Labilis szén, mint a talajbiológiai aktivitás indikátora mikrobiális oltóanyagok és Ca-tartalmú talajjavító alkalmazásánál. *Journal of Central European Green Innovation*, 10(Suppl. 3), 13–25.
123. Princy, A. J. (2021): 6 Significant Benefits of Precision Farming. *Research Dive*. Elérhető: <https://www.researchdive.com/blog/6-significant-benefits-of-precision-farming> [Letöltve: 2024.12.07].
124. Raimondi, A. – Quinn, R. – Abhijith, G. R. – Becciu, G. – Ostfeld, A. (2023): Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water* 15(8): 1518. <https://doi.org/10.3390/w15081518>
125. Rakonczai, J. – Csató, S. – Mucsi, L. – Kovács, F. – Szatmári, J. (2001): Az 1999. és 2000. évi alföldi belvízelöntések kiértékelésének gyakorlati tapasztalatai. *Vízügyi Közlemények* 317–336.
126. Rátonyi, T. (1999): A talaj fizikai állapotának penetrométeres vizsgálata talajművelési tartamkísérletekben.

- 127.Reynolds, W. D. – Bowman, B. T. – Drury, C. F. – Tan, C. S. – Lu, X. (2002): Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110(1): 131–146. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00228-8)
- 128.Rosenzweig, C. – Hillel, D. (2000): SOILS AND GLOBAL CLIMATE CHANGE: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. *Soil Science* 165(1): 47.
- 129.Ruzsányi, L. (1997) A növények vízellátottsága és a befolyásoló tényezők. In Nyíri, L. (szerk.): *Talaj, növény és környezet kölcsönhatásai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 19-28 pp.
- 130.Sabahy, A., EL-Sheshny, A. R. A., Elsamra, E. A., Eid, M. M., & Essam, M. (2024). Effects of varied soil leveling methods on physical properties: a comparative analysis. *Civil Engineering Journal*, 10(11), 3672-3682.
- 131.Schmidt, E. (1929): A vízszabályozás fejlődése és jelen állása Magyarországon. Különnyomat a Vízügyi Közlemények 1929. Január-júniusi számából. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest.
- 132.Shaygan, M., & Baumgartl, T. (2022). Reclamation of salt-affected land: A review. *Soil systems*, 6(3), 61.
- 133.Sinóros-Szabó, B. – Szöllősi, I. (1999): A 3T SYSTEM alkalmazása és gyakorlati jelentősége. *Gyakorlati agrofórum* 10. évf.(7. sz.): 15-16 p.
- 134.Soane, B. D. – van Ouwerkerk, C. (1994) Soil compaction in world agriculture. In Soane, B. D. – van Ouwerkerk, C. (szerk.): *Soil compaction in crop production, Developments in Agricultural Engineering Series*. Elsevier Science, Amsterdam, 662, Vol. 11., 1-20 pp.
- 135.Sposito, G. (2024) Soil | Definition, Importance, Types, Erosion, Composition, & Facts |. In *Encyclopedia Britannica*.
- 136.Stefanovits, P. (szerk.). (1992): *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- 137.Stefanovits, P. (2005) A talajok környezeti tompítóképessége, terhelhetősége. In Stefanovits, P. – Michéli, E. (szerk.): *A talajok jelentősége a 21. században*. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, pp. 10-14., 5 p, 373-400 pp.
- 138.Szabó, I. M. – Zicsi, A. – Orlay, M. (1986) A mikroorganizmusok aktivitásának szabályozása. A talajművelési eljárások, trágyázási és növénytermesztési rendszerek célszerű kombinációival. In Stefanovits, P. – Szegi, J. (szerk.): *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 325-335 pp.
- 139.Szabolcs I. – Várallyay G. (1978): A talajok termékenységét gátló tényezők Magyarországon. *Agrokémia és talajtan* 27(1–2): 181–202.
- 140.Szesztay, K. (2000) Az Alföld vízháztartása. In Rakonczai, J. – Pálfai, I. – Boga, T. L. (szerk.): *A víz szerepe és jelentősége az Alföldön*. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba
- 141.Sziebert, J. – Nagy, L. – Zellei, L. – Varga, A. – Pannonhalmi, M. – Mártai, I. – Ficzer, A. – Rátkai, G. – Szabó, K. (2016): Víkárelhárítási kézikönyv. (L. Szlávik, Szerk.). Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest. Elérhető: <http://www.ovf.hu/hu/vizkarelharitas>
- 142.Szücs, I. (2005) A termőföld és a fenntartható mezőgazdaság. In Stefanovits, P. – Michéli, E. (szerk.): *A talajok jelentősége a 21. században*. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, 355-359 pp.
- 143.Takács, F. (1990): Nedvességmérővel kombinált penetrométerrel történő tömördőtség mérés tapasztalatai. Szakdolgozat. DATE Víz- és Környezetgazdálkodási Kar Szarvas.
- 144.Tamás J. (2001): *Precíziós mezőgazdaság - Elmélete és Gyakorlata*.
- 145.Thyll, S. – Bíró, T. (1999): A belvíz-veszélyeztetettség térképezése. *Vízügyi Közlemények* LXXXI. évf.(4. füzet): 709-718 p.

146. Thyll, S. – Fehér, F. – Madarassy, L. (1983): *Mezőgazdasági talajcsövezés*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
147. Tomar, S. S., Singh, Y. P., Naresh, R. K., Dhaliwal, S. S., Gurjar, R. S., Yadav, R., ... & Tomar, S. (2020). Impacts of laser land levelling technology on yield, water productivity, soil health and profitability under arable cropping in alluvial soil of north Madhya Pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 1889-1898.
148. Tóth, B., Makó, A., & Tóth, G. (2014). Role of soil properties in water retention characteristics of main Hungarian soil types. *Journal of Central European Agriculture*, 15(2), 137–153.
149. Tóth G. (1961) Belvízvédelem. In Zrinyi J. – László F. (szerk.): *Vízgazdálkodásunk számokban*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 73-114 pp.
150. Trimble (2024a): Grade Control for Scrapers | Trimble Civil Construction. *Trimble Civil Construction*. Elérhető: <https://heavyindustry.trimble.com/en/products/civil-construction/software> [Letöltve: 2024.12.10].
151. Trimble (2024b): Trimble Ag Software. Elérhető: <https://agriculture.trimble.com/en/products/software/trimble-agriculture-software> [Letöltve: 2024.12.10].
152. URL (2020a, június 25): Ezt hagyta maga után mostani furcsa magyarországi árhullám. *Infostart.hu*. Elérhető: <https://infostart.hu/belfold/2020/06/25/ezt-hagyta-maga-utan-mostani-furcsa-magyarorszagi-arhullam> [Letöltve: 2024.12.12].
153. URL (2020b, október 19): Árvíz, belvíz: mi lesz a vetéssel? *Mezőhír*. Elérhető: <https://mezohir.hu/2020/10/19/arviz-belviz-mi-lesz-a-vetessel/>
154. URL (2024a): Felső-Bácskai Agrolabor Kft. Elérhető: <https://www.agrolabor.hu/> [Letöltve: 2024.12.12].
155. URL (2024b): Nemzeti Cégtár » Zsadányi Malom '97. Kft. Elérhető: <https://www.nemzeticegtart.hu/zsadanyi-malom-97-kft-c1609004739.html> [Letöltve: 2024.12.10].
156. Vaderstad (2024): TopDown - Heavy multipurpose cultivator for high versatility | Vaderstad. Elérhető: <https://www.vaderstad.com/en/tillage/combo-cultivator/topdown/> [Letöltve: 2024.12.13].
157. Vajdai, I. (2010): Még mindig a belvízkárokról. *Magyar Mezőgazdaság*. 65. (3) 60–61.
158. Várallyay, G. (1989): Soil degradation processes and their control in Hungary. *Land Degradation & Development* 1(3): 171–188. <https://doi.org/10.1002/ldr.3400010302>
159. Várallyay, G. (1994): A talaj vízgazdálkodása és a környezet, Akadémiai Székhely Kibővített összefoglalója. MTA Agrártud. Oszt. Tájékoztatója, 1993. 65-72. o. Akadémiai Kiadó, Budapest.
160. Várallyay, G. (1996): Magyarország talajainak érzékenysége szerkezetromlásra és tömörödéssre. Környezet- és Tájgazdálkodási Füzetek II/1. Pszicholingva Kiadó. Szada, pp. 25-30.
161. Várallyay, G. (1997a): A talaj funkciói. *Magyar Tudomány*, XLII (12), 1414-1430. p.
162. Várallyay, G. (1997b): *A talaj vízgazdálkodása és a környezet, Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok 1997*. Blaskó, L. (szerk.): . Karcag: Debreceni Agrártudományi Egyetem Kutató Intézete.
163. Várallyay G. (1998): Multifunctional Soil Management for Sustainable Development in Hungary. *Agrokémia és talajtan* 47(1–4): 7–22.
164. Várallyay, G. (2000) Talajfolyamatok szabályozásának tudományos megalapozása. In *Székhelyek*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 1-32. o.

165. Várallyay, G. (2005) A talaj és a víz. In Stefanovits, P. – Michéli, E. (szerk.): *A talajok jelentősége a 21. században*. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, 141-146 p.
166. Várallyay G. – Szűcs L. – Rajkai K. – Zilahy P. – Murányi A. (1980): Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100 000 méretarányú térképe. *Agrokémia és talajtan* 29(1-2): 77–112.
167. Van Leeuwen B. – Mezősi G. – Tobak Z. – Szatmári J. – Barta K. (2012): Identification of inland excess water floodings using an artificial neural network. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(4): 173–180.
168. Vizzari, M. – Santaga, F. – Benincasa, P. (2019). Sentinel-2-based nitrogen VRT fertilization in wheat: Comparison between traditional and simple precision practices. *Agronomy*, 9(5), 278.
169. Vízi B. D. (2019): Belvízi elöntések környezetbiztonsági vonatkozásai. *Műszaki Katonai Közlöny* 29(4): 5–20. <https://doi.org/10.32562/mkk.2019.4.1>
170. Wang, Y. – Wang, J. – Wang, R. – Liu, B. – Li, Y. (2023): TBM penetration rate prediction ensemble model based on full-scale linear cutting test. *Tunnelling and Underground Space Technology* 131 104794. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104794>
171. Wibaux, F. (2024): UNESCO raises global alarm on the rapid degradation of soils | UNESCO. *UNESCO*. Elérhető: <https://www.unesco.org/en/articles/unesco-raises-global-alarm-rapid-degradation-soils> [Letöltve: 2024.12.09].
172. Yang, Y. – Yi, N.-E. – Zhang, X. (2024): Study on the key factors affecting the performance of shield scrapers in gravelly soil strata. *Alexandria Engineering Journal* 104 434–450. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.07.116>
173. Yi, N. E. (2017): Modeling the cutting processes of shield machine cutters in difficult ground, PhD thesis, Central South University, Changsha, China.
174. Zhan, M. – Ding, Y. – Huang, S. – Liu, Y. – Xiao, J. – Yu, H. – Lu, L. – Wang, X. (2023): Lysyl oxidase-like 3 restrains mitochondrial ferroptosis to promote liver cancer chemoresistance by stabilizing dihydroorotate dehydrogenase. *Nat Commun* 14(1):. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38753-6>
175. Zhou, X.-P. – Zhai, S.-F. (2018): Estimation of the cutterhead torque for earth pressure balance TBM under mixed-face conditions. *Tunnelling and Underground Space Technology* 74 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.01.025>
176. Zsembeli, J.: 2006. Fizikai és biológiai talajállapot javítás. In Birkás, M. (szerk.): *Földművelés és földhasználat*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 284-287 pp.



Nyilvántartási szám: DEENK/14/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Nagy Pál Máté
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10095841

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. Tuba, G., **Nagy, P. M.**, Kovács, G., Sinka, L., Rivera, G. A., Zsembeli, J.: A redukált talajművelési rendszer alkalmazása a Nagykunság kötött talajain.
In: 75 éves a Karcagi Kutatóintézet 1947-2022. Szerk.: Zsembeli József, Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, 17-25, 2022. ISBN: 9789636230135

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

2. **Nagy, P. M.**, Tuba, G., Kovács, G., Zsembeli, J.: A szkréperezés hatása a domborzatra és a terméshozamra egy kötött talajú, belvízzel veszélyeztetett területen.
Növénytermelés. 2024 (2), 45-60, 2024. ISSN: 0546-8191.
3. Tuba, G., Kovács, G., **Nagy, P. M.**, Zsembeli, J.: A dudarit sókimosódást elősegítő hatásának vizsgálata tenyészedényes kísérletben.
Acta agron. Óvár. 64 (1), 81-94, 2023. ISSN: 1416-647X.
4. Tuba, G., Gulybán, O., Kovács, G., **Nagy, P. M.**, Sinka, L., Zsembeli, J.: Az évenként végzett talajlazításra alapozott művelési rendszer értékelése a talaj penetrációs ellenállása alapján.
Növénytermelés. 71 (1), 81-98, 2022. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

5. **Nagy, P. M.**, Jobbágy, J., Tuba, G., Kovács, G., Zsembeli, J.: Effect of Scraping on Humus Content of Heavy Textured Soil Degraded by Excess Waters.
Acta Technol. Agric. 27 (3), 157-164, 2024. ISSN: 1335-2555.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/ata-2024-0021>
IF: 1.3 (2023)

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

6. Tuba, G., **Nagy, P. M.**, Zsembeli, J.: A talaj tömörödésének vizsgálata penetrométerekkel.
In: Talajvédelem. Különszám. Talajhasználat - funkcióképesség. Szerk.: Koós Sándor, Talajvédelmi Alapítvány, Budapest, 215-227, 2020, (ISSN 1216-9560)





Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

7. **Nagy, P. M.**, Tuba, G., Kovács, G., Zsembeli, J.: Comparison of the efficiency of different tools used for stubble cultivation on a heavy textured soil.
In: TECHNOFORUM 2023. New Trends in Machines and Technologies for Biosystems : Scientific papers = Nové trendy v technike a technológiách pre biosystémy 2023 : Zborník vedeckých prác. Szerk.: Jobbágy Ján, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra, 197-203, 2023. ISBN: 9788055226033

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

8. Tuba, G., Zsembeli, J., **Nagy, P. M.**: A talaj tömörödésének vizsgálata penetrométerekkel.
In: Talajhasználat - funkcióképesség. Szerk.: Bakacsi Zsófia, Kovács Zsófia, Koós Sándor, Magyar Talajtani Társaság, Budapest, 83, 2018.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

9. Zsembeli, J., **Nagy, P. M.**, Tuba, G.: Effect of extreme water loads on the penetration resistance of the soil surface.
In: 17th Alps-Adria Scientific Workshop : Abstract book. Ed.: Zoltán Kende, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 82-83, 2018. ISBN: 9789632697345

További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (4)

10. Kovács, G., Tuba, G., Sinka, L., **Nagy, P. M.**, Rivera, G. A., Zsembeli, J.: A klímaváltozás lokális hatásainak értékelése a szélsőséges időjárási helyzetek tükrében.
In: 75 éves a Karcagi Kutatóintézet 1947-2022. Szerk.: Zsembeli József, Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, 27-35, 2022. ISBN: 9789636230135
11. Zsembeli, J., Kovács, G., Sinka, L., Rivera, G. A., **Nagy, P. M.**, Tuba, G.: A liziméteres mérések kiterjesztése a másodlagos szikesedés kutatásában.
In: 75 éves a Karcagi Kutatóintézet 1947-2022. Szerk.: Zsembeli József, Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, 59-72, 2022. ISBN: 9789636230135
12. Sinka, L., **Nagy, P. M.**, Kovács, G., Tuba, G., Rivera, G. A., Zsembeli, J.: A másodlagos szikesedés okozta növényi stressz mérséklési lehetőségei.
In: 75 éves a Karcagi Kutatóintézet 1947-2022. Szerk.: Zsembeli József, Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, 37-46, 2022. ISBN: 9789636230135





13. Zsembeli, J., Kovács, G., Sinka, L., Rivera, G. A., **Nagy, P. M.**, Tuba, G.: Talajjavító és talajkondicionáló szerek vizsgálata tenyészedényes kísérletben.
In: A talajtan és a kapcsolódó tudományok időszerű kérdései : Kátai János professzor 70. születésnapja tiszteletére. Szerk.: Balláné Kovács Andrea, Tállai Magdolna, Kocsisné Demjén Ágnes, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 306-311, 2021. ISBN: 9789633189368

Idegen nyelvű, hazai könyvrészletek (1)

14. Rivera, G. A., **Nagy, P. M.**, Tuba, G., Kovács, G., Sinka, L., Zsembeli, J.: Effect of soil conditioning on the yields of three vegetable crops under irrigation with salty water.
In: 75 éves a Karcagi Kutatóintézet 1947-2022. Szerk.: Zsembeli József, Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, 47-57, 2022. ISBN: 9789636230135

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

15. Nyaboke, C., Tuba, G., Kovács, G., Sinka, L., **Nagy, P. M.**, Rivera, G. A., Zsembeli, J.:
Environmental and economic consciousness of the farmers of Jász-Nagykun-Szolnok county in soil management based on tala method.
Hung. Agric. Res. 31 (3-4), 12-15, 2021. ISSN: 1216-4526.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

16. Tuba, G., Kovács, G., Sinka, L., **Nagy, P. M.**, Rivera, G. A., Bajusová, Z., Findura, P., Zsembeli, J.: Effect of Soil Conditioning on Soil Penetration Resistance and Traction Power Demand of Ploughing.
Agriculture. 67 (3), 113-123, 2021. ISSN: 0551-3677.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/agri-2021-0011>

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

17. Zsembeli, J., **Nagy, P. M.**, Tuba, G., Kovács, G.: Nedvességmegőrző talajművelési eljárások kutatási eredményei.
In: Növény és környezet : A debreceni tartamkísérletek 40 éve. Szerk.: Kakuszi-Széles Adrienn, Debreceni Egyetem-MÉK Fölhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen, 73, 2023. ISBN: 9789634905400





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

18. Zsembeli, J., Tuba, G., Kovács, G., Sinka, L., **Nagy, P. M.**, Rivera, G. A., Nyaboke, C.: Soil related environmental considerations of farmers in the Great Hungarian Plain.
In: Trends and challenges in soil-crop management : Bökk of abstracts. Eds.: Vladimír Smutny, Vojtech Lukas, Mendel University, Brno, 18, 2022. ISBN: 9788075098474

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 1,3

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
1,3**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2025.01.17.



TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

<i>1. táblázat:</i> A víz talajba jutásának folyamata és befolyásolása talajműveléssel (Nyíri 1993) nyomán	15
<i>14. táblázat:</i> Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után.....	58
<i>15. táblázat</i> A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának Arany-féle kötöttségére a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint	59
<i>16. táblázat:</i> A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának Arany-féle kötöttségére a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint	60
<i>17. táblázat:</i> A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának Arany-féle kötöttségére a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint	62
<i>18. táblázat:</i> Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának kötöttség értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után.....	62
<i>19. táblázat:</i> Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának kötöttség értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után.....	63
<i>25. táblázat:</i> Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának összes vízzoldható sótartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után.....	68
<i>26. táblázat:</i> Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának összes vízzoldható sótartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után.....	69
<i>27. táblázat:</i> A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-es tábla talajának szénsavas mérsz tartalma a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint	70
<i>29. táblázat:</i> A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának szénsavas mérsz tartalma a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint	73
<i>34. táblázat:</i> A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint.....	77
<i>35. táblázat:</i> A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának pH értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriák szerint.....	78
<i>36. táblázat:</i> Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának humusztartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után.....	78
<i>37. táblázat:</i> Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának humusztartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után.....	79
<i>38. táblázat:</i> Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának humusztartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után.....	79

39. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának foszfortartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként	81
40. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának foszfortartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként	82
45. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T8-as tábla talajának káliumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként	86
46. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának káliumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként	88
48. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának káliumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után	89
49. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának káliumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után	90
54. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának nátriumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után	96
55. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla talajának nátriumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után	96
56. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának nátriumtartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után	97
58. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának magnéziumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként	100
59. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának magnéziumtartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként	101
64. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T9-es tábla talajának kén-tartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként	105
65. táblázat: A párosított t-próba eredménytáblázata a T10-es tábla talajának kén-tartalmára a földtömeg-elosztás előtt és után magassági kategóriánként	107
66. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának kén-tartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után	107
68. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla talajának kén-tartalom értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után	108
69. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla talajának penetrációs ellenállás értékeire a földtömeg-elosztás előtt és után a feltalajt vizsgálva	111

72. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a T9-tábla terméshozamaira földtömeg-elosztás előtt és után	116
74. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T8-as tábla hozamára a földtömeg-elosztás előtt és után	118
75. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T9-es tábla hozamára a földtömeg-elosztás előtt és után	119
76. táblázat: Az egytényezős varianciaanalízis eredménytáblázata a teljes T10-es tábla hozamára a földtömeg-elosztás előtt és után	119

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Magyarország belvízi veszélyeztetettségi térképe (Forrás: www.ovf.hu).....	18
2. ábra: A talajnyeső méretparaméterei (a) és szerkezeti felépítése (b), (Forrás: Yang et al. 2024).....	30
14. ábra: A T9-es tábla talajának pH (KCL) értékei a földtömeg-elosztás előtt és után (n=3, 10, 2).....	54
15. ábra: A T10-es tábla talajának pH (KCL) értékei a földtömeg-elosztás előtt és után (n=8, 6, 7).....	56
16. ábra: A T8-as tábla talajának Arany-féle kötöttsége a földtömeg-elosztás előtt és után (n=3, 4, 6, 6).....	58
17. ábra: A T9-es tábla talajának Arany-féle kötöttsége a földtömeg-elosztás előtt és után	60
19. ábra: A T8-as tábla talajának összes vízoldható sótartalma a földtömeg-elosztás előtt és után	64
24. ábra: A T10-es tábla talajának szénsavas mésztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után.....	72
25. ábra: A T8-as tábla talajának humusztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után ..	75
26. ábra: A T9-es tábla talajának humusztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után ..	76
27. ábra: A T10-es tábla talajának humusztartalma a földtömeg-elosztás előtt és után ..	77
28. ábra: A T8-as tábla talajának foszfortartalma (P ₂ O ₅) a földtömeg-elosztás előtt és után.....	80
29. ábra: A T9-es tábla talajának foszfortartalma (P ₂ O ₅) a földtömeg-elosztás előtt és után.....	81
34. ábra: A T8-as tábla talajának nátriumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után ..	91
35. ábra: A T9-es tábla talajának nátriumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után ..	92
36. ábra: T10-es tábla talajának nátriumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után	94
37. ábra: A T8-as tábla talajának magnéziumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után	97
38. ábra: A T9-es tábla talajának magnéziumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után	99
39. ábra: A T10-es tábla talajának magnéziumtartalma a földtömeg-elosztás előtt és után	100

44. <i>ábra</i> : A penetrációs ellenállás átlagos változása a T8-as tábla 103-103,5 m-es magassági kategóriájának 6 pontján a szkrépezés előtt (2020) és után (2021) mérve	109
45. <i>ábra</i> : A penetrációs ellenállás átlagos változása a T8-as tábla 103,5-104 m-es magassági kategóriájának 6 pontján a szkrépezés előtt (2020) és után (2021) mérve	110
46. <i>ábra</i> : A penetrációs ellenállás átlagos változása a T8-as tábla 104-104,5 m-es magassági kategóriájának 6 pontján a szkrépezés előtt (2020) és után (2021) mérve	110
47. <i>ábra</i> : A T8-as tábla hozamtérképei, 2020-2021	112
48. <i>ábra</i> : A T8-as táblán termesztett kukorica hozama a földtömeg-elosztás előtt és után	113
49. <i>ábra</i> : A T9-es tábla hozamtérképei, 2020-2021	114

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Dr. habil. Zsembeli József tudományos tanácsadónak szakmai útmutatásért, illetve köszönet illeti a Karcagi Kutatóintézet volt és jelenlegi munkatársait, többek között Dr. Kovács Györgyit és Tuba Gézát a kísérleteim kivitelezése, illetve a mérésekhez és a disszertáció megírásához nyújtott önzetlen segítségükért.

Köszönettel tartozom a Zsadányi Malom 97 Kft., az Axiál Kft. és a KITE Zrt. vezetőinek a kutatómunkám hátterének biztosításáért.

Hálásan köszönöm a családom önzetlen támogatását és szeretetét.

NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2025. 11. 11.

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Nagy Pál Máté** doktorjelölt 2020-2024 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2025. 11. 11.

.....

a témavezető aláírása