

Szent István Egyetem

A klíma-szenzitív és a klíma-védő művelés megfelelése különböző talajokon

Doktori (PhD) értekezés

Dekemati Igor

Gödöllő

2020

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Dr. Helyes Lajos
intézetigazgató, egyetemi tanár, MTA doktora
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Növénytermesztéstudományi Intézet

Témavezető: Dr. Birkás Márta
egyetemi tanár, MTA doktora
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Növénytermesztéstudományi Intézet

.....
Dr. Helyes Lajos
iskolavezető

.....
Dr. Birkás Márta
témavezető

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	5
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1 Az alkalmazkodó/kímélő talajművelés előzményei	7
2.2 A talajművelési célok változása.....	8
2.3 A talajművelési irányzatok és rendszerek világszerte	9
2.3.1. <i>A hagyományos és alkalmazkodó talajművelés összehasonlítása</i>	9
2.3.2. <i>A horvátországi és magyarországi talajművelés összevetése.....</i>	12
2.4 A talajművelés hatása a környezetre és a klíma eredetű károokra.....	14
2.4.1. <i>A klímátényezők észlelhető jelenségei a Pannon térségben</i>	16
2.4.2. <i>A talajok klíma általi veszélyeztetettsége</i>	17
2.4.3. <i>A klímaváltozás hatása a növénytermesztésre.....</i>	20
2.4.4. <i>A klímakárok csökkentése.....</i>	24
2.5 A talajtakarás szerepe a klímakárok elleni védelemben	26
2.5.1. <i>A takarás hatása a talaj nedvesség- és hőviszonyaira</i>	26
2.5.2. <i>A takarás hatása a talaj fizikai állapotára</i>	30
2.5.3. <i>A takarás hatása a földigiliszták tevékenységére</i>	35
2.5.4. <i>A klímakár-csökkentés talajművelési lehetőségei.....</i>	38
2.6 A szakirodalmi áttekintés fontosabb megállapításai	39
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	41
3.1 A kutatómunka körülményei	41
3.1.1. <i>A lukácsi gazdaság földrajzi fekvése, valamint éghajlati- és talajviszonyai</i>	41
3.1.2. <i>A józsefmajori Kísérleti- és Tangazdáság földrajzi fekvése, éghajlati és talajviszonyai</i> 42	
3.2 A talajművelés kísérletek bemutatása	43
3.2.1. <i>A lukácsi művelési kísérlet.....</i>	43
3.2.2. <i>A józsefmajori tartamkísérlet</i>	45
3.3 A kutatás módszerei.....	47
3.3.1. <i>Talajállapot vizsgálatok</i>	47
3.3.2. <i>A felszínvédelem értékelése a talajszerkezet és a földgiliszta egyedszám alapján</i>	49
3.3.3. <i>A művelési rendszerek klímakár enyhítő hatásának értékelése</i>	50
3.3.4. <i>Statisztikai elemzés</i>	51
4. EREDMÉNYEK	52
4.1 A csapadékviszonyok és a talajállapot vizsgálatának eredményei	52
4.1.1. <i>Csapadékviszonyok a vizsgálatok éveiben.....</i>	52
4.1.2. <i>A lazult-réteg mélység értékelése a talajjellenállás adatok alapján</i>	54

4.1.3. <i>A talajnedvesség alakulása szélsőséges csapadékviszonyok esetén</i>	63
4.2 A takart és takaratlan felszín hatása a talaj kitettségére	70
4.2.1. <i>A talajfelszín borítottsága</i>	70
4.2.2. <i>Agronómiai szerkezet</i>	74
4.2.3. <i>Talajnedvesség tartalom</i>	85
4.2.4. <i>A felszínvédelem értékelése</i>	87
4.3 A felszíntakarás, a morzsa arány és a földigiliszta egyedszám összefüggései	88
4.4 Talajművelési rendszerek értékelése eltérő csapadékviszonyok esetén	100
4.4.1. <i>A szántásos rendszer megfelelősége a két eltérő talajon</i>	100
4.4.2. <i>A lazító-porhanyító-mulcshagyó művelések megfelelősége</i>	103
4.5 Új tudományos eredmények	111
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	112
6. ÖSSZEFOGLALÁS	115
7. SUMMARY	117
8. MELLÉKLETEK	119
8.1 M1. Irodalomjegyzék	119
8.2 M2. A statisztikai értékelések táblázatai és grafikonjai a dolgozatban	150
8.3 M3. Táblázatok és ábrák	157
8.4 M4. A kísérletek bemutató fényképek	226
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	228

Jelölések és rövidítések jegyzéke

EEA – European Environment Agency

EU – European Union

FAO – Food and Agricultural Organization

Gt – gigatonna

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

JRC – Joint Research Centre

KSH – Központi Statisztikai Hivatal

MEA – Millennium Ecosystem Assessment (Milléniumi Ökoszisztéma Felmérés)

OMSZ – Országos Meteorológiai Szolgálat

mlrd. – milliárd

ppm – part per million (az egész milliomod része)

T- tárcsás kezelés

SK – sekély kultivátoros kezelés

DV – direktvetés

K – kultivátoros kezelés

SZ – szántás

L – lazításos kezelés

JM – Józsefmajor

1. BEVEZETÉS

A Világbank adatai szerint a Föld népessége fokozatosan növekszik, napjainkra elérte a 7,594 milliárd főt (**Világbank, 2018**). Az új, alternatív megoldások ellenére az élelmiszer-előállítás 97%-a még mindig a talajhoz köthető (**Bašić, 2013**).

A világon az egy főre jutó termőterület 0,192 hektár és ez a szám évről évre csökken (**Világbank, 2016**). A termőterület csökkenésének több oka van. A legfontosabbak ezek közül a klímakárok és az éghajlatváltozás negatív hatásai a növény-talaj kapcsolatra. Az éghajlatváltozás következményei többek között az átlaghőmérséklet emelkedése, az időjárási anomáliák gyakoribbá válása, a növekvő evapotranszpiráció, és a csapadékeloszlás egyenetlensége (**Pant, 2009**). A klímamodellek szerint a következő évtizedekben Európában, így térségünkben is, sok csapadékkal jellemezhető enyhe telekre, illetve extrém száraz, meleg nyarakra és szélsőséges időjárási jelenségekre lehet számítani (**Jug et al., 2015**). Az időjárási tényezők kedvezőtlen hatásait a talajok minőségbeli hiányosságai súlyosbítják. Európai viszonylatban 33 millió hektár szántóterület erősen degradált (**Bogunović et al., 2016**).

A talajművelés alapvető célkitűzései az 1970-es évek óta háromszor változtak. Előbb a termés maximalizálása volt a cél, amelyet a növény igényeinek maradéktalan kielégítésével értek el. Később, 1970 és 2000 között a lerontott talajok minőségének javítása és fenntartása élvezett elsőbbséget. Az ezredforduló után új törekvés, a talajokat sújtó klímakárokat enyhítő, alkalmazkodó talajművelés kapott nagyobb figyelmet, amely a kutatásoknak köszönhetően még csak most éli virágkorát (**Birkás, 2015a**).

A klímaszélsőségek növekedése nemcsak a kutatók által kidolgozott klímamodellekben létezik, hanem hatása a mezőgazdasági termelésben is folyamatosan érzékelhető. A klímakárok, úgy mint az eső-stressz, a jégverés, a hő-stressz, az aszály egyre inkább hatással vannak a talaj állapotára, közvetve a minőségére, ezáltal az agrártermelés gazdaságosságára.

Növekvő jelentősége van a látásmódbeli és módszerbeli alkalmazkodásnak, mivel a szélsőséges klíma révén az elmúlt évek folyamán olyan károk keletkeztek, amelyeket okszerű, klímakár enyhítő talajműveléssel el lehetett volna elkerülni.

Magyarországon az utóbbi 15 évben kapott nagyobb figyelmet a kímélő művelés alkalmazása – talajnedvességhez és talajállapothoz igazodó, csökkentett menetszámú eljárások (**Birkás, 2015a**), – ugyanakkor **Jug et al. (2005)** szerint Horvátországban még mindig a hagyományos, klímakár-csökkentésre alkalmatlan művelési technológiák élveznek elsőbbséget. Mivel Horvátországban, Szlavóniában születtem, ahol a mezőgazdaság az egyik fő megélhetési tevékenység, szükségesnek láttam a józsefmajorihoz hasonló kísérletek

beállítását. A lukácsi kísérlet eredményeit, szülőföldemnek adózva, előbb szerepeltettem, mint az új hazámban elérteket.

A fent említett okokkal összefüggésben a hagyományos és az alkalmazkodó művelési rendszereket összevető vizsgálatok végzését tartom célravezetőnek. Ennek megfelelően a kutatómunka célkitűzései a következők:

- az alkalmazkodó és a hagyományos művelés talajra gyakorolt hatásainak összevetése néhány talajállapot jellemző alapján (talajjellenállás, talajnedvesség-tartalom, felszín borítottság, agronómiai szerkezet és földigiliszta egyedszám), két térségben (glejes erdőtalaj - Luvic Stagnosol [Siltic] Horvátországban, csernozjom talaj - Endocalcic Chernozems [Loamic] Magyarországon),
- takart és takaratlan felszín talajra gyakorolt hatásának vizsgálata (talajjellenállás, talajnedvesség 0-10 cm rétegben, agronómiai szerkezet, földigiliszta egyedszám) a kitettség alapján
- a szántásos és a mulcshagyó művelések megfelelésének értékelése szélsőséges években (a károkozás csökkentése és a termesztés biztonság megtartása érdekében)
- klímakár-csökkentésre alkalmas talajművelési rendszerek értékelése, rangsorolása megfelelőségük alapján.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Az alkalmazkodó/kímélő talajművelés előzményei

A mezőgazdaságra, valamint a talajművelés fejlesztésére a történelem során több befolyásoló tényező hatott, mint pl. a világ népessége, az éghajlatváltozás, a háborús idők és a mezőgazdasági gépesítésének folyamatos fejlesztése. A fejlett társadalom urbanizációja az ekével előállított élelmiszer többleten alapult, és így az évezredek során a talajművelésnek a szántás lett az alapja (**Lal et al., 2007**). Ennek következtében, a szántás, mint nélkülözhetetlen elem a mezőgazdaságban nagyon fontos szerepet kapott.

Az Egyesült Államokban 1950-es évektől kezdve fokozatosan tértek át az ekék alkalmazásáról a kímélő talajművelési módokra, valamint a direktvetésre (**Carter és Rennie, 1982; Derpsch et al., 1986**). Több nemzetközi publikációban olvasható a „conservation agriculture” és „conservation tillage” fogalom, amely megközelítőleg ugyanaz, mint nálunk az alkalmazkodó-, kímélő talajművelés. Több szerző is részletesen leírta, hogy a mulcshagyó, vízmegőrző, kevesebb bolygatású, csökkentett menetszámú, sávos talajművelési mód, valamint a direktvetés tartoznak e fogalomhoz (**Hobbs, 2007; Palm et al., 2014; Busari et al., 2015**). Az alkalmazkodó-, kímélő talajművelés elfogadása, elsősorban Észak- és Dél Amerikában, valamint Ausztráliában és Ázsiában történt. Napjainkban, a pozitív sajátosságok okán Európában és Afrikában is támogatják a használatát, s egyre nagyobb területen alkalmazzák. Az alkalmazkodó művelés szinte minden kontinensen, eltérő termőhelyen terjedt, eddig összesen 157 millió hektáron (**Kassam et al., 2015**).

Az 1970-es évek óta az új technológiák újradefiniálják a talaj művelését, a modern, nagyméretű gépekkel a művelést egybevonták a vetéssel, a mechanikai művelést gyakran herbicidek helyettesítették (**Lal et al., 2007**).

Hazai kutatók szerint az alkalmazkodó-kímélő talajművelési módoknak több környezetvédelmi előnyt kell nyújtaniuk úgy, mint talaj- és vízvédelem, tájvédelem, vízpangás megelőzés, valamint szárazság-kár enyhítés (**Kertész és Madarász, 2014; Birkás et al., 2015b**). A külföldi talajművelési kutatások is befolyásolták a hazai kutatásokat és új értékelési nézőpontokkal bővítették (**Birkás et al., 2017b**). Az 1990-es években a művelési kultúra visszaesett, emiatt több kár sújtotta a talajokat, ennek kihatásai most javításra szorulnak (**Birkás et al., 2018b**).

A horvátországi talajművelés fejlődését, a politikai helyzet, valamint különösen a délszláv háború rendítette meg. Jelenleg, a növénytermesztés több mint 90%-a a hagyományos talajművelésen alapul (**Bogunović et al., 2017**). Az Európai Unióhoz való csatlakozás nagyobb fejlesztési lehetőségeket, szélesebb gépesítési választékot és szigorúbb szabályokat biztosított.

2.2 A talajművelési célok változása

Boone (1988) szerint a talajművelés olyan talajon végzett beavatkozás, amely szükséges a növénytermesztésben, pontosabban, olyan szántóföldi eljárás, amelynek hatása van a talaj szerkezetére és a biogeokémiai tulajdonságaira (**Gao et al., 2017**). **Lal (1991)** fontosnak tartotta a talaj tulajdonságait, mivel azok befolyásolják a talajművelés intenzitását, gyakoriságát és típusát. Az 1930-as évek elején az Amerikai Egyesült Államok akkori elnöke, Franklin D. Rooseveltt így fogalmazott: „*Az a nemzet, amelyik elpusztítja a termőföldet, saját magát pusztítja el*” (**Powlson et al., 2011**).

A talajművelési célok két kategóriába sorolhatók, rövid és a hosszú távra szólóakba. Rövid távú célokhoz tartozik a talaj hőmérsékletének és nedvességtartalmának optimalizálása, kedvező feltételek létrehozása a mag csírázásához, a gyökér és növény fejlődéséhez, továbbá alacsony energiaigény és a gyom kompetíció minimalizálása. Hosszú távúhoz sorolhatóak a talaj termékenységének és a vízkészletek fenntartása (**Aina et al., 1991**). **Balesdent et al. (2000)** szerint talajművelésnek két fő célja van, egyrészt a talaj szerkezetét magágy állapotba hozni, másrészt a növényi maradványokat és a gyomokat a talajba keverni. **Narcisov (1982)** szerint a talajművelést nem kell mellőzni, hanem tökélesíteni, hatékonyabbá és olcsóbbá kell tenni. **Jóri (2016)** szerint a talajállapotot úgy kell kialakítani, hogy a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai kedvezőek legyenek kultúrnövény számára, ugyanakkor **Várallyay (2013)** a talajok vízbefogadó- és vízvisszatartó képességét fontos indikátornak emeli ki.

Az elmúlt évtizedekben a talajművelés alapvető céljai háromszor is átalakultak. Az utolsó tizenöt évben a klímakár csökkentő talajművelés kapott nagyobb figyelmet, amelynek fő célja a jó talajkondíció fenntartása vagy létrehozása kevesebb energia felhasználásával, a menetszám csökkentése és a szélsőséges klíma hatásának enyhítése (**Birkás et al., 2004; Birkás, 2015b; Kalmár, 2015**).

2.3 A talajművelési irányzatok és rendszerek világszerte

2.3.1. A hagyományos és alkalmazkodó talajművelés összehasonlítása

A talajművelést több szempontból is vizsgálhatjuk. Kiindulva a talajművelés alapvető céljából, az összehasonlítást elvégezhetjük a talajállapot, a növény, a gépesítés, a gazdasági, a klímahatás, valamint a környezet szempontjából.

A *talajvédő művelés* definíció alatt olyan rendszereket értünk, amelyeknél a növényi maradványok minimum 30%-a a következő vetés után is a talaj felszínén található. Ellenben a *hagyományos művelés* esetén a következő vetésnél kevesebb mint 15% tarlómaradvány borítja a felszint, továbbá vetésig több menetes folyamat zajlik (CTIC, 2017). A hagyományos talajművelést eke használata mellett, fekete és tarlómaradvány mentes felszín jellemzi. Ezen felül törekednek a növény vélt talajállapot igényét elérni, gyakran több menettel (Zimmer et al., 2002; Birkás, 2006a; Bottlik, 2016). Baker et al. (2006) a csökkentett talajműveléshez sorol minden olyan rendszert, amelynek az alappillére a minimális és racionális beavatkozás vagy menet elhagyás, továbbá a talaj-klímaérzékenységének enyhítése.

Európában a talajdegradáció az elmúlt években jelentős környezeti kérdéssé vált, sőt néhány régió kiemelten érzékenyebb az átlagosnál. Az EU-ban a legtermékenyebb talajokon, körülbelül 2 millió hektáron (10%) figyelhetők meg a termelékenység csökkenésének első jelei. Ennek következtében, globális becslések alapján, a mezőgazdasági termelés 7-12%-án gazdasági veszteségek keletkezhetnek (Cherlet et al., 2013).

A szántóföldi növénytermesztés jelentősen befolyásolja a talaj nedvességét a vegetációs időszakban, emiatt olyan művelési rendszer alkalmazása kívánatos, amely elősegíti a talajnedvesség megtartását és kedvező hasznosulását. Ezzel összhangban Soane et al. (2012) a védő művelés gazdasági és környezeti előnyeire (lefolys és erózió csökkentés, szervesanyag gyarapítás) irányították a figyelmet. A korlátozott európai terjedés ellenére (Basch et al., 2008), világszerte széles körben, így Dél-Amerikában a teljes művelt terület 70%-án tértek át a hagyományosról a no-till rendszerre (Derpsch és Friedrich, 2009).

A hagyományos talajművelési rendszer eszköze az eke, jellemzője a felszín teljes aláfordítása (Košutić et al. 2001) és a több menetes magágykészítés (Filipović et al., 2006). Ezenkívül, az egyik leginkább idő- és energiaigényes, drága, lassú és ökológiai szempontból kedvezőtlen a környezetre (Žugec et al., 2000; Grubor et al., 2015). A klímakár enyhítő talajművelést a csökkentett menetszám (Birkás et al. 2008a; Kisić et al. 2010), kisebb

talajbolygatás (Varsa et al. 1997), valamint kultivátor-kombinátor- és lazító munkaeszköz igény jellemzi (Weise és Bourarach 1999; Filipović et al., 2006).

A talajszerkezet az egyik legfontosabb olyan tulajdonság, amely befolyásolja a növénytermesztést, közvetlenül meghatározza a gyökérfejlődés mélységét, a talajban tárolható víz mennyiségét, valamint hatása van a levegő, víz és a talajlakó élőlények mozgására is (Rabot et al., 2018).

Pekrun et al. (2003) szerint a talajművelés intenzitása megváltoztatja a talaj fizikai állapotát, egyes kémiai tulajdonságait, ezáltal a növény növekedését. A hagyományos művelés számos esetben súlyos talajdegradációhoz vezetett, amely kihatott a környezetre és a biodiverzitásra (Pagliai, 2002; Bašić et al., 2004; Morris et al., 2010; Baruta et al., 2011; Gao et al., 2016). A tápanyagok érvényesülése mellett, a művelés befolyásolja a talaj szerkezetét (Madari et al., 2005; Dal Ferro et al., 2014), benne a makropórus arány növekedését, ezáltal a talaj szerves szénttartalmát (Moitinho et al., 2015).

Jug et al. (2001), továbbá Birkás et al. (2002), Bai et al. (2018) a no-till rendszer alkalmazásával nem csak fizikai változásokat, hanem a talaj szervesanyag növekedését is tapasztalták. Hamza és Anderson (2005) arról számoltak be, hogy a no-till rendszer a kedvező szerkezet, a biológiai aktivitás és az alacsonyabb talajsűrűség révén a talajminőség javulásához vezetett. A talajminőség javulása pozitívan befolyásolta a víztartó és vízáteresztő képességet, valamint a vízfelhasználás hatékonyságát (Pittelkow et al., 2015).

A mikromorfológiai eredmények alapján a hagyományos művelés nagyobb mértékben eredményezett talajkérgesedést, amely talajporozitás- és szervesanyag tartalom csökkenéshez vezetett (Pagliai et al., 2004). Pires et al. (2017) hasonló eredményeket kaptak, azaz a hagyományos művelés csökkentette a talajstabilitást, ezáltal a talajporozitást is. Hazai kutatók, Bottlik et al. (2013), Birkás et al. (2017_b) arról számoltak be, hogy a régióbeli talajokban az ülepedés tipikus jelenséggé vált, ugyanakkor a jelenség erősen függött a talaj minőségétől.

Coote és Malcolm-McGovern (1989) eredményei arra utalnak, hogy a talajművelés befolyásolja a talaj mikroklímáját, ezen keresztül a mikrobiális aktivitást. Összefüggést tapasztaltak a takart és a takaratlan talaj ülepedését illetően. No-till kísérletekben 0-3 °C közötti alacsonyabb talajhőmérsékletet tapasztaltak. A hőmérséklet csökkenése bizonyos tartományig növeli a talajbiológiai aktivitását mindaddig, amíg a talaj nem lesz telített. Ugyanakkor a hagyományos műveléshez képest a no-till talajokban több a nedvesség, amely nem feltétlenül jár arányos termés hozam növekedéssel (Mielke et al., 1986).

Észak-kelet Spanyolországban, az Ebro völgyében különböző rövidtávú vizsgálatok azt mutatták, hogy a klímakár csökkentő módon művelt talaj több vizet tárolt, mint a hagyományos

(Moret et al., 2006). Dwyer et al. (1996) azt feltételezték, hogy a no-till kezelés felső 50 cm rétegében a nagyobb nedvesség csökkenti a gyökérnövekedést a hagyományoshoz képest. Ellenben azt tapasztalták, hogy a kukorica gyökerezési mélysége homokos vályog talajban növekedett, a nedvességtartalom pedig jelentősen csökkent. Ugyanakkor Munoz-Romero et al. (2012), a csicszeriborsó gyökérfejlődését kedvezőbbnek találták hagyományos talajművelésben.

A termést a talajművelési rendszer mellett a talajminőség is befolyásolja. Kladviko et al. (1986) a no-till rendszer termésnövelő hatását gyengébb minőségű talajokon állapították meg. McMaster et al. (2002); De Vita et al. (2007) gabonával végzett kísérletekben a no-till rendszerben más kezelésekkel azonos vagy nagyobb terméseket értek el, ellenben Taa et al. (2004) és Pittelkow et al. (2015) ennek ellenkezőjéről számoltak be. Tapasztalataink alapján, a no-till rendszer a mulcsrétegnek köszönhetően kedvező hatást gyakorol a talaj nedvességforgalmára, de a nagyobb nedvességtartalom nem eredményez magasabb hozamokat, különösen az első években.

A két különböző rendszerrel az energiafogyasztást sem szabad figyelmen kívül hagyni, ugyanis az elvégzett műveletek energiaigénye hagyományos műveléskor éves szinten kétszer akkora, mint védő talajművelés esetén. Stingli (2008) szerint a hagyományos talajművelés dominanciáját az üzemanyag árak emelkedése rendítette meg. Barut et al. (2011) szerint a szántóföldi növénytermesztésben a talajművelésre az összes energia 55-65%-a jut; pl. kölestermesztésben a teljes energiaigényből több mint 40%-ot igényelt a talajművelés. Csökkentett talajművelés esetén az energiabevitel 18-53%-kal alacsonyabb a hagyományos talajműveléshez képest, az alkalmazott módszerektől és technikáktól függően (Sørensen és Nielsen, 2005).

Két eltérő talajféleségen (agyagos vályog és homokos vályog, Montana és Észak-Dakota államban) 2004-ben, azonos paraméterekkel, művelési kísérletet állítottak be, amelyben a hagyományos és a sávos művelési módok talajra és növényre gyakorolt hatásait hasonlították össze. A sávos művelésben a hagyományos műveléshez képest számos előnyt tapasztaltak, mint pl. az evaporáció, víz- és szélrózsió csökkenését és a kisebb energiaigényt. Nem tapasztaltak szignifikáns különbséget a cukorrépa termésmennyiségében, de minőségében sem (Evans et al., 2010).

Laufer és Koch (2017) sávos talajművelési kísérleti eredményeket tettek közzé. Két éven át (2013/2014 és 2014/2015) Németországban (Alsó-Szászország) három területen iszapos-vályog talajon két tényezős, négy ismétléses, véletlenszerűen elrendezett kísérletet állítottak be. Az egyik tényező a talajművelés, a másik pedig a különböző mennyiségben kijuttatott nitrogén

műtrágya volt. A talajművelési kezelésekben helyet kapott az intenzív művelés (szántás), a csökkentett művelés, teljes mulcstakarás és a sávos talajművelés. A sávos művelési rendszer előnyét az alacsonyabb művelési költségben és a hatásosabb erózió mérséklésben látták. A talajhőmérsékletben nem tapasztaltak különbséget a sávos és az intenzív rendszer között, míg a talajjellenállás a sávokban a 0,04-0,19 m mélységben az intenzív talajművelésnél volt a legalacsonyabb. Ezenfelül, a sávos talajművelés sávjaiban és a sávok közti területen szignifikáns eltérést ($p \leq 0,0001$) tapasztaltak a talajjellenállás értékekben (sávban 0,78 MPa, sávok között 1,35 MPa). A mérés időpontjában a talaj gravimetriás víztartalma egyenlő volt a talajművelési rendszerek és a mintavételi helyek között.

Angliában végzett korábbi kísérletek azt mutatták, hogy a szalma elégetését követően jó minőségben elvégzett direktvetés vagy kultivátoros technológia hasonló hozamot adhatnak az őszi gabonaféléknél, mint a szántásos rendszerben. A szalmaégetésre bevezetett korlátozások után a gyomok és a gabona árvakelés felhalmozódása súlyos gondná vált, emiatt sok gazdálkodó visszatért a szántáshoz vagy a direktvetéshez (**Christian, 1994**).

2.3.2. A horvátországi és magyarországi talajművelés összevetése

A természeti és talajadottságai alapján a mezőgazdaság mindkét országban nagy szerepet játszik. **Statisztikai évkönyv (2018)** szerint Horvátországban a mezőgazdasági terület 1 546 019 ha, ennek 48 %-a a Pannon régióban található, azaz a felhasználás szempontjából 75%-a szántóterület (**Bašić et al., 2001**).

A Horvátországban használatos talajosztályozás szerint, 36 talajtípus fordul elő. Az összes terület 12,1%-a Luvisol. Ezt követi a Pseudogley (9,87%), a Gley amphigley (9,62%), a Calcocambisol (8,36%), valamint a Rendzina (7,5%) és a Disztrikus cambisol (5,48%). Szinte az összes talajtípus előfordulása ismert Horvátország mezőgazdasági területén. Az összes mezőgazdasági terület legnagyobb részén a Gley amphigley fordul elő (13,8%), ezt követi a Luvisol (13,3%), a Pseudogley (11,9%), a Calcocambisol (7,79%), a Rendzina (7,36%), a Terra rossa (5,48%) és meliorációval javított hidromorf talaj (5,21%). A további talajtípusok mindegyike 5%-nál kisebb területen van jelen (**Husnjak et al., 2011**). A pseudogley a második legelterjedtebb talajtípus Horvátországban, valószínűleg a pannon időkben alakult ki (**Husnjak, 2014; Rubinić et al., 2015**). Tekintettel arra, hogy milyen domborzati és éghajlati körülmények között fejlődtek ki, a horvát pseudogley körülbelül 55%-ban fedi a mezőgazdasági vagy agro-ökoszisztéma területeket (**Husnjak et al., 2011**). **Mesić et al. (2009)** szerint hangsúlyozni kell,

hogy ebben a régióban a savanyú talajok 660 617 hektárt foglalnak el, amely Horvátország összes savanyú talajainak 79,5%-át teszik ki. A Pannon régióban savanyú talajok 42%-a Pseudogley és 40%-a Luvisol.

Az erózióval kapcsolatos kutatási eredményeket **Husnjak et al. (2008)** publikáltak. Horvátország teljes területének 42,3%-án alacsony a vízerózió kockázata, 24,1%-án mérsékelt, míg 31,8%-án magas. A mezőgazdasági területeken 53,6% alacsony, 23,1% mérsékelt és 23,3% magas eróziós kockázatú.

Az első kutatásokat a csökkentett talajművelési rendszerek a terméshozamra gyakorolt hatásáról Mihalić az 1950-es években indította Stagnic Luvisol talajon (**Kisić et al., 2002**), míg a pontosabb vizsgálatok az 1970-es évek közepén kezdődtek (**Jug et al., 2010**).

Több szerző is összehasonlította talajművelési rendszereket, megállapítva azok különbségeit. **Stipešević et al. (1997)** szerint a szántóföldi növénytermesztésben az alkalmazkodó-csökkentett talajművelés alkalmazása Horvátországban az ökológiai (talajtömörítés csökkentés), a gazdasági (költségcsökkentés) és a szervezeti (a terepi műveletek csökkentése) miatt indokolt.

Horvátországban a szántást mint alapművelési módot a szántóterület több mint 90%-án alkalmazzák (**Zimmer et al., 2002; Košutić et al., 2005; Jug et al., 2006; Bogunović et al., 2014b**). Több kutatás utal arra, hogy a csökkentett talajművelési rendszer alkalmazhatósága nagyon korlátozott (**Jug et al., 2010**) és eltérő eredményeket hoz (**Butorac et al., 2006**). A horvátországi talajokon jelenleg 18 000 hektáron alkalmazzák a csökkentett talajművelési rendszereket (**Jug et al., 2017**). Egyik legelterjedtebb rendszer a hagyományos tárcsás, amelyet alapművelésre a búzatermesztésben alkalmazzák (**Jug et al., 2010**). Ennek oka például a talajtani és talajművelési ismeretek hiánya, a hagyományos és elavult gépesítés, a háborús időszak, valamint a kis parcellák és az erős kötődés a hagyományos műveléshez.

A kukorica (*Zea mays* L.) és az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) a legfontosabb szántóföldi növények, amelyeket a horvát gazdák hagyományos talajműveléssel termesztnek (**Jug et al., 2001**). A legújabb adatok alapján 2017-ben a búzát 116 150 hektáron (5,9 t/ha átlaggal), míg a kukoricát 247 119 hektáron (6,3 t/ha átlaggal) aratták le (**Statisztikai évkönyv, 2018**).

Magyarország alapterülete összesen 9,303,000 ha, melyből 5,400,000 ha mezőgazdasági terület. Hasznosítási szempontból a szántóföldi terület 4,334,000 ha (**KSH, 2017**). A talajok több, mint 70%-án dominál a Luvisol, a Chernozem és a Vertisol típus (**Michéli et al., 2014**). Talajkémiai tulajdonság szempontjából több, mint 25% területen (közel 2,2 millió ha-on) savanyú talajokat találunk (**Stefanovits et al. 2010**), ugyanakkor vízgazdálkodási szempontból 43% kedvezőtlen, 26% közepes és 31% jó (**Várallyay, 2011**).

A talajművelés előrehaladását több tényező is lassította, pl. háborús idők, színvonalatlan gépesítés és szaktudás-hiány. A talajművelést az 1960-as évekig sokszántásos, később sokmenetes rendszer jellemezte, de az 1970-es évek közepén kibővült kímélő és takarékos elemekkel **(Birkás et al., 2017a; Bottlik et al., 2014)**. A talajművelés fejlődése hét fő korszakra osztható. A talajművelési rendszer előrehaladásában az ekéstől a direktvetésig közel kétszáz év telt el **(Birkás et al., 2018a)**. Az erózió 2,3 millió hektárnyi hegy- és dombvidéki területet károsít, a deflációval veszélyeztett területek kiterjedése 1,4 millió ha. A talaj pusztulása – bár eltérő mértékben – az ország területének több mint 43%-át érinti **(Michéli et al., 2003)**. Talajerózióval kapcsolatos új kutatási projektek az 1970-es években kezdődtek a Dunántúlon, az akkori Földrajztudományi Kutatóintézet vezetésével **(Kertész és Centeri, 2006)**. A legújabb talajeróziós kockázati térképet **Pásztor et al. (2016)** készítették, amely szerint Magyarország teljes területének 74%-át gyenge, 18%-át közepes és körülbelül 8%-át erős erózió sújtja. **Waltner et al. (2018)** is felhasználták ezen térkép adatait tanulmányukban. Megállapították, hogy ezek az értékes információk nemcsak regionális szinten, hanem a gazdaságok szintjén is helytállnak.

2.4 A talajművelés hatása a környezetre és a klíma eredetű károokra

A történelem során előbb az extenzív, majd az intenzív talajművelési rendszereken alapuló mezőgazdaság általában kedvezőtlenül hatott számos alapvető természeti erőforrás minőségére, elsősorban a talajra, a vízre, a biológiai sokféleségre és a kölcsönös rendszerekre **(Dumansky et al., 2014; IPCC 2018)**.

Az éghajlati szélsőségek ténye a világ számos részén már nyilvánvaló **(Shahid et al., 2012)**. A talajművelésben az egyik legismertebb, akkoriban legnagyobb, talajműveléshez kapcsolódó ökológiai katasztrófa (angolul „dust bowl”), az 1930-as években az Egyesült Államokban történt. Több aszályos év után a folyamatos intenzív (szántásos) művelés több hónapig tartó porviharokat eredményezett. Emiatt a kár elkerülése és a talaj megóvása érdekében, a szántás helyett más megoldást kellett keresni **(McLeman et al., 2014)**. Sok próbát követően alakult ki a művelés nélküli termesztés-technológia (angolul no-till technológia, nálunk ismert, mint direktvetés), amely mára minden kontinensen elterjedt.

Az éghajlatváltozás és az antropogén tevékenységek erősen összefüggenek, különösen szén-dioxid, metán és dinitrogén-oxid légköri koncentráció növekedését tekintve. Ennek ellenére a Föld felszíni hőmérséklete és a légköri szén-dioxid koncentráció között nem

mutatható ki szoros és közvetlen kapcsolat. Jelenleg, a hőmérséklet kialakításában, nagyon sok ismeretlen hatás is közrejátszik (**Padányi és Halász, 2012**). A talajművelés stimulálja a talaj mikrobiális légzését, amely a szén-dioxid atmoszférába jutása révén – a klimatológusok szerint – felerősíti a klíma szélsőségeket. Ugyanakkor tudni kell, a különböző művelési technológiák eltérő hatással vannak a talaj CO₂ kibocsátására. **Birkás et al. (2007b)** eredményei azt mutatták, hogy a frissen szántott talaj eredményezte a magasabb szén-dioxid kibocsátást. Ugyanakkor **Zsembeli et al. (2018)** ennek ellenkezőjéről számoltak be. A redukált és a hagyományos művelés talajra gyakorolt hatásainak tíz éves kutatása során, a gyakran változó időjárási viszonyoknak köszönhetően arra is adódott lehetőség, hogy az évek között összehasonlítást végezzenek. A tíz évből hét évben a redukált művelésű területek magasabb CO₂ kibocsátást eredményeztek, vélhetően a mérsékelt talajbolygatásnak betudható kedvezőbb talajmikrobiális aktivitásnak köszönhetően.

Buragiené et al. (2019) közép-litvániai éghajlati viszonyok között, öt eltérő talajművelési kezeléssel állították be a kísérletüket. A kutatás célja a talaj fizikai-mechanikai, kémiai és biológiai tulajdonságai közötti összefüggések, valamint a művelési kezelések CO₂ kibocsátásra gyakorolt hatásának meghatározása volt, az őszi talajművelés előtt és azt követően. Összehasonlítva az eredményeket, a művelés jelentős mértékben befolyásolta a talaj szén-dioxid kibocsátását. A legmagasabb értéket tarlókon a 23-25 cm mély szántásnál ($6,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), míg a legalacsonyabbat, a direktvetésnél ($3,94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) érték el. A művelés után a legmagasabb értéket mély szántáskor ($29,88 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), míg a legalacsonyabbat ($10,00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a direktvetéskor mérték.

A horvátországi kollégák eltérő eredményeket publikáltak. **Bilandžija et al. (2014)** Horvátország középső részén (Stagnic Luvisols talajokon) 2012-ben, hat különböző talajművelési mód hatását vizsgálták a talaj CO₂ kibocsátására. Céljuk az volt, hogy meghatározzák a termesztés által okozott CO₂ kibocsátást és az éghajlati tényezők közötti kapcsolatot. Másokhoz hasonlóan kimutatták, hogy a talajművelésnek jelentős hatása volt a szén-dioxid kibocsátására. Ugyanakkor a legalacsonyabb átlagos CO₂ kibocsátást napi szinten a szántott talajon mérték ($29,4 \text{ kg ha}^{-1}$), míg legmagasabb átlagos CO₂ kibocsátást a no-till kezelésben ($90,9 \text{ kg ha}^{-1}$).

2.4.1. A klímátényezők észlelhető jelenségei a Pannon térségben

A klíma-szélsőségek és a következményeik mind globális (IPCC 2007; 2018), mind lokális szinten (Bartholy és Pongrácz, 2005a; Dunkel, 2017; Weidinger, 2006) nagy érdeklődést keltenek. Napjainkban világszerte az éghajlatváltozás az egyik legnagyobb kihívás. A mai napig tartó ipari forradalom óta jelentősen megnövekedett az üvegházhatású gázok koncentrációja (Anonymus, 2009). Ennek a légkörbe jutó koncentrációjának egyharmada a talaj hasznosításával keletkezik (Lal et al., 2007).

Az Európai Bizottság (2018) szerint a Pannon régióhoz (Kárpát-medence) tartozik teljes területével Magyarország, részben Szlovákia, Csehország, Románia, Horvátország, Szerbia és Ukrajna.

A regionális klímamodelllezési projekt, a PRUDENCE (Predicting of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects) modellbecslések szerint, Közép- és Dél-Európában nyári melegedés erősebb lesz, míg a téli enyhülés Észak-Kelet-Európára vonatkozik. A Kárpát-medencére, pontosabban Magyarországra, nyáron és ősszel átlagosan várható hőmérséklet-emelkedés. Ugyanakkor a csapadékmennyiség időbeli és térbeli eloszlásának változása várható, a nyári csökkenés és a téli növekedés (az előrejelzések szerint ettől eltérés is bekövetkezhet). A csapadékintenzitás tekintetében, előreláthatólag átlagos növekedés, valamint a nagycsapadékos jelenségek számának emelkedése és a kis csapadékkal jellemezhető jelenségek csökkenése (OMSZ, 2006) valószínű. A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (2018) alapján Magyarország és a Kárpát-medence területén rövid távon az évi középhőmérséklet várhatóan 1-2,5 °C-kal emelkedik, a csapadék mennyiségének változása bizonytalan. Ugyanakkor az éghajlati modellek eredményei értelemszerűen nem tekinthetők tényeknek, ezek mint lehetséges irányok vehetők figyelembe.

A globális és térségbeli klímátényező változásokban az egyik kulcsfontosságú elem a víz és a vízkészlet. Várallyay (2006) a Kárpát-medencében, a mezőgazdasági termelésben kulcskérdésnek tartja a vízfelhasználás hatékonyság növekedését és a talajnedvesség szabályozását. Magyarországon a csapadék mennyisége jövőben sem lesz több, sőt inkább kevesebb mint jelenleg, de nagyobb változékonysággal (Láng et al., 2007). Várallyay (2010) kiemelte, hogy a népesedés növekedése és a klímaváltozás mellett az élet minőségének egyik legfontosabb alappillére a vízkészlet, amely a mezőgazdaságban is meghatározó tényező. Továbbá, Várallyay (2013) szerint, a vízgazdálkodás- és vízháztartás szélsőségessebbé válik, (belvízveszély és aszályérzékenység növekszik térben és időben is), így súlyos gazdasági, környezetökölógiai és társadalmi problémák következhetnek be (Pálfai, 2005).

A tényleges és várható változások a térségben és hazánkban is jelentős kedvezőtlen hatással lesznek a természeti erőforrásokra. Az időszerűtlen talajhasználat, amely klimatikus, és edafikus káros hatásokat vált ki, megkérdőjelezi a biztonságos növénytermelést (**Jolánkai és Birkás, 2010**). A Kárpát-medencei térségben az utolsó háromszáz év adatbázisa alapján, azaz 1710 és 2009 között, minden második év aszályos volt, és minden tizedik évben rendkívül súlyos aszály keletkezett, ezen felül az aszályok gyakoriságának nagyléptékű növekedése volt jellemző 1983-2009 között (**Pálfai, 2010**).

A **Világ Meteorológiai Szervezete (2018)** szerint a hosszútávú felmelegedés tendenciája 2018-ban folytatódott. A 20 legmelegebb év az utóbbi 22 évben volt, emellett az elmúlt négy esztendőben mérték a négy legmelegebb évet. **NASA (2019)** felmérései alapján, 1880 óta a 2016. volt a legmelegebb. Hasonló helyzetet Magyarországon is tapasztaltak. Elmúlt néhány évben a tavaszi melegedésben szignifikáns eltérést mutattak ki, pontosabban az elmúlt 104 év alatt 0,77 °C-kal nőtt (**NÉS, 2018**). A regionális klímamodellek alapján a várható hazai tendenciák és a Közép-Európára vonatkozó éghajlatváltozási becslések összhangban vannak a globális tendenciákkal.

Az áttekintett szakirodalom alapján és a jelenlegi klímahelyzettel kapcsolatban beigazolódni látszanak a klímamodellekkel végzett becslések. A globális hőmérsékletemelkedés, valamint a szeszélyes időjárás a mezőgazdaságban súlyos károkat okoz, amelyeket részben talajművelési megoldásokkal célszerű lenne enyhíteni.

2.4.2. A talajok klíma általi veszélyeztetettsége

Az emberi élethez viszonyítva, a talajra – a rendkívül lassú regenerációs folyamat miatt – egyre inkább nem megújuló erőforrásként tekintenek (**Lal, 2015**). Ugyanakkor, **Reeves (1997)** szerint, a talaj az emberiség egyik legértékesebb erőforrása volt és az is lesz. A talajminőség, a víz- és a levegőminőség mellett a környezetminőség harmadik összetevője. **Constanza et al. (1997)** az ökoszisztémákat a természeti erőforrások fontos elemeinek tekintik, amelyek folyamatosan biztosítják a társadalom számára az ökoszisztéma szolgáltatásokat. Annak ellenére, hogy az élelmiszertermelés több mint 95%-a a talajtól függ, a talaj még mindig alulértékelt erőforrás (**Panagos et al., 2016a**). Az ENSZ (Egyesült Nemzetek Szervezete) kezdeményezésére és irányításával a 2000-es évek elején létrejött az ökoszisztéma-szolgáltatás fejlődésének legfontosabb mérföldköve, a Millenniumi Ökoszisztéma Felmérés (**MEA, 2005**). A munka során számos részletes értékelés született az ökoszisztéma-szolgáltatások károsodásairól a Földön.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) és az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (JRC) számos dokumentumot és jelentést tett közvé, leírva a talaj degradációjával kapcsolatos gondokat. **Jones et al. (2012)** az „A talaj állapota Európában” című jelentésben kiemelték, hogy az elmúlt néhány évtizedben Európa területének több mint fele a talajdegradáció valamely formájától szenvedett.

Hazánkban a klíma és az időjárás egyre nagyobb tér- és időbeni variabilitást és változékonyságot mutat, ráadásul nehezebben előre jelezhető szeszélyesség jellemzi. A legtöbb modell szimuláció az évi középhőmérséklet jelentős emelkedésével számol, amelynek súlypontja nyári időszak. Az éves csapadékösszeg nagy mértékű változása nem várható, azonban időszakos eloszlása változni fog. **Ma et al. (2008)** megállapítása szerint az éghajlatváltozás jelentős hőmérséklet növekedést okoz, ami valószínűleg befolyásolja az evapotranszpirációt és a légköri víztárolást. Ennek következtében, potenciálisan megváltozik a csapadék mennyisége, gyakorisága és intenzitása. Ezek az időjárási szélsőségek jelentős hatással vannak a talajokra, emellett a mezőgazdasági termelést is bizonytalanná teszik. A tartós csapadékhiánynak és a felmelegedésnek a leggyakoribb következménye az aszály. Ennek ellenére, az elkövetkező években a földrajzi adottságaiból adódóan az éven belüli csapadékeloszlás miatt kisebb-nagyobb belvízi elöntések kialakulásával is számolhatunk.

Wang et al. (2013) szerint, a lakosság és a gazdaság mellett, az éghajlat a régióbeli vízkészlet nagyságának meghatározó tényezője, vagyis a globális felmelegedés következtében súlyos következményekkel járhat a vízkészletre (**Wang et al., 2016a**). **Singh (2015a)** szerint, 2050-ben a világ gyorsan növekvő lakosságának körülbelül 60%-kal több élelmiszerre lesz szüksége, amelynek megoldására az öntözés jó lehetőséget ad.

Az elmúlt 15 évben, a földtudomány rendkívül nagy figyelmet fordított a talajnedvességre és annak talajra gyakorolt hatására (**Green et al., 2019**). **Seneviratne et al. (2010)** szerint a talajnedvesség hozzájárul a földi ökoszisztémák globális energia-egyensúlyának szabályozásához, de hatást gyakorol a talajhőmérsékletre, páratartalomra és a felületi albedóra (fehértésre) is.

Harte et al. (1995) szerint 3 °C-os talajhőmérséklet emelkedés a talaj nedvességének 25%-os csökkenéséhez vezethet, amely növelné az öntözési igényeket. Húsz év elteltével, pontosabb becsléseket közöltek. Az Andalúzia régióban, a 62 meteorológiai állomás adatai alapján, az ENSEMBLES projekt keretein belül, az éghajlatváltozásra vonatkozó regionális középilonali (A1B) forgatókönyvet hoztak létre. A kiindulási forgatókönyvvel (1961-2000) összehasonlítva, hosszú távon a minimális és maximális hőmérséklet éves átlaga az éghajlatváltozás miatt 2-5

°C-ot fog növekedni, az éves átlagos csapadékmennyiség 13-30% között fog csökkenni. Ennek megfelelően, a mezőgazdaság fő kihívása az aszály lesz (**Anaya-Romero et al., 2015**).

Singh (2015_b) arról számolt be, hogy a világ öntözött területének több mint egyharmada túlóntozott (vízpangás), ráadásul szikesedésnek is ki van téve. **Michael (2009)** felhívta a figyelmet arra, hogy az arid és szemi-arid régiókban a magas párolgás miatt a sókoncentráció fokozatosan nő a vízforrásokban és a talajszelvényben is. Emiatt, **Valipour (2015)** szerint, a talajban és a talajvízben felhalmozódott sótartalom a talajtudománynak és a mezőgazdaságnak is az egyik fő problémája lesz.

A talaj fizikai minőségének csökkenése általában a szerkezet romlását eredményezi. Ezáltal súlyosbítja a talaj érzékenységét, tömörödését, csökkenti a vízbeszivárgást, fokozza a felszíni elfolyást, a szél- és vízeróziót, nagyobb talajhőmérséklet-ingadozást és elsivatagosodási hajlamot idéz elő. A fentiek mellett sótartalom felhalmozódást, a talajsavanyodást, valamint a talaj szén-dioxid növekedését az Európai Unió súlyos fenyegetéseként ismeri el (**CEC, 2006; De la Rosa et al. 2009**). A talajdegradációval kapcsolatos rendellenességek négy különböző csoportba sorolhatók: fizikai, kémiai, biológiai (beleértve a talaj szervesanyagának csökkenését) és a talajvesztés (**Virto et al., 2015**). Ebből kifolyólag, hátrányos helyzetbe kerül a mezőgazdasági termelékenység, a vízellátás, valamint negatívan befolyásolja az üvegházhatást okozó gázokat és a biológiai diverzitást (**Koch et al., 2013**). **Frank et al. (2015)** arról számolt be, hogy a talajerózió oka nem csak a szélsőséges időjárás, hanem fontos szerepet játszik benne a topográfia, a talaj tulajdonságai, a talajfelszín borítottsága és az emberi tevékenység.

A talajvesztések térbeli modellezése mellett az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (JRC) által kifejlesztett új modellezés időbeli megközelítése segíthet azonosítani a kockázatos évszakokat. Olaszországból tette közzé a modellezés alapján az időbeli megközelítésről elért vizsgálati eredményeit **Panagos et al. 2016-ban**. Időbeli eloszlás szempontjából, nyári időszakban, négy hónap alatt (június-szeptember), 53%-kal nőtt az eső által okozott eróziós események gyakorisága. Ez a jelenség számottevő negatív hatást gyakorolt a kukorica termesztésére (a talajerózióra egyik leginkább érzékeny növény) az észak-olaszországi nyár folyamán, mivel Európában a legérzékenyebb a víz által okozott talajerózióra.

A talajok különösen érzékenyek az erózióra akkor, ha a talajfelszín növényzettel történő borítása alacsony. Erre következtetett **Berendse et al. 2015-ben** publikált kísérleti eredményei alapján. **Brevik (2012)** szerint a talajok és a légköri-éghajlati rendszer között, összetett kötődés van a szén, nitrogén és hidrológiai ciklusokon keresztül. Éppen ezért, a megváltozott éghajlat hatással lesz a talaj folyamataira és sajátosságaira, ugyanakkor fordítva is, a talajok is hatással

lesznek az éghajlatra. Továbbá kiemelte, hogy az éghajlatváltozás hatást fog gyakorolni a talaj szervesanyag-dinamikájára, a talajlakó szervezetekre, valamint a szerves anyaghoz, a talajvízhez és a talajerózióhoz kötődő talajtulajdonságaira.

A vonatkozó szakirodalom alapján úgy vélem, hogy a talajveszélyeztetettség rendkívül összetett és sok tényezőből áll. Ugyanakkor időben és térben továbbra is fennáll, így a talaj ökoszisztéma szolgáltatásaiban számos kedvezőtlen változás következhet be a jövőben.

2.4.3. A klímaváltozás hatása a növénytermesztésre

A világ számos régiójában, a megnövekedett éghajlati változékonyság várhatóan befolyásolja a globális növénytermesztés hozamait és az élelmiszerellátás éves szintjét. A hőmérséklet a növény fejlődésének szinte minden szakaszában szerepet játszik (**Ferrise et al., 2011**), de a fotoszintetikus produktum csökken, ha a hőmérséklet az optimális tartományt meghaladja (**Sage és Kubien, 2007**). **Parry et al. (2009)** szerint, a globális élelmiszerbiztonságban a gabonatermelésnek kiemelt szerepe van, helyesebben, a gabonafélék, köztük a kukorica, az emberi fogyasztás legfontosabb élelmiszerforrása (**FAO, 2014**). Az említett kultúrnövények termesztése Magyarországon és Horvátországban is kiemelten fontos, ezért a kutatásokban is hangsúlyt kapnak.

A világ élelmiszer-kalória mennyiségében a gabonák kulcsfontosságúak, mivel annak a háromnegyedét teszik ki (**Roberts és Schlenker, 2009**). Az éghajlat és az időjárás változása több módon befolyásolja a növénytermesztést, kockázatok lépnek fel, amelyeket kezelni kell a gazdaságos termelés fenntartása érdekében. **Jones és Yosef (2015)** szerint az emelkedő hőmérséklet csökkentheti a növények tenyészidejét, kiszélesíti a növénybetegségek és a rovarok időbeli megjelenését, valamint fokozza a kártevők elleni érzékenységet is. Ezáltal hatással van a növények fejlődésére és a terméshozamra.

A mezőgazdasági termelésben a csapadék mennyisége és eloszlása kulcsszerepet játszik. A kukorica termesztésében a nagy termés elérése érdekében a két legfontosabb éghajlati korlátozó tényező a levegő hőmérséklete és a csapadék (**Kern et al., 2018; Lesk et al., 2016**). Az Amerikai Egyesült Államok a világ legnagyobb kukoricatermesztője (a világ termelésének több mint 30%-a) napjainkban is, annak ellenére, hogy az 1980-as évek óta növekedett a szélsőséges időjárási rendellenességek gyakorisága (**Wuebbles et al., 2017**). Ugyanakkor, **Daryanto et al. (2016)** szerint az aszály és a túlzott csapadékmennyiség az idő függvényében változó hatással van a termesztésre. Az eredmények meta-elemzése alapján kimutatták, hogy a kukorica és a búza jelentősen eltérő hozamot mutatott az aszályos időszakban.

Összehasonlítható vízcsökkenés esetén (kb. 40 %) a búza csak 20%-os, míg a kukorica 39%-os terméskiesést mutatott ($p < 0,05$). A 2013-as adatok alapján a kukoricát a búzánál nagyobb érzékenység jellemezte.

A búza a harmadik nagy területen termesztett növény a világon az évente több, mint 600 millió tonna termésével (**Asseng et al. 2011**), ebből 46%-ot az Európai Unió állít elő (**Eurostat, 2017**). Az időjárási szélsőségek fellépése után a búza vetésterülete csökkent, amelyet az előre jelzett globális felmelegedés és a vízhiány is befolyásolt (**Zhao et al., 2017**).

Schaphoff et al. (2018) szerint a vízstressz, a naphossz, a lombkorona vezetőképessége mellett a fotoszintézis optimális hőmérséklete kukoricánál 21-26 °C, a búzánál 12-17 °C.

A növénytermesztésben, az egyre szélsőségesebb éghajlati viszonyok követése miatt a jelenleg legmegfelelőbb alkalmazható eszközök a termésmodellek. Ezeket a termesztési modelleket egyre nagyobb mértékben használják, különös figyelemmel az éghajlatváltozással kapcsolatos kérdésekre, elsősorban a talajtermékenységre és a terméshozamra (**Schauberger et al., 2017; Wu et al., 2016**).

Napjainkban több és különböző célokra felépített modell létezik. **Chenu et al. (2017)** szerint az éghajlatváltozás negatív hatásainak mérséklése érdekében a termésmodellek segíthetnek a hozamok javításában és a megteendő intézkedésekben. **Lobell et al. (2011)** az 1980-2008-as időszakra vonatkozóan fejlesztették ki a hozam-válasz modell adatbázist. Céljuk volt, hogy felmérjék a közelmúltbéli éghajlati tendenciák terméshozamra gyakorolt hatását. A világ minden országából szerepelt öt adatsor a panelelemzésben, növénytermesztési adatok (konkrétan: kukorica, búza, rizs és szója), növénytermesztési helyek, termesztési időszakok, valamint a havi hőmérséklet és a csapadék adatai. Ezek alapján megállapították, hogy az Egyesült Államok kivételével, több ország termesztési területén és a termesztési idényeken belül, az 1980-tól 2008-ig terjedő hőmérsékleti trendek meghaladták a korábbi évenkénti változékonyságot. Globális szinten a kukorica- és a búzatermelés 3,8 és 5,5%-kal csökkent, összehasonlítva az éghajlatváltozás előtti trendekkel. **Schlenker et al. (2009)** kiemelte, hogy a kukorica és a szója a négy legnagyobb energiaforrás a világon, így, ha visszaesik a termesztés, akkor a világ élelmiszerellátása kritikus helyzetbe kerül. Megállapították, hogy a kukoricánál 29 °C, szójánál 30 °C a hőmérsékleti küszöbérték, ezen felül nagy károk keletkezhetnek. A jelenlegi növekvő növénytermesztési régiókban a Hadley III modell alapján összehasonlítottak két felmelegedési forgatókönyv változatot, a leglassúbat a leggyorsabbal. A század végére a leglassúbb verzió a termékek átlagosan 30-46 %-os, a leggyorsabb verzió pedig 63-82 %-os csökkenést jelzett.

Moore és Lobell (2014) választ kerestek az éghajlatváltozás hatásaira, a hosszú és a rövidtávú válaszgörbék kombinálásával, valamint adaptációval és anélkül, 13 klímamodell segítségével. Tanulmányaik alapján a búza és az árpa rendkívül érzékenyek a magas hőmérsékletre. A várható 2 °C felmelegedés 2040-re 15-30%-os termésnövekedést okozhat. Ellenben a kukorica, a cukorrépa és az olajnövények terméshozamát mérsékeltebben befolyásolja, elsősorban a vegetáción belüli kisebb hőmérséklet érzékenység miatt. Hasonló eredményeket publikáltak **Haile et al. (2017)**, akik 1961-2013 között négy növény (kukorica, búza, szója és rizs) globális növénytermesztési meghatározóit hasonlították össze. Úgy találták, a globális termésmennyiség a 2030-as évekre 9%-kal, a 2050-es évekre pedig 23%-kal csökken, amelyet 32 globális forgalmi modellből származó, jövőbeli éghajlati adat alapján becsültek meg. Észak-Izraelben, Ramot Yssakhar vonzáskörzetében **Miller et al. (2019)** nagy térbeli felbontású (50 m), nem kalibrált GIS-alapú búzatermelési modellt használtak a felszíni búza biomassza és a termés előrejelzésére. Az integrált modellt három almodell képezte, mindegyik szimulálta a búza növekedési dinamikájához kapcsolódó elemi folyamatokat, vízhiányos környezetben. Az első almodell figyelte a víz egydimenziós mozgását a talajszelvényben, a második a kétdimenziós GIS-alapú felszíni lefolyást, és a harmadik az egydimenziós folyamat vezérelt mechanikus búzanövekedést. E modellek alapján 10,5% felszíni búza biomassza és 12%-os terméshozam csökkenést becsültek minden 1°C felmelegedésre, valamint 7,7% és 7,3%-ot minden 5% csapadékmennyiség csökkenésre (**Miller et al., 2019**). **Asseng et al. (2015)** adatai szerint minden 1 °C emelkedés 6%-os búzahozam csökkenést eredményez.

A rövid idejű magas hőmérséklet befolyásolhatja az anyagcsere-folyamatokat, amely a szén-dioxid-asszimiláció csökkenéséhez és a szemtermékenyülés korlátozásához vezethet (**Moriondo et al., 2011**). A tartósan magas hőmérséklet a virágzás szakaszában csökkenti a fotoszintézis sebességét, ezáltal növeli a légzést és az evapotranspirációt, azonfelül csökkenti a szemszámot (**Gobin, 2017**). A növekvő aszályhoz hasonlóan a túl sok csapadék is károkat okoz. **Li et al. (2019)** arról számoltak be, hogy az Egyesült Államokban 34%-os (átlagosan $-17 \pm 3\%$ -kal) kukorica terméskiesést okozhat a nagy csapadékmennyiség. Ezzel együtt, a hosszú távú trend a korábbi hozamokhoz (1981-2016) viszonyítva az extrém aszály hasonlóan súlyos (átlagosan $-32 \pm 2\%$ -kal) veszteséget okozhat. A túl sok csapadék negatív és pozitív hatást gyakorolhat a terméshozamra, de regionálisan változó mértékben. Csapadékos és hűvös években a kukorica termése a rossz vízgazdálkodású talajokon csökkenhet (Iowa, Minnesota és Missouri). Az Egyesült Államokban 12 fő kukoricatermelő állam van, amelyek az elmúlt 10 évben a kukoricatermés 88%-át állították elő. Aszály esetén a $45,7\% \pm 3,2$ (Illinois) és $12,2 \pm 5,9\%$ (Nebraska) termésnövekedés következett be. Az aszály általában kisebb károkat okozott

azokban az államokban, ahol lehetőség van öntözésre (Nebraska, Kansas, Oklahoma és Texas), mint azokban ott, ahol nincs lehetőség (Illinois, Wisconsin és Missouri).

Mäkinen et al. (2018) az európai búzák érzékenységét vizsgálták különböző fenológiai fázisokban (991 búzafajtát 1991-től 2014-ig). A vizsgálati területek eltérően szélsőséges időjárási viszonyoknak voltak kitéve, mint pl. magas hőmérséklet ($>31^{\circ}\text{C}$, illetve 35°C), aszály a kalászás és a virágzás fenológiai fázisaiban, a nagy csapadékmennyiség, valamint erősen intenzív esőzés és az alacsony radiáció. A vetés utáni aszályra 525 búzafajta 72%-a termésvesztéssel reagált. A 31°C -os hőmérséklet 77% termésnövekedést okozott, de a fagyhatás is (-15°C és -20°C) károkkal járt. A szélsőségekre adott pozitív válaszok gyakran az egyes régiókhoz tartozó fajtáktól erednek pl. magas hőmérsékletre a déli eredetűek tűrőképesebbek.

Magyarország Közép-Európában, a Kárpát-medencében helyezkedik el, mezőgazdasági szempontból kedvező feltételekkel rendelkezik (**Trnka et al., 2016**), mégis szárazsággal fenyegetett terület, ahol a nagyobb termés kiesés többnyire az aszályra vezethető vissza. A tanulmány a hőmérséklet, a csapadék, az aszály intenzitása és a négy gabonaféle hozamának összefüggéseit vizsgálta Magyarországon, 1921 és 2010 közötti időszakban. Az eredményeket 30 éves bontásban elemezték. A hőmérséklet egyenletesen növekvően negatív hatást gyakorolt a termésre. A négy növénynél, az 1°C hőmérséklet növekedés 1981-2010 között 9,6-14,8%-kal csökkentette a hozamot.

A kedvezőtlen időjárás, mint befolyásoló tényező az elmúlt 90 évben 17-39% termésnövekedést okozott, de ez az arány az utolsó évtizedben elérte 33-67%-ot (**Pinke és Lövei, 2017**). Hasonló következtetésre jutott **Kern et al. (2018)**. Több lineáris regressziós modell alapján a búza, a kukorica, a repce és a napraforgó hozamát szimulálták Magyarországra, a 2000 és 2016 közötti évekre. A modell havi felbontásban tartalmazta a meteorológiai adatokat, az éves műtrágya (nitrogén) mennyiséget, valamint a távérzékelésen alapuló vegetációs indexet is. A modellezési gyakorlat azt mutatta, hogy a májusi kisebb hőmérsékletemelkedés jelentős negatív hatással van a négy növény termésére. A búzára a májusi minimális hőmérséklet emelkedés kedvező hatású volt, míg a szokásosnál alacsonyabb páratartalom kedvezőtlen. A kukoricatermesre a júliusi és az augusztusi talajnedvesség tartalomnak döntő szerepe volt, vagyis a nyári csapadék a kukoricára és a napraforgóra egyaránt kedvezőnek bizonyult.

Hazai viszonylatban **Pepó (2019)** egy hosszú távú kísérletben, csernozjom talajon, 2017-ben és 2018-ban különféle kukoricahibridek műtrágya- és növény-sűrűség-válaszát vizsgálta. A kutatási években (2017 és 2018) rendkívül kedvezőtlen éghajlati hatásokat figyelt meg.

Azonban a csernozjom talaj a kiemelkedő vízgazdálkodási tulajdonságainak köszönhetően, jó tárolóképességgel bír, a fent említett hatásokkal szemben.

Branković et al. (2009) szerint az éghajlatváltozás hatása a világ minden részén, így Horvátországban is nyilvánvaló. A 20. században 1990 és 2000 közötti volt a legmelegebb évtized. Az előrejelzések alapján 2025-ben az átlagos hőmérséklet télen, nyáron és ősszel maximum 1 °C-kal emelkedik, míg a tavaszi változatlanul marad. Ezen túlmenően a legjelentősebb éghajlati tényezők, a csapadék és a levegő hőmérséklete jelentős változáson megy keresztül. Nyáron a csapadékmennyiség csökken, de az eloszlása szélsőséges lesz (**Bogunović és Kisić, 2013**). Emiatt a terméshozam is csökken vagy ingadozik, de lehet olyan év, amelyben a termés pusztulására lehet majd számítani (**Kisić et al., 2010**).

A bemutatott szakirodalom alapján, úgy vélem, a terméshozam modellezés igen hasznos, mivel fontos információkat és iránymutatókat ad a jövőre nézve, ugyanakkor nem teljesen megbízható, mivel sok tényező befolyásolhatja. Az éghajlatváltozást tekintve a hőmérséklet emelkedése, a csapadékmennyiség csökkenése és egyenetlen eloszlása nagymértékű károkat okozhat. Ennek következtében a rentábilis és biztonságos növénytermesztéssel szemben a globális klíma-kihívás áll, amelyet már több kísérleti eredmény is igazol.

2.4.4. A klímakárok csökkentése

Számos előrejelzés alapján a következő néhány évtizedben az évi középhőmérséklet növekvő tendenciát mutat, bár eltérő kimenettel. Minden egyes plusz Celsius fok jelentősen eltérő eredményt hozhat. Helytől és növénytől függően a magasabb hőmérséklet terméshozamra gyakorolt hatása szinte minden esetben negatív. **Pachuri et al. (2014)** szerint a mezőgazdaság az éghajlatváltozás és a hozzá kapcsolódó szélsőséges időjárási események által az egyik legsérülékenyebb terület. **Hendricks (2018)** úgy véli, hogy az előrejelzett károk 65%-a hőstresszből, 32%-a növekvő vízhiányból és 3%-a növekvő vízfeleslegből származik.

A mezőgazdaságnak az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodása a klímakár enyhítése érdekében multi- és transzdiszciplináris megoldásokat igényel. A Kiotói Jegyzőkönyv 1997-es aláírása óta e megoldási stratégiák is egyre nagyobb érdeklődést keltenek (**Backmann et al., 2015**). Az éghajlatváltozás agrárágazatra gyakorolt káros hatásainak csökkentése jelentős szerepet kap mind globális, mind regionális szinten, mivel kritikus hatással van az élelmiszerbiztonságra és a szociális jólétre.

Stockmann et al. (2013) szerint a talaj világviszonylatban körülbelül 2344 Gt (1 gigatonna = 1 mlrd. tonna) szerves szén-tartalmat tartalmaz, vagyis a szerves szén jelen a legnagyobb mennyiségben. A talaj szerves szén-készletének kis változásai is figyelemre méltó hatással lehetnek a légköri szén koncentrációra. Például, ha a légkörben a CO₂ ~560 ppm-re emelkedne, válaszként a bolygó globális hőmérséklete átlagosan a 1,5-4,5 °C tartományban növekedne (**Tubiello és Fischer, 2007**). **Steinfeld et al. (2006)** szerint a talaj szerves szénkészletét klímakár csökkentő művelési rendszerek alkalmazásával, erózió-csökkentéssel, vetésforgóval, valamint nagyobb mulcstakarással kezelni lehet. Az ENSZ Környezetvédelmi Program 2013. évi jelentése, amely a CO₂ kibocsátás-csökkentésről szól, megerősíti azt az állítást, amely szerint a szokásos hagyományos talajművelés helyett a no-till alkalmazása okszerűbb. A no-till pozitív hatással van a talajminőségre, valamint a mezőgazdaságnak az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodására, azonban a kár mérséklésében betöltött szerepét túlértékelték (**Powlson et al., 2014**). **Solomon et al. (2007)** felhívták a figyelmet arra, hogy a CO₂ csak egyike a mezőgazdasági gazdálkodás által érintett három üvegházhatású gáznak. A N₂O körülbelül 300-szor és a CH₄ 30-szor nagyobbak a CO₂-nál. Vagyis a klímakár csökkentő talajművelés főként a kedvező sajátosságai miatt alkalmazható, mint az éghajlatváltozás mérséklés kiegészítő eleme.

Számos széles körben idézett publikáció utalt arra, hogy a víz kulcsfontosságú elem, valamint a mezőgazdasági termelési aspektusából a legértékesebb input, ezáltal az egyik legfontosabb mozgatórugó.

Az öntözés a világ minden táján elősegítette a mezőgazdasági termelés növekedését, mivel a gazdálkodók számára lehetővé tette, hogy a változó és bizonytalan éghajlati viszonyokat enyhítse a termelésben (**Foster et al., 2015**). Emiatt az öntözési fejlesztése kétségtelenül a legfontosabb növénytermesztési stratégia az éghajlati korlátok enyhítése érdekében. Az előny a kifejezetten arid és szemi-arid régiókra vonatkozik, ahol az öntözés révén leküzdhető a talajnedvességi hiány (**Nilesh és Mueller, 2016**).

Bonfilis és Lobell (2007) a tanulmányukban részletes térbeli és időbeli adatsorokat alkalmaztak azzal a céllal, hogy számszerűsítsék a széleskörű öntözés nettó hatását a helyi és regionális éghajlatra, továbbá, hogy jobban értelmezhessek az öntözött régiókban megfigyelt hőmérsékleti trendeket. A Kaliforniában megfigyelt hőmérsékleti és öntözési adatok térbeli és időbeli változásait felhasználva kimutatták, hogy az öntözés bővülése kedvező hűsítő hatást gyakorolt a nyári átlagos nappali hőmérsékletre (-0,14-0,25 °C/évtizedenként), amely -1,8 °C és -3,2 °C közötti hűtésnek felel meg, az öntözési gyakorlatok bevezetése óta. Az éjszakai hőmérsékletre viszont elhanyagolható hatását tapasztalták (-0,06-0,19 °C/évtizedenként).

Lobell et al. (2008) kutatásainak fő célja az öntözés hosszú távú klimatológiai hatásának értékelése volt, szélsőséges hőmérséklet mellett. Az empirikus elemzés mellett egy korábban közétett regionális klímamodell-kísérlet szimulációt használtak az öntözés hatás és a hőindex felmérése érdekében. Azt tapasztalták, hogy az öntözés csökkenti a hőindexet. Az öntözött területek fölött a magasabb páratartalom miatt a hőindex sokkal kisebb, mint a hőmérséklet.

A vegetáció folyamán a magas hőmérsékleti szélsőségek csökkenthetik a növénytermesztés hozamát. Ellenben a csapadéknövekedés általában kedvező a növénytermesztésre. A megfigyelési és modellezési vizsgálatok kimutatták az öntözés befolyását a felszín hűtésére a nagyobb talajnedvesség és az evapotranspiráció révén (**Lobell et al., 2008**). A csapadékhoz hasonlóan, az öntözés sok esetben csökkenti a szélsőséges hőmérsékleti értékek hatását. **Mueller et al. (2015)** elemzése szerint jelentős hűtő hatást mutat az öntözött területek növekedése. A megyékben rögzített időjárási adatok alapján, ahol a megye területének több, mint 10%-a öntözött, évtizedenként jelentős hűtés mérhető, például Nebraska keleti részén, ahol a megyei öntözött terület évtizedenként több, mint 7% növekvő tendenciát mutat. **Troy et al. (2015)** szerint öntözetlen területen a szezonális csapadék elmaradása jelentősen csökkentheti a szója és a kukorica a termését. Ez különösen igaz a száraz nyári időszakra, mivel az öntözővíz akkor nélkülözhetetlen. Összehasonlítva az öntözött és az öntözetlen szója és kukorica állományt, az öntözött növények kisebb érzékenységet mutattak a hőmérsékleti index alapján. A vegetációs időben a forró napok az öntözött kukoricában is csökkentették a hozamot, de az öntözetlen kukoricában nagyobb lett a hozamcsökkenés.

A felhasznált szakirodalom alapján úgy vélem, hogy a klímakárok csökkentését regionális szinten szükséges beazonosítani és felmérni, valamint a felmerült stratégiák alkalmazását gazdaságilag indokolni és alkalmazni. Nyári időszakban, a klímakár csökkentő talajművelés alkalmazása mellett az öntözés is alkalmas módszernek bizonyult.

2.5 A talajtakarás szerepe a klímakárok elleni védelemben

2.5.1. A takarás hatása a talaj nedvesség- és hőviszonyaira

Az édesvízhiány egyre több embert érint (**Mekonnen és Hoekstra, 2016**), emiatt a vízhiány az elmúlt évtizedben globális figyelmet kapott. A világ összes vízfogyasztásának körülbelül 92%-a a mezőgazdasághoz kapcsolódik (**Hoekstra et al., 2012**), ezáltal növekszik az érdeklődés a vízfelhasználás ésszerűsítésére és a vízhiányra való érzékenység csökkentésére.

A vízfelhasználás csökkentésének lehetőségei a növénytermesztésben jelentősen változnak, a talaj mulcsolástól kezdve a talaj párolgás csökkentéséig (**Pi et al., 2017**). A

talajtakaró a talaj felületét és a légkört elválasztó, nem azonos anyagú réteget jelent, amely kedvezően befolyásolja a talaj-környezet változásait (Acharya et al., 2005). Naeini és Cook, (2000a) Kamal és Singh (2011) szerint a talajtakarás a növénytermesztés és a talajvédelem szempontjából egyaránt előnyös, mivel szerves vagy szervesetlen anyagokat helyeznek a talaj felszínére, ezáltal kedvezőbb környezetet hoznak létre a növények növekedéséhez és fejlődéséhez. Szerves és szervesetlen talajtakaró anyagokat különböztetünk meg. A szerves csoportba tartoznak a növényi maradványok, elsősorban szalma, a fenyő tűlevelei és a faforgács, amelyek az idő múlásával bomlanak és a talaj részévé válnak (Thurston, 1997; Pragmanik et al., 2015). Verhulst et al. (2011) a talaj szalmás takarását hagyományos termesztési módszereknek tekintik, amellyel csökkenteni lehet a terméskiesést, különösen a száraz területeken. A szalma és a többi növényi maradvány a víz párolgásának csökkentésére révén közvetve növeli a talaj nedvességtartalmát, fokozza a növény növekedését és fejlődését, valamint a vízfelhasználás hatékonyságát is (Tao et al., 2013).

Akhtar et al. (2018) kétéves kísérletben (2015-2016) a talaj biokémiai tulajdonságait és a kukorica hozamának változásait vizsgálták. A kezelések három különböző szintű búzaszalma mulcs hozzáadásából álltak (S1: 0 kg ha⁻¹, S2: 2500 kg ha⁻¹, S3: 5000 kg ha⁻¹). Az eredményeket négy mélységből (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm) vett minták alapján elemezték. A talaj enzimek az S3 kezelésben szignifikánsan magasabbak voltak, mint az S1 kezelésnél, valamint az értékek magasabbak voltak a 0-10 cm talajmélységben, mint a mélyebb talajrétegekben. Az adatok elemzése során kiderült, hogy a talaj nedvességtartalmát különböző mélységekben szignifikánsan ($p < 0,05$) befolyásolta a talaj szalmatakarása. A talajnedvesség 2015-ben szignifikánsan magasabb volt az S3-ban, mint az S2 és az S1 kezeléseknél. Az S3 kezelés 0-10 cm-nél 11,3%-kal, 10-20 cm-nél 10,5%-kal, 20-30 cm-nél 10,3%-kal és 30-40 cm-nél 10,8%-kal nagyobb talajnedvességet tapasztaltak. Ezek alapján az S1 kezeléshez képest, az S3 kezelés terméshozama 7%-kal növekedett, a biomassa hozama 28%-kal és a vízfelhasználás hatékonysága 8%-kal javult. A szerzők szerint a szalma mulcsolásból adódó kedvező talajnedvesség és -hőmérsékleti viszonyoknak betudhatóan a rendelkezésre álló nitrogén hasznosulása is növekedett.

Page et al. (2019) a Hermitage kutatóállomáson, Queensland délkeleti részén (Ausztrália) Vertisol (Ustic Pellustert) talajon végeztek kutatásokat egy 1968-ban létrehozott talajművelési tartamkísérletben. A hagyományos művelés (CT), a direktvetés (NT), a tarlóégetés (SB) és a tarlótakarás (SR), valamint három különböző arányú nitrogén adag (0, 30 és 90 kg N/ha) hatásait vizsgálták közepméretű parcellákban, négy ismétlésben. Az 50 éves vizsgálat alapján a talaj a direktvetés és a tarlótakarásos kezeléseknél több nedvességet tárolt (390 mm) a

hagyományos és a tarlóégetéses kezeléssel (346 mm) szemben. A hagyományos művelés és a tarlótakarásos kezelés kombinációja (363 mm) hasonló eredményt adott, mint a direktvetés és a tarlóégetés kombinációja (357 mm). **Kaur és Arora (2019)** tanulmányukban a növények vízhasznosítási hatékonyságának optimalizálását írták le. Északnyugat-India szemiárid területein két különböző talajművelési rendszert (hagyományos művelés - tárcsázás 10 cm és mélyművelés - 35-40 cm + hagyományos művelés), takaróanyag mennyiséget (takaratlan és rizsszalma takaróanyag 6 t ha⁻¹), az öntözés és a nitrogén ellátás (0, 50, 100 és 150 kg ha⁻¹) hatását tanulmányozták a talaj fizikai változásaira, a gyökér növekedésére, a víz felhasználására, a nitrogén felvételére és a kukorica hozamra. Eredményeik szerint a mélyművelés és a talajtakaró hatása a talajnedvességre és a talajhőmérsékletre kedvezőnek bizonyult. Mélyművelésnél alacsonyabb talajellenállást mértek, ezen felül sűrűbb gyökeresedést, mint a hagyományos talajművelésben, ugyanakkor a takaróanyag 3,5-8,5 °C-kal csökkentette a talajhőmérsékletet. A legmagasabb hőmérsékletet (29-47 °C) a takaratlan talajban, 5 cm mélységben mérték, míg a takartban 25-38 °C-ot. A termés szempontjából a talajművelés, az öntözés és a nitrogén hatása szignifikáns volt, míg a takaróanyag hatása 10%-os valószínűségi szintnél volt szignifikáns.

Wang et al. (2016b) eredményei szerint a szalmatakaró rövidtávon nemcsak növelte a kukorica termését, hanem jelentős hosszútávú előnyöket is nyújtott, mint például a talaj szerves széntartalmának növelése vagy fenntartása. Ugyanakkor a növényi maradványok csökkentették a talaj párolgását és a talaj hőmérsékletét, szabályozták a gyomok növekedését. **Kader et al. (2017)** szerint hasonló esetben jobb víz- és tápanyag-hasznosítás, valamint a magasabb hozam várható.

Li et al. (2018) két éven át (2015 és 2016), kukoricában nyolc kezeléssel kísérletben, hét különböző takaróanyag hatását vizsgálták a talajnedvesség dinamikájára és a növények növekedésére. A hét féle talajtakaróanyag a kontrollhoz képest a teljes vegetáció alatt csökkentette az evapotranszpirációt, valamint az összes takarási kezelés hatékonyan segítette elő a kukorica növekedését és növelte a vízfelhasználás hatékonyságát. A termés 34%-kal több volt a kontrollhoz képest, a vízfelhasználási hatékonyságát 4,1 kg hm⁻²mm⁻¹-ben jelölték meg fekete fóliás takarás esetén. Ezeket az eredményeket más kínai kísérletek (**Cai et al., 2015; Wang et al., 2016a; Yan et al., 2017**) is alátámasztják.

Siczek et al. (2015) Lublinban (Lengyelország) végzett vizsgálataikban úgy találták, a talajtakarás talajhőmérsékletre gyakorolt hatása a talajréteghez és a növekedési fázisokhoz kapcsolódik. A több menettel tömörített parcellákban a 2-10 cm rétegben a vegetációs idő alatt a talajtakarás alacsonyabb talajhőmérsékletet eredményezett (p<0,05), kivéve minden

parcellában a magtelítődés fázisában, valamint éréskor a tömörítetlen (kontroll) és az (erősen tömörített) talajon. Az idény nagy részében a tömörítetlen és takart talajok mutatták a legnagyobb vízpotenciált. Ezen kívül **Pagliai et al. (2004)** számolt be arról, hogy a szalma mulcs hatása megakadályozta a kéreg képződését az esőcseppek energiájának eloszlása miatt, még mielőtt azok a talaj felszínére kerültek volna. **Zhang et al. (2016)** kínai lösz fennsík szemiárid területein kisparcellás kísérletben négy éven át (2007-2010) tanulmányozták a felszínen hagyott maradványok hatását. Négy kezelést vizsgáltak, egy takaratlan és három különböző tömegű szalma alkalmazása mellett (alacsony borítás 4,5 t ha⁻¹, közepes borítás 9 t ha⁻¹ és 13,5 t ha⁻¹). A változó szalma mennyiség eltérő hatást gyakorolt a talaj tulajdonságaira, a 13,5 t borítás eredményezte a legjobb hatást. A kontrollhoz képest a 4,5 t borítás 15,7%-kal, a 9 t borítás 30,7%-kal, továbbá a 13,5 t borítás 34,6%-kal növelte a vízfelhasználás hatékonyságát. Ezáltal a termés is növekedett, 10,6% 22,8% és 22,5%-kal. **Yan et al. (2006)** kísérletükben a szalmatakarással 0-20 cm mélységben nagyobb talajnedvesség tárolást tapasztaltak. A növény optimális növekedés érdekében a talaj nedvességtartalmát és hőmérsékletét, valamint a vízfelhasználási hatékonyságát a különböző takaróanyagokkal (szalma, fű, papír) vizsgálták szójában a Gifu egyetemi kísérleti téren, Japánban. Úgy találták, a magas talajhőmérséklet (július-augusztus) felgyorsítja a talaj felszíni evaporációját, csökkenti a talaj nedvességtartalmát, következésképpen negatív hatással van a növény növekedésére és fejlődésére. A talajtakarás puffer közegként szolgált a légkör és a talaj felszíne között, ezáltal jótékonyan befolyásolta a talaj hőmérsékletét. A kontrollal összevetve a talajtakarási kezelések 2 °C-kal csökkentették a talajhőmérsékletet 5 cm mélységben és 0,5 °C-kal a 15-25 cm mélységben. A szalmával takart parcellák 15 cm mélységben tárolták a legtöbb nedvességet, ezt követte a műanyaggal takart talaj (**Abdul Kader et al., 2017**).

Dong et al. (2018) a Löss fennsík déli részén, iszapos agyagos vályog talajon takaratlan hagyományos szántást (kontroll), műanyag fóliával takart hagyományos szántást és szalmával takart hagyományos szántást vizsgáltak. A takart kukorica parcellák 3-5 cm hosszú búzaszalmával voltak borítva, míg a takart őszi búza parcellák 3-5 cm hosszú kukorica maradványokkal. Mindkét kezelés azonos mennyiséggel volt borítva (4 t ha⁻¹). A talajnedvesség a fóliával takart kezelésben magasabb volt a szalmával takartnál. Őszi búza esetében a fóliával takart kezelés vízfelhasználási hatékonysága 24,5%-kal, a szalmával takart kezelése pedig 8,8%-kal volt nagyobb, mint a kontroll. Kukoricával fólia takarással 22,9%-kal, szalmával 6,3%-kal nagyobb vízfelhasználási hatékonyságot értek el a kontrollhoz képest. **Wang et al. (2019a)** kutatásai 2013-2016 között folytak takaratlan - S0; takart - S1/2 (700 kg/ha szójaszár + 3000 kg/ha búzaszalma) és takart - S1 (1400 kg/ha szójaszár + 6000 kg/ha búzaszalma) talaj

összehasonlításával, búza-szója vetésforgóban. A vetési időszakban az S1/2 és S1 kezelések talajhőmérséklete 0,1-1,1 °C-kal és 0,3-1,4 °C-kal magasabb volt, míg bokrosodástól érésig szignifikánsan alacsonyabb hőmérsékletet tudtak kimutatni, mint az S0 kezelésben. **Yang et al. (2016)** már korábban igazolta a szalmatakarás talajhőmérséklet szabályozó hatását. **Wang et al. (2016)** rámutattak, hogy a műanyag talajtakaró tavasszal javíthatja a talajhőmérsékletet, így lehetővé teszi a korábbi ültetést és a gyorsabb fejlődést.

Hazai viszonylatban **Ruzsányi (2000b)** szerint a szárazság elsősorban a téli csapadékhiányban mutatható ki. Ezt alátámasztja **Nagy és Nagy (2018)**. Továbbá felhívták a figyelmet arra, hogy szárazságban a ritkán előforduló nagyobb csapadékmennyiséget csak a jól művelt talaj képes befogadni, betárazni. A búza vízellátása egyre inkább a tenyészidei csapadéktól függ, mivel a téli időszakban alacsonyabb a talajban tárolt, felvehető vízmennyiség (**Birkás és Gyuricza, 2001**). Az aszálykárok gyakoriságát és nagyságát nemcsak a csapadékhiányban, hanem a talajhasznosításban és az agrotechnikai eljárásokban kell keresni. Emellett **Nagy (2017)**, az időjárási szélsőséges hatásokat jobban tűrő fajták és hibridek nemesítését, valamint termesztésbe vonását emelte ki. **Zsembeli et al. (2015)** liziméteres kísérletben hagyományos és csökkentett művelési kezelések hatásait vizsgálták. A csökkentett művelési kezelésben a felszíni mulcs réteg redukálta a talaj vízvesztését, kiszáradását, valamint kedvező hatással volt a talajéletre. Ugyanakkor vízbefogadás szempontjából a bolygatatlan kezelések tudták a legkevesebb vizet befogadni, ülepedett állapotuk miatt. A szántóföldi tarlóművelési kísérletben **Kalmár (2015)** hasonló eredményeket ért el.

2.5.2. A takarás hatása a talaj fizikai állapotára

A talaj alapvető feladata a termesztett növényeket ellátni vízzel, oxigénnel és tápanyagokkal. A talajokat veszélyeztető talajfizikai degradációs folyamatok közül a talajtömörödés az egyik legelterjedtebb és legnagyobb károkat okozó (forma) folyamat. **Gentile (2000)** szerint a talaj részben megújuló erőforrás, emiatt a károsodása csak idővel állhat helyre.

A talajművelés és a talajtakarás jelentősen befolyásolja a talaj tulajdonságait, a környezet minőségét és a növény termelékenységét (**Keshavarzpour és Rashidi, 2008**). A talajkímélő művelési rendszerekben a növényi maradványok talajtakaróként ismertek (**Wang et al., 2017; Wang et al. 2019b**). **Kalmár et al. (2007)** szerint a takarás feladata a talajszerkezet védelme és a nedvesség-vesztés csökkentése. A talaj és a talajnedvesség megőrzésére szolgáló előnyös stratégiák alapelve főként a takarás biztosítása az esőcsepp kinetikus energiájának elnyelése

érdekében, valamint a csepperózió csökkentése (**Sadeghi et al., 2015; Jourgholami et al., 2018**), a talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak, benne a szervesanyag-tartalom és az aggregátum-stabilitás javítása (**Jordán et al., 2010; Chatterjee et al., 2016**), a talaj beszivárgási képességének növelése és a párolgás csökkentése (**Derpsch et al., 2006; Swella et al., 2015**), továbbá durva felület létrehozása a lefolyás csökkentése és a beszivárgás fokozása érdekében (**Fallahi és Raoufat 2008; Vermang et al. 2015**).

Sharratt et al. (2006) szerint a talajművelés és a növényi maradványok kezelése befolyásolhatja a talaj fizikai tulajdonságait, közvetlenül a talaj fizikai mátrixának megváltoztatásával vagy közvetett módon a felületi energia megosztásával, a mikrobiális aktivitás és a talaj kémiai összetételének megváltoztatása révén. **Villamil et al. (2015)** pontosította a talajfizikai tulajdonságok definícióit, így a térfogattömeg, a talajellenállás és a vízálló aggregátumok tekintetében. Megfigyelték, hogy a növényi maradványok eltávolítása hosszú távon csökkentheti a talaj szerves szén tartalmát, továbbá növeli a talajtömörödést és az erózióval szembeni hajlamot.

Celik (2005) megállapítása szerint a művelés általi bolygatás ronthatja a talajrészecskék stabilitását. Ellenben a talajkímélő, fenntartható mezőgazdaság (*conservation agriculture*) gyakorlata, mint a direktvetés, a csökkentett talajművelés, a növényi maradványok visszatartása és a nitrogén tápanyag alkalmazása a hagyományos műveléshez képest többnyire növelik a talaj szerves szénkészletét (**Somasundaram et al., 2016**). A talaj szerves széntartalma a talajminőség alapvető tényezője (**Balesdent et al., 2000**), fontos a szerepe az aggregátumok stabilizálásában (**Cerdá et al., 2000**). Az aggregátumok stabilitása tehát kulcsfontosságú a talaj szerves szénkészletének megőrzése és hosszútávú tárolása érdekében (**Acar et al., 2018**).

Napjainkban a gyakori heves esők és tartós aszályok miatt a talajfelszín védelme növényi maradványokkal fontos szerepet kapott. A talajrontó művelési gyakorlat ugyanis a talaj fizikai leromlásához vezetett és a víz és a szél általi erózió fő oka lett (**FAO, 2000**). **Günel et al. (2015)** szerint az erózió a talajminőség egyik legfontosabb és leggyakoribb veszélye. A gazdálkodók a szalmatarakást alkalmazhatják a talajerózió csökkentésére és a csapadék visszatartásának elősegítésére a nyári időszakban. Ezzel szemben **Kaspar et al. (2012)** a takarónövények védő hatására irányította a figyelmet (pl. hüvelyesek, fűfélék és a mustár), amely a talajminőség javítására, a tápanyagok megőrzésére és a termés javítására alkalmas. **Gebhardt et al. (1985)** szerint a különböző művelési módok eltérő mennyiségű növényi maradványt hagyhatnak a talaj felszínén, amelyek visszatartása a javítja a talaj minőségét és termékenységét a talaj tulajdonságokra gyakorolt kedvező hatások révén. **Hammerbeck et al. (2012)** szerint a kukoricamaradványok eltávolítása – mivel alternatív energiaforrásként is használják –

hosszútávon ronthatja a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait. A direktvetéses talaj felszínén általában nagy mennyiségű növényi maradvány található, amelyek pufferként szolgálnak (Mulumba és Lal, 2008). Ugyanakkor a csökkentett és a sávos művelés hasonló eredményekkel szolgál (Al-Kaisi és Yin, 2005). Laufer et al. (2016) a sávos, csökkentett és intenzív (szántás) talajművelés hatásait vizsgálták a talajfelszín lefolyási tényezőire és a talajvesztésre, cukorrépa termesztésben. A cukorrépa 4-6 leveles stádiumában heves esőt szimuláltak $24 \text{ mm } 20 \text{ min}^{-1}$ csapadékintenzitással. A csökkentett és a sávos művelés lassúbb lefolyási sebességet eredményezett, az aggregátumok stabilabbak maradtak és az üledék-koncentráció is alacsonyabb maradt. A talajvesztés az intenzív műveléshez képest 85%-kal alacsonyabb volt a csökkentett talajművelésnél, 98%-kal a sávos művelésnél.

Dean és Merry (2015) tarlókezelési kísérletet indítottak Tasmánia északi részén (Ausztrália) a tarlóművelés különböző lehetőségeinek kiértékelésére. Öt tarlóművelési kezelést hasonlítottak össze: teljesen takart, teljesen takart + magas vetési arány, talajtakaró bekeverés, takaratlan talaj, ahol a takarót eltávolították és takaratlan talaj, ahol a takarót elégették. A penetrométeres méréseket 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm mélységtartományban végeztek. A talajellenállás 0-10 cm mélységben szignifikánsan alacsonyabb volt abban a talajban, ahol a talajtakarót bekeverték és a teljesen takart talajon + magas vetési aránnyal, mint a teljesen takart talajban és ott, ahol a talajtakarót eltávolították és elégették. A mechanikai tarlóművelési kezelések nagyobb hatással voltak a talajra a többi tarlóművelési kezelésekhöz képest. Az előbbieket Mu et al. (2016) kínai kísérlete is alátámasztja. Takart kezelésben alacsonyabb talajellenállást tapasztaltak 0-5 és 5-10 cm mélységben a takaratlanhoz képest, továbbá a mélyebben művelt (mélyszántás és kultivátorozás) talajok ugyancsak alacsonyabb talajellenállást mutattak.

Az Ohioi Állami Egyetem Waterman kísérleti területén iszapos agyag Stagnic Luvisol talajon még 1989-ben állítottak be kísérletet. Összehasonlították a direktvetést a szántással 20 cm mélységben és azon belül, alparcellánként két mennyiségben (0 Mg ha^{-1} és 4 Mg ha^{-1}) búzaszalmával takarták a felszínt. A művelésnek jelentős hatása volt a térfogattömegre a 0-10 cm ($1,24 \text{ g cm}^{-3}$) és az 50-60 cm ($1,37 \text{ g cm}^{-3}$) mélységben, továbbá a 40-60 cm mélységben a talajellenállásra is. A talajtakarás jelentősen befolyásolta a talaj térfogattömegét és a talaj összporozitását a 20-30 cm, a 40-50 cm és az 50-60 cm mélységben. Összeségében a talaj térfogattömege 3,8%-kal, a talajellenállás pedig 26,5 %-kal volt alacsonyabb, míg a talaj összporozitása 3,6 %-kal volt nagyobb a takart alparcellákban a takaratlanhoz képest (Nawaz et al., 2017). A direktvetés és a 15 cm mély szántás hosszútávú hatásait (1998-2009-ig) egy észak-kínai síkságon is vizsgálták őszi búza és kukorica kettőstermesztésben a

talajtulajdonságokra és a termésre. A 0-10 cm mélységben a makro- (51,2%-kal) és a mezoporozitás (4,6%-kal) szignifikánsan ($p < 0,05$) nagyobb volt a direktvetésben, de a mikroporozitás (3,8%-kal) alacsonyabb maradt a szántáshoz képest. A legnagyobb méretosztályú (>2 mm) vízálló aggregátumok százalékos aránya direktvetés esetén a 0-10 cm mélységben (46,7%-kal), a 10-20 cm mélységben (33,2%-kal) és a 20-30 cm mélységben (27,3%-kal) szignifikánsan ($p < 0,05$) nagyobb volt szántáshoz képest (**Jin et al., 2011**).

Six et al. (2000) szerint a talaj összporozitásának növekedése nagyobb levegőztetéssel és gyökérnövekedéssel jár, ezáltal javítja a növény fejlődését, növeli a víz-, és tápanyagfelvételét a mélyebb rétegből. **Jordán et al. (2010)** vizsgálatait Spanyolország déli részén három éven át Fluvisol talajon, szemiarid körülmények között végezték. Céljuk volt, hogy meghatározzák a műveletlen területen az öt különböző mennyiségű (MR0, MR1, MR5, MR10 és MR15 Mg ha⁻¹) búzaszalma hatásait. A talajtakarás hatása a kontrollhoz képest három év után jelentősen javította a vizsgált talaj fizikai és kémiai tulajdonságait. Átlagosan a legnagyobb térfogattömeget az MR0 és MR1 talajtakarási mennyiségnél ($1,45 \pm 0,02 \text{ g cm}^{-3}$), míg a legalacsonyabbat az MR15 ($1,32 \pm 0,02 \text{ g cm}^{-3}$) talajtakarási mennyiségnél tapasztaltak. Az átlagos porozitás $0,3 \pm 0,1 \%$ volt az MR0 és MR5 talajtakarási kezeléseknél, míg MR10 és MR15 talajtakarási kezeléseknél 173%-kal növekedett (átlagosan $0,6 \pm 0,1\%$). A térfogattömeg, a porozitás és az aggregátum stabilitása a növekvő talajtakarási mennyiséggel párhuzamosan javult.

Villamil et al. (2015) kukorica monokultúrában három különböző mennyiségben növényi maradványokat távolítottak el (teljesen- és félig eltávolítva és érintetlen), illetve két talajművelési kezelést (direktvetés és kultivátorozás) vizsgáltak. A direktvetésben 5%-kal magasabb volt a térfogattömeg és 39%-kal magasabb volt a talajjellenállás, mint a kultivátoros kezelésben. A direktvetésben a növényi maradványok eltávolítása szignifikánsan növelte a talajjellenállást, míg a kultivátoros kezelésben nem volt hatása. **Tormena et al. (2017)** hasonló következtetésre jutottak.

Kahlon et al. (2013) kísérletében a talajművelési kezelések és a talajtakarási mennyiségek szignifikáns ($p < 0,05$) hatását tapasztalták a térfogattömegekre és a talajjellenállásra. A legmagasabb talajjellenállási értéket (2,84 MPa) 20-30 cm mélységben a szántásban mérték, míg a legalacsonyabbat (0,79 MPa) a direktvetésben a 0-10 cm mélységben. **Das et al. (2019)** szerint a csökkentett művelés és a direktvetés hatásai csökkenthetik a hüvelyes növényeknél az aszály káros hatásait, megőrizve a talajnedvességet és javítva a gyökéraktivitást. **Kavian et al. (2018)** kísérletében homokos-anyagos talajon, 30%-os lejtőn és 50 mm h⁻¹ csapadékintenzitás mellett az 50% búzaszalma takarás 61,68% talajerózió csökkenést eredményezett, a 90%

búzaszalma takarás pedig 73,25%-ot. Megállapításaik szerint a talajvédelmi/talajkímélő eljárások csökkenthetik a lefolyási tényezőt, az üledékfelhalmozódást, talajeróziót, valamint növelhetik a lefolyási időt és a beszivárgási tényezőt. A búzaszalma pozitív hatásait más kínai kísérletben is tapasztalták (**Wang et al., 2017**).

A hazai szerzők közül **Farkas et al. (1999)** gödöllői barna erdőtalajon öt talajművelési kezelést (direktvetés, tárcsázás, szántás, lazítás + tárcsázás és lazítás + szántás) hasonlítottak össze. A szántás az 5-10 cm mélységben eredményezte a legkedvezőbb térfogattömeg és pórustérfogat értékeket, amely 15-25 cm mélységben jelentős mértékben növekedett. **Gecse (2001)** homokos vályogtalajon direktvetés kezelésben 10 cm alatt károsan tömörödött (4,83 MPa) talajréteget észlelt, amelynek ellenállása a hetedik évre (2000) lecsökkent (2,54 MPa). A lazulás a talajtakaró növényi maradvány felhalmozódásának, valamint a fokozott gilisztatevékenység hatásának tulajdonítható. **Gecse és Galovics (2001)** vályogos homoktalajokon direktvetés kezelésben az előbbi ellenpéldájáról számoltak be. Az évek előrehaladtával nőtt a talajellenállás, amely a harmadik évben sem ért el károsnak minősülő tömörödést (3 MPa).

A talajtakarás hatásait Birkás és munkatársai széleskörűen vizsgálták tarlókon (**Kalmár et al. 2013**) és tenyészedőben (**Gyuricza et al., 2015**). A tarlóművelést olyan talajgondozási folyamatnak tekintették, amelyet nyáron végeznek a learatott területen (**Birkás et al. 2007_a**). A tarlóművelés két fázisból tevődik össze. Az első fázis a minél kisebbre aprított és szétterített tarlómaradványok bekeverése 6-10 cm mélységig és a talajfelszín lezárása, míg a második fázis a kigyomosodott és árvakeléses tarló mechanikai vagy kémiai ápolása (**Kalmár et al., 2007**). A hazai és a nemzetközi talajállapot monitoring alapján **Birkás et al. (2008_b)** megállapították, hogy a mulcsborításnak jelentős hatása van a lazultság fenntartására, az esőcsepp kinetikus energiájának enyhítésére a talajszerkezet védelmében, valamint aktívabb talajbiológiai tevékenység fenntartásában. Nyári időszakban a tarlólántás után alkalmas mulcsborítás 50-60%-os fedettséggel ajánlott. Ez az arány vetés után az észak-amerikai tudósok által ajánlott 30%-ra csökkenhet. A józsefmajori tartamkísérletben hat talajművelési kezelés hatását vizsgálták az ülepedési hajlamra és más tényezőkre. A legnagyobb ülepedést a szántásos és a tárcsás kezelésben tapasztalták. Megállapították, hogy a művelt réteg mélységének csökkenésének oka a por (<0,25 mm) lemosódása az első tömörebb réteggig (**Birkás et al., 2012_b**). Emellett **Bottlik (2016)** bebizonyította, hogy a talajfelszínen lévő takaró anyag csak akkor képes talaj- és klímavédelmi funkciókat betölteni, ha a takarás homogén és megfelelő arányú. **Gyuricza et al. (2015)** a talajtakarás eredményének tulajdonították a száraz időszakban óhatatlan rögzösödés csökkenését bármely művelési kezelés esetén.

2.5.3. A takarás hatása a földigiliszták tevékenységére

A talaj sok élőlénynek szolgál élőhelyül. A földigilisztákat fontos ökoszisztéma-mérnököknek és az egyik legértékesebb talajbiológiai mutatóknak tekintik (Paoletti, 1999; Doran és Zeiss, 2000; Van Capelle et al., 2012; Blouin et al., 2013). Nagy számuk javítja a biológiai sokféleséget és a talaj környezetet, jelenlétük vagy hiányuk fontos talajállapot indikátor. A földigiliszták a makrofauna egyik legjelentősebb csoportja (Yasmin és D'Souza, 2010), a talajképződésben és a talajszelvény fejlődésében jelentős szerepet töltenek be, mivel napi szinten a testtömegük 20-30-szorosát tudják elfogyasztani (Lee, 1985). Kedvező hatással vannak a talaj termékenységére, javítják a talaj porozitását és a szerves anyag bekeverését és a tápanyagok hozzáférhetőségét a növények és a mikroorganizmusok számára. Kedvező hatásukat több külföldi és hazai kutató is felismerte (Ernst et al., 2009; Fischer et al., 2014; Birkás et al., 2004; Simon et al., 2011). Edwards és Lofty (1980) a földigiliszta fajok közül a kedvező hatásaik alapján kiemelten a *Lumbricus terrestris* fajt ismerte el meta-elemzés segítségével van Groenigen et al. (2014) mérései szerint a földigiliszták jelenléte az agroökoszisztémákban a termést 25%-kal, a föld feletti biomasszát pedig 23%-kal növelte.

A mezőgazdasági gyakorlat, a talajművelés, öntözés, növényvédő szerek használata, a vetéscserge, továbbá a nedvességtartalom befolyásolhatják a földigiliszta populáció biomasszáját és egyedszámát (Edwards és Bohlen, 1996). Pelosi et al. (2014) szerint a mezőgazdaság intenzifikálása csökkentheti a talaj biodiverzitását. A talajművelésre, mint a talajok fizikai körülményeinek mechanikai módosítására a földigiliszták különösen érzékenyek. A közvetlen mechanikai beavatkozások 50%-a sérülést okoz vagy meg is ölheti a földigilisztákat (Johnston et al. 2015; 2018), ezen felül közvetett módon drasztikusan megváltoztathatja a talaj környezetét eltávolítva a növényi maradványokat, mint szigetelő anyagot és élelmet, megváltoztathatja a talaj nedvességét, hőmérsékletét, szerkezetét és a pH értékét (Curry, 1998; Birkás et al., 2004; Birkás et al., 2012a; Sankar és Patnaik, 2018).

Karlen et al. (1994) tíz éves direktvetési kísérletben, kukorica monokultúrában három eltérő növényi maradvány mennyiségével (eltávolítva, normál és dupla), arra a következtetésre jutottak, hogy a növényi maradványok eltávolítása csökkenti a földigiliszta populáció biomasszáját és az egyedszámát. Chan (2001) megállapította, hogy öt év folyamatos szántás után a földigiliszta biomassza kb. 70%-kal, a földigiliszták száma pedig 80%-kal csökkent. A szántás pusztította a földigiliszta járatokat és csökkentette azok folytonosságát (Langmaack et al., 2002). Egy globális, meta-elemzésen alapuló áttekintésben 165 elkészült publikáció került elemzésre, amelyeket az elmúlt 65 év során írtak (1950-2016) és 5 kontinens, 40 országból

származtak. Az eredmények azt mutatták, hogy a direktvetés szignifikánsan növeli a földigiliszták számát (137%-kal), 196%-kal a biomasszát. Ezen felül a hagyományos szántáshoz képest a talajkímélő művelés 127%-kal növelte a földigiliszták egyedszámát és 101%-kal a biomasszát. A földigiliszta egyedszám tekintetében kedvezőnek bizonyult az, ha a talajt hosszabb ideig (>10 év) kímélően művelték, valamint az éves csapadék kedvező szintet ért el (**Briones és Schmidt, 2017**). **Peigné et al. (2018)** Franciaországban, homokos vályog talajon az előbbiekkal ellentétes tapasztalatokról publikáltak. Összehasonlították a talajkímélő kezeléseket (sekély kultivátoros 15 cm és nagyon sekély kultivátoros 5-7 cm mélységben) a hagyományos talajművelési kezelésekkal (szántás 30 cm és sekély szántást 18 cm mélységben) 10 éven keresztül. A földigiliszta populáció szempontjából szignifikáns növekedés ($p=0,04879$) csak az endogikus fajoknál volt megfigyelhető a sekély szántásban a többi kezeléshez képest. Továbbá legnagyobb földigiliszta biomasszát a sekélyen szántott talajban találtak. A 10 éves talajkímélő művelés (nagyon sekély: 5-7 cm mély és sekély: 15 cm mély kultivátoros) nem eredményezett nagyobb földigiliszta populációt, ráadásul növelte a talajellenállást is.

A csapadék hatását – a talajnedvesség révén – a földigiliszta aktivitásra **Smeaton et al. (2003)** is tapasztalta. Dél- ausztráliai mediterrán övezetben, a száraz nyár folyamán nem tapasztaltak földigiliszta aktivitást, míg csapadék után, 2001 júniusában (178 egyed/m²), a földigiliszták száma nagyon hasonló volt az előző októberhez (168 egyed/m²) képest. **Kladivko et al. (1996)** vizsgálati célja a földigiliszta populáció és a fajok eloszlásának meghatározása volt eltérő talajtípusokon, direktvetés és szántás esetén, hosszútávú tartam-kísérletekben. A kutatást Indiana és Illinois államokban végezték tizennégy helyen párhuzamosan, ahol mindegyik terület tartalmazott direktvetés és szántás kezelést is. A tizennégy hely közül nyolc helyen magasabb populációt tapasztaltak a direktvetésben, négy helyen közel azonos populáció volt mindkét művelési rendszerben, két helyen kissé alacsonyabb populáció volt a direktvetésben a szántáshoz képest. **Jeffrey et al. (2010)** álláspontja szerint minden talajművelési rendszer, amely a talajt megfordítja, negatívan befolyásolja az anezikus (vertikális járatokat készítő) földigilisztákat a függőleges járatok pusztítása révén. Ezzel összhangban **Pelosi et al. (2017)** tapasztalatai alapján, szántás után 56%-kal csökkent a gilisztajáratok száma.

Crittenden et al. (2014) kutatásai 2009-2012 között folytak, hagyományos és biogazdálkodásban, azon belül három különböző talajművelési rendszer (szántás, csökkentett talajművelés, sekély lazítás) összehasonlításával. A földigiliszta populáció a hagyományos gazdálkodásban őszi szántás előtt 512 egyed/m² volt, amely körülbelül 20%-kal meghaladta a sekély lazításban mért egyedszámot. A szántás után 5 nappal a földigiliszta populáció 66%-kal,

14 nap után 74%-kal csökkent, míg a sekély lazításban a földigiliszta száma nem változott. Biogazdálkodásban a szántás előtt 585 egyed/m² volt, amely körülbelül 50%-kal alacsonyabb maradt, mint a sekély lazítás esetén. A szántás után 21 nappal a földigiliszták száma 85%-kal csökkent. **Boström (1995)** ezzel ellentétben, a földigiliszták egyedszámának növekedéséről számolt be hagyományos művelésű talajban. **Pelosi et al. (2015)** Franciaországban, 1997-ben beállított kísérletben a földigiliszták fajösszetételét, mennyiségét és biomasszáját mérték, három termesztési rendszerben. Az első időszakban (2005 és 2007 között), a földigiliszta populáció általában nem különbözött, de a hagyományos rendszerben esetenként magasabb volt. Az átlagos földigiliszta szám 122 egyed/m² volt biogazdálkodásban, 121 egyed/m² volt az ún. élő mulcsba történő direktvetésben és 149 egyed/m² a hagyományos rendszerben. Míg a második időszakban (2011 és 2013 között), a hagyományos rendszerben kissé nőtt a populáció (216 egyed/m²), a másik két rendszerben megháromszorozódtak (az ún. élő mulcsba történő direktvetés 386, a biogazdálkodásban 408 egyed/m²). A szerzők nagy változást bizonyos fajoknak tulajdonítottak, pl. az *Aporrectodea caliginosa* és *A. longa* fajok az ún. élő mulcsba történő direktvetésben, az *A. caliginosa*, *A. longa*, a *Lumbricus castaneus* és *Lumbricus terrestris* fajok a biogazdálkodásban.

Sizmur et al. (2017) két tartamkísérletben 28 éven át különböző mennyiségű búzaszalma és 171 éven át a szerves trágya hatását vizsgálták, a földigiliszta populációra és biomasszára. A búzaszalmát 0, 5, 10, 20 t ha⁻¹ mennyiségben juttatták ki. Míg a másik kísérletben szerves trágya 35 t ha⁻¹ mennyiségben, 5 t ha⁻¹ búzaszalma, 35 t ha⁻¹ szerves trágya és 5 t ha⁻¹ búzaszalma együtt, és a kontroll parcella volt összehasonlítva. A legmagasabb szalma mennyiség (20 t ha⁻¹) alatt a földigiliszta mennyiség és a biomassa szignifikánsan nagyobb volt (p<0,05) a kontrollhoz képest. A különbséget nagyrészt az endogeikus földigiliszták szignifikánsan nagyobb számának és biomasszájának (p<0,01) tulajdoníthatják. A szerves trágya jelentősen megnövelte (p<0,001) a földigiliszta biomasszáját (1290%-kal) az endogeikus (p<0,001), anexikus (p<0,05), kifejlett (p<0,01) és a fiatal (p<0,01) egyedeket illetően. **Sauvadet et al. (2016)** szerint a talaj biota populációjának méretét és aktivitását jelentősen befolyásolják a növényi maradványok, az edafikus élőhely és az élelmiszer-forrás jelentős megváltoztatásával. **Abail és Whalen (2018)** két év vizsgálat alapján (2014 és 2015) azt tapasztalták, hogy a földigiliszták fajai és összetétele hasonlóak voltak a kezelések alatt. Nagyobb tömegű növényi maradvány alatt 2.3-szer több földigiliszta volt, és majdnem kétszer nagyobb biomassa, mint a kisebb mennyiségű növényi maradványok alatt. A földigiliszták egyedszáma és a biomassa pozitív korrelációban volt a felszíni növényi maradvány tömegével (egyedszám: rs=0.74, p<0.001, n=40; biomassa: rs=0.55, p<0.001, n=40). **Birkás (2010)** több év kísérleti

tapasztalatai alapján megállapította, hogy a takarási arány növelése esetén növekedett a földigiliszta egyedszám. Ezeket a következtetéseket újabb kísérleti eredmények is alátámasztják. A 2016-ban és 2017-ben, összesen 14 mérési adat alapján, eltérő talajművelési kezelésekben, ezek közül a direktvetésben 12 alkalommal tapasztalták a legnagyobb földigiliszta populációt, míg a legkisebbeket (13 esetben), a szántás kezelés esetén és egy esetben a tárcsázás kezelés ért el. Időbeli eloszlás szempontjából, 2016 májusában és 2017 áprilisában mérték a legnagyobb földigiliszta populációt (**Dekemati et al., 2019_b**).

2.5.4. A klímakár-csökkentés talajművelési lehetőségei

A talajok megújulása az emberi tevékenységgel elkövetett hibák után nagyon lassú és gyakran el is marad. A talaj élő rendszer, amely térben és időben nagy változatosságot mutat (**Bašić, 2013**). **Várallyay (2012)** szerint a fenntartható fejlődés elsődleges feladata a talaj- és vízkészletek racionális hasznosítása, védelme és minőségének fenntartása. A mezőgazdaságban víz kulcsfontosságú és egyre nagyobb területeken meghatározó tényező.

Birkás és Jolánkai (2008) szerint az alkalmazkodás legfontosabb teendői a talajhoz, a vízhez és a szerves anyaghoz kapcsolódnak. Fontos irányelv a talajok olyan állapotba hozása, hogy a víz befogadására, tárolására és visszatartására legyenek képesek. A művelésnek a talajállapot alakítása révén jelentős szerepe van a talaj klímaérzékenységének csökkentésében. **Birkás (2010)** megfogalmazása szerint a klímakár-csökkentő talajművelés fő jellemzői a vízbefogadására és tárolásra alkalmas talajállapot létrehozása és fenntartása, nedvesség-, talajszerkezet- és szervesanyag-kímélő eljárások alkalmazása. A hosszú távra szóló becslések alapján a következő időszakban a régióinkban enyhe és csapadékos telek, meleg és szárazabb nyarak, valamint szélsőséges csapadékeloszlás mellett több szeles és viharos nap következhet be (**Bartholy et al., 2008**). **Birkás et al. (2015_c)** tanulmányukban részletesen kifejtették azokat a művelési teendőket, amelyek révén enyhíthetőek a talajokat sújtó klíma eredetű károk.

A víz visszatartása aratás után elsődleges tényezővé vált. A nedvesség megkímélése több teendőt tartalmaz. Az első lépés aratáskor a szalma és a kisebb méretűre szecskázása és jó terítése. A következő feladat a maradványok sekély talajba keverése és vízvesztő felszín csökkentése. A gyomkorlátozás a tarlókon ugyancsak a vízvesztés mérséklését szolgálja. A mechanikai gyomirtáshoz képest a kémiai mód kevesebb vízvesztéssel jár (de következményei napjainkban viták alapját képezi) (**Birkás, 2010**).

A tenyészidőszak alatt a kisebb-nagyobb takarási arány a változékony időjárás miatt vált fontossá. A védelem megfelelő, ha a kritikus időszak alatt a felszínen megközelítőleg 35-45% takarási arány marad **(Birkás, 2018)**. A tarlómaradványok eltávolításának a talajra gyakorolt hatása száraz időszakban a talaj kiszáradásához, csapadékos időszakban a tömörödés fokozódásához vezet. Ez utóbbi a kolloid és porfrakciók mélyebb rétegbe mosódása és a meglévő tömör réteggel való összeállása miatt következik be. Esős időszakot követően, száraz időszakban a takaratlan talajfelszín kérgesedik **(Bottlik et al., 2014)**, amely káros a talaj biológiai folyamataira is. A talaj szerves anyagának csökkenése növeli a klímával szembeni érzékenységet, ezért a kárcsökkentés feladatai között a szervesanyag védelem kiemelt fontosságú. További feladat a vízbefogadásra és tárolásra alkalmas, elegendően mély lazult réteg kialakítása vagy – kedvező esetben – fenntartása. Dolgozatom adott fejezetében 4.4. – a tartamkísérleti eredmények háttérével – részletesen fejtem ki a klímakár-csökkentés művelési lehetőségeit.

2.6 A szakirodalmi áttekintés fontosabb megállapításai

Dolgozotomban a hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése alapján az alábbi következtetések vonhatóak le:

- A magyar talajművelés fejlődését a hagyományok, a nyugat-európaiaktól gyengébb gépellátottság, az ökológiai nehézségek sokáig akadályozták, ugyanakkor a nyugat-európai hatások, az európai kitekintésű szerzők törekvései folyamatosan előmozdították. Napjainkban az előrehaladás kulcsa a szaktudás, a nehézségekre – benne az időjárási szélsőségekre – való gyors reagálás.
- A horvátországi talajművelés fejlődését – lassú előrehaladás után – a délszláv háború akasztotta meg. Jelenleg a szántóterület több mint 90%-án hagyományos művelés dívik, ugyanakkor az EU csatlakozás óta javultak az előrelépés lehetőségei, s lassan növekvő a klímakár-csökkentő megoldások alkalmazása.
- A 2000-es évek óta két ország művelési előrehaladása közti különbséget a gazdálkodókhoz eljutó információk mennyisége és módja vélhetően befolyásolja. Az ún. „tanító ráhatásban” a magyar példák jobbnak bizonyultak.
- Az új művelési célok az ún. növényközpontú felfogás helyett a talajminőség javítására, a klimatikus károk enyhítésére ösztönöznek.

- A Kárpát-medencére vonatkozó időjárási előrejelzések a csapadékvíz talajba jutásának elősegítésére, a talajnedvesség lehetőség szerinti visszatartására, a talajfelszín kitettségeinek csökkentésére irányítják a figyelmet. Ezek az óvások a körülményekhez adaptált műveléssel teljesíthetők.
- A talajokat napjainkban a szakszerűtlen művelés mellett klíma eredetű károk is veszélyeztetik. A talaj ökoszisztéma szolgáltatásaiban számos kedvezőtlen változás következhet be, amelyek enyhítésére hatásos megoldást kell találni.
- Az éghajlatváltozást kísérő hőmérsékletemelkedés, csapadékmennyiség csökkenés és egyenetlen eloszlás a jövőben jelentős veszteségeket okozhat a növénytermesztésben. Ugyanakkor a jelenlegi tapasztalatok világszerte és térségünkben is azt igazolják, hogy kárcsökkentő művelési módszerek alkalmazásakor a korábbinál is jobb terméseket lehet elérni.
- Az időjárással összefüggő károk csökkentése a jelen és a jövő kihívása és feladata. A talajfelszín takarása kritikus időszakokban a talaj káros felmelegedésnek csökkenését, nedvesség visszatartását, hatékony tárolását segíti elő, emellett enyhíti a talajt sújtó jelenségek (eliszapolódás, kérgesedés, ülepedés) kárait. A talaj takarása – tarlómaradványokkal vagy takarónövényekkel – a nedvesség visszatartása és a talajjellenállás mérséklése révén művelést könnyítő, talajminőség kímélő tényezővé vált. A talajtakarással előállt árnyékolás és a kedvezőbb talajhőmérséklet a hasznos talajlakó élőlényeknek – köztük a földigilisztáknak – is jobb élőhelyet nyújt.
- A klímakár-csökkentő művelés **Birkás (2000)** szerint a talaj klíma érzékenységének enyhítése a nedvesség- és szénforgalom okszerű szabályozásával. Hasonló törekvések világszerte tapasztalhatók. Az ajánlott művelési módszerek lokálisan eltérőek, közös bennük az előbb leírt definícióban foglalt célok teljesülése.
- A szakirodalomban idézett eredményeket valamely klímakár csökkentésre alkalmatlan kontrollhoz viszonyítottak (hagyományos szántáshoz), Dolgozatomban a szántás az általánosan alkalmazottnál jobb, ezért az összehasonlítás némileg eltér a szakirodalomban idézettektől.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A kutatómunka körülményei

A kísérleti munkát két különböző termőhelyen végeztem, három tenyészidőben, 2015 és 2018 között.

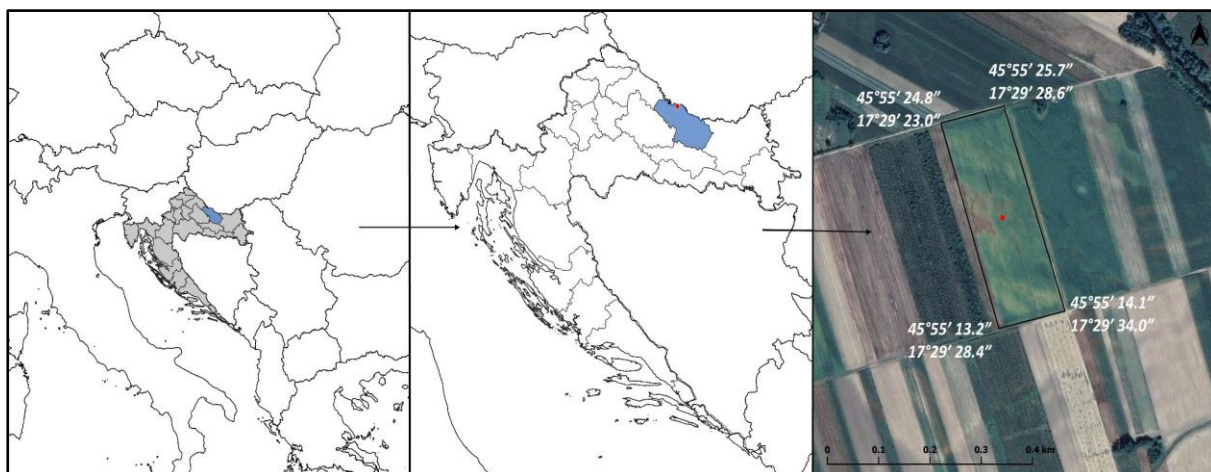
Az első, üzemi jellegű talajművelési kísérletet Lukač határában (Verőce-Drávamente megye – Horvátország) állítottam be. A másik, a Szent István Egyetem, Józsefmajori Kísérleti- és Tangazdaságának (Pest megye – Hatvan) 2002 óta folyó tartamkísérletében volt.

3.1.1. A lukácsi gazdaság földrajzi fekvése, valamint éghajlati- és talajviszonyai

A Lukács (horvátul: Lukač) település Verőce-Drávamenti megyében helyezkedik el, a Bilogora északi lejtője, a Papuk hegység és északon Dráva folyó között. **Bašić (2014)** szerint P2 Pannon régióban található. Lukács határában 74,93%-ban szántóföldi területek vannak.

A terület síkvidéknek osztályozható, amely az éghajlati jellemzők homogenitását határozta meg. A térség éghajlata kontinentális. Az ősz általában melegebb, mint a tavasz. A tavaszi időszakot hirtelen hőmérséklet-emelkedés és a viszonylag kemény télből a nyárba való átmenet jellemzi. Az évi átlagos léghőmérséklet 10 °C és 10.7 °C között van, az évi átlagos csapadék az 1965-1995 közötti időszakra 815,5 mm. Ez idő alatt a legalacsonyabb mért átlag csapadék 552.6 mm (1971) volt, míg a legmagasabb 1114.8 mm (1972). A 4.1.1. fejezetben bemutatott csapadék adatokat (Virovitica állomás) a horvátországi országos meteorológiai szolgálattól kaptam.

Geológiai szempontból a terület főként löszből, eolikus homokból és szerves-mocsaras üledékekből (mocsaras agyag, homok, tőzeg) áll. Talajtani szempontból öt fő talajtípus található itt. Az alacsony fekvésű réti talajok és a csernozjomok a löszön a jól művelhető osztályba tartozik, míg pszeudoglej a fennsíkon, a sekély tőzegű láp talajok és a mocsaras-glejes részben meliorált talajok a talajművelésre olykor alkalmatlan osztályba tartoznak (**Čmelik és Husnjak, 2011; Husnjak és Bensa, 2018**). A területet GPS koordinátákkal az **1a. ábrán** mutatom be.



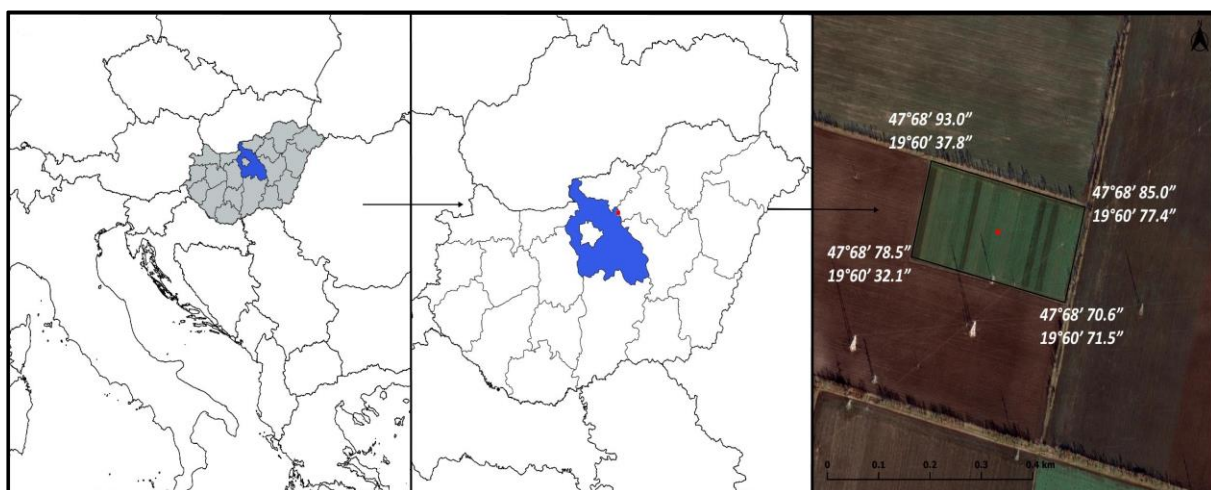
1a. ábra: A lukácsi kísérleti terület elhelyezkedése

3.1.2. A józsefmajori Kísérleti- és Tangazdáság földrajzi fekvése, éghajlati és talajviszonyai

A terület a Cserhátalján, valamint az Alföld és az Északi-középhegység peremén helyezkedik el. Hatvan városától 5 km-re ÉNy-i irányában van, míg Budapesttől 55 km-re ÉK-i irányában található.

Az éves átlagos csapadék az 1961-1990 közötti időszakra 520-570 mm, amelyből 395 mm esik a vegetációs időszakban (március-október). Az éves átlaghőmérséklet 9,5-10,3 °C, amely a tenyészidőszak alatt 16,3-17,5 °C között van (**Dövényi, 2010**). Az effektív napi hőmérsékleti összeg (*angol rövidítése: GDD*) általában 183 napig tart, április 13. és november 13. között.

A Világ Talaj Referenciabázis (**IUSS Working Group WRB, 2015**) szerint a kísérleti terület talaja Endocalcic Chernozems, Loamic, amelynek textúrája vályog, kedvező vízforgalommal. A kísérleti terület sík, tengerszint feletti magassága 110 m. A területet GPS koordinátákkal az **1b. ábrán** mutatom be.



1b. ábra: A józsefmajori kísérleti terület elhelyezkedése

3.2 A talajművelés kísérletek bemutatása

3.2.1. A lukácsi művelési kísérlet

A lukácsi talajművelési kísérlet helyszínét és színvonalas kivitelezésének lehetőségét Katancsics (horvátul: Katančić) családi gazdaságnak köszönhetem. Háromgenerációs gazdacsalád, 1959 óta működnek. A terület 210 ha csaknem 150 táblában. A talajok többnyire glejes erdő és réti jellegűek, középötött és kötött, illetve vízkár által veszélyeztetettek.

A kísérleti terület sík, tengerszint feletti magassága 100-105 m között van. A parcella 375 m hosszú és 125 m széles. A terület két végét 6 m széles forgó határozza meg. A kísérletben első évben két művelési kezelést, míg második és harmadik évben három különböző művelési kezelést vizsgáltam, véletlenszerű mintavételi pontokon.

A hagyományos szántás, a sekély- és a mély kultivátoros, ugyanazon a mélységen voltak beállítva, mint a józsefmajori kísérletben. Az utolsó kutatási évben, Väderstad Tempo F vetőgéppel sikerült művelés nélkül a búzatarlóba elvetni a szóját, amely a mellette lévő táblában volt. A fotó az M4 melléklet első képén tekinthető meg. A kísérlet ideje alatt kukorica, őszi zab és szója volt természetve a Józsefmajori tartamkísérlethez hasonlóan.

A kezeléseket, művelési mélységet, a munkaszélességet és az alkalmazott talajművelő eszközöket az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat. A lukácsi talajművelési kezelések, a művelési mélység, a munkaszélesség és felhasznált talajművelő eszközök

Kezelés	Talajművelő eszköz	Művelési mélység (cm)	Művelési szélesség (cm)
Direktvetés (DV)	Väderstad Tempo F	4-6 (vetési mélység)	300
Sekély kultivátoros művelés (SK)	Väderstad Cultus 300	18-20	300
Kultivátoros művelés (K)	Väderstad Cultus 300	22-25	300
Szántás (SZ)	Vogel&Noot 1050	30-32	160

A talaj kémiai tulajdonságait a 2. táblázat mutatja (SZIE TALT, 2019). A talajkémiai paraméterek mérését ugyanazzal a módszerrel végezték, mint a józsefmajori minták esetében (lásd 3.2.1. rész).

2. táblázat. A talajkémiai tulajdonságai a lukácsi kísérletében

Mintavételi mélység	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Humusz %	CaCO ₃ %
0-15 cm	7,8	7,1	2,23	1,08
15-30 cm	8,0	7,4	1,48	2,44
30-45 cm	8,2	7,4	1,04	6,92
45-60 cm	8,6	7,7	0,71	11,67

A talaj fizikai tulajdonságait az **3. táblázat** mutatja (SZIE TALT, 2019). A fizikai féleség meghatározását ülepitéses módszerrel végeztem. A meghatározáshoz 25 g talajt használtam minden mintából, két ismétlésben, amelyhez 50 ml nátrium-pirofoszfáttal és desztillált vízzel összekevertem és rázógépből rázóztam. A szuszpenziót rázatás után 0,2 mm átmérőjű szitán ülepitőhengerbe mostam. Az első frakciót (durva homok) a szitán fennmaradt részt 105 °C-on állandó tömegre szárítottam és megmértem. Az ülepitőhengerben a szuszpenziót felráztam, majd hagytam ülepedni, és az előírt idő múlva először 25 cm (1 perc és 49 másodperc); utána 10 cm (4 perc és 32 másodperc); 25 cm (45 perc és 18 másodperc); 10 cm (1 óra, 12 perc és 30 másodperc); és utolsó 25 cm mélységből (18 óra, 52 perc és 49 másodperc) mintáztam. Minden alkalommal 25 ml mintát vettem pipettával és főzőpoharakba engedtem ki, homokfürdőn bepároltam, utána szárítószekrényben 105 °C-on tömeg állandóságig szárítottam, valamint analitikai mérlegen mértem és kiszámoltam a frakció arányokat. A fotók az M4 melléklet második és harmadik képén tekinthetők meg.

3. táblázat. A talajmechanikai összetétele a lukácsi kísérletben

Mintavételi mélység	homok (%)	iszap (%)	agyag (%) AA oszlop
0-15 cm	28,7378	49,4901	21,7721
15-30 cm	27,6759	50,8862	21,4379
30-45 cm	24,9008	55,9060	19,1932
45-60 cm	29,0602	56,7021	14,2377

A lukácsi üzemi jellegű kísérlet a növénytermesztés technológiai leírását a **4. táblázat** mutatja.

4. táblázat. A lukácsi növénytermesztési technológia leírása

Év	Év, növény		
	2015/2016 Kukorica	2016/2017 Őszi zab	2017/2018 Szója
Alapművelés	2015.10.05.	2016.10.10.	2017.09.27.
Magágykészítés	2016.04.10.	2016.10.22.	2018.04.20.
Vetés	2016.04.11.	2016.10.25.	2018.04.24./ 2018.09.07.
Fajta	LG 33.30 (FAO 340)	RWA Wiland	RWA Xonia (00)
Mennyiség	64 000 tő ha ⁻¹	150 kg ha ⁻¹	600 000 tő ha ⁻¹
Műtrágya	300 kg ha ⁻¹ NPK (7:20:30) (2015.10.03.) 400 kg ha ⁻¹ NPK (15:15:15) (2016.04.11.) + N:27 (2016.05.19.)	200 kg ha ⁻¹ NPK (15:15:15) (2016.10.21.) 1. fejtrágyázás 150 kg ha ⁻¹ N:27 (2017.03.16) 2. fejtrágyázás 100 kg ha ⁻¹ N:27 (2017.05.10.)	300 kg ha ⁻¹ NPK (15:15:15) 2018.04.24.
Növényvédelem*	1 l ha ⁻¹ Elumis + 20 g ha ⁻¹ Peak 75WG (2016.05.02.)	Mustang 0,5 l ha ⁻¹ (2017.03.27.) Karate Zeon 0,15 l ha ⁻¹ (2017.05.10)	Laguna 75WG 100 g ha ⁻¹ + Harmony 75WG 8 g ha ⁻¹ + Trend 90 2018.05.22.
Aratás	2016.10.03.	2017.07.05.	2018.09.10./ 2018.11.06.
Tenyészdő (nap)	177	253	139/121

*Hatóanyagok az Elumis Peak kombinációban (75 g/l mezotrion + 30 g/l nikoszulfuron + 750 g/l proszulfuron); Mustang (6g/l florasulam + 450 g/l 2,4D észter); Karate Zeon (50 g/kg lambda-cihalotrin); Laguna 75 WG (750 g/kg oksaszulfuron); Harmony 75 WG (500 g/kg tifenzulfuron-metil); Trend 90 (90% etoxilált izodecil alkohol)

3.2.2. A józsefmajori tartamkísérlet

A talajművelési tartamkísérletet a Földműveléstani Tanszék munkatársai, Birkás professzor asszony vezetésével 2002-ben állították be, a talajminőség és a humusztartalom javítása, valamint az időjárás károk hatásainak tanulmányozása céljából. A kísérleti terület talajszelvényének leírását és tulajdonságait a genetikai szintek függvényében (**GULYÁS 2017 alapján**) **Kende (2019)** dolgozata tartalmazza a második táblázatban. A kísérlet talaján hat különböző talajművelési kezelést alkalmaznak négy ismétlésben, véletlenszerű elrendezésben. Minden parcella 13 m széles és 168 m hosszú (2180 m²). A terület két végén 9 m széles forgó található. Összesen 24 parcella van, amelyek teljes területe 5,8 hektár. A kezeléseket, művelési mélységeket, munkaszélességet és felhasznált talajművelő eszközöket a **5. táblázat** mutatja.

5. táblázat. A józsefmajori talajművelési kezelések, a művelési mélység, a munkaszélesség és felhasznált talajművelő eszközök

Kezelés	Talajművelő eszköz	Művelési mélység (cm)	Művelési szélesség (cm)
Direktvetés (DV)	Väderstad Rapid 300C / Kuhn Maxima 6	4-6 (vetési mélység)	300
Tárcsázás (T)	Väderstad Carrier 500	12-16	500
Sekély kultivátoros művelés (SK)	Kverneland CLC Pro	18-20	300
Kultivátoros művelés (K)	Kverneland CLC Pro	22-25	300
Szántás (SZ)	Kverneland LM100 + packomat	28-32	160
Lazítás (L)	Vogel & Noot TerraDig XS	40-45	250

A kutatás kezdetén, 2015 őszén, és a végén, 2018 májusában, a tartamkísérletben talajkémiai vizsgálatot végeztek, amelyet a Kecskeméti Főiskola Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriuma végzett. A mintákat 0-10, 10-20, 20-30 és 30-40 cm mélységből vették, három ismétlésben. A talajparamétereket a Hivatalos Magyar Szabvány (MSZ) szerint határozták meg (**MSZ-08-, 0452, 1980**). A pH méréseket potenciométeres meghatározás alapján végezték, 1:2,5 talaj és desztillált víz arányával, digitális pH mérővel (HACH-LANGE, HQ411D), (MSZ-08-0206/2-1978). A talaj szerves széntartalmát 5%-os $K_2CR_2O_7 + H_2SO_4$ keverék oxidációjával határozták meg Walkley-Black módszerével (**Walkley, 1947**).

A talaj textúráját az Arany-féle kötöttség módszerével (**Buzás, 1993**) határozták meg, négy mélységre (0-10, 10-20, 20-30 és 30-40 cm). Ezzel a módszerrel a desztillált víz mennyiségével (cm^3) meghatározható, hogy a 100 g levegőn szárított talaj, mennyi vizet adszorbeálhat a plaszticitás felső határig. A talajhoz fokozatosan keverjük a desztillált vizet, amíg el nem adja az úgynevezett „fonalpróbát”. A tartamkísérlet növénytermesztés technológia leírását a **6. táblázat** mutatja.

6. táblázat. A józsefmajori növénytermesztési technológia leírása

Év	Év, növény		
	2015/2016 Kukorica	2016/2017 Őszi zab	2017/2018 Szója
Tarlóművelés	Bolygatatlan, 3 l ha ⁻¹ Glialka Star (2015.09.15.)	Bolygatatlan	Bolygatatlan, 6 l ha ⁻¹ Machete (2017.07.31.); 5 l ha ⁻¹ (2017.08.21.)
Alapművelés	2015.10.28.	2016.10.29.	2017.09.11.-13.
Magágykészítés	2016.04.07.	2016.10.30.	Vetéssel egy menetben
Vetés	2016.04.08.	2016.11.01.	2018.04.26.
Fajta	LG 33.30 (FAO 340)	Mv Hópehely	ES Mentor (00)
Mennyiség	64 000 tő ha ⁻¹	170 kg/ha ⁻¹	420-450 000 ha ⁻¹ (30 cm sортáv)
Műtrágya	300 kg ha ⁻¹ NPK (8:24:24) + N:27 (2016.04.08.)	2016.10.28. NPK (6:12:24) 160 kg ha ⁻¹ 1. fejtrágyázás (2017.03.01.) Nitrosol 50 kg ha ⁻¹ 2. fejtrágyázás Nitrosol 30 kg ha ⁻¹ (2017.04.13.) 3. fejtrágyázás Nitrosol 10 kg ha ⁻¹	200 kg ha ⁻¹ NPK (17:31:8) (2018.03.20)
Növény védelem*	3 l ha ⁻¹ Successor T (2016.04.23.) 400 g ha ⁻¹ Principal Plus + 0.1% ha ⁻¹ Trend 90 (2016.05.20.)	30 g ha ⁻¹ Granstar 50 SX (2017.04.27.) 0.5 l ha ⁻¹ Starane Forte 333 EC (2017.05.12.) 0.6 l ha ⁻¹ Sólyom 460 EC (2017.05.18.)	0,5 l ha ⁻¹ Pulsar 40 SL (2018.06.06) 0,5 l ha ⁻¹ Pulsar 40 SL + 1 l ha ⁻¹ Targa Super (2018.06.19.) Deszikkálás 3 l ha ⁻¹ Machete (2018.09.08.)
Betakarítás	2016.10.24.	2017.07.12.	2018.09.17.
Tenyészeitő (nap)	193	254	143

*Hatóanyagok a Glialka Star (441 g/l glifozát kálium só formájában); Machete (485,8 g/l glifozát-izopropil-amin só; Successor T (300 g/l petoxamid + 187,5 g/l terbutilazin); Principal Plus (92 g/kg nikoszulfuron + 23 g/kg rimszulfuron + 550 g/kg dikamba); Trend 90 (90% etoxilált izodecil alkohol); Granstar 50 SX (500 g/kg tribenuron metil); Starane Forte 333 EC (333 g/l fluroxipir); Sólyom 460 EC (167 g/l tebukonazol + 43 g/l triadimenol + 250 g/l spiroxamin)

3.3 A kutatás módszerei

3.3.1. Talajállapot vizsgálatok

A talajállapot vizsgálatokat három tenyészeitőn keresztül, kora tavasztól késő ősziig végeztük. A talaj nedvességtartalmának és a talaj penetrációs ellenállásának minden mérését egyidőben végeztük. Az összes parcellán véletlenszerűen három ismétlésben, egymástól 5-10 méter távolságban mértük. A méréseket általában 30 napos időközönként végeztük, kivéve,

amikor az időjárás nem tette azt lehetővé. A lukácsi kísérletben minden tenyészidőben öt alkalommal végeztem a vizsgálatokat, figyelembe véve a kísérlet beállítását, a vetést és az aratást.

A talaj nedvességtartalmát PT-I típusú mérőműszerrel mértük (Kapacitív Kft., Budapest), amelynek a mértékegységét m/m% értékben mutatta. A műszer képes 0-60 cm mélységig mérni. Az első mélység a talajfelszín, és tovább 5 cm léptékben mértem, 50 cm mélységig. A felhasznált műszer a 2. ábrán látható.



2. ábra: A PT-I típusú talajnedvesség mérő műszer

A talaj lazult-réteg mélységének értékelésére talajellenállás mérést a 2015-2016 és 2016-2017 évben végeztem a Mobitech Bt. által gyártott Szarvasi rugós erőmérővel (**Daróczy, 2005**). Ez a műszer talajellenállási értékeket font-súlyban (lbf) méri, 150 lbf-ig kalibrált, 2 lbf intervallumokkal, ezáltal szoroztam 0.04448-cal. A mért adatokat (Mega Pascalban) MPa értelmeztem, elfogadott SI mértékegységrendszerben. Az utolsó kutatási évben (2017-2018) a talajellenállási méréseket Eijkelkamp Penetrologger típusú penetrométerrel (**Penetrologger – Field measurement equipment – Eijkelkamp, 2018**) végeztem, amellyel a mélység mentén 1 cm-enként mérhető a talajellenállás mértéke 1 N pontossággal, 80 cm mélységig. Mindkét műszernél a méréshez 60° kúpszögű, 1 cm² keresztmetszetű kúpot használtam és kb. 2 cm/s sebességgel nyomtam a talajba. A felhasznált műszerek a **3a** és **3b ábrákon** láthatók.



3a. ábra: Az Eijkelkamp Penetrologger 3b. ábra: Szarvasi rugós penetrométer
penetrométer

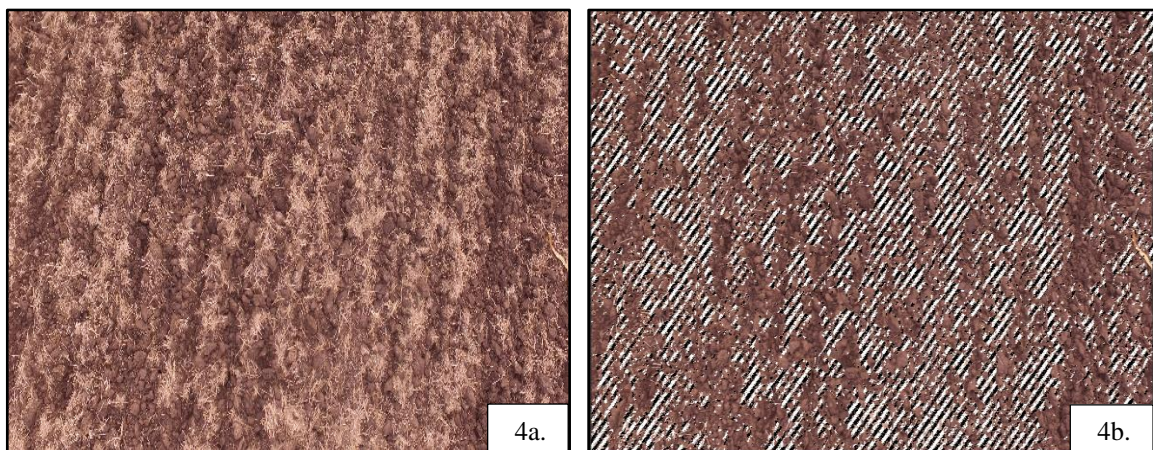
3.3.2. A felszínvédelem értékelése a talajszerkezet és a földgiliszta egyedszám alapján

A jelenlegi éghajlati körülmények között, a felszínvédelem alapvető fontosságú. A felszínvédelem értékelését a talajszerkezet és a földgiliszta egyedszám alapján végeztem, amelyben talajművelési kezeléseket besoroltam 1-5 kategóriákba, ahol az egyes volt a legrosszabb, valamint az ötös volt a legjobb.

A talaj agronómiai szerkezetének vizsgálatát **Stefanovits (1992)** besorolása alapján végeztem. A mintavételt a felső 10 cm-ből végeztük, mivel ez a réteg van elsősorban az éghajlati károknak kitéve. A talajmintákat légszárazra szárítottuk, majd agronómiai szitasoron óvatosan, manuálisan szitáltuk (60 rázás/perc). A különböző talajfrakciók, mint rög (>10 mm), morzsa (2,5-10 mm közötti), az aprómorzsa (2,5-0,25 mm közötti) és a por (<0,25 mm) arányainak vizsgálatai, valós képet adnak a művelési kezelésekre gyakorolt hatásáról, valamint az időjárás hatások következményeiről. A frakciók súlyából megállapíthatók az aggregátum-típus arányok (**Bogunović et al., 2019; Dekemati et al., 2019_a**).

A földgiliszta populáció vizsgálatát az összes parcellán négy ismétlésben végeztük (**ISO, 2006**). Egy ásónyom mérete 25 × 25 cm és 30 cm mély. A kézi válogatás időtartama körülbelül 30-40 perc, a talaj fizikai állapotától függően. Az ásópróba helyszínét az ismétlések közül véletlenszerűen választottuk meg, 5-10 m távolsággal. A földgiliszta populációját átszámoltunk egyedszám/m²-re (**Dekemati et al., 2019_b**).

A talajfelszín borítottság meghatározását digitális módon Adobe Photoshop CC 2019 programmal végeztem. A folyamat két részből állt. Először a növényi maradványokat megjelöltem, mint szín-mintavételezés **(4a ábra)**. A meglévő kijelölés pontosításához a színtartomány parancsot egymást követően többször alkalmaztam, valamint a kijelölendő színtartományt a „tűrés” beállítást is használtam. A „tűrés” beállítás a kijelölt színtartomány szélességét határozza meg (szabályozásával növelheti vagy csökkentheti a kijelölt képpontok számát). A választott tartományt fehér színnel megjelöli, ezért a képpontok mennyiségét hisztogramon olvastam le, ezáltal a fehér tartomány értékét kellett elemeznem **(4b ábra)**. A második részben a kijelölt növényi maradványoknak a képpont mennyiségét elosztottam a teljes képnek a képpont mennyiségével és megszoroztam százal, így a talajfelszín borítottságát százalékos arányban kaptam meg. Minden kezelés vizsgálatát négy ismétlésben végeztem. A felvételeket a talajművelés, valamint a vetés után végeztem. A fotók 2272×4608 felbontásúak és minimum 6 m² területet fednek.



4a. ábra: Tartamkísérlet kultivátoros kezelésnek a talajfelszín borítottság; (Grósz János felvétele, 2019)

4b. ábra: Adobe Photoshop programmal elkészített kép (saját forrás, 2019)

3.3.3. A művelési rendszerek klímakár enyhítő hatásának értékelése

A talaj minősége lassabban, míg állapota rövid idő alatt is megváltozhat **(Várallyay, 2011)**, amelyben a művelésnek fontos szerepe van **(Birkás et al., 2015b)**. A művelési rendszerek a talajra gyakorolt kedvező vagy kedvezőtlen hatása alapján meghatározó szerepet játszhatnak a klímakárok megelőzésében és enyhítésében. Ennek jelentőségét számos tényező támasztja alá.

Jelen dolgozatban négy tényezőt vizsgáltam, így a művelés hatását a lazult-réteg mélységére és annak az időbeli változásaira, a talajnedvességre, a földigiliszta populációra, valamint az agronómiai szerkezet alakulására a felső 10 cm rétegben. A művelési rendszerek elbírálását ezen tényezők alapján végeztem, amelyek révén jól jellemezhető a művelés hatása.

3.3.4. Statisztikai elemzés

A talajművelési módok, valamint borítási kategóriák közötti jelentős eltérések vizsgálatához a talajszerkezeti, a talajnedvességi és a talajjellenállási paraméterekben, valamint a földigiliszta egyedszámban az egytényezős varianciaanalízist alkalmaztam. A varianciaanalízis szignifikáns eredménye esetén a jelentős eltérést mutató csoportok meghatározását a *Tukey HSD* (Honestly Significant Difference = valódi jelentős eltérés) post hoc próbával végeztem el. A Tukey HSD próba alkalmazható többszörös páros összehasonlításra eltérő nagyságú minták esetében is (**Abdi és Williams, 2010**). A Tukey teszt alkalmazása a hazai és nemzetközi talajtani kutatásokban jól ismert (**Baklanov et al., 2019; Lombardo et al., 2019**). Az adatok normalitását *Kolmogorov-Smirnov* próbával, a varianciák homogenitását pedig Levene-teszttel ellenőriztem. Mivel a kétmintás t-próba érzékeny lehet a normalitás sérülésére, s a Kolmogorov-Smirnov próba eredménye az esetek többségében szignifikáns volt, a két csoport – például két ország, vagy két művelési mód – középértékének összehasonlítására a **Kao-Green (2008)** javaslatát elfogadva a varianciaanalízis alapját képező F-próbát (F-statisztikát) alkalmaztam. Az egyes talajparaméterek és a csapadékösszeg, valamint a földigiliszta egyedszám közötti összefüggéseket Pearson-féle lineáris korrelációs együtthatók alapján vizsgáltam. A korrelációs együtthatók szignifikanciáját az empirikus szignifikanciaszintek (p-értékek) alapján ellenőriztem. A statisztikai vizsgálatokban alkalmazott szignifikanciaszint 5% volt. A statisztikai adatfeldolgozást az *IBM SPSS Statistics 25* programcsomag segítségével végeztem el.

4. EREDMÉNYEK

Az új évezred kezdete óta a növénytermesztés bizonytalanságát növelő klímajelenségeknek lehetünk a tanúi. A megnehezült helyzetet gyakran a klímához / klímaváltozáshoz nem igazodó gyakorlattal súlyosbítják.

Az elmúlt években mind nagyobb területeken folyt jövedelmező növénytermesztés a szélsőséges klímakörülmények ellenére. Ugyanakkor a csapadék időbeli és térbeli mennyisége, valamint a hőmérséklet országosan is jelentősen változékonynak mondható. Emiatt víztöbblettel és a vízhiánnyal is számolni kell. Azokon a termőhelyeken, ahol nem lehet az öntözést megvalósítani, a talaj- és nedvesség kímélő művelési rendszer nyújthat a segítséget a növénytermesztés biztonságának fenntartásához.

Kutatásaimat két eltérő termőhelyen, talajon és klímaviszonyok között végeztem. A Bevezetőben leírt kutatási célokkal összhangban vizsgáltam és értékeltem az alkalmazkodó és a hagyományos művelés talajra gyakorolt hatásait néhány talajállapot jellemző alapján (nedvességtartalom, penetrációs ellenállás, agronómiai szerkezet, felszín borítottság és giliszta egyedszám). A klímakár csökkentésére alkalmas talajművelési rendszereket megfelelőségük alapján értékeltem és rangsoroltam.

4.1 A csapadékviszonyok és a talajállapot vizsgálatának eredményei

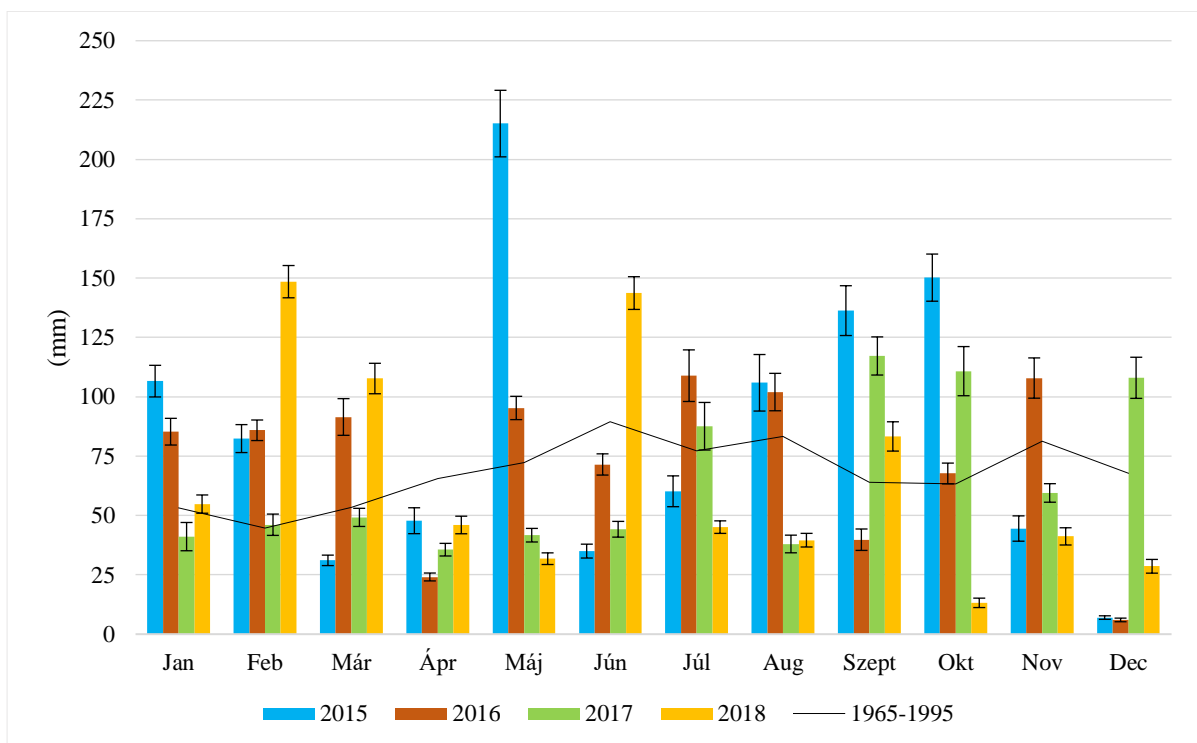
4.1.1. Csapadékviszonyok a vizsgálatok éveiben

A csapadék mennyiségét és a szórását havi eloszlásban, az **5. és 6. ábra** mutatja. A részletes csapadék adatok, a szórásuk a **M3. 1.1.-1.8 táblázatban láthatók**. Sajátos, de a csapadékosabb hónapokban nagyobb a csapadékmennyiség szórása is.

Lukács térségében a Hatvan-Józsefmajorihoz képest, éves szinten több csapadék (+235mm) hullik. Emiatt az ülepedésre való hajlam is erősebb, így a talajok lazítási hatékonyságának időintervalluma rövidebb.

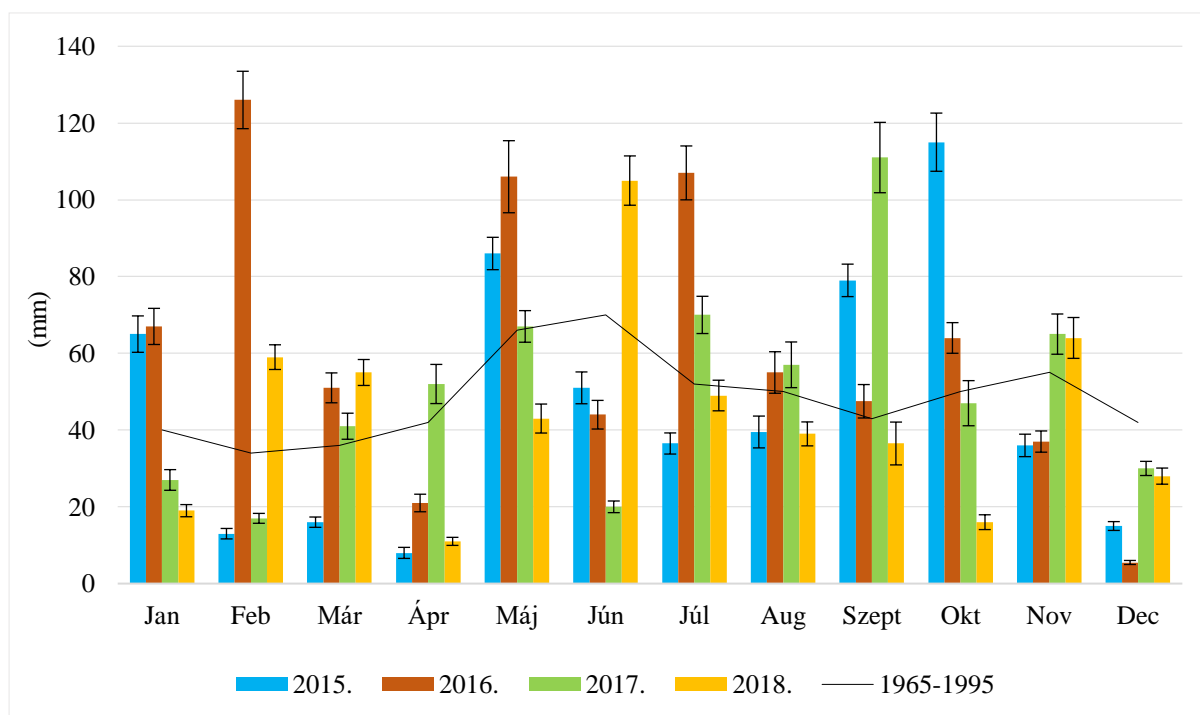
Lukács környékén, a sokévi (1965-1995) átlagos csapadék 815,5 mm. A kísérlet évei alatt (2015-2018) a csapadék több lett (867,6 mm) a sokéves átlagnál (**5. ábra**). A havi csapadék mennyisége erősen ingadozott, ezért az eredmények értékelésekor az évjáráthatást is figyelembe vettem. A 2015. év első két hónapjában a sokévi átlag feletti csapadék hullott le, majd az utána következő két hónapban az átlag alatti. Figyelemre méltó 2015 májusa, amikor összesen 215,1 mm csapadék hullott le. Hasonlóan sok csapadék jellemezte ugyanazon év

szeptemberét (136,3 mm) és októberét (150,2 mm) is. Ellenben rendkívül kevés hullott 2015 és 2016 decemberében (7 és 6 mm). Ugyanakkor a 2016, 2017, és 2018. év a csapadék összmennyiségét tekintve közel átlagos évnek mondható. Megemlítem, hogy az április hónap csapadékösszege minden kutatási évben a sokévi átlaghoz képest is nagyon alacsony maradt. A 2017. év utolsó négy hónapjában 395,5 mm csapadék hullott, míg ugyanebben az időszakban a 2018-ban összesen 166,3 mm. Míg 2018-ban a február, a március és a június rendkívül csapadékos volt, a május, a július és az augusztus az ellenkezőjét mutatta.



5. ábra: Éves csapadék (mm) havi bontásban 2015-2018 között és az 1965-1995 időszak átlaga (Lukács)

A **Józsefmajori** csapadék adatokat a **6. ábra** mutatja. A 2015. és 2018. év a sokévi átlagtól negatív, míg 2016. és 2017. év pozitív tendenciát mutatott. A kísérlet évei alatt (2015-2018) az átlag csapadék kissé többnek bizonyult (604,8 mm) a sokéves átlagnál. A 2015 elején az átlagtól csapadékosabb január után három rendkívül száraz hónap következett, amelyeket csapadékos május követett. Sajátos, de 2015 októberében tapasztaltunk 100 mm-t meghaladó csapadékot, ezen felül 2016-ban három ilyen esettel is szembesültünk (február, május és július). Április hónapok, a 2017. évet kivéve hasonlóan negatív tendenciát mutattak, ugyanúgy, mint Lukács térségben. A decemberi hónapok a sokévi átlaghoz képest szárazabbnak bizonyultak, ugyanúgy 2016 ősze és 2017 eleje is.

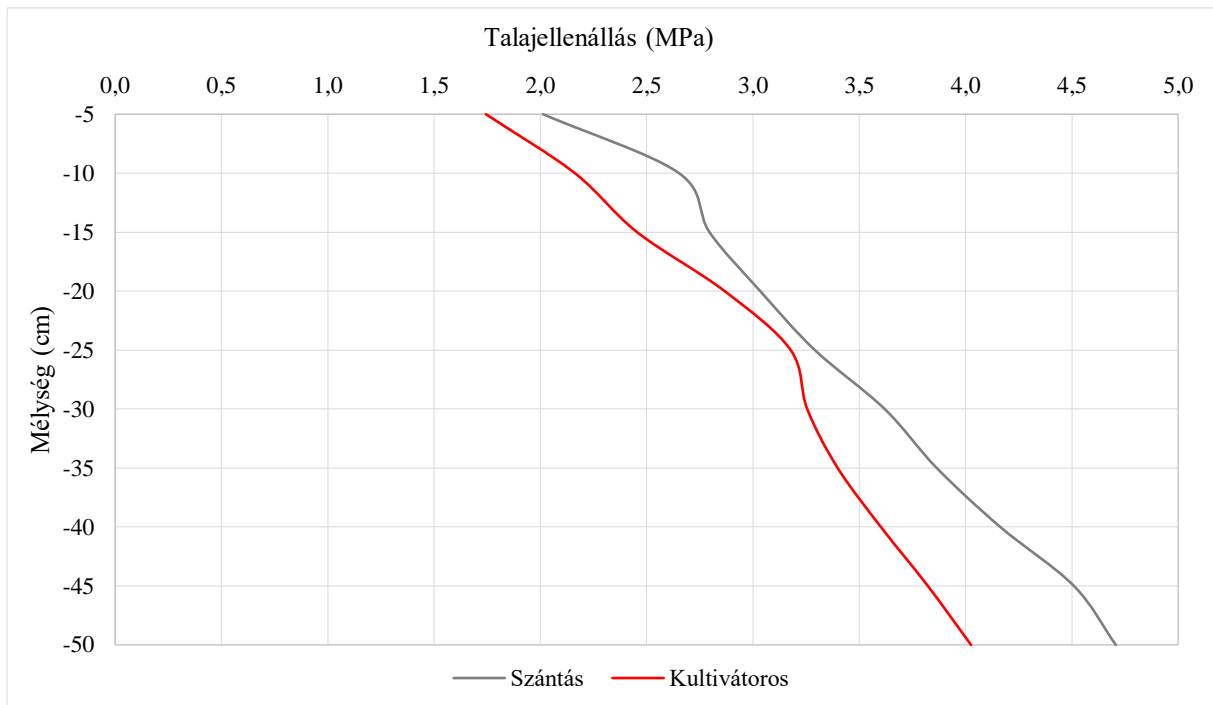


6. ábra: Éves csapadék (mm) havi bontásban 2015-2018 között és az 1965-1995 időszak átlaga (Józsefmajor)

4.1.2. A lazult-réteg mélység értékelése a talajellenállás adatok alapján

A lukácsi kísérletben 2016-2018. között öt-öt alkalommal, 3-3 mérési pontban vizsgáltam a talaj állapotát. Az eredményeket a **7., 8., 9. ábrák** mutatják. A talajellenállás értékek kezelésenként, a **M3. mellékletben**, az **1. és 2., 3-5., 6-9. ábrán** tekinthetők meg. Összevethetőség céljából a talajellenállás és a talajnedvesség mérési adatait azonos mélységig (0-50 cm) ábrázoltam.

A talaj tömörödése a természetes folyamatok és az emberi tevékenység következménye a mezőgazdaságban (**Birkás et al. 2009; Van Ouwerkerk és Soane, 1994**). Az utóbbi típus még mindig az egyik legnagyobb talajt sújtó tényező (**Bogunović et al. 2019**). A 7. ábrán megfigyelhető, hogy a talajellenállás értékek a mélyebb rétegekben erőteljesen növekedtek. A kísérlet beállítását követő évben, 2016-ban nem tapasztaltam statisztikailag igazolható különbséget a kezelések között ($p < 0,05$). A legalacsonyabb talajellenállás értéket (1,74 MPa) a 0-5 cm rétegben a kultivátoros kezelésben mértem, míg a legmagasabbat (4,71 MPa) a 45-50 cm rétegben a szántott talajban. Károsan tömör állapotot (< 3 MPa) a szántott talajban mértem 15-20 cm rétegben, míg a kultivátoros kezelésben a 20-25 cm rétegben, amely statisztikailag igazolható különbséget ($p < 0,05$) is eredményezett.

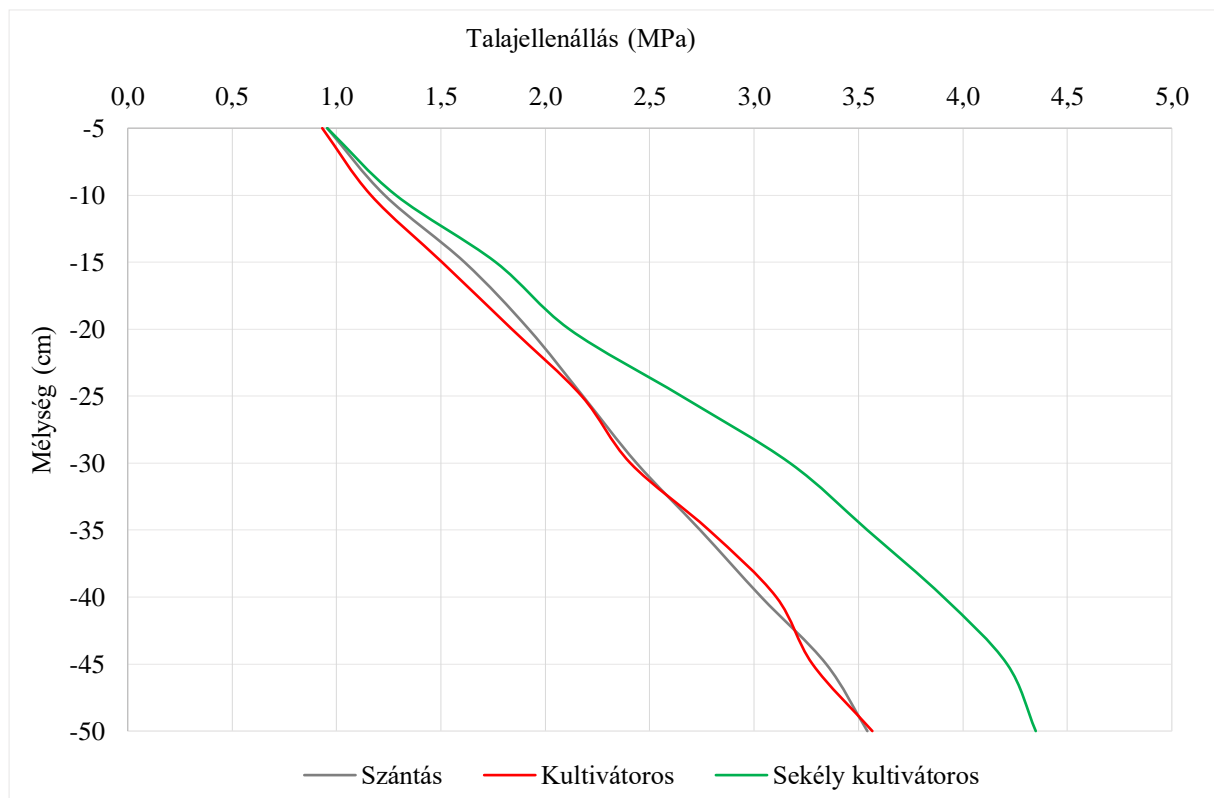


7. ábra: Az átlagos talajellenállás (MPa) különböző művelési kezelésekben (Lukács, 2016)

Megjegyzés: a méréskor az átlagos talajnedvesség a szántásban 16,1 m/m%, kultivátoros művelésben 19,3 m/m%

Fontosnak tartom a művelési mélységek és a károsan tömör rétegek mélységének összevetését. A kultivátoros kezelésben nem találtam csökkenést a lazult réteg mélységben, míg a szántott talajban 33,3% csökkenést tapasztaltam. A 2016. évben kukorica alatt a szántott talajban tavasszal még jól érzékelhető a művelés hatása, amely később időben és térben is csökkent. A legmagasabb talajellenállás értékeket júniusban mértem a 0-5 cm rétegben (2,57 MPa), az 5-10 cm mélységben pedig további növekedést észleltem (3,14 MPa). A jelenség a feltalaj száradásának tudható be. Az előbbieken leírt megállapításokat **Ren et al. (2019)** eredményei is alátámasztja. A kultivátoros kezelésben a 0-5 cm rétegben nagyobb különbséget tapasztaltam az első és a következő négy mérés eredményei között. Tavasszal a 0-5 cm között a talajellenállás 1,02 MPa volt, míg a többinél 1,82-2,00 MPa között alakult. Hasonlóan a szántotthoz, a 10-15 cm rétegben vált ülepedetté a talaj (3,11 MPa). A két mérési időpont (április és június) között 71 nap telt el, amely alatt 170,5 mm csapadék hullott, így a talaj ülepedése ennek is betudható.

A talajellenállás átlagos értékeit a 0-50 cm rétegben, a 2017. évre vonatkozóan a **8. ábra**, a részletes statisztikai eredményeket az **M3. 2. táblázat** mutatja. A 2017. évben az átlagos talajellenállás értékek alapján, a 0-50 cm rétegre vonatkozóan, csak a 25-30, a 30-35, a 35-40 és a 40-45 cm mélységen tapasztaltam statisztikailag igazolható különbséget ($p < 0,05$).

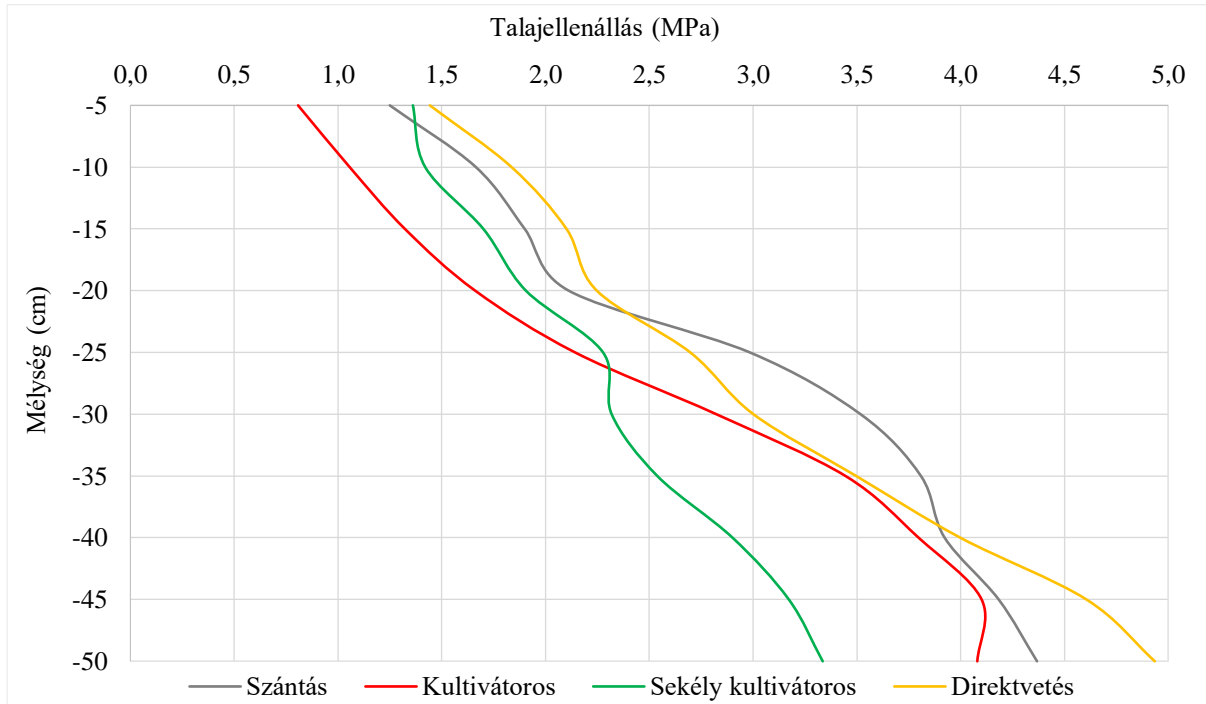


8. ábra: Az átlagos talajellenállás (MPa) különböző művelési kezelésekben (Lukács, 2017)

Megjegyzés: a méréskor az átlag talajnedvesség a szántásban 25,1 m/m%, a kultivátoros művelésben 25,3 m/m%, a sekély kultivátoros művelésben 24,9 m/m%

Az ANOVA szignifikáns különbségek esetében elvégzett post hoc próba eredményeit **2.1. táblázatban** összesítettem. A 2017. évben a talajellenállás a 0-5 cm mélységben kultivátoros művelés esetén 0,93 MPa, míg a szántásnál és a sekély kultivátoros művelésnél 0,96 MPa értéket mutatott. A talajellenállás értékek a vizsgált mélységgel párhuzamosan növekedtek. Tömör állapot (>3 MPa) szántott talajban 30-35 cm, kultivátoros művelés alatt 25-30 cm, míg sekély kultivátoros művelés esetén 20-25 cm mélységben volt mérhető. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a lazult réteg mélysége mindhárom kezelésben meghaladja a művelési mélységet. A lazult réteg mélységének kiterjedése a szántásnál 14,28%, a kultivátoros művelésnél 16,67%, a sekély kultivátoros művelésnél pedig 20,0%. Adott idényben (2017), őszi zab állományban a szántott talajban káros tömör állapotot tapasztaltam a 40-45 cm mélységben (3,20 MPa) az áprilisi méréskor, míg a kultivátoros kezelésben, azonos mélységben egy hónappal előbb tapasztaltam hasonlót. Márciusban a sekély kultivátoros kezelésben a 25-30 cm mélységen tapasztaltam nagyobb ellenállási értékeket (3,43 MPa).

A talajellenállás átlagos értékeit, a 0-50 cm rétegre és a 2018. évre vonatkozóan a **9. ábra** mutatja. Az ANOVA szignifikáns eredményeit a **M3. 3. táblázatban**, valamint a post hoc próbák eredményeit a **M3. 3.1 táblázatban** összesítettem.



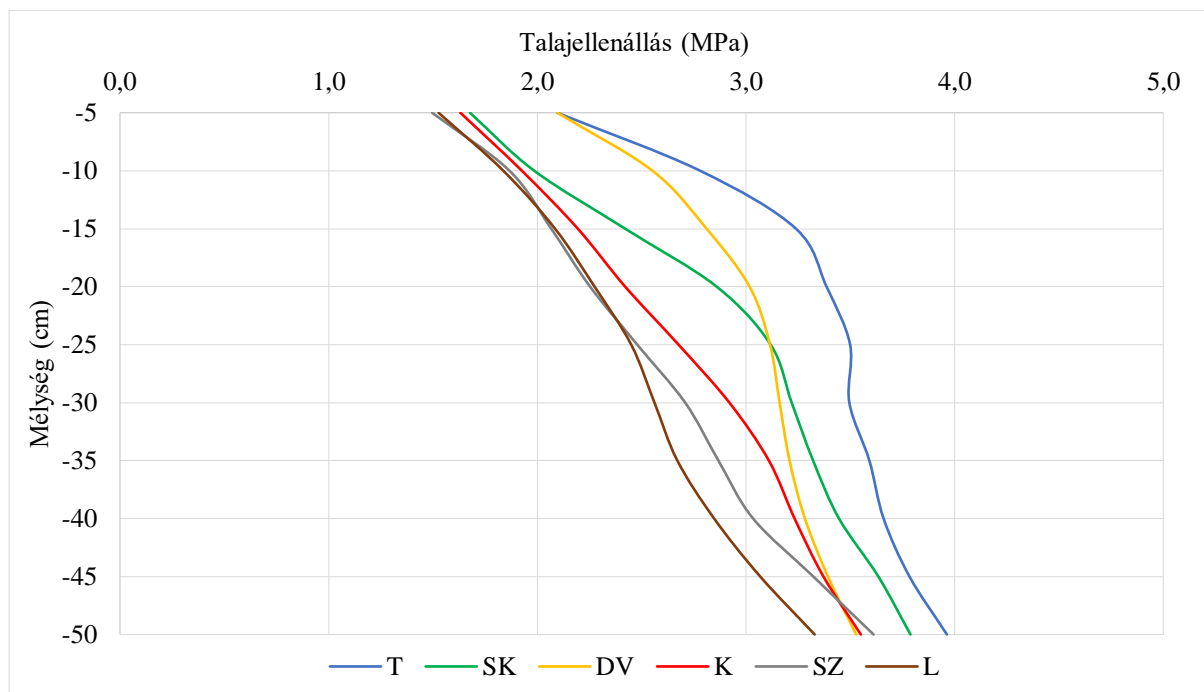
9. ábra: Az átlagos talajellenállás (MPa) különböző művelési kezelésekben (Lukács, 2018)

Megjegyzés: a méréskor az átlagos talajnedvesség a szántásban 20,2 m/m%, a kultivátoros művelésben 22,8 m/m%, a sekély kultivátoros művelésben 22,2 m/m%, a direktvetésben 18,5 m/m%

A 2018. évben, a kultivátorral művelt talajban mértem a legalacsonyabb talajellenállás értéket (0,81 MPa) és ekkor a direktvetésben tapasztaltam a legnagyobb értéket (1,44 MPa). A júliusi méréskor a lazult réteg mélysége 25-30 cm volt, októberben 30-35 cm között alakult. Sekély kultivátoros művelés alatt a legkisebb talajellenállási növekedést a 0-5 cm és a 45-50 cm mély rétegek között észleltem. Szántott talajban kiugró értékeket tapasztaltam 20 cm alatt (25 cm-nél 2,98 MPa). A nagyobb érték esetenként a talajművelésnek és az alkalmazott erőgép által indukált tömörítésnek tulajdoníthatók. Hasonló eredményeket tapasztaltak **Birkás et al. (2004; 2009)** és **Bogunović et al. (2018)** kísérleteikben. A 2018. évben, szója alatt károsnak mondható tömör állapot négy művelési kezelésben alakult, a szántásban (20-25 cm között), a direktvetéses és a kultivátorral művelt talajban (25-30 cm között), valamint a sekély kultivátoros művelés alatt (40-45 cm között). A szántás kezelésben áprilisban mértük a legalacsonyabb ellenállás értékeket (1,10-2,72 MPa), októberben pedig a legmagasabbakat (0,93-6,45 MPa). Az alacsonyabb áprilisi ellenállás értékek a nedves, ekkor még csak

mérsékelt üledett talajnak tulajdoníthatók. Megjegyzendő, a tél és tavasz folyamán 608 mm csapadék hullott. A legmagasabb ellenállási értéket a július végi vizsgálatkor tapasztaltam szántott talajban (4,04 MPa). Rétegeként nézve a 0-5 cm mélységben, áprilisban a kultivátoros kezelés érte el a legmagasabb értéket (1,50 MPa) a többi méréshez képest, ami csökkent a mélyebb rétegekben (-10, -15, -20 cm). Hasonló következtetésre jutott **Kalmár et al. (2013)**. Az átlagos idényben 45%-os takarás mellett, alacsonyabb penetrációs ellenállás mért (3,15-2,86 MPa), míg a száraz idényben az ellenállási értékek 38,9%-kal magasabbak voltak.

A józsefmajori kísérletben 2016-2018 között minden évben eltérő számban mértünk, az eredményeket a **10., 11., 12. ábrákon** mutatom be. A talajellenállás mérési értékek kezelésként, a **M3. 10-15, 16-21 és 22-27. mellékletben** tekinthetők meg.



10. ábra: Az átlagos talajellenállás (MPa) különböző művelési kezelésekből (Józsefmajor, 2016) Megjegyzés: a méréskor az átlag talajnedvesség a tárcsás 27,0 m/m%, a sekély kultivátoros 26,9 m/m%, a direktvetés 27,2 m/m%, a kultivátoros 27,2 m/m%, a szántásban 26,5 m/m% és a lazításos kezelésben 26,8 m/m%. Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

A kukorica évében (2016) az első mérést 2015 októberében végeztem. A 10. ábrán bemutatott átlagos talajellenállás értékek hat kezelésre vonatkoznak, és nyolc vizsgálatból származnak. A statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,05$; $p < 0,01$) minden rétegben kimutatható (**M3. 4. táblázat**). Az ANOVA szignifikáns eredményei esetében elvégzett post

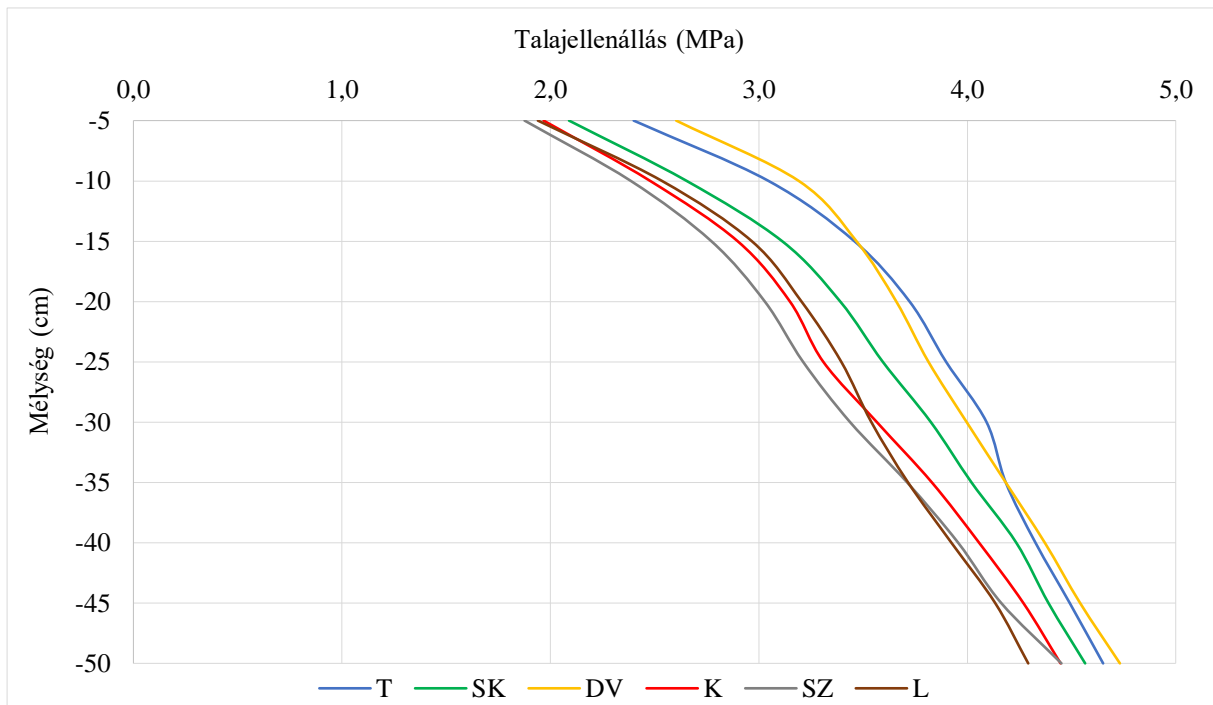
hoc próbák outputjait a 2016. évre vonatkozóan, a **M3. 4.1. táblázatban** összesítettem. A 0-5 cm rétegben a legnagyobb talajellenállás értékeket a direktvetés (2,10 MPa) és a tárcsás (2,10 MPa) kezelésben mértük, míg a legalacsonyabbat a szántott (1,50 MPa) és a lazított (1,50 MPa) talajban. A direktvetést illetően több szerző is rámutatott a jelenségre (**Baumhardt és Jones, 2002; Birkás et al. 2004; Lipiec et al. 2012**). A tárcsázást illetően **Birkás (1987)** leírta, hogy a talp általában 12 és 20 cm között alakul ki. Az eredményeim újra igazolták a korábbi megállapításokat.

A 15-20 cm rétegben a művelések hatása jelentősen eltért egymástól. A lazult réteg mélységét illetően a tárcsás kezelés bizonyult a legrosszabbnak, mivel károsan tömörödött réteg (>3 MPa) már a 10-15 cm rétegben kimutatható volt. A lazításos kezelés bizonyult a legjobbnak, a tömörebb állapotot a 40-45 cm mélységben észleltük. A vizsgált évben a tárcsás kezelés a júniusi mérés során érte el a legmagasabb értékeket (**M3. 10. ábra**). A sekély kultivátoros kezelésben az októberi eredményekhez képest a novemberi, az áprilisi és a májusi értékek jelentős csökkentést mutattak (**M3. 11. ábra**).

A művelés nélküli kezelésben, az októberi és a novemberi vizsgálati időpontok között a teljes profilban észlelhető a drasztikus talajellenállási csökkenés (**M3. 12. ábra**) amely vélhetően a 37 mm csapadéknak és a nagyobb földigiliszta populáció lazító munkájának tulajdonítható. Ugyanakkor az átlagos érték a 15-20 cm rétegben meghaladja a káros tömörödöttség értékét. A kultivátoros kezelésben a káros tömörödés átlag értékét (3,1 MPa) a 30-35 cm rétegben mértük, vagyis a művelés alatt. A 0-5 cm és a 45-50 cm rétegeket kivéve, a novemberi és az áprilisi mérés között a talajellenállás értékek csökkentek. A szántásban a káros tömörödési értéket a 35-40 cm rétegben tapasztaltuk, vagyis közvetlenül a művelési mélyég alatt. Az átlagos értékek hasonlóak, mint a kultivátoros művelésben mértek, azonban időbeli eloszlásban eltérnek egymástól. A lazított talaj állapota a felső 0-25 cm rétegben nem tért el a szántástól, de az alatta lévő rétegekben alacsonyabb ellenállás értékeket mértünk, amely a mélyebb művelésnek tulajdonítható. A többihez képest ez a kezelés a legalacsonyabb értékekkel volt jellemezhető (**M3. 14. és 15. ábra**).

A talajellenállás átlagos értékeit a 0-50 cm rétegben, a 2017. évre és Józsefmajorra vonatkozóan a **11. ábrán** mutatom be.

A kukorica aratása után az esős őszben, a megfelelő talajművelés elvégzése és az őszi zab vetése nagy kihívásnak bizonyult. A **11. ábrán** látható, hogy a görbék hasonló lefutásúak. A statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,01$) két rétegben (0-5 és 5-10 cm) volt kimutatható, amelyeket **M3. 5. és 5.1. táblázatokban** összesítettem.



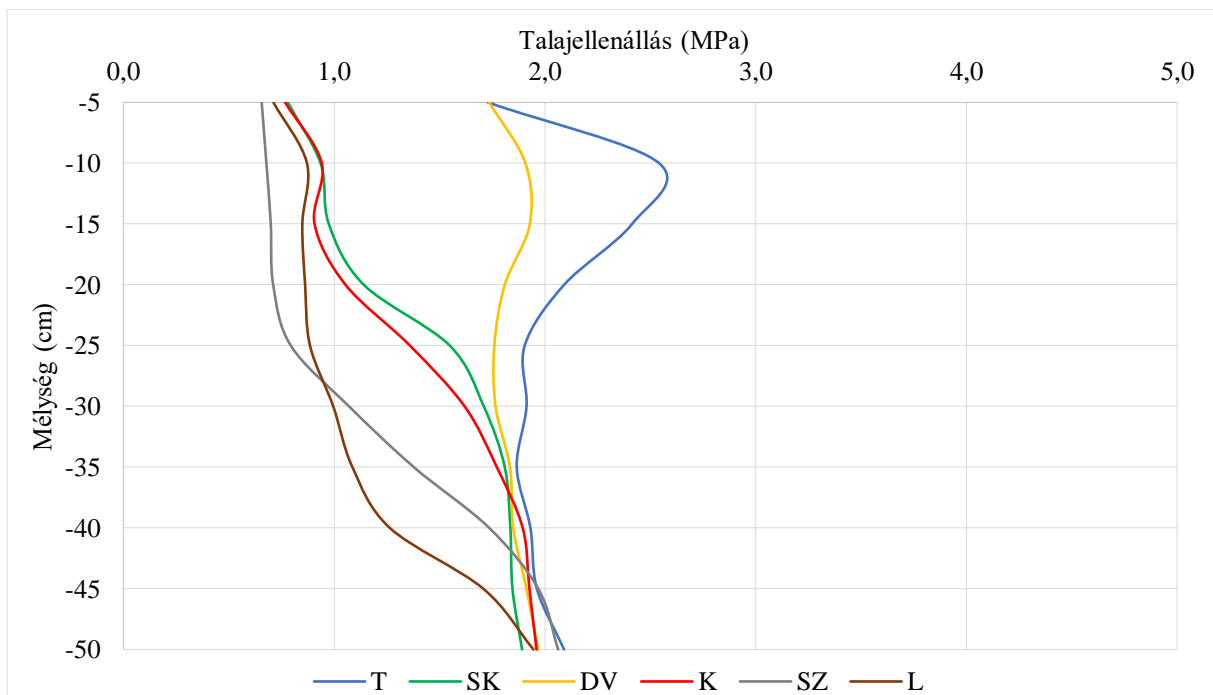
11. ábra: Az átlagos talajellenállás (MPa) különböző művelési kezelésekben (Józsefmajor, 2017) Megjegyzés: a méréskor az átlag talajnedvesség a tárcsás 25,8m/m%, a sekély kultivátoros 25,4 m/m%, a direktvetés 25,2 m/m%, a kultivátoros 25,0 m/m%, a szántásban 25,3 m/m% és a lazításos kezelésben 25,1 m/m%. Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

A rétegek szempontjából a 0-5 cm rétegben, szántott talajban mértük a legalacsonyabb értékeket (1,88 MPa), míg a legmagasabbat (2,40 MPa) a tárcsás kezelésben. Nedvesebb talaj körülmények között tárcsával könnyen kialakítható talpréteg, amelynek ellenállása esetünkben a 5-10 cm rétegben átlagosan 3,05 MPa volt. A 10-15 cm mélységben a tárcsás és a direktvetés kezelések értékei egyformák voltak. Hasonló eredmények alapján **Birkás et al. (2002)** arra a következtetésre jutott, hogy ilyen talajállapot esetén 20-42%-kal csökkent a kukorica termése. **Kende (2019)** őszi búza idényében, 2015-ben a 15-30 cm rétegben a direktvetésben 4,50 MPa, a tárcsázásban 5,01 MPa talajellenállási eredményeket mért, összefüggésben a száraz talajállapottal.

A 2017. éven belül a kezelések állapota jelentősen változott (**M3. 16-21. ábrák**). A márciusi és az áprilisi eredmények alacsony értékeket mutattak, azonban az áprilisi mérésekhez képest a májusiak drasztikusan emelkedtek, amely a hőmérséklet emelkedésének, a talaj száradásának tulajdonítható. A direktvetéses talaj a felső rétegében nagyobb változások mentek végbe, mint a mélyebbekben. Az eredményekről az **M3. 18. ábra** tájékoztat. A júniusi és a júliusi mérések során minden kezelésben a 15-20 cm és a mélyebben rétegben kaptuk a legmagasabb mérhető értékeket (6,72 MPa). Ellenben az augusztusi és a szeptemberi mérések

során az előbbinél alacsonyabb értékek alakultak. A talajellenállás visszaesése augusztusban a 25 mm, illetve szeptemberben a 48 mm csapadéknak tudható be, amely kilenc és nyolc nappal korábban hullott a mérés idejénél. Fontos kiemelni, hogy a nyári hónapokban, aratás után a talajfelszín borítottsága átlagosan 97% volt. **Bogunović et al. (2015)** felhívta a figyelmet arra, hogy a vizsgált évszakban a talajnedvesség általában a csapadék eloszlásának függvényében változik. Ugyanakkor **Shen et al. (2012)** és **Akhtar et al. (2018)** az ilyen változásokat a talajtakarás kedvező hatásainak is tulajdonítják.

A talajellenállás átlagos értékeit a 0-50 cm rétegben, a 2018. évre és Józsefmajorra vonatkozóan a **12. ábra** mutatja.



12. ábra: Az átlagos talajellenállás (MPa) különböző művelési kezelésekből (Józsefmajor, 2018) Megjegyzés: a méréskor az átlag talajnedvesség a tárcsás 22,5 m/m%, a sekély kultivátoros 22,8 m/m%, a direktvetés 23,6 m/m%, a kultivátoros 22,5 m/m%, a szántásban 22,4 m/m% és a lazításos kezelésben 22,5 m/m%. Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

A szója idényében (2018) öt mérést végeztünk, (**M3. 22-27. ábra**) amelyben a nyári mérések (június és július) nem szerepelnek a mérhetetlen értékek miatt. Ezt **Tuba et al. (2018)** eredményei is alátámasztják. Mérésük során a talaj száradás következtében egyre magasabb talajellenállási értékeket kaptak. Hagyományos művelésben a 30-60 cm közötti rétegben a talajellenállási értékek meghaladták a műszer mérési határait. Emellett a gyökérszónában

kialakult üledett vagy tömörödött állapot közvetett vízhiányt eredményez, amely akadályozza a növények fejlődését és csökkent a termését a száraz időszakban. A fizikai hibás talajon intenzívebb esők esetén nagyobb vízpárolgás és alacsonyabb beszivárgás alakulhat. Hasonló következtetéseket vont le **Macák (2001)** is a kísérleti eredményei alapján. Fontosnak ítélte a nedvességtartalom felhasználási értékét, pontosabban a felvétel és a veszteség sebességét, valamint a veszteség arányát. Ugyanakkor a mélyebben lazult talajréteg, a tömörítetlen, de egyenletes felület és a legalább 30%-os talajtakarás jelentősen javíthatja a víz visszatartását (**Birkás et al. 2008**).

Statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,01$; $p < 0,05$) a 45-50 cm réteget kivéve minden rétegben kimutatható volt. Az adatokat a **M3. 6. táblázat** tartalmazza. Az ANOVA szignifikáns eredményei esetében elvégzett post hoc próbák eredményeit a **M3. 6.1. táblázatban** összesítettem. Sajátos, de májusiban egyik kezelésben sem mértünk 2,5 MPa-nál nagyobb értéket, míg a júniusi mérés a műszerrel áthatolhatatlan száraz és kemény felszín miatt nem volt elvégezhető. A mérhető időpontokban átlagosan egyik kezelés sem haladta meg a károsan tömör értéket. A tárcsás kezelés a legnagyobb értéket (2,54 MPa) az 5-10 cm rétegben mutatta, s statisztikailag igazolható különbséggel tért el az összes többi kezeléstől. Minden művelés első mérési adatainak görbéje reálisan ábrázolja a művelési mélységeket. Szántott talajban a talajellenállás növekedését a 25-30 cm rétegben tapasztaltunk, míg a lazítottban a 40-45 cm rétegben. A szántás kezelésben elért eredmények egyeznek **Ren et al. (2019)** megállapításával, akik az eketalp kialakulását körülbelül 27 cm-nél jelölték meg. Az eredményeim egyeznek **Birkás et al. (2018c)** eredményeivel, ők 28 cm alatt tapasztaltak tömörebb állapotot. Szántásnál az első három mérési adatsor nem mutatott nagy változást, azonban hasonló görbével, de nagyobb értékekkel mutatja a negyedik adatsor a májusi eredményeket. Látható az is, hogy áprilisban a lazításos kezelésben a 15-40 cm réteg között az ellenállás értékek csökkentek, s abban a mérési időpontban a legalacsonyabb értékeket érték el. Ugyancsak a lazításos művelésben volt észlelhető kedvező hatás a vízraktározásra, amely vélhetően a lazult réteg mélységének is betudható. A talajlazítás előnyös hatásait tapasztalták **He et al. (2007)**, akik a takart és a lazítóval művelt talaj a nedvesség szempontjából kedvezőbbnek találták.

A **direktvetéses** talajban az ellenállás a teljes profil mélységében 1,74 és 1,97 MPa érték között változott. A **sekély kultivátoros** és **kultivátoros** kezelések görbéi hasonló lefutásúak voltak, amelyeknél nagyobb ellenállás növekedést a 20-25 cm rétegben tapasztaltunk.

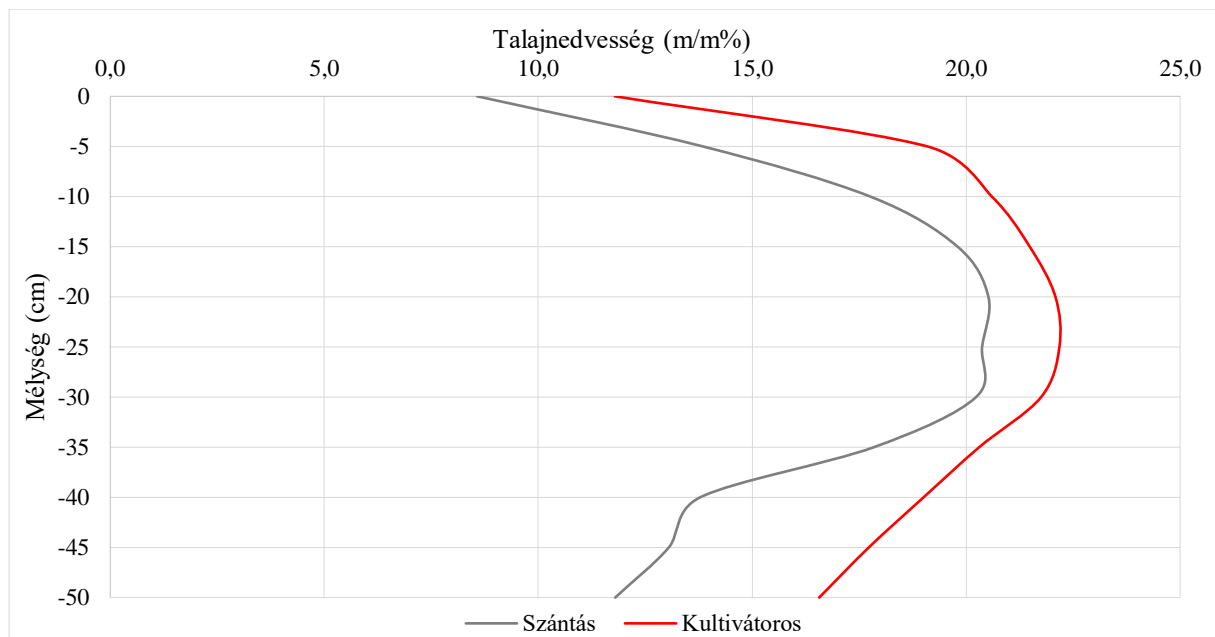
Úgy találtam, a lazult réteg mélysége penetrométeres talajellenállás mérésekkel jól nyomon követhető volt. Ezen felül minden alkalommal ásópróbával is ellenőriztük a talaj állapotát a szükséges mélységig.

4.1.3. A talajnedvesség alakulása szélsőséges csapadékviszonyok esetén

A Lukács térségi kísérletben minden idényben 2016-2018. között öt alkalommal végeztem méréseket. Az eredményeket a **13., 14., 15.** ábrák mutatják. A talajnedvesség mérési értékei kezelésként, a **M3. melléklet 28. és 29., 30-32. és 33-36. ábrákon** található.

A talajnedvesség átlagos értékeit a 0-50 cm rétegben, 2016. évre vonatkozóan a **13. ábra** és **M3. 28. és 29. melléklet**, míg a csapadék adatok – a talajellenállás értékekkel összevetést segítő - az **5. ábra** mutatja.

A 2016. évben kétféle művelés összehasonlítására volt lehetőségünk, szántásos és kultivátoros kezelést állítottunk be.



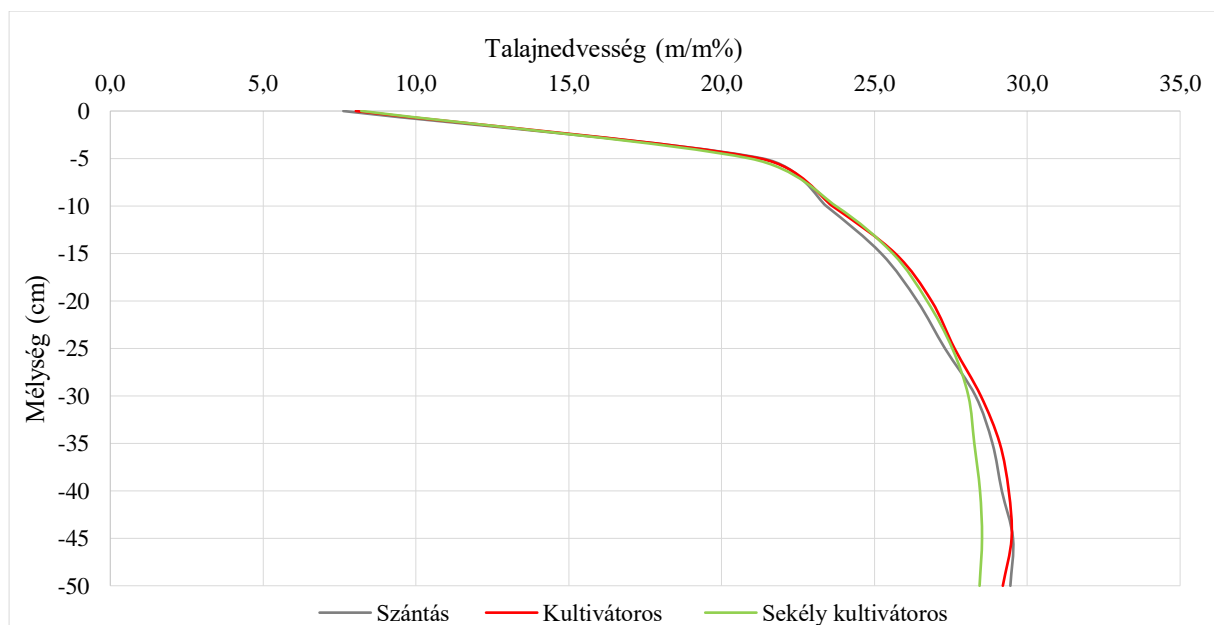
13. ábra: Az átlagos talajnedvesség (m/m%) különböző művelési kezelésekből (Lukács, 2016)

A **13. ábráról** kitűnik, hogy a kultivátorral művelt talajban minden mélységben magasabb nedvességtartalom alakult. Hasonló eredményeket kapott **Chen et al. (2014); Wang et al. (2019)**, akik a nedvesség kedvező változását a talajvédő művelés jótékony hatásainak tulajdonították. Ezt a megállapítást **Huang et al. (2008), Jalota et al. (2006)** és **Lampurlanés és Cantero-Martínez (2006)** az alacsonyabb párolgásra alapozták, amelyet a növényi maradványok felszíni takarása tett lehetővé.

Statisztikailag igazolható különbséget a kultivátoros kezelésben a következő rétegekben tapasztaltam, ezek a 0 cm, az 0-5 cm, az 5-10 cm, a 10-15 cm, a 15-20 cm, a 20-25 cm, a 35-40 cm, a 40-45 cm és az 45-50 cm (**M3. 7. táblázat**). A legnagyobb értéket kultivátoros

kezelésben (22,18 m/m%) a 20-25 cm rétegben, míg a szántott talajban (20,52 m/m%) a 15-20 cm rétegben mértünk. A mélyebb rétegek nedvességtartalma mindkét kezelésben erősen csökkent. Abban a rétegben, ahol kialakult a nedvességcsökkenés, ott nem csak ülepedett volt a talaj, hanem száraz is, akadályozva a felfelé irányuló vízforgalmat (7. ábra). Hasonló tapasztalatokat írtak le **Birkás et al. (2004, 2008)** és **Várallyay (1997, 2007)**. Az idényen belül a szántásban a tavaszi méréskor a mélyebb rétegekben észleltük a legnagyobb nedvességtartalom értékeket – összhangban a korábbi beázással –, míg a legalacsonyabbat az utolsó (őszi) mérésnél, szárazabb talajban. A felszínközeli rétegekben (0-15 cm), júliusban mértük a legnagyobb értékeket (12,23; 19,47; 20,40; 21,60 m/m%). Minden méréskor észleltem a művelési mélység alatti rétegben csekély visszaesést a nedvességtartalomban. Ez a jelenség a talpkárra utalhat. Kultivátorral művelt talajban átlagosan a legnagyobb értéket (22,18 m/m%) a 20-25 cm rétegben, míg a legalacsonyabbat (11,79 m/m%) a felszínen mértük. Hasonlóan, mint a szántásban, a júliusi mérésnél a felszínen és a 0-5 cm rétegben mértük a legnagyobb nedvességtartalmat. Ez a jelenség a korábban hullott csapadéknak tudható be. Az első és a második mérés idején nem találtam nagyobb változásokat a mélyebb rétegekben, míg a harmadik és a negyedik (nyári mérések) alkalmával ott már csökkenést tapasztaltam. Az utolsó, őszi mérésnél a 0-20 cm rétegig mértem a legalacsonyabb nedvességtartalmat. A legnagyobb értéket (22,37 m/m%) ekkor a 25-30 cm rétegben mértem.

A talajnedvesség átlagos értékeit 0-50 cm rétegben, a 2017. évre és Lukács térségére vonatkozóan a **14. ábra** és **M3. 30-32. melléklet** mutatja.



14. ábra: Az átlagos talajnedvesség (m/m%) különböző művelési kezeléseken (Lukács, 2017)

Az őszi zab idényében, mindhárom kezelésben hasonlóan alakultak az átlagértékek, így nem tapasztaltunk statisztikailag igazolható különbséget. A 0-50 cm talajprofilban mindegyik művelési kezelésben átlagosan 30 m/m% érték alatt maradt a nedvességtartalom. Ugyanakkor nagyobb eltérés figyelhető meg az időpontok között (vö. az 5. ábrával). Szántott talajban áprilisban a 30-35 cm rétegben volt legmagasabb a nedvesség (31,9 m/m%). Az első, novemberi méréshez viszonyítva kedvező tendencia figyelhető meg a második, a harmadik és a negyedik mérési időpontokban. E jelenség a téli (201,1 mm) és a tavaszi (126,5 mm) csapadéknak tulajdonítható. Ugyanakkor a melegebb időszak érkezésével, a májusihoz képest csökkenő tendenciát mutatott a júniusi adatsor. Hasonló jelenséget tapasztaltak kísérletükben **Ren et al. (2019)**. A nyár érkezésével a talajnedvesség csökkent a felső 30 cm rétegben, de néhány esőzés után enyhén emelkedett.

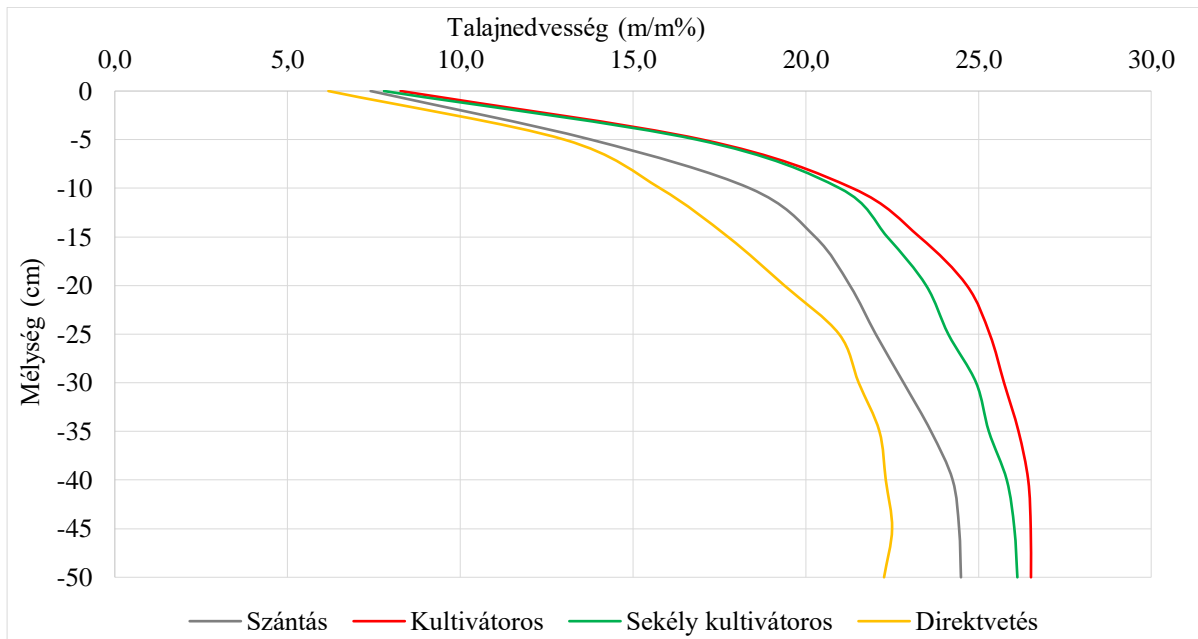
Az őszi méréshez képest a tavasszal (március, április és május), a téli átnedvesedés okán kedvezőbben alakult a talaj nedvességtartalma. Ellenben a júniusi méréskor, a májusihoz képest, erősen csökkenő tendenciát észleltem, amely a melegebb időszakban bekövetkezett száradásra is utal.

A kultivátoros kezelésben a legmagasabb értéket (32,67 m/m%) márciusban mértük a 40-45 cm rétegben. A sekély kultivátoros kezelésben a talaj az első mérésnél átlagosan több volt a nedvesség, mint a szántottban (+0,59 m/m%) és a kultivátoros művelésben (+0,36 m/m%). A mélyebb rétegekben (25-50 cm) a májusi nedvesség nagyobbak bizonyult, mint az áprilisi, míg a felső réteg (0-25 cm) nem mutatott eltérést egymástól. Figyelembe kell venni, hogy a márciusi és az áprilisi mérés között kevesebb csapadék hullott le (12,2 mm), míg az áprilisi és a májusi mérés között több (57,5 mm). Mindhárom kezelésnél az utolsó méréskor (június 21.) észleltem átlagosan a legalacsonyabb nedvességet, így a sekély kultivátoros művelésben is (20,79 m/m%).

A talajnedvesség átlagos értékeit a 0-50 cm rétegben, a 2018. évre és a lukácsi kísérletre vonatkozóan a **15. ábra és M3. 33-36. melléklet** mutatja.

A szója évében (2018) statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,05$; $p < 0,01$) több rétegben is kimutatható volt (**M3. 8., 8.1 táblázatban**). Legalacsonyabb nedvességtartalmat a direktvetéses talajban (18,53 m/m%) mértünk júliusban és októberben. A görbék hasonló lefutásúak, amely alapján az is megfigyelhető, hogy a kultivátorral művelt talaj tartalmazza átlagosan a legtöbb nedvességet (22,85 m/m%), ezt követi a sekély kultivátoros kezelés (22,17 m/m%), majd a szántás (20,25 m/m%) és a direktvetés (18,53 m/m%).

A szántásban, áprilisban – a többi kezeléshez képest – a talaj felszínén (6,33 m/m%) és a 0-5 cm rétegben (9,73 m/m%) bizonyult legalacsonyabbnak a nedvesség.



15. ábra: Az átlagos talajnedvesség (m/m%) különböző művelési kezeléseken (Lukács, 2018)

Júniusban minden kezelésben igen magas értékeket mértünk a 15-50 cm rétegben. Minden réteg több mint 25 m/m% nedvességet tartalmazott. Továbbá, a júliusi mérésnél ugyanabban a rétegben (15-50 cm) több mint 20 m/m% nedvességet mértünk a kezeléseken. A két mérés (április-június) között 148,8 mm csapadék hullott, ennek is tulajdonítható a nagyobb nedvességtartalom.

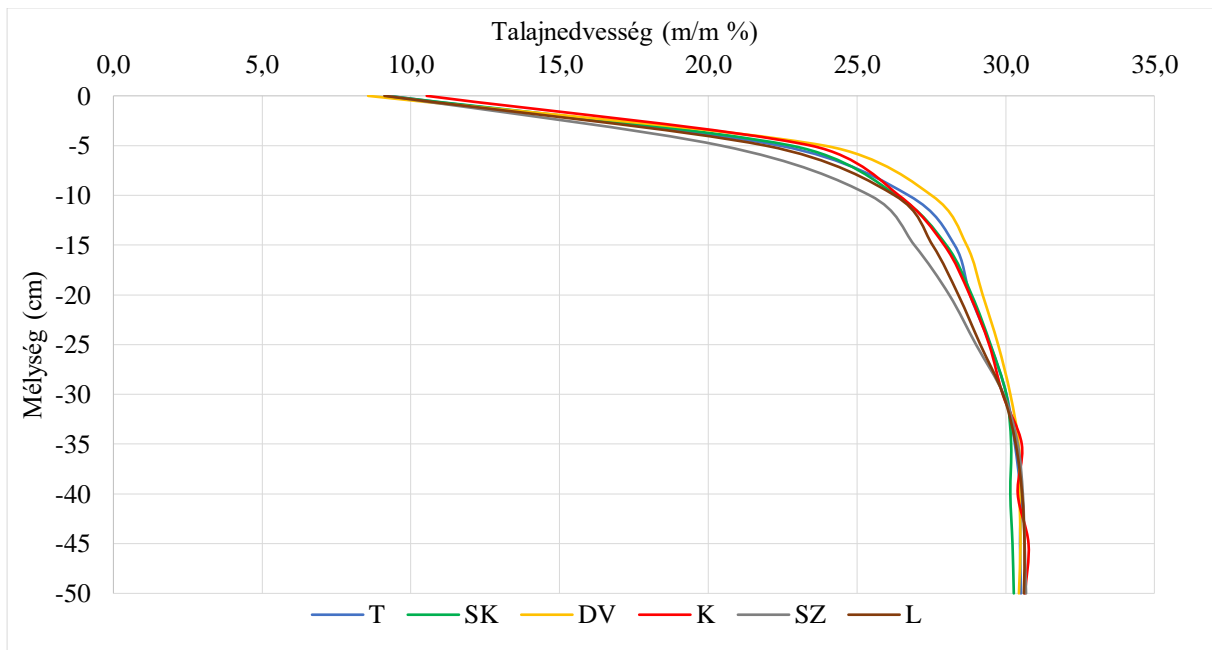
A kultivátoros kezelés alatt mértem a legnagyobb nedvességet, az áprilisi mérés során a 40-45 cm rétegben (31,47 m/m%). Az utolsó mérést (október) kivéve, a további négy mérés során kis eltéréssel alakult a nedvesség. A sekély kultivátoros kezelésben az átlagos nedvességtartalom a 0-50 cm rétegre vonatkozóan 22,17 m/m% volt. Ebben a kezelésben áprilisban mértük a legmagasabb nedvesség értéket (25,58 m/m%), a további hónapokban csökkenést állapíthattam meg.

A józsefmajori kísérletben (2016-2018 között) eltérő számban (7-9) mértünk, az eredményeket a **16., 17., 18.** ábrákon mutatom be. A kísérlet talajnedvesség mérési értékei kezelésként, a **M3. mellékletben, a 37-42, 43-48. és 49-54. ábrán** tekinthetők meg.

A talajnedvesség átlagos értékei a 0-50 cm rétegben a 2016. évre és Józsefmajorra vonatkozóan a **16. ábra és M3. 37-42. ábra** mutatja.

Több szerző (Pepó et al. 2008; Liu és Wiatrak, 2011; Shirazi et al. 2011) hívta fel a figyelmet arra, hogy a növény rendelkezésére álló víz és tápanyagok képezik a két legnagyobb korlátozó tényezőt a magas és stabil kukorica hozam elérésében.

Ezen felül a növényi fejlődés különböző szakaszaiban kialakuló vízhiány a termés csökkenéséhez vezethet (Dóka és Pepó, 2007; Josipović et al. 2010).



16. ábra: Az átlagos talajnedvesség (m/m%) különböző művelési kezeléseknél (Józsefmajor, 2016) Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

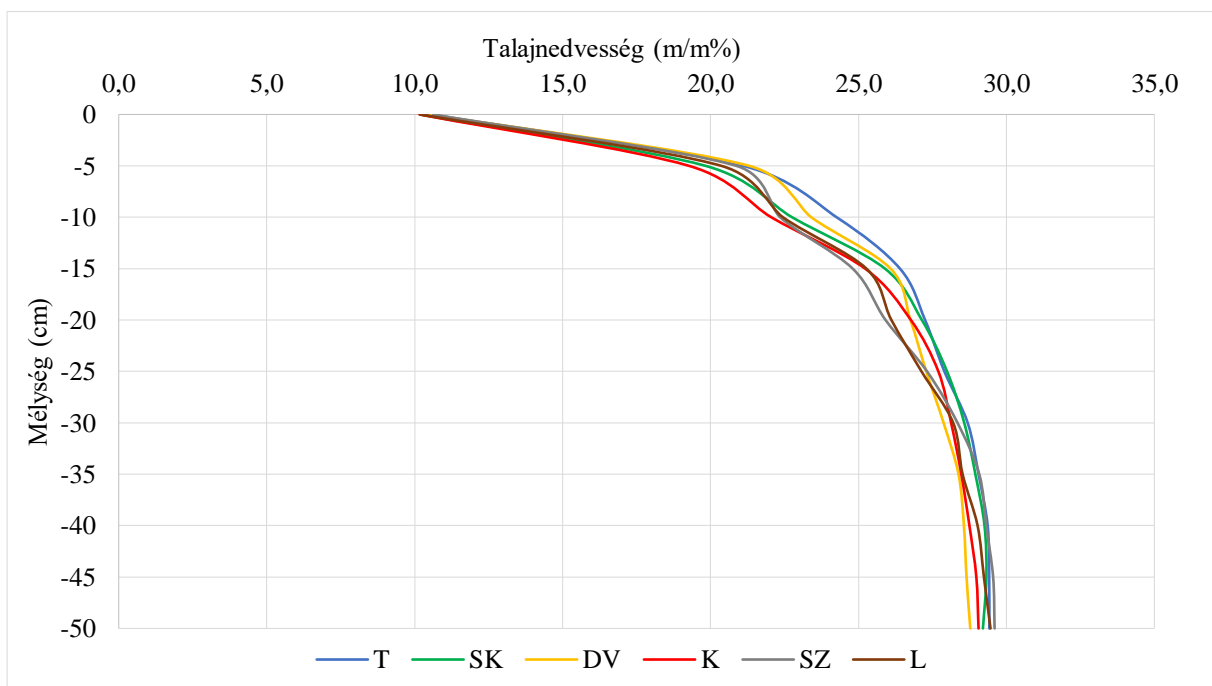
2016-ban az első és az utolsó mérés (n=8) között 652 mm csapadék hullott, amely jótékonyan hatott a talajra. Ugyanakkor a téli csapadék is jelentősen befolyásolta a tavaszi talajnedvességet, amelyen ebben az esetben a kiadós februári csapadék (126 mm) is javított. A 2016. évi átlag adatokat az **16. ábrán** mutatom be. Az ANOVA szignifikáns eredményeit a **M3. 9. táblázatban** ($p < 0,01$; $p < 0,05$), a post hoc próba eredményeit a **M3. 9.1 táblázatban** összesítettem. A felszín közelében a talajnedvesség 9,1-10,5 m/m % között alakult, de a nedvességtartalom minden kezelésben meghaladta a 20 m/m %-ot a 0-5 cm rétegben.

A felső 5-20 cm rétegben nagyobb az eltérés, a szántás a legalacsonyabb, a direktvetés a legnagyobb értékeket érte el, míg az alsó rétegekről (25-50 cm között) ugyanez nem mondható el. Az eredmények arra utalnak, hogy a szántott talaj a legkitettebb a klímahatásoknak, míg a szalmával borított, direktvetéses talaj védettebb. Amint azt **Lascano és Baumhardt (1996)** leírták, a direktvetésben a nagyobb mennyiségű szalmaborításnak kedvező hatása van az albedóra, csökkenti a talaj felmelegedését, ezáltal alacsonyabb vízvesztés várható. Az

eredményeim összhangban vannak **Alvarez és Steinbach (2009)** eredményeivel, akik semiarid körülmények között, nagyobb nedvességet bizonyítottak a direktvetés kezelésben.

A mérési időket tekintve a sárga színnel jelölt májusi eredmények minden kezelésben a legmagasabb értékeket mutatták (**M3. 37-42. ábrák**). A hőmérséklet-emelkedés és a talaj száradás eredményeként júniusban csökkent a nedvesség, főleg a felső 0-25 cm rétegben, bár a legjelentősebb változás a felszínen is látható volt.

A talajnedvesség átlagos értékeit a 0-50 cm rétegben a 2017. évre és Józsefmajorra vonatkozóan az **17. ábra** és **M3. 43-48. ábrák** mutatják.

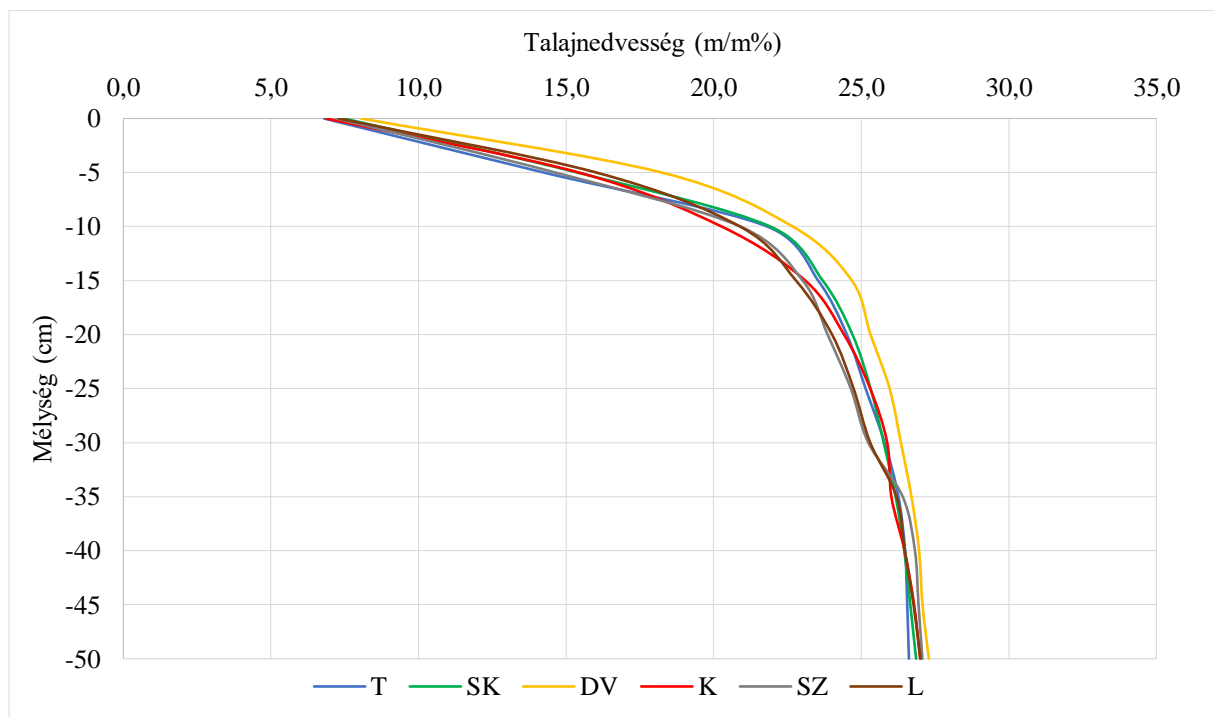


17. ábra: Az átlagos talajnedvesség (m/m%) különböző művelési kezeléseknél (Józsefmajor, 2017) Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazítás

Az őszi zab évében (2017) végzett mérések eredményeit a **17. ábrán** mutatom be. Ebben az évben nem volt szignifikáns különbség a kezelések között. Az időbeli eloszlást kezelésként a **M3. 43-48. ábrák** mutatják. Megjegyzem, júniusban és a júliusban csak a felső három rétegben tudtunk mérni. Átlagosan minden görbe hasonló lefutású, ahol az értékek átlagosan 10,2-29,7 m/m % között alakultak. A legalacsonyabb ingadozást a teljes vizsgálati mélységben, az első mérésnél, októberben észleltem, amely az esős őszenek tulajdonítható. A decemberi nedvesség eredmények az októberihez képest alacsonyabb értékeket mutattak. A májusi talajnedvesség az előző évhez hasonlóan alakult, minden kezelésben ekkor mértük a legmagasabb eredményeket (**M3. 43-48. ábra**). Ez a jelenség az 54 mm csapadéknak

köszönhető, amely az utolsó 15 napban hullott le. A decemberi és a márciusi mérés között 72,5 mm csapadék hullott le, amely a felső rétegben a kezelések között nagyobb változásokat eredményezett. Direktvetésben, júniusban rendkívül alacsony volt a nedvesség (4,8-9,6 m/m%) a 0-10 cm rétegben. Továbbá a direktvetéses talajban (M3. 45. ábra), a mélyebb rétegekben (30-50 cm) mértük a legalacsonyabb nedvességet (27,9-28,8 m/m%), a többi kezeléshez képest. A legmélyebb rétegben (-50 cm) a szántott talaj tartalmazta a legnagyobb nedvességet (29,7 m/m%) (M3. 47. ábra). Kissé meglepő, hogy a lazított talajban, mint a legmélyebben művelt kezelésben, kevesebb nedvességet mértünk, mint a szántott talajban (M3. 48. ábra). Ezt a jelenséget, a tömör talptól mentes talajállapot idézi elő, a jobb vízáteresztés révén.

A talajnedvesség átlagos értékeit a 0-50 cm rétegben a 2018. évre és Józsefmajorra vonatkozóan a 18. ábra mutatja.



18. ábra: Az átlagos talajnedvesség (m/m%) különböző művelési kezeléseknél (Józsefmajor, 2018) Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

Az utolsó kutatási évben (2018), a szójababban összesen hét mérést végeztünk, amelynek átlagos eredményeit a 18. ábrán szemléltetem. Az ANOVA alapján statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,01$; $p < 0,05$) négy rétegben, több kezelés között volt kimutatható (M3. 10. táblázatban, a post hoc próbák eredményei pedig a M3. 10.1 táblázatban találhatók. Az időbeli eloszlást kezelésként a M3. 49-54. ábrán mutatom be. Felhívom a figyelmet arra, hogy a júliusban és az augusztusban a műszerrel nem mérhető nedvességtartalmú talajállapot miatt

csak a 0-30 cm közötti rétegre szerepelnek adatok. Ugyanakkor, ebben az évben a 2016. és a 2017. évekhez képest, áprilisában minden kezelésben nagyobb nedvesség értékeket mértünk.

A felszínen az átlagos talajnedvesség értékek 6,8 m/m% voltak a tárcsás és a kultivátoros kezelésben és 8,0 m/m% volt a művelés nélküli kezelésben, amelyek között jelentős különbség mutatható ki. Megfigyelhető, hogy a direktvetéses talaj átlagos értékei a 0-35 cm rétegben nagyobbak bizonyultak a többi kezeléshez képest, emellett bizonyos kezelésektől statisztikailag igazolható különbséget is mutattak (**M3. 10.1 táblázat**). A direktvetésben a márciusi méréskor a felszínen tapasztaltuk a legtöbb nedvességet (13,7 m/m%), míg a többi kezelésben 4,6-7,2 m/m% nedvesség alakult ki. Viszont a mélyebb rétegekben rendkívül alacsony nedvességet mértünk, 18,5-22,2 m/m% között (**M3. 51. ábra**). Hasonló eredményre jutott Kende (2019) doktori értekezésében. Első kutatási évében, 2014-ben, a 0-15 cm rétegben a sekély kultivátoros kezelésben átlagosan 22,46 m/m% nedvességet mért, a direktvetéses kezelésben pedig 25,16 m/m%-ot, amelyek között szignifikáns különbséget is kimutatott.

4.2 A takart és takaratlan felszín hatása a talaj kitétségére

Az elmúlt két évtizedben a klímajelenségek egyre kedvezőtlenebb hatást gyakorolnak a talajokra, növelve a sérülékenységet, ezáltal a növénytermesztés kockázatát is. Érthető, hogy a talajvédelem már régóta kulcsfontosságú témakör a kutatási és a publikációs tevékenységekben.

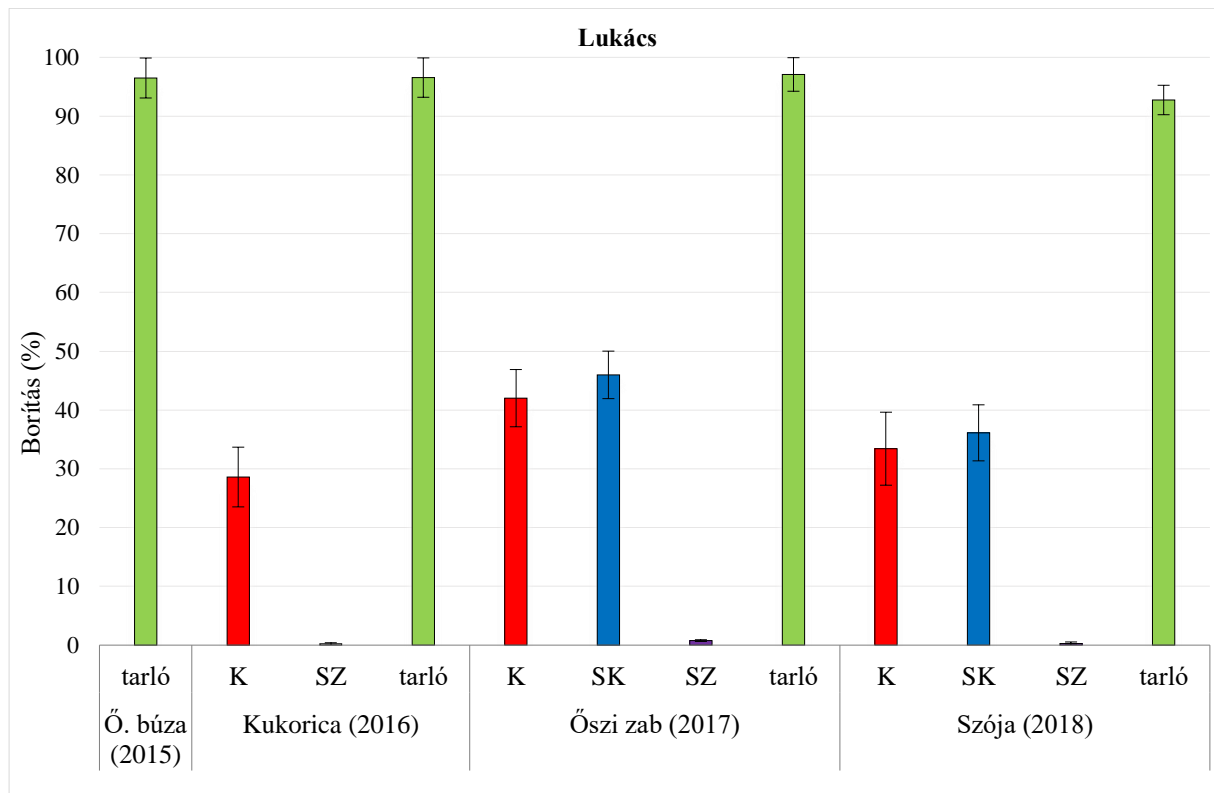
A **kitétség**, véleményem szerint, a talajminőség veszélyeztetése a felszín védtelenségének fokozásával. A kitétséget befolyásoló természeti tényezők a terület fekvése, valamint az időjárási jelenségek, kiemelten a csapadék intenzitása és mennyisége. A gazdálkodási tényezők közül legfontosabbak a talaj bolygatottsága (mély, középmély, sekély) a felszín alakja (egyenetlen/rögös, kissé egyenetlen, egyenletes), a felszínakarás (jó, közepes, gyenge), valamint az agronómiai szerkezet, azon belül a hosszabb időszak alatt legkevésbé sérülékeny frakció aránya, valamint az eső-stressznek kitett felső réteg nedvessége.

A következőkben előbb a felszínakarást, majd az agronómiai szerkezet arányainak előfordulását, továbbá az eső-stressznek kitett felső réteg nedvességét értékelem a két kísérletben végzett mérések alapján. Végül a talajfelszín minősítem a kitétség megítéléséhez.

4.2.1. A talajfelszín borítottsága

A hároméves lukácsi kísérlet talajfelszín borítás adatait a **19. ábrán** mutatom be. A 19. ábrán kitűnik, hogy a talajfelszín borítása legmagasabb a betakarítás után, minden kutatási

évben meghaladja a 90%-ot. Ez az arány tudottan a szalma mennyiségétől és a terítés minőségétől függ. Például **Mairhofer et al. (2019)** kísérletükben elérték a 100%-os borítást őszi árpa aratása után. A felszintakarás kiemelten fontos nyári időszakban a tarlókon, mivel nagy a szerepe a talaj és nedvesség védelemben. **Kalmár et al. (2013)** 8-11%-kal nagyobb talajnedvességet igazoltak a bolygatatlan talajban, amelyen 55-65% volt a talajfelszín borítása. A szerzők aláhúzták a talajművelés jelentős befolyását a talajfelszín borítására. **Raper (2002)** arról számolt be, hogy a talajművelés mélysége is jelentős hatással van a szalma bekeverésére.



19. ábra: A talajfelszín borítás arányai (%) a művelési kezelésekben (Lukács, 2016-2018)

Kezelések: K: kultivátoros, SZ: szántás, SK: sekély kultivátoros

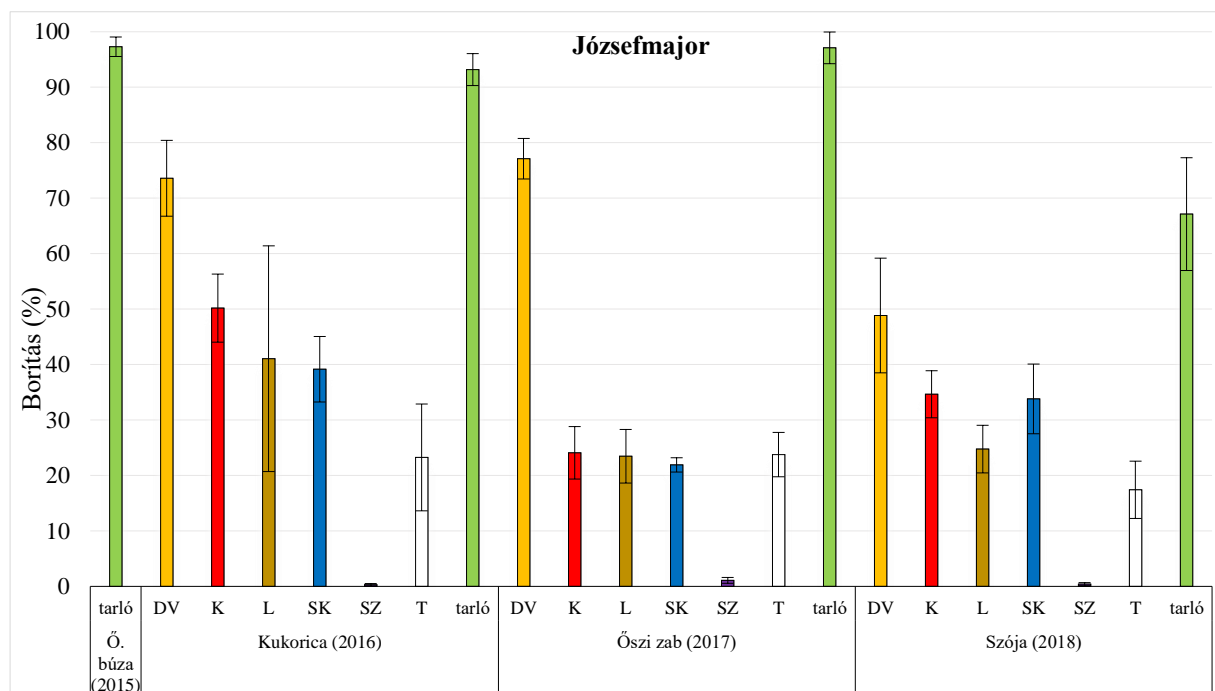
Kísérletében a szántás minden évben a legalacsonyabb (<1%) talajfelszín borítást eredményezte. Más szerzők (**Zimmer et al., 2002; Birkás, 2006b; Jug et al., 2019**) hasonló eredményeket közöltek.

Lukácson, 2016-ban a kultivátor a vetés után 28,6% borítást hagyott a felszínen, 2017-ben 42,0%-ot, 2018-ban pedig 33,4%-ot. A sekély kultivátoros kezelésben vetés után a felszínen 36-46% takarás maradt. Vagyis, a nemzetközi és hazai elvárások szerint egyaránt talajvédő művelésnek tekinthetők (**CTIC, 2017**). Ugyanakkor a második és a harmadik kutatási évben a kultivátoros kezelés alacsonyabb borítást hagyott a sekély kultivátoros kezeléshez képest, amely a művelési mélységnek és a jobb bekeverésnek tulajdonítható. Ezt **Walther (2009)**

ugyancsak tapasztalta, sekélyebb művelés alkalmazásakor a talajfelszín nagyobb arányban maradt borítva.

A hároméves józsefmajori kísérlet talajfelszín borítás adatait a **20. ábrán** mutatom be.

A józsefmajori kísérletben, közvetlenül betakarítás után, a talajfelszín borítása minden évben meghaladta a 90%-ot, amely hatásosan csökkentette a nyári klímakárokat. Ugyanakkor 2018. szeptemberben a szója betakarítása után mértük a legalacsonyabb borítást (67,12%), amely a megszáradt és lecsökkent növényi tömegnek tulajdonítható. Az egyes években a legalacsonyabb talajfelszín borítást a szántott talajon mértük (2016-ban 0,3%; 2017-ben 1,08% és 2018-ban 0,4%).



20. ábra: A talajfelszín borítás arányai (%) a művelési kezeléseken (Józsefmajor, 2016-2018)

Kezelések: DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, SK: sekély kultivátoros, SZ: szántás, T: tárcsás

Az ilyen csekély borítás kockázatot jelenthet bármely idényben. A borítás alakulásában szerepet játszott az ekére szerelt pakker munkája is, mivel némi maradványt a felszínre hozott. Szántáskor, száraz talajon nagy rögök képződnek, míg nedves körülmények között szalonnás felszín képződik. A borítottság az eke fordító munkájától függ. **Birkás (2002), Birkás et al. (2008)** felhívták a figyelmet arra, hogy rögös vagy szalonnás szántás esetén szükségessé válhat az akár több menetes elmunkálás, amely előidézi a visszatömörítést és fokozza az elporosítást. E jelenségek a takarás hiányával együtt fokozzák a szántott talaj kitérttségét. **Temesgen et al. (2012)** szemiárid körülmények között hasonlították össze a szántást a sávos műveléssel. Az utóbbi műveléssel alacsonyabb lett a vízfolyás és az erózió mértéke, így jelentősen javult a

növények számára rendelkezésre álló víz mennyisége, amely nagyobb kukorica hozamot biztosított.

Kísérletünkben a tarló borításához képest a direktvetés kezelésben volt a legalacsonyabb borítás-csökkenés. Ezáltal a talajvédelem is jónak volt mondható. A szójtarlón 2018-ban a többi évhez képest a legalacsonyabb a borítási arányt mértük direktvetésben is. Sajátos, de a 2016. és 2017. években, amikor az őszi búza és az őszi zab szalmája takarta a tarlót, nagyobb különbséget tapasztaltunk a kultivátoros, a lazításos és a sekély kultivátoros kezelések között, míg a 2016. esős évben a kukorica maradványokkal fedett tarlón egyenletesebb borítást állapítottunk meg.

A növénytől függetlenül, a tárcsás kezelés megközelítőleg azonos és alacsony borítási szintet adott, összefüggésben a gyengébb növényállománnyal. A kisebb takarás – s emiatt gyengébb felszín védelem – csapadékos és a száraz időnyben egyaránt kockázatos. A lukácsi kísérlettel azonos kezeléseket összevetve, a józsefmajori kultivátoros és a sekély kultivátoros kezelések fordítottan arányosak, azonban mindkét kísérletben elhanyagolható különbséggel térnek el egymástól. Az eredményeim egyeznek **Mairhofer et al. (2019)** eredményeivel. A szerzők a mélyebb művelésnek betudható több maradvánnyal értek el nagyobb talajfelszín borítottságot. Ennek ellentmond **Raper (2001)** megállapítása, miszerint a kultivátoros kezelésben a művelési mélység nem befolyásolja jelentősen a szalma bekeverését. Emiatt meg kell említeni, hogy a talajművelő eszköz és a növény maradvány tömege is kulcsszerepet játszik a borítási arányoknál. Esetünkben a tarlóborítás arányai minden kezelésben közel azonosak voltak.

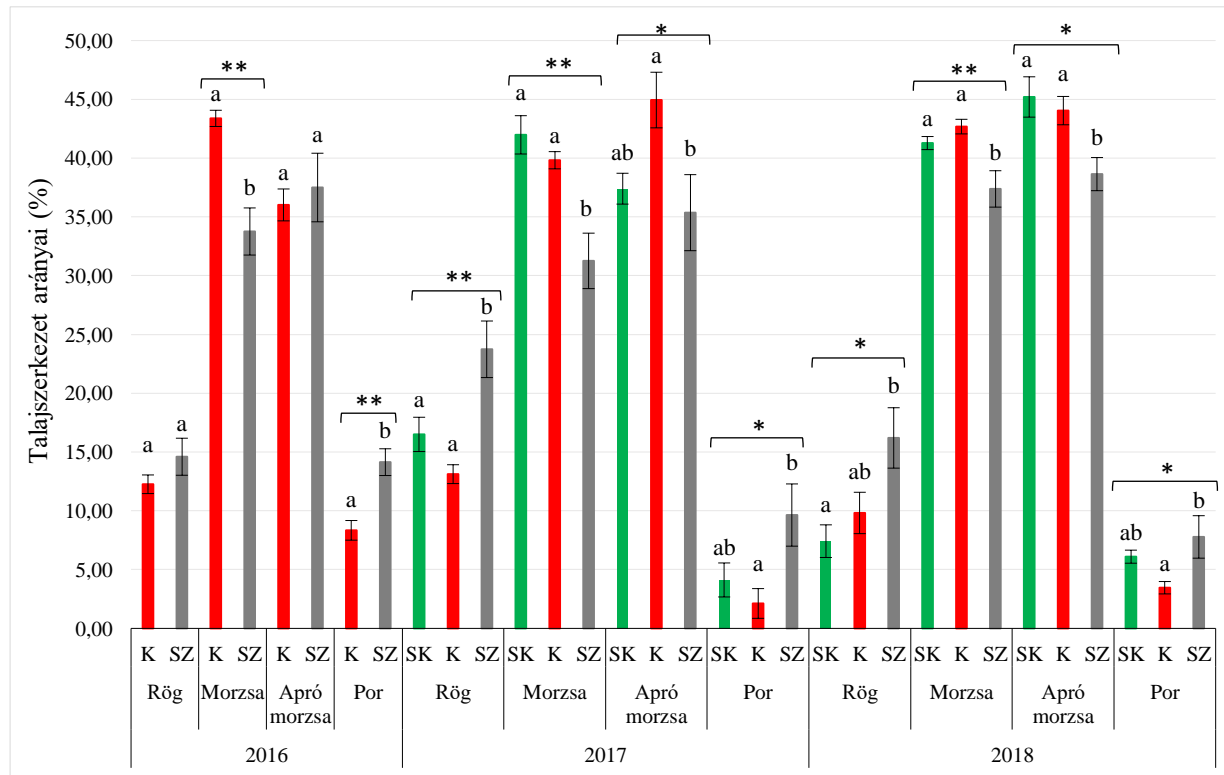
A legkitettebb felszín hagyó művelési kezelés véleményem szerint az, amely a legalacsonyabb borítottságot hagyja. A hároméves adatok alapján, a lukácsi kísérletben a talaj borítottság tekintetében a következő (csökkenő) sorrendet állapítottuk meg: SK>K>SZ. A józsefmajori kísérlet adatai alapján a (csökkenő) sorrend a következő: DV>K>SK>L>T>SZ. Úgy találtuk, a klíma jelenségnek kitett közepes és az alacsony borítottságú talajt több klímakár is erősen sújthatja (eső-stressz, kiszáradás, ülepedés stb.). A lazult réteg mélysége a vízbefogadás miatt fontos. Ezen felül figyelembe kell venni a csapadékeloszlást, az időegység alatt lehulló csapadékmennyiséget, a csepp méretét és a területi adottságot. Adott területen az alkalmazott agrotechnika befolyásolja a talajfelszín borítottságát, a talajnedvességet és a talajszerkezetet. Hasonló következtetéseket vontak le **Mielke et al. (1986)** is kísérletükben. Mivel a talajművelés jelentősen befolyásolja az aratás és a vetés utáni borítottságot, így arra a megállapításra jutottam, hogy eredményeink egyeznek. **Jug et al. (2019)** eredményei szerint a borítási és védelmi sorrend a következő: direktvetés>kultivátoros>lazításos>tárcsás>szántás.

A talajfelszín takarási arányokat öt kategóriába soroltam a kísérleti területeken előforduló gyakoriságuk szerint. Ez a magyarázata a 3., 4. és 5. kategória nagyobb léptékének. A kategóriák a következők: 0-10, 11-25, 26-45, 46-70 és 71-100%. A minősítésük talajvédelmi szempontból igen gyenge, gyenge, közepes, kedvező, igen kedvező.

4.2.2. Agronómiai szerkezet

A továbbiakban az agronómiai szerkezet mérési eredményeit értékelem, elsőként a lukácsi kísérletben (21. ábra).

Az agronómiai szerkezetet méret alapján négy kategóriába soroljuk, azaz rög (>10 mm), morzsa (2,5-10 mm), aprómorzsa (0,25-2,5 mm) és por (<0,25 mm). A statisztikailag igazolható különbségek összesítve az **M3. 11. és 11.1. táblázatban** láthatóak. A hároméves kísérletben a legnagyobb rögösödési arányt (23,74%) 2017-ben, a szántott talajban mértük. Hasonló eredményre jutott **Birkás (2006)** is, vonatkozó kísérletében. **Bencsik (2007)** tavasszal szántott talajban 33% rög arányt kapott. A talaj optimális nedvességénél végzett, jó minőségű szántás nem eredményezett káros mértékű rögösödést. 2017-ben a legalacsonyabb porfrakció arányt (2,12%) a kultivátoros műveléssel értük el.



21. ábra: Az agronómiai szerkezet átlagos arányai a lukácsi kísérletben (2016-2018)

Kezelések: K: kultivátoros, SK: sekély kultivátoros, SZ: szántás

Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Baker et al. (2005) hasonló eredményeivel hívta fel a figyelmet arra, hogy a talajvédő műveléssel 50-90%-os porfrakció csökkenés érhető el, különösen akkor, ha csökkentik a művelési menetszámot.

Az ANOVA szignifikancia eredmények az **M3. 12. táblázatban** tekinthetők meg. A post hoc próbák kimenetét a 2017. és 2018. évre vonatkozóan az **M3. 12.1. táblázatban** összesítettem. A **21. ábrán** látható, hogy **2016-ban** a kultivátoros kezelés kisebb rög (-2,34%), aprómorzsa (-1,48%) és por (-5,80%) arányokat mutat a szántáshoz képest. A morzsa frakciót illetően a kultivátoros kezelés nagyobb arányt (+9,62%) mutat a szántáshoz képest, ezáltal statisztikailag igazolható különbség alakult ($p < 0,01$). A szántás 5,8%-kal nagyobb porosodást eredményezett, amely statisztikailag is eltért ($p < 0,01$) a kultivátoros kezelésben mérttől. **2017-ben** a három kezelés közül a legalacsonyabb rögfrakció arányt a kultivátoros (13,12%), közepeset a sekély kultivátoros (16,50%) kezelés mutatott. A legmagasabb rögfrakció arányt a szántott talajban (23,74%) mértünk, amely statisztikailag igazoltan is eltér az előző két kezeléstől ($p < 0,01$). Szántás kezelésben **Bencsik et al. (2005)** 1,6-szer nagyobb rögösödési arányt mutattak ki, a fent említett legmagasabb rögfrakció aránytól. A sekély kultivátoros és a kultivátoros kezelés között a morzsafrakció arányokban nem tapasztaltunk különbséget, míg a szántástól mindkét kezelés szignifikánsan eltért ($p < 0,01$).

A legmagasabb morzsa arányt (41,98%) a sekély kultivátoros műveléssel mutatott. Ezen felül a legmagasabb aprómorzsa (44,94%) és a legalacsonyabb (2,12%) por frakciót kultivátoros művelésben mértük. Ezek az arányok a szántásos műveléshez képest statisztikailag igazolható különbséget eredményeztek. A sekély kultivátoros művelésben mért frakcióknál nem volt szignifikáns különbség a kultivátoros és a szántásos műveléshez képest.

2018-ban a szántott talajban mértük a legmagasabb rögfrakciót (16,20%) és porfrakciót (7,78%), valamint a legalacsonyabb morzsa (37,38%) és aprómorzsa (38,64%) frakciót. A rögfrakció arányokban a sekély kultivátoros művelés és a szántás kezelés között volt kimutatható a szignifikáns különbség ($p < 0,05$), míg a porfrakció arányoknál a kultivátoros és a szántott kezelés között ($p < 0,05$). A sekély kultivátoros és a kultivátoros kezelésben a szántáshoz képest magasabb morzsa ($p < 0,01$) és aprómorzsa arányt ($p < 0,05$) volt statisztikailag igazolható. E tapasztalat nem csak a felszintakarásnak tudható be, hanem a mulcshagyó művelés kedvező sajátosságainak is köszönhető. A szántással ellentétben a mérsékelt bolygatás, a növényi maradványok bekeverése a művelt rétegbe dinamikus biológiai tevékenységet eredményez. Hasonló jelenséget tapasztalt **Birkás et al. (2007b)**, **Kalmár et al. (2013)** és **Bogunović et al. (2019)** is vonatkozó kísérleteikben.

A **7. táblázat** adatait illetően a hároméves adatok alapján, a három kezelés közül, a szántásban nem volt kimutatható szoros összefüggés az agronómiai szerkezet frakciói között. Ez az észlelet is a szántott talaj kitettségére, a szerkezeti tényezők időjárástól függő változékonyságára utal. A sekély kultivátoros kezelésben a rög és az apró morzsa között, negatív és nagyon erős összefüggést tapasztaltam ($r=-0,966$). A rögösség növekedése kevésbé a morzsa, inkább az aprómorzsa arányát befolyásolta. A morzsa és a por között, hasonlóan negatív és erős összefüggést észleltem ($r=-0,836$). E kezelésben a magasabb morzsa arány esetén kevesebb port lehetett észlelni. Mindkét faktornál a korrelációs együtthatók között statisztikailag igazolható különbséget tapasztaltam ($p<0,01$).

7. táblázat: Korrelációs együtthatók a talaj agronómiai szerkezetét leíró mutatók, a különböző művelés esetén, a lukácsi kísérletben

Talajművelési mód		Rög	Morzsa	Apró morzsa	Por
sekély kultivátoros	Rög	1	0,178	-,966**	-0,420
	Morzsa		1	-0,284	-,836**
	Apró morzsa			1	0,384
	Por				1
kultivátoros	Rög	1	-0,377	-0,454	0,119
	Morzsa		1	-,536*	,562*
	Apró morzsa			1	-,897**
	Por				1
szántás	Rög	1	-0,472	-0,246	-0,507
	Morzsa		1	-0,438	0,104
	Apró morzsa			1	-0,404
	Por				1

Megjegyzés: SK: $n=10$; K: $n=15$; SZ: $n=15$; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$

A kultivátoros művelésnél negatív, közepesen erős összefüggést tapasztaltam a morzsa és az apró morzsa között ($r=-0,536$), ellenben a morzsa és a por között pozitív és közepesen erős összefüggést ($r=0,562$). A kultivátorozott talajban a morzsát mérsékeltebb, az aprómorzsa és a port több tényező – beleértve az időjárást – veszélyeztette. Emellett jelentős különbséget is kimutattam ($p<0,05$) a vizsgált tényezők között. Negatív, erős összefüggést ($r=-0,897$) tapasztaltam az apró morzsa és a por között, ahol a korrelációs együtthatók között statisztikailag igazolható különbséget is kimutattam ($p<0,01$). Az aprómorzsa miatt a művelési és időjárási behatások révén könnyebben keletkezik por, míg aprómorzsa miatt morzsa csak kedvező biológiai tevékenység esetén alakul. Vagyis a szántott, takaratlan talaj ennek betudhatóan sérülékenyebb, a takart, védettebb talaj kevésbé.

Az alkalmazott agrotechnikától eltekintve, a talajszerkezet megoszlása között, valamint a csapadékmennyiség és szórása közötti összefüggést is vizsgáltam (**8. táblázat**). Negatív, közepesen erős összefüggést tapasztaltam a rög és a morzsa között ($r=-0,577$) és a rög és az apró morzsa között ($r=-0,565$). Gyenge, majdnem elhanyagolható, negatív összefüggés mutatható ki a morzsa és a por alakulása között ($r=-0,396$).

8. táblázat: Korrelációs együtthatók a talaj agronómiai szerkezetét leíró mutatók, a csapadékmennyiség, a szórása és a talajnedvesség között (Lukács, 2016-2018)

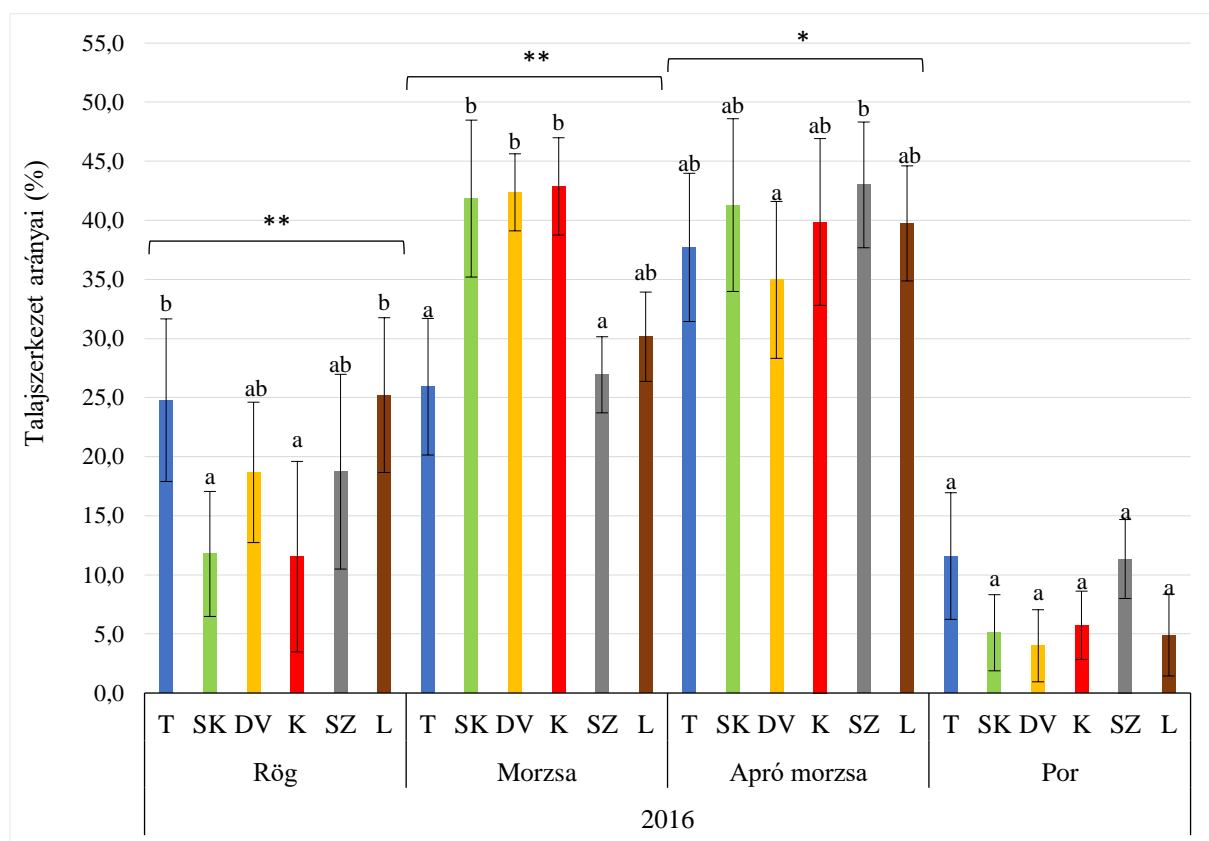
	Rög	Morzsa	Apró morzsa	Por	Csapadék mennyiség (mm)	Csapadék mennyiség szórása (mm)	(0-5 cm) Talaj nedvesség (m/m%)	(5-10 cm) Talaj nedvesség (m/m%)
Rög	1	-,577**	-,565**	0,081	0,032	-0,048	0,153	0,110
Morzsa		1	0,021	-,396*	-0,009	-0,140	0,075	0,091
Apró morzsa			1	,547**	0,017	0,075	-0,090	-0,034
Por				1	-0,050	0,119	-0,161	-0,194
Csapadék mennyiség (mm)					1	,445**	-0,180	-0,048
Csapadék mennyiség szórása (mm)						1	0,103	0,046
(0-5 cm) Talaj nedvesség (m/m%)							1	,847**
(5-10 cm) Talaj nedvesség (m/m%)								1

Megjegyzés: $n=40$; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$

Pozitív, közepesen erős összefüggés volt az apró morzsa és a por között ($r=0,547$). A lukácsi kísérletben – vélhetően a csapadék változékonysága (többlet vagy hiány) miatt – csak gyenge összefüggés mutatkozott az agronómiai szerkezet elemei és a csapadék mennyisége között. Ezt a csapadék mennyisége és szórása közötti pozitív, közepesen erős összefüggés ($r=0,445$) is igazolja. Pozitív nagyon erős összefüggést tapasztaltam a talajnedvességben ($r=0,847$) két réteg között (-5 és -10 cm), ahol a korrelációs együtthatók között statisztikailag igazolható különbséget is kimutattam ($p<0,01$). A hullott csapadék jelentős része a mélyebb rétegekbe fog szivárogni és kevésbé érinti az evaporációt. A csapadék időbeli eloszlása, a csapadékhullás ideje és intenzitása adott Luvic Stagnosol [Siltic] talajon nagyobb jelentőséggel bírhat a talajok szerkezetére, mint a csapadék éves összege.

Össességében, a kitétség alapján a legalacsonyabb borítási szintet, emellett a legmagasabb rög és por arányt a szántott talajban mértük a lukácsi kísérletekben. A kultivátorral művelt talajokban a jobb felszínvédelemnek betudhatóan kedvezőbb morzsásodás és enyhébb rögösödés volt észlelhető.

A **22. ábrán** az agronómiai szerkezet arányainak eloszlását mutatom be hat kezelés esetén a józsefmajori kísérletben, a 2016. évre vonatkozóan. Az ANOVA szignifikancia eredményeit az **M3. 13. táblázatban** összesítettem, az elvégzett post hoc próbák kimenetét a 2016., 2017. és 2018. évekre az **M3. 13.1. táblázatokban** mutatom be.



22. ábra: Az agronómiai szerkezet átlagos arányai (%), (Józsefmajor, 2016)

Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

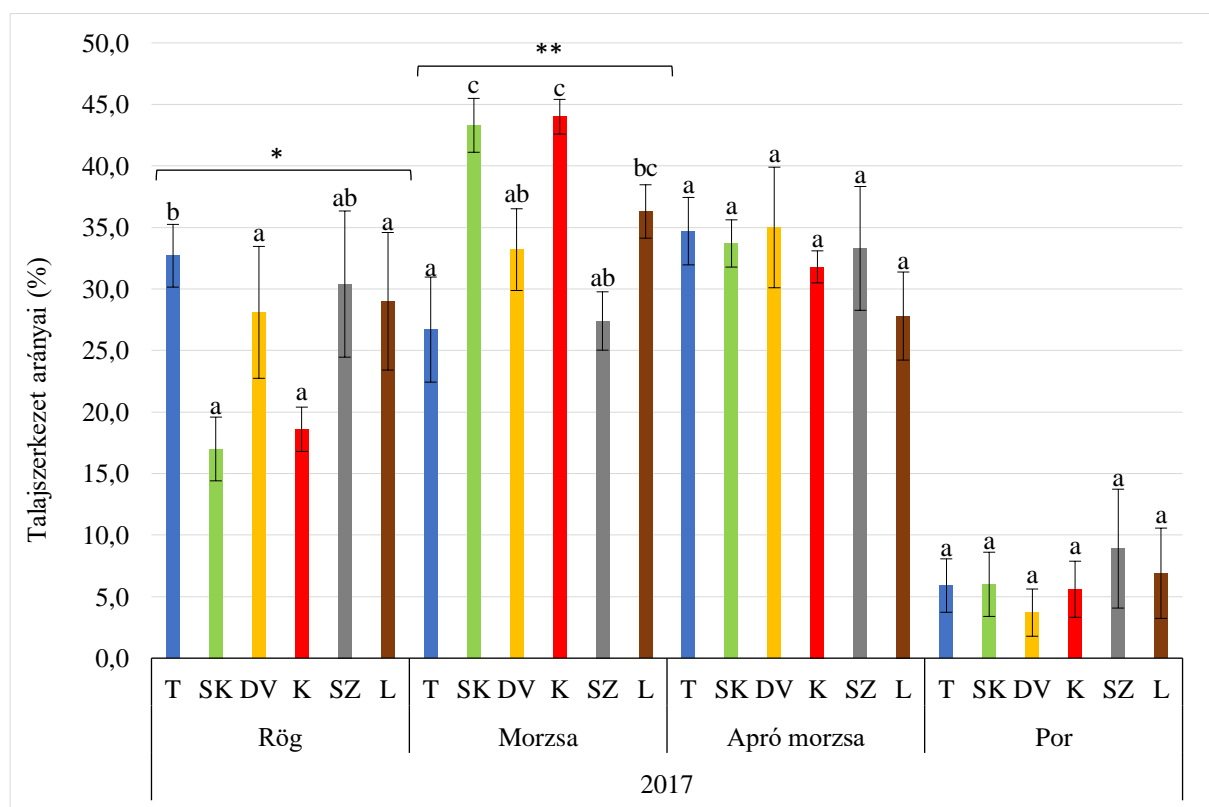
Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

2016-ban, az esős évnek betudhatóan, a **por frakció** volt a legalacsonyabb minden kezelésben, de a kezelések között nem volt kimutatható statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,05$). A por frakció aránya a direktvetésben 4,0%, míg a tárcsás kezelésben 11,6% és a szántás kezelésben 11,3% volt. A szántás 43,0%-kal és a sekély kultivátoros kezelés 41,3%-kal a legtöbb **apró morzsa** frakciót tartalmazta, míg a direktvetés a legkevesebbet (35,0%). Az

ANOVA vizsgálatok alapján, valamint a post hoc próba által kimutatható statisztikailag igazolható különbséget tapasztaltam ($p < 0,05$) a direktvetés és a szántás kezelés adatai között. A legnagyobb volt a **morzsa** arány a kultivátoros művelésben (42,9%) és a direktvetésben (42,4%). A tárcsázott talajban a morzsa 25,9%-kal, a szántás 26,9%-kal mutattak jelentős eltérést ($p < 0,01$) a sekély kultivátoros, a direktvetés és a kultivátoros kezeléstől. A rög arányban a sekély kultivátoros (11,8%) és a kultivátoros (11,5%) kezelések kedvezőnek, míg a lazításos (25,2%), és a tárcsás kezelés (24,8%) kedvezőtlenebbnak bizonyult.

Vizsgálataink szerint az agronómiai szerkezet alakulását a művelés rendszere (kímélő, semleges vagy rontó), valamint a klímajelenségek – többnyire rontó – hatása befolyásolta. A 2016. csapadékos évben a talajellenállás vizsgálatok a talaj ülepedését, a nedvességtartalom vizsgálatok a kedvező ellátottságot igazolták. Ugyanakkor az ismétlődő csapadékok többnyire kedvezőtlen hatással voltak az agronómiai szerkezetre, a rög arány növekedett, a morzsa arány csökkent. A por arány szerencsésen alacsony szinten maradt.

A következő **23. ábrán** az agronómiai szerkezet arányainak eloszlását szemléltetem a 2017. évre vonatkozóan, a józsefmajori kísérletben.



23. ábra: Az agronómiai szerkezet átlagos arányai (%) (Józsefmajor, 2017)

Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

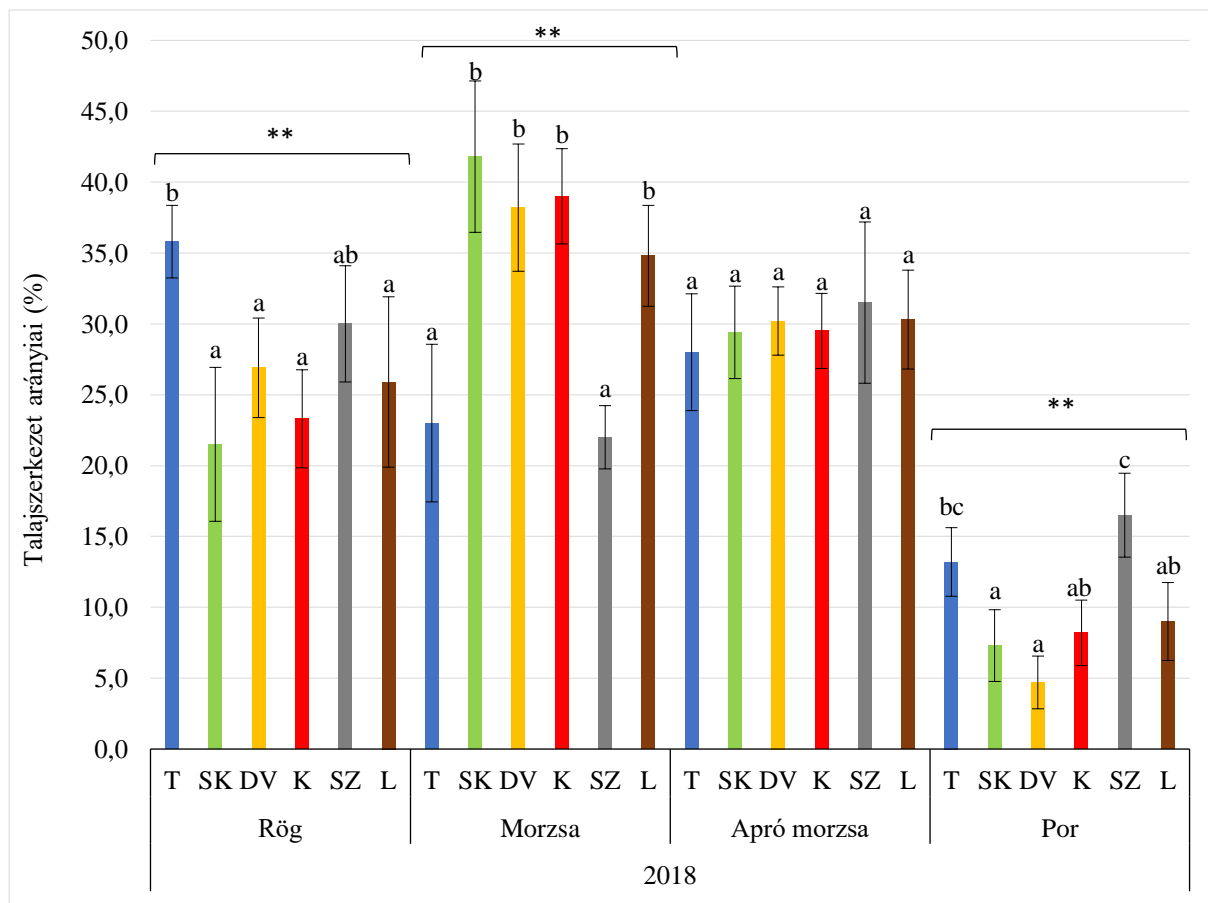
Oszlopok felett különböző betűk (a, b, c) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Az **őszi zab** idényében a legnagyobb, károsnak tekinthető **rögösödést** a tárcsázás (32,7%) és a szántás (30,4%) mutatta, amelyek már károsnak tekinthetők. Ugyanakkor a legalacsonyabb arányokat a sekély kultivátoros (17,0%) és a kultivátoros kezelés (18,6%) eredményezték. Ugyanúgy, mint 2016-ban, a kultivátoros (44,0%) kezelésben képződött a legtöbb **morzsa**. Ellenben a 2016-os évhez képest a direktvetésben (33,2%) drasztikus visszaesés (-9.17%) következett be. Ennek oka vélhetően az előző évi csapadék tömörítő hatása, valamint a nedves talajon végzett zabvetés. Az ülepedés a direktvetés talajon is bekövetkezett a 2016-ban termesztett kukorica széles sorközeiben. Statisztikailag igazolható különbséggel ($p < 0,05$) a tárcsás kezelésben alakult a legalacsonyabb morzsa arány (26,7%). Az **apró morzsa** frakció arányaiban nem tudtam statisztikailag igazolható különbséget kimutatni a kezelések között. A legalacsonyabb értéket a lazításos kezelésben (27,8%) mértük, míg a legnagyobbat (35,0%) – a fentebb írtakkal összhangban – a direktvetés kezelésben. A szántott talajban a 8,9% **por** frakció aránya magasabb volt a többi kezelésben mértnél. A tárcsás és a sekély kultivátoros kezelésben közel azonos (5,9-6,0) arányokat állapítottunk meg. A legkevesebb por a direktvetéses (3,7%) talajban keletkezett. Kezelésenként nézve, statisztikailag igazolható különbséget nem tudunk kimutatni a por és az aprómorzsa frakciók között, de a morzsa és a rög frakciók között igen. Vonatkozó cikkében **Bogunović et al. (2019)** arra hívta fel a figyelmet, hogy az alacsony felszín borítottság növeli a szélrózsiával szembeni sebezhetőséget. Esetünkben szélrózsiás kár nem, de időjárási jelenségek okán kialakult morzsa csökkenés bekövetkezhet.

A **24. ábrán** az agronómiai szerkezet arányainak eloszlását a józsefmajori kísérletben a 2018. évre vonatkozóan szemléltetem.

A **szója** évében (2018), a legkisebb mértékű **rögösödés** a sekély kultivátoros (21,5%), valamint a kultivátoros (23,3%) kezelésben alakult ki. A tárcsás kezelésben már második éve észlelhető, hogy 35,8%-kal a legmagasabb rögösödési arányt mutatja.

A morzsa arányban a sekély kultivátoros 41,8%-kal, a kultivátoros 39,0%-kal és a direktvetés 38,2%-kal szerepel, ellenben a szántás 22,0%-kal és a tárcsás kezelés 23,0%-kal sorrendben az utolsó két helyet foglalják el. Az aprómorzsa arányban nem tudunk kimutatni szignifikáns eltérést a kezelések között. A legalacsonyabb aprómorzsa arányt a tárcsás kezelésben (28,0%) mértünk, míg a legmagasabbat (31,5%) a szántott talajban. A port illetően 2018-ban először volt kimutatható szignifikáns különbség a kezelések között. A legkevesebb port a direktvetés kezelésben (4,7%) és a sekély kultivátoros kezelésben (7,3%) mértük, közöttük nem volt szignifikáns eltérés kimutatható.



24. ábra: Az agronómiai szerkezet átlagos arányai (%) (Józsefmajor, 2018)

Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

Megjegyzés: Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b, c) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

A korábban említett kezelésektől szignifikánsan eltért a tárcsázás és a szántás, 13,2% és 16,5% por aránnyal.

A három évet együttvéve, a művelési kezelések között statisztikailag igazolható különbség volt kimutatható ($p < 0,01$), a rög, a morzsa és a por frakció között (**M3. 14. táblázat**). A post hoc próba eredményeit a **M3. 14.1. táblázatban** összesítettem.

A legalacsonyabb rögösödés a sekély kultivátoros kezelésre (16,8%) volt jellemző, ezt követően a kultivátoros kezelésre (17,8%). A legmagasabb rög (31,1%) és a legalacsonyabb morzsa arányt (25,2%) a tárcsás kezelésben értük el. Továbbá a tárcsás és a szántás kezeléseknél 2016-ban alakult a legtöbb por, amelynek a következő évben a nagyobb rögösödés lett az eredménye. A legmagasabb morzsa arányt sekély kultivátoros kezelésben értük el (42,3%), míg a tárcsás (25,2%) és a szántás kezeléssel (25,4%) a legalacsonyabbat. A szántott talajban minden évben észleltük az apró morzsa és a por frakció nagyobb, és a morzsa frakció alacsonyabb arányát.

A három év átlagában a legnagyobb morzsa arány a sekély kultivátoros, a direktvetéses és a kultivátoros kezelésekben volt észlelhető. A direktvetéses talajban, 2017-ben tapasztaltunk nagyobb visszaesést (-9,2%) a 2016-os évhez képest, amikor 42,4% mértünk. A kezelések között az apró morzsa frakcióban a legkisebb ingadozás a lazításos kezelés (32,6%) és a szántás (35,9%) között volt megfigyelhető.

A por frakcióból a szántás 8,1%-kal többet tartalmazott, mint a direktvetés (4,1%). Ugyancsak kissé porosnak (10,2%) bizonyult a tárcsázott talaj. Ellenben a direktvetéses talajban a három év alatt <5% maradt a por aránya. Figyelmet érdemlő cikkükben **Baker et al. (2005)** 70% porcsökkenésről számoltak be direktvetéses kísérletükben.

Az agronómiai szerkezet négy tényezőjére vonatkozó összefüggés számítások eredményeit a **9. táblázat** mutatja.

9. táblázat: Korrelációs együtthatók a talaj agronómiai szerkezetét leíró mutatók, a különböző talajművelési kezelések esetén, józsefmajori kísérletben

Talajművelési mód		Rög	Morzsa	Apró morzsa	Por
Tárcsás	Rög	1	0,198	-,747**	-0,121
	Morzsa		1	-0,179	-,472*
	Apró morzsa			1	-0,352
	Por				1
Sekély kultivátoros	Rög	1	-0,245	-,808**	0,149
	Morzsa		1	-0,101	-,644**
	Apró morzsa			1	-0,310
	Por				1
Direktvetés	Rög	1	-,669**	-0,407	0,336
	Morzsa		1	-0,344	-0,236
	Apró morzsa			1	-,484*
	Por				1
Kultivátoros	Rög	1	-,491*	-,791**	0,056
	Morzsa		1	0,137	-,588**
	Apró morzsa			1	-0,271
	Por				1
Szántás	Rög	1	0,049	-,897**	-,582**
	Morzsa		1	-0,266	-,541*
	Apró morzsa			1	0,395
	Por				1
Lazításos	Rög	1	-0,328	-,911**	-0,415
	Morzsa		1	0,149	-0,415
	Apró morzsa			1	0,207
	Por				1

Megjegyzés: minden kezelésben $n=20$; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$

A hároméves átlagok alapján összefüggés volt kimutatható a frakciók között minden művelési kezelésben. A **tárcsás** kezelésben a rög és az apró morzsa között erős negatív összefüggést tapasztaltam ($r=-0,747$), amely statisztikailag igazolható különbséget is mutatott ($p<0,01$). Továbbá, a morzsa és a por között negatív, közepesen erős összefüggés volt kimutatható ($r=-0,472$), köztük statisztikailag igazolható különbséget ($p<0,05$) is tapasztaltunk. Ezek a jelenségek sajátosan jellemzik a tárcsa munkáját az adott idényekben. A **sekély kultivátoros** kezelésben nagyon erős, negatív ($r=-0,808$), összefüggést találtunk a rög és az apró morzsa között, valamint szoros összefüggést ($r=-0,644$) a morzsa és a por között. Mindkét esetben szignifikáns különbség ($p<0,01$) volt kimutatható. Ez a kezelés nagyobb morzsa és kevesebb por aránnyal jellemezhető, bár az évek csapadékossága módosító tényezőként jelentkezett. A **direktvetésben** erős negatív összefüggést tapasztaltunk a rög és a morzsa között ($r=-0,669$), statisztikailag kimutatható különbséggel ($p<0,01$). Negatív, közepes összefüggés volt megállapítható az apró morzsa és a por között ($r=-0,484$) statisztikailag igazolható ($p<0,05$) különbséggel. A **kultivátoros művelésben** negatív közepesen erős összefüggést ($r=-0,491$) tapasztaltunk a rög és a morzsa között, továbbá statisztikailag igazolható különbséget is kimutattunk ($p<0,05$). Ugyanakkor a rög és az aprómorzsa között ($r=-0,791$), valamint a morzsa és a por között erős negatív összefüggés ($r=-0,588$) volt megállapítható, továbbá statisztikailag igazolható különbség ($p<0,01$) is. A **szántás** rög arány együtthatója szignifikánsan eltért az apró morzsáétól ($p<0,01$). Nagyon erős negatív összefüggést tapasztaltunk a rög és az apró morzsa aránya ($r=-0,897$), továbbá erős összefüggést a rög és a por aránya között ($r=-0,582$). Ezen felül a morzsa és a por aránya között ugyancsak erős negatív összefüggés volt ($r=-0,541$), köztük szignifikáns eltérés is kimutatható volt ($p<0,05$). A **lazításos** kezelésben a rögösödési együttható szignifikánsan tért el az apró morzsáétól ($p<0,01$), valamint nagyon erős és negatív összefüggést tapasztaltunk az apró morzsa együtthatóval ($r=-0,911$).

Az agronómiai szerkezet frakciói, valamint a csapadék és szórása összefüggésszámítások eredményeit a **10. táblázat** mutatja.

Negatív, közepesen erős összefüggést észleltünk a rög és morzsa között ($r=-0,490$), valamint erős, negatív összefüggést az apró morzsával ($r=-0,680$) összevetve. Az együtthatók mindkét esetben szignifikánsan térnek el egymástól ($p<0,01$). A csapadékmennyiség és a rög aránya között negatív gyenge összefüggést tapasztaltunk ($r=-0,303$), az eltérés szignifikánsnak ($p<0,01$) bizonyult. Még gyengébb negatív ($r=-0,225$) összefüggés volt kimutatható a rög és a csapadékmennyiség szórása között. A csapadék eloszlása tehát kevésbé volt befolyással a rög

arányra, jóllehet a talaj, növény nélkül, érzékenyebb a nagyobb csapadék mennyiségre, ülepedik, majd szántáskor rögződik. Ezenfelül, negatív gyenge összefüggést tapasztaltam mindkét rétegben (0-5 cm, 5-10 cm), a rög és a talajnedvesség között, valamint az együtthatók között szignifikáns különbség volt ($p < 0,05$). A rög és a talajnedvesség között a 0-5 cm rétegben gyenge negatív ($r = -0,223$) összefüggést, míg az 5-10 cm között ugyancsak gyenge negatív ($r = -0,221$) összefüggés alakult. Ez megerősíti, hogy a szárazabb talajban nagyobb a rögök kialakulásának esélye. A morzsa és a por között negatív, közepesen erős összefüggést tapasztaltam ($r = -0,541$), valamint szignifikáns különbséget ($p < 0,01$) is.

10. táblázat: Korrelációs együtthatók a talaj agronómiai szerkezetét leíró mutatók, a csapadékmennyiség és annak szórása között és a talajnedvességre (Józsefmajor, 2016-2018)

	Rög	Morzsa	Apró morzsa	Por	Csapadék mennyiség (mm)	Csapadék mennyiség szórása (mm)	(0-5 cm) Talaj nedvesség (m/m%)	(5-10 cm) Talaj nedvesség (m/m%)
Rög	1	-,490**	-,680**	- 0,039	-,303**	-,225*	-,223*	-,221*
Morzsa		1	-0,117	- ,541**	0,106	0,110	,185*	0,104
Apró morzsa			1	- 0,001	,369**	0,048	,180*	0,150
Por				1	-0,122	,187*	-0,135	0,020
Csapadék mennyiség (mm)					1	0,087	0,045	0,072
Csapadék mennyiség szórása (mm)						1	0,132	0,053
Talajnedvesség (m/m%) (0-5 cm)							1	,871**
Talajnedvesség (m/m%) (5-10 cm)								1

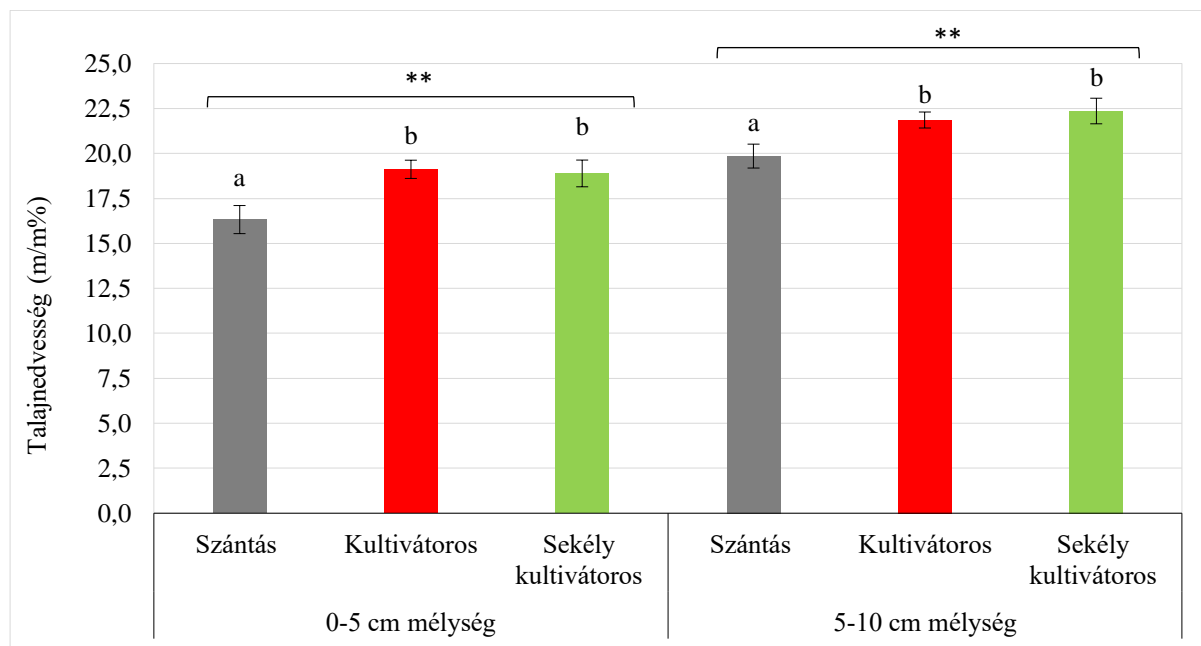
Megjegyzés: $n = 120$; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$

A morzsa és a talajnedvesség (0-5 cm) között pozitív gyenge összefüggés ($r = 0,185$) és szignifikáns különbség ($p < 0,05$) volt kimutatható. Még gyengébb pozitív ($r = 0,180$) összefüggés volt kimutatható az apró morzsa és a talajnedvesség között a 0-5 cm rétegben, valamint az eltérés szignifikánsnak ($p < 0,05$) bizonyult. Tehát, a talajnedvesség a 0-5 cm rétegben gyengén, de pozitívan hat a morzsa arányra. A csapadékmennyiség és az apró morzsa között, pozitív gyenge összefüggést tapasztaltam ($r = 0,369$), ezenfelül jelentős eltérést is köztük ($p < 0,01$). Gyenge, majdnem elhanyagolható, pozitív összefüggés volt kimutatható a

csapadékmennyiség szórása és a por kialakulása között ($r=-0,187$). A józsefmajori kísérletben nem tudunk kimutatni összefüggést a csapadékmennyiség és a szórása között, viszont nagyon erős pozitív összefüggés ($r=0,871$) volt kimutatható a talajnedvesség két rétege (0-5 cm; 5-10 cm) között, amelyek között az eltérés szignifikánsnak ($p<0,01$) bizonyult.

4.2.3. Talajnedvesség tartalom

A fentebb leírtak mellett további befolyásoló tényező a talaj agronómiai szerkezetére az eső-stressznek kitett felső (0-10 cm) réteg nedvessége, amely segíti vagy korlátozza a morzsásodás hajlamát.



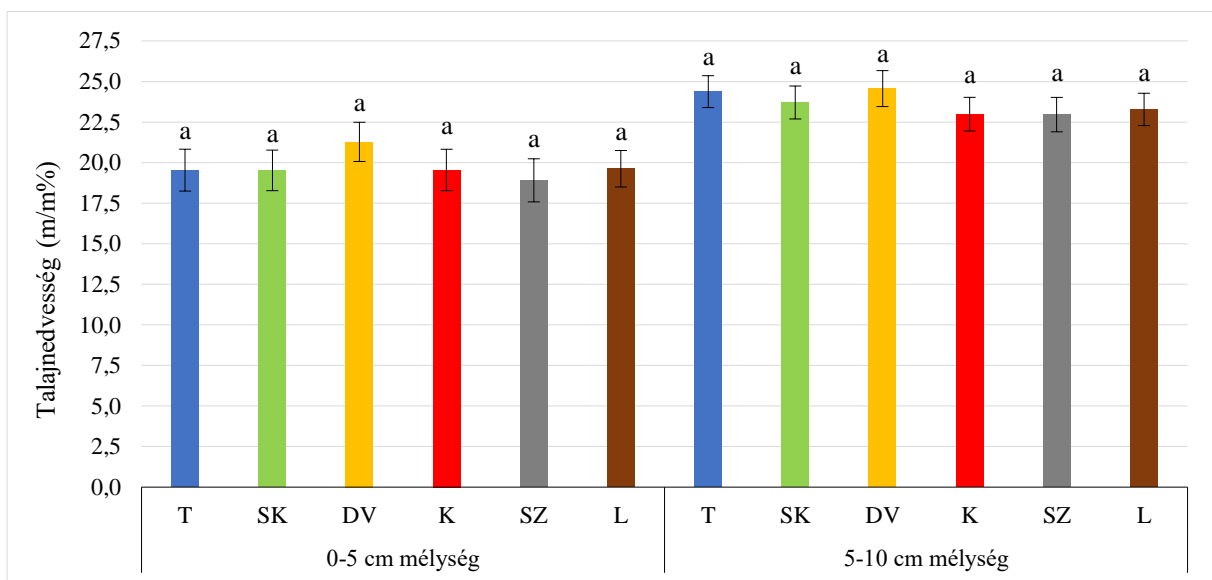
25. ábra: A talajnedvesség (m/m%) átlagok a lukácsi kísérletben

Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, $**p<0,01$

A 25. ábra mutatja a hároméves átlagos talajnedvességi adatokat a felszínközeli két rétegre (0-5 és 5-10 cm) vonatkozóan. A megfigyelések száma eltérő, a szántásnál $n=90$, a kultivátorosnál $n=90$, míg a sekély kultivátoros kezelés esetén $n=60$. Mindkét rétegben szignifikáns eltéréseket mutattunk ki ($p<0,01$, M3. 15. és 15.1. táblázat). A szántott talaj mindkét rétegében alacsonyabb volt a nedvességtartalom, jelentős eltéréssel a másik két kezeléstől. Az alacsonyabb nedvességtartalom alacsonyabb morzsa (34,1%), és többnyire nagyobb rög arányt (18,2%) eredményezett. A kultivátorokkal művelt talaj kedvezőbb nedvessége magasabb morzsa arány képződését (42,0%) tette lehetővé.

A legnagyobb különbséget a két réteg között, a gyorsabb száradásnak kitett szántásos kezelésben mértem (+3,52 m/m%). A talajvédő művelés kedvező hatásait a talajnedvességre és más tényezőkre hazai (Birkás et al., 2004; Birkás et al., 2015_a; Zsembeli et al., 2015) és nemzetközi szerzők (Bescansa et al. 2006; Morell et al., 2011; Wang et al., 2019) is kimutatták.

A talaj agronómiai szerkezetére további befolyásoló tényező az eső-stressznek kitett felső (0-10 cm) réteg nedvessége, amely segíti vagy korlátozza a morzsásodás hajlamát, de a rögösödést és elporosodást is.



26. ábra: A talajnedvesség alakulása 0-5 és 5-10 cm rétegben, (Józsefmajor, 2016-2018)

Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

Megjegyzés: T:21,5%, SK:31,6%, DV:66,5%, K:36,3%, SZ:0,6%, L:29,7% átlagos takarás arányai

A 26. ábra szemlélteti a hároméves átlagos talajnedvesség adatokat a felszínközeli két rétegre, 0-5 és 5-10 cm-re. A talajművelési kezelések között egyik rétegben sem sikerült szignifikáns eltérést kimutatni ($p < 0,05$). A legfelső, 0-5 cm réteg a szántott talajban volt a legalacsonyabb (18,9 m/m%), míg a direktvetésben a legmagasabb (21,3 m/m%). A tárcsás, a sekély kultivátoros, a kultivátoros és a lazításos kezelés között 0,1 m/m% nedvesség különbséget tapasztaltunk. Az 5-10 cm rétegben alacsonyabb nedvességet (23 m/m%) a kultivátoros, a szántásos és a lazításos kezeléseknél mértük, a legmagasabbat a direktvetésben (24,6 m/m%). Ebben a rétegben a mélyebben bolygatott talajokban (kultivátoros, szántás és lazításos) volt alacsonyabb a nedvesség, a sekélyebb bolygatottakban (tárcsás, sekély kultivátoros és direktvetés) pedig magasabb.

4.2.4. A felszínvédelem értékelése

A **11. táblázat** a kitétség megítélését segíti a talaj felszínének és állapotának értékelése alapján két vizsgálati termőhelyen.

A **11. táblázatban** közölt minősítések e fejezet elején megjelöltek szerint fogalmazódtak meg. A leírtakhoz további kiegészítés is szükséges. Az agronómiai szerkezeten belül a rög időlegesen (tenyészdőn kívül) van a felszínen, a vetésig kisebbitése szükséges.

11. táblázat: A talajfelszín minősítése a kitétség megítéléséhez két termőhelyen

Hely	Időszak/ Értékelés	Művelési kezelések					
		Szántás	Lazításos	Kultivátoros	Sekély kultivátoros	Tárcsás	Direktvetés
Lukács	Tarló	jól takart	-	jól takart	jól takart	-	jól takart
	Alap- művelés után	takaratlan, rögös	-	takart, egyenletes	takart, egyenletes	-	-
	Vetés után	takaratlan	-	közepesen takart	közepesen takart	-	takart*
	Minősítés	kitett	-	gyengén kitett	gyengén kitett	-	gyengén kitett
József- major	Tarló	védett	védett	védett	védett	védett	védett
	Alap- művelés után	takaratlan, rögös	mérsékelten rögös, takart	mérsékelten rögös, takart	kissé rögös, takart	poros, kissé takart	-
	Vetés után	takaratlan	közepesen takart	takart*	takart*	gyengén takart	takart*
	Minősítés	kitett	gyengén kitett	gyengén kitett	gyengén kitett	kitett	gyengén kitett

* adott kezelés felszíne megfelel a nemzetközileg elfogadott $\geq 30\%$ -os takarásnak vetés után.

A rög sérülékenynek mondható, mivel természeti tényezők (fagy, intenzív esők) és gazdálkodási tényezők (rögaprító eljárás(ok) hatására előnyös, de előnytelen irányba is változhat. A por erősen sérülékeny, mivel esők nyomán eliszapolódik, szél által elhordható, esőkkel pedig a legközelebbi tömör rétegig mosódik. Az aprómorzsa ugyancsak sérülékeny, mivel intenzív esők hatására eliszapolódik, a váltakozó hő- és hideg változásra, valamint mechanikai beavatkozásokra egy része porrá alakul. Morzsává egy részük csak kedvező biológiai háttér esetén alakul. A morzsa erős mechanikai vagy időjárási ráhatások révén sérül. Vagyis a frakciók közül viszonylag tartósnak mondható.

A felszín takarás a talaj védelme szempontjából kritikus időszakokban (aratás és vetés után a kellő növényborítás előtt), valamint alpművelést követően érdemel kiemelt figyelmet. Ekkor a nagyobb (>50%) takarás kívánatos a talaj védelme érdekében. Vetés után kérdés, teljesül-e a nemzetközi szakirodalomban megjelölt $\geq 30\%$ takarást biztosítani. A józsefmajori

kísérleteinkben ez az elvárás három kezeléssel (K, SK, DV) volt teljesíthető. Az aratás után kialakult 50-100% takarás tarlóművelés, majd alapművelés után az alkalmazott művelési eljárás szerint csökken. A 4.2.1 alfejezetben leírt talajfelszín takarási kategóriák (0-10, 11-25, 26-45, 46-70 és 71-100%) közül vetés után csak a harmadik kategória mondható kedvezőnek, annak is az átlaga (35%).

A lazult réteg mélysége – összefüggésben a talajellenállás értékeivel – a felszínre jutó csapadék talajba szivárgásának elősegítése vagy akadályozása révén kerül a kitétséget befolyásoló tényezők közé. A pangó víz ugyanis fokozza a felszín kitétségét. Esetünkben felszínen pangó víz nem fordult elő, de talpréteg fölötti pangást a szántott és a tárcsázott talajban esetenként észleltünk. A további négy kezelésben (L, K, SK, DV) vízpangás nem fokozta a felszín kitétségét.

4.3 A felszíntakarás, a morzsa arány és a földgiliszta egyedszám összefüggései

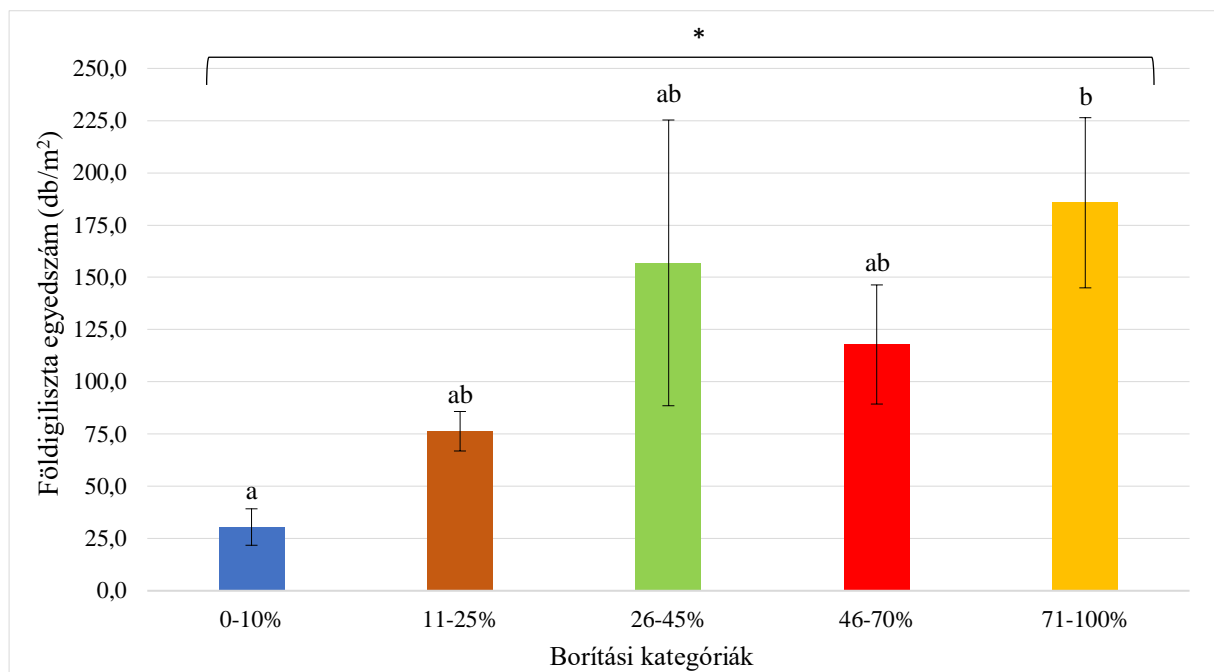
Mint korábban megállapítottuk, a felszíntakarás aránya elsősorban a növényfaj tarlómaradványainak tömegétől (olykor a minőségétől is) és a talajba juttatás módjától (keverés vagy forgatás) függ. A felszíntakarás, a morzsásodás, valamint a földgiliszta egyedszám kulcsfontosságú tényezők a talaj minőségi működésében. **Bronick és Lal (2005)** szerint a talajszerkezet befolyásolja a nedvesség mozgását, visszatartását, az erózió kitétséget, a kéregképződést, valamint a tápanyagok feltáródását, a gyökér mélybe hatolását és a termést. A földgiliszták kedvező hatásait a talaj aggregátumokra a biológiai és fizikokémiai változások révén **Brown et al. (2000)** bizonyították be.

Az összefüggés vizsgálatát segítő az apró morzsát és a morzsát együtt kezeltem. Az ANOVA és post hoc vizsgálatokból kitűnik, hogy a lukácsi kísérletben, a három év adatai alapján nincs kimutatható szignifikáns különbség, a földgiliszta egyedszám és a felszíntakarás aránya között, valamint az évenkénti eloszlásban sem. A három év átlagában, a korrelációs vizsgálat alapján, a morzsa és a földgiliszta egyedszám együtthatói között kimutatható a szignifikáns eltérés ($p < 0,05$), azonban az együtthatók nem korrelálnak. Évenkénti eloszlásban, 2016-ban a korrelációs érték közepes volt ($r = 0,548$), de alacsony megfigyelési száma miatt ($n = 10$), a korreláció nem mutatható ki. A Luvic Stagnosol [Siltic] talaj túl nedves és száraz állapotában is kedvezőtlen földgiliszta élőhely. Az előbbi esetben a talaj levegőtlen, s gyakran túl ülepedett, szárazságban pedig nehezen lazítható a giliszták által.

Az átlagos földigiliszta egyedszámáról eltérő borítási kategóriák esetén a józsefmajori kísérletben a három évet együttvéve a **27. ábra** ad tájékoztatást.

Az ANOVA statisztikai vizsgálatok eredményeit a józsefmajori adatokra vonatkozóan az **M3. 16. táblázat** az elvégzett post hoc próbák eredményeit a **M3. 16.1. táblázat** mutatja.

A borítási kategóriákban a hat kezelés között, a legalacsonyabb arány (0-10%) kizárólag a szántott talajon fordult elő, míg a legmagasabb csak a direktvetés kezelésben. A három közepes borítási arányhoz több kezelés (tárcsás, sekélykultivátoros, direktvetés, kultivátoros és lazításos) tartozik. A növényi maradványok mennyisége, így a takarás is évente változott.



27. ábra: Az átlagos földigiliszta egyedszám az eltérő borítási kategóriák tekintetében (Józsefmajor, 2016-2018),

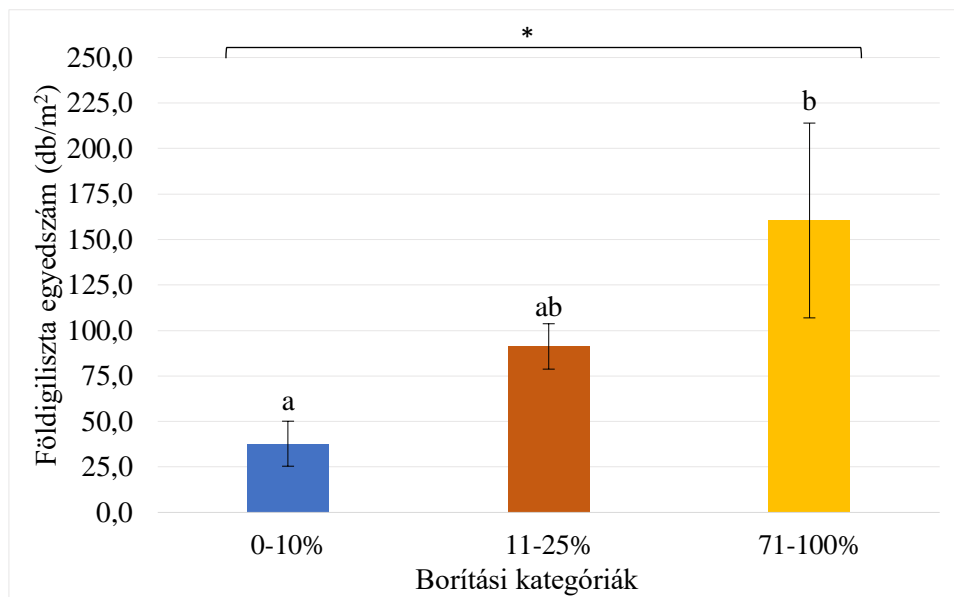
Megjegyzés: $n(0-10\%)=24$; $n(11-25\%)=58$; $n(26-45\%)=30$; $n(46-70\%)=15$; $n(71-100\%)=17$,

Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, $*p < 0,05$

A három év átlagai alapján megfigyelhető, hogy a 0-10%-os kategória eredményezte a legalacsonyabb földigiliszta egyedszámot ($30,5 \pm 8,7$ db/m²), míg a 71-100%-os kategória a legmagasabbat ($185,7 \pm 40,7$ db/m²). E két kategória között szignifikáns különbség volt kimutatható ($p < 0,05$) a földigiliszta számban. A 11-25%-os kategóriában $76,3 \pm 9,5$ db/m² földigilisztát számláltunk, a 26-45%-os kategóriában $156,9 \pm 68,4$ db/m²-t, és a 46-70%-os kategóriában $117,9 \pm 28,5$ db/m²-t. Továbbá látható, hogy a három kategóriában a földigiliszta egyedszám nem emelkedett lineárisan, mint ahogyan a borítási szintek. A legnagyobb szórást a 26-45%-os borításnál mért egyedszámban állapítottuk meg.

A **28. ábra** a földigiliszta egyedszám alakulását mutatja eltérő borítási kategóriáknál, 2017-ben Józsefmajorban.

Statisztikai vizsgálatokat éves bontásban is végeztem, amelyben jelentős eltérést tudtam kimutatni a 2017. évben.

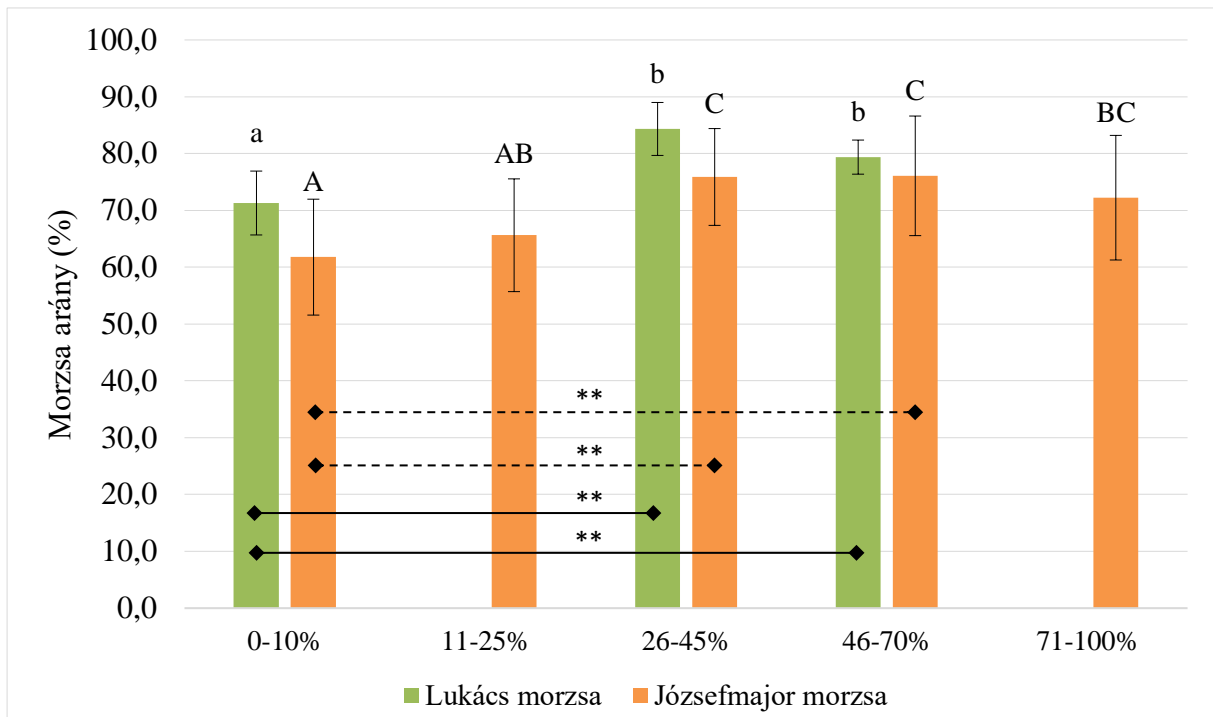


28. ábra: A földigiliszta egyedszám eltérő borítási kategóriák esetén (Józsefmajor, 2017)

Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, * $p < 0,05$

Az őszi zab vetése előtt, kukoricatarlón a borítási kategóriák háromra csökkentek, amely megmaradt az őszi zab vetése után is. A legalacsonyabb (0-10%) kategória a szántást jellemzi, míg a legmagasabb (71-100%) a direktvetést. A földigiliszta egyedszám (db/m²) lineárisan növekedett a borítási aránnyal. 2017-ben a 0-10%-os kategória átlagosan $37,8 \pm 12,4$ db/m² földigiliszta egyedszámot eredményezett, míg a 71-100%-os a legmagasabbat, átlagosan $160,4 \pm 53,5$ db/m²-t, amelyek között jelentős eltérés is kimutatható ($p < 0,05$) volt. Az eredményekről az **M3. 17.** és **M3. 17.1.** táblázatok tájékoztatnak. A 11-25% közötti borításnál összesen $91,2 \pm 12,5$ db/m² földigiliszta egyedszámot mértünk.

A **29. ábra** a morzsa arányát mutatja az eltérő borítási kategóriáknál. A statisztikai vizsgálatokat alapján jelentős eltérést tudtam kimutatni mindkét termőhelyen ($p < 0,01$) (**M3. 18. és 18.1. táblázat**). Ezenfelül a legrosszabb eredmények a legalacsonyabb borítási kategóriában (0-10%) alakultak, lukácsi talajon 71,3%, míg Józsefmajor 61,8 % volt. A legnagyobb morzsa arányt Lukácson (84,3%), a 26-45% borítási kategóriában mértük, míg Józsefmajorban (76,1%) a 46-70% borítási kategóriában mértük.



29. ábra: A két termőhely morzsa arányai eltérő borítási kategóriáknál, a három év átlagában
 Megjegyzés: Az oszlopok felett, a különböző kis betűk Lukács adataira (a, b) jelzik a szignifikáns különbséget, a nagy betűk (A, B, C) a józsefmajori adatokra, (** $p < 0,01$)

Ugyanakkor egyik termőhelyen sem tudtam kimutatni szignifikáns különbséget, a 26-45% és 46-70% borítási kategóriák között. A morzsa arány nem növekedett lineárisan a borítási kategóriákkal, mivel a borítási kategóriák több művelési kezeléssel állnak (vö. az 19. és 20. ábrával).

12. táblázat: A két termőhely korrelációs együtthatói a morzsa arány és a földigiliszta egyedszám között három év átlagában

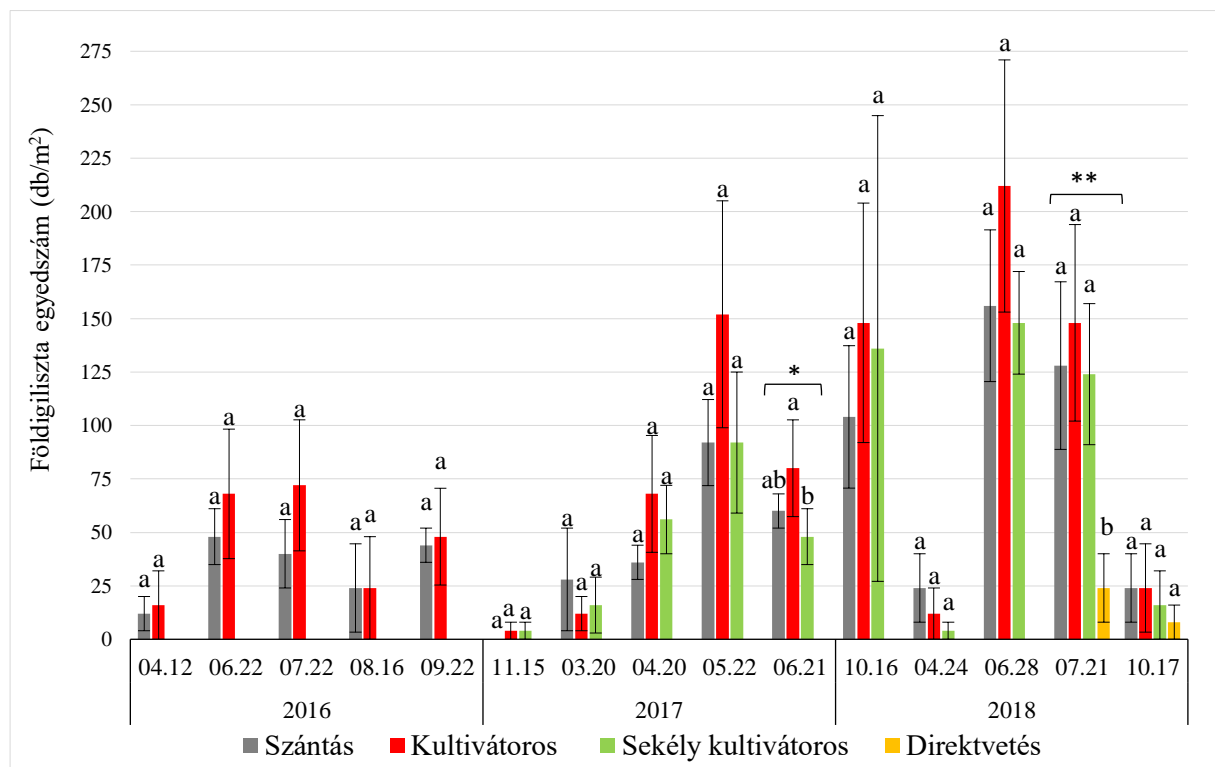
Ország	Morzsa (%)	Földigiliszta egyedszám (db/m ²)
Lukács	Morzsa (%)	1
	Földigiliszta egyedszám (db/m ²)	,328*
Józsefmajor	Morzsa (%)	1
	Földigiliszta egyedszám (db/m ²)	,179*

Megjegyzés: ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$ - a korreláció szignifikáns – kétirányú

A hároméves átlagok alapján mindkét termőhelyen pozitív összefüggés és szignifikáns eltérés ($p < 0,05$) volt kimutatható (12. táblázat). Lukácson a morzsa arány (%) és a földigiliszta egyedszám (db/m²) között gyenge összefüggést ($r = 0,328$) tapasztaltam, míg Józsefmajorban nagyon gyenge ($r = 0,179$) összefüggést tudtam kimutatni. Eszerint a két irányú összefüggés alapján, a földigiliszta egyedszám növekedése pozitív hatással van a morzsa arányra és fordítva.

A földigiliszta populációk időbeli dinamikája az éghajlati és a talaj körülményekhez, a gazdálkodáshoz és a növényi maradványok jelenlétéhez kapcsolható. Chan (2001) szerint a földigiliszta egyedszám több emberi tényezőtől függ, mint például a talajművelés mélysége, intenzitása és ideje, míg a környezeti tényezők közül a talaj nedvességtartalma, az időjárási viszonyok a talajművelés során, a talaj típusa és a textúrája játszik szerepet.

Horvátországban Luvic Stagnosol [Siltic], talajon három éven keresztül, összesen 15 alkalommal vizsgáltam a talajművelés hatását a földigiliszták mennyiségére és ennek időbeli dinamikáját (30. ábra).



30. ábra: A földigiliszta egyedszám Lukácson a 2016., 2017. és 2018. évben

Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

2016-ban, a szántáshoz képest a kultivátoros kezelésben volt több földigiliszta, de közöttük nem volt jelentős különbség ($p < 0,05$, 30. ábra). Időbeli eloszlásban a legnagyobb földigiliszta egyedszámot kultivátoros kezelésben (72 ± 31 db/m²) július 22-én számláltunk, míg a szántásban június 22-én (48 ± 13 db/m²). Vagyis a kultivátorral művelt talajban hosszabb időn keresztül maradt fenn a kedvezőbb élőhely a földigiliszták számára, mint a szántottban. Sauvadet et al. (2016) arra hívta fel a figyelmet, hogy a talaj biota populáció méretét és aktivitását – különösen a földigilisztákét – befolyásolja a növényi maradványok bevitel, mivel jelentősen megváltoztathatja az edafikus élőhelyet és a rendelkezésre álló élelmszer forrást.

Bogužas et al. (2010) sekély kultivátoros művelésben 51%-kal több földigilisztát találtak a szántáshoz képest. Esetünkben szántásban, a nyári hónapok során (június, július és augusztus), a földigiliszta egyedszám lecsökkent. Ugyanakkor az augusztusi mérésnél, a szántás és a kultivátoros kezelés között az egyedszámok kiegyenlítődték (24 db/m^2). **Eriksen-Hamel és Whalen (2006)** szerint az abiotikus tényezők, mint a hőmérséklet és a talaj nedvességtartalma, nagyban szabályozzák a földigiliszta populáció dinamikáját. **Johnston et al. (2014)** úgy találták, hogy a földigiliszták az $5 \text{ }^\circ\text{C}$ alatti és a $20\text{-}25 \text{ }^\circ\text{C}$ feletti hőmérsékleten nyugalmi állapotba vonulnak. Esetünkben az augusztusi adatokhoz képest szeptemberben a szántásban $44\pm 8 \text{ db/m}^2$, míg kultivátoros kezelésben $48\pm 23 \text{ db/m}^2$ földigilisztát számláltam. A növekedés az élőhely minőségi javulásának, vagyis a hőmérséklet csökkenésének, valamint az időközben lehullott $90,3 \text{ mm}$ csapadéknak tudható be.

A szeptemberi kedvező populációhoz képest a novemberi méréskor nagyon alacsony földigiliszta egyedszámot számláltunk ($4\pm 4 \text{ db/m}^2$), a szántásban egyáltalán nem, amely a talajbolygatás hatásainak tulajdonítható. Több szerző (**Bengtsson et al., 2005; De Oliveira et al., 2012; Doran és Zeiss, 2000**) hasonló eredményekről számolt be. **De Oliveira et al. (2012)** a szántott és intenzíven művelt talajban ugyancsak nagyobb földigiliszta egyedszám csökkenést észleltek.

2017-ben Lukácson három talajművelési kezelést kiemelten vizsgáltunk a szántás és a kultivátoros mellett, a sekély kultivátoros művelést. Kora tavasszal, **március 20-án**, a legnagyobb földigiliszta egyedszámot ($28\pm 24 \text{ db/m}^2$) a szántott talajban találtunk, amelyet a sekély kultivátoros kezelés követett $16\pm 13 \text{ db/m}^2$, a legalacsonyabb pedig a kultivátoros művelésben volt ($12\pm 8 \text{ db/m}^2$). A szántott talajban a nagyobb földigiliszta populáció vélhetően a takaratlan felszínnek tulajdonítható, amely a tavasszal gyorsabban melegszik. Ettől eltérően a talajtakarás pozitív hatásait, a bejövő napenergia abszorpciója révén **Mulumba és Lal (2008)** tapasztalták. **Nawaz et al. (2017)** takaratlan talajon $1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal nagyobb talajhőmérsékletet mért, mint a takart talajon. Esetünkben, májusban tapasztaltunk magas földigiliszta egyedszámot. A kultivátorral művelt talajban $152\pm 53 \text{ db/m}^2$, a szántottban $92\pm 20 \text{ db/m}^2$, a sekély kultivátorosban $92\pm 33 \text{ db/m}^2$ földigilisztát számláltunk. Júniusban, a melegebb időszak érkezésével mindhárom kezelésben csökkent a földigiliszta populáció, vagyis a kultivátoros művelésben $-47,4\%$ -kal, a szántásban $-34,8\%$ -kal és a sekély kultivátoros művelésben $-47,8\%$ -kal. A csökkenés nagyobb eltérést eredményezett, így a kultivátoros és sekély kultivátoros művelés között szignifikáns különbség volt kimutatható ($p < 0,05$). Az eredményekről az **M3. 19. és M3. 19.1. táblázatok** tájékoztatnak.

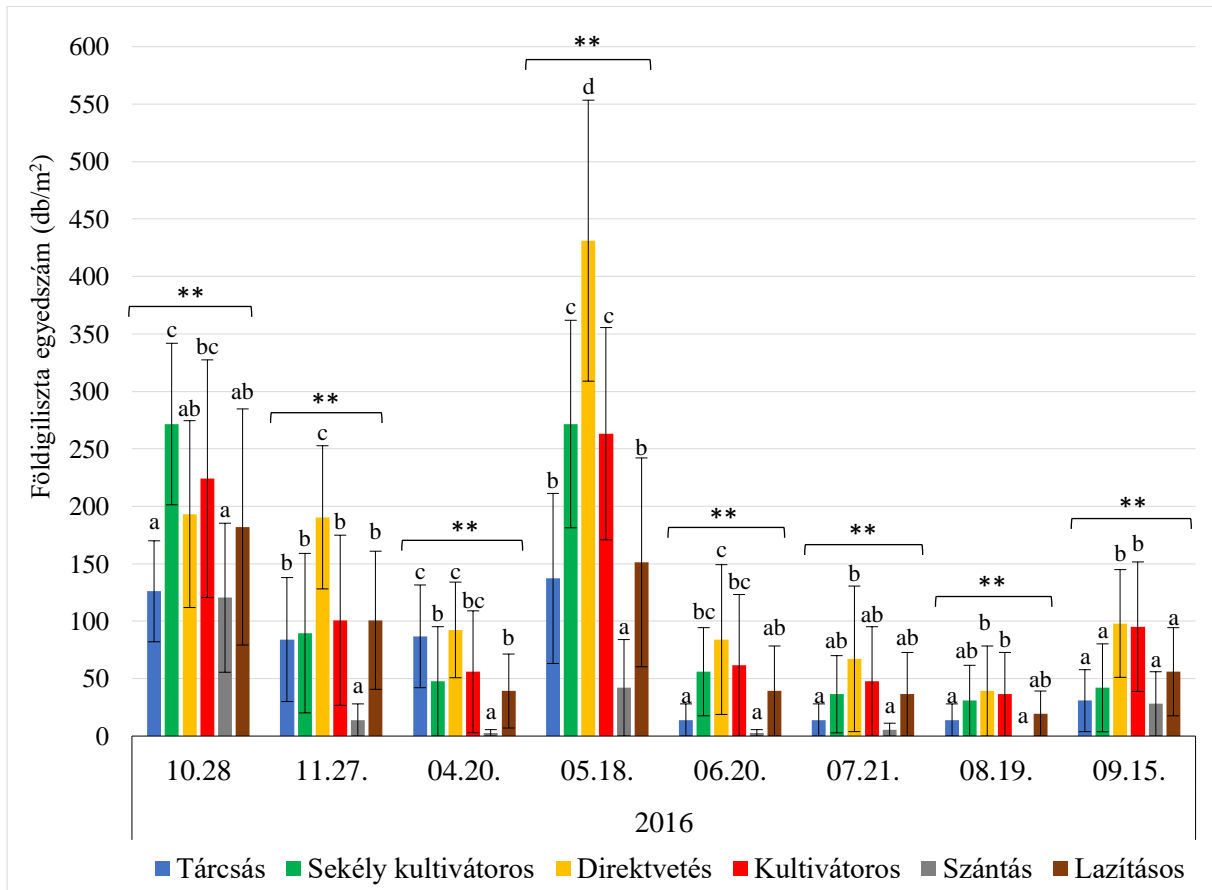
Ugyanúgy, mint 2016 szeptemberében, 2017 októberében mindhárom kezelésben növekvő tendenciát észleltünk a júniusihoz képest. Az októberi mérést őszi zab tarlójában a talajművelések előtt végeztük. A magas őszi zab terméshozam mellett a jó takarást adó szalma kedvező hatással volt a talaj megújulására és a földigilisztákra is (**30. ábra**). **Kalmár (2016)** ugyancsak rámutatott a folyamatos gilisztaszám növekedésre a takart felszínnek köszönhetően kedvezően nyirkos talajban.

A **2017. októberi** eredményekhez képest **2018 áprilisában** drasztikus csökkenést észleltünk a földigilisztá populációban, vagyis a kultivátoros művelésben $-91,9\%$ (12 ± 12 db/m²), a szántásban $-76,9\%$ (24 ± 16 db/m²), és a sekély kultivátoros művelésben $-97,0\%$ (4 ± 4 db/m²). A szántott talajban a földigilisztá egyedszám (24 ± 16 db/m²) a talaj felső rétege gyorsabb felmelegedésének tulajdonítható. A legmagasabb földigilisztá egyedszámot, a három év alatt, 2018 júniusában találtam. A kultivátoros kezelés 212 ± 59 db/m², a szántás 156 ± 35 db/m², míg a sekély kultivátoros kezelés 148 ± 24 db/m² földigilisztá egyedszámot eredményezett. A kedvező változás a két mérés közötti $148,8$ mm csapadéknak és a szója jó fejlettségi állapotának köszönhető. A **júliusi mérés** során a kísérlet melletti búzatarlóba, talajművelés nélkül elvetettük a szóját, így az utolsó két mérést négy kezelésben végeztem Lukácson. Az eltérő edafikus háttérnek betudhatóan a júliusi mérésben kimutatható volt a szignifikáns különbség ($p < 0,01$), amelyet a **M3. 20. és M3. 20.1. táblázatok** mutatnak. A kultivátoros kezelésben 148 ± 46 db/m², a szántásban 128 ± 39 db/m², a sekély kultivátoros kezelésben 124 ± 33 db/m², míg a direktvetésben csak 24 ± 16 db/m² egyedszámot számláltunk. Az utolsó méréskor drasztikus csökkenést észleltünk mind a négy kezelésben. A szántásban 24 ± 16 db/m², a kultivátoros művelésben 24 ± 21 db/m², a sekély kultivátoros művelésben 16 ± 16 db/m², míg a direktvetésben 8 ± 8 db/m² földigilisztá egyedszámot számláltunk.

Végző soron Luvic Stagnosol [Siltic] talajon a földigilisztá populációra, a kultivátoros kezelés 11 alkalommal kedvezőbb edafikus körülményeket nyújtott, mint a szántott. Bár a két kora tavaszi időpontban a szántás vagy jobbnak bizonyult vagy két mérésben az értékek között nem volt különbség. Időbeli eloszlás szempontjából a legnagyobb földigilisztá populációt 2016 júniusában, 2017 májusában és 2018 júniusában tapasztaltam Lukács térségi Luvic Stagnosol [Siltic] talajon.

A **31. ábrán** szemléltetem a földigilisztá egyedszám (db/m²) eloszlását a józsefmajori kísérletben, a 2016. évre és hat kezelésre vonatkozóan. A statisztikai elemzések eredményeiről az **M3. 21. és M3. 21.1. táblázatok** adnak tájékoztatást.

A kukorica előveteménye őszi búza volt, aratás után a talaj felszíne közel teljesen takartnak bizonyult. Ennek is betudhatóan **októberben** jelentős számban voltak jelen a földigiliszták. A legalacsonyabb földigilisztá egyedszámot a szántásban kaptam ($120,4 \pm 64,9$ db/m²), míg a legmagasabbat a sekély kultivátoros kezelésben ($271,6 \pm 70,3$ db/m²). Az októberi földigilisztá sűrűséghez képest, **novemberben** jóval alacsonyabb számban jelentek meg a földigiliszták. A legkisebb csökkenést (1,4%-ot) a direktvetés kezelésben észleltük, míg a legnagyobbat (88,3%-ot) a szántott talajban.



31. ábra: A földigilisztá egyedszám eltérően művelt talajban (Józsefmajor, 2016)

Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b, c, d) szignifikáns különbséget jeleznek, $**p < 0,01$

Az egyedszám csökkenés a hidegebb talajnak, s a földigiliszták nyugalmi állapotba való vonulásának tulajdonítható. A földigiliszták nagyon érzékenyek az abiotikus tényezőkre. **Johnson-Maynard et al. (2007)** kiemelte az időjárást és azon belül szárazságot, mint a földigilisztá aktivitást csökkentő tényezőt. Esetünkben, **áprilisban** a tárcsás kezelésen kívül minden kezelésben továbbra is csökkenést észleltünk. Az októberi mérés óta a legnagyobb negatív tendenciát a sekély kultivátoros művelésben tapasztaltunk. A földigiliszták számára a kukoricában – időbeli eloszlás szempontjából –, **májusban** észleltük a legkedvezőbb edafikus-

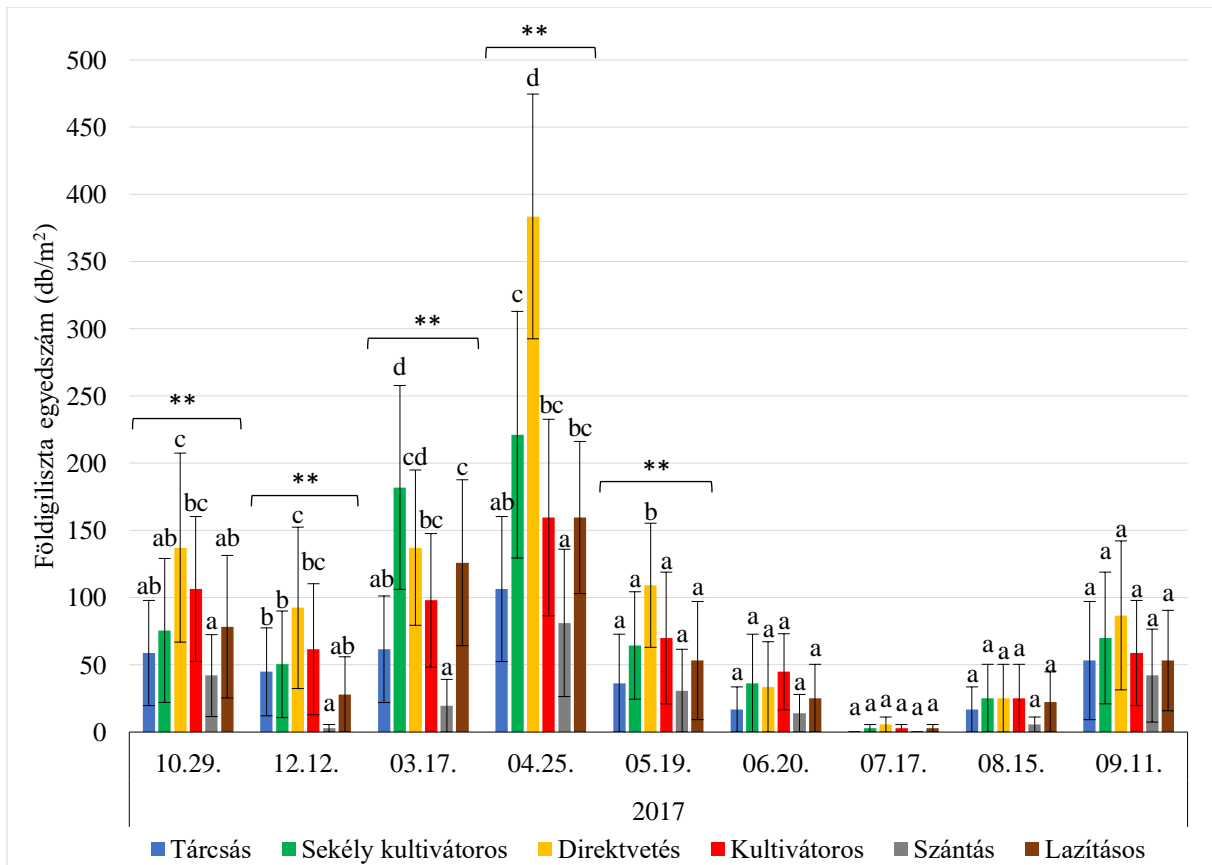
és klímakörülményeket és ebben a hónapban számláltuk a legtöbb földigilisztát. A legalacsonyabb egyedszám sűrűséget (42 ± 42 db/m²) a szántásban kaptunk, míg a legnagyobbat a direktvetésben ($431,2 \pm 122,3$ db/m²). **Wardle (1995)** áttekintő cikkében hasonló eredményeket közölt. A korábbi tanulmányok túlnyomó része azt mutatja, hogy a földigiliszták nagyobb számban és több biomassza esetén fordultak elő a direktvetésben, mint a hagyományos művelésben. Esetünkben a tárcsás és a lazításos kezelés, valamint a sekély kultivátoros és a kultivátoros kezelés között nem volt statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,05$), de a két adatpár között kimutatható a különbség ($p < 0,01$).

A szárazabb és melegebb időszak érkezésével (**június, július és augusztus**), a direktvetés és a kultivátoros kezelés nyújtotta a kedvezőbb élőhelyet a földigiliszták számára, ezáltal ott mértük a legnagyobb egyedszámot. A szántott talajban nem volt földigiliszta az augusztusi mérés során. Ehhez kapcsolódóan **Whalen et al. (1998)** rámutatott arra, hogy a földigiliszta egyedszámot és biomasszát elsősorban a talajhőmérséklet-, és nedvesség befolyásolja, valamint az, hogy a megművelt talaj mennyire melegebb és szárazabb a műveletlen talajhoz képest. Esetünkben, **szeptemberben**, minden kezelésben egyedszám növekedést észleltünk. Ausztráliában, a kelbimbó termesztéskor, **Smeaton et al. (2003)** úgy találták, hogy a földigiliszta állományt a talajművelés pusztította ($13-15$ db/m²), de a nyári öntözés segítségével javult talajban magas (578 db/m²) egyedszám alakult.

A **32. ábrán** szemléltetem a földigiliszta egyedszám (db/m²) eloszlását a józsefmajori kísérletben, a 2017. évre vonatkozóan. A statisztikai elemzések eredményekről az **M3. 22.** és **M3. 22.1. táblázatok** adnak tájékoztatást.

A földigiliszta egyedszámában a szeptembertől kezdődő pozitív tendencia októberben is tartott. **Decemberben** már alacsonyabb számban voltak jelen, ekkor a direktvetés ($92,4 \pm 60$ db/m²) és a kultivátoros kezelés ($61,6 \pm 48,7$ db/m²) bizonyult a földigiliszták legkedvezőbb élőhelyének, míg a szántás ($2,8 \pm 2,8$ db/m²) és a lazításos kezelés (28 ± 28 db/m²) a legrosszabbnak. A tárcsás és a sekély kultivátoros kezelések között nem volt kimutatható jelentős különbség. Az őszi zab állományban **tavasszal** a földigiliszta egyedszám újra növekedett. **Márciusban** a legtöbb földigilisztát ($182 \pm 75,8$ db/m²) a sekély kultivátoros kezelésben, és a direktvetésben ($137,2 \pm 57,8$ db/m²) találtuk. A 2016 **áprilisi** méréshez képest, 2017 márciusában, a tárcsás kezelésen kívül, a többi kezelésben jelentős növekedés volt tapasztalható. A tavaszi hónapokban észlelt különbség a változékony időjárásnak, valamint a termesztett növény által eredményezett eltérő élőhelyi körülményeknek tulajdonítható. Míg a kukorica idényben a legmagasabb földigiliszta egyedszám sűrűséget **májusban** számláltuk,

addig az őszi zabban áprilisban. A legmagasabb egyedszámot a direktvetésben észleltük ($383,6 \pm 91$ db/m²), másodikként a sekély kultivátoros kezelésben ($221,2 \pm 91,8$ db/m²). A kultivátoros ($159,6 \pm 73,1$ db/m²) és a lazításos kezelésekben ($159,6 \pm 56,6$ db/m²) közel azonos egyedszám volt számlálható. Hasonló eredményeket kaptak **Pelosi et al. (2014)** is, egyik kísérletükben 1,77-szor nagyobb földigilisztá sűrűséget észleltek a direktvetésben, mint a kultivátoros kezelésben, valamint 1,97-szor többet a szántásban.



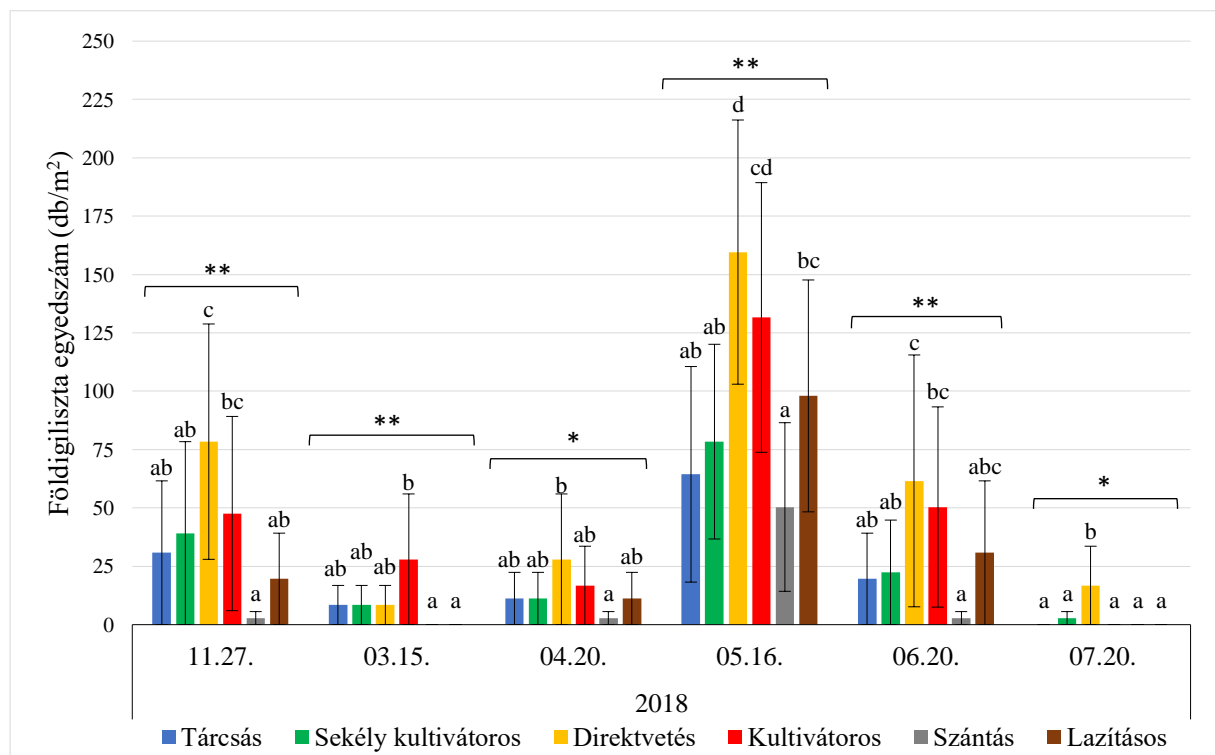
32. ábra: A földigilisztá egyedszám eltérően művelt talajban (Józsefmajor, 2017)

Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b, c, d) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Ugyanakkor **Crittenden et al. (2014)**, mint rövid tanulmányban írták, a fent említettek ellenkezőjét tapasztalták. A hagyományos művelésben, 2011-ben, az őszi szántásban 512 db/m² földigilisztát találtak, a forgatás nélküli művelésben pedig 20%-kal kevesebbet. Ugyanakkor a szántásban 5 nap után 66%-kal, 2 hét után pedig további 74%-kal csökkent az egyedszám, míg a forgatás nélküli művelésben az egyedszám nem változott az idő múlásával. Esetünkben a szántott talajban ($81,2 \pm 54,8$ db/m²) és a tárcsázottban ($106,4 \pm 53,9$ db/m²) számláltuk a legalacsonyabb földigilisztá egyedszámot, azonban ezek az áprilisi értékek a nagyobbak voltak a többi mérési időponthoz képest. **Májustól** az összes kezelésben alacsony volt az egyedszám,

továbbá júliusban a tárcsázott és a szántott talajban egyáltalán nem fordultak elő. Ugyanakkor **szeptemberben** – a kissé jobb nedvességviszonyoknak is betudhatóan – már nagyobb számú egyed volt található. Az augusztusi méréssel azonos egyedszámot mutatott a direktvetés, a sekély kultivátoros és a kultivátoros kezelés (25,2 db/m²), s szeptemberig a három közül a direktvetésben (344,4%-ot) észleltünk nagyobb egyedszám növekedést. Ekkor a szántás mutatta a legalacsonyabb egyedszámot (42±34,6 db/m²), azonban az augusztusi adatokhoz képest a legnagyobb (750%-os) növekedés is ebben a kezelésben volt kimutatható. Esetünkben a talajnedvesség a szántás kezelésben 25,2 m/m% volt, míg a többi kezelésben 24,0-28,0 m/m% között alakult. **Whalen és Parmelee (1999)** kimutatták, hogy a *Lumbricus terrestris* faj növekedési üteme a legmagasabb, amikor a talajhőmérséklet 10 °C fölött, valamint a talajnedvesség pedig 20 m/m% fölött van.

A **33. ábra** földigiliszta egyedszám (db/m²) eloszlását mutatja a józsefmajori kísérletben, 2018-ban.



33. ábra: A földigiliszta egyedszám populációja Józsefmajorban, 2018-ban

Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b, c, d) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

A statisztikai elemzések eredményeiről az **M3. 23.** és **M3. 23.1. táblázatok** tájékoztatnak. A **novemberi mérés**kor a szántott talajban volt a legalacsonyabb földigiliszta egyedszám (2,8±2,8 db/m²), továbbá a lazításos kezelésben is relatíve alacsonynak (19,6±19,6 db/m²)

bizonyult a többihez képest. Ebben a két kezelésben **márciusban** nem találtunk földigilisztát. **Roger-Estrade et al., (2010)** arra hívták fel a figyelmet, hogy a művelés a talajréteg mozdításával közvetlenül okozhatja a földigiliszták sérülését vagy pusztulását. Ezt **Johnston et al. (2015)** eredményei is alátámasztják. Mélyen felszántott talajban alacsony földigilisztá egyedszámot figyeltek meg. Esetünkben márciusban a kultivátoros kezelésben találtuk a legnagyobb földigilisztá egyedszámot (28 ± 28 db/m²), míg a többi méréskor a direktvetéses talajban. **Áprilisban** már több egyed volt számlálható a lazításos kezelésben, mint a szántásban. Hasonlóan 2016 májusához, a szója idényben is, **májusban** észleltük a legnagyobb földigilisztá egyedszámot. Ekkor a direktvetésben találtuk a legtöbb földigilisztát ($159,6 \pm 56,6$ db/m²), és a szántott talajban a legkevesebbet ($50,4 \pm 36,1$ db/m²). Hasonló eredményeket publikáltak e két kezelésre vonatkozóan **Kladivko et al. (1997)**. A kukorica-szója vetésváltásban, a 14 hely közül, nyolcban a direktvetésben nagyobb földigilisztá populációt mérték, mint a hagyományos művelésben, négy helyen közel ugyanannyit, míg csak két helyen a direktvetésben alacsonyabbat. Esetünkben a **májusi és júniusi** méréskor a kezelések között azonos sorrend alakult ki (csökkenő egyedszám): direktvetés > kultivátoros > lazításos > sekély kultivátoros > tárcsás > szántás. Ezen felül a júniusi méréskor alacsonyabb egyedszám volt a májusihoz képest. A **júliusi** méréskor a sekély kultivátorral művelt talajban $2,8 \pm 2,8$ db/m² földigilisztát találtunk, a direktvetésesben $16,8 \pm 16,8$ db/m²-t, míg a többi kezelésben egyet sem. A **33. ábrán** nem szerepel az **augusztusi** mérés, mivel abban az időpontban egy kezelésben sem volt fellelhető földigilisztá.

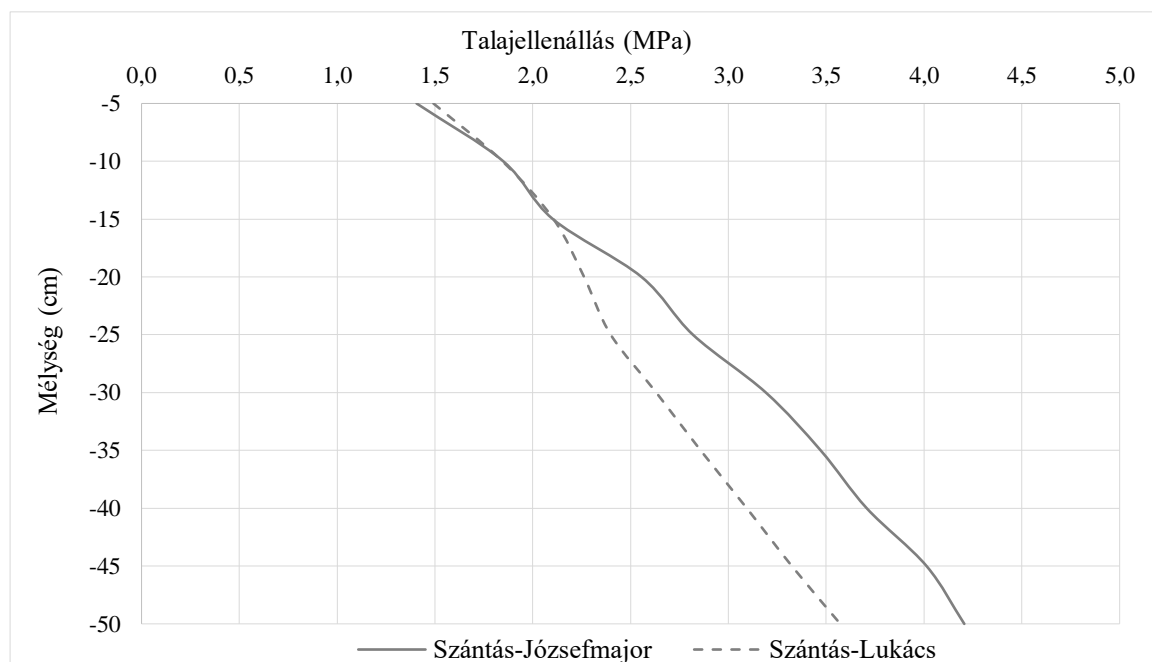
Összességében, mindhárom évben nyáron – a nagyobb hőmérsékletnek és a szárazabb talajnak betudhatóan – volt mérhető a legalacsonyabb földigilisztá egyedszám, míg a legmagasabb – kedvezőbb élőhelyi viszonyok esetén –, 2016 és 2018 májusában, valamint 2017 áprilisában. A 2017 áprilisi magas egyedszám feltételezhetően a kedvezőbb edafikus körülményeknek, valamint a 40 mm csapadéknak tudható be. Ezen túl, a 2015. nyári aratás után, a búza szalmatakaró védő hatásának köszönhetően minden kezelésben növekedett a földigilisztá egyedszám. A késő őszi mérési időpontokban a földigilisztá egyedszámot a művelésen kívül az időjárás hűvösre fordulása is csökkentette. A kezelések közül a direktvetéses talaj a legjobb élőhelynek minősíthető az átlagosan $106,6 \pm 83,5$ db/m² földigilisztá egyedszámmal, míg a szántásos $21,4 \pm 21,2$ db/m²-rel a legrosszabbnak. A hároméves adatsor alapján a következő (növekvő) sorrend alakult ki: szántás < tárcsás = lazításos < sekély kultivátoros = kultivátoros < direktvetés kezelés (**M3. 24. és 24.1. táblázat**).

4.4 Talajművelési rendszerek értékelése eltérő csapadékviszonyok esetén

4.4.1. A szántásos rendszer megfelelősége a két eltérő talajon

Az elvégzett vizsgálatok alapján a szántásos rendszert, mint a legkitettebb kezelést, fontosnak tartom összehasonlítani mindkét termőhelyen, ugyanis a klímakárok által a legnagyobb veszély a szántott talajon léphet fel. Ezt a jelenséget a havi csapadékmennyiség kedvezőtlen eloszlása tovább súlyosbítja. Lukács térségében egyébként a nagyobb az évi csapadékösszeg, mint Józsefmajorban.

A talajellenállási eredményeket a talaj felső 50 cm rétegére vonatkozóan a **34. ábra** mutatja. Az évenkénti változást a két szántás között 2016-ra vonatkozóan az **M3. 55.**, 2017-ra az **M3. 56.**, és 2018-ra pedig az **M3. 57. ábrán** közlöm.

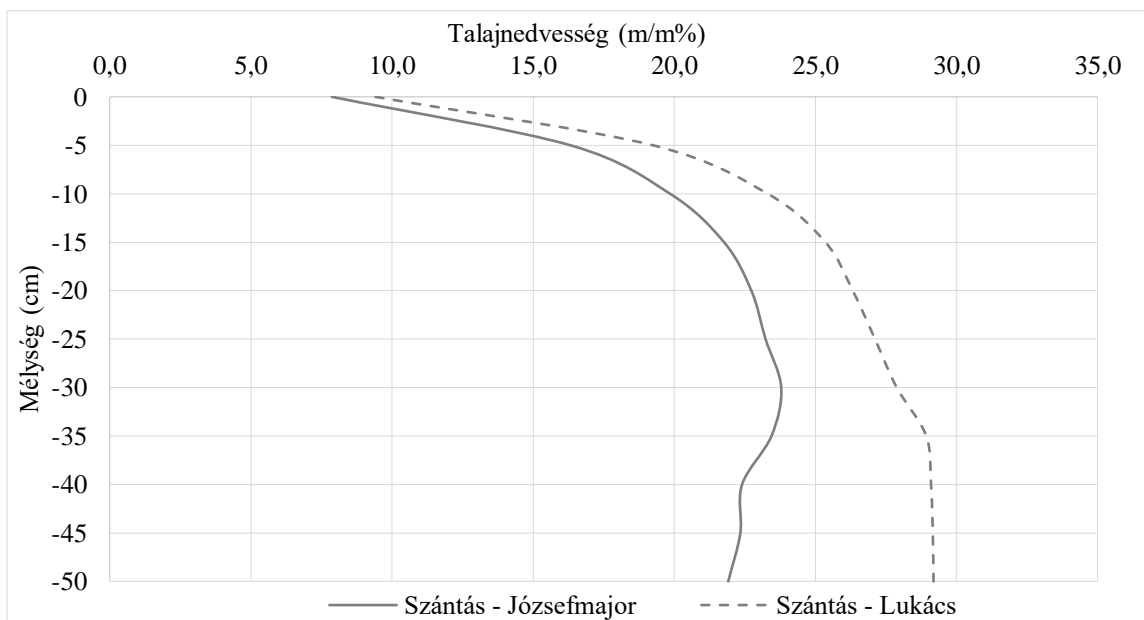


34. ábra: Szántott talajra jellemző talajellenállás (MPa) 3 év átlagában, két termőhelyen

A talaj ellenállása a lukácsi kísérletben alacsonyabbnak bizonyult a józsefmajorihoz képest (**34. ábra**) a korábban már leírt nagyobb nedvességnek betudhatóan. Ugyanakkor a mélység növekedésével mindkét termőhelyen párhuzamosan emelkedtek a talajellenállás értékek. Legalacsonyabb értéket 1,41 MPa-t a józsefmajori kísérletben mértünk 5 cm mélységben, míg ugyanabban a mélységben a lukácsi kísérletben 1,49 MPa-t. A két szántásnak a talajellenállás értékei megközelítőleg azonosak voltak az 5, 10 és 15 cm mélységben. A mélyebb rétegekben a józsefmajori szántást nagyobb értékek jellemezték, a korábban már leírt alacsonyabb

nedvesség miatt. Az ANOVA szignifikancia eredményeit ($p < 0,05$) az **M3. 25. táblázat** mutatja. Bár a művelési mélység azonos volt, azonban a lukácsi kísérletben a lazult réteg mélysége meghaladta a művelési mélységet, amely a már említett nagyobb nedvességtartalomra is utalhat. Jelentős különbség alakult ki a 35, 40, 45 és az 50 cm mélységben ott, ahol a talaj nedvessége a józsefmajori kísérletben csökkenést mutatott. Károsan tömör állapot (>3 MPa) a lukácsi kísérletben a 35-40 cm rétegben volt észlelhető, míg a józsefmajori kísérletben már a 25-30 cm rétegben. A sekélyebb lazult mélység a józsefmajori kísérletben vélhetően a tartósan közel azonos mélységű szántásnak és az alacsonyabb nedvességtartalomnak tulajdonítható. A 2018-as józsefmajori adatokban nagyobb változás a 15-20 cm rétegben észlelhető, míg a lukácsi kísérletben a legnagyobb érték (2,06 MPa) az 50 cm rétegben volt mérhető (**M3. 57. ábra**).

A szántást, mint hagyományos alapművelést, mindkét kísérletben, három éven keresztül vizsgáltuk. A nedvességtartalom átlag eredményeit a **35. ábra** tartalmazza a talaj felső 50 cm rétegére vonatkozóan. Az évenkénti változásokat a két szántás között 2016-ra az **M3. 58.**, 2017-re az **M3. 59.**, és 2018-ra pedig az **M3. 60.** ábra mutatja.

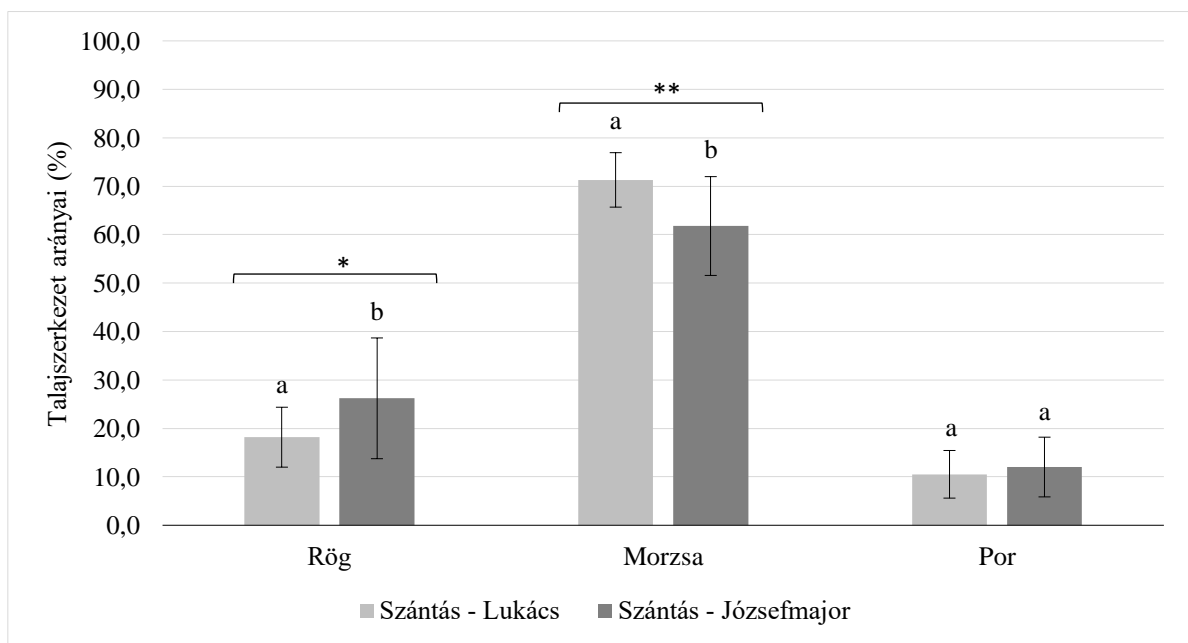


35. ábra: Szántott talajok nedvessége (m/m%) 3 év átlagában, két termőhelyen

A három év átlagában a lukácsi talajban minden mélységben átlagosan nagyobb értékeket mértünk a józsefmajori talajhoz képest (**35. ábra**). Ennek oka vélhetően a több csapadék (3 év átlagában 816 mm), valamint a glejes talaj mélyebb rétegeinek korlátozott száradása. A felszínen nem tudtunk kimutatni szignifikáns különbséget, azonban 5 cm mélységben ($p < 0,05$)

és az alatt igen ($p < 0,01$, **M3. 26. táblázat**). A legalacsonyabb értéket jellemzően a felszínen mértük, a józsefmajori kísérletben 7,9 m/m%-ot míg a lukácsi kísérletben 9,4 m/m%-ot. Eltérőnek találtuk a talajprofil nedvesség értékeit is. A józsefmajori kísérletben 30 cm mélységben mértük a legnagyobb értéket (23,8 m/m%), ez alatt csökkenést tapasztaltunk. A lukácsi kísérletben a talajprofilban folyamatos volt a növekedés, így a legnagyobb érték (29,2 m/m%) a 45 és 50 cm mélységben volt mérhető. Az évenkénti változást illetően a legnagyobb különbség 2016-ban alakult (**M3. 58. ábra**), amely hatással volt a józsefmajori szántás minőségére is. 2017-ben a két szántás görbéi megközelítőleg egyformán alakultak (**M3. 59. ábra**), míg 2018-ban újra nagyobb eltérés alakult ki 10-50 cm rétegben, a lukácsi szántás előnyére (**M3. 60. ábra**).

Az agronómiai szerkezet átlagos arányait a szántás kezelésben a **36. ábrán** mutatom be. Az évenkénti változásokat 2016. évre az **M3. 61.**, 2017-ra az **M3. 62.**, és 2018-ra pedig az **M3. 63. ábrákon** mutatom be.



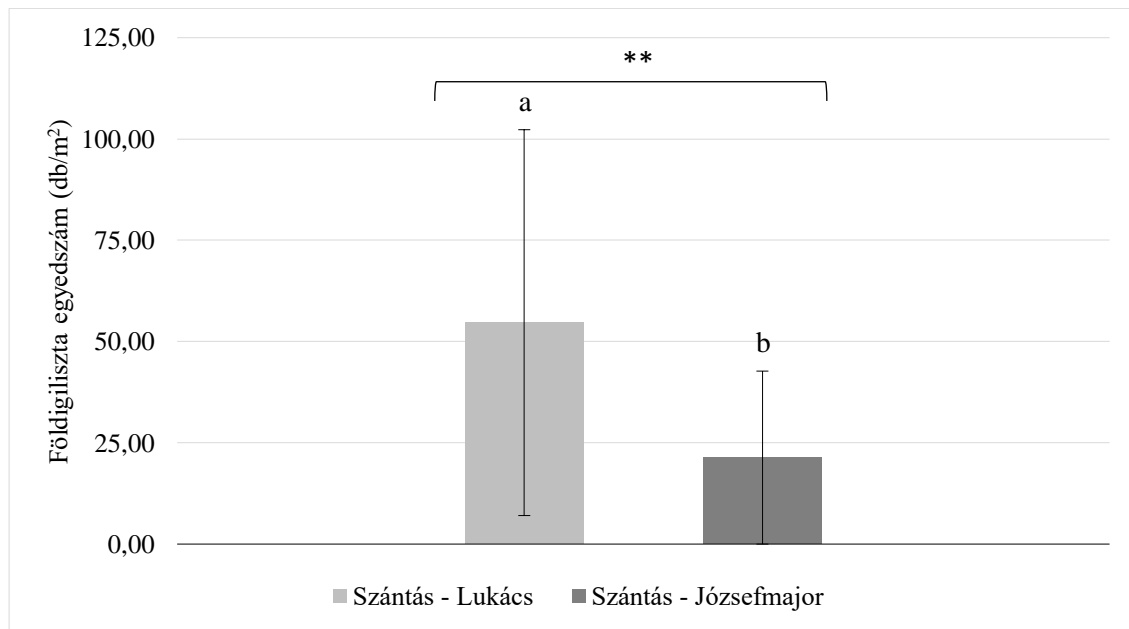
36. ábra: Szántott talajra jellemző agronómiai szerkezet átlagos arányai két termőhelyen

Megjegyzés: Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, $**p < 0,01$; $*p < 0,05$

Az agronómiai szerkezet vizsgálati eredmények a lukácsi szántás kedvezőbb eloszlását mutatják (**36. ábra**). A részeredményeket az **M3. 27. táblázatban** mutatja. A lukácsi szántásban átlagosan 18,2% volt a rög frakció aránya, míg a józsefmajoriban 26,2%. A lukácsi szántott talajban 71,3% volt a morzsa és 61,8% a józsefmajoriban. A por frakcióban nem alakult szignifikáns különbség, azonban az mindkét szántásban meghaladta a 10%-ot. 2017-ben és

2018-ban a józsefmajori szántásban több, mint 30% rög mutatkozott, egyúttal nagyobb por frakció is. Ugyanakkor a lukácsi szántásban 2016-ban és 2017-ben alakult ki nagyobb por mennyiség, viszont 2018-ban a Józsefmajorban alakult ki több por. Erre vonatkozóan, az ANOVA statisztikailag igazolható különbségeket az **M3. 28. táblázatban** mutatom be.

A földigiliszta egyedszám adatokat szántott talajban a **37. ábra** mutatja. Az évenkénti változások 2016-ra, 2017-re és 2018-ra vonatkozóan az **M3. 64.** mellékletben láthatók.



37. ábra: Az átlagos földigiliszta egyedszám szántott talajban, két termőhelyen

Megjegyzés: Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

A földigiliszta egyedszám értékelése alapján, kedvezőbb életkörülményeket a lukácsi szántás teremtett (**37. ábra**). A szignifikancia különbségeket ($p < 0,01$) az **M3. 29. táblázat** mutatja. A lukácsi szántásban átlagosan $54,7 \pm 47,6$, míg a józsefmajoriban $21,4 \pm 21,4$ a különbség. Mindhárom évben több földigilisztát találtunk a lukácsi szántásban, a nagyobb különbséget a szója idényben találtuk (**M3. 30. táblázat**), kedvezőbb nedvesség körülmények esetén.

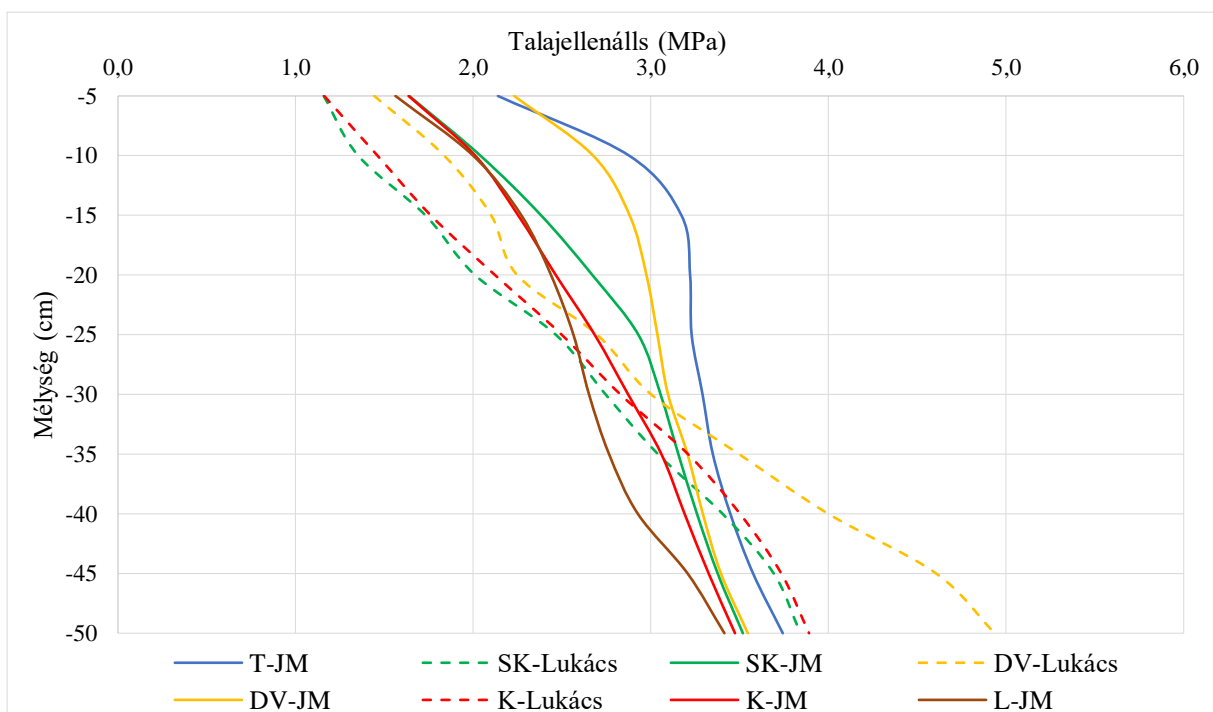
4.4.2. A lazító-porhanyító-mulcshagyó művelések megfelelősége

A lazító-porhanyító-mulcshagyó művelések alatt értem a tárcsás, a sekély kultivátoros, a direktvetés, a kultivátoros és a lazítós kezelést. Ezek a művelések főként az alkalmazási célban és a bolygatás mélységében térnek el, esetenként a talajfelszín borítottságában is. A két

kísérletben egymástól eltérő talajellenállás eredmények voltak mérhetőek (**38. ábra**). A lukácsi kísérletben a kultivátoros és a sekély kultivátoros kezelés között 0-50 cm-re vonatkozóan nem voltak nagy eltérések.

A három évi talajellenállás eredményeket a talaj felső 50 cm rétegre vonatkozóan a **38. ábrán** mutatom be. Évenkénti változásokat a kezeléseik között 2016-ra az **M3. 65.**, 2017-re az **M3. 66.**, és 2018-ra pedig az **M3. 67.** mellékletek tartalmazzák.

Ugyanakkor a direktvetésben mért értékek a felszínközeli és a mélyebb rétegben is eltértek a két előbbi kezeléstől. Figyelmet érdemel, hogy a 20-30 cm közötti rétegben nem volt nagy különbség a művelt és a nem művelt talajok között. A két sekély kultivátoros kezelés között csak az 5 és 10 cm rétegben mértünk nagyobb eltérést, amelyet az ANOVA statisztikai vizsgálatok ($p < 0,05$) is igazoltak (**M3. 31. táblázat**). A kultivátorosban, ugyanúgy, mint a sekély kultivátoros kezelésben, a felső két rétegben (5 és 10 cm) statisztikailag igazolható különbség volt kimutatható (**M3. 32. táblázat**).



38. ábra: Talajellenállás (MPa) átlagok eltérően művelt talajokban, két termőhelyen

Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos, JM: Józsefmajor

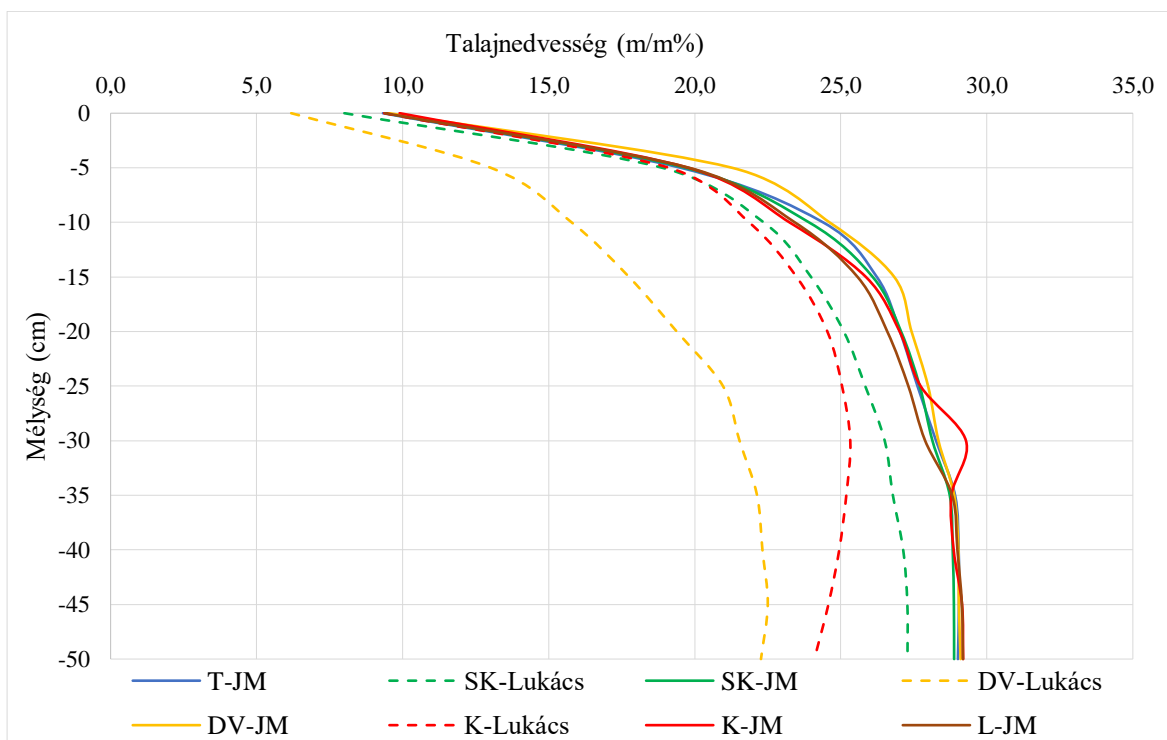
Évenkénti változásokat tekintve a kukorica idényben (**M3. 65. ábra**), a mérések alapján, a két kultivátoros kezelés között nem alakultak ki nagyobb eltérések. A lukácsi kultivátoros kezelés 20-25 cm között már elérte a károsan tömörödött állapotot. A csapadékos idény alatt kisebb-nagyobb mértékben előfordult ülepedés. Ilyenkor a lazult réteg mélysége jelentősen

csökken a művelési mélységhez képest. A következő évben, 2017-ben nagyobb változást tapasztaltunk a két kísérlet között (**M3. 66. ábra**). A józsefmajori kísérletben, a felső rétegben nagyobb ellenállás értékeket mértünk. Csapadékos őszi idényben (2016) a kukorica aratása és az őszi zab vetése között a túl rövid időn belül elvégzett művelés idézte elő a magasabb ellenállási értékeket. Ennek ellenére, az őszi zab aratása és az újabb művelés ideje közötti szalma alatt a talaj jól regenerálódott. A 2017. őszön a talajművelést alkalmas nedvességnél lehetett elvégezni. A kedvező változást az **M3. 67. ábra** mutatja.

A józsefmajori kísérletben az alacsonyabb talajellenállási értékeket a mélyebb rétegben, a hosszú távon kedvező és jól időzített művelésnek, a nyári felszínvédelemnek, valamint a nagyobb biológiai aktivitásnak tulajdonítom.

A nedvességtartalom eredmények három évi átlagát a **39. ábra** tartalmazza a talaj felső 50 cm rétegére vonatkozóan. Évenkénti változásokat a kezelések között 2016-ra az **M3. 68.**, 2017-re az **M3. 69.**, 2018-ra pedig az **M3. 70.** melléklet mutatja.

A józsefmajori eredmények általánosan kedvezőbbnek bizonyultak a lukácsi talajon elértekhez képest. A két sekély kultivátoros kezelés között nagyobb nedvességtartalom alakult ki Józsefmajorban, ezen felül négy rétegben szignifikáns különbség volt kimutatható (**M3. 33. táblázat**).

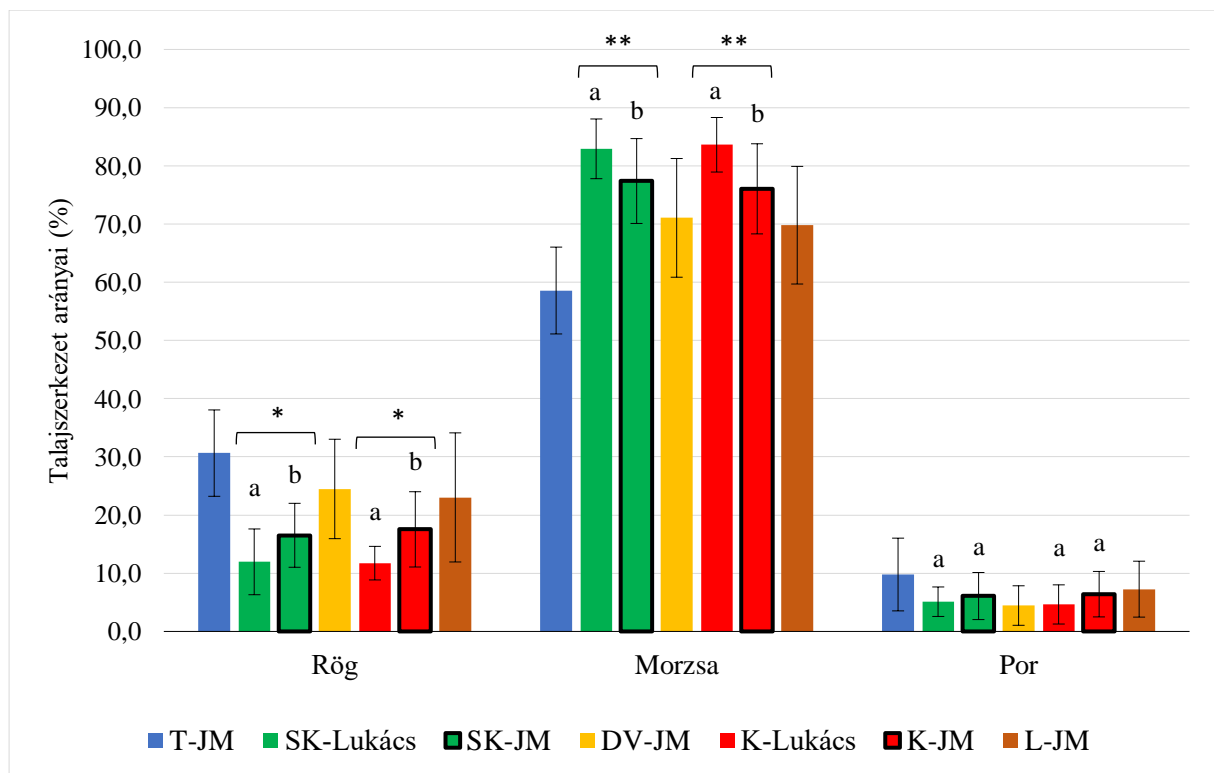


39. ábra: Talajnedvesség (m/m%) átlagok eltérően művelt talajokban, két termőhelyen

Kezelések: T: társcás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos, JM: Józsefmajor

A legalacsonyabb nedvességtartalom a lukácsi direktvetéses talajt jellemezte. Megemlítem, hogy a lukácsi direktvetésben az egyik mérést júliusban, a másikat pedig októberben végeztük. A kezelések között a felszínen és az 5 cm rétegben nem volt nagy eltérés, míg a mélyebb rétegekben igen. A direktvetésekre jellemző nedvesség értékek között csak a felszínen nem volt kimutatható szignifikáns eltérés, míg a többi rétegekben igen ($p < 0,01$, **M3. 34. táblázat**). A lukácsi kultivátorral művelt talaj kevesebb nedvességet tartalmazott a józsefmajorinál. Az ANOVA szignifikáns eredményeket ($p < 0,05$) az **M3. 35. táblázat** mutatja. Mindkét kultivátoros kezelésben a legnagyobb nedvességtartalmat a 30 cm rétegben mértük, Lukácson 25,3 m/m%-t, míg Józsefmajorban 29,3 m/m%-t. A józsefmajori tárcsás és lazítós kezelések nem tértek el a többi józsefmajori kezeléstől, és mivel Lukácson nem voltak beállítva ilyen kezelések, így nem volt összehasonlítási párjuk.

Az agronómiai szerkezeti eredményeket a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekre vonatkozóan a **40. ábra** mutatja. Az évenkénti változásokat a kezelések között 2016-ra az **M3. 71.**, 2017-re az **M3. 72.**, és 2018-ra pedig az **M3. 73.** mellékletben szemléltetem.

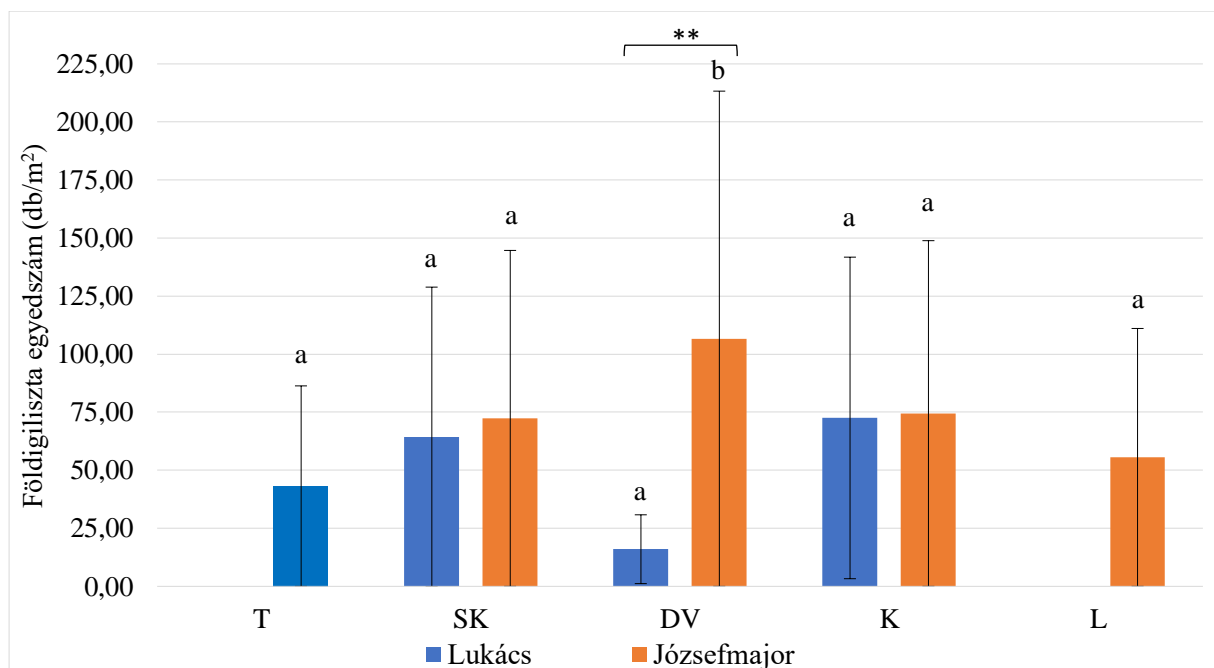


40. ábra: Az agronómiai szerkezet hároméves átlagos arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezeléseknél

Megjegyzés: Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, $**p < 0,01$; $*p < 0,05$
 Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazítós, JM: Józsefmajor

A lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelések között a lukácsi kísérletben a sekély kultivátoros és a kultivátoros kezelések szerepelnek, míg a józsefmajori kísérletben a tárcsás, a sekély kultivátoros, a kultivátoros, a direktvetés és a lazításos kezelések. Így összehasonlításra kerülhettek a lukácsi és a józsefmajori sekély kultivátoros és kultivátoros kezelések. A szignifikáns különbségeket ($p < 0,01$; $p < 0,05$) az **M3. 36. táblázat** tartalmazza. A két azonos kezelés egyikét fekete kerettel különböztettem meg. A sekély kultivátoros kezelésben a józsefmajori kísérletben 4,5%-kal nagyobb rög és 5,5%-kal kisebb morzsa frakciót mértünk, míg a por frakció csak 1%-kal volt több. A józsefmajori kultivátoros kezelés 5,8%-kal több rögöt és 1,8%-kal több port mutatott, továbbá 7,5%-kal kevesebb morzsát a lukácsi kultivátoros kezeléshez képest. A szignifikáns különbségeket éves eloszlásban az **M3. 37. táblázatban** összesítettem.

A **41. ábrán** a földigiliszta egyedszámot (db/m^2) szemléltetem a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben. A változásokat 2016-ra, 2017-re és 2018-ra az **M3. 74.** mellékletben mutatom be. Három év átlaga alapján az ANOVA szignifikáns különbséget az **M3. 38. táblázat** mutatja. Az évenként tapasztalt különbséget ($p < 0,01$; $p < 0,05$) összesítettem és az **M3. 39. táblázatban** mutatom be.



41. ábra: A földigiliszta egyedszám hároméves átlagos arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben

*Megjegyzés: Az oszlopok felett a különböző betűk (a, b) szignifikáns különbséget jeleznek, ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$*

Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, SZ: szántás, L: lazításos

A földigiliszta egyedszám értékelése alapján, a lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelések között, az ANOVA által statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,05$) csak a direktvetés kezelésben volt kimutatható, amelyet azonban alacsony és nem reprezentatív adatokkal értünk el. Az évenkénti változásokat nézve, minden évben statisztikailag igazolható különbséget mértünk. A józsefmajori kultivátoros kezelésben 2016-ban 65 db/m^2 -rel több földigiliszta volt a lukácsinál, 2017-ben csak $6,5 \text{ db/m}^2$ -rel, míg 2018-ban a józsefmajori kísérletben $69,6 \text{ db/m}^2$ -rel kevesebb földigilisztát számláltunk a lukácsi kultivátoros kezeléshez képest. Ugyanakkor 2017-ben Józsefmajorban, a jobb élőhely okán a sekély kultivátoros kezelésben $37,7 \text{ db/m}^2$ -rel több földigilisztát találtunk, ellenben 2018-ban $62,4 \text{ db/m}^2$ -rel több földigilisztát találtunk a lukácsi kezelésben.

Összességében megállapítható, hogy a szakirodalomban megjelölt földigiliszta élőhelyek alkalmassága mindkét termőhelyen igazolódott. A klimatikus tényezőknek kitett talajokban az élőhely alkalmatlansága miatt csökkent a földigiliszta egyedszám. Az elvben alkalmas lazító-porhanyító-mulcshagyó művelések csupán száraz periódusban váltak gyengébb élőhellyé.

Az **13. táblázatban** közölt minősítés, a művelés és a vetés után kialakult minőség, valamint a felszín kitétsége alapján fogalmazódott meg. A cél a talajminőség fenntartása és a súlyos klimatikus károk megelőzése. A szántás – általános kedveltsége ellenére – időjárási tényezőknek kitett felszínt hagy, a szántott réteg alatt pedig tömör, normális vízmozgást akadályozó talpat. A tárcsázással kialakult felszín is többnyire takaratlan, ezért a kitétség – a talajszerkezet romlása révén – ennél a kezelésnél is észlelhető. A lukácsi kísérletben három (K, SK, DV), a józsefmajorban négy kezelés minősíthető megfelelőnek – vagy igen jónak – adott időjárási körülmények között.

13. táblázat: Talajművelési rendszerek megfelelősége tekintettel a klimatikus szélsőségekre két termőhelyen

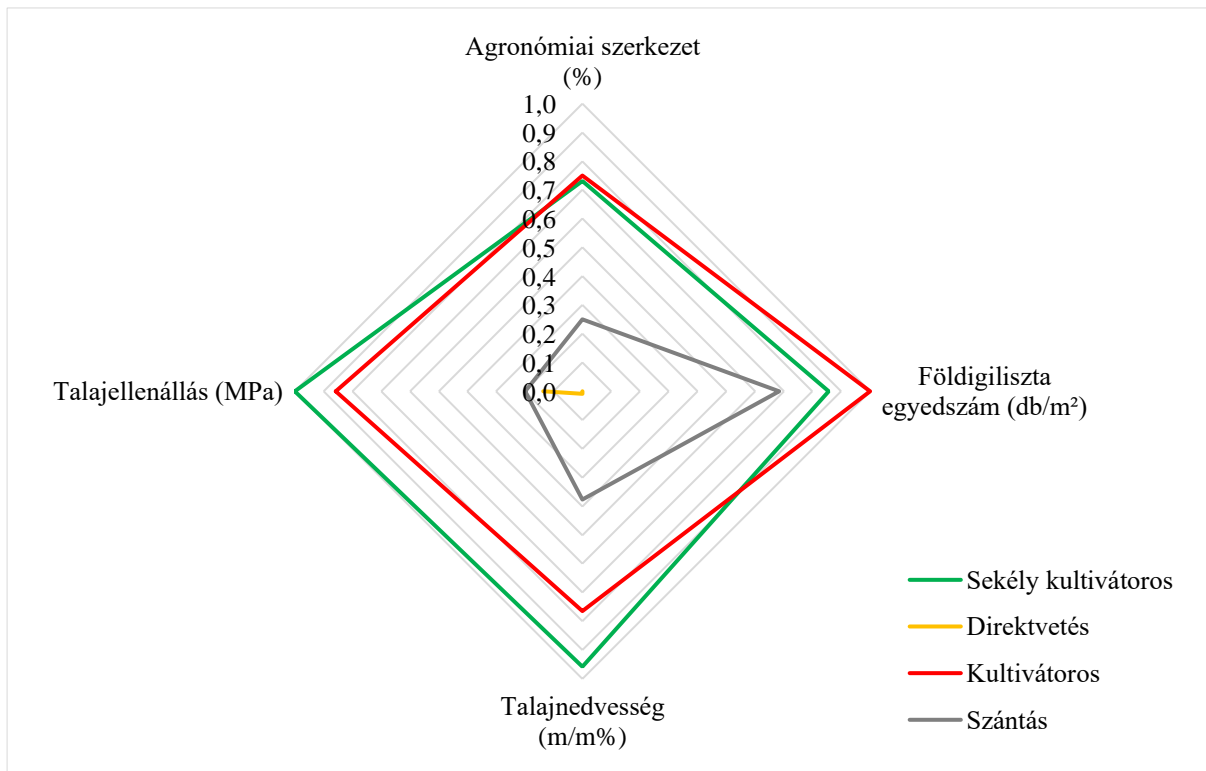
Hely	Időszak/ Értékelés	Művelési kezelések					
		Szántás	Lazításos	Kultivátoros	Sekély kultivátoros	Tárcsás	Direktvetés
Lukács	Művelés minőség	megfelelő	-	jó	jó	-	jó
	Kitétség	erősen kitett	-	gyengén kitett	gyengén kitett	-	gyengén kitett
	Minősítés	gyakran kritikus	-	megbízható	megbízható	-	feltételesen megbízható
József- major	Művelés minőség	megfelelő	jó	jó	igen jó	változó	többnyire jó
	Kitétség	nagy	közepes/ kicsi	gyenge	gyenge	közepes/ nagy	gyenge
	Minősítés	változó/ kritikus	jó	igen jó	igen jó	kritikus	jó

A 4.1.2, 4.1.3, 4.2.1, 4.2.2, és 4.2.3 fejezetekben elvégzett értékelések – lazult réteg mélység a talajellenállással összefüggésben, talajnedvesség, felszínakarás, morzsa arány, földigiliszta egyedszám, kitettség – segítségével lehetőségünk adódott a művelési kezelések (rendszerek) rangsorolására. Az értékelést 0 (leggyengébb) és 1 (legjobb) közötti skálán végeztem, amely részben hasonló a **Kende (2019)** által végzett rangsoroláshoz, de a figyelembe vett tényezők több esetben eltérnek.

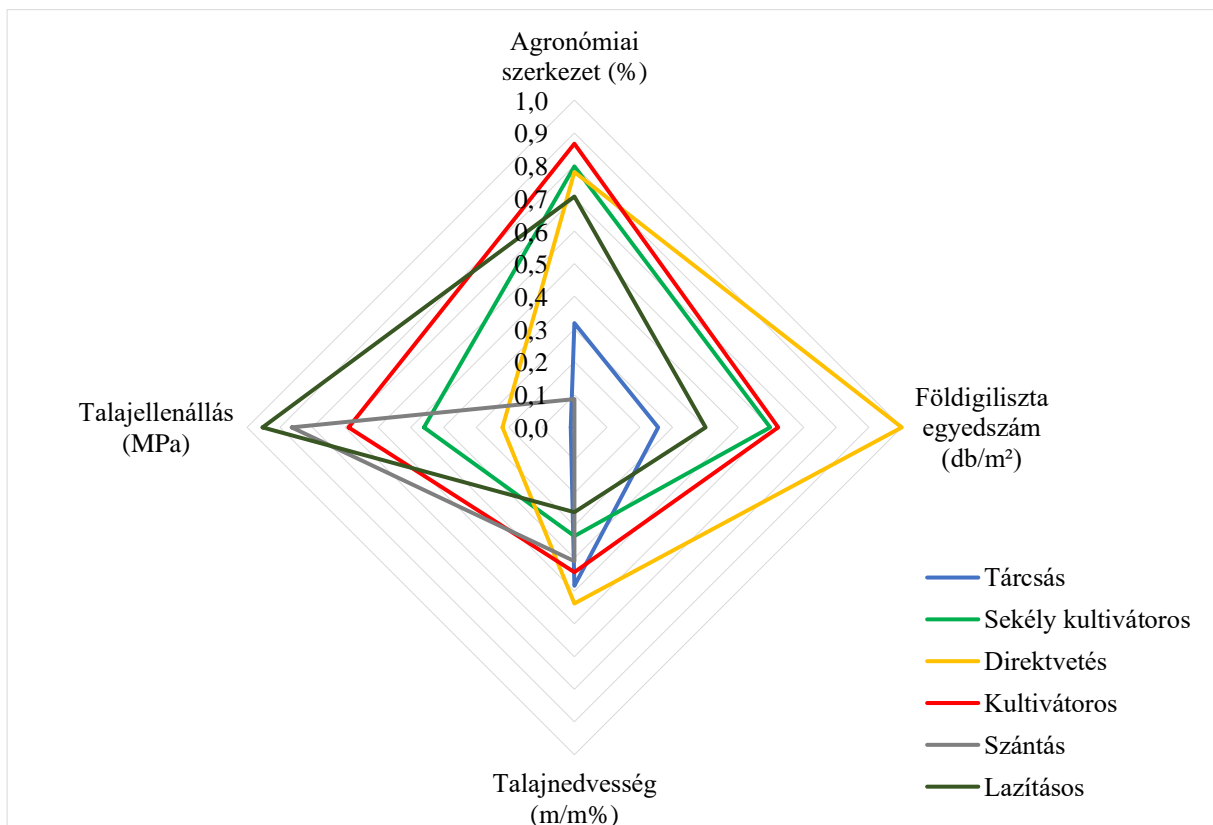
Az értékelés eredményeként a lukácsi Luvic Stagnosol [Siltic] talajon a művelési rendszerek megfelelősége és rangsora adott időjárási körülmények esetén – növekvő sorrenden – a következő: szántás < direktvetés < sekélykultivátoros művelés < kultivátoros művelés. E sorrendet a kísérleteknek helyet adó gazdaságban a kísérleten kívüli területeken is észleltük.

A józsefmajori Endocalcic Chernozem talajon a művelési rendszerek megfelelősége és rangsora adott időjárási körülmények esetén – növekvő sorrendben – a következő: szántás < tárcsázás < lazítás < sekély kultivátoros művelés = kultivátoros művelés = direktvetés. Meg kell jegyezni, a rangsorok a klimatikus tényezők által befolyásolt talajállapot vizsgálatok eredményei alapján vannak kijelölve, amelyek a dolgozatban nem tárgyalt termékek eredményeivel is összhangban vannak. Ugyanakkor az időjárási jelenségek súlyosbodása legfeljebb a most kedvezőbb kezelések sorrendjén változtatható.

A vizsgálatok során kapott talajellenállás, talajnedvesség, agronómiai szerkezet, földigiliszta egyedszám eredmények alapján összehasonlítottam a művelési kezeléseket a két kísérletben (**42. és 43. ábra**). Az ábrák a három év átlagadatait tartalmazzák, valamint az értékek között valós eltérést képeznek. Ennek eredményeként, bizonyos kezelések között nagyobb vagy kisebb különbség van. Az adatokat függetlenül a paramétereiktől – nagyobb nedvességtartalom vagy kisebb talajellenállás érték, több morzsa vagy kevesebb rög arány – úgy szerkesztettem, hogy minél alacsonyabb, annál rosszabb az érték. A négy tényezőt 0-1 között értékeltem, közöttük 0 a legrosszabb és az 1 a legjobb. A **42. és 43. ábrákon** bemutatott összehasonlítás alátámasztja az **13. táblázatban** közölteket, valamint a hozzá fűzött értékelést.



42. ábra: A művelési kezelések összehasonlítása a lukácsi kísérletben mért 4 paraméter alapján (2016-2018), Megjegyzés: 0: leggyengébb, 1: legjobb érték



43. ábra: A művelési kezelések összehasonlítása a józsefmajori kísérletben mért 4 paraméter alapján (2016-2018), Megjegyzés: 0: leggyengébb, 1: legjobb érték

4.5 Új tudományos eredmények

A doktori értekezésem eredményei alapján az alábbi új tudományos eredményeket állapítottam meg:

1. Igazoltam az eltérő csapadékmennyiség és eloszlás egyes talajállapot tényezőkre – lazult réteg mélység, agronómiai szerkezet, földigilisztaszám, felszín kiettség – gyakorolt kedvezőtlen, a művelés minőségét csökkentő hatásait. Megállapítottam, hogy a minőségromlás mértékét a műveléssel kialakult talajállapot statisztikailag igazolhatóan, növeli vagy csökkenti. Kimutattam, hogy a csapadék mennyiségének talajnedvesség tartalomra gyakorolt kedvező hatása csak a vízbefogadásra és a vízvisszatartásra alkalmas talajállapot esetén következik be.
2. Igazoltam a lazult réteg mélység mélyebbre terjedését tömör talpat nem tömörítő lazításos és kultivátoros művelések esetén.
3. Bizonyítottam a felszínvédelem jótékony hatását aratás után ($\geq 50\%$), valamint vetés után ($\geq 30\%$), megfelelően a nemzetközileg megjelölt szinteknek.
4. A talajfelszín kiettségének elbírálását új tényezők (felszínakarás, agronómiai szerkezet, felső 0-10 cm nedvessége) bevonásával bővítettem ki.
5. Számszerűsítettem a felszínakarás, a morzsa arány és a gilisztaszám összefüggéseit két eltérő termőhelyen. Az eredmények szerint a $\geq 30\%$ felszínakarás esetén a megkívánt összes morzsa arány ($\geq 70\%$) alakulása mellett a földigiliszta egyedszám is kedvezőnek ($\geq 80\text{db/m}^2/0-30\text{ cm}$) minősül.
6. A talajművelési rendszerek megfelelőségét a termőhelyhez és az eltérő időjárási tényezőkhöz alkalmazkodóan eddig nem alkalmazott tényezők (talajnedvesség, talajellenállás, agronómiai szerkezet, földigiliszta egyedszám) alapján bizonyítottam.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A klíma-szenzitív és a klíma-védő művelés megfelelésének vizsgálatára irányuló kutatómunkámat egyrészt Horvátországban, Lukács térségében Luvic Stagnosol talajon, másrészt Hatvan térségében, Józsefmajorban Endocalcic Chernozem talajon, a 2002 óta folyó, Hatvan térségében beállított művelési tartamkísérletben végeztem 2015 ősze és a 2018. év vége között. A vizsgált időszakban szélsőséges időjárás uralkodott. A vizsgálatok kezdetén esősebb időszak volt, de azt megelőzően viszonylag száraz. 2016-ban 731 mm csapadék hullott egyenetlen eloszlásban. A talajok száradása ebben az évben rövid periódusokra korlátozódott. Az erősen változékony időjárás befolyásolta a művelések minőségét, ezáltal a talajok állapotát is.

A kutatási célok kidolgozását segítő vizsgálatok – lazult réteg mélység a talajjellenállással összefüggésben, talajnedvesség, felszíntakarás, morzsa arány, földigiliszta egyedszám, kitettség – a művelési és a klimatikus tényezők talajra gyakorolt hatásainak egzakt értékelését segítették.

A lazult réteg mélysége nem feltétlenül azonos a művelési mélységgel, annál jobb is lehet. A talajjellenállás vizsgálatokat alkalmasnak bizonyultak a lazult réteg mélység ellenőrzésére. A lukácsi és a józsefmajori kísérletekben statisztikailag igazolható különbségek ($p < 0,01$; $p < 0,05$) alakultak a szántott és a forgatás nélkül művelt talajok ellenállása között. A művelt rétegben bármely művelésnél az adott eljárásra jellemző lazultság alakult ki. Ennél fontosabb a művelt réteg alatti állapot, vagyis az, hogy van-e akadály a növények mélyebb gyökerezése esetén. A vizsgálatok szerint szántott talajban gyakrabban, kultivátorral művelt talajban csak esetenként alakul ki gyökerezést akadályozó állapot a művelt réteg alatt. A lazult réteg mélysége a kultivátoros kezelésekben 10-30 cm-rel haladta meg a művelés mélységét. Direktvetéses talajban a lazultság előrehaladása vagy hiánya volt a gyökerezést segítő, vagy korlátozó tényező. A direktvetés hosszú időszakban való alkalmazása a biológiai tevékenység javulása révén a kezdetekhez képest jobb lazultságot eredményez, amely javítja a nedvesség tárolását is. Az eredmények alapján a talaj adott állapotát mutató vizsgálatok elvégzése javasolható a lazult réteg mélység reális elbírálásához. Az ún. talpképző eszközök – eke, tárcsa – alkalmazása esetén kiemelten fontosak a talajállapot vizsgálatok a művelések előtt.

A talajnedvesség vizsgálatok az időjárási és művelési tényezők együttes befolyását igazolták mindkét termőhelyen. Nagyobb csapadék esetén mélyebb beázás – s ennek megfelelően nagyobb talajnedvességtartalom – azokban a kezelésekben (lazítás, kultivátoros művelés, tömör talptól mentes szántás) volt tapasztalható, ahol a nedvesség beszivárgását nem, vagy csak kissé akadályozta műveléssel kialakult tömör állapot. A vizsgálatok megerősítették,

hogy a szántás és a tárcsázás – a talpképzés miatt – víz mélyebb rétegekbe szivárgását akadályozó művelésnek minősíthető. A lazításos és a kultivátoros művelések alatt talp nem alakult ki, ezzel együtt kedvezőbbé vált a nedvesség állapot. A művelések között a nedvesség különbségek (2-5 m/m%) többnyire szignifikáns eltéréseket mutattak. A forgatás nélküli művelésekben és a direktvetésben az adott időszakot tükröző nedvesség értékek voltak jellemzők, ellenben a szántott talajokban kevesebb nedvesség volt. Mivel napjainkban száraz időszakok a művelési és vetési idényekben is előfordulnak, több figyelmet érdemel a talaj állapota, vízbefogadásra alkalmassága aratás után. Továbbá az, hogy kialakul-e a nedvességtartalom alapján kedvezően alkalmas állapot az alapművelés idejéig. Javaslatként olyan művelési módok és rendszerek alkalmazása okszerű, amelyek az aratástól a vetésig kedvező nedvesség befogadásra és visszatartásra alkalmasak. E tekintetben a talpképzéstől mentes szántás is elfogadható lehet a forgatás nélküli művelések mellett. Ugyanakkor, ha a szántott talajban már aratáskor alacsonyabb a nedvesség, kisebb az esély jelentős javulásra. Vagyis, a talajnedvességtartalom csak hosszabb időszak ismeretében alkalmas mutató a művelések megfelelőségének értékelésére.

A felszíntakarás az utóbbi években a klímakárok csökkentésének szükségessége miatt vált értékelendő tényezővé. A kísérleteinkben szignifikáns különbség alakult a közel tiszta felszín hagyó művelés (szántás) és a felszín védelmet segítő (kultivátoros, direktvetéses) kezelések között ($p < 0,01$; $p < 0,05$), mindkét termőhelyen. A talajfelszín takarási arányok öt kategóriába sorolását a kísérleti területeken előforduló gyakoriságuk tette szükségessé, vagyis 0-10, 11-25, 26-45, 46-70 és 71-100%. Az aratás utáni (tarló) állapot talajvédőnek minősíthető, mivel a felszíntakarás ($\geq 50\%$) meghaladta az elvárt arányt. Kritikusabb az alapművelés és a vetés után maradt takarás. Megvizsgáltam, megfelel-e adott termőhelyen elvárt borítási %-nak és a nemzetközileg megjelölt (**Schertz, 1988; CTIC, 2017**) 30%-os elvárásnak. Ennek az elvárásnak a kultivátoros művelések és a direktvetés feleltek meg. Az eredmények alapján a felszíntakarás adott időszak szerint javasolható, vagyis kritikus (nyári) időszakokban nagyobb ($\geq 50\%$), vetés után pedig a talajvédelmet fenntartó arány ($\sim 30\%$), a nemzetközi elvárásoknak megfelelően.

A morzsa (\varnothing 2,5-10 mm) arány a talajt érő klimatikus és mechanikai stressz miatt fontos minősítési tényező. A kísérleteinkben szignifikáns különbség volt kimutatható a morzsaromboló (szántás, tárcsázás) és a morzsakímélő (kultivátoros, lazításos, direktvetéses) kezelések között. Több morzsa a fizikai és biológiai állapotában megkímélt, direktvetéses vagy kultivátorral művelt talajban alakult ki, a lukácsi glej, valamint a józsefmajori csernozjom

talajban 35-45% között. A morzsáság elősegítése érdekében kímélő, rögződést és porosodást csökkentő művelés (nem szántás) alkalmazása javasolható, termőhelytől függetlenül.

A földigiliszta egyedszám az adott talaj biológiai tevékenységéről tájékoztat. A kísérleteinkben szignifikáns különbség volt kimutatható az alkalmas és alkalmatlan élőhelyek között. Alkalmatlannak a durván bolygatott (szántás), alkalmasnak a mérsékelten bolygatott (forgatás nélküli művelés), kiemelten a csak vetéskor bolygatott (direktvetés) talajállapot bizonyult. A klimatikus és talajtényezők a tavaszi időszakban nyújtották legkedvezőbb élőhelyet a földigilisztáknak. A másik, kedvezőnek ítélt körülmény gabonaaratás után, a takart tarlóban volt észlelhető, glej talajban ≥ 75 , csernozjom talajban ≥ 50 db/m² egyedszám a 0-30 cm felső rétegben. Mivel a földigiliszta egyedszám talajállapot indikátornak tekinthető, nagyobb súllyal esik latba a talajállapot alkalmassága. A talaj biológiai tevékenységének fenntartása és fokozása érdekében a földigiliszta tevékenységet kímélő talajállapot kialakítása javasolható. A szántás e tekintetben fenntartásokkal fogadható el, a forgatás nélküli művelések az adott körülményekre (művelési rendszer, időjárás) vonatkozóan javasolhatók.

A művelési rendszerek megfelelése a fentiekben jelzett tényezők – lazult réteg mélység a talajjellenállással összefüggésben, talajnedvesség, felszíntakarás, morzsa arány, földigiliszta egyedszám, kitétség – értékelése nyomán fogalmazható meg. Adott időjárási tényezők esetén nem ajánlhatók az olyan művelések, amelyek növelik a talaj ellenállását, csökkentik a talaj vízbefogadó és vízvisszatartó képességét és élőhely értékét.

A talajállapot vizsgálatok alapul szolgáltak a művelések megfelelésének megítéléséhez (13. táblázat). A lukácsi Luvic Stagnosol [Siltic] talajon a művelési rendszerek megfelelése adott időjárási körülmények esetén – növekvő sorrendben – a következő: szántás<direktvetés<sekélykultivátoros művelés<kultivátoros művelés. Ez a sorrend a térségi művelések jótékony hatása ugyanis a kísérlet évei után is bizonyítást nyert.

A józsefmajori Endocalcic Chernozem talajon a művelési rendszerek megfelelése és rangsora adott időjárási körülmények esetén – növekvő sorrendben – a következő: szántás<tárcsázás<lazítás<sekély kultivátoros művelés=kultivátoros művelés=direktvetés. A megfelelési rangsor szélsőséges években észlelt klimatikus körülményekre és talajállapokra vonatkozik. A direktvetés talajállapot előnye jelenleg még nem jelentkezik a termésben. A kultivátorra alapozott rendszerek azonban, a fokozatos talajállapot javulás mellett (**Bottlik, 2016; Kalmár, 2016**), a termés biztonság megtartásával vagy növelésével (**Kende, 2019**) bizonyítanak. A jelenleginél még szélsőségesebb időjárási körülmények esetén a művelések rangsora is vélhetően módosul, azonban a kisebb talajállapot kárt okozó, de a nehéz helyzetekhez képest elfogadható termés elérésének igénye nem változik.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A talaj az egyik legjelentősebb természeti erőforrás, megkímélése, termékenységének javítása Horvátországban és Magyarországon egyaránt kívánatos. A talajokat napjainkban a szakszerűtlen, a víz- és szénvesztő művelés mellett a klíma eredetű károk gyengítik. Emellett mind gyakrabban fordulnak elő, illetve erősödnek fel olyan, klímával összefüggő szélsőségek, amelyek a növényt és a talajt egyaránt veszélyeztetik. Ugyanakkor, a talajok megújulása az emberi tevékenységgel elkövetett hibák után nagyon lassú folyamat. Ezáltal jelentősen növekszik növénytermesztés kockázata. Az időjárással összefüggő károk csökkentése (a nedvesség befogadására és visszatartására való talajállapot kialakítása, a lazult réteg mélységének megtartása) nagy kihívás. Kutatómunkámat két különböző termőhelyen végeztem, három vegetációban, 2015 és 2018 között. Az elsőt üzemi jellegű művelési kísérletet Lukács határában (Verőce-Drávamente megye – Horvátország), Luvic Stagnosol [Siltic] talajon állítottuk be. A másik vizsgálati terület a Szent István Egyetem, GAK Kft. Józsefmajori Kísérleti- és Tangazdaságának (Hatvan térség) 2002 óta folyó tartamkísérletben, Endocalcic Chernozem (Loamic) talajon volt. Ebben a kísérletben hat különböző (tárcsázás, sekély kultivátoros, direktvetés, kultivátoros, szántás és lazításos) művelési kezelést vizsgáltunk. Míg Lukácson az első kutatási évben két művelést (szántás és kultivátoros művelés), a második évben pedig kibővítettük a sekély kultivátoros műveléssel, és az utolsó évben, 2018-ban művelés nélküli direktvetést vizsgáltunk. A művelési mélység és a termesztett növények – kukorica, őszi zab, szója – azonosak voltak. A kísérletekben a hagyományos és az alkalmazkodó művelési rendszereket összevető vizsgálatok folytak. Dolgozatomban a kutatási céljaim az alábbiak voltak:

- az alkalmazkodó és a hagyományos művelés talajra gyakorolt hatásainak összevetése néhány talajállapot jellemző alapján (talajjellenállás, talajnedvesség-tartalom, felszín borítottság, agronómiai szerkezet és földigiliszta egyedszám), két térségben (glejes erdőtalaj Horvátországban Luvic Stagnosol [Siltic], csernozjom talaj Endocalcic Chernozem (Loamic) Magyarországon),
- takart és takaratlan felszín talajra gyakorolt hatásának vizsgálata (talajjellenállás, talajnedvesség 0-10 cm rétegben, agronómiai szerkezet, földigiliszta egyedszám) a kitérttség alapján
- a szántásos és a mulcshagyó művelések megfelelésének értékelése szélsőséges években,
- klímakár-csökkentésre alkalmas talajművelési rendszerek értékelése, rangsorolása megfelelésük alapján.

A mért paraméterek alapján, a kapott eredményekre a statisztikai adatfeldolgozást az *IBM SPSS Statistics 25* programmal végeztem. Az adatok normalitását *Kolmogorov-Smirnov* próbával, a varianciák homogenitását pedig Levene-tesztel ellenőriztem. Továbbá, kétmintás t-próbát, F-próbát és egytényezős varianciaanalízist alkalmaztam, míg a jelentős eltérést meghatározását a *Tukey HSD* (Honestly Significant Difference – valódi jelentős eltérés) post hoc próbával végeztem el. A korrelációs vizsgálatokra Pearson-féle lineáris korrelációt használtam.

Célkitűzéseimnek megfelelően az időjárási és a művelési tényezők a talajra gyakorolt együttes hatását mindkét termőhelyen vizsgáltam. Kísérleteinkben a nedvesség különbségek között többnyire szignifikáns eltérések alakultak ($p < 0,01$; $p < 0,05$). Nagyobb nedvességtartalmat a lazításos, a kultivátoros és a tömör talptól mentes szántásban mértem, ahol a beszivárgást és a nedvességforgalmat nem, vagy elhanyagolható mértékben akadályozta a műveléssel kialakult tömör állapot. A talpképzés miatt a szántás és a tárcsás művelés a nedvességforgalom szempontjából kedvezőtlen művelésnek minősíthető. A lazult réteg mélysége penetrométeres talajellenállás mérésekkel jól nyomon követhető volt. Mindkét kísérletben statisztikailag igazolható volt a különbség, a szántott és a forgatás nélkül művelt talajok ellenállása között. Több és rendszeres mérések alapján bizonyítani tudtam, hogy a művelt réteg alatt, a kultivátoros művelésekben ritkábban alakult ki gyökerezést akadályozó állapot, míg szántott talajban gyakrabban. A talajfelszín borítottságot új megközelítéssel vizsgáltam, a takarási arányokat öt kategóriába soroltam be, vagyis 0-10, 11-25, 26-45, 46-70 és 71-100%. A direktvetésben és a kultivátoros művelésben a takarási arányok megfeleltek nemzetközi elvárásoknak ($\geq 30\%$). Az agronómiai szerkezet vizsgálva szignifikáns különbségeket mutattam ki a morzsaromboló (szántás, tárcsázás) és a morzsakímélő (kultivátoros, lazításos, direktvetéses) kezelések között. A korrelációs vizsgálatok alapján, a felszínen az alacsony nedvesség révén nagyobb rögzösödés várható, míg a talajnedvesség a 0-5 cm és az 5-10 cm rétegben gyenge, pozitív hatással van a morzsa arányára. A klimatikus és talajtényezők a tavaszi időszakban (80-100 db/m²/30cm) nyújtották legkedvezőbb élőhelyet a földigilisztáknak (glej talajban ≥ 150 , csernozjom talajban ≥ 200), a gabonaaratás után pedig a takart tarlóknban (40-60 db/m²/30cm). Az időjárási tényezőknek kitettség alapján a művelések objektíven voltak értékelhetők. Adott klíma szélsőségeik esetén a tartósan védő felszint hagyó művelések kaphatnak előnyt (mulcshagyó direktvetéses vagy kultivátoros). A művelési rendszerek megfelelősége a fent említett vizsgálatok alapján, a lukácsi Luvic Stagnosol [Siltic] talajon – növekvő sorrendben – a következő: szántás < direktvetés < sekélykultivátoros művelés < kultivátoros művelés. A józsefmajori Endocalcic Chernozem [Loamic] talajon – növekvő sorrendben – a következő: szántás < tárcsázás < lazítás < sekély kultivátoros művelés = kultivátoros művelés = direktvetés.

7. SUMMARY

The soil is one of the most important natural resources, its preservation and the improvement of the fertility is essential in Croatia and Hungary as well. Nowadays, our soils, on one hand, are endangered by inappropriate tillage operations, that promote water and carbon loss, and on the other hand, they also afflicted by climate induced phenomena. Besides, there are more frequently occurring extreme climatic conditions that afflict plants and soils as well. However, the regeneration of soils due to human disturbance is a very slow process, thus, the risk of crop production increases significantly. It is a great challenge to decrease the weather-related damages e.g. to obtain the best soil condition in order to infiltrate and retain moisture, to keep the optimal depth of loosened layer. I carried out the research in two different sites, in three vegetation periods, between 2015 and 2018. The first tillage experiment was set up near Lukács (Verőce-Drávamente County, Croatia), on Luvic Stagnosol [Siltic] soil. The other experiment was carried out in Józsefmajor, the Experimental and Training Farm of Szent István University (near Hatvan) on Endocalcic Chernozem (Loamic) soil. The long-term tillage experiment was set up in 2002. In this experiment six different tillage (disking, shallow cultivation, no-till, deep cultivation, ploughing and loosening) treatments were examined. In Lukács, in the first year two tillage treatments (ploughing and deep cultivation) were examined, a shallow cultivation was included in the second year, then no-till was added in the last year (2018). The depth of tillage and the crops (maize, winter oat and soybean) were the same on both experimental sites. The traditional and the adaptable tillage systems were compared in my research work. The objectives of the research were as follows:

- to compare the effects of adaptable and traditional tillage on soils based on some soil physical parameters (soil penetration resistance, soil moisture content, surface cover, agronomic structure, and earthworm abundance) in two sites (Luvic Stagnosol [Siltic] in Croatia, and Endocalcic Chernozem (Loamic) in Hungary),
- to compare the effects of covered and uncovered soil surface based on the soil exposure (soil penetration resistance, soil moisture content in 0-10 cm layer, agronomic structure and earthworm abundance)
- to evaluate the adequacy of ploughing and mulch tillage systems in extreme years,
- to evaluate and rank the tillage systems that are suitable to mitigate climate damage based on their suitability.

The statistical data processing was carried out by *IBM SPSS Statistics 25 Program*. The normality of the data was checked by *Kolmogorov-Smirnov* test, the homogeneity of the variances was verified by Levene test. Furthermore, two-sample t-test, F-test and one-way ANOVA were applied, while, significant differences was determined by *Tukey HSD* (Honestly Significant Difference) post hoc test. The correlations were carried out by Pearson's linear correlation analysis.

According to my objectives, I proved that both weather and tillage parameters influenced the soils in both sites and soils. In our experiment, the differences in soil moisture content were significant ($p < 0,01$; $p < 0,05$) in most cases. Greater soil moisture contents were measured in loosening, deep cultivation and ploughing without plough pan, where water infiltration and movement were not hindered, or just to a negligible extent, by the compacted state of the soil. Ploughing and disking can be considered unfavorable for water movement due to the pan formation. The depth of loosened layer could be well documented by the penetrometer measurements. Significant difference was proven in both experiments in soil penetration resistance values of ploughing and the other non-inverting treatments. Based on the several measurements that were carried out regularly, I could prove that under the tilled layer, a compact state formed rarely under deep cultivation, while it was frequent under ploughing. The soil surface cover was examined by a new approach, and the cover rates were put into five categories (0-10, 11-25, 26-45, 46-70 and 71-100%). The surface cover ratios met the international requirements ($\geq 30\%$) in no-till and deep cultivation treatments. According to the agronomic structure, significant differences were proven between the crumb destroying (ploughing, disking) and crumb saving (deep cultivation, loosening, no-till) treatments. Based on the correlation analyses, greater clodding is expected on the soil surface due to the lower soil moisture content, while the soil moisture content in 0-5 and 5-10 cm depths has weak positive effect on the ratio of crumbs. In springtime, the most suitable environmental circumstances for earthworms were provided by the climatic and soil parameters (80-100 ind/m²/30cm), and under the covered stubble after cereal harvest (40-60 ind/m²/30cm). Tillage treatments were evaluated on the bases of the exposure to the weather factors. In case of climate extremes, the permanently covered soil surfaces (no-till or deep cultivation) can be found to be beneficial. The suitability of the tillage systems based on the above examinations can be ranked as follows (with increasing order) on the Luvic Stagnosol [Siltic] at Lukács: ploughing < no-till < shallow cultivation < deep cultivation. The rank is the following (with increasing order) in the Endocalcic Chernozem soil at Józsefmajor: ploughing < disking < loosening < shallow cultivation = deep cultivation = no-till.

8. MELLÉKLETEK

8.1 M1. Irodalomjegyzék

- ABAIL, Z. – WHALEN, J.K. 2018. Corn residue inputs influence earthworm population dynamics in a no-till corn-soybean rotation. *Applied Soil Ecology* 127. pp. 120-128
- ABDI, H. – WILLIAMS, L.J. 2010. Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) Test. In: Salkind, N. (ed.) *Encyclopedia of Research Design*. Sage Thousand Oaks, CA. pp. 1-6
- ABDUL KADER, M. – SENGE, M. – ABDUL MOJID, M. – NAKAMURA, K. 2017. Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed condition in central Japan. *International Soil and Water Conservation Research* 5. pp. 302-308
- ACAR, M. – CELIK, I. – GÜNAL, H. 2008. Effects of long-term tillage systems on aggregate-associated organic carbon in the eastern Mediterranean region of Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science* 7. pp. 51-58
- ACHARYA, C.L. – HATI, K.M. – BANDOPADHYAY, K.K. 2005. Mulches. In: Hillel Det al. (eds.) *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier Publication. pp. 521-532
- AINA, P. O. – LAL, R. – ROOSE, E. J. 1991. Tillage methods and soil and water conservation in West Africa. *Soil and Tillage research* 20. pp. 165-186
- AKHTAR, K. – WANG, W. – REN, G. – KHAN, A. – FENG, Y. – YANG, G. 2018. Changes in soil enzymes, soil properties, and maize crop productivity under wheat straw mulching in Guanzhong, China. *Soil and Tillage Research* 182. pp. 94-102
- AL-KAISI, M.M. – YIN, X. 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality Abstract* 34. pp. 437-445
- ALLEN, R.R. – FENSTER, C.R. 1986. Stubble-mulch equipment for soil and water conservation in the Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation* 41. pp. 11-16
- ALVAREZ, R. – STEINBACH, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research* 104. pp. 1-15
- ANAYA-ROMERO, M. – ABD-ELMABOD, S.K. – MUNOZ-ROJAS, M. – CASTELLANO, G. – CEACERO, C.J. – ALVAREZ, S. – MÉNDEZ, M. – DE LA ROSA, D. 2015. Evaluating soil threats under climate change scenarios in the Andalusia region, Southern Spain. *Land degradation & development*. 26 (5). pp. 441-449
- ASSENG, S. – FOSTER, I. – TURNER, N.C. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*. 17 (2). pp. 997-1012

- ASSENG, S. – EWERT, F. – MARTRE, P. – RÖTTER, R.P. – LOBELL, D.B. – CAMMARANO, D. – KIMBALL, B.A. – OTTMAN, M.J. – WALL, G.W. – WHITE, J.W. – REYNOLDS, M.P. – ALDERMAN, P.D. – PRASAD, P.V.V. – AGGARWAL, P.K. – ANOTHAI, J. – BASSO, B. – BIERNATH, C. – CHALLINOR, A.J. – DE SANCTIS, G. – DOLTRA, J. – FERERES, E. – GARCIA-VILLA, M. – GAYLER, S. – HOOGENBOOM, G. – HUNT, L.A. – IZAURRALDE, R.C. – JABLOUN, M. – JONES, C.D. – KERSEBAUM, K.C. – KOEHLER, A-K. – MÜLLER, C. – NARESH KUMAR, S. – NENDEL, C. – O’LEARY, G. – OLESEN, J.E. – PALOSUO, T. – PRIESACK, E. – EYSHI REZAEI, E. – RUANE, A.C. – SEMENOV, M.A. – SHCHERBAK, I. – STÖCKLE, C. – STRATONOVITCH, P. – STRECK, T. – SUPIT, I. – TAO, F. – THORBURN, P.J. – WAHA, K. – WANG, E. – WALLACH, D. – WOLF, J. – ZHAO, Z. – ZHU, Y. 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change* 5. pp. 143-147
- BACKMAN, C.A. – VERBEKE, A. – SCHULZ, R.A. 2017. The drivers of corporate climate change strategies and public policy: a new resource-based view perspective. *Business and Society* 4. pp. 545-575
- BAI, Z. – CASPARI, T. – RUIPEREZ GONZALEZ, M. – BATJES, N.H. – MÄDER, P. – BÜNEMANN, E.K. – DE GOEDE, R. – BRUSSAARD, L. – XU, M. – SANTOS FERREIRA, C.S. – REINTAM E. – FAN, H. – MIHELIČ, R. – GLAVAN, M. – TÓTH, Z. 2018. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265. pp. 1-7
- BAKER, J.B. – SOUTHWARD, R.J. – MITCHELL, J.P. 2005. Agricultural dust production in standard and conservation tillage systems in the San Joaquin Valley. *Journal of Environmental Quality* 34. pp. 1260-1269
- BAKER DE C.J., SAXTON E., RITCHIE W.R. 2006. No-tillage seeding in Conservation Agriculture. CABI Publishing. p. 317
- BAKLANOV, SZ. – HOREL, Á. – GELYBÓ, GY. – TÓTH, E. – DENCŐ, M. – UJJ, E. – POTYÓ, I. 2019. Különböző földhasználatú területek talajának nitrogénforgalmi vizsgálatá változó hőmérsékleti értékeken. *Agrokémia és Talajtan* 68 (1). pp. 79-96
- BALESDENT J. – CHENU C. – BALABANE M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53 (3-4) pp. 215-230
- BARTHOLY, J. – PONGRÁCZ, R. 2005a. Néhány extrém éghajlati paraméter globális és a Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században. *AGRO-21 Füzetek* 40. pp. 70-93
- BARTHOLY, J. – PONGRÁCZ, R. – SZÉPSZÓ, G. 2008. A PRUDENCE projekt eredményei. Előadás, Budapest 04.20.
- BARUTA ZB. – ERTEKINB C. – KARAAGACCHA. 2011. Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey. *Energy*. 36 (9). pp. 5466-5475
- BASCH, G. – GERAGHTY, J. – STREIT, B. – STURNY, W. G. – 2008. No-tillage in Europe – state of the art: constraints and perspective. In: Goddard, T., Zoebisch, M. A., Gan, Y.,

- Special Publication No3. World Association of Soil and Water Conservation, Thailand, pp. 159-168.
- BAŠIĆ F. 2013. Soil as a Natural Resource of Croatia. In: The Soils of Croatia. World Soils Book Series. Springer, Dordrecht. pp. 9-22
- BAŠIĆ F. 2014. Regionalizacija Hrvatske poljoprivrede u zajedničkoj poljoprivrednoj politici EU, Civitas Crisiensis 1. pp. 143-176
- BAŠIĆ, F. – BOGUNOVIĆ, M. – BOŽIĆ, M. – HUSNJAK, S. – JURIĆ, I. – KISIĆ, I. – MESIĆ, M. – MIROŠEVIĆ, N. – ROMIĆ, D. – ŽUGEČ, I. 2001. Regionalizacija hrvatske poljoprivrede, rukopis, Sveučiliste u Zagrebu, Agronomski fakultet, p. 254.
- BAŠIĆ F. – KISIĆ I. – MESIĆ M. – NESTROY O. – BUTORAC A. 2004. Tillage and crop management effects on soil erosion in Central Croatia. Soil and Tillage Research 78. pp. 197-206
- BAUMHARDT, R.L. – JONES, O.R. 2002. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. Soil and Tillage Research 68. pp. 71-82
- BENCSEK, K. 2007. Talajművelési módok és a talaj agronómiai szerkezetének összefüggései. Agrokémia és Talajtan 56 (1). pp. 21-28
- BENCSEK, K. 2007. Talajművelési módok és a talaj agronómiai szerkezetének összefüggései. Agrokémia és Talajtan 56 (1). pp. 21-28
- BENCSEK, K. – UJJ, A. – STINGLI, A. – MIKÓ, P. 2005. The connection between physical and agronomical texture of soil. IVth Proceedings of Alps-Adria Scientific Workshop. Portoroz, Slovenia. Cereal Research Communications 33 (1). pp. 157-160
- BENGTSSON, J. – AHNSTRÖM, J. – WEIBULL, A-C. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. Journal of Applied Ecology 42 (2). pp. 261-269
- BERENDSE, F. – VAN RUIJVEN, J. – JONGEJANS, E. – KEESSTRA, S. 2015. Loss of plant species diversity reduces soil erosion resistance. Ecosystems 18 (5). pp. 881-888
- BILANDŽIJA, D. – ZGORELEC, Z. – KISIĆ, I. 2014. The influence of agroclimatic factors on soil CO₂ emissions. Coll. Antropol. 38. Suppl 1., pp. 77-83
- BIRKÁS, M. 1987. A talajművelés minőségét befolyásoló agronómiai tényezők. Kand. értekezés, Gödöllő
- BIRKÁS, M. 2006a. A művelés célja – hagyományok, új törekvések. In: Környezetkímélő, alkalmazkodó talajművelés (Szerk. Birkás, M.) Akaprint Nyomdaipari Kft, Budapest. pp. 48-54
- BIRKÁS, M. 2008. Development of soil tillage in the Pannonian region. In: Environmentally-sound adaptable tillage. (Ed.: Birkás, M.), Budapest, Akadémiai Kiadó, pp. 46-48

- BIRKÁS, M. 2010. Talajművelők zsebkönyve. Budapest: Mezőgazda Kiadó. pp. 138-147
- BIRKÁS, M. 2011. Tillage, impacts on soil and environment. In: Encyclopedia of Agrophysics. (eds.: Glinski, J., Horabik, J., Lipiec, J.) Dordrecht, Springer. pp. 903-906
- BIRKÁS, M. 2018. Talajművelési ABC. Mezőgazda Kiadó. p. 251
- BIRKÁS, M. – GYURICZA, CS. 2001. A szélsőséges csapadékellátottság hatása az őszi búza néhány termesztési tényezőjére barna és erdőtalajon. Növénytermelés 50. pp. 333-344
- BIRKÁS, M. – SZALAI, T. – GYURICZA, CS. – GECSE, M. – BORDAS, K. 2002. Effect of disc tillage on soil condition, crop yield and weed infestation. Rostl. Vyr. 48. pp. 20-26
- BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. – GYURICZA, CS. – PERCZE, A. 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. Soil and Tillage Research. 78 (2) pp. 185-196.
- BIRKÁS, M. – KALMÁR, T. – FENYVESI, L. – FÖLDESI, P. 2007a. Realities and beliefs in sustainable soil tillage. Cereal Research Communication 35. pp. 257-260
- BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. – STINGLI, M. – BOTTLIK, L. 2007b. Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. "Klíma-21" füzetek 51, pp. 34-47
- BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. 2008. A növénytermesztés és a klímaváltozás összefüggése. In: Klímaváltozás: Környezet-Kockázat-Társadalom. Kutatási Eredmények. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 131-151
- BIRKÁS M. – JOLÁNKAI M. – KISIĆ I. – STIPEŠEVIĆ B. 2008a. Soil tillage needs a radical change for sustainability. Agriculture Conspectus Scientificus. 73 (3). pp. 131-136
- BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. – KISIĆ, I. – STIPEŠEVIĆ, B. – 2008b. Soil tillage needs a radical change dor sustainability. Agriculturae Conspectus Scientificus 73. pp. 131-136
- BIRKÁS, M. - KISIĆ, I. – BOTTLIK, L. – JOLÁNKAI, M. - MESIĆ, M. – KALMÁR, T. 2009. Subsoil compaction as a climate damage indicator. Agriculturae Conspectus Scientificus 74 (2). pp. 91-97
- BIRKÁS, M. – BOTTLIK, L. – STINGLI, A. – GYURICZA, CS. – JOLÁNKAI, M. 2010. Effect of soil physical state ont he earthworms in Hungary. Applied and Environmental Soil Science 2010. Article ID 830853. pp. 7
- BIRKÁS, M. - KISIĆ, I. – JUG, D. – SMUTNÝ, V. 2010. The impacts of surface mulch-cover and soil preserving tillage ont he renewal of the top soil layer. Agriculture in nature and environment pretection. 3rd Internationa Scientific/professional conf. Vukovar, 31st May – 2nd June, 2010. Proc. (Eds.: Jug, D., Sorić, R.) Glas Slavonije d.d. Osijek, pp. 21-27
- BIRKÁS, M. - KISIĆ, I. – JUG, D. – SMUTNÝ, V. 2011. Remedying water-logged soils by means of adaptable tillage. Agriculture in nature and environment pretection. 3rd Internationa Scientific/professional conf. Vukovar, 1-3 June, 2011. Proceedings&Abstracts (Eds.: Stipešević, B., Sorić, R.) Glas Slavonije d.d. Osijek, pp. 11-22

- BIRKÁS, M. KISIĆ, I. – JUG, D. – BOTTLIK, L. – PÓSA, B. 2012_a. Soil phenomena and soil tillage defects in the past two years – A scientific approach. Proceedings & Abstracts 5th International Scientific/professional conference. Agriculture in Nature and Environment Protection. Vukovar 2012. (Eds.: Stipešević, B., Sorić, R.) Glas Slavonije d.d. Osijek, pp. 11-23
- BIRKÁS, M. – KALMÁR, T. - KISIĆ, I. – JUG, D. – SMUTNÝ, V. – SZEMŐK, A. 2012_b. A 2010. évi csapadék jelenségek hatása a talajok fizikai állapotára. Növénytermelés 61 (1) pp. 7-36
- BIRKÁS, M. – KENDE, Z. – PÓSA, B. 2015_a. A környezetkímélő talajművelés szerepe a klímakár-enyhítésben. In: Madarász, B. (szerk.) Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon. MTA CSFK FTI. Budapest pp. 32-40
- BIRKÁS, M. - KISIĆ, I. – MESIĆ, M. – JUG, D. – KENDE, Z. 2015_b. Climate induced soil deterioration and methods for mitigation. Agriculturae Conspectus Scientificus 80 (1). pp. 17-24
- BIRKÁS, M. - MESIĆ, M. - SMUTNÝ, V. 2015_c. Soil conservation tillage in crop production. Contemporary agriculture 64 (3-4). pp. 248-254
- BIRKÁS, M. – DEKEMATI, I. – KENDE, Z. – PÓSA, B. 2017_a. Review of soil tillage history and new challenges in Hungary. Hungarian Geographical Bulletin 66. pp. 55-64
- BIRKÁS, M. – DEKEMATI, I. - KISIĆ, I. – PÓSA, B. 2017_b. Results of the soil quality preservation in the extreme seasons. Agriculture in the Nature and Environment Protection. 10th International Scientific/Professional Conference, Vukovar 5th-7th June, 2017. Proceedings and Abstracts (Eds.: Mijić, P., Ranogajec, L.) Glas Slavonije d.d. Osijek, pp. 10-19
- BIRKÁS, M. – DEKEMATI, I. – KENDE, Z. – RADICS, Z. – SZEMŐK, A. 2018_a. A sokszántásos műveléstől a direktvetésig – Előrehaladás a talajművelésében és védelmében. Agrokémia és talajtan. 67 (2). pp. 253-268
- BIRKÁS, M. – BOGUNOVIĆ, I. – DEKEMATI, I. – KISIĆ, I. – RADICS, Z. 2018_b. Adaptable tillage – is that a solution for the present climate situation? In: Jug D., Brozović B. (eds.) Proceedings and Abstracts, 11th international/professional conference agriculture in nature and environment protection. 28-30 May, 2018. Vukovar. Glas Slavonije d.d., Osijek.
- BIRKÁS, M. – JUG, D. – KENDE, Z. - KISIĆ, I. – SZEMŐK, A. 2018_c. Soil tillage response to the climate threats – Revaluation of the classic theories. Agriculturae Conspectus Scientificus 93 (1). pp. 1-9
- BLOUIN, M. – HODSON, M.E. – DELGADO, E.A. – BAKER, G. – BRUSSAARD, L. – BUTT, K.R. – DAI, J. – DENDOOVEN, L. – PÉRÉS, G. – TONDOH, J.E. – CLUZEAU, D. – BRUN, J.J. 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. European Journal of Soil Science 64. pp. 161-182

- BOGUNOVIĆ, I. - KISIĆ, I. - JURIŠIĆ, A. 2014b. Soil compaction under different tillage system on stagnic luvisols. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 79 (1). pp. 57-63
- BOGUNOVIĆ, I. – KISIĆ, I. – SRAKA, M. DEKEMATI, I. 2015. Temporal changes in soil water content and penetration resistance under three tillage systems. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 80 (4). pp. 187-195
- BOGUNOVIĆ, I. – KISIĆ, I. – MALETIĆ, E. – JURIŠIĆ, A. – ROŠKAR, L. – DEKEMATI, I. 2016. Soil compaction in different ages vineyards in Pannonian Croatia. Part II. Modeling spatial variability of soil compaction parameters in vineyard. *Journal of Central European Agriculture* 17 (2). pp. 545-562
- BOGUNOVIĆ, I. – Trevisani, S. – Seput, M. – Juzbašić, D. – Đurđević, B. 2017. Short-range and regional spatial variability of soil chemical properties in an agro-ecosystem in eastern Croatia. *Catena* 154. pp. 50-62
- BOGUNOVIĆ, I. – PEREIRA, P. – KISIĆ, I. – SAJKO, K. – SRAKA, M. 2018. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). *Catena* 160. pp. 376-384
- BOGUNOVIĆ, I. – FERNANDEZ, M.P. – KISIĆ, I. – MARIMÓN, M.B. 2019. Agriculture and grazing environments. Chapter Two. In: *advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection* 4. pp. 23-70
- BOGUNOVIĆ, I. – KOVÁCS, G.P. – DEKEMATI, I. – KISIĆ, I. – BALLA, I. – BIRKÁS, M. 2019. Long-term effect of soil conservation tillage on soil water content, penetration resistance, crumb ratio and crusted area. *Plant, Soil and Environment* 65. pp. 442-448
- BOGUNOVIĆ, I. – KISIĆ, I. 2013. Soil water content in tillage induced system. In: Vukadinović V., Đurđević B. (eds.) *Soil and Crop Management: Adaptation and mitigation of climate change*. Osijek, Croatia. pp. 99-107
- BOGUŽAS, V. – KAIRYTĖ, A. – JODAugIENĖ, D. 2010. Soil physical properties and earthworms as affected by soil tillage systems, straw and green manure management. *Žemdirbyste=Agriculture* 97 (3). pp. 3-14
- BONFILIS, C. – LOBELL, D. 2007. Empirical evidence for a recent slowdown in irrigation-induced cooling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104. pp. 13582-13587
- BOONE, F. R., 1988. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. *Soil and Tillage Research* 11. pp. 283-324
- BOSTRÖM, U. 1995. Earthworm populations (Lumbricidae) in ploughed and undisturbed leys. *Soil and Tillage Research* 35. pp. 125-133
- BOTTLIK, L. 2016. A felszíntakarás jelentősége a talajvédelemben és a klímakárok enyhítésében. Doktori értekezés. Gödöllő. p. 188

- BOTTLIK, L. – CSORBA, SZ. – GYURICZA, CS. – KENDE, Z. – BIRKÁS, M. – 2014. Climate challenges and solutions in soil tillage. *Applied ecology and environmental research* 12 (1) pp. 13-23
- BRANKOVIĆ, Č. – BRAY, J. - CALLAWAY J. - DULČIĆ J. - GAJIĆ-ČAPKA M. - GLAMUZINA B. - HEIM I. - JAPEC L. - KALINSKI V. - LANDAU S. - LEGRO S. - OIKON ORTL F. – PATARČIĆ M. - SRNEC L. - ŠIMLEŠA D. - ZANINOVIĆ K. - ZNAOR D. 2009. A Climate for Change, Climate change and its impacts on society and economy in Croatia (United Nations Development Programme (UNDP) in Croatia, Zagreb, 2009.
- BREVIK, E.C. 2012. Soil and climate change: gas fluxes and soil processes. *Soil Horizons* 53. pp. 12-23
- BRIONES, M.J.I. – SCHMIDT, O. 2017. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworm and alters their community structure in a global meta-analysis *Global Change Biology* 23. pp. 4396-4419
- BRONICK, C.J. – LAL, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124. pp. 3-22
- BROWN, G.G. – BAROIS, I. – LAVELLE, P. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology* 36. pp. 177-198
- BURAGIENĖ S. – ŠARAUSKIS E. - ROMANECKAS K. - ADAMAVIČIENĖ A. - KRIAUCIŪNIENĖ Z. - AVIŽIENYTĖ D. – MAROZAS V. - NAUJOKIENĖ V. 2019. Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of the Total Environment* 662. pp. 786-795
- BUSARI, M.A. – KUKAL, S.S. – KAUR, A. – BHATT, R. – DULAZI, A.A. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research* 3. pp. 119-129
- BUTORAC, A. – KISIĆ, I. – BUTORAC J. 2006. Konzervacijska obrada tla u Europskim državama (Conservation tillage in the European countries). *Agronomski glasnik* 2. pp. 109-136
- BÚZÁS I. 1993. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertankönyv 1. INDA 4231, Budapest. p. 357
- CAI, T. – ZHANG, C. – HUANG, Y. – HUANG, H. – YANG, B. – ZHAO, Z. – ZHANG, J. – JIA, Z. 2015. Effects of different straw mulch modes on soil water storage and water use efficiency of spring maize (*Zea mays* L.) in the Loess Plateau of China. *Plant Soil Environment* 61. pp. 235-259
- CARTER, M.R. – RENNIE, D.A. 1982. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Canadian Journal of Soil Science* 62. pp. 587-597

- Commission of the European Communities (CEC) 2006. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council, establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC. Com 231, Brussels
- CELIK, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research* 83. pp. 270-277
- CERDÁ, A. 2000. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. *Soil and Tillage Research* 36. pp. 1-8
- CHAN, K-Y. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soils. *Soil and Tillage Research* 57. pp. 179-191
- CHATTERJEE, S. – BANDYOPADHAY, K.K. – PRADHAN, S. – SINGH, R. – DATTA, S.P. 2016. Influence of irrigation, crop residue mulch and nitrogen management practices on soil physical quality. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 64. pp. 351-367
- CHEN, X.W. – LIANG, A.Z. – JIA, S.X. – ZHANG, X.P. – WEI, S.C. 2014. Impact of tillage on physical characteristics in a Mollisol on Northeast China. *Plant, Soil and Environment* 60. pp. 309-313
- CHENU, K. – ROY PORTER, J. – MARTRE, P. – BASSO, B. – CAMERON CHAPMAN, S. – EWERT, F. – BINDI, M. – ASSENG, S. 2017. Contribution of crop models to adaptation in wheat. *Trends in Plant Science*. 22. pp. 472-490
- CHERLET, M. – IVITS, E. – SOMMER, S. – TÓTH, G. – JONES, A. – MONTANARELLA, L. – BELWARD, A. 2013. Land productivity Dynamics in Europe - Towards a Valuation of Land Degradation in the EU. pp. 80
- CONSTANZA, R. – D'ARGE, R. – DE GROOT, R. – FARBER, S. – GRASSO, M. – HANNON, B. – LIMBURG, K. – NAEEM, S. – O'NEIL, E.V. – PARUELO, J. – RASKIN, R.G. – SUTTON, P. – VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387. pp. 253-260
- COOTE, D. R. – MALCOLM-MCGOVERN, C. A. 1989. Effects of conventional and no-till corn grown in rotation on three soils in Eastern Ontario. *Soil and Tillage Research* 14 (1) pp. 67-84.
- COPEK, K. – FILIPOVIĆ, D. – HUSNJAK, S. – KOVAČEV, I. – KOŠUTIĆ, S. 2015. Effects of tillage systems on soil water content and yield in maize and winter wheat production. *Plant Soil Environ* 61 (5). pp. 213-219
- CRITTENDEN, S.J. – ESWARAMURTHY, T. – DE GOEDE, R.G.M. – BRUSSAARD, L. – PULLEMAN, M.M. – 2014. Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farming. *Applied Soil Ecology* 83. pp. 140-148
- CURRY, J.P. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*. St. Lucie Press, Boca Raton. p. 389

- ČMELIK, Z. – HUSNJAK, S. 2011. Regionalizacija voćarske proizvodnje u Virovitičko-podravskoj županiji. Naručitelj projekta: Virovitičko-podravska županija. p. 146
- DAL FERRO, N. – SARTORI, L. – SIMONETTI, G. – BERTI, A. – MORARI, F. 2014. Soil macro- and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. *Soil and Tillage Research* 140. pp. 55-65.
- DARÓCZI, S. 2005. Talajtömörtség-mérő műszer. Szarvas. Kézirat. 4.
- DARYANTO, S. – WANG, L. – JACINTHE, P-A. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS ONE*. 11. e0156362 pp. 1-15
- DAS, A. – LAYEK, J. – RAMKRUSHNA, G.I. – RANGAPPA, K. – LAL, R. – GHOSH, P.K. – CHOUDHURY, B.U. – MANDAL, S. – NGANGOM, B. – DEY, U. – PRAKASH, N. 2019. Effects of tillage and rice residue management practices on lentil root architecture, productivity and soil properties in India's Lower Himalays. *Soil and Tillage Research* 194. 104313
- DEAN, G.J. – MERRY, A.M. 2015. Comparison of stubble management strategies in the high rainfall zone. In 17th Australian Society of Agronomy Conference. pp. 1-4
- DEKEMATI, I. - BOGUNOVIĆ, I. – KISIĆ, I. RADICS, Z. – SZEMŐK, A. – BIRKÁS, M. 2019_a. The effects of tillage-induced soil disturbance on soil quality condition. *Polish Journal of Environmental Studies* 28 (5). pp. 3665-3673
- DEKEMATI, I. – SIMON, B. – VINOGRADOV, SZ. – BIRKÁS, M. 2019_b. The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. *Soil and Tillage Research* 194. 104334
- DE LA ROSA, D. – ANAYA-ROMERO, M. – DIAZ-PEREIRA, E. – HEREDIA, N. – SHAHBAZI, F. 2009. Soil-specific agro-ecological strategies for sustainable land use – A case study by using MicroLEIS DSS in Sevilla Province (Spain). *Land Use Policy* 26 (4). pp. 1055-1065
- DE OLIVIERA, T. – BERTRAND, M. – ROGER-ESTRADE, J. 2012. Short-term effects of ploughing on the abundance and dynamics of two endogeic earthworm species in organic cropping systems in northern France. *Soil and Tillage Research* 119. pp. 76-84
- DE VITA, P. – DI PAOLO, E. – FECONDO, G. – DI FONZO, N. – PISANTE, M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research* 92. pp. 69-78
- DERPSCH, R. – SIDIRAS, N. – ROTH, C.H. 1986. Results of studies made from 1977-1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Parana, Brazil. *Soil and Tillage Research* 8. pp. 253-263
- DERPSCH, R. – FLORENTIN, M. – MORIYA, K. 2006. The laws of diminishing yields in the tropics. In *Proceedings of the 17th ISTRO Conference, Soil and Tillage Research*. Kiel, Germany, pp. 1218-1223

- DERPSCH, R. – FRIEDRICH, T. 2009. Development and current status of no-till adoption in the world. In: Proceedings of the 18th ISTRO Conference, Izmir. Turkey, pp. 1-16.
- DONG, Q. – YANG, Y. – YU, K. – FENG, H. 2018. Effects of straw mulching and plastic film mulching on improving soil organic carbon and nitrogen fractions, crop yield and water use efficiency in the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management* 201. pp. 133-143
- DORAN, J.W. – ZEISS, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15. pp. 3-11
- DÓKA, L.F. – PEPÓ, P. 2007. Role of water supply in monoculture maize (*Zea mays* L.) production. Proceedings of VI. Alps-Adria Scientific Workshop 35 (2) pp. 353-356
- DÖVENYI, Z. 2010. (szerk.) Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, pp. 876.
- DUMANSKI J. – REICOSKY D.C. – PEIRETTI R.A. 2014. Global pioneers in soil conservation: Common elements and lessons learned. Preface – *International Soil and Water Conservation Research* 2 (1) pp. 1-4
- DUNKEL, Z. 2017. A Magyarországi klímaváltozás nyomon követése a hőmérsékleti térképek alapján. *Légkör* 62 (4). pp. 194-200
- DWYER, L. M. – MA, B. L. – STEWART, D. W. – HAYHOE, H. N. – BALCHIN, D. – CULLEY, J. L. B. – MCGOVERN, M. 1996. Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Canadian Journal of Soil Science* 76 (1) pp. 23-28.
- EDWARDS, C.A. – LOFTY, J.R. 1980. Effects of earthworm inoculation upon the root growth of direct drilled cereals. *Journal of Applied Ecology* 17. pp. 533-543
- EDWARDS, C.A. – BOHLEN, P.J. 1996. *Earthworm ecology and biology*. London: Chapman & Hall. pp. 196-212
- ERIKSEN-HAMEL, N.S. – SPERATTI, A.B. – WHALEN, J.K. – LÉGÉRE, A. – MADRAMOOTOO, C.A. 2009. Earthworm populations and growth rates related to long-term crop residue and tillage management. *Soil and Tillage Research* 104. pp. 311-316
- ERNST, G. – FELTEN, D. – VOHLAND, M. – EMMERLING, C. 2009. Impact of ecologically different earthworm species on soil water characteristics. *European Journal of Soil Biology* 45. pp. 207-213
- EVANS, R. G. – STEVENS, W. B. – IVERSEN, W. M. – 2010. Development of strip tillage on sprinkler irrigated sugarbeet. *American Society of Agricultural and Biological Engineers. Applied Engineering in Agriculture* 26 (1) pp. 59-69
- FALLAHI, F. – RAOUFAT, M.H. 2008. Row-crop planter attachments in a direct planting system: A comparative study. *Soil and Tillage Research* 98. pp. 27-34
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Manual on Integrated Soil Management and Conservation Practices (FAO Land and Water Bulletin)*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy 2000.

- FARKAS, CS. – GYURICZA, CS. – LÁSZLÓ, P. 1999. Egyes talajfizikai tulajdonságok vizsgálata talajművelési tartamkísérletekben gödöllői barna erdőtalajon. *Növénytermelés* 48. pp. 323-336
- FERRISE, R. – MORIONDO, M. – BINDI, M. 2011. Probabilistic assessments of climate change impacts on durum wheat in the Mediterranean region. *Natural hazards and Earth System Sciences*. 11. pp. 1293-1302
- FILIPOVIĆ D. – HUSNJAK S. – KOŠUTIĆ S. – GOSPODARIĆ Z. 2006. Effects of tillage systems on compaction and crop yield of Albic Luvisol in Croatia. *Journal of Terramechanics* 43. pp. 177-189
- FISCHER, C. – ROSCHER, C. – JENSEN, B. – EISENHAUER, N. – BAADE, J. – ATTINGER, S. – SCHEU, S. – WEISSER, W.W. – SCHUMACHER, J. – HILDEBRANDT, A. 2014. How do earthworms, soil texture and plant composition affect infiltration along an experimental plant diversity gradient in grassland. *PloS One* 9. Article e98987 pp. 1-12
- FOSTER, T. – BROZOVIĆ, N. – BUTLER, A.P. 2015. Why well yield matters for managing agricultural drought risk. *Weather and Climate Extremes* 10. pp. 11-19
- FRANK, D. – REICHSTEIN, M. – BAHN, M. – THONICKE, K. – FRANK, D. – MAHECHA, M.D. – SMITH, P. – VAN DER VELDE, M. – VICCA, S. – BABST, F. – BEER, C. – BUCHMANN, N. – CANADELL, J.G. – CIAIS, P. – CRAMER, W. – IBROM, A. – MIGLIETTA, F. – POULTER, B. – RAMMIG, A. – SENEVIRATNE, S.I. – WALZ, A. – WATTENBACH, M. – ZAVALA, M.A. – ZSCHEISCHLER, J. 2015. Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts. *Global Change Biology* 21 (8) pp. 2861-2880
- GAO, Y. – DANG, X. – YU, Y. – LI, Y. – LIU, Y. – WANG, J. 2016. Effects of tillage methods on soil carbon and wind erosion. *Land Degradation & Development* 27 (3) pp. 583-591
- GAO, L. – BECKER, E. – LIANG, G. – HOUSSOU, A.A. – WU, H. – WU, X. – CAI, D. – DEGRÉ, A. 2017. Effect of different tillage systems on aggregate structure and inner distribution of organic carbon. *Geoderma* 288. pp. 97-104
- GEBHARDT, M.R. – DANIEL, T.C. – SCHWEIZER, E.E. – ALLMARAS, R.R. 1985. Conservation tillage. *Science* 230. pp. 625-630
- GECSE, M. 2001. Talajállapot-változások évente ismételt művelés hatására. *Növénytermelés* 50. pp. 83-94
- GECSE, M. – GALOVICS, A. 2001. A hagyományos és a csökkentett művelés hatása a talajállapotra. *Növénytermelés* 50. pp. 237-247
- GENTILE, A.R. Soil degradation in Europe. In *Soil Degradation in Central and Eastern Europe: The Assessment of the Status of Human-induced Degradation*; United Nations Environment Programme (UNEP), and ISRIC – World Soil Information: Wageningen, Netherland, 2000. pp. 68-89

- GOBIN, A. 2018. Weather related risks in Belgian arable agriculture. *Agricultural Systems* 159. pp. 225-236
- GREEN, J.K. – SENEVIRATNE, S.I. – BERG, A.M. – FINDELL, K.L. – HAGEMANN, S. – LAWRENCE, D.M. – GENTINE, P. 2019. Large influence of soil moisture on long-term terrestrial carbon uptake. *Nature* 565. pp. 476-479
- GRUBOR, M. – MALETIĆ, I. – LAKIĆ, J. – KOVAČEV, I. – KOŠUTIĆ, S. 2015. Ekonomičnost proizvodnje pšenice i uljane repice s različitim sustavima obrade tla. Zbornik radova. 43. Simpozij Aktualni zadaci mehanizacije poljoprivrede. pp. 265-274.
- GULYÁS, M. (2017). Biogázüzemi erjesztési maradék mezőgazdasági felhasználásának vizsgálata. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola p. 118
- GÜNAL, H. – KORUCU, T. – BIRKÁS, M. – ÖZGÖZ, E. – ZAMFIR, R.H.C. 2015. Threats to sustainability of soil functions in central and southeast Europe. *Sustainability* 7. pp. 2161-2188
- GYURICZA, CS. – SMUTNÝ, V. – PERCZE, A. – PÓSA, B. – BIRKÁS, M. 2015. Soil condition threats in two seasons of extreme weather conditions. *Plant, Soil and Environment* 61. pp. 151-157
- HAILE, M.G. – WOSSEN, T. – TEFAYE, K. – VON BRAUN, J. 2017. Impact of climate change, weather extremes, and price risk on global food supply. *Economics of disasters and climate change* 1. pp. 55-75
- HAMMERBECK, A.L. – STETSON, S.J. – OSBORNE, S.L. – SCHUMACHER, T.E. – PIKUL, J.L. 2012. Corn residue removal impact on soil aggregates in a no-till corn/soybean rotation. *Soil Science Society of America Journal* 76. pp. 1390-1398
- HAMZA, M.A. – ANDERSON, W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature: causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82 pp. 121-145
- HARTE, J. – TORN, M.S. – CHANG, F.R. – FEIFAREK, B. – KINZIG, A.P. – SHAW, R. – SHEN, K. 1995. Global warming and soil microclimate: Results from a Meadow-Warming Experiment. *Ecological Applications* 5 (1) pp. 132-150
- HE, J. – LI, H.W. – WANG, X.Y. – MCHUGH, A.D. – LI, W.Y. – GAO, H.W. – KUHN, N.J. 2007. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. *Soil and Tillage Research* 94 (2) pp. 493-502
- HENDRICKS, N.P. 2018. Potential benefits from innovations to reduce heat and water stress in agriculture. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. 5. pp. 545-576
- HOBBS, P.R. 2007. Conservation Agriculture: What is it and why is it important for future sustainable food production. *Journal of Agricultural Science – Cambridge*. 145 (2) pp. 127-137

- HOEKSTRA, A.Y. – MEKONNEN, M.M. – CHAPAGIN, A.K. – MATHEWS, R.E. – RICHTER, B.D. 2012. Global monthly water scarcity: blue water footprint versus blue water availability. *PloS One* 7. pp. 1-9
- HUANG, G.B. – ZHANG, R.Z. – LI, G.D. – LI, L.L. – CHAN, K.Y. – HEENAN, D.P. – CHEN, W. – UNKOVICH, M.J. – ROBERTSON, M.J. – CULLIS, B.R. 2008. Productivity and sustainability of a spring wheat-field pea rotation in a semi-arid environment under conventional and conservation tillage systems. *Field Crops Research* 107. pp. 43-55
- HUSNJAK, S. 2014. *Sistematika tala Hrvatske*. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb. p. 371
- HUSNJAK, S. – ŠIMUNIĆ, I. – TURŠIĆ, I. 2008. Soil erosion risk in Croatia. *Cereal Research Communications*. Vol 36. Proceedings of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop, Stara Lesna Slovakia. pp. 939-942
- HUSNJAK, S. – ROMIĆ, M. – PERNAR, N. POLJAK, M. 2011. Recommendations for soil management in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 76 (1) pp. 1-8
- HUSNJAK, S. – BENZA, A. 2018. Pogodnost poljoprivrednog zemljišta za navodnjavanje u agroregijama Hrvatske. *Hrvatske vode* 26 (105) pp. 157-180
- IPCC, 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change. Third Assessment Report. The Scientific Basis. Cambridge University Press.
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. The physical science basis. The Scientific Basis. Cambridge University Press
- IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, pp. 1-32
- JALOTA, S.K. – ARORA, V.K. – SINGH, O. 2006. Development and evaluation of a soil water evaporation model to assess the effects of soil texture, tillage and crop residue management under field conditions. *Soil Use Management* 16. pp. 194-199
- JEFFREY, S. – GARDI, C. – JONES, A. – MONTANARELLA, L. – MARMO, L. – MIKO, L. – RITZ, K. – PERES, G. – RÖMBKE, J. – VAN DER PUTTEN, W. (eds.) *European Atlas of Soil Biodiversity*. Luxembourg: EC, Publ. pp. 128
- JIN, H. – HONGWEN, L. – RASAILY, R.G. – QINGJIJE, W. – GUOHUA, C. YANBO, S. – XIAODONG, Q. – LIJIN, L. 2011. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research* 113. pp. 48-54
- JOLÁNKAI, M. – BIRKÁS, M. 2010. Szárazodás és a növénytermelés. *Klíma-21 Füzetek. Klímaváltozás – Hatások – Válaszok*. 59. (Szerk. Csete, L.) pp. 26-31

- JONES, A. – PANAGOS, P. – BARCELO, S. – BOURAOUI, F. – BOSCO, C. – DEWITTE, O. – GARDI, C. – ERHARD, M. – HERVAS DE DIEGO, F. – HIEDERER, R. – JEFFERY, S. – LÜKEWILLE, A. – MARMO, L. – MONTANARELLA, L. – OLAZABAL, C. – PETERSEN, J.E. – PENIZEK, V. – STRASSBURGER, T. – TÓTH, G. – VAN DEN EECKHAUT, M. – VAN LIEDEKERKE, M. – VERHEIJEN, F. – VIESTOVA, E. – YIGINI, Y. 2012. The state of soil in Europe: A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report – SOER 2010. Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 2012. pp. 76.
- JONES, A.D. – YOSEF, S. 2015. The implications of a changing climate on global nutrition security. In: Sahn E.D. (eds.) The fight against hunger and malnutrition: The role of food, agriculture and targeted policies. Oxford University Press, Oxford. pp. 432-466
- JOHNSTON, A.S. – HOLMSTRUP, M. – HODSON, M.E. – THORBEEK, P. – ALVAREZ, T. – SIBLY, R. 2014. Earthworm distribution and abundance predicted by a process-based model. *Applied Soil Ecology* 84. pp. 112-123
- JOHNSTON, A.S.A. – SIBLY, R.M. – HODSON, M.E. – ALVAREZ, T. – THORBEEK, P. 2015. Effects of agricultural management practices on earthworm populations and crop yield: validation and application of a mechanistic modelling approach. *Journal of Applied Ecology* 52. pp. 1334-1342
- JOHNSTON, A.S.A. – SIBLY, R.M. – THORBEEK, P. 2018. Forecasting tillage and soil warming effects on earthworm populations. *Journal of Applied Ecology* 55. pp. 1498-1509
- JOHNSON-MAYNARD, J.L. – UMIKER, K.J. – GUY, S.O. 2007. Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil and Tillage Research* 94 (2) pp. 338-345
- JORDÁN, A. – ZAVALA, L.M. – GIL, J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81. pp. 77-85
- JOSIPOVIĆ, M. – PLAVŠIĆ, H. – BRKIĆ, I. – SUDAR, R. – MARKOVIĆ, M. 2010. Irrigation nitrogen fertilization and genotype impacts on yield and quality of maize grain. Proceedings of 9th Alps Adria Scientific Workshop. Spicak Czech Republic. pp. 255-258
- JOURGHOLAMI, M. – FATHI, K. – LABELLE, E.R. 2019. Effects of litter and straw mulch amendments on compacted soil properties and Caucasian alder (*Alnus subcordata*) growth. *New Forest*.
- JUG, D. – ŽUGEČ, I. – KELAVA, I. – ELJUGA, L. – KNEŽEVIĆ, M. – MAREK, G. 2001. Influence of reduced soil tillage on the yield of winter wheat, maize and soybean in an extremely dry year. Proceedings of the 37th Croatian Symposium on Agriculture with an International Participation, Opatija, Croatia. pp. 46-50
- JUG, D. – BLAŽINKOV, M. – REDŽEPOVIĆ, S. – JUG, I. – STIPEŠEVIĆ, B. 2005. Effects of different soil tillage systems on nodulation and yield of soybean. *Poljoprivreda* 11 (2) pp. 1-8

- JUG, D. – KRNJAJIĆ, S. – STIPEŠEVIĆ, B. 2006. Prinos ozime pšenice (*Triticum aestivum* L.) na različitim varijantama obrade tla. *Poljoprivreda* 12 (6). pp. 47-52
- JUG, D. – JUG, I. – KOVAČEVIĆ, V. – STIPEŠEVIĆ, B. – ŠOŠTARIĆ, J. 2007. Soil tillage impacts on nutritional status of wheat. *Cereal Research Communications* 35. pp. 553-556.
- JUG, D. – BIRKÁS, M. – ŠEREMEŠIĆ, S. – STIPEŠEVIĆ, B. – JUG, I. – ŽUGEC, I. – ĐALOVIĆ, I. 2010. Status and perspectives of soil tillage in South-East Europe. CROSTRO – Croatian Soil Tillage Research Organization: 1st International Scientific Conference, Osijek, Croatia. pp. 1-15
- JUG, D. – BIRKÁS, M. – KISIĆ, I. 2015. Obrada tla u agroekološkim okvirima. (Szerk. Jug, D.) *Zebra, Vinkovci* pp. 275
- JUG, D. – JUG, I. – ĐURĐEVIĆ, B. – VUKADINOVIĆ, V. – STIPEŠEVIĆ, B. – BROZOVIĆ, B. 2017. Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena. Udžbenici Sveučilišta J.J. Strossmayer u Osijeku, pp. 109.
- JUG, D. – BROZOVIĆ, B. – ĐURĐEVIĆ, B. – JUG, I. – LIPIEC, J. – BIRKÁS, M. – VUKADINOVIĆ, V. 2019. Effect of conservation tillage on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Soil and Tillage Research* 194. 104327
- KADER, M.A. – SENGE, M. – MAJID, M.A. – ITO, K. 2017. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil and Tillage Research* 168. pp. 155-166
- KAHLON, M.S. – LAL, R. – ANN-VARUGHESE, M. 2013. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil and Tillage Research* 126. pp. 151-158
- KALMÁR, T. 2015. *Tarlógondozás talajművelési és biológiai módszerekkel. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő.* p. 183
- KALMÁR, T. – BIRKÁS, M. – STINGLI, A. – BENCSIK, K. 2007. *Tarlóművelési módszerek hatékonysága szélsőséges idényekben. Növénytermelés* 56. pp. 263-278
- KALMÁR, T. – BOTTLIK, L. – KISIĆ, I. – GYURICZA, CS. – BIRKÁS, M. 2013. Soil protecting effect of the surface cover in extreme summer periods. *Plant, Soil and Environment* 59 (9) pp. 404-409
- KAMAL, S. – SINGH, A.K. 2011. Effect of black plastic mulch on soil temperature and tomato yield. *Progressive Horticulture* 43. pp. 337-339
- KAO, L.S. – GREEN, C.E. 2008. Analysis of Variance: Is there a difference in means and what does it mean? *The Journal of Surgical Research* 144 (1). pp. 158-170
- KARLEN, D. – WOLLENHAUPT, N.C. – ERBACH, D. – BERRY, E. – SWAN, J. – EASH, N.S. – JORDAHL, J. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil and Tillage Research* 31. pp. 149-167

- KASPAR, T.C. – JAYNES, D.B. – PARKIN, T.B. – MOORMAN T.B. – SINGER, J.W. 2012. Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. *Agricultural Water Management* 110. pp. 25-33
- KASSAM, A. – FRIEDRICH, T. – DERPSCH, R. – KIENZLE, J. 2015. Overview of the Worldwide Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports* 8. pp. 1-11
- KAUR, R. – ARORA, V.K. 2019. Deep tillage and residue mulch effects on productivity and water and nitrogen economy of spring maize in north-west India. *Agricultural Water Management* 213. pp. 724-731
- KAVIAN, A. – GHOLAMI, L. – MOHAMMADI, M. – SPALEVIC, V. – FALAH SORAKI, M. 2018. Impact of wheat residue on soil erosion processes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 46. pp. 553-562
- KÁLDY SZÜCS, J. 1909. Észrevételek Campbell talajművelési rendszerhez. *Köztelek* 19. 343-344
- KEMENESY, E. 1964. Talajművelés. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó. pp. 256
- KENDE, Z. 2019. Klímakár eredetű talajminőség romlás és kármegelőzés. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő. p. 128
- KERN, A. – BARCZA, Z. – MARJANOVIĆ, H. – ÁRENDÁS, T. – FODOR, N. – BÓNIS, P. – BOGNÁR, P. – LICHTENBERGER, J. 2018. Statistical modelling of crop yield in Central Europe using climate data and remote sensing vegetation indices. *Agricultural and Forest Meteorology* 260-261. pp. 300-320
- KERPELY, K. 1910. Az okszerű talajművelés szerepe a szárazság elleni küzdelemben. Pátria Nyomda Budapest.
- KERTÉSZ, Á. – CENTERI, CS. 2006. Hungary. In: *Soil Erosion in Europe*. (ed.) J. Boardman and J. Poesen. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 139-153
- KERTÉSZ, Á. – MADARÁSZ, B. 2014. Conservation agriculture in Europe. *International Soil and Water Conservation Research* 2 (1) pp. 91-96
- KESHAVARZPOUR, F. – RASHIDI, M. 2008. Effect of different tillage methods on soil physical properties and crop yield of watermelon (*Citrullus vulgaris*). *Journal of Agricultural and Biological sciences* 2. pp. 1-6
- KISIĆ I. – BAŠIĆ F. – MESIĆ, M. – BUTORAC, A., SABOLIĆ, M. 2002. Influence of different tillage systems on yield of maize on stagnic luvisols of Central Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 67 (2). pp. 81-89
- KISIĆ I. – BAŠIĆ F. – BIRKÁS M. – JURIŠIĆ A. – BIČANIĆ V. 2010. Crop yield and plant density under different tillage systems. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 75 (1). pp. 1-7
- KLADIVKO, E. J. – GRIFFITH, D. R. – MANNERING, J. V. 1986. Conservation tillage effects on soil properties and yield of corn and soybean in Indiana. *Soil and Tillage Research* 8. pp. 277-287

- KLADIVKO, E.J. – AKHOURI, N.M. – WEESIES, G. 1997. Earthworm populations and species distributions under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois. *Soil Biology and Biochemistry* 29. pp. 613-615
- KOCH, A. – MCBRATNEY, A. – ADAMS, A. – FIELD, D. – HILL, R. – CRAWFORD, J. – MINASNY, B. – LAL, R. – ABBOTT, L. – O'DONNELL, A. – ANGERS, D. – BALDOCK, J. – BARBIER, E. – BINKLEY, D. – PARTON, W. – WALL, D.H. – BIRD, M. – BOUMA, J. – CHENU, C. – FLORA, C.B. – GOULDING, K. – GRUNWALD, S. – HEMPEL, J. – JASTROW, J. – LEHMANN, J. – LORENZ, K. – MORGAN, C.L. – RICE, C.W. – WHITEHEAD, D. – YOUNG, I. – ZIMMERMANN, M. 2013. Soil security: Solving the global soil crisis. *Global policy* 4 (4). pp. 434-441
- KOŠUTIĆ S. – FILIPOVIĆ D. – GOSPODARIĆ Z. 2001. Maize and winter wheat production with different soil tillage systems on silty loam. *Agricultural and Food Science in Finland* 10. pp. 81-90
- KOŠUTIĆ, S. – FILIPOVIĆ, F. – GOSPODARIĆ, G. – HUSNJAK, S. – KOVAČEV, I. – ČOPEC, K. 2005. Effect of different soil tillage systems on yield of maize, winter wheat and soybean on albic luvisol in North-West Slavonia. *Journal of Central European Agriculture* 6 (3). pp. 241-248
- LAL, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil and Tillage Research* 20. pp:133-146
- LAL, R. 2009. Soil quality impacts of residue removal for bioethanol production. *Soil and Tillage Research* 102. pp. 233-241
- LAL, R. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability* 7. pp. 5875-5895
- LAL, R. – REICOSKY, D.C. – HANSON, J.D. 2007. Evolution of the plow over 10 000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research* 93 (1). pp. 1-12
- LAMPURLANÉS, J. – CANTERO-MARTÍNEZ, C. 2006. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research* 85. pp. 13-26
- LANGMAACK, M. – SCHRADER, S. – RAPP-BERNHARDT, U. – KOTZKE, K. 2002. Soil structure rehabilitation of arable soil degraded by compaction. *Geoderma* 105. pp. 141-152
- LASCANO, R.J. – BAUMHARDT, R.L. 1996. Effects of crop residue on soil and plant water evaporation in a dryland cotton system. *Theoretical and Applied Climatology* 54 (1-2) pp. 69-84
- LAUFER, D. – KOCH, H.J. 2017. Growth and yield formation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under strip tillage compared to full width tillage on silt loam soil in Central Europe. *European Journal of Agronomy* 82. pp. 182-189.
- LAUFER, D. – LOIBL, B. – MÄRLÄNDER, B. – KOCH, H-J. 2016. Soil erosion and surface runoff under strip tillage for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in central Europe. *Soil and Tillage Research* 162. pp. 1-7

- LÁNG, I. – CSETE, L. – Jolánkai, M. (szerk.) 2007. A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás, Budapest. pp. 199-202
- LEE, K.E. 1985. Earthworms: Their Ecology and Relationship with Soils and Land Use. Academic Press. Sydney. pp. 351-388
- LESK, C. – ROWHANI, P. – RAMANKUTTY, N. – 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* 529. pp. 84-87
- LI, S. – LI, Y. – LIN, H. – FENG, H. – DYCK, M. 2018. Effects of different mulching technologies on evapotranspiration and summer maize growth. *Agricultural Water Management* 201. pp. 309-318
- LI, Y. – GUAN, K. – SCHNITKEY, G.D. – DELUCIA, E. – PENG, B. 2019. Excessive rainfall leads to maize yield loss of a comparable magnitude to extreme drought in the United States. *Global Change Biology* 25. pp. 2325-2337
- LIPIEC, J. – HORN, R. – PIETRUSIEWICZ, J. – SICZEK, A. 2012. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. *Soil and Tillage Research* 121. pp. 74-81
- LIU, K. – WIATRAC, P. 2011. Corn (*Zea mays* L.) plant characteristics and grain yield response to N fertilization programs in no-tillage systems. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 6 (1). pp. 172-179
- LOBELL, D.B. – BONFILS, C.J. – KUEPPERS, L.M. – SNYDER, M.A. 2008. Irrigation cooling effect on temperature and heat index extremes. *Geophysical Research Letters*. 35. pp. 1-5
- LOBELL, D.B. – SCHLENKER, W. – COSTA-ROBERTS, J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333. pp. 616-620
- LOMBARDO, L. – PALESE, A.M. – GRASSO, F. – DUFFY, D.H.III – BATI, C.B. – XILOYANNIS, C. 2019. Mechanical tillage diversely affects glomalin content, water stable aggregates and AM fungal community in the soil profiles of two differently managed olive orchards. *Biomolecules* 9 (10). 639. pp. 1-14
- MA, Z. – KANG, S. – ZHANG, L. – TONG, L. – SU, X. 2008. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. *Journal of Hydrology* 352 (3-4). pp. 239-249
- MACÁK, M. 2001. Influence of tillage systems on soil moisture dynamics under winter wheat cultivation. *Acta fytotechnica et zootechnica* 4. pp. 58-60
- MADARI, B. – MACHADO PEDRO, L. O. A. – TORRES, E. – DE ANDRADE, A. G. – VALENCIA L. I. O. 2005. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 80 (1-2) pp. 185-200.

- MAIRHOFER, F. – BARTA, N. – EUTENEUER, P. – SCHUSTER, J. – BAUER, A. – GRONAUER, A. 2019. Influence of tillage depth of a cultivator on the incorporation of crop residues of winter barley in a chernozem soil. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 70 (2). pp. 69-79
- MANNINGER, G.A. 1957. A talaj sekély művelése. *Mezőgazdasági Kiadó Budapest*.
- MÄKINEN, H. – KASEVA, J. – TRNKA, M. – BALEK, J. – KERSEBAUM, K.C. – NENDEL, C. – GOBIN, A. – OLESEN, J.E. – BINDI, M. – FERRISE, R. – MORIONDO, M. – RODRÍGUEZ, A. – RUIZ-RAMOS, M. – TAKÁČ, J. – BEZÁK, P. – VENTRELLA, D. – RUGET, F. – CAPELLADES, G. – KAHILUOTO, H. 2018. Sensivity of European wheat to extreme weather. *Field Crops Research* 222. pp. 209-217
- McLEMAN, R. A. – DUPRE, J. – FORD, L.B. – FORD, J. – GAJEWSKI, K. – MARCHILDON, G. 2014. What we learned from the dust bowl: lessons in science, policy, and adaptation. *Population and Environment* 35 (4) pp. 417-440
- MCMASTER, G. S. – PALIC, D. B. – DUNN, G. H. 2002. Soil management alters seedling emergence and subsequent autumn growth and yield in dryland winter wheat-fallow systems in the Central Great Plains on a clay loam soil. *Soil and Tillage Research* 65. pp. 193–206
- MEA – MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. – World Resource Institute, Washington DC, p. 137
- MEKONNEN, M.M. – HOEKSTRA, A.Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances* 2. e1500323 pp. 1-6
- MESIĆ, M. – HUSNJAK, S. – BAŠIĆ, F. – KISIĆ, I. – GAŠPAR, I. 2009. Suvišna kiselost tla kao negativni čimbenik razvitka poljoprivrede u Hrvatskoj. In: *Zbornik radova 44. hrvatski i 4. međunarodni simpozij, Opatija, Hrvatska*. pp. 9-18
- MICHAEL, A.M. 2009. *Irrigation: Theory and Practice*, 2nd edition, Vikas Publishing House, New Delhi, India. p. 772
- MICHÉLI, E. – VÁRALLYAY, GY. – PÁSZTOR, L. – SZABÓ, J. 2003. Land degradation in Hungary. In: *The JMRC Enlargement Action, Workshop 10-B, Land Degradation*. Eds.: Jones, R.J.A., Montanarella, L.) European Commission. Joint Research Centre. Ispra. pp. 198-206
- MICHÉLI, E. – FUCHS, M. – LÁNG, V. – SZEGI, T. – KELE, G. 2014. Methods for modernizing the elements and structure of the Hungarian Soil Classification System. *Agrokémia és Talajtan* 63 (1). pp. 69-78
- MIELKE, L. N. – DORAN, J. W. – RICHARDS, K. A. 1986. Physical environment near the surface of plowed and no-till soils. *Soil and Tillage Research* 7 (4). pp. 355-366
- MILLER, O. – HELMAN, D. – SVORAY, T. – MORIN, E. – BONFIL, D. 2019. Explicit wheat production model adjusted for semi-arid environments. *Field Crops Research* 231. pp. 93-104

- MILHOFFER, S. 1897. Talajkimerülés. Budapest, Könyves Kálmán Rt.
- MOITINHO, M. R. – PADOVAN, M. P. – PANOSSO, A. R. – TEIXEIRA, D. D. B. 2015. On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum* spp.) production. *Soil and Tillage Research*. 148. pp. 127-132
- MOORE, F.C. – LOBELL, D.B. 2014. Adaptation potential of European agriculture in response to climate change. *Nature Climate Change* 4. pp. 610-614
- MORET, D. – ARRÚE, J. L. – LÓPEZ, M. V. – GRACIA, R. 2006. Influence of fallowing practices on soil water and precipitation storage efficiency in semiarid Aragon (NE Spain). *Agricultural Water Management*. 82 (1-2) pp. 161-176
- MORRIS N. L. – MILLER P. C. H. – ORSON J. H. – FROUD-WILLIAMS R. J. 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment – A review. *Soil and Tillage Research*. 108 (1-2) pp. 1-15
- MORIONDO, M. – GIANNAKOPOULOS, C. – BINDI, M. 2011. Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Climate Change*. 104 (3-4). pp. 679-701
- MU, X. – ZHAO, Y. – LIU, K. – JI, B. – GUO, H. – XUE, Z. – LI, C. 2016. Responses of soil properties, root growth and crop yield to tillage and crop residue management in a wheat-maize cropping system on the North China Plain. *European Journal of Agronomy* 78. pp. 32-43
- MUELLER, N.D. – BUTLER, E.E. – MCKINNON, K.A. – RHINES, A. – TINGLEY, M. – HOLBROOK, N.M. – HUYBERS, P. 2015. Cooling of US Midwest summer temperature extremes from cropland intensification. *Nature Climate Change*. pp. 1-6
- MULUMBA, L.N. – LAL, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 98. pp. 106-111
- MUNOZ-ROMERO, V. – LÓPEZ-BELLIDO, L. – LÓPEZ-BELLIDO, R. J. 2012. The effects of the tillage system on chickpea root growth. *Field Crops Research*. 128. pp. 76-81
- NAEINI, S.A.R.M. – COOK, H.F. 2000. Influence of municipal compost on temperature, water, nutrient status and the yield of maize in a temperate soil. *Soil Use Management* 16. pp. 215-221
- NAGY, J. 2017. Klímaváltozás és a műtrágyázás hatása a kukorica termésére debreceni tartamkísérletben. *Növénytermelés* 66 (3). pp. 11-32
- NAGY, J. – NAGY, O. 2018. Fenntartható agrárgazdálkodás a klímaváltozás tükrében. *Magyar tudomány* 179 (9). pp. 1327-1335
- NARCISOV, V.P. 1982. *Naučnie osnovi sustav zemledelia, Moskva.* (Нарциссов, В.П. 1982. *Научные основы систем земледелия*) p. 328

- NAWAZ, A. – LAL, R. – SHRESTHA, R.K. – FAROOQ, M. 2016. Mulching affects soil properties and greenhouse gas emissions under long-term no-till and plough-till systems in alfisol of central Ohio. *Land Degradation and Development* 28. pp. 673-681
- NEMZETI ÉGHAJLATVÁLTOZÁS STRATÉGIA 2018. Második Nemzeti Éghajlatváltozás Stratégia a 2018-2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó. Innovációs és Technológiai Minisztérium. pp. 251
- NEW, M. – LISTER, D. – HULME, M. – MAKIN, I. 2002. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research* 21. pp. 1-25
- NILESH, M.T. – MUELLER, N.D. 2016. Farmer perceptions of climate change: Associations with observed temperature and precipitation trends, irrigation, and climate beliefs. *Global Environment Change* 39. pp. 133-142
- OMS, 2006. Klímatológiai foratókönyvek a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiához. pp. 1-42
- PACHAURI, R.K. – ALLEN, M. – BARROS, V. – BROOME, J. – CRAMER, W. – CHRIST, R. – CHURCH, J. – CLARKE, L. – DAHE, Q. – DASGUPTA, P. – 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 151
- PADÁNYI, J. – HALÁSZ, L. 2012. A klímaváltozás hatásai. „Kockázatok és válaszok a tehetséggondozásban (KOVÁSZ). Nemzeti Közszolgálati Egyetem p. 86.
- PAGE, L.K. – DANG, Y.P. – DALAL, R.C. – REEVES, S. – THOMAS, G. – WANG, W. – THOMPSON, J.P. 2019. Changes in soil water storage with no-tillage and crop residue retention on a Vertisol: Impact on productivity and profitability over a 50 year period. *Soil and Tillage Research* 194. pp. 104319
- PAGLIAI, M. – JONES, R. 2002. Sustainable land management – environmental protection: a soil physical approach. Marcello Pagliai and Robert Jones (eds.) *Advances in geocology* 35. Chapter IV. Soil compaction. pp. 291-429
- PAGLIAI, M. – VIGNOZZI, N. – PELLEGRINI, S. – 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research* 79. pp. 131-143
- PALM, C. – BLANCO-CANQUI, H. – DECLERCK, F. – GATERE, L. – GRACE, P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187. pp. 87-105.
- PANAGOS, P. – IMESON, A. – MEUSBURGER, K. – BORRELLI, P. – POESEN, J. – ALEWELL, C. Soil conservation in Europe: Wish or reality? *Land degradation & development*. 27. pp. 1547-1551
- PANT, K.P. 2009. Effects of agriculture on climate change: a cross country study of factors affecting carbon emissions. *Journal of Agriculture Environment* 10. pp. 84-102.
- PAOLETTI, M.G. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 74. pp. 137-155

- PARRY, M. – EVANS, A. – ROSEGRANT, M.W. – WHEELER, T. 2009. Climate change and hunger: responding to the challenge. World Food Programme, Rome. p. 108
- PÁLFAI, I. 2005. Belvizek és aszályok Magyarországon. (Hidrológiai Tanulmányok) Közlekedési Dokum. Kft. Budapest.
- PÁLFAI, I. 2010. Az aszályok gyakorisága a Kárpát-medencében az utóbbi háromszáz évben. Klíma-21 Füzetek. Klímaváltozás – Hatások – Válaszok. 59. (Szerk. Csete, L.) pp. 42-45
- PÁSZTOR, L. – WALTNER, I. – CENTERI, C. – BELENYÉSI, M. – TAKÁCS, K. 2016. Soil erosion of Hungary assessed by spatially explicit modelling. Journal of Maps 12 (1). pp. 407-414
- PEIGNÉ, J. – VIAN, J.F. – PAYET, V. – SABY, N.P.A. 2018. Soil fertility after 10 years of conservation tillage in organic farming. Soil and Tillage Research 175. pp. 194-204
- PEKRUN, C. – KAUL, H. P. – CLAUPEIN, W. 2003. Soil tillage for sustainable nutrient management. A. El Titi (Ed.) Soil Tillage in Agroecosystems, CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 115-146
- PELOSI, C. – BAROT, S. – CAPOWIEZ, Y. – HEDDE, M. – VANDENBULCKE, F. 2014. Pesticides and earthworms: A review. Agronomy for Sustainable Development 34. pp. 199-228
- PELOSI, C. – BERTRAND, M. – THÉNARD, J. – MOUGIN, C. 2015. Earthworms in a 15 years agricultural trial. Applied Soil Ecology 88. pp. 1-8
- PELOSI, C. – GRANDEAU, G. – CAPOWIEZ, Y. 2017. Temporal dynamics of earthworm-related macroporosity in tilled and non-tilled cropping systems. Geoderma 289. pp. 169-177
- PEPÓ, P. 2019. Interactive agrotechnical effects in the hybrid-specific maize (*Zea mays* L.) production. Növénytermelés 68 (1). pp. 69-84
- PEPÓ, P. – VAD, A. – BERENYI, S. 2008. Effect of irrigation on yield of maize (*Zea mays* L.) in different crop rotation. Proceedings of VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna. Slovakia. pp. 735-738
- PI, X. – ZHANG, T. – SUN, B. – CUI, Q. – GUO, Y. – GAO, M. – FENG, H. – HOPKINS, D.W. Effects of mulching for water conservation on soil carbon, nitrogen and biological properties. Frontiers of agricultural science and engineering 4. pp. 146-154
- PINKE, ZS. – LÖVEI, G.L. 2017. Increasing temperature cuts back crop yields in Hungary over the last 90 years. Global Change Biology 23. pp. 5426-5435
- PIRES, L. F. – BORGES, J. A. R. – ROSA, J. A. – COOPER, M. – HECK, R. J. – PASSONI, S. – ROQUE, W. L. 2017. Soil structure changes induced by tillage systems. Soil and Tillage Research 165. pp. 66-79
- PITTELKOW, C.M. – LINQUIST, B.A. – LUNDY, M.E. – LIANG, X. – VAN GROENIGEN, K.J. – LEE, J. – VAN KESSEL, C. – 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. Field Crops Research 183. pp. 156-168

- POWLSON D. S. – GREGORY P. J. – WHALLEY W. R. – QUINTON J. N. – HOPKINS D. W. – WHITMORE A. P. – HIRSCH P. R. – GOULDING K. W. T. 2011. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food policy* 36 (1) pp. S72-S87.
- POWLSON, D.S. – STIRLING, C.M. – JAT, M.L. – GERARD, B.G. – PALM, C.A. – SANCHEZ, P.A. – CASSMAN, K.G. 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* 4. pp. 678-683
- PRAGMANIK, P. – BANDYOPADHYAY, K.K. – BHADURI, D. – BHATTACHARYYA, R. – AGGARWAL, P. 2015. Effect of mulch on soil thermal regimes – A review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 8. pp. 645-658
- RABOT, E. – WIESMEIER, M. – SCHLÜTER, S. – VOGEL, H.J. 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma* 314. pp. 122-137
- RAPER, R.L. 2001. The influence of implement type and tillage depth on residue burial. In Ascough II, J.C. and D.C. Flanagan (Eds.): *Soil erosion research for the 21st century. Proceedings of the International Symposium, 3-5 January 2001, Honolulu, USA, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph*, pp. 517-520
- RAPER, R.L. 2002. The influence of implement type, tillage depth, and tillage timing on residue burial. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 45. pp. 1281-1286
- REEVES, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*. 43. pp. 131-167
- REN, L. – NEST, T.V. – RUYSSCHAERT, G. – D'HOSE, T. – CORNELIS, W.M. 2019. Short-term effects of cover crops and tillage methods on soil physical properties and maize growth in a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research* 192. pp. 76-86
- ROGER-ESTRADE, J. – ANGER, C. – BERTRAND, M. – RICHARD, G. 2010. Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research* 111. pp. 33-40
- RUBINIĆ, V. – LAZAREVIĆ, B. – HUSNJAK, S. – DURN, G. 2015. Climate and relief influence on particle size distribution and chemical properties of Pseudogley soils in Croatia. *Catena* 127C. pp. 340-348
- RUZSÁNYI, L. 2000. A cukorrépa víz- és tápanyagellátása. *Cukoripar* 53. pp. 26-31
- SADEGHI, S.H.R. – GHOLAMI, L. – SHARIFI, E. – KHALEDI DARVISHAN, A. – HOMAEE, M. 2015. Scale effect on runoff and soil loss control using rice straw mulch under laboratory conditions. *Solid Earth* 6. pp. 1-8
- SANKAR, A.S. – PATNAIK, A. 2018. Impact of soil physico-chemical properties on distribution of earthworm populations across different land use patterns in southern India. *The Journal of Basic and Applied Zoology* 79. pp. 1-18

- SAGE, R.F. – KUBIEN, D.S. 2007. The temperature response of C₃ and C₄ photosynthesis. *Plant Cell and Environment* 30. pp. 1086-1106
- SAUVADET, M. – CHAUVAT, M. – CLUZEAU, D. – MARON, P-A. VILLENAVE, C. – BERTRAND, I. 2016. The dynamics of soil micro-food web structure and functions vary according to litter quality. *Soil Biology and Biochemistry* 95. pp. 262-274
- SCHAPHOFF, S. – VON BLOH, W. – RAMMIG, A. – THONICKE, K. – BIEMANS, H. – FORKEL, M. – GERTEN, D. – HEINKE, J. – JÄGERMEYR, J. – KNAUER, J. – LANGERWISCH, F. – LUCHT, W. – MÜLLER, C. – ROLINSKI, S. – WAHA, K. 2018. LPJmL4 – a dynamic global vegetation model with managed land – Part 1: Model description. *Geoscientific Model Development* 11. pp. 1343-1375
- SCHAUBERGER, B. – ARCHONTOULIS, S. – ARNETH, A. – BALKOVIC, J. – CIAIS, P. – DERYNG, D. – ELLIOTT, J. – FOLBERTH, C. – KHABAROV, N. – MÜLLER, C. – PUGH, T.A.M. – ROLINSKI, S. – SCHAPHOFF, S. – SCHMID, E. – WANG, X. – SCHLENKER, W. – FRIELER, K. 2017. Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models. *Nature Communications* 8. pp. 1-9
- SCHERTZ, D.L. 1988. Conservation tillage: An analysis of acreage projections in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation* 43 (3). pp. 256-258
- SCHLENKER, W. – ROBERTS, M.J. 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 37. pp. 15594-15598
- SENEVIRATNE, S.I. – CORTI, T. – DAVIN, E.L. – HIRSCHI, M. – JAEGER, E.B. – LEHNER, I. – ORLOWSKY, B. – TEULING, A.J. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews* 99 (3-4). pp. 125-161
- SHAHID, S. – BIN HARUN, S. – KATIMON, A. 2012. Changes in diurnal temperature range in Bangladesh during the time period 1961-2008. *Atmospheric Research* 118. pp. 260-270
- SHARRATT, B. – ZHANG, M. – SPARROW, S. 2006. Twenty years of conservation tillage research in subarctic Alaska: II. Impact on soil hydraulic properties. *Soil and Tillage Research* 91. pp. 82-88
- SHEN, J.Y. – ZHAO, D.D. – HAN, H.F. ZHOU, X.B. – LI, Q.Q. 2012. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. *Plant, Soil and Environment* 58. pp. 161-166
- SHIRAZI, S.M. – SHOLICHIN, M. – JAMEEL, M. SHATIRAS, A. – MOKHTAR, A. 2011. Effect of different irrigation regimes and nitrogenous fertilizer on yield and growth parameters of maize. *International Journal of Physical Sciences* 6 (4) pp. 677-683
- SICZEK, A. – HORN, R. – LIPIEC, J. – USOWICZ, B. – ŁUKOWSKI, M. 2015. Effects of soil deformation and surface mulching on soil physical properties and soybean response related to weather conditions. *Soil and Tillage Research* 153. pp. 175-184

- SINGH, A. 2015_a. Land and water management planning for increasing farm income in irrigated dry areas. *Land use policy* 42. pp. 244-250
- SINGH, A. 2015_b. Poor quality water utilization for agricultural production: An environmental perspective. *Land use policy* 43. pp. 259-262
- SIX, J. – PAUSTIAN, K. – ELLIOTT, E.T. – COMBRINK, C. 2000. Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal* 64. pp. 681-689
- SIZMUR, T. – MARTIN, E. – WAGNER, K. – PARMENTIER, E. – WATTS, C. – WHITMORE, A.P. 2017. Milled cereal straw accelerates earthworm (*Lumbricus terrestris*) growth more than selected organic amendments. *Applied Soil Ecology* 113. pp. 166-177
- SMEATON, T.C. – DALY, A.N. – CRANWELL, J.M. 2003. Earthworm population responses to cultivation and irrigation in a South Australian soil. *Pedobiologia* 47. pp. 379-385
- SOANE, B. D. – BALL, B. C. – ARVIDSSON, J. – BASCH, G. – MORENO, F. – ROGER-ESTRADE, J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research* 118. pp. 66-87
- SOLOMON, S. – QIN, D. – MANNING, M. – CHEN, Z. – MARQUIS, M. – AVERYT, K.B. – TIGNOR, M. – MILLER, H.L. (eds.) 2007. *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge. pp. 996
- SOMASUNDARAM, J. – REEVES, S. – WANG, W. – HEENAN, M. – DALAL, R. 2017. Impact of 47 years of no tillage and stubble retention on soil aggregation and carbon distribution in a vertisol. *Land Degradation and Development* 28. pp. 1589-1602
- SØRENSEN, C.G. – NIELSEN, V. 2005. Operational analyses and model comparison of machinery systems for reduced tillage. *Biosystems engineering* 92 (2). pp. 143-155
- STEFANOVITS, P. 1992. *Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest*
- STEFANOVITS, P. – FILEP, GY. – FÜLEKY, GY. 2010. Talajjavítás. In: *Talajtan. Mezőgazda Kiadó 2010.* pp. 347-362
- STEINFELD, H. – GERBER, P. – WASSENAAR, T. – CASTEL, V. – ROSALES, M. – DE HAAN, C. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 2006.
- STINGLI, A. 2008. A talajhasználat szerepe az egyes mikrotermőhelyek néhány élőlényére. *Doktori értekezés. Gödöllő.* p. 104
- STIPEŠEVIĆ, B. – ŽUGEČ, I. – JURIĆ, I. – PETRAČ, B. 1997. Possibility of reduced soil tillage for winter wheat in East-Croatia conditions. *Proceedings of the 14th ISTRO conference, Pulawy, Poland.* pp. 597-600.

- STOCKMANN, U. – ADAMS, M.A. – CRAWFORD, J.W. – FIELD, D.J. – HENAKAARCHCHI, N. – JENKINS, M. – MINASNY, B. – McBRATNEY, A.B. – de COURCELLES, V.R. – SINGH, K. – WHEELER, I. – ABBOTT, L. – ANGERS, D.A. – BALDOCK, J. – BIRD, M. – BROOKES, P.C. – CHENU, C. – JASTROW, J.D. – ZIMMERMANN, M. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164. pp. 80-99
- SWELLA, G.B. – WARD, P.R. – SIDDIQUE, K.H.M. – FLOWER, K.C. 2015. Combinations of tall standing and horizontal residue affect soil water dynamics in rainfed conservation agriculture systems. *Soil and Tillage Research* 147. pp. 30-38
- TAA, A. – TANNER, D. – BENNIE, A. T. P. 2004. Effects of stubble management, tillage and cropping sequence on wheat production in the south-eastern highlands of Ethiopia. *Soil and Tillage Research* 76. 69–82.
- TAO, Z-Q. – PENG, S. – CHEN, Y-Q. – CHAO, L.I. – NIE, Z-J. – YUAN, S-F. – SHI, J.T. – GAO, W-S. 2013. Subsoiling and ridge tillage alleviate the high temperature stress in spring maize in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture* 12. pp. 2179-2188
- TEMESGEN, M. – SAVENIJE, H.H.G. – ROCKSTRÖM, J. – HOOGMOED, W.B. 2012. Assessment of strip tillage systems for maize production in semi-arid Ethiopia: Effects on grain yield, water balance and water productivity. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 47-48. pp. 156-165
- THURSTON, H.D. 1997. *Slash/mulch systems: Sustainable methods for tropical agriculture*. Westview Press, Boulder. pp. 170-173
- TORMENA, C.A. – KARLEN, D.L. – LOGSDON, S. – CHERUBIN, M.R. 2017. Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. *Soil and Tillage Research* 166. pp. 122-130
- TÓTH, E. – GELYBÓ, GY. – DENCŐ, M. – KÁSA, I. – BIRKÁS, M. – HOREL, Á. 2017. Soil CO₂ emissions in a long-term tillage treatment experiment. In: *Soil management and climate change. Effects on organic carbon, nitrogen dynamics, and greenhouse gas emissions*. (Eds.: Muñoz, M.Á., Zornoza, R.) Elsevier, Academic press, pp. 293-307
- TRNKA, M. – OLESEN, J.E. – KERSEBAUM, K.C. – RÖTTER, R.P. – BRÁZDIL, R. – EITZINGER, J. – JANSEN, S. – SKJELVÅG, A.O. – PELTONEN-SAINIO, P. – HLAVINKA, P. – BALEK, J. – ECKERSTEN, H. – GOBIN, A. – VUČETI, V. – DALLA MARTA, A. – ORLANDINI, S. – ALEXANDROV, V. – SEMERÁDOVA, D. – ŠTEPANEK, P. – SVOBODOVÁ, E. – RAJDL, K. 2016. Changing regional weather-crop yield relationships across Europe between 1901-2012. *Climate Research* 70. pp. 195-214
- TROY, T.J. – KIPGEN, C. – PAL, I. 2015. The impact of climate extremes and irrigation on US crop yields. *Environmental Research Letters* 10. pp. 1-10
- TUBA, G. – NAGY, P.M. – ZSEMBELI, J. 2018. A talaj tömörödésének vizsgálata penetrométerekkel. *Talajvédelem különszám. Talajtani Vándorgyűlés*. pp. 215-227

- TUBIELLO, F.N. – FISCHER, G. 2007. Reducing climate change impacts on agriculture: Global and regional effects of mitigation, 2000 – 2080. *Technological Forecasting and Social Change* 74. pp. 1030-1056
- VALIPOUR, M. 2015. Future of agricultural water management in Africa. *Archives of Agronomy and Soil Science* 61 (7). pp. 907-927
- VAN CAPELLE, C. – SCHRADE, S. – BRUNOTTE, J. 2012. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – a review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology* 50. pp. 165-181
- VAN GROENIGEN, J.W. – LUBBERS, I.M. – VOS, H.M.J. – BROWN, G.G. – DEYN, G.B.D. – VAN GROENIGEN, K.J. 2014. Earthworm increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports* 4. pp. 1-7
- VAN OUWERKERK, C. – SOANE, B.D. 1994. Conclusions and recommendations for further research on soil compaction in crop production. In: *Soil compaction in crop production* (Ed. Soane, B.D. -Van Ouwerkerk, C.) Elsevier Science. pp. 627-642
- VARSA E.C. – CHONG S.K. – ABOLAJI J.O. – FARQUHAR D.A. – OLSEN F.J. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristic and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil and Tillage Research* 43 (3-4). pp. 219-228
- VÁRALLYAY, GY. 1997. Sustainable development – A challenge for rational land use and soil management. In: *Land Use and Soil Management*, Filep, G. (Ed.), Debrecen. pp. 1-33
- VÁRALLYAY, GY. 2006. Soil degradation processes and extreme soil moisture regime as environmental problems in the Carpathian Basin. *Agrokémia és Talajtan* 55. pp: 9-18
- VÁRALLYAY, GY. 2007. Soil resilience (Is soil a renewable natural resource?) *Cereal Research Communications* 35 (2). pp. 1277-1280
- VÁRALLYAY, GY. 2010. A talaj, mint víztározó; talajszárazodás. *Klíma-21 Füzetek. Klímaváltozás – hatások – válaszok* 59. pp: 3-25
- VÁRALLYAY, GY. 2011. Soil degradation processes and extreme hydrological situations, as environmental problems in the Carpathian Basin. *Acta Universitatis Sapientiae – Agriculture and Environment* 3. pp. 35-44
- VÁRALLYAY, GY. 2012. Talaj-Környezet-Fenntarthatóság. In: *Acta Agraria Debreceniensis. Journal of Agricultural Sciences. Agrártudományi Közlemények*, 2012/49. pp. 331-337
- VÁRALLYAY, GY. 2013. A talajok vízgazdálkodása. *Magyar Tudomány*. 174 (11). pp: 1285-1292
- VERHULST, N. – NELISSEN, V. – JESPERS, N. – HAVEN, H. – SAYRE, K.D. – RAES, D. – DECKERS, J. – GOVAERTS, B. 2011. Soil water content, maize yield and its stability as affected by tillage and crop residues management in rainfed semi-arid highlands. *Plant and Soil* 344 (1). pp. 73-85

- VERMANG, J. – NORTON, L.D. – HUANG, C. – CORNELIS, W.M. – DA SILVA, A.M. – GABRIELS, D. 2015. Characterization of soil surface roughness effects on runoff and soil erosion rate under simulated rainfall. *Soil Science Society of America Journal* 79. pp. 903-916
- VILLAMIL, M.B. – LITTLE, J. – NAFZIGER, F.D. 2015. Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil properties. *Soil and Tillage Research* 151. pp. 61-66
- VIRTO, I. – IMAZ, M.J. – FERNÁNDEZ-UGALDE, O. – GARTZIA-BENGOETXEA, N. – ENRIQUE, A. – BESCANSÀ, P. 2015. Soil degradation and soil quality in Western Europe: Current situation and future perspectives. *Sustainability* 7 (1). pp. 313-365
- WALKLEY, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determination of organic carbon in soils – effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science* 63 (4). pp. 251-264
- WALTHER, S. 2009. Variable Bodenbearbeitungsintensität: ein Beitrag zum nachhaltigen Bodenschutz. Kovač, Hamburg. p. 166
- WALTNER, I. – PÁSZTOR, L. – CENTERI, CS. – TAKÁCS, K. – PIRKÓ, B. – KOÓS, S. – LÁSZLÓ, P. 2018. Evaluating the new soil erosion map of Hungary – A semiquantitative approach. *Land Degradation & Development* 29. pp. 1295-1302
- WANG, X-J. – ZHANG, J-Y. – YANG, Z-F. – SHAHID, S. – HE, R-M. – XIA, X-H. – LIU, H-W. 2013. Historic water consumptions and future management strategies for Haihe river basin of Northern China. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 20 (3). pp. 371-387
- WANG, X-J. – ZHANG, J-Y. – SHAHID, S. – GUAN, E-H. – WU, Y-X. – GAO, J. – HE, R-M. 2016. Adaptation to climate change impacts on water demand. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 21 (1). pp. 81-99
- WANG, Y-P. – LI, X-G. – ZHU, J. – FAN, C-Y. – KONG, X-J. – TURNER, N-C. – SIDDIQUE, K-H-M. – LI, F-M. 2016_a. Multi-site assessment of the effects of plastic-film mulch on dryland maize productivity in semiarid areas in China. *Agricultural and Forest Meteorology* 220. pp. 160-169
- WANG, Y-P. – LI, X.G. – FU, T. – WANG, L. – TURNER, N.C. – SIDDIQUE, K.H.M. – LI, F-M. 2016_b. Multi-site assessment of the soil organic carbon balance in semiarid areas of China. *Agricultural and Forest Meteorology* 228-229. pp. 42-51
- WANG, L. – MA, B. – WU, F. 2017. Effects of wheat stubble on runoff, infiltration, and erosion of farmland on the Loess Plateau, China, subjected to simulated rainfall. *Soil Earth* 8. pp. 281-290
- WANG, W. – AKHTAR, K. – REN, G. – YANG, G. – FENG, Y. – YUAN, L. 2019_a. Impact of straw management on seasonal soil carbon dioxide emissions, soil water content, and temperature in a semi-arid region of China. *Science of the Total Environment* 652. pp. 471-482

- WANG, S.B. – GUO, L.L. – ZHOU, P.C. – WANG, X.J. – SHEN, Y. – HAN, H.F. – NING, T.Y. – HAN, K. 2019_b. Effect of subsoiling depth on soil physical properties and summer maize (*Zea mays* L.) yield. *Plant, Soil and Environment* 65. pp. 131-137
- WARDLE, D.A. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Advances in Ecological Research* 26. pp. 105-185
- WEIDINGER T. (szerk). 2006. 31. Meteorológiai Tudományos Napok. Az éghajlati regionális módosulásának objektív becslését megalapozó klímadinamikai kutatások. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. p: 228
- WEISE G. – BOURARACH E. H. 1999. Tillage machinery. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Plant Production Engineering* St. Joseph. 3. pp.184-217
- WHALEN, J.K. – PARMELEE, R.W. – EDWARDS, C.A. 1998. Population dynamics of earthworm communities in corn agroecosystems receiving organic or inorganic fertilizer amendments. *Biology and Fertility of Soils* 27 (4). pp. 400-407
- WHALEN, J.K. – PARMELEE, R.W. 1999. Growth of *Aporrectodea tuberculata* (Eisen) and *Lumbricus terrestris* L. under laboratory and field conditions. *Pedobiologia* 43. pp. 1-10
- WU, X. – VUICHARD, N. – CIAIS, P. – VIOVY, N. – DE NOBLET-DUCOUDRÉ, N. – WANG, X. – MAGLIULO, V. – WATTENBACH, M. – VITALE, L. – DI TOMMASI, P. – MOORS, E.J. – JANS, W. – ELBERS, J. – CESCHIA, E. – TALLEC, T. – BERNHOFER, C. – GRÜNWARD, T. – MOUREAUX, C. – MANISE, T. – LIGNE, A. – CELLIER, P. – LOUBET, B. – LARMANOU, E. – RIPOCHE, D. 2015. ORCHIDEE-CROP (v0), a new process based Agro-Land Surface Model: model description and evaluation over Europe. *Geoscientific Model Development Discussions* 8. pp. 4653-4696
- WUEBBLES, D.J. – FAHEY, D.W. – HIBBARD, K.A. – DOKKEN, D.J. – STEWART, B.C. – MAYCOCK, T.K. 2017. Climate science special report: Fourth national climate assessment. Vol. 1., Washington, DC. U.S. Global Change Research Program. p. 470
- YAN, H. – ZHANG, S. – YAN, K. – MIN, L. – WAN-NIAN, M.A. 2006. Effect of different tillage on soil environment and crop growth in cold area. *Soil Fertility Science of China* 4. pp. 16-19
- YAN, Z. – GAO, C. – REN, Y. – ZONG, R. – MA, Y. – LI, Q. 2017. Effects of pre-sowing irrigation and straw mulching on the grain yield and water use efficiency of summer maize in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 186. pp. 21-28
- YANG, H. – FENG, J. – ZHAI, S. – DAI, Y. – XU, M. – WU, J. – SHEN, M. – BIAN, X. – KOIDE, R.T. – LIU, J. 2016. Long-term ditch buried straw return alters soil water potential, temperature, and microbial communities in a rice-wheat rotation system. *Soil and Tillage Research* 163. pp. 21-31
- YASMIN, S. – D'SOUZA, D. 2010. Effects of pesticides on the growth and reproduction of earthworm: a review. *Applied and Environmental Soil Science*. pp. 1-9

- ZHANG, P. – CHEN, X. – WEI, T. – YANG, Z. – JIA, Z. – YANG, B. – HAN, Q. – REN, X. 2016. Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China. *Soil and Tillage Research* 160. pp. 65-72
- ZHAO, C. – LIU, B. – PIAO, S. – WANG, X. – LOBELL, D.B. – HUANG, Y. – HUANG, M. – YAO, Y. – BASSU, S. – CIAIS, P. – DURAND, J-L. – ELLIOTT, J. – EWERT, F. – JANSSENS, I.A. – LI, T. – LIN, E. – LIU, Q. – MARTRE, P. – MÜLLER, C. – PENG, S. – PENUELAS, J. – RUANE, A.C. – WALLACH, D. – WANG, T. – WU, D. – LIU, Z. – ZHU, Y. – ZHU, Z. – ASSENG, S. 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 114. pp. 9326-9331
- ZIMMER, R. – MILAKOVIĆ, Z. – MILOŠ, B. – KRŽEK, Z. – BRAČUN, M. – ZUZJAK, S. – IPSA, J. – SEPUT, M. 2002. Soil tillage and arable crops sowing practice in Slavonia and Baranja, *Proceedings of the 30th International Symposium “Actual Tasks on Agricultural Engineering”*, Opatija, Croatia.
- ZSEMBELI, J. – SZŰCS, L. – TUBA, G. – CZIMBALMOS, R. 2015. Nedvességtakarékos talajművelési rendszer fejlesztése Karcagon. In: *Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon* (Szerk.: Madarász, B). MTA CSFK FTI. Budapest. pp. 122-133
- ZSEMBELI, J. – KOVÁCS, GY. – CZELLÉR, K. – TUBA, G. 2018. Long-term effect of soil management on the carbon-dioxide emission of the soil. *Agrártudományi Közlemények/Acta Agraria Debreceniensis*, Debrecen. pp. 515-527
- ŽUGEC, I. – STIPEŠEVIĆ, B. – KELAVA, I. 2010. Rational soil tillage for cereals (Winter wheat – *Triticum aestivum* and Spring Barley – *Hordeum vulgare* L.) in eastern Croatia. *Proceedings of the 15th International Conference of the International Soil Tillage Research Organization, „ISTRO-2000”; „ISTRO-2000 Conference Book of Abstract”* / Forth Worth, Texas Agricultural Experiment Station Temple.

Internetes források

http1: Conservation Technology Information Center (CTIC), 2017.

http2: Penetrologger – Field measurement equipment. Eijkelkamp 0615SA.

file:///C:/Users/admin/Downloads/Penetrologger_e_31ec.pdf (Letöltés ideje: 2019.09.05.)

http3: EUROSTAT, 2017

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agricultural_production_-_crops#Cereals (Letöltés ideje: 2019.07.15.)

http4: FAO, 2017 FAO 2017. FAOstat, Food and Agricultural Organization, Rome. <http://www.fao.org/faostat/en/> (Letöltés ideje: 2019. 07. 06.)

http5: IUSS Working Group WRB, 2015) World Reference Base for Soil Resources 2,14, Update 2015. *International Soil Classification System for Naming Soils and Creating*

Legends for Soil Maps. Available online: World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome (2015). <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf> (Letöltés ideje: 2017.03.21.)

http6: KSH, A mezőgazdaság szerepe a nemzetgazdaságban. A földhasználat és a növénytermesztés főbb jellemzői.
<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mezo/mezoszerepe18.pdf> (Letöltés ideje, 2019.04.27.)

http7: NASA 2019. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> (Letöltés ideje: 2019.08.02.)

http8: STATISZTIKAI ÉVKÖNYV, 2018. Statistical yearbook of the Republic of Croatia. Zagreb, Croatia. p. 582 https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/ljetopis/2018/sljh2018.pdf (Letöltés ideje: 2019.09.05.)

http9: Világ bank 2018 <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> (Letöltés ideje: 2019.05.05.)

http10: Vilag bank 2015.

<https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.ARBL.HA.PC?locations=1W&view=chart>
Letöltés ideje: 2019.05.05.)

http11: Világ Meteorológiai Szervezet 2018. The State of the Global Climate in 2018. (Letöltés ideje: 2019.04.25.)

http12: Magyar szabvány – A talaj szerves széntartalmának meghatározása.

http13: JÓRI, J., I. 2016. Horizontális – vertikális – precízios alapművelés. In: A talajművelés fejlődéstörténete. Agroforum online.

8.2 M2. A statisztikai értékelések táblázatai és grafikonjai a dolgozatban

1. táblázat: A lukácsi talajművelési kezelések, a művelési mélység, a munkaszélesség és a felhasznált talajművelő eszközök
 2. táblázat: A talajkémiai tulajdonságai a lukácsi kísérletben
 3. táblázat: A talajmechanikai összetétele a lukácsi kísérletben
 4. táblázat: A lukácsi növénytermesztési technológia leírása
 5. táblázat: A józsefmajori talajművelési kezelések, a művelési mélység, a munkaszélesség és a felhasznált talajművelő eszközök
 6. táblázat: A józsefmajori növénytermesztési technológia leírása
 7. táblázat: Korrelációs együtthatók a talaj agronómiai szerkezetét leíró mutatók, a csapadékmennyiség és szórása között, különböző talajművelési kezelések esetén (Lukács)
 8. táblázat: Korrelációs együtthatók és a talaj agronómiai szerkezetét leíró mutatók, a csapadékmennyiség, a szórása és a talajnedvesség között (Lukács, 2016-2018)
 9. táblázat: Korrelációs együtthatók a talaj agronómiai szerkezetét leíró mutatók, a különböző talajművelési kezelések esetén, a józsefmajori kísérletben
 10. táblázat: Korrelációs együtthatók a talaj agronómiai szerkezetét leíró mutatók, a csapadékmennyiség, a szórása és a talajnedvesség között (Józsefmajor, 2016-2018)
 11. táblázat: A talajfelszín minősítése a kitéttég megítéléséhez két termőhelyen
 12. táblázat: A két termőhely korrelációs együtthatói a morzsa arány és a földigiliszta egyedszám között három év együttesen
 13. táblázat: Talajművelési rendszerek megfelelése tekintettel a klimatikus szélsőségekre két termőhelyen
-
1. a. ábra: A lukácsi kísérleti területe elhelyezkedése
b. ábra: A józsefmajori kísérleti területe elhelyezkedése
 2. ábra: A PT-I típusú talajnedvesség mérő műszer
 3. a. ábra: A mérések során felhasznált Eijkelkamp Penetrologger penetrométer
b. ábra: Szarvasi rugós penetrométer
 4. a. ábra: Tartamkísérlet kultivátoros kezelésnek a talajfelszín borítottság; (Grósz János felvétele, 2019)
b. ábra: Adobe Photoshop programmal elkészített kép (saját forrás, 2019)
 5. ábra: Eves csapadék (mm) havi bontásban 2015-2018 között és az 1965-1995 időszak átlaga (Lukács)
 6. ábra: Éves csapadék (mm) havi bontásban 2015-2018 között és az 1965-1995 időszak átlaga (Józsefmajor)
 7. ábra: Talajjellenállás átlagértékek (Lukács, 2016)
 8. ábra: Talajjellenállás átlagértékek (Lukács, 2017)
 9. ábra: Talajjellenállás átlagértékek (Lukács, 2018)
 10. ábra: Talajjellenállás átlagértékek (Józsefmajor, 2016)
 11. ábra: Talajjellenállás átlagértékek (Józsefmajor, 2017)
 12. ábra: Talajjellenállás átlagértékek (Józsefmajor, 2018)

13. ábra: Talajnedvesség átlagértékek (Lukács, 2016)
14. ábra: Talajnedvesség átlagértékek (Lukács, 2017)
15. ábra: Talajnedvesség átlagértékek (Lukács, 2018)
16. ábra: Talajnedvesség átlagértékek (Józsefmajor, 2016)
17. ábra: Talajnedvesség átlagértékek (Józsefmajor, 2017)
18. ábra: Talajnedvesség átlagértékek, (Józsefmajor, 2018)
19. ábra: A talajfelszín borítása (%) a művelési kezelésekben (Lukács, 2016-2018)
20. ábra: A talajfelszín borítása (%) a művelési kezelésekben (Józsefmajor, 2016-2018)
21. ábra: Az agronómiai szerkezet átlagok (%) (Lukács, 2016., 2017. és 2018)
22. ábra: Az agronómiai szerkezet átlagos arányai (%) (Józsefmajor, 2016)
23. ábra: Az agronómiai szerkezet átlagos arányai (%) (Józsefmajor, 2017)
24. ábra: Az agronómiai szerkezet átlagos arányai (%) (Józsefmajor, 2018)
25. ábra: A talajnedvesség (m/m%) alakulása 0-5 és 5-10 cm rétegben (Lukács, 2016-2018)
26. ábra: A talajnedvesség (m/m%) alakulása 0-5 cm és 5-10 cm rétegben (Józsefmajor, 2016-2018)
27. ábra: A földigiliszta egyedszám, az eltérő borítási kategóriák tekintetében (Józsefmajor, 2016-2018)
28. ábra: A földigiliszta egyedszám, az eltérő borítási kategóriák tekintetében (Józsefmajor, 2017)
29. ábra: A két termőhely morzsa arányai eltérő borítási kategóriáknál, a három év együttesen
30. ábra: A földigiliszta egyedszám Lukácson, a 2016., a 2017. és a 2018. évben
31. ábra: A földigiliszta egyedszám Józsefmajorban, 2016-ban
32. ábra: A földigiliszta egyedszám Józsefmajorban, 2017-ben
33. ábra: A földigiliszta egyedszám Józsefmajorban, 2018-ban
34. ábra: Szántott talajra jellemző talajjellenállás (MPa) 3 év átlagában, két termőhelyen
35. ábra: Szántott talajok nedvessége (m/m%) 3 év átlagában, két termőhelyen
36. ábra: Szántott talajra jellemző agronómiai szerkezet átlagos arányai (%), két termőhelyen
37. ábra: Az átlagos földigiliszta egyedszám szántott talajban, két termőhelyen
38. ábra: Talajjellenállás (MPa) átlagok eltérően művelt talajokban, két termőhelyen
39. ábra: Talajnedvesség (m/m%) átlagok eltérően művelt talajokban, két termőhelyen
40. ábra: Az agronómiai szerkezet hároméves átlagos arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben
41. ábra: A földigiliszta egyedszám hároméves átlagos arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben, a három év együttesen
42. ábra: A művelési kezelések összehasonlítása a lukácsi kísérletben mért 4 paraméter alapján (2016-2018)
43. ábra: A művelési kezelések összehasonlítása a józsefmajori kísérletben mért 4 paraméter alapján (2016-2018)

M3. A statisztikai értékelések táblázatai és grafikonjai a mellékletben

1. Csapadékmennyiség adatok
 - 1.1. táblázat: 2015. évi csapadék (mm) Lukácson
 - 1.2. táblázat: 2016. évi csapadék (mm) Lukácson
 - 1.3. táblázat: 2017. évi csapadék (mm) Lukácson
 - 1.4. táblázat: 2018. évi csapadék (mm) Lukácson
 - 1.5. táblázat: 2015. évi csapadék (mm) Józsefmajorban
 - 1.6. táblázat: 2016. évi csapadék (mm) Józsefmajorban
 - 1.7. táblázat: 2017. évi csapadék (mm) Józsefmajorban
 - 1.8. táblázat: 2018. évi csapadék (mm) Józsefmajorban
2. táblázat: A 2017. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Lukács)
 - 2.1. táblázat: A 2017. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Lukács)
3. táblázat: A 2018. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Lukács)
 - 3.1. táblázat: A 2018. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Lukács)
4. táblázat: A 2016. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)
 - 4.1. táblázat: A 2016. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)
5. táblázat: A 2017. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)
 - 5.1. táblázat: A 2017. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)
6. táblázat: A 2018. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)
 - 6.1. táblázat: A 2018. évi talajjellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)
7. táblázat: A 2016. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Lukács)
8. táblázat: A 2018. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Lukács)
 - 8.1. táblázat: A 2018. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Lukács)
9. táblázat: A 2016. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)
 - 9.1. táblázat: A 2016. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)
10. táblázat: A 2018. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)

- 10.1. táblázat: A 2018. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)
11. táblázat: A talajszerkezet megoszlását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a lukácsi kísérletben, a három év együttesen
- 11.1. táblázat: A talajszerkezet megoszlását alátámasztó post hoc próba elemzések adatai a lukácsi kísérletben, a három év együttesen
12. táblázat: A talajszerkezet megoszlását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a lukácsi kísérletben, a 2016, a 2017. és a 2018. évre vonatkozóan
- 12.1. táblázat: A talajszerkezet megoszlását alátámasztó post hoc próba elemzések adatai a lukácsi kísérletben, 2017-re és 2018-ra vonatkozóan
13. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a 2016., a 2017. és a 2018. évre vonatkozóan
- 13.1. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben a 2016., a 2017. és a 2018. évre vonatkozóan
14. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, három év együttesen
- 14.1. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, három év együttesen
15. táblázat: A talajnedvesség adatokat alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések a 0-5 és 5-10 cm rétegekre vonatkozóan (Lukács, 2016-2018)
- 15.1. táblázat: A talajnedvességre vonatkozó post hoc statisztikai elemzések a 0-5 és 5-10 cm rétegekre (Lukács, 2016-2018)
16. táblázat: A földigiliszta egyedszám alakulása eltérő borítottság esetén alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen
- 16.1. táblázat: A földigiliszta egyedszám alakulása eltérő borítottság esetén alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen
17. táblázat: Az eltérő borítási kategóriák által, a földigiliszta egyedszám alakulását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, 2017-re vonatkozóan
- 17.1. táblázat: Az eltérő borítási kategóriák által, a földigiliszta egyedszám alakulását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, 2017-re vonatkozóan
18. táblázat: A két termőhely morzsa arányai eltérő borítási kategóriáknál alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a három év együttesen
- 18.1. táblázat: A két termőhely morzsa arányai eltérő borítási kategóriáknál alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a három év együttesen
19. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Lukács, 2017)
- 19.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Lukács, 2017)
20. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Lukács, 2018)
- 20.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Lukács, 2018)
21. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2016)
- 21.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2016)
22. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2017)
- 22.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2017)

23. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2018)
- 23.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2018)
24. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen
- 24.1. táblázat: A földigilisztaszámot alátámasztó post hoc elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen
25. táblázat: A talajjellenállás ANOVA elemzések eredményei, két eltérő szántásban, a három év együttesen
26. táblázat: A talajnedvesség ANOVA elemzések eredményei, két eltérő szántásban, a három év együttesen
27. táblázat: Az agronómiai szerkezet ANOVA elemzések eredményei, két eltérő szántásban, a három év együttesen
28. táblázat: Az agronómiai szerkezet ANOVA elemzések eredményei, két eltérő szántásban, 2018-ban
29. táblázat: A földigiliszta egyedszámra vonatkozó ANOVA elemzések eredményei két eltérő szántásban, a három év együttesen
30. táblázat: A földigiliszta egyedszám ANOVA elemzések eredményei két eltérő szántásban, 2018-ban
31. táblázat: A talajjellenállás ANOVA elemzések eredményei, a sekély kultivátoros kezelés esetén
32. táblázat: A talajjellenállás ANOVA elemzések eredményei a kultivátoros kezelés esetén
33. táblázat: A talajnedvesség ANOVA elemzések eredményei, a sekély kultivátoros kezelés esetén
34. táblázat: A talajnedvesség ANOVA elemzések eredményei a direktvetés kezelés esetén
35. táblázat: A talajjellenállás ANOVA elemzések eredményei, a kultivátoros kezelés esetén
36. táblázat: Az agronómiai szerkezet ANOVA elemzések eredményei, a lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, a három év együttesen
37. táblázat: Az agronómiai szerkezet ANOVA elemzések eredményei, a lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, a 2017. és 2018. években
38. táblázat: A földigiliszta egyedszám ANOVA elemzések eredményei, a lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, a három év együttesen
39. táblázat: A földigiliszta egyedszám ANOVA elemzések eredményei, a lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, a 2016., a 2017. és a 2018. években

A statisztikai értékelések grafikonjai a mellékletben

1. ábra: A talajjellenállási adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben
2. ábra: A talajjellenállási adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben
3. ábra: A talajjellenállási adatok időbeli eloszlása a szántás kezelésben
4. ábra: A talajjellenállási adatok időbeli eloszlása a kultivátoros kezelésben
5. ábra: A talajjellenállási adatok időbeli eloszlása a sekély kultivátoros kezelésben
6. ábra: A talajjellenállási adatok időbeli eloszlása a szántás kezelésben
7. ábra: A talajjellenállási adatok időbeli eloszlása a kultivátoros kezelésben

52. ábra: A talajnedvességi adatok időbeli eloszlása a kultivátoros kezelésben
53. ábra: A talajnedvességi adatok időbeli eloszlása a szántás kezelésben
54. ábra: A talajnedvességi adatok időbeli eloszlása a lazítás kezelésben
55. ábra: Szántott talajra jellemző talajjellenállás (MPa) két termőhelyen, 2016-ban
56. ábra: Szántott talajra jellemző talajjellenállás (MPa) két termőhelyen, 2017-ben
57. ábra: Szántott talajra jellemző talajjellenállás (MPa) két termőhelyen, 2018-ban
58. ábra: Szántott talajok nedvessége (m/m%), két termőhelyen, 2016-ban
59. ábra: Szántott talajok nedvessége (m/m%), két termőhelyen, 2017-ben
60. ábra: Szántott talajok nedvessége (m/m%), két termőhelyen, 2018-ban
61. ábra: Szántott talajra jellemző agronómiai szerkezet átlagos arányai (%), két termőhelyen, 2016-ban
62. ábra: Szántott talajra jellemző agronómiai szerkezet átlagos arányai (%), két termőhelyen, 2017-ben
63. ábra: Szántott talajra jellemző agronómiai szerkezet átlagos arányai (%), két termőhelyen, 2018-ban
64. ábra: A földigiliszta egyedszám megjelenése 2016-ban, 2017-ben és 2018-ban
65. ábra: Talajjellenállás (MPa) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen (2016)
66. ábra: Talajjellenállás (MPa) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen (2017)
67. ábra: Talajjellenállás (MPa) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen (2018)
68. ábra: Talajnedvesség (m/m%) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen (2016)
69. ábra: Talajnedvesség (m/m%) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen (2017)
70. ábra: Talajnedvesség (m/m%) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen (2018)
71. ábra: Az agronómiai szerkezet arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben (2016)
72. ábra: Az agronómiai szerkezet hároméves átlagos arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben (2017)
73. ábra: Az agronómiai szerkezet hároméves átlagos arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben (2018)
74. ábra: A földigiliszta egyedszám, a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben a három év együttesen

8.3 M3. Táblázatok és ábrák

M3. 1.1 táblázat: A 2015. évi csapadék (mm) Lukácson

	Jan	Febr	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Σ
Havi csapadékmennyiség (mm)	106,6	82,4	30,1	47,8	214,8	35	60,2	105,9	136,3	151,2	44,5	7	1022
Napi átlagos csapadékmennyiség (mm)	3,44	2,94	0,97	1,59	6,93	1,17	1,94	3,42	4,54	4,88	1,48	0,23	-
Szórás	6,66	5,88	2,20	5,46	14,02	2,92	6,49	11,91	10,49	9,93	5,34	0,75	-
Relatív szórás (%)	1,94	2,00	2,26	3,42	2,02	2,50	3,34	3,49	2,31	2,04	3,60	3,30	-

M3. 1.2 táblázat: A 2016. évi csapadék (mm) Lukácson

	Jan	Febr	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Σ
Havi csapadékmennyiség (mm)	85,3	85,9	91,5	24,1	95,3	71,5	108,9	102	39,8	67,7	107,9	6	886
Napi átlagos csapadékmennyiség (mm)	2,75	2,96	2,95	0,80	3,07	2,38	3,51	3,29	1,33	2,18	3,60	0,19	-
Szórás	5,62	4,33	7,73	1,66	4,91	4,48	10,87	7,88	4,51	4,37	8,48	0,76	-
Relatív szórás (%)	2,04	1,46	2,62	2,06	1,60	1,88	3,09	2,40	3,40	2,00	2,36	3,93	-

M3. 1.3 táblázat: A 2017. évi csapadék (mm) Lukácson

	Jan	Febr	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Σ
Havi csapadékmennyiség (mm)	41,1	46,1	49,2	35,6	41,7	44,2	87,6	38	117,2	110,8	59,5	108	779
Napi átlagos csapadékmennyiség (mm)	1,33	1,65	1,59	1,19	1,35	1,47	2,83	1,23	3,91	3,57	1,98	3,48	-
Szórás	5,95	4,49	3,82	2,66	2,86	3,32	10,02	3,72	8,03	10,35	3,90	8,66	-
Relatív szórás (%)	4,49	2,73	2,41	2,24	2,13	2,25	3,54	3,03	2,06	2,90	1,97	2,49	-

M3. 1.4 táblázat: A 2018. évi csapadék (mm) Lukácson

	Jan	Febr	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Σ
Havi csapadékmennyiség (mm)	54,8	148,5	107,7	46	31,8	143,7	45,1	39,6	83,3	13,2	41,2	28,6	783,5
Napi átlagos csapadékmennyiség (mm)	1,77	49,50	3,47	1,53	1,03	4,79	1,45	1,28	2,78	0,43	1,37	0,92	-
Szórás	3,84	6,80	6,41	3,70	2,45	6,89	2,64	2,87	6,17	1,98	3,63	2,89	-
Relatív szórás (%)	2,17	0,14	1,85	2,42	2,39	1,44	1,81	2,25	2,22	4,66	2,64	3,14	-

M3. 1.5 táblázat: A 2015. évi csapadék (mm) Józsefmajorban

	Jan	Febr	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Σ
Havi csapadékmennyiség (mm)	65	13	16	8	86	51	36,5	39,5	79	115	36	15	560
Napi átlagos csapadékmennyiség (mm)	2,10	0,46	0,52	0,27	2,77	1,70	1,18	1,27	1,20	3,71	1,20	0,48	-
Szórás (mm)	4,74	1,36	1,34	1,44	4,21	4,14	2,75	4,14	4,23	7,58	2,92	1,15	-
Relatív szórás (%)	2,26	2,93	2,61	5,39	1,52	2,44	2,34	3,25	3,52	2,04	2,44	2,38	-

M3. 1.6 táblázat: A 2016. évi csapadék (mm) Józsefmajorban

	Jan	Febr	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Σ
Havi csapadékmennyiség (mm)	67	126	51	21	106	44	107	55	47,5	64	37	5,5	731
Napi átlagos csapadékmennyiség (mm)	2,16	4,50	1,65	0,70	3,42	1,47	3,45	1,77	1,58	2,06	1,23	0,18	-
Szórás	4,71	7,47	3,89	2,29	9,39	3,73	7,02	5,41	4,36	3,99	2,76	0,53	-
Relatív szórás (%)	2,18	1,66	2,37	3,27	2,75	2,54	2,03	3,05	2,75	1,93	2,24	2,96	-

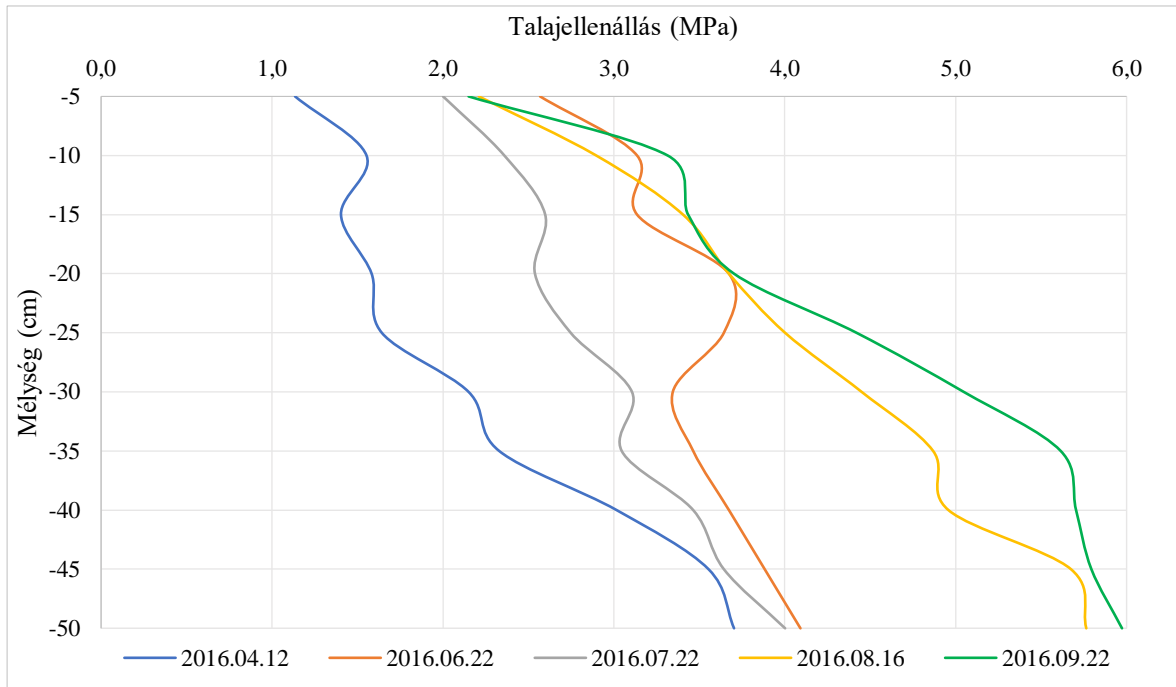
M3. 1.7 táblázat: A 2017. évi csapadék (mm) Józsefmajorban

	Jan	Febr	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Σ
Havi csapadékmennyiség (mm)	27	17	41	52	67	20	70	57	111	51	65	26	604
Napi átlagos csapadékmennyiség (mm)	0,87	0,61	1,32	1,73	2,16	0,67	2,26	1,84	3,70	1,65	2,17	0,84	-
Szórás	2,69	1,29	3,39	5,10	4,12	1,52	4,85	5,95	9,16	5,88	5,24	1,85	-
Relatív szórás (%)	3,09	2,12	2,57	2,94	1,90	2,28	2,15	3,24	2,48	3,57	2,42	2,20	-

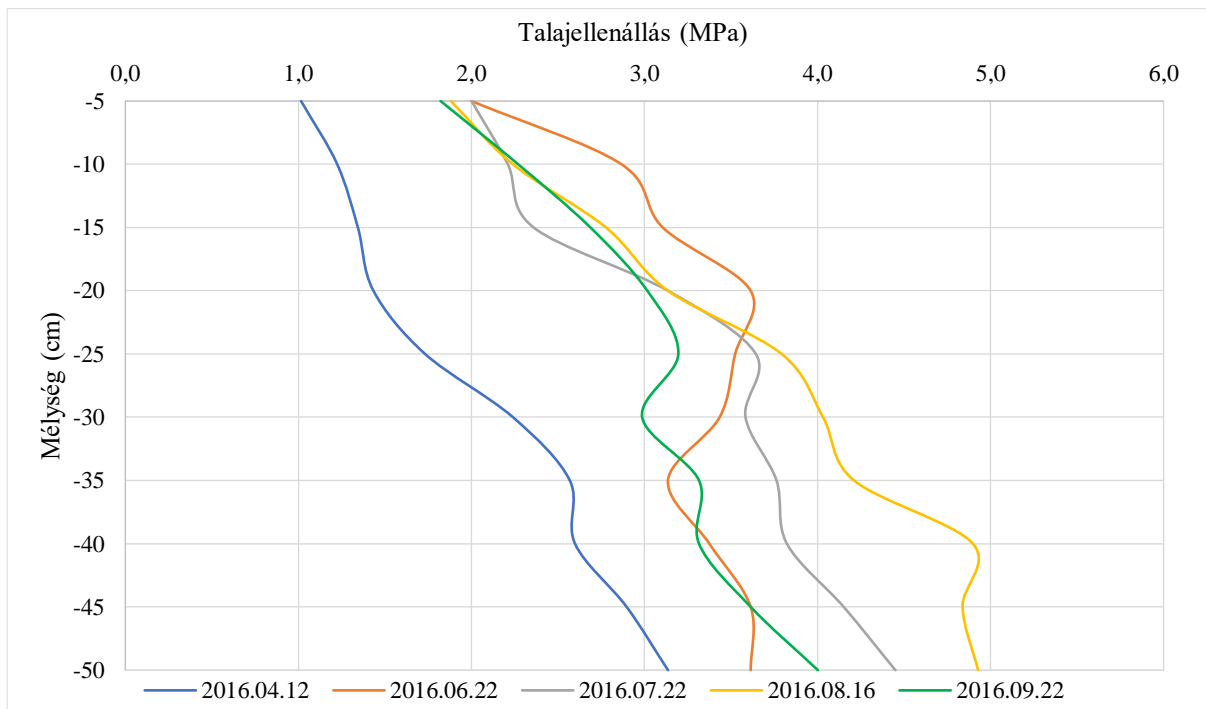
M3. 1.8 táblázat: A 2018. évi csapadék (mm) Józsefmajorban

	Jan	Febr	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szept	Okt	Nov	Dec	Σ
Havi csapadékmennyiség (mm)	19	59	55	11	43	105	49	39	36,5	16	64	28	524,5
Napi átlagos csapadékmennyiség (mm)	0,61	2,11	1,77	0,37	1,39	3,50	1,58	1,26	1,22	0,52	2,13	0,90	-
Szórás	1,58	3,22	3,38	1,05	3,77	6,42	3,99	3,12	5,58	1,93	5,32	2,10	-
Relatív szórás (%)	2,59	1,53	1,91	2,86	2,72	1,83	2,52	2,48	4,58	3,74	2,49	2,33	-

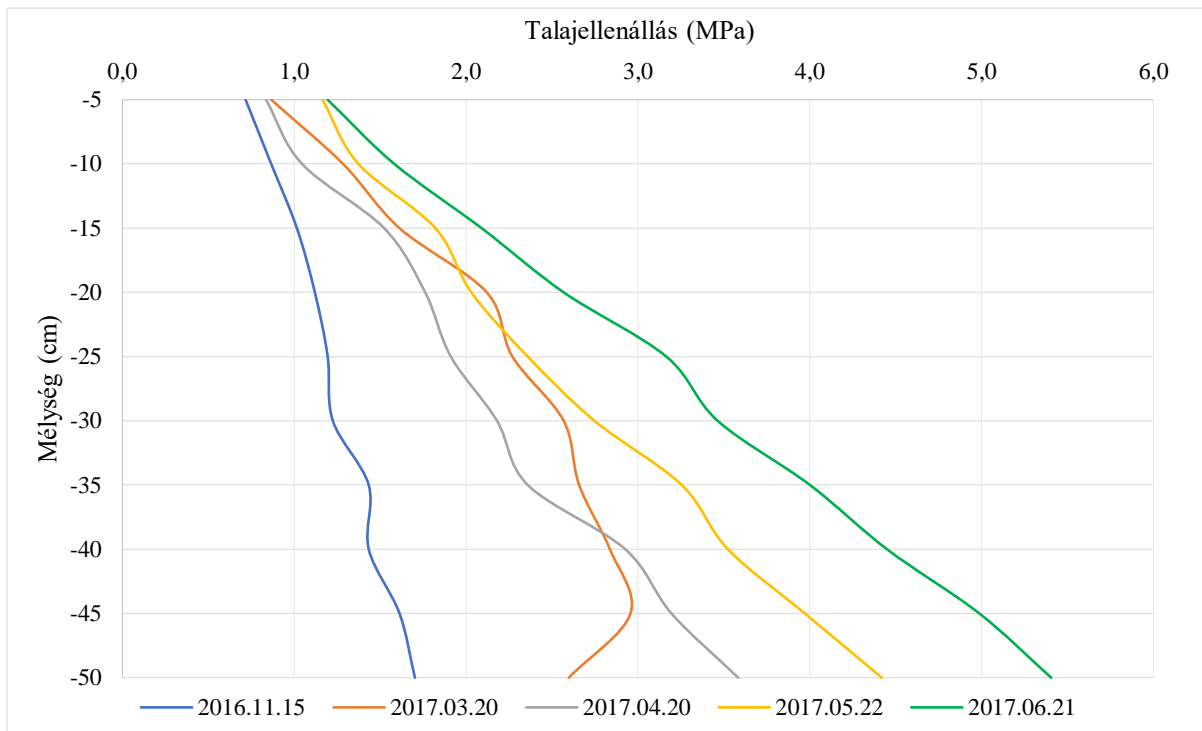
M3. 1. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Lukács, 2016)



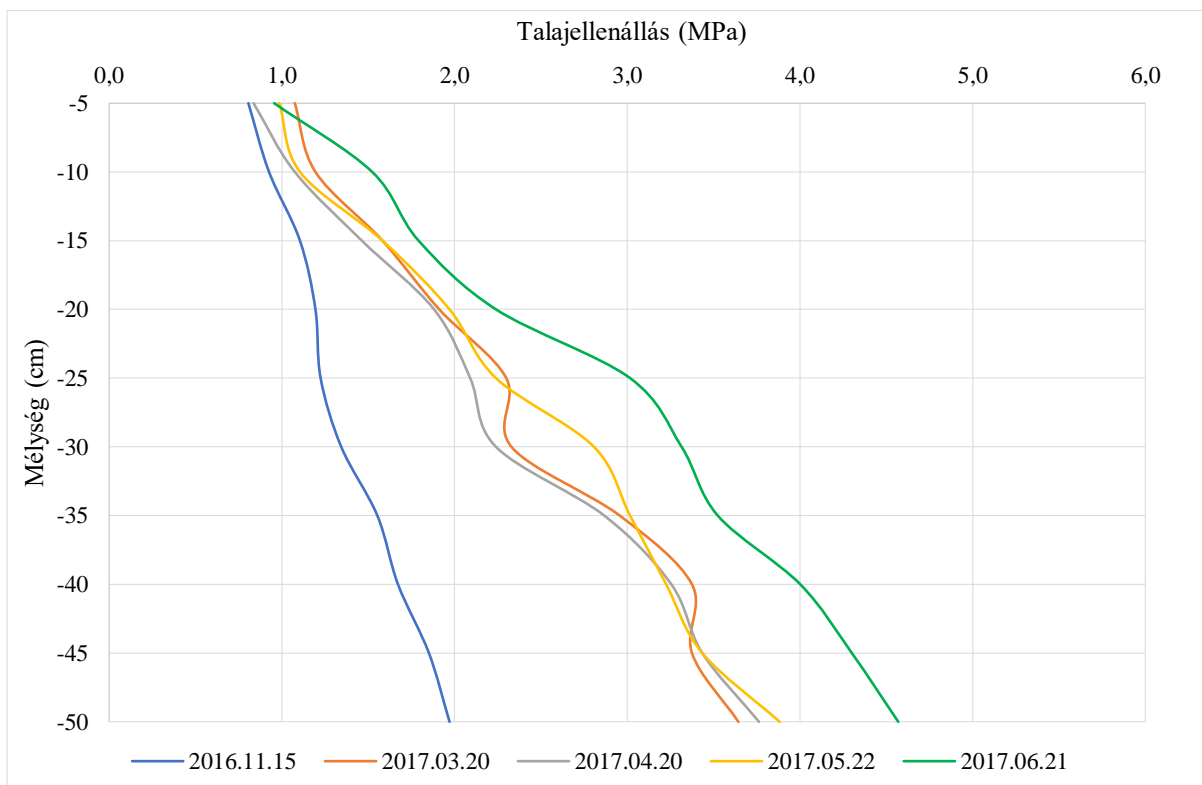
M3. 2. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Lukács, 2016)



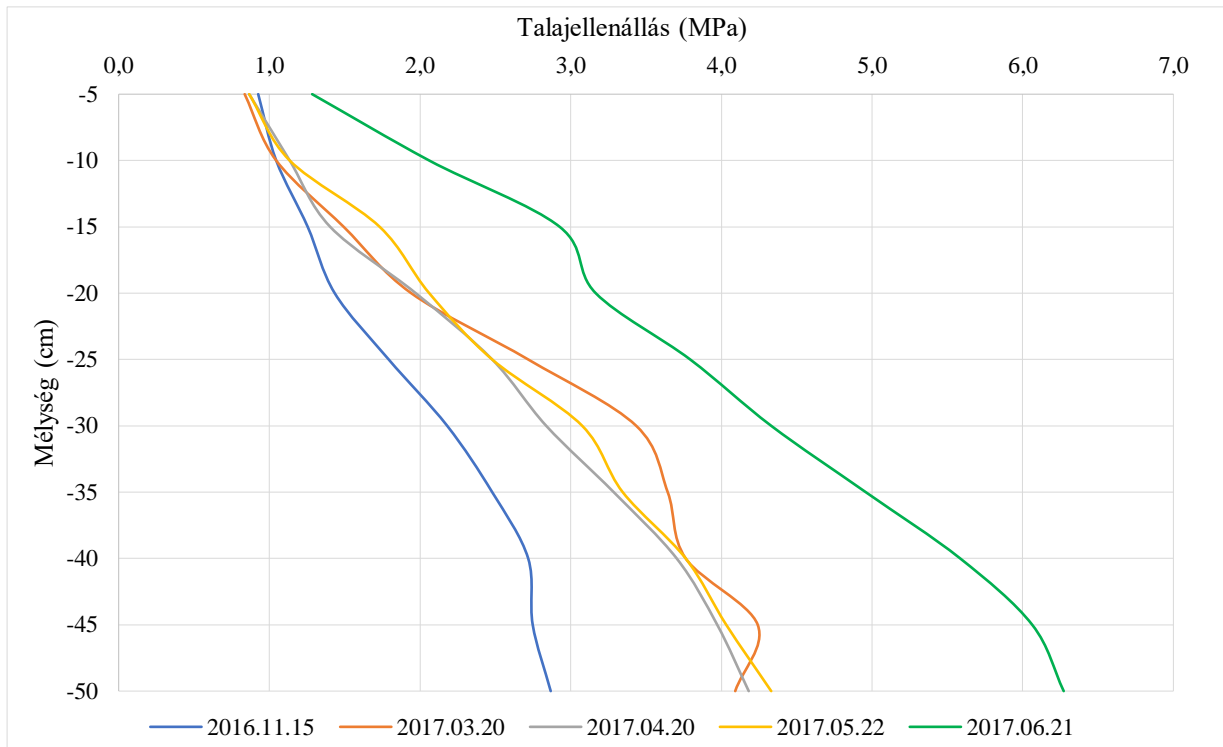
M3. 3. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Lukács, 2017)



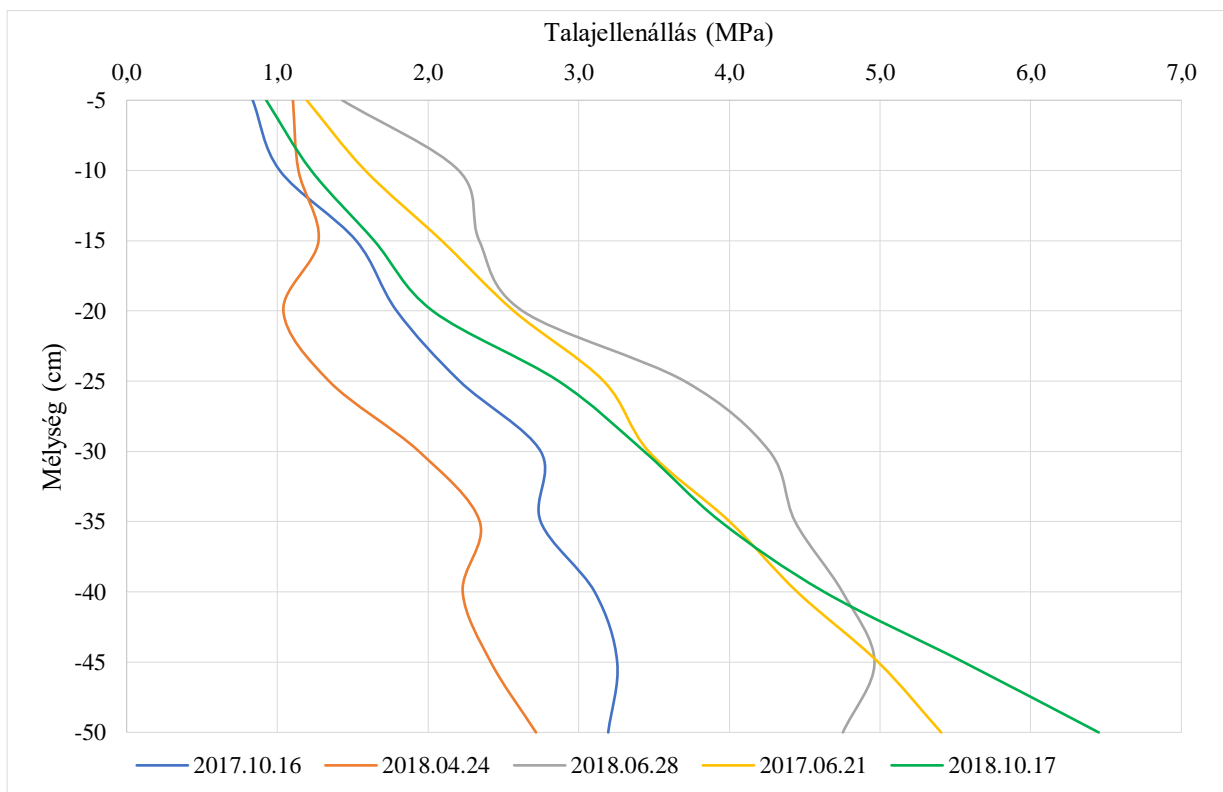
M3. 4. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Lukács, 2017)



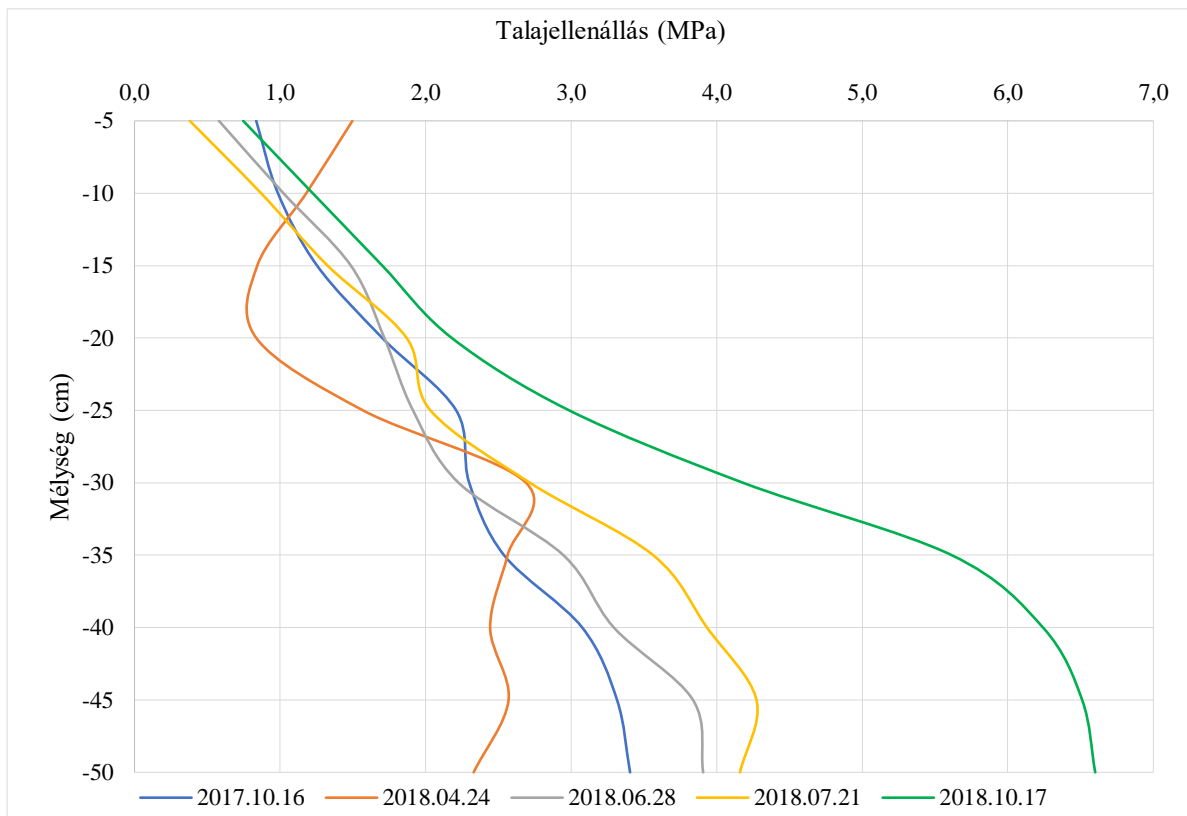
M3. 5. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Lukács, 2017)



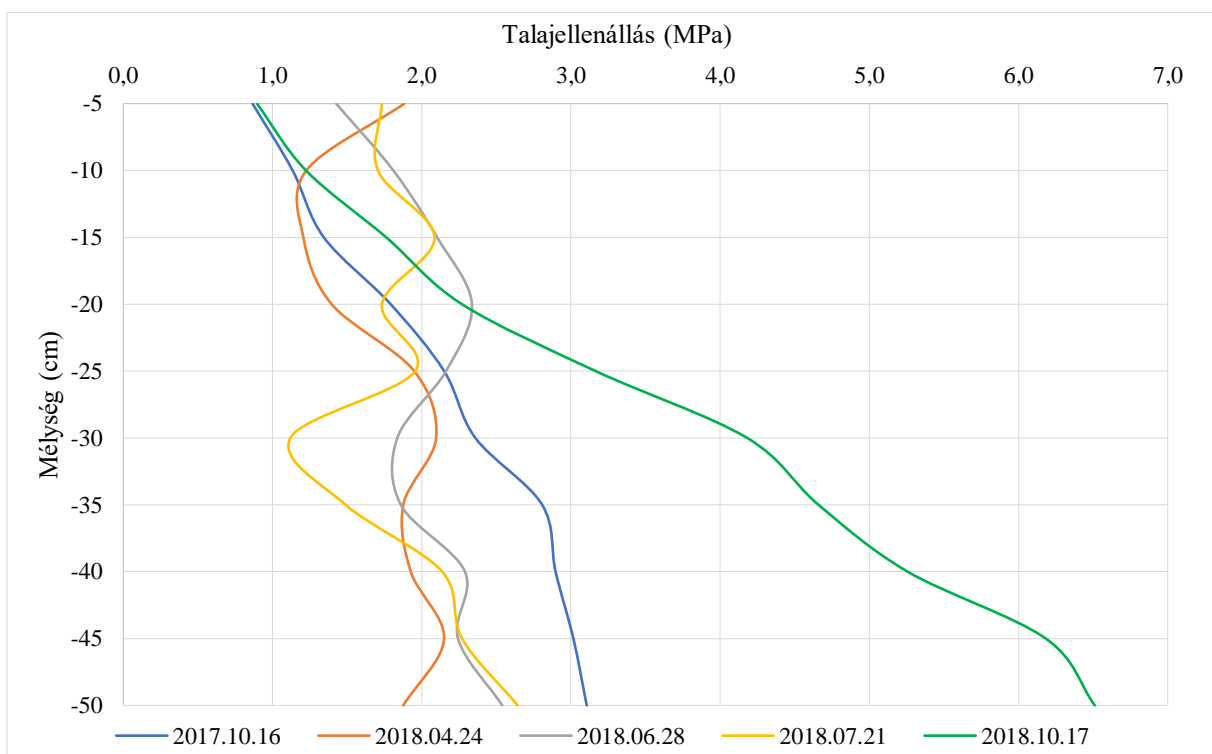
M3. 6. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Lukács, 2018)



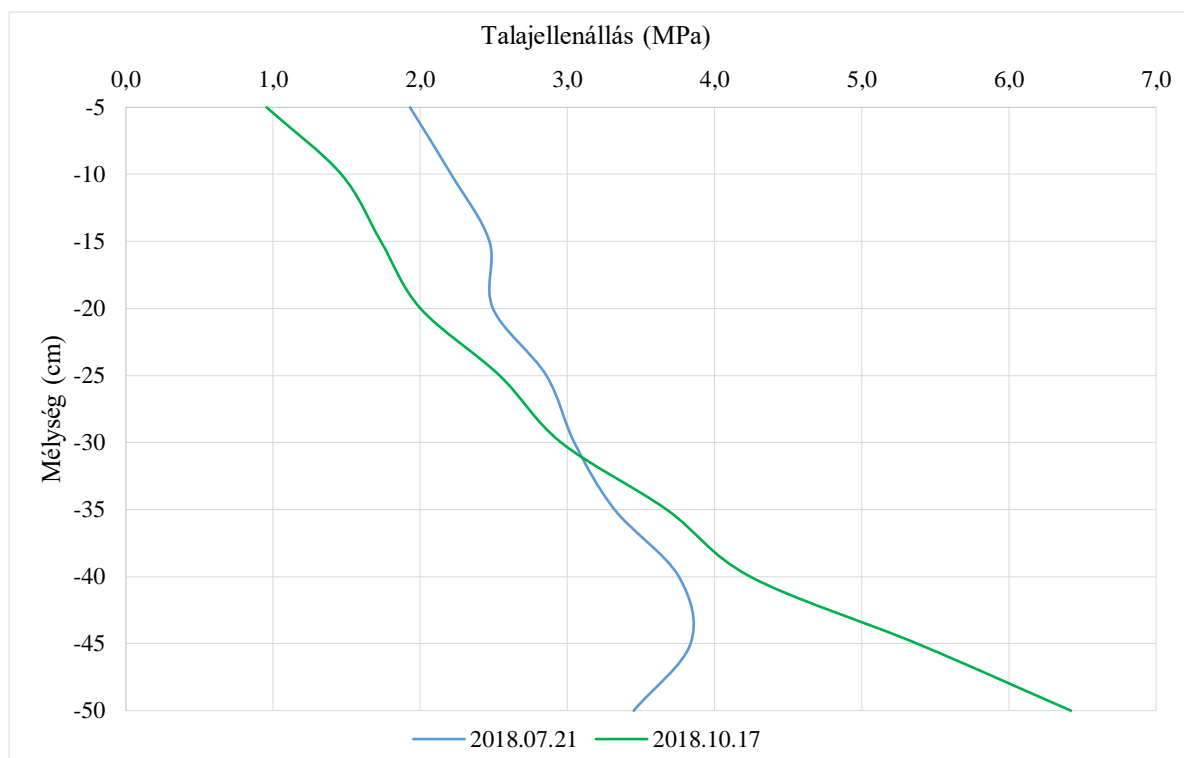
M3. 7. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Lukács, 2018)



M3. 8. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Lukács, 2018)



M3. 9. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a direktvetés kezelésben (Lukács, 2018)



M3. 2. táblázat: A 2017. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Lukács)

Év	Mélység		Eltérésnégyzet- összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2017	-30 cm	Csoportok között	5,626	2	2,813	4,670	0,015
		Csoportokon belül	25,303	42	0,602		
		Összesen	30,929	44			
	-35 cm	Csoportok között	6,090	2	3,045	4,030	0,025
		Csoportokon belül	31,729	42	0,755		
		Összesen	37,819	44			
	-40 cm	Csoportok között	7,032	2	3,516	3,635	0,035
		Csoportokon belül	40,628	42	0,967		
		Összesen	47,660	44			
	-45 cm	Csoportok között	8,114	2	4,057	3,517	0,039
		Csoportokon belül	48,449	42	1,154		
		Összesen	56,564	44			

M3. 2.1. táblázat: A 2017. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Lukács)

-30 cm			
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Kultivátoros	15	2,4073	
Szántás	15	2,4371	
Sekély kultivátoros	15		3,1718

-35 cm			
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	15	2,7418	
Kultivátoros	15	2,7836	
Sekély kultivátoros	15		3,5422
-40 cm			
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	15	3,0345	
Kultivátoros	15	3,1061	
Sekély kultivátoros	15		3,9066
-45 cm			
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Kultivátoros	15	3,2794	
Szántás	15	3,3451	
Sekély kultivátoros	15		4,2112
-50 cm			
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	15	3,5422	
Kultivátoros	15	3,5661	
Sekély kultivátoros	15		4,3486

M3. 3. táblázat: A 2018. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Lukács)

Év	Mélység		Eltérésnégyzet- összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2018	-5 cm	Csoportok között	3,055	3	1,018	2,849	0,047
		Csoportokon belül	16,798	47	0,357		
		Összesen	2018	50			
	-10 cm	Csoportok között	3,909	3	1,303	4,420	0,008
		Csoportokon belül	13,855	47	0,295		
		Összesen	17,765	50			
	-15 cm	Csoportok között	3,699	3	1,233	4,551	0,007
		Csoportokon belül	12,732	47	0,271		
		Összesen	16,430	50			
	-35 cm	Csoportok között	13,122	3	4,374	2,872	0,046
		Csoportokon belül	71,575	47	1,523		
		Összesen	84,697	50			

M3. 3.1. táblázat: A 2018. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Lukács)

-5 cm			
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Kultivátoros	15	0,8079	
Szántás	15		1,2498
Sekély kultivátoros	15		1,3611
Direktvetés	6		1,4429
-10 cm			
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Kultivátoros	15	1,0567	
Sekély kultivátoros	15	1,4206	1,4206
Szántás	15		1,6647
Direktvetés	6		1,8367
-15 cm			
Tukey B _{a,b}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Kultivátoros	15	1,3227	
Sekély kultivátoros	15	1,7006	1,7006
Szántás	15		1,8998
Direktvetés	6		2,1011
-30 cm			
Tukey B _{a,b}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Sekély kultivátoros	15	2,3188	
Kultivátoros	15		2,8229
Direktvetés	6		3,0017
Szántás	15		3,5178
-35 cm			
Tukey B _{a,b}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Sekély kultivátoros	15	2,5387	
Kultivátoros	15		3,4454
Direktvetés	6		3,4968
Szántás	15		3,8087

M3. 4. táblázat: A 2016. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)

Év			Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2016	-5 cm	Csoportok között	35,833	5	7,167	10,659	0,000
		Csoportokon belül	383,242	570	0,672		
		Összesen	419,075	575			
	-10 cm	Csoportok között	78,131	5	15,626	13,323	0,000
		Csoportokon belül	668,524	570	1,173		
		Összesen	746,655	575			
	-15 cm	Csoportok között	105,390	5	21,078	13,792	0,000
		Csoportokon belül	871,143	570	1,528		
		Összesen	976,533	575			
	-20 cm	Csoportok között	101,340	5	20,268	11,459	0,000
		Csoportokon belül	1008,215	570	1,769		
		Összesen	1109,555	575			
	-25 cm	Csoportok között	84,666	5	16,933	8,394	0,000
		Csoportokon belül	1149,909	570	2,017		
		Összesen	1234,574	575			
	-30 cm	Csoportok között	57,806	5	11,561	5,652	0,000
		Csoportokon belül	1165,881	570	2,045		
		Összesen	1223,687	575			
	-35 cm	Csoportok között	51,397	5	10,279	4,894	0,000
		Csoportokon belül	1197,335	570	2,101		
		Összesen	1248,732	575			
	-40 cm	Csoportok között	39,931	5	7,986	3,799	0,002
		Csoportokon belül	1198,120	570	2,102		
		Összesen	1238,051	575			
	-45 cm	Csoportok között	30,151	5	6,030	2,941	0,012
		Csoportokon belül	1168,885	570	2,051		
		Összesen	1199,036	575			
-50 cm	Csoportok között	23,374	5	4,675	2,394	0,036	
	Csoportokon belül	1112,970	570	1,953			
	Összesen	1136,344	575				

M3. 4.1. táblázat: A 2016. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)

-5 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	96	1,50	
Lazításos	96	1,53	
Kultivátoros	96	1,63	
Sekély kultivátoros	96	1,68	
Tárcsás	96		2,10
Direktvetés	96		2,10
-10 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Lazításos	96	1,84	
Szántás	96	1,87	

Kultivátoros	96	1,93			
Sekély kultivátoros	96	1,99			
Direktvetés	96		2,55		
Tárcsás	96		2,78		
-15cm^a					
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Szántás	96	2,07			
Lazításos	96	2,09			
Kultivátoros	96	2,19			
Sekély kultivátoros	96	2,42	2,42		
Direktvetés	96		2,81	2,81	
Tárcsás	96			3,24	
-20 cm^a					
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	4
Szántás	96	2,25			
Lazításos	96	2,27			
Kultivátoros	96	2,42	2,42		
Sekély kultivátoros	96		2,86	2,86	
Direktvetés	96			3,02	3,02
Tárcsás	96				3,39
-25 cm^a					
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Lazításos	96	2,45			
Szántás	96	2,48			
Kultivátoros	96	2,68	2,68		
Direktvetés	96		3,12	3,12	
Sekély kultivátoros	96		3,12	3,12	
Tárcsás	96			3,50	
-30 cm^a					
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Lazításos	96	2,56			
Szántás	96	2,71	2,71		
Kultivátoros	96	2,92	2,92		
Direktvetés	96		3,16	3,16	
Sekély kultivátoros	96		3,22	3,22	
Tárcsás	96			3,50	
-35 cm^a					
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Lazításos	96	2,67			
Szántás	96	2,87	2,87		
Kultivátoros	96	3,11	3,11	3,11	
Direktvetés	96	3,21	3,21	3,21	
Sekély kultivátoros	96		3,32	3,32	
Tárcsás	96			3,59	
-40 cm^a					
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Lazításos	96	2,85			
Szántás	96	3,03	3,03		
Kultivátoros	96	3,23	3,23	3,23	
Direktvetés	96	3,28	3,28	3,28	
Sekély kultivátoros	96		3,45	3,45	
Tárcsás	96			3,66	

-45 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Lazításos	96	3,07	
Szántás	96	3,32	3,32
Kultivátoros	96	3,37	3,37
Direktvetés	96	3,39	3,39
Sekély kultivátoros	96	3,63	3,63
Tárcsás	96		3,78

-50 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Lazításos	96	3,33	
Direktvetés	96	3,53	3,53
Kultivátoros	96	3,55	3,55
Szántás	96	3,61	3,61
Sekély kultivátoros	96	3,79	3,79
Tárcsás	96		3,96

M3. 5. táblázat: A 2017. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)

Év			Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2017	-5 cm	Csoportok között	45,814	5	9,163	5,035	0,000
		Csoportokon belül	1168,436	642	1,820		
		Összesen	1214,249	647			
	-10 cm	Csoportok között	57,987	5	11,597	3,415	0,005
		Csoportokon belül	2180,357	642	3,396		
		Összesen	2238,343	647			

M3. 5.1. táblázat: A 2017. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)

-5cm^a				
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	3
Szántás	108	1,88		
Lazításos	108	1,94	1,94	
Kultivátoros	108	1,97	1,97	
Sekély kultivátoros	108	2,09	2,09	
Tárcsás	108		2,40	2,40
Direktvetés	108			2,60

-10 cm^a				
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	
Szántás	108	2,39		
Kultivátoros	108	2,48		
Lazításos	108	2,54	2,54	
Sekély kultivátoros	108	2,65	2,65	
Tárcsás	108	3,05	3,05	
Direktvetés	108		3,19	

M3. 6. táblázat: A 2018. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)

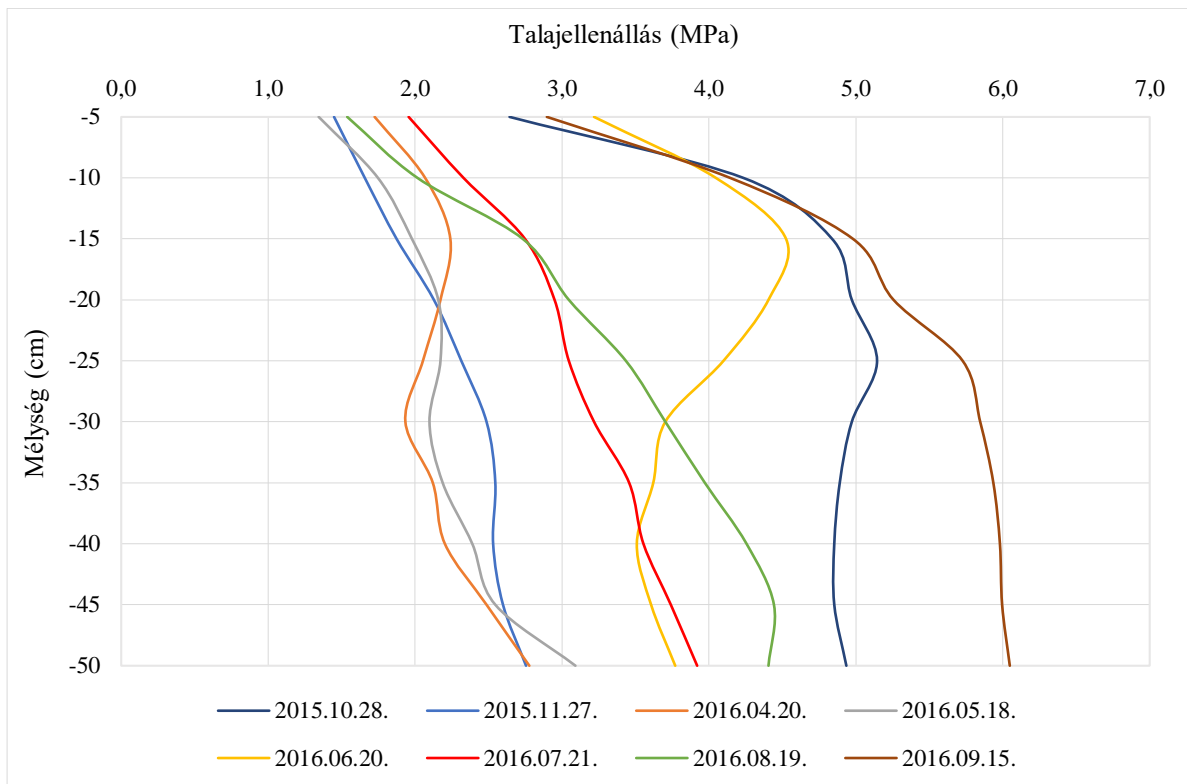
Év			Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2018	-5 cm	Csoportok között	81,225	5	16,245	21,146	0,000
		Csoportokon belül	271,950	354	0,768		
		Összesen	353,174	359			
	-10 cm	Csoportok között	164,548	5	32,910	49,608	0,000
		Csoportokon belül	234,840	354	0,663		
		Összesen	399,387	359			
	-15 cm	Csoportok között	147,576	5	29,515	74,010	0,000
		Csoportokon belül	141,175	354	0,399		
		Összesen	288,751	359			
	-20 cm	Csoportok között	90,460	5	18,092	56,704	0,000
		Csoportokon belül	112,948	354	0,319		
		Összesen	203,409	359			
	-25 cm	Csoportok között	62,152	5	12,430	45,942	0,000
		Csoportokon belül	95,781	354	0,271		
		Összesen	157,933	359			
	-30 cm	Csoportok között	44,223	5	8,845	38,704	0,000
		Csoportokon belül	80,897	354	0,229		
		Összesen	125,120	359			
	-35 cm	Csoportok között	30,515	5	6,103	30,406	0,000
		Csoportokon belül	71,054	354	0,201		
		Összesen	101,569	359			
-40 cm	Csoportok között	18,439	5	3,688	19,903	0,000	
	Csoportokon belül	65,595	354	0,185			
	Összesen	84,034	359				
-45 cm	Csoportok között	2,901	5	0,580	3,489	0,004	
	Csoportokon belül	58,864	354	0,166			
	Összesen	61,764	359				

M3. 6.1. táblázat: A 2018. évi talajellenállás eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)

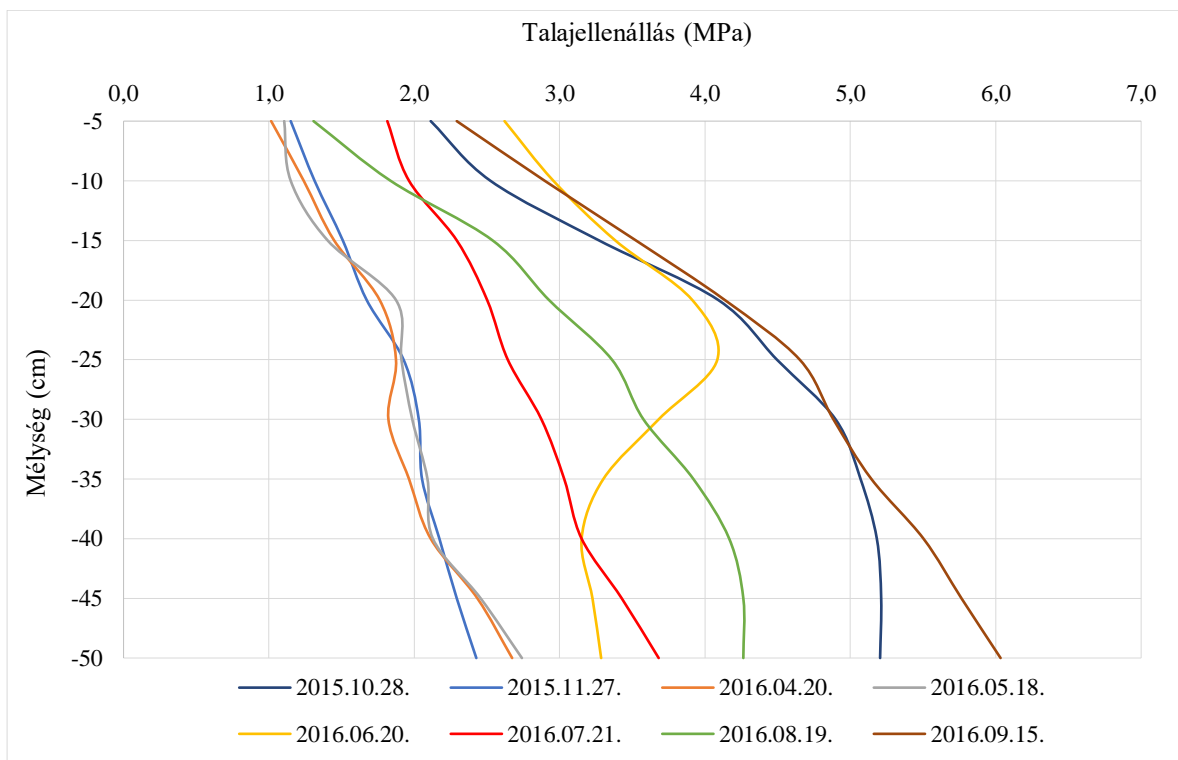
-5cm^a						
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05				
Talajművelési mód	N	1	2			
Szántás	60	0,66				
Lazításos	60	0,71				
Kultivátoros	60	0,77				
Sekély kultivátoros	60	0,78				
Tárcsás	60		1,73			
Direktvetés	60		1,74			
-10 cm^a						
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05				
Talajművelési mód	N	1	2	3		
Szántás	60	0,68				
Lazításos	60	0,87				
Sekély kultivátoros	60	0,94				
Kultivátoros	60	0,94				
Direktvetés	60		1,91			
Tárcsás	60			2,54		
-15 cm^a						
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05				
Talajművelési mód	N	1	2	3		
Szántás	60	0,70				
Lazításos	60	0,85				
Kultivátoros	60	0,91				
Sekély kultivátoros	60	0,98				
Direktvetés	60		1,93			
Tárcsás	60			2,41		
-20 cm^a						
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05				
Talajművelési mód	N	1	2	3	4	5
Szántás	60	0,71				
Lazításos	60	0,86	0,86			
Kultivátoros	60		1,05	1,05		
Sekély kultivátoros	60			1,14		
Direktvetés	60				1,81	
Tárcsás	60					2,09
-25 cm^a						
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05				
Talajművelési mód	N	1	2	3	4	
Szántás	60	0,79				
Lazításos	60	0,89				
Kultivátoros	60		1,36			
Sekély kultivátoros	60		1,55	1,55		
Direktvetés	60			1,76	1,76	
Tárcsás	60				1,90	
-30 cm^a						
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05				
Talajművelési mód	N	1	2	3		
Lazításos	60	1,00				
Szántás	60	1,07				
Kultivátoros	60		1,62			
Sekély kultivátoros	60		1,71	1,71		
Direktvetés	60		1,77	1,77		
Tárcsás	60			1,91		

-35 cm^a				
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	3
Lazításos	60	1,09		
Szántás	60		1,38	
Kultivátoros	60			1,77
Sekély kultivátoros	60			1,81
Direktvetés	60			1,83
Tárcsás	60			1,87
-40 cm^a				
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	
Lazításos	60	1,26		
Szántás	60		1,74	
Sekély kultivátoros	60		1,84	
Direktvetés	60		1,85	
Kultivátoros	60		1,90	
Tárcsás	60		1,93	
-45 cm^a				
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	
Lazításos	60	1,71		
Sekély kultivátoros	60	1,85	1,85	
Direktvetés	60		1,91	
Kultivátoros	60		1,93	
Tárcsás	60		1,96	
Szántás	60		1,97	

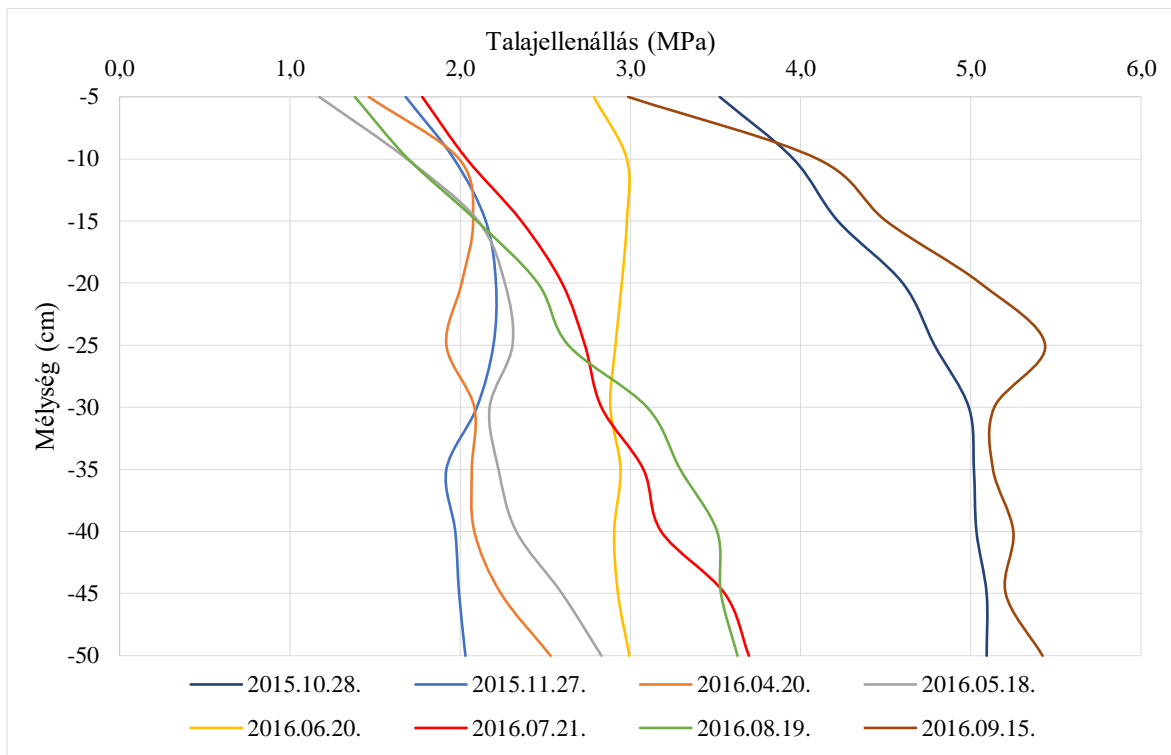
M3. 10. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a tárcsás kezelésben (Józsefmajor, 2016)



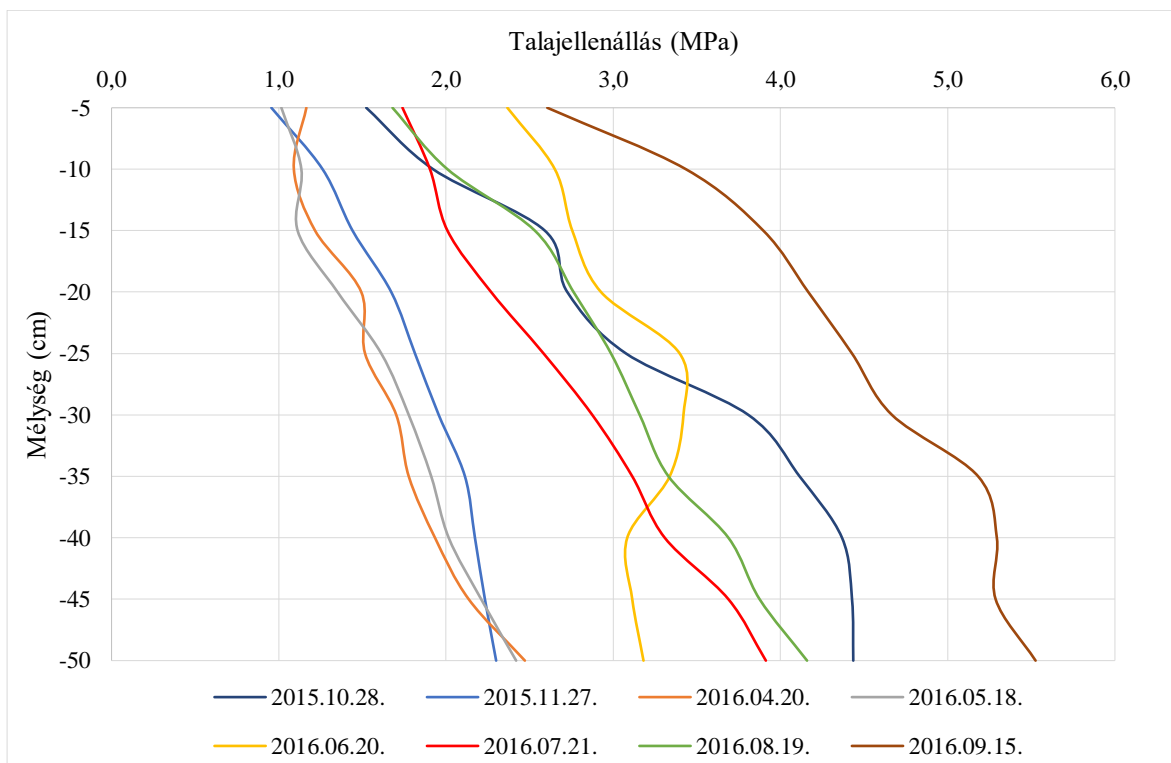
M3. 11. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2016)



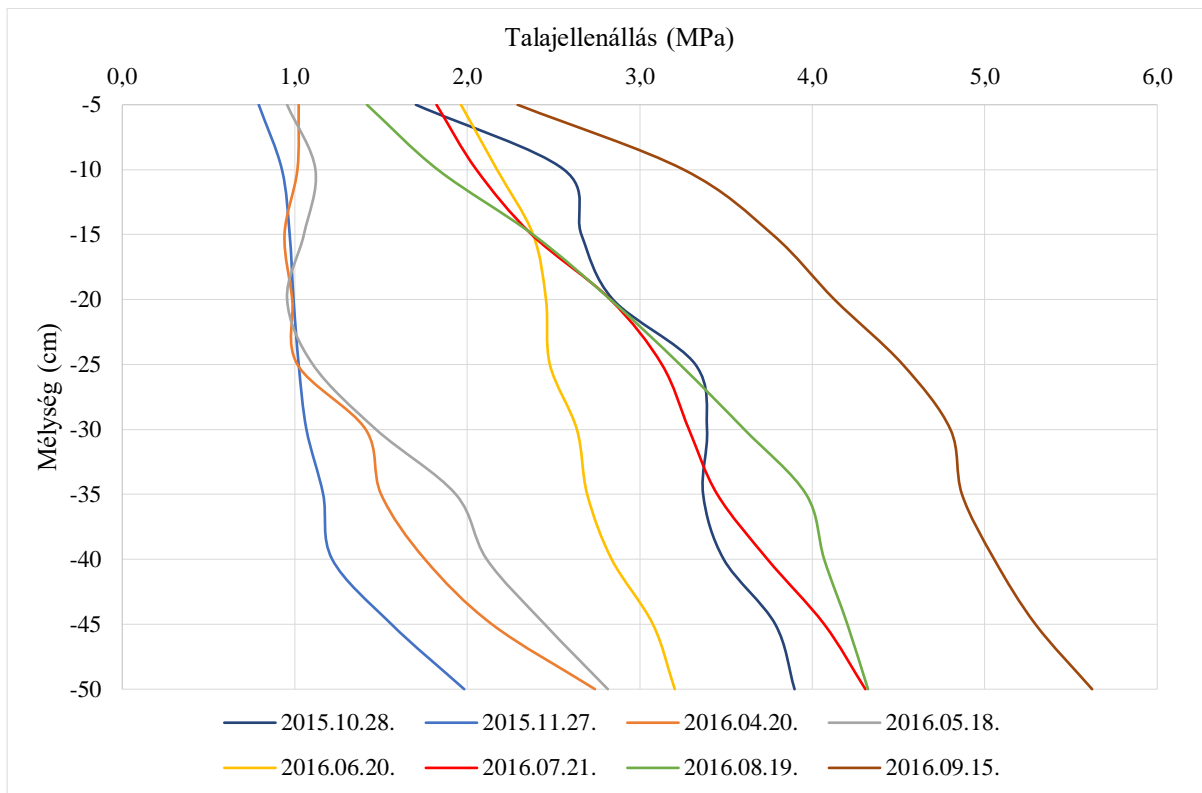
M3. 12. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a direktvetés kezelésben (Józsefmajor, 2016)



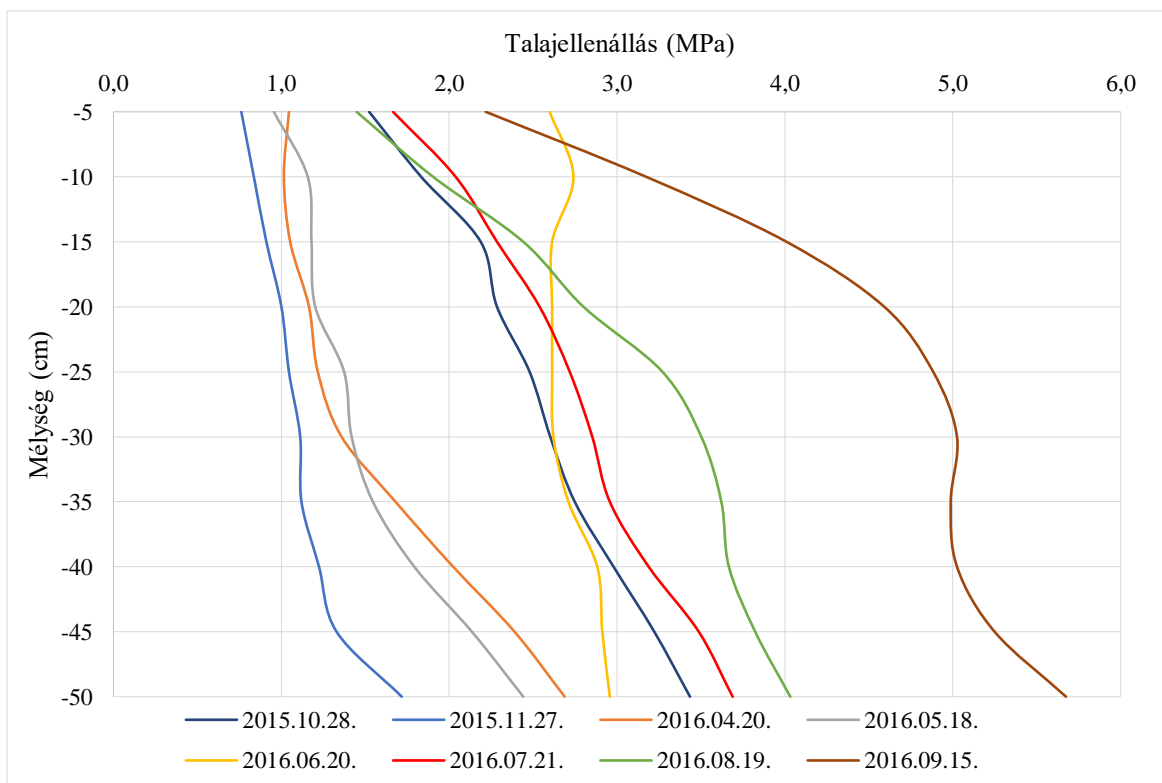
M3. 13. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2016)



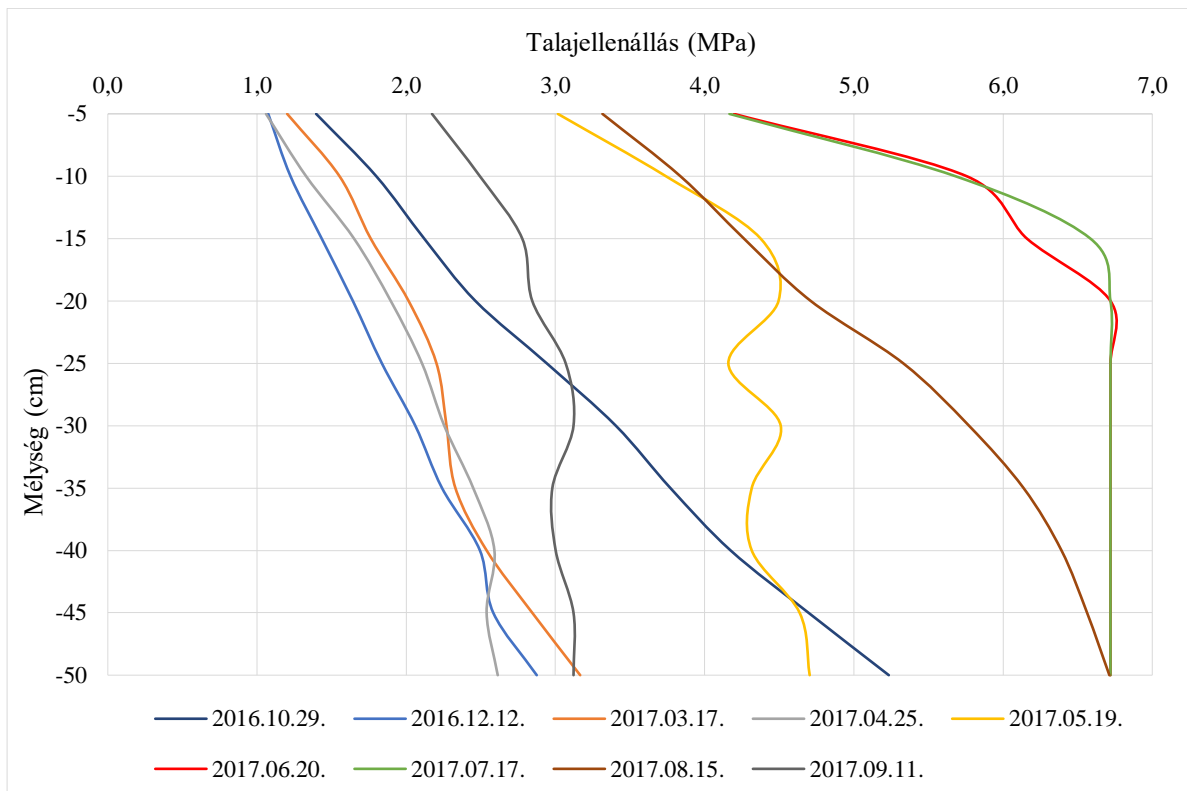
M3. 14. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Józsefmajor, 2016)



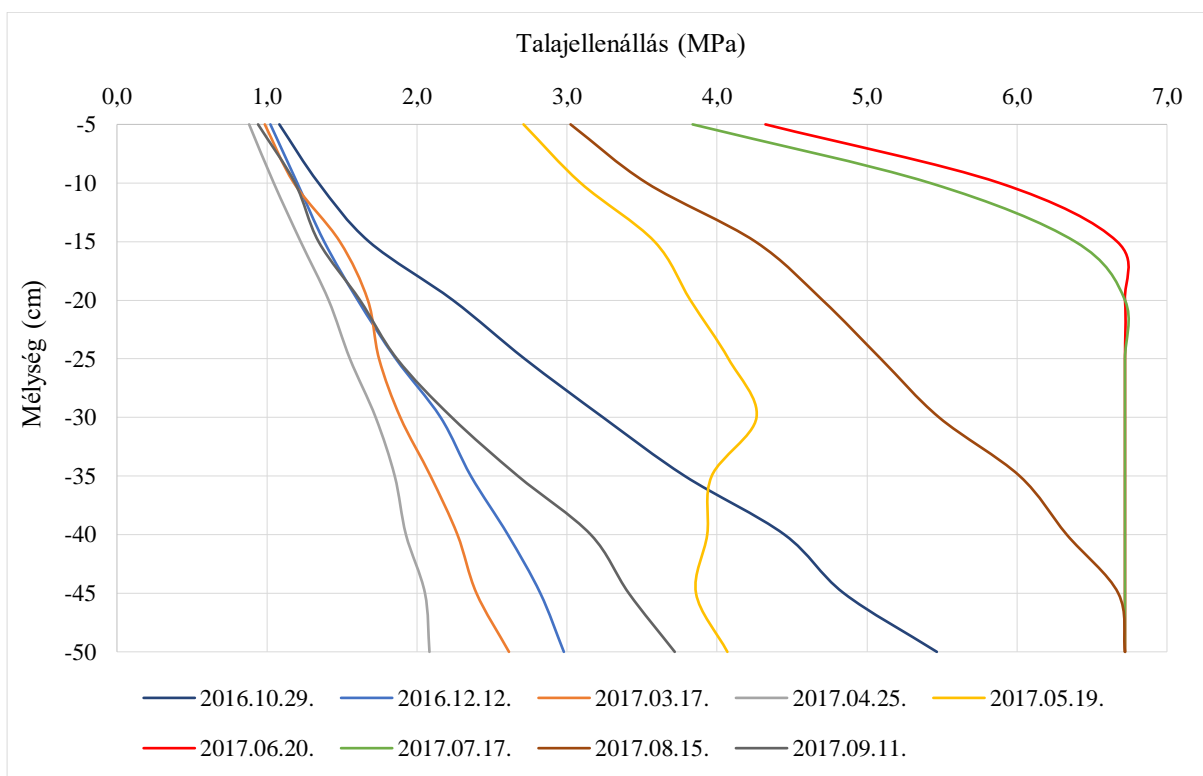
M3. 15. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a lazításos kezelésben (Józsefmajor, 2016)



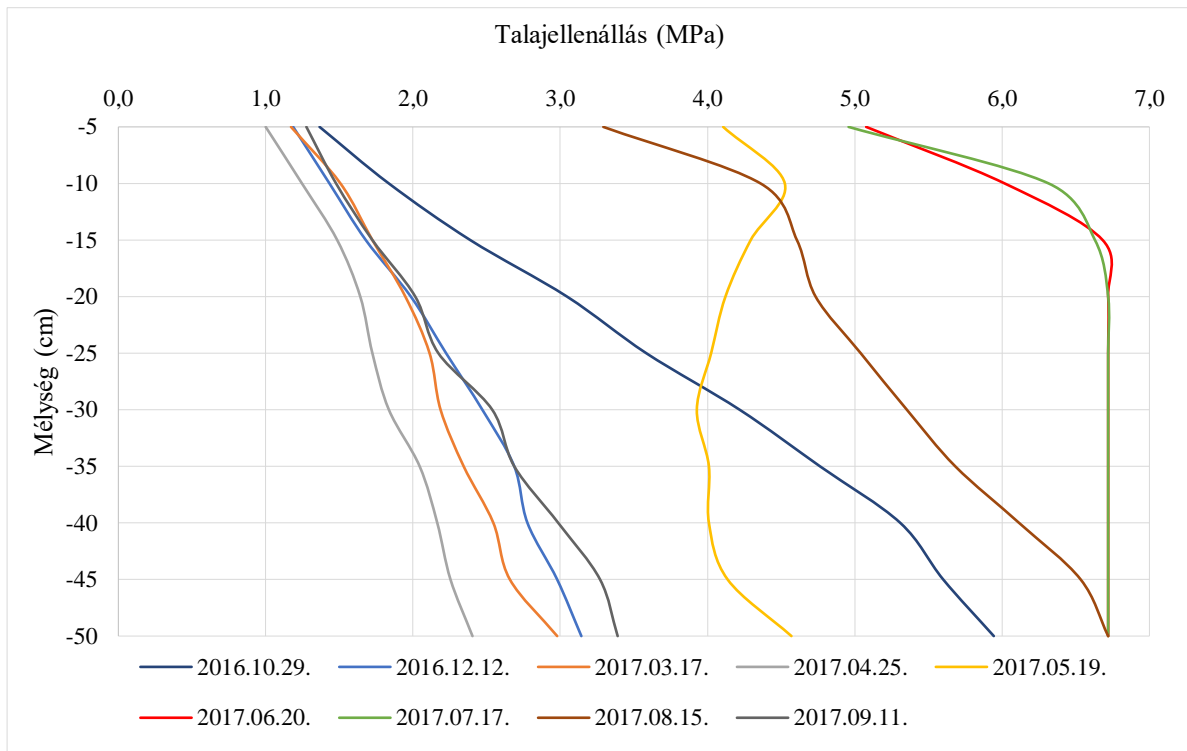
M3. 16. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a tárcsás kezelésben (Józsefmajor, 2017)



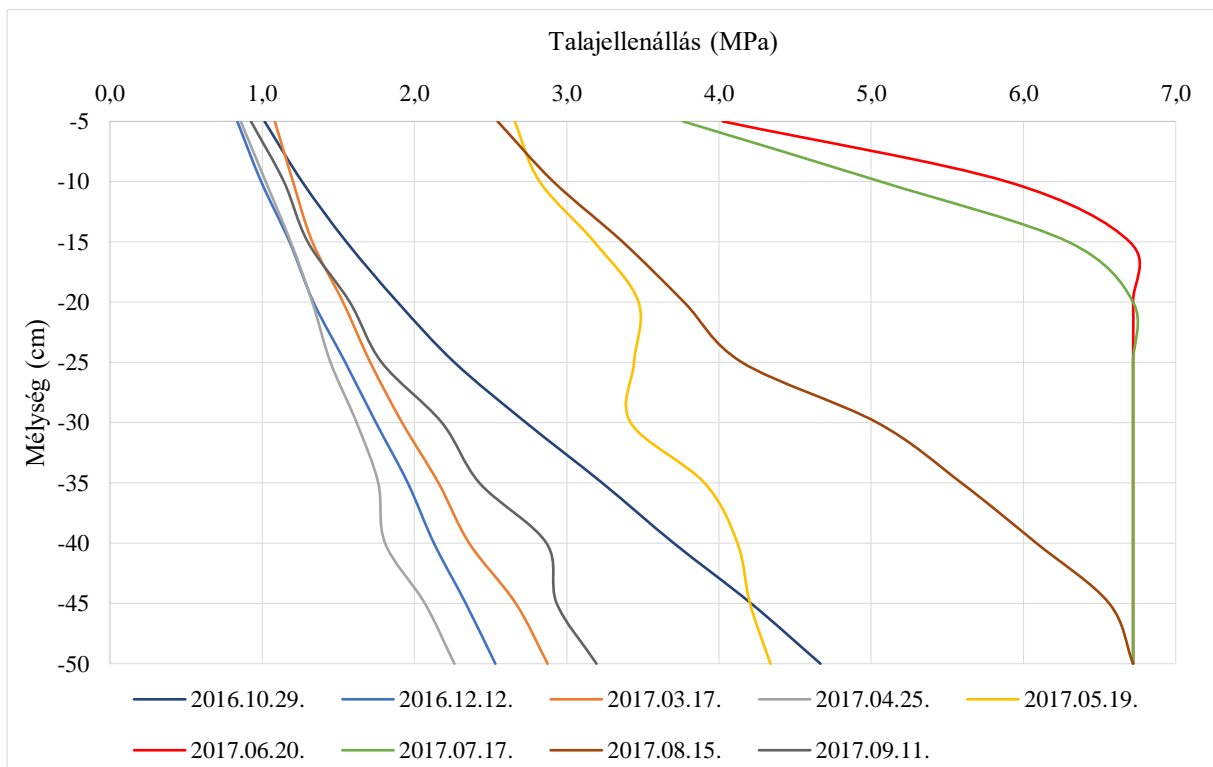
M3. 17. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2017)



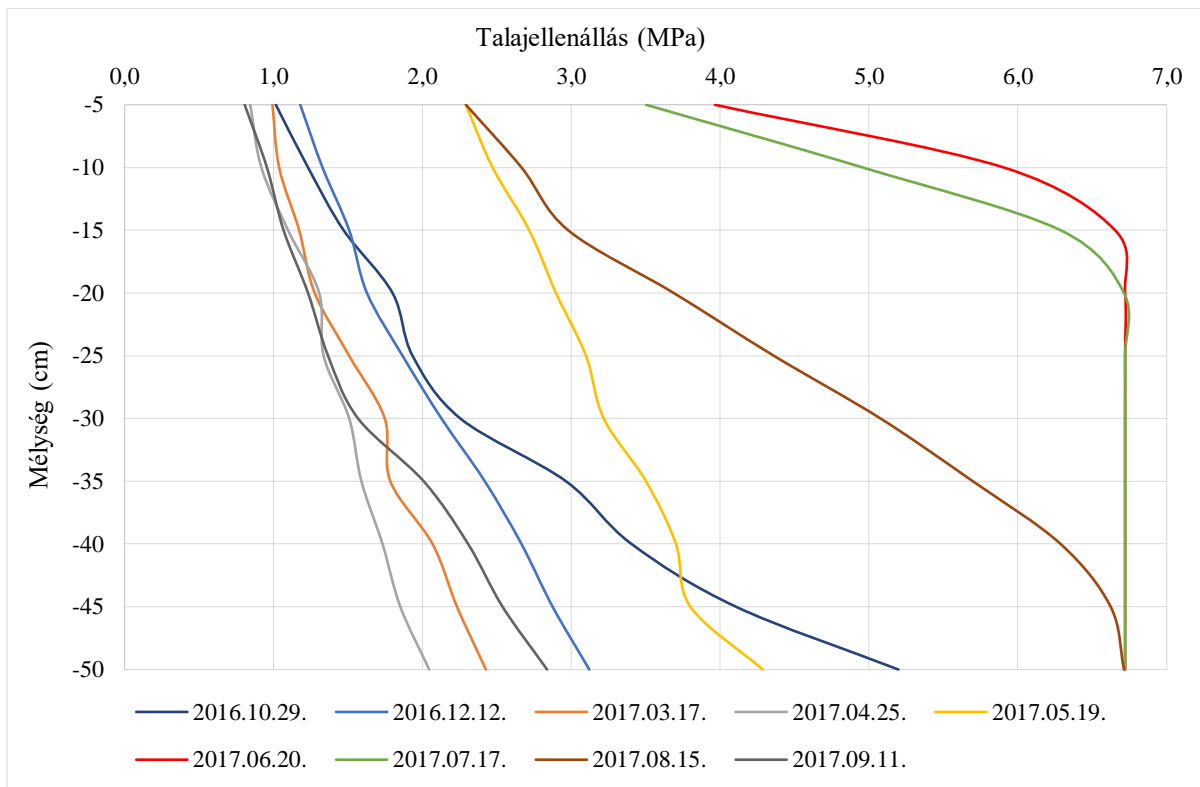
M3. 18. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a direktvetés kezelésben (Józsefmajor, 2017)



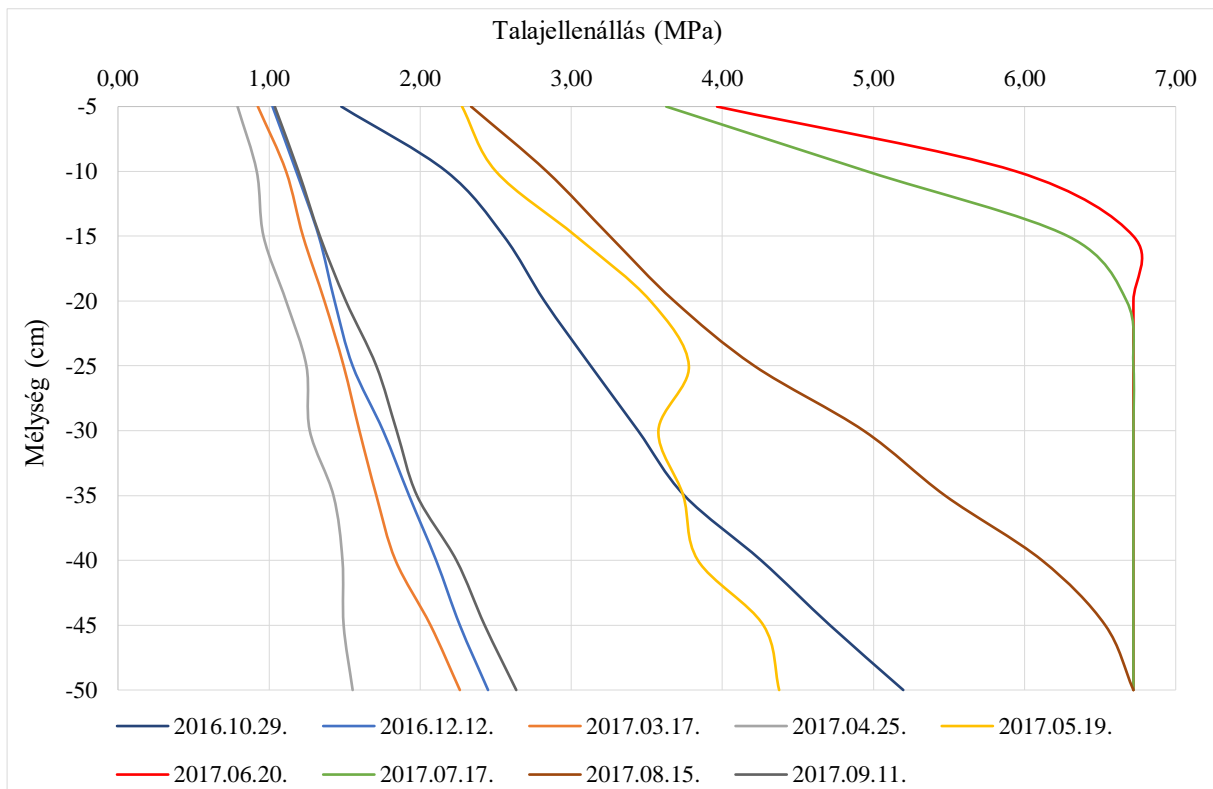
M3. 19. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2017)



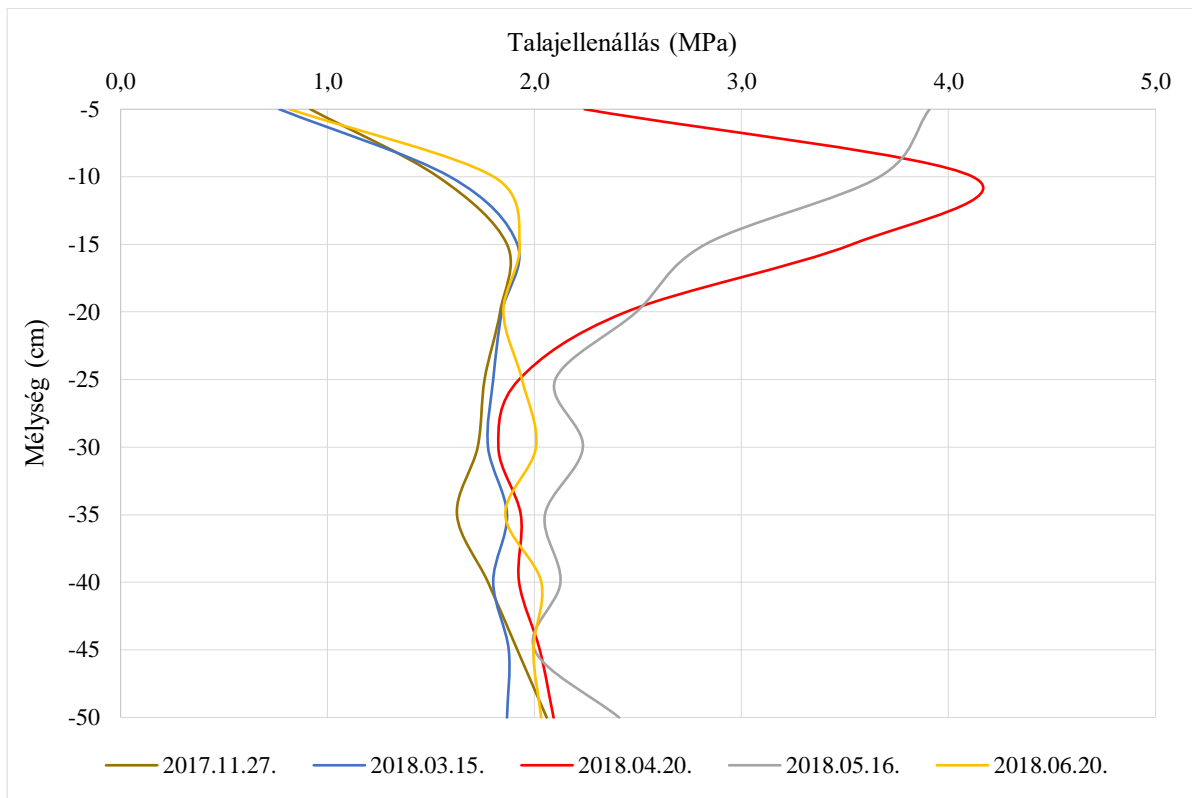
M3. 20. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Józsefmajor, 2017)



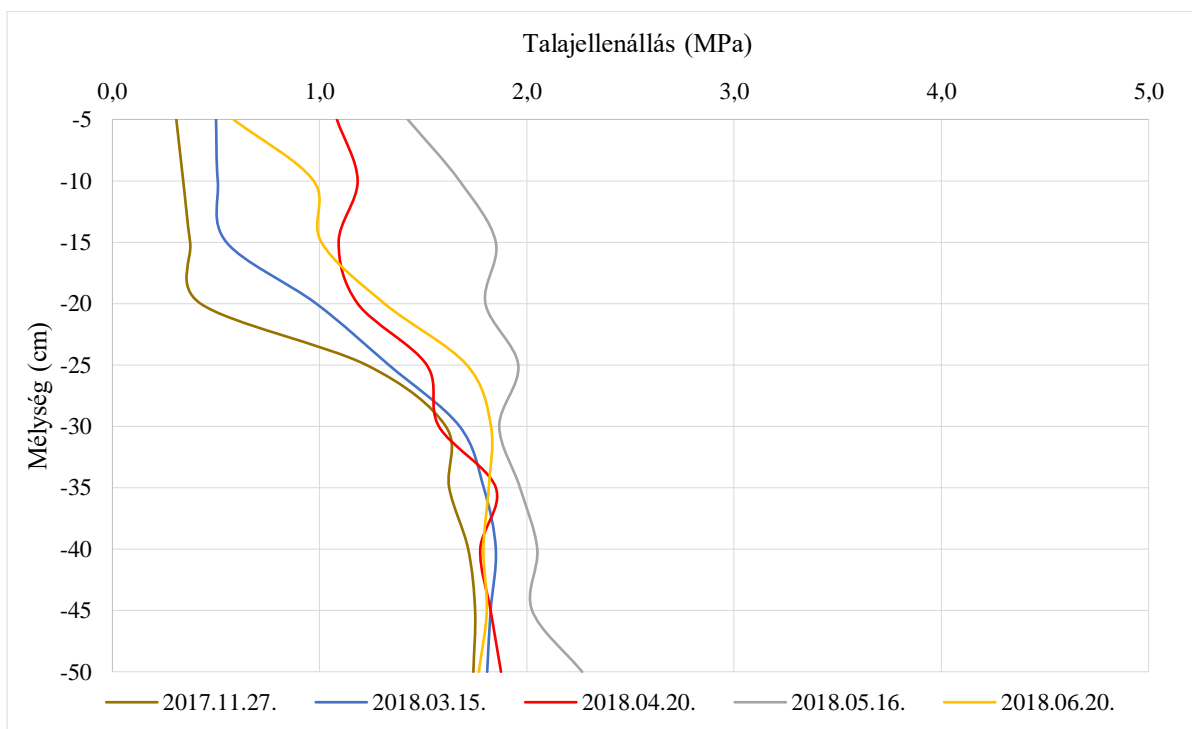
M3. 21. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a lazításos kezelésben (Józsefmajor, 2017)



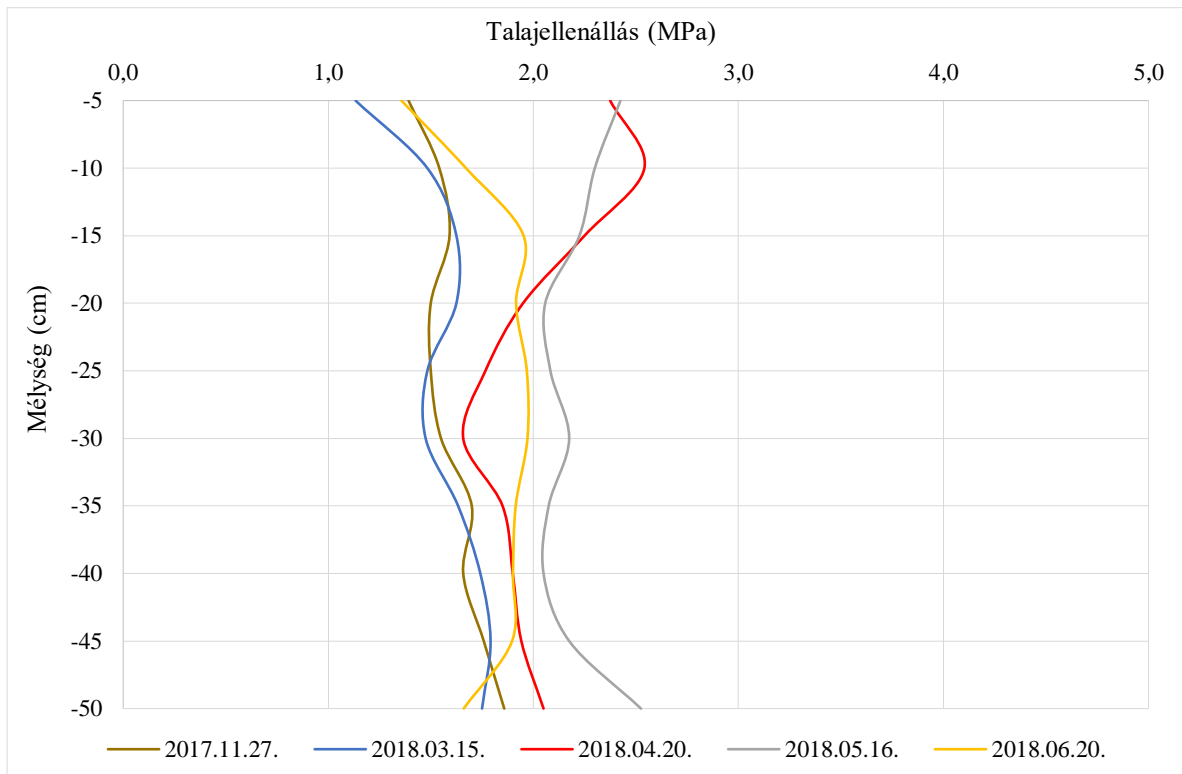
M3. 22. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a tárcsás kezelésben (Józsefmajor, 2018)



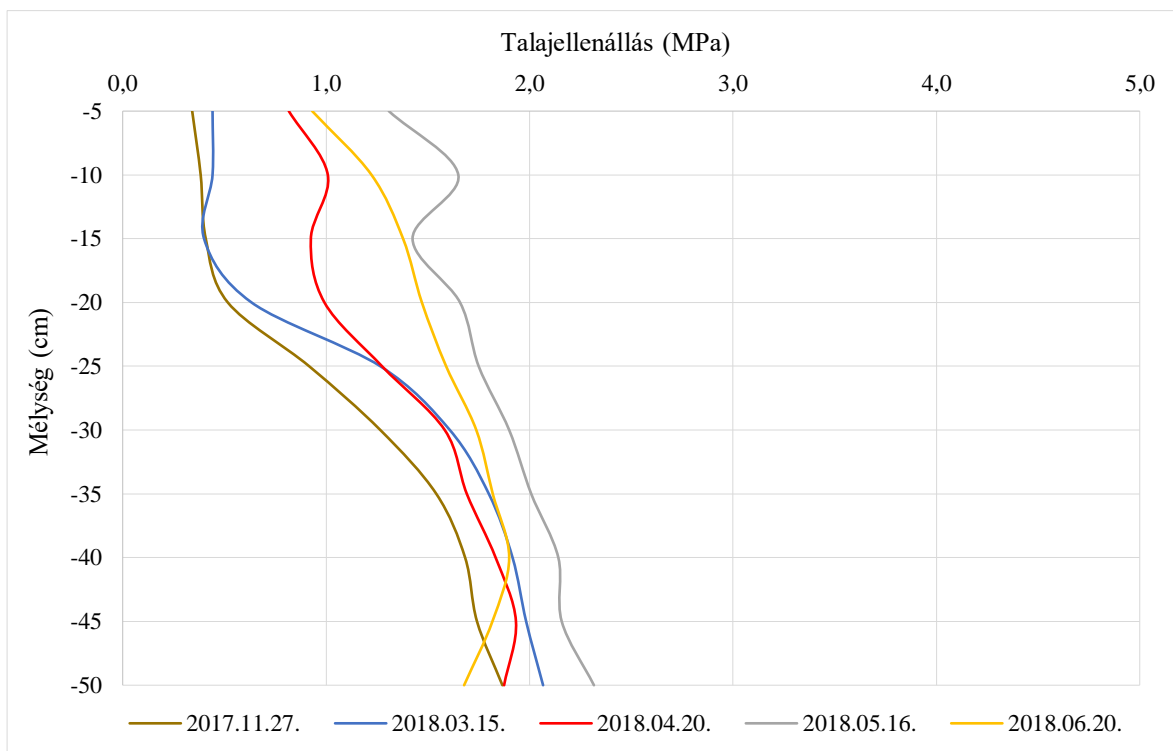
M3. 23. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2018)



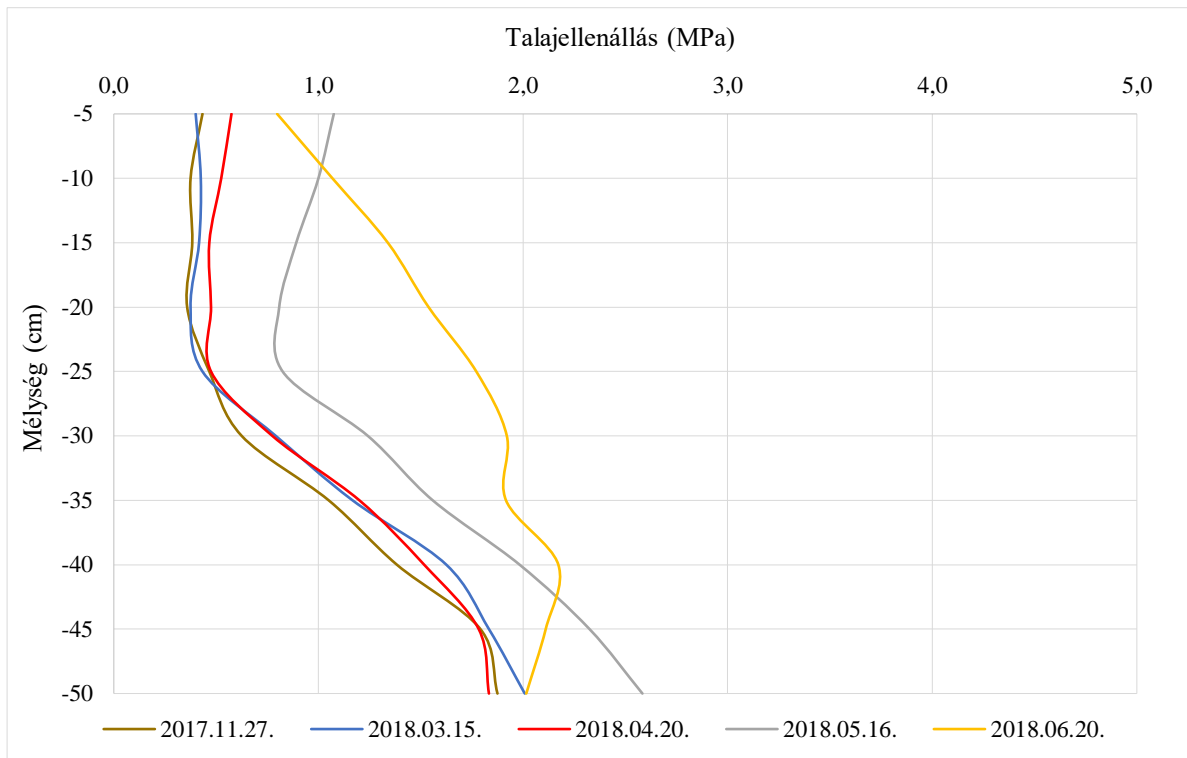
M3. 24. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a direktvetés kezelésben (Józsefmajor, 2018)



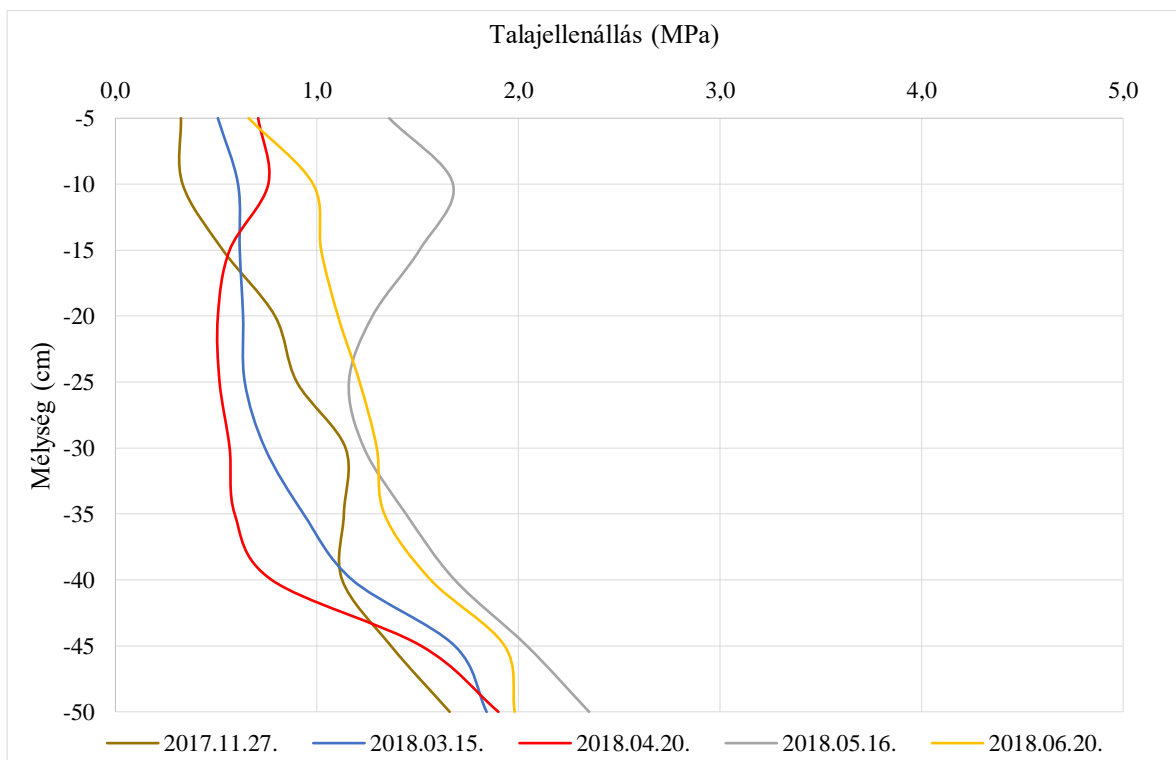
M3. 25. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2018)



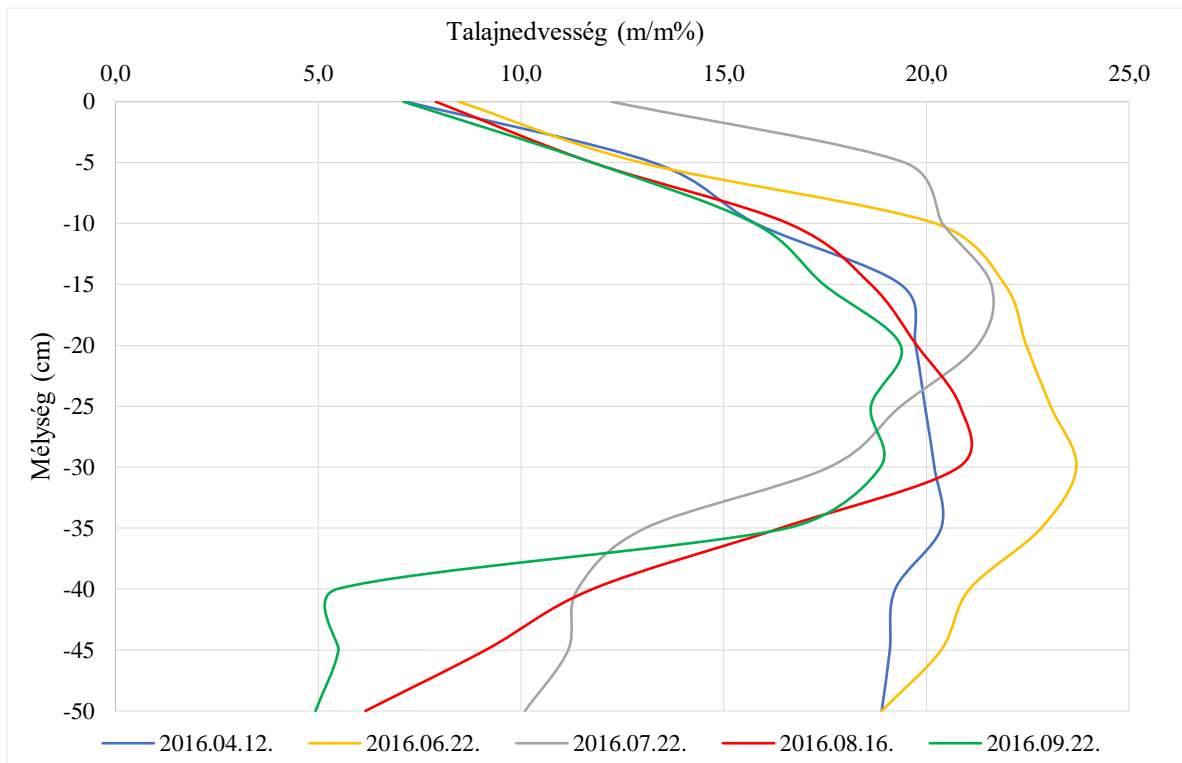
M3. 26. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Józsefmajor, 2018)



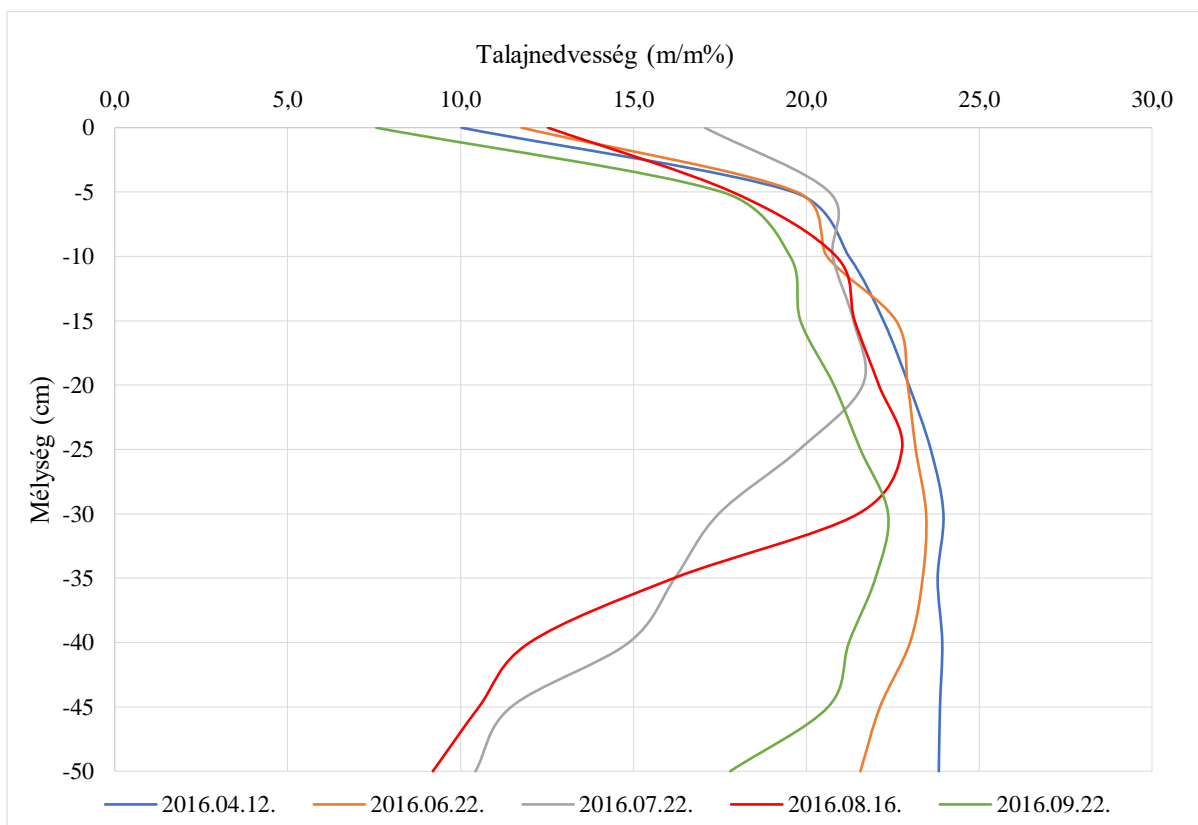
M3. 27. ábra: A talajellenállás adatok időbeli eloszlása, a lazításos kezelésben (Józsefmajor, 2018)



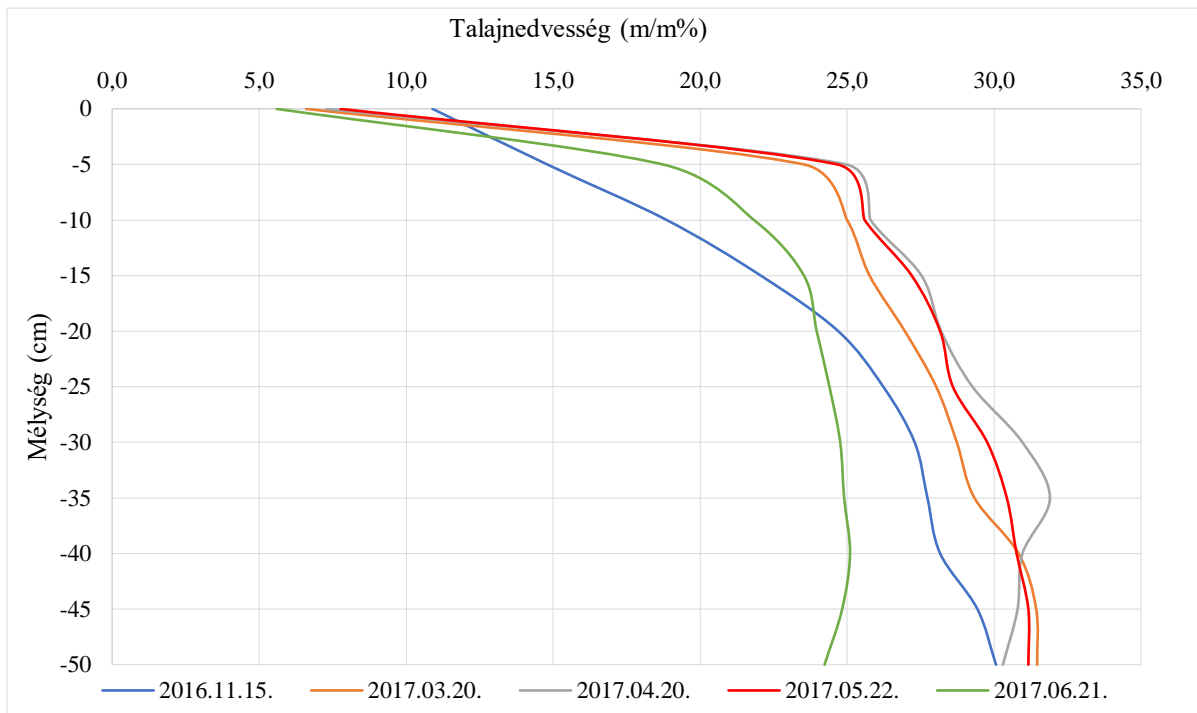
M3. 28. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Lukács, 2016)



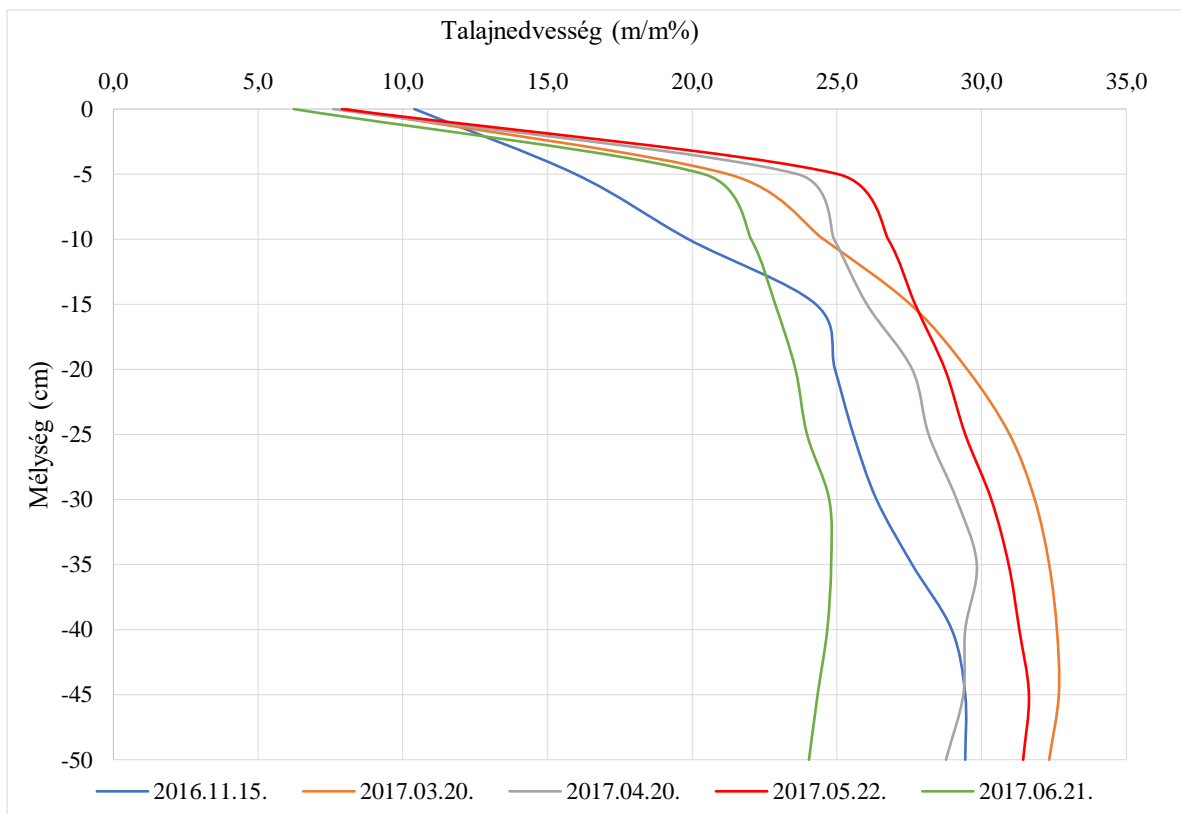
M3. 29. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Lukács, 2016)



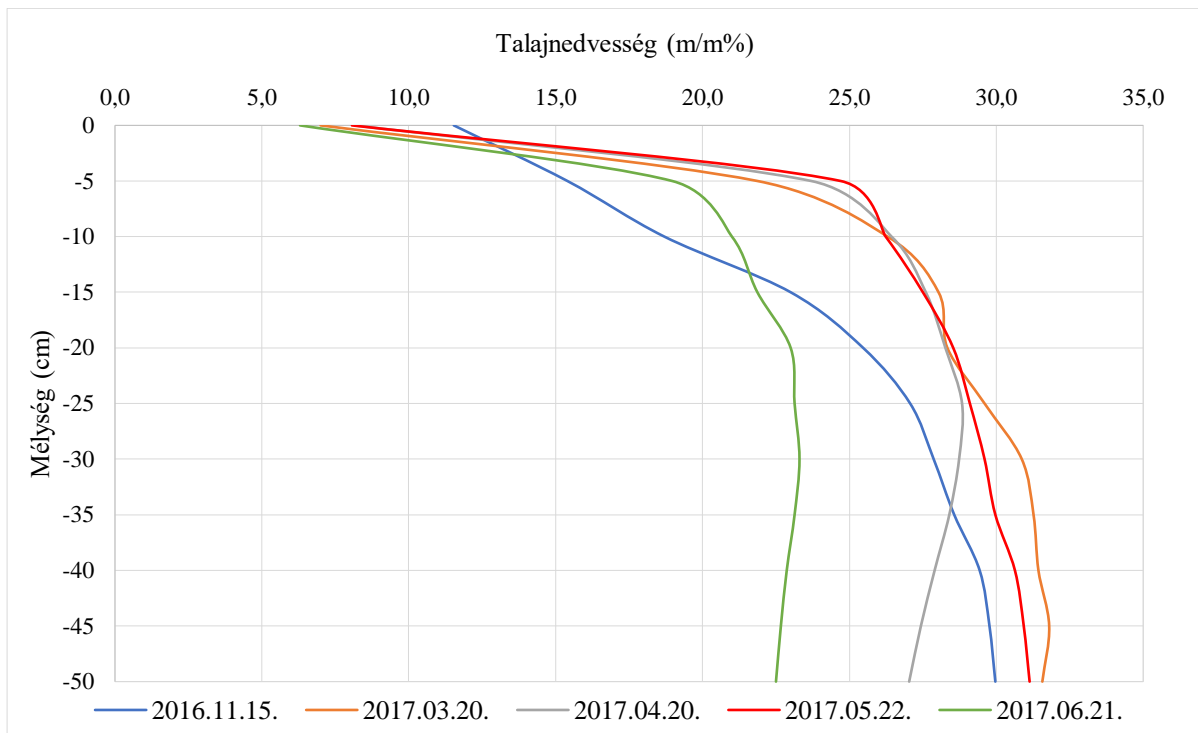
M3. 30. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Lukács, 2017)



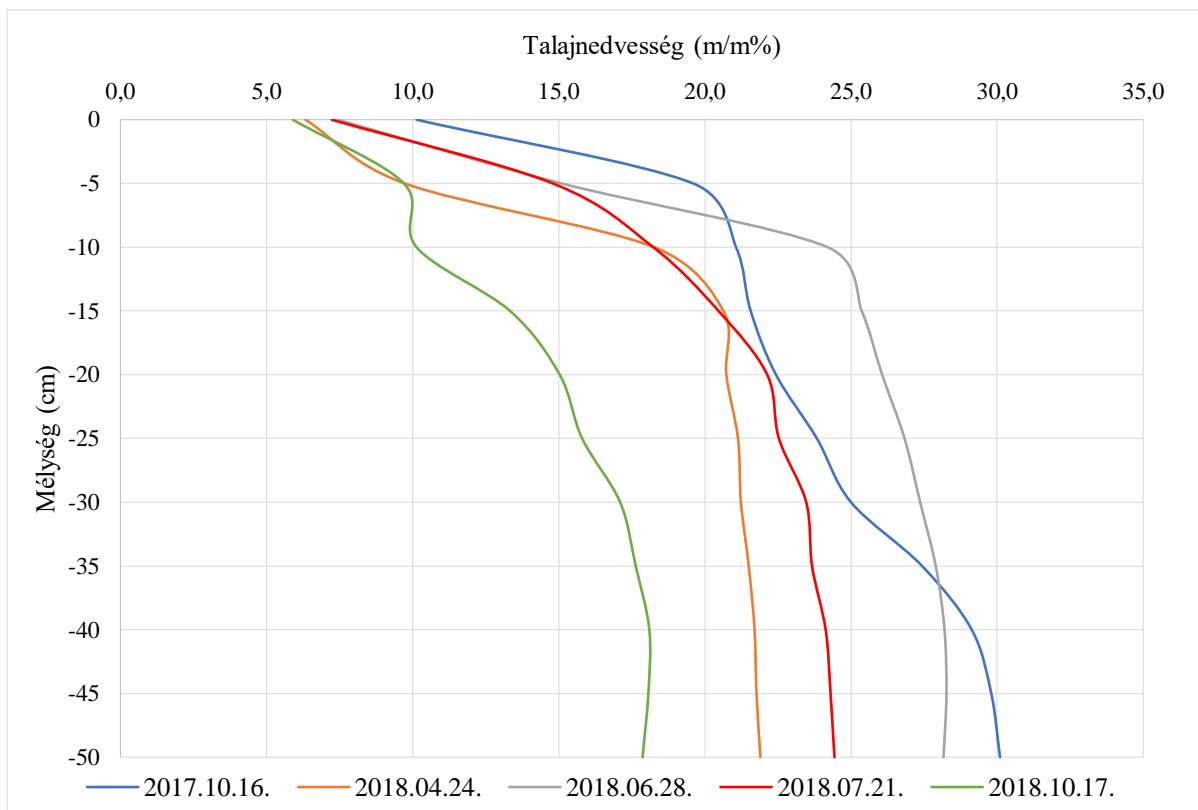
M3. 31. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Lukács, 2017)



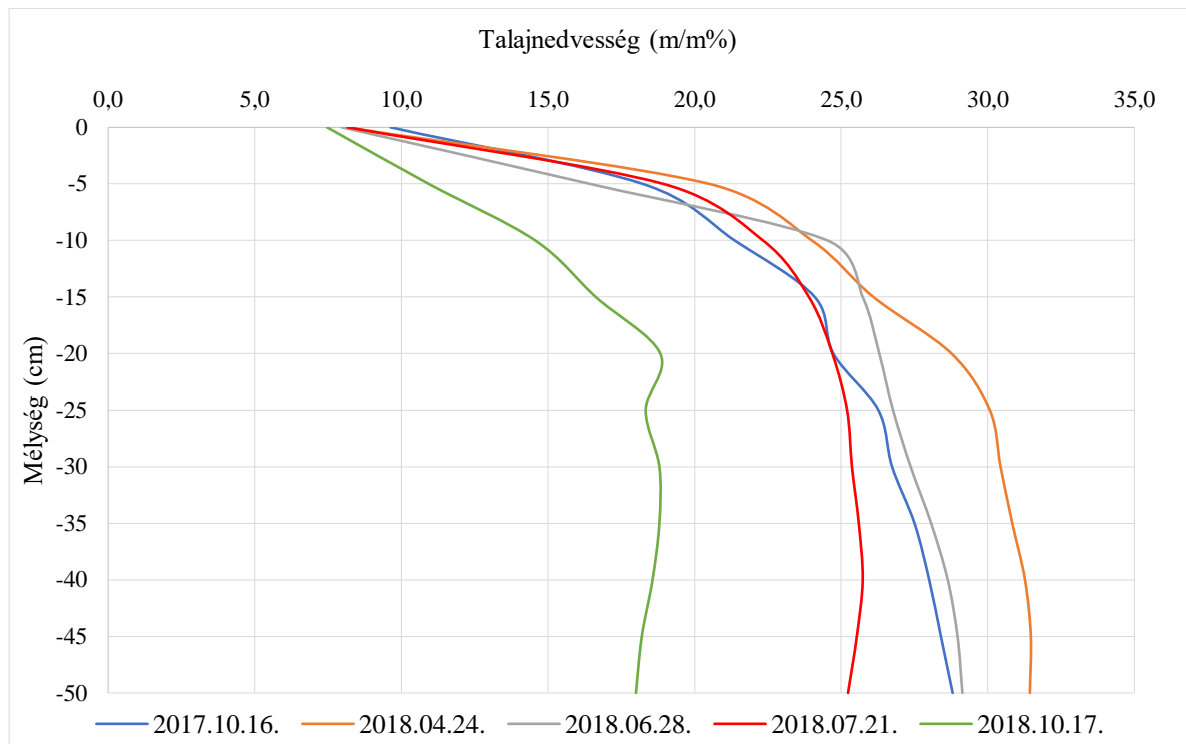
M3. 32. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Lukács, 2017)



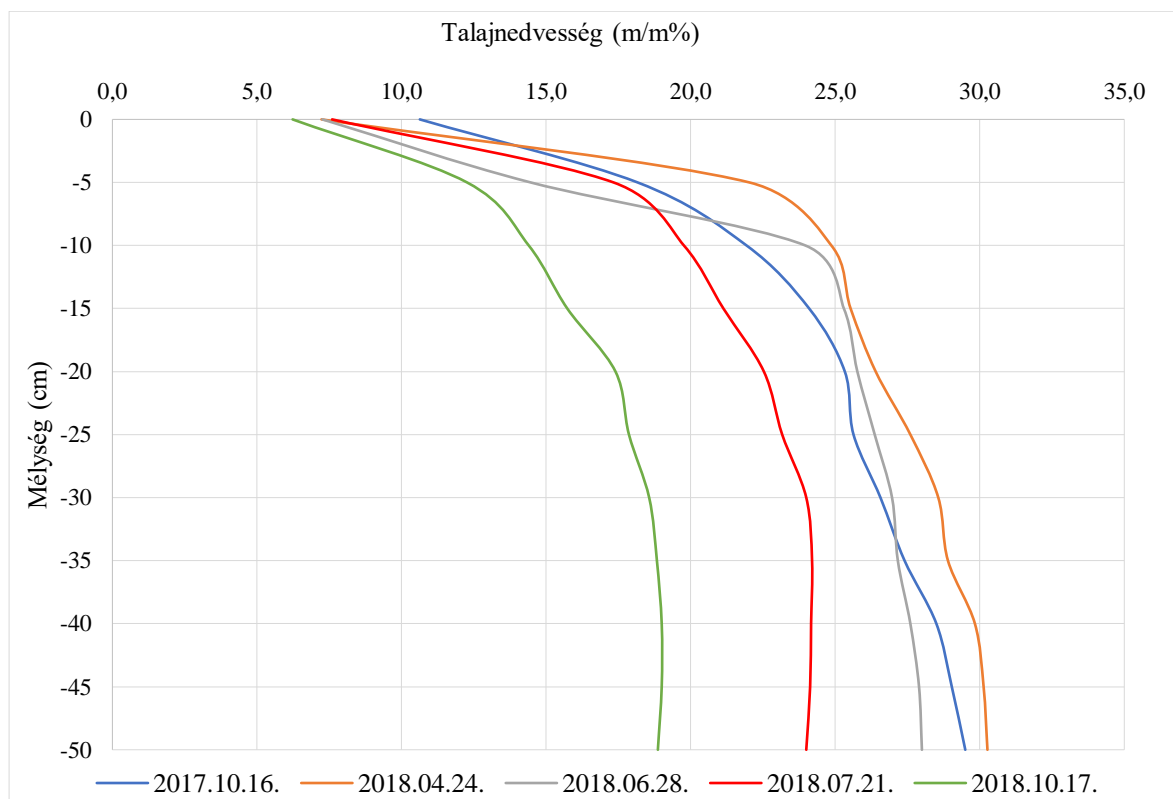
M3. 33. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Lukács, 2018)



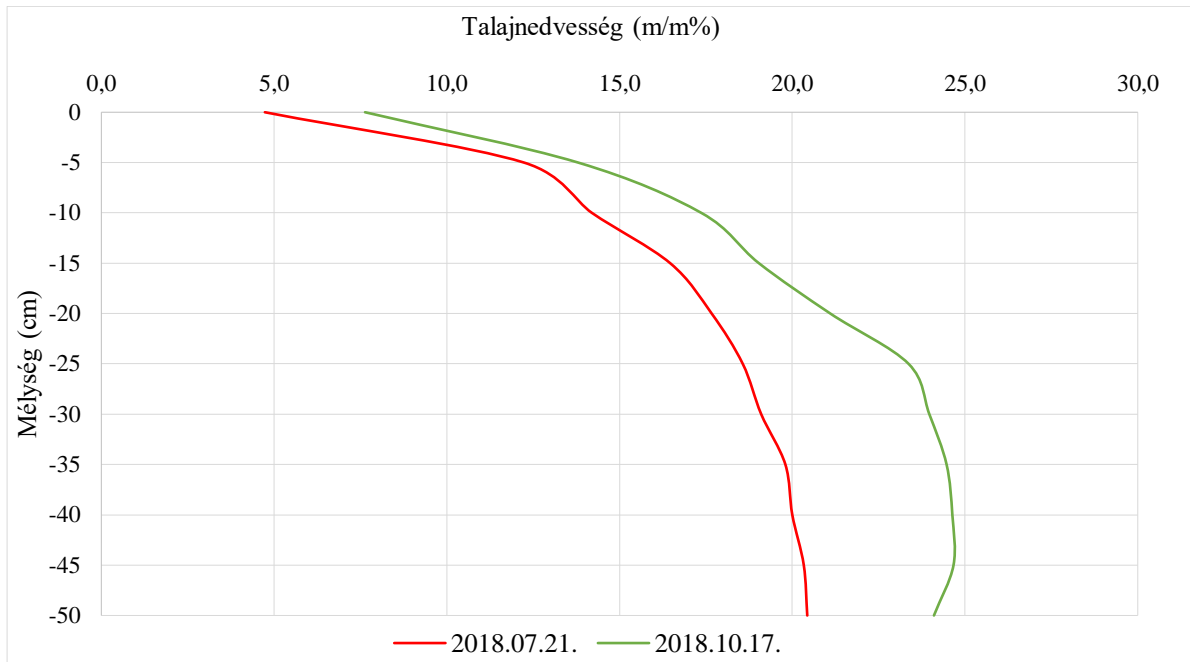
M3. 34. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Lukács, 2018)



M3. 35. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Lukács, 2018)



M3. 36. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a direktvetés kezelésben (Lukács, 2018)



M3. 7. táblázat: A 2016. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Lukács)

	Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2016	0 cm	Csoportok között	77,763	1	77,763	9,611	0,004
		Csoportokon belül	226,539	28	8,091		
		Összesen	304,302	29			
	-5 cm	Csoportok között	206,456	1	206,456	27,030	0,000
		Csoportokon belül	213,867	28	7,638		
		Összesen	420,323	29			
	-10 cm	Csoportok között	60,492	1	60,492	15,950	0,000
		Csoportokon belül	106,196	28	3,793		
		Összesen	166,688	29			
	-15 cm	Csoportok között	21,336	1	21,336	6,858	0,014
		Csoportokon belül	87,117	28	3,111		
		Összesen	108,454	29			
	-20 cm	Csoportok között	18,408	1	18,408	10,540	0,003
		Csoportokon belül	48,901	28	1,746		
		Összesen	67,310	29			
	-25 cm	Csoportok között	24,480	1	24,480	7,687	0,010
		Csoportokon belül	89,173	28	3,185		
		Összesen	113,654	29			
	-40 cm	Csoportok között	204,363	1	204,363	6,660	0,015
		Csoportokon belül	859,227	28	30,687		
Összesen		1063,590	29				
-45 cm	Csoportok között	163,800	1	163,800	4,505	0,043	
	Csoportokon belül	1018,067	28	36,360			
	Összesen	1181,867	29				
-50 cm	Csoportok között	170,408	1	170,408	4,277	0,048	
	Csoportokon belül	1115,513	28	39,840			
	Összesen	1285,922	29				

M3. 8. táblázat: A 2018. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Lukács)

Év	Mélység		Eltérésnégyzet- összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2018	0 cm	Csoportok között	19,913	3	6,638	3,323	0,028
		Csoportokon belül	93,896	47	1,998		
		Összesen	113,810	50			
	-5 cm	Csoportok között	142,454	3	47,485	3,829	0,016
		Csoportokon belül	582,892	47	12,402		
		Összesen	725,346	50			
	-10 cm	Csoportok között	184,328	3	61,443	3,520	0,022
		Csoportokon belül	820,506	47	17,458		
		Összesen	1004,834	50			
	-15 cm	Csoportok között	166,257	3	55,419	4,004	0,013
		Csoportokon belül	650,550	47	13,841		
		Összesen	816,806	50			
	-20 cm	Csoportok között	163,547	3	54,516	4,480	0,008
		Csoportokon belül	571,983	47	12,170		
		Összesen	735,530	50			
-25 cm	Csoportok között	127,004	3	42,335	2,995	0,040	
	Csoportokon belül	664,341	47	14,135			
	Összesen	791,345	50				

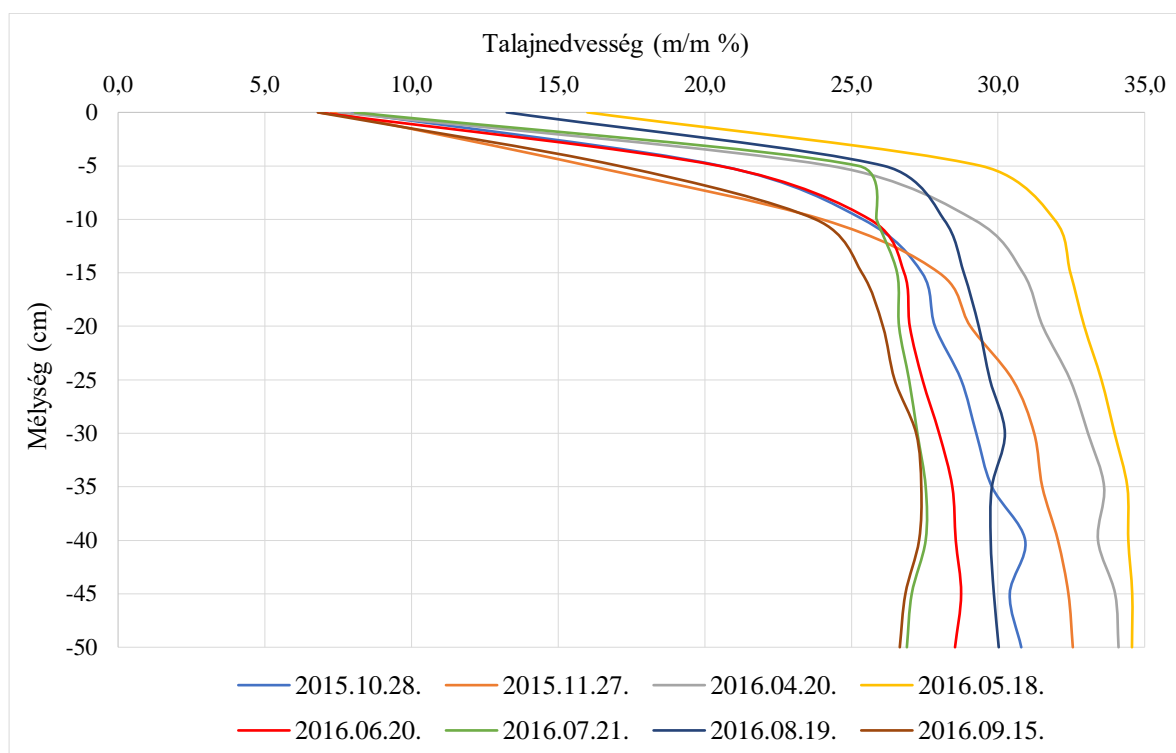
M3. 8.1. táblázat: A 2018. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Lukács)

0 cm			
Tukey B _{ab}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Direktvetés	6	6,183	
Szántás	15	7,407	7,407
Sekély kultivátoros	15		7,793
Kultivátoros	15		8,273
-5 cm			
Tukey B _{ab}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Direktvetés	6	13,017	
Szántás	15	13,787	
Sekély kultivátoros	15		16,853
Kultivátoros	15		17,007
-10 cm			
Tukey B _{ab}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Direktvetés	6	15,783	
Szántás	15	18,380	18,380
Sekély kultivátoros	15		20,987
Kultivátoros	15		21,360
-15 cm			
Tukey B _{ab}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Direktvetés	6	17,750	
Szántás	15	20,273	20,273
Sekély kultivátoros	15		22,360
Kultivátoros	15		23,293

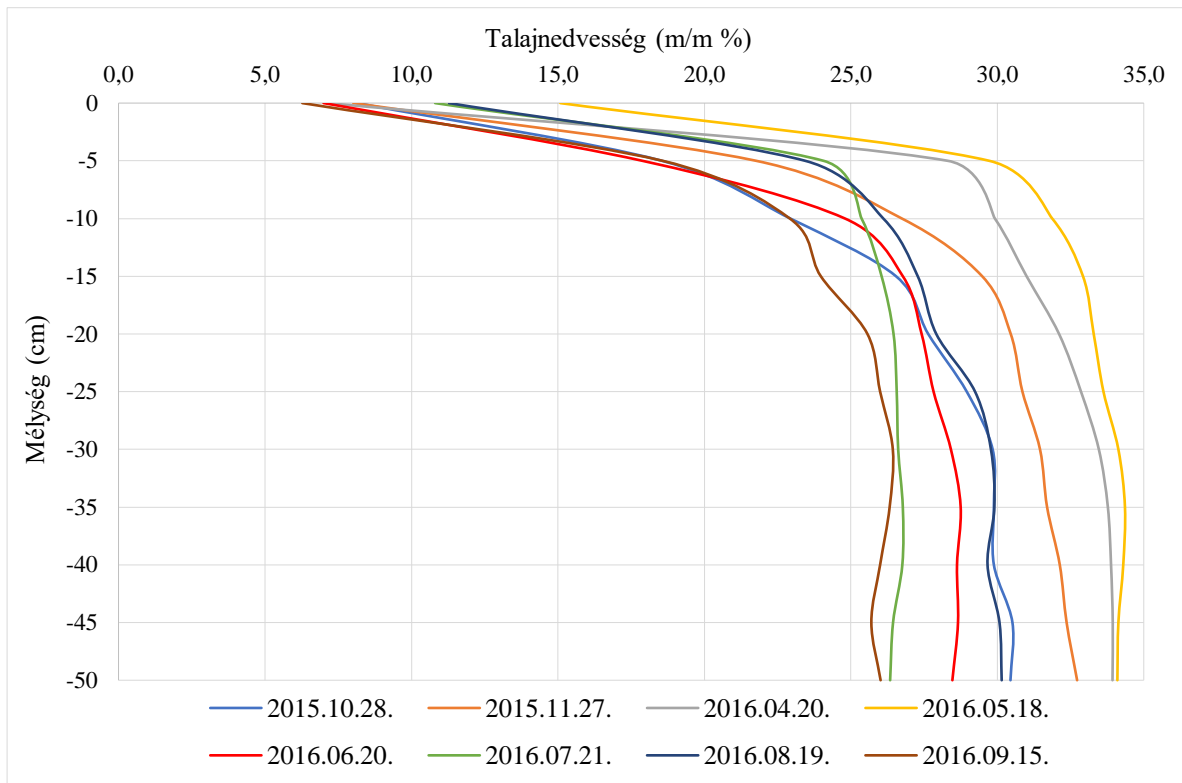
-20 cm			
Tukey B _{a,b}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Direktvetés	6	19,383	
Szántás	15	21,280	21,280
Sekély kultivátoros	15		23,487
Kultivátoros	15		24,667

-25 cm			
Tukey B _{a,b}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Direktvetés	6	20,967	
Szántás	15	22,027	22,027
Sekély kultivátoros	15	24,127	24,127
Kultivátoros	15		25,327

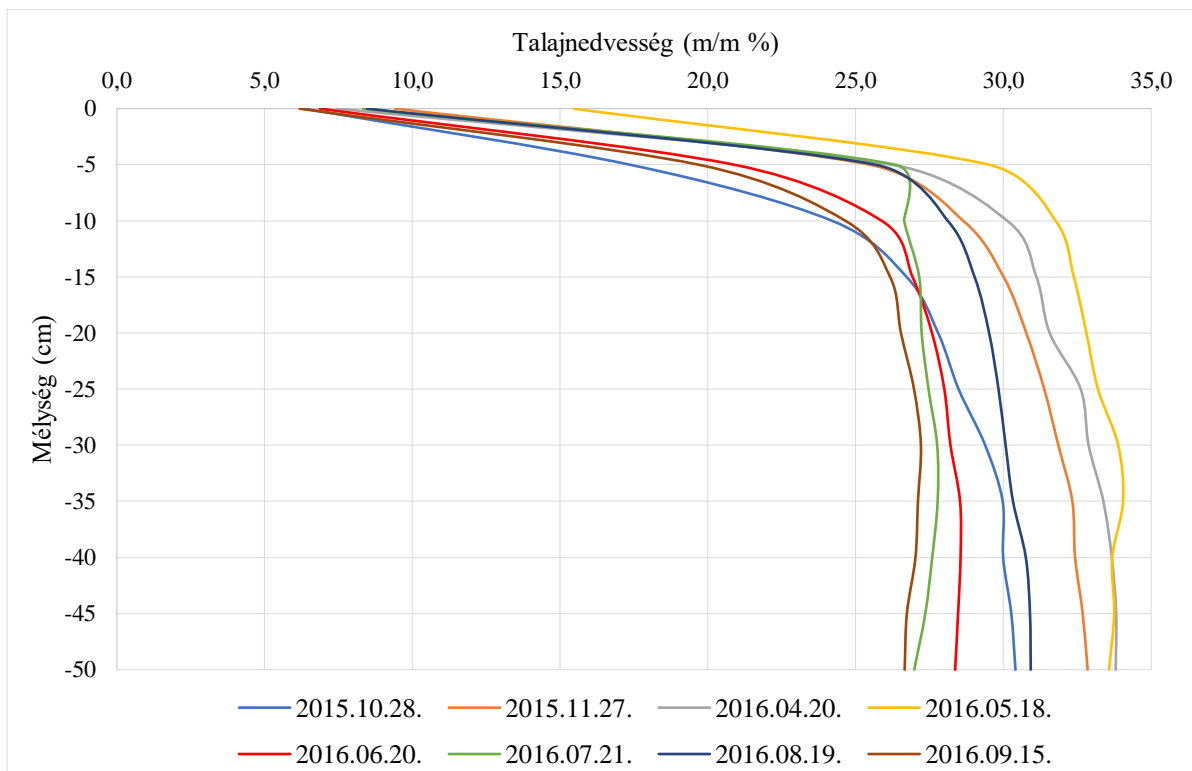
M3. 37. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a tárcsás kezelésben (Józsefmajor, 2016)



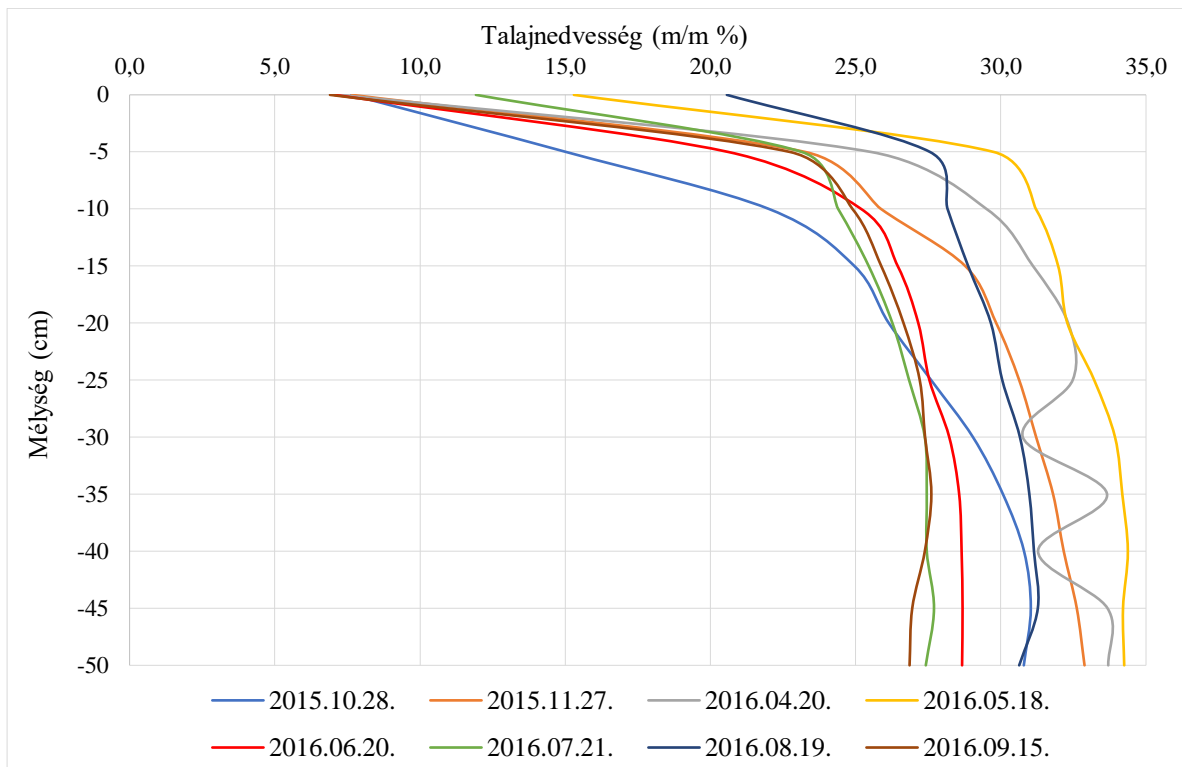
M3. 38. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2016)



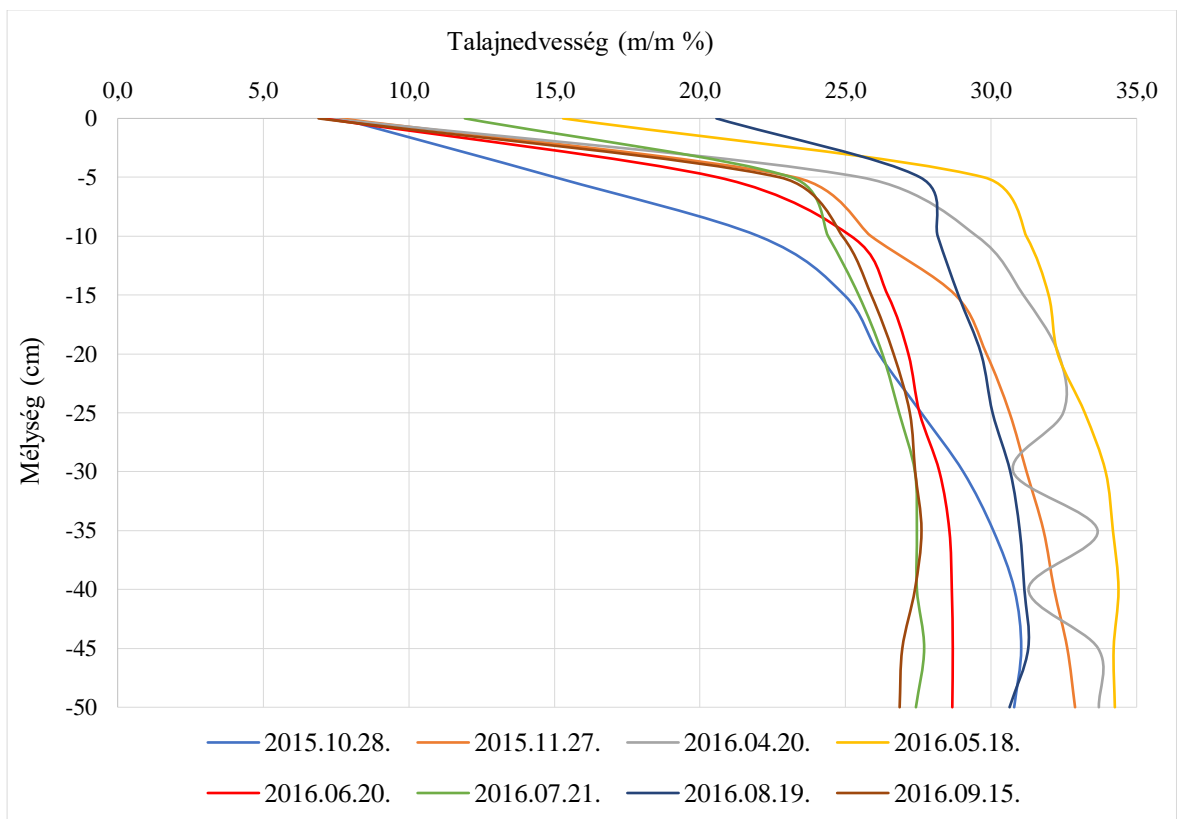
M3. 39. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a direktvetés kezelésben (Józsefmajor, 2016)



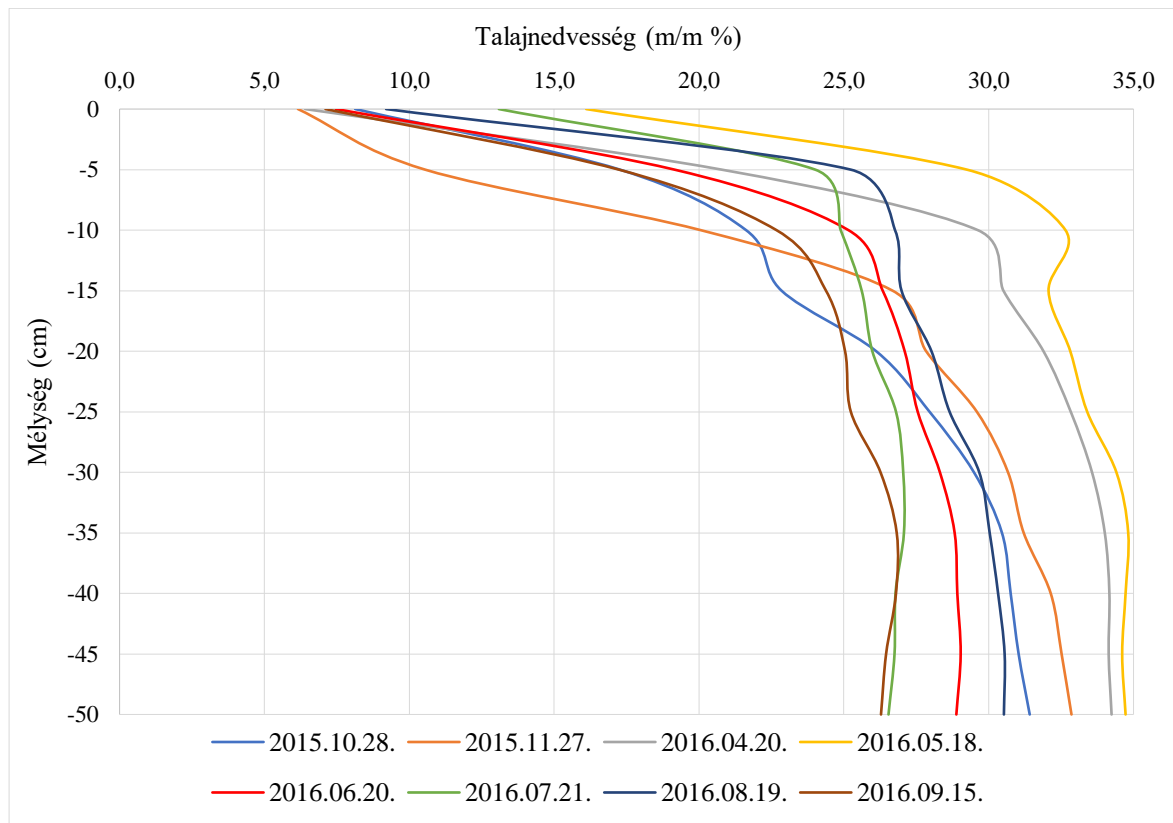
M3. 40. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2016)



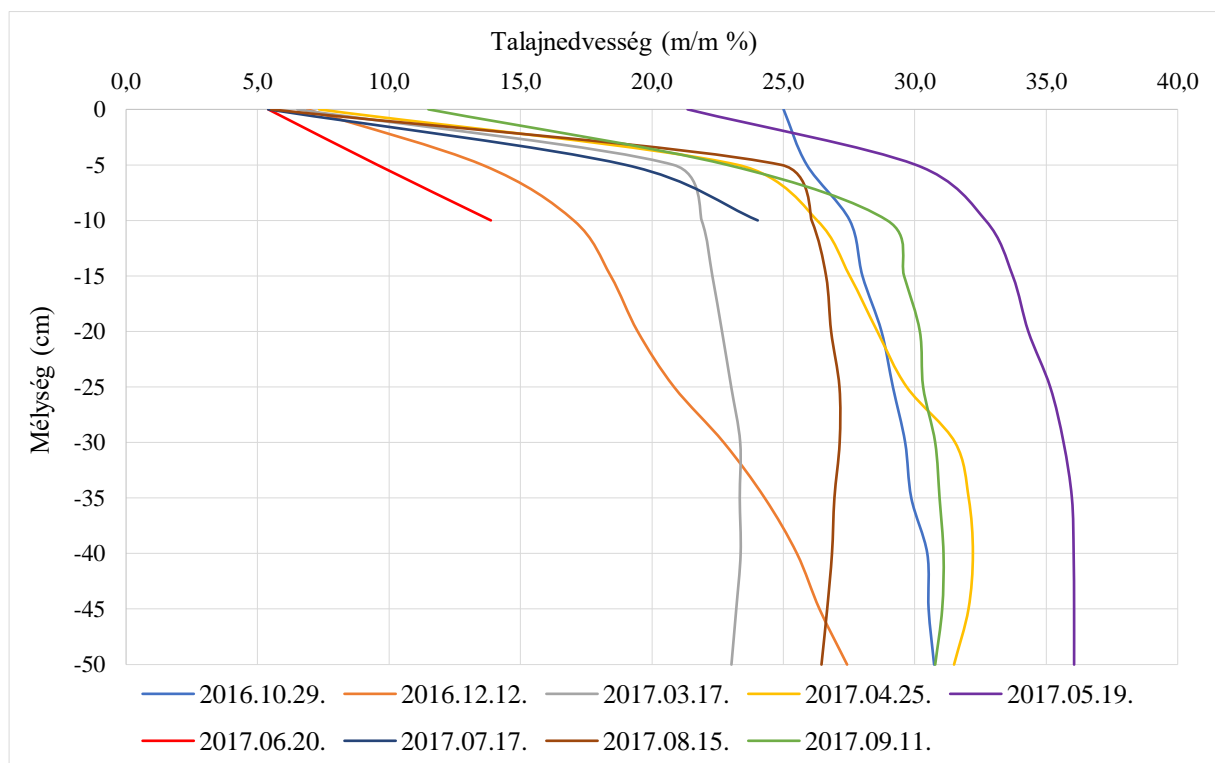
M3. 41. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Józsefmajor, 2016)



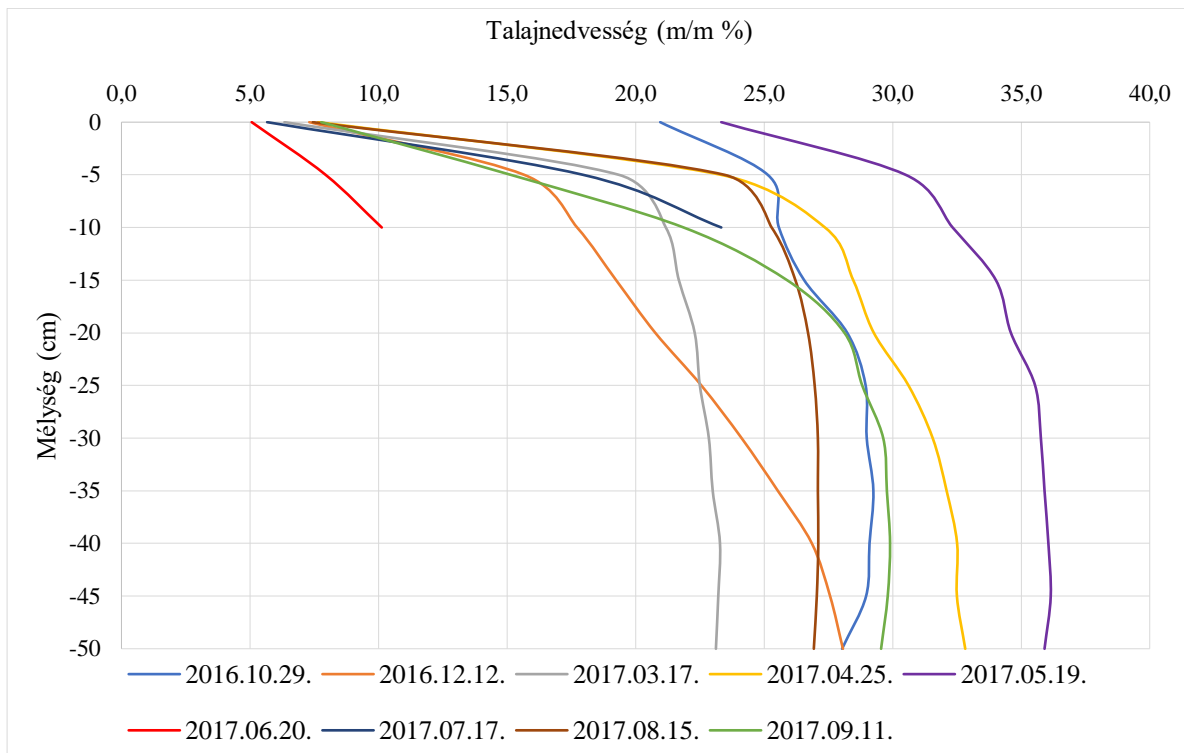
M3. 42. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a lazításos kezelésben (Józsefmajor, 2016)



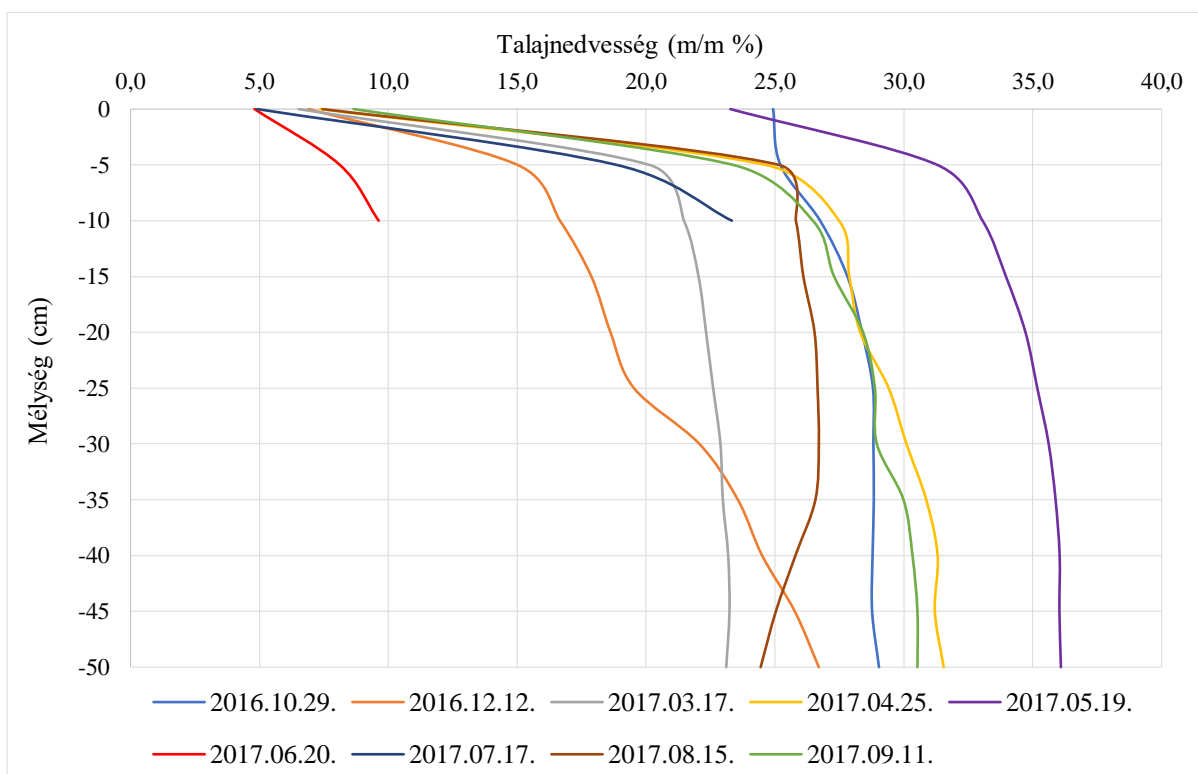
M3. 43. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a tárcsás kezelésben (Józsefmajor, 2017)



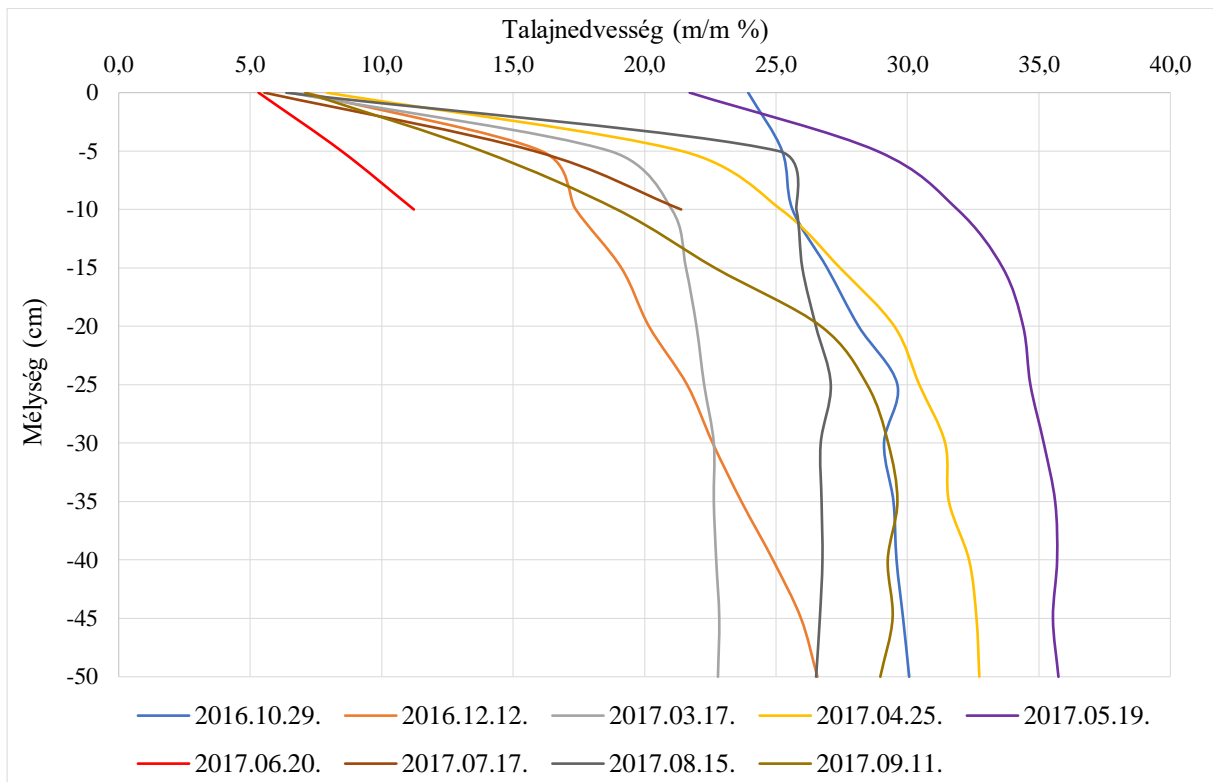
M3. 44. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2017)



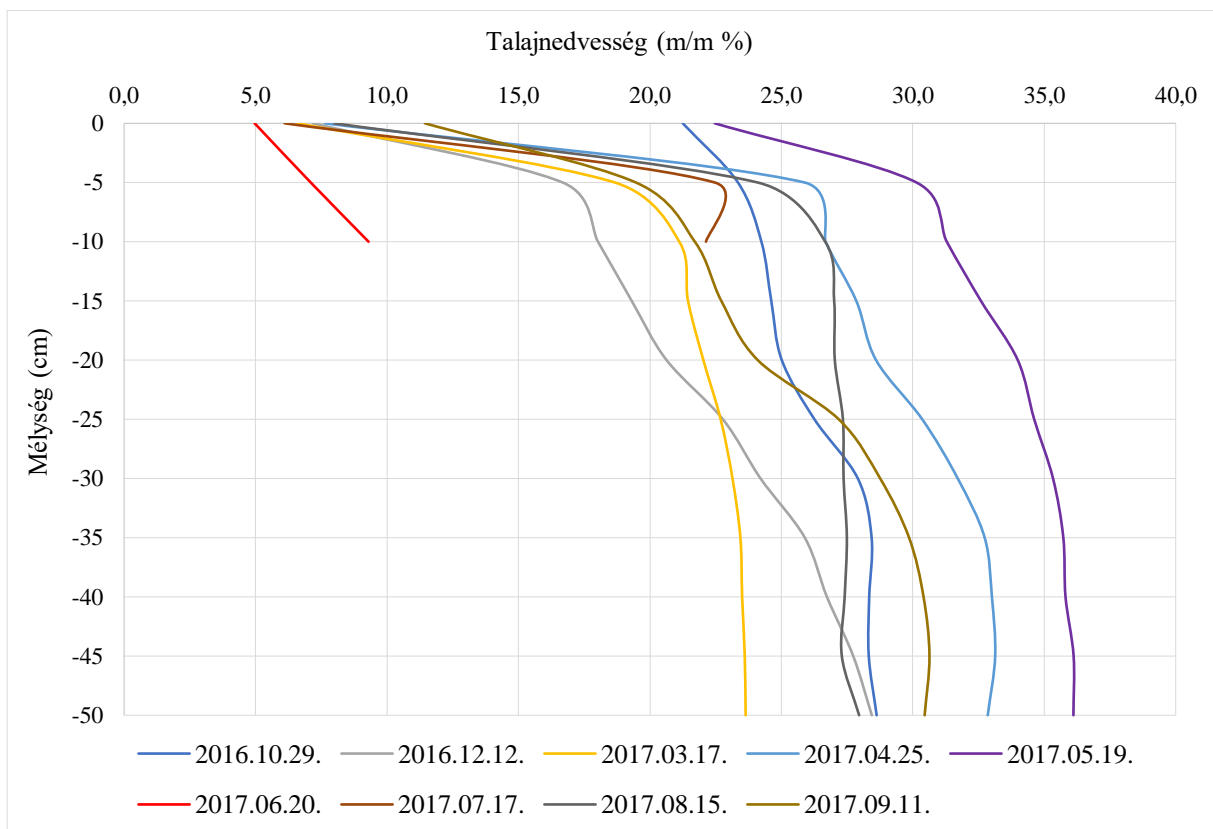
M3. 45. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a direktvetés kezelésben (Józsefmajor, 2017)



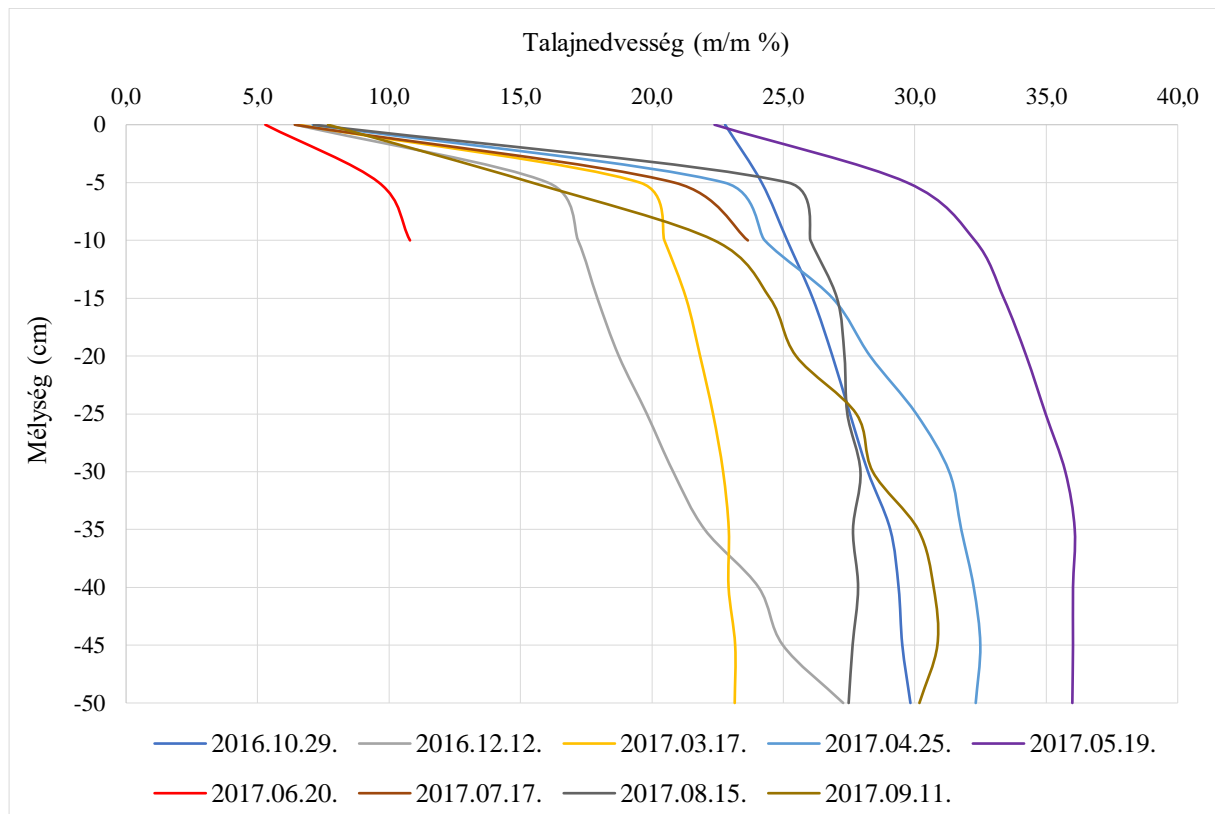
M3. 46. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2017)



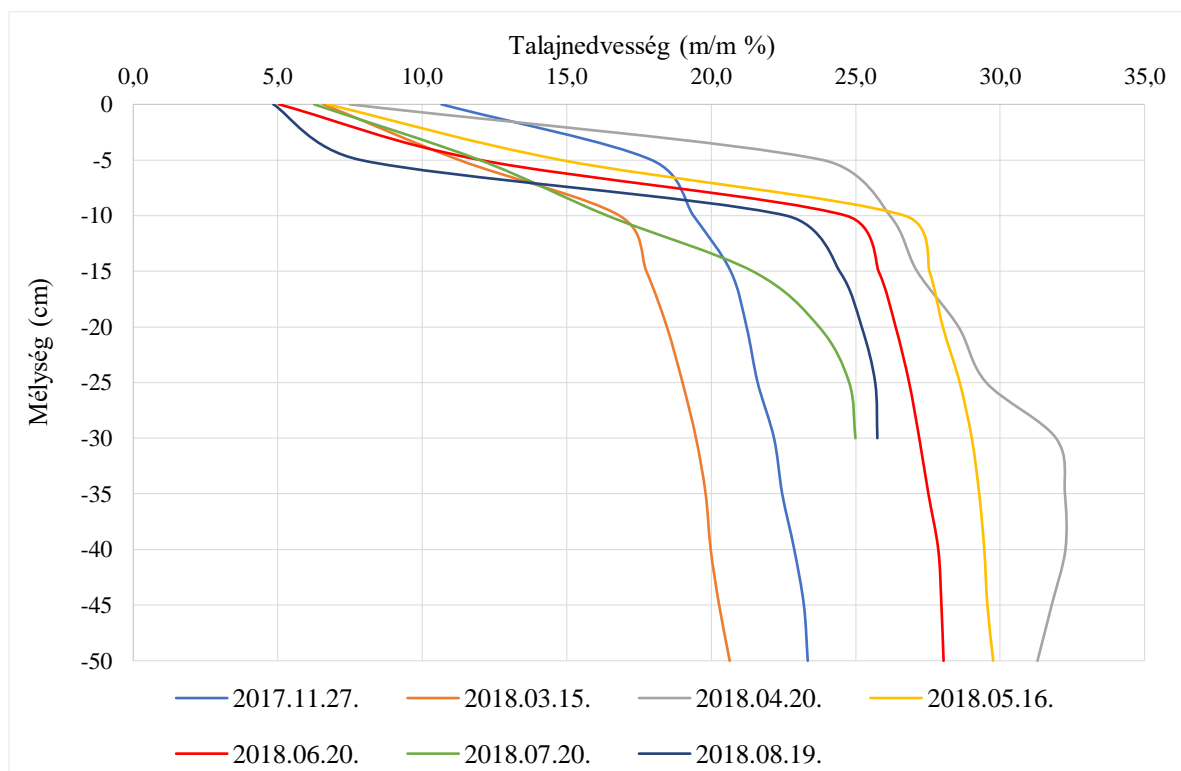
M3. 47. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Józsefmajor, 2017)



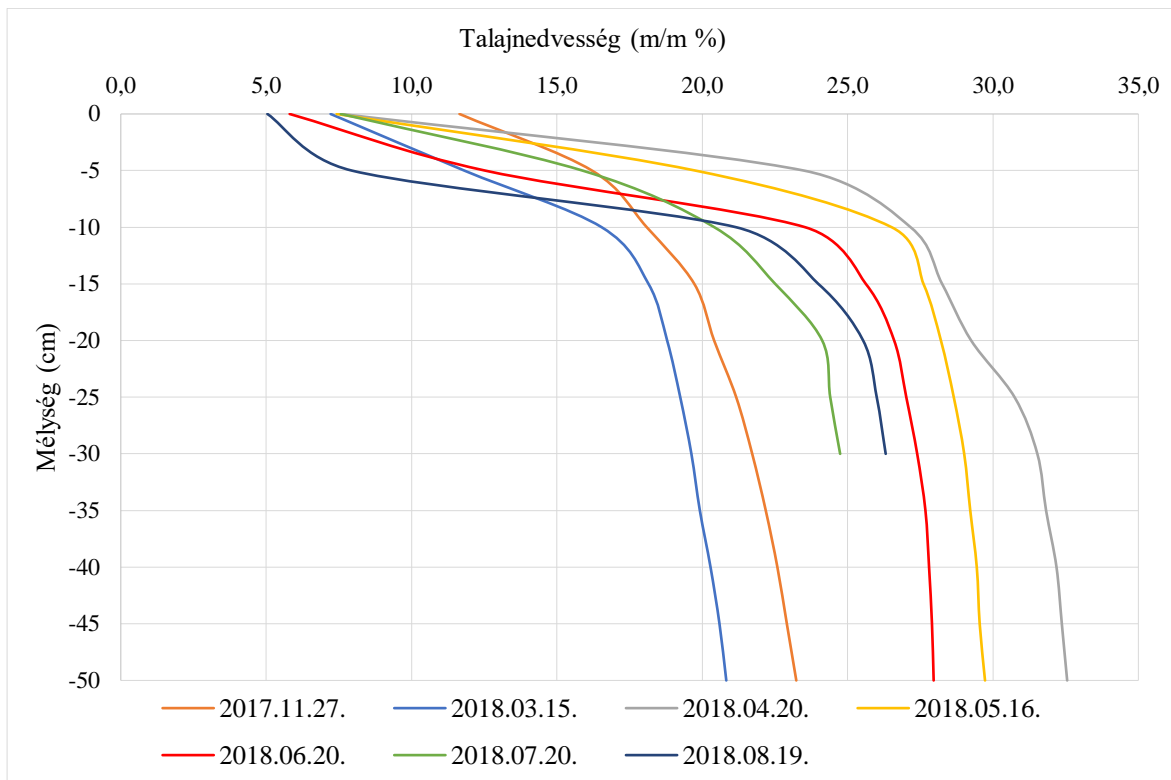
M3. 48. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a lazításos kezelésben (Józsefmajor, 2017)



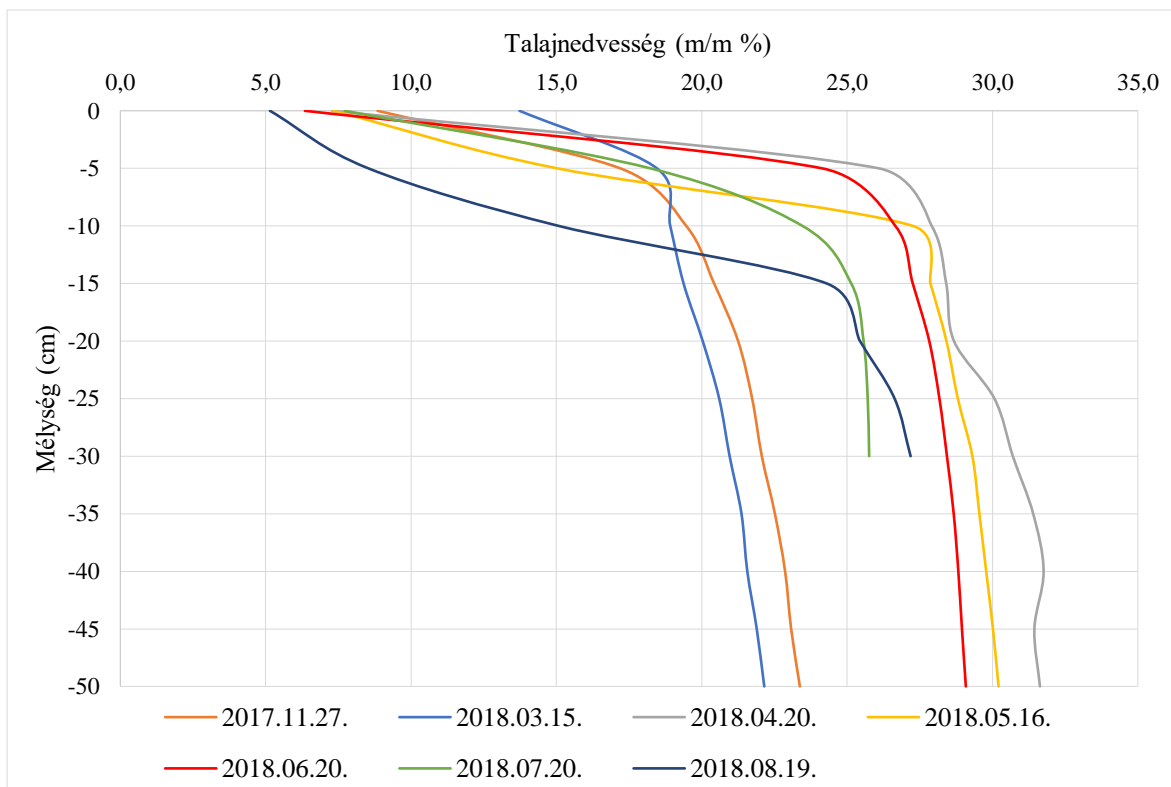
M3. 49. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a tárcsás kezelésben (Józsefmajor, 2018)



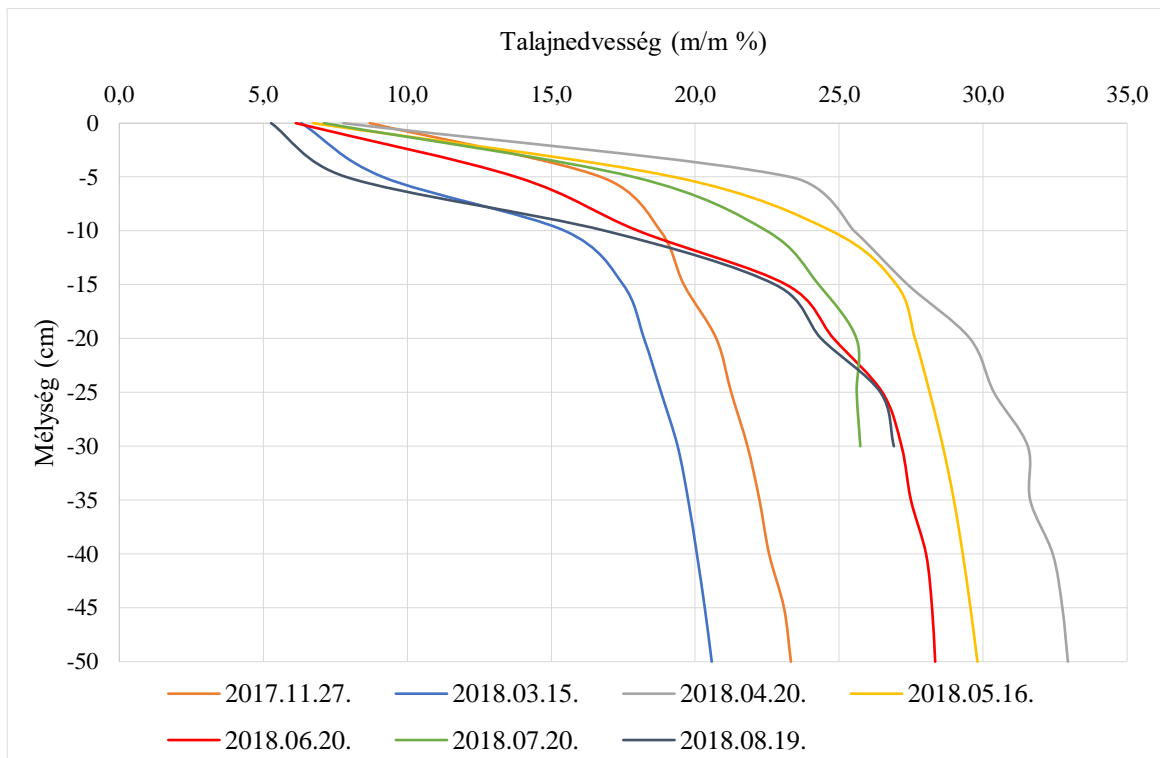
M3. 50. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a sekély kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2018)



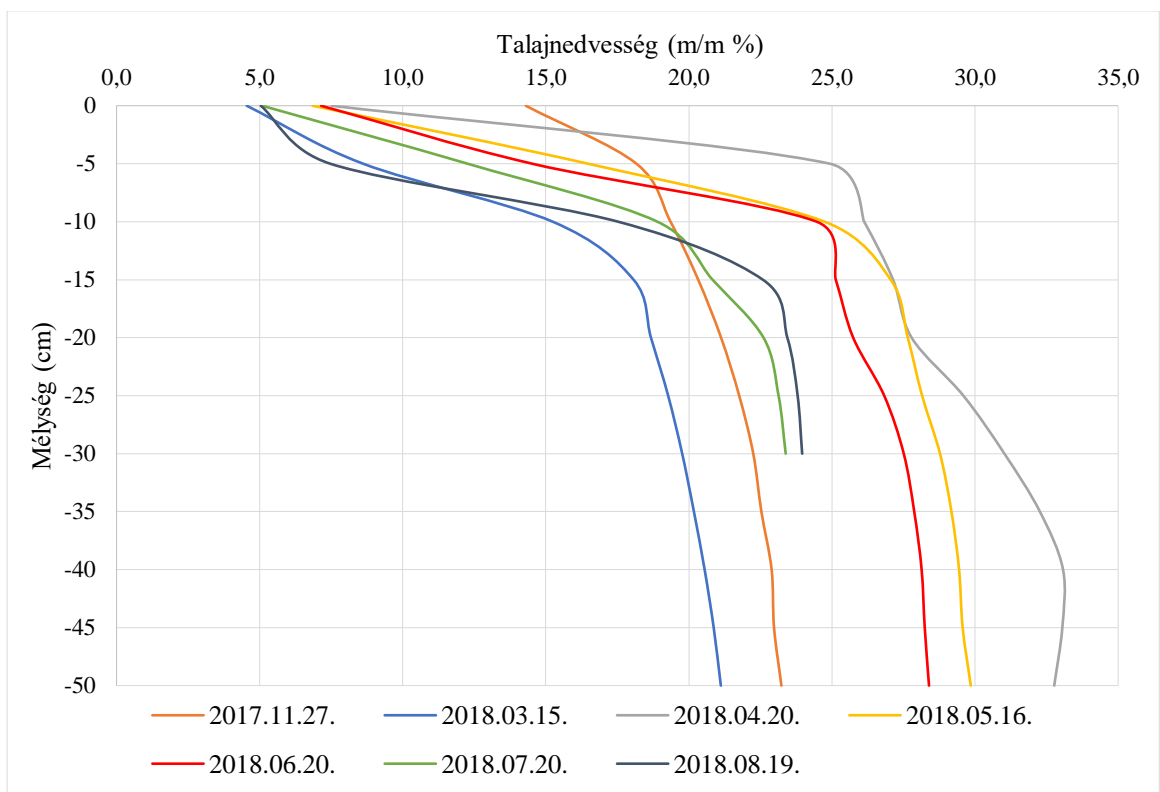
M3. 51. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a direktvetés kezelésben (Józsefmajor, 2018)



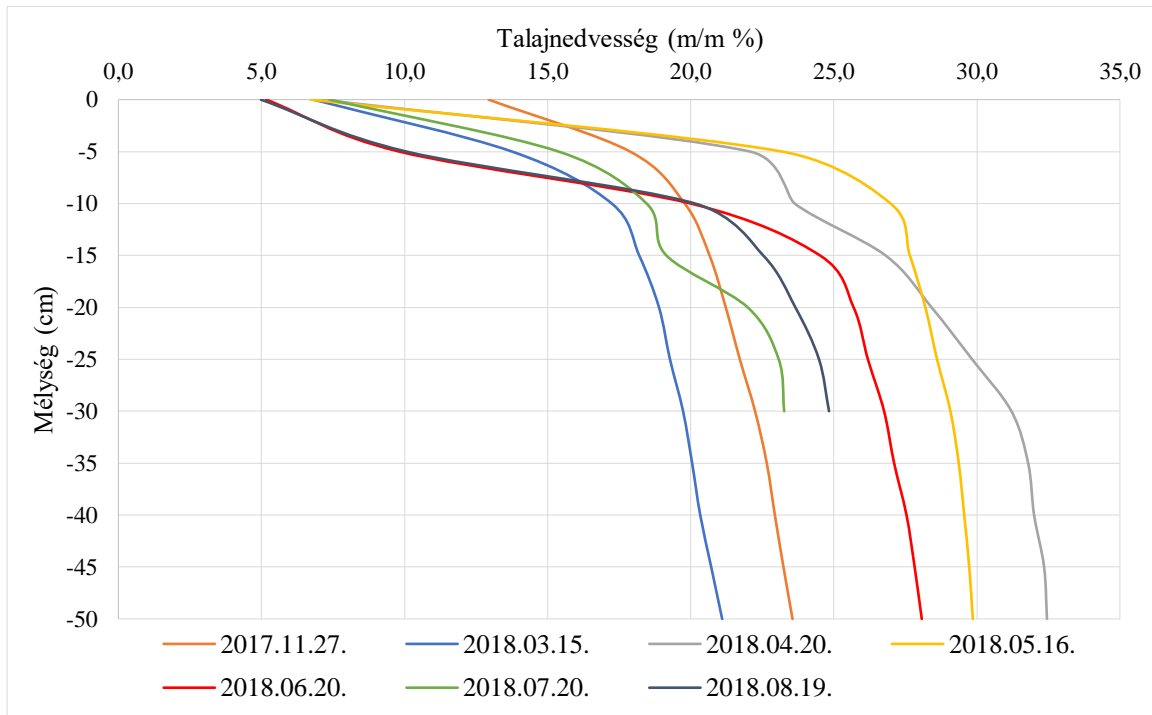
M3. 52. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a kultivátoros kezelésben (Józsefmajor, 2018)



M3. 53. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a szántás kezelésben (Józsefmajor, 2018)



M3. 54. ábra: A talajnedvesség adatok időbeli eloszlása, a lazításos kezelésben (Józsefmajor, 2018)



M3. 9. táblázat: A 2016. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)

Év	Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2016	0 cm	Csoportok között	203,947	5	40,789	2,479	0,031
		Csoportokon belül	9379,878	570	16,456		
		Összesen	9583,825	575			
	-5cm	Csoportok között	725,991	5	145,198	4,805	0,000
		Csoportokon belül	17223,935	570	30,217		
		Összesen	17949,927	575			
	-10 cm	Csoportok között	219,297	5	43,859	3,386	0,005
		Csoportokon belül	7384,333	570	12,955		
		Összesen	7603,631	575			
	-15 cm	Csoportok között	177,405	5	35,481	3,982	0,001
		Csoportokon belül	5078,569	570	8,910		
		Összesen	5255,974	575			

M3. 9.1. táblázat: A 2016. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)

0 cm ^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Direktvetés	96	8,6	
Lazítás	96	9,1	9,1
Szántás	96	9,2	9,2
Tárcsás	96	9,2	9,2
Sekély kultivátor	96	9,2	9,2
Kultivátor	96		10,5

-5cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	96	20,4	
Lazítás	96	21,9	21,9
Tárcsás	96	22,4	22,4
Sekély kultivátor	96		22,8
Kultivátor	96		23,5
Direktvetés	96		23,9
-10 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	96	25,4	
Lazítás	96	26,3	26,3
Sekély kultivátor	96	26,3	26,3
Kultivátor	96	26,4	26,4
Tárcsás	96	26,7	26,7
Direktvetés	96		27,5
-15 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	96	26,9	
Lazítás	96	27,5	27,5
Kultivátor	96	27,9	27,9
Sekély kultivátor	96	28,0	28,0
Tárcsás	96		28,3
Direktvetés	96		28,7

M3. 10. táblázat: A 2018. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések (Józsefmajor)

Év	Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2018	0 cm	Csoportok között	88,536	5	17,707	3,221	0,007
		Csoportokon belül	2738,052	498	5,498		
		Összesen	2826,588	503			
	-5cm	Csoportok között	839,040	5	167,808	5,818	0,000
		Csoportokon belül	14364,696	498	28,845		
		Összesen	15203,736	503			
	-10 cm	Csoportok között	323,989	5	64,798	3,973	0,002
		Csoportokon belül	8122,337	498	16,310		
		Összesen	8446,326	503			
	-15 cm	Csoportok között	195,505	5	39,101	3,177	0,008
		Csoportokon belül	6129,957	498	12,309		
		Összesen	6325,461	503			

M3. 10.1. táblázat: A 2018. évi talajnedvesség eredményeket alátámasztó post hoc próba eredményei (Józsefmajor)

0 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Tárcsás	84	6,8	
Kultivátor	84	6,9	
Szántás	84	7,2	7,2
Lazítás	84	7,3	7,3
Sekély kultivátor	84	7,5	7,5
Direktvetés	84		8,1

-5cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Tárcsás	84	14,2	
Szántás	84	14,6	
Sekély kultivátor	84	15,4	
Kultivátor	84	15,4	
Lazítás	84	16,0	
Direktvetés	84		18,2

-10 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Kultivátor	84	20,3	
Lazítás	84	20,9	
Szántás	84	20,9	
Tárcsás	84	21,8	21,8
Sekély kultivátor	84	21,9	21,9
Direktvetés	84		22,7

-15 cm^a			
Tukey B ^b		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Lazítás	84	22,8	
Szántás	84	23,0	
Kultivátor	84	23,1	
Tárcsás	84	23,5	23,5
Sekély kultivátor	84	23,7	23,7
Direktvetés	84		24,7

M3. 11. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a lukácsi kísérletben, a három év együttesen

		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Rög	Csoportok között	379,046	2	189,523	7,463	0,001
	Csoportokon belül	939,641	37	25,396		
	Összesen	1318,688	39			
Morzsa	Csoportok között	555,727	2	277,864	22,439	0,001
	Csoportokon belül	458,170	37	12,383		
	Összesen	1013,898	39			
Por	Csoportok között	305,065	2	152,532	10,175	0,001
	Csoportokon belül	554,649	37	14,991		
	Összesen	859,714	39			

M3. 11.1. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a lukácsi kísérletben, a három év együttesen

Rög			
Tukey B _{a,b}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
kultivátoros	15	11,73	
sekély kultivátoros	10	11,96	
szántás	15		18,18

Morzsa			
Tukey B _{a,b}			
Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
		1	2
szántás	15	34,13	
sekély kultivátoros	10		41,63
kultivátoros	15		41,96
Por			
Tukey B _{a,b}			
Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
		1	2
kultivátoros	15	4,64	
sekély kultivátoros	10	5,11	
szántás	15		10,52

M3. 12. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a lukácsi kísérletben a 2016., a 2017. és a 2018. évekre vonatkozóan

Év			Eltérésnégyzet- összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2016	Morzsa	Csoportok között	231,361	1	231,361	20,602	0,002
		Csoportokon belül	89,840	8	11,230		
		Összesen	321,201	9			
	Por	Csoportok között	84,100	1	84,100	16,894	0,003
		Csoportokon belül	39,824	8	4,978		
		Összesen	123,924	9			
2017	Rög	Csoportok között	294,377	2	147,189	10,316	0,002
		Csoportokon belül	171,220	12	14,268		
		Összesen	465,597	14			
	Morzsa	Csoportok között	321,429	2	160,715	11,017	0,002
		Csoportokon belül	175,048	12	14,587		
		Összesen	496,477	14			
	Apró morzsa	Csoportok között	254,649	2	127,325	4,301	0,039
		Csoportokon belül	355,244	12	29,604		
		Összesen	609,893	14			
	Por	Csoportok között	151,701	2	75,851	4,255	0,040
		Csoportokon belül	213,928	12	17,827		
		Összesen	365,629	14			
2018	Rög	Csoportok között	205,921	2	102,961	5,314	0,022
		Csoportokon belül	232,516	12	19,376		
		Összesen	438,437	14			
	Morzsa	Csoportok között	75,433	2	37,717	7,323	0,008
		Csoportokon belül	61,804	12	5,150		
		Összesen	137,237	14			
	Apró morzsa	Csoportok között	122,565	2	61,283	5,763	0,018
		Csoportokon belül	127,604	12	10,634		
		Összesen	250,169	14			

M3. 12.1. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a lukácsi kísérletben a 2017-re és 2018-években

Rög							
Év=2017				Év=2018			
Tukey B _a				Tukey B _a			
Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
		1	2			1	2
kultivátoros	5	13,120		sekély kultivátoros	5	7,420	
sekély kultivátoros	5	16,500		kultivátoros	5	9,820	9,820
szántás	5		23,740	szántás	5		16,200
Morzsa							
Év=2017				Év=2018			
Tukey B _a				Tukey B _a			
Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
		1	2			1	2
szántás	5	31,260		szántás	5	37,380	
kultivátoros	5		39,820	sekély kultivátoros	5		41,280
sekély kultivátoros	5		41,980	kultivátoros	5		42,680
Apró morzsa							
Év=2017				Év=2018			
Tukey B _a				Tukey B _a			
Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
		1	2			1	2
szántás	5	35,360		szántás	5	38,640	
sekély kultivátoros	5	37,400	37,400	kultivátoros	5		44,040
kultivátoros	5		44,940	sekély kultivátoros	5		45,200
Por							
Év=2017				Év=2018			
Tukey B _a				Tukey B _a			
Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		Talajművelési mód	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
		1	2			1	2
kultivátoros	5	2,120		kultivátoros	5	3,460	
sekély kultivátoros	5	4,120	4,120	sekély kultivátoros	5	6,100	6,100
szántás	5		9,640	szántás	5		7,780

M3. 13. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a 2016., a 2017. és a 2018. évekre

		Eltérésnégyzet- összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Rög	Csoportok között	2852,407	5	570,481	7,153	0,000
	Csoportokon belül	9092,485	114	79,759		
	Összesen	11944,892	119			
Morzsa	Csoportok között	5975,169	5	1195,034	35,720	0,000
	Csoportokon belül	3813,906	114	33,455		
	Összesen	9789,075	119			
Por	Csoportok között	760,389	5	152,078	6,370	0,000
	Csoportokon belül	2721,795	114	23,875		
	Összesen	3482,183	119			

M3. 13.1. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben a 2016., a 2017. és a 2018. években

Rög				
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa =0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	3
Sekély kultivátoros	20	16,820		
Kultivátoros	20	17,840	17,540	
Lazításos	20	23,030	23,030	23,030
Direktvetés	20		24,485	24,485
Szántás	20			26,205
Tárcsás	20			31,140
Morzsa				
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa =0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	3
Tárcsás	20	25,185		
Szántás	20	25,425		
Lazításos	20		36,370	
Direktvetés	20		37,530	37,530
Kultivátoros	20			42,105
Sekély kultivátoros	20			42,345
Por				
Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa =0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	3
Direktvetés	20	4,450		
Sekély kultivátoros	20	6,085	6,085	
Kultivátoros	20	6,405	6,405	
Lazításos	20	7,265	7,265	
Tárcsás	20		9,780	9,780
Szántás	20			12,020

M3. 14. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen

Év			Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2016	Rög	Csoportok között	815,168	5	163,034	4,028	0,005
		Csoportokon belül	1457,037	36	40,473		
		Összesen	2272,205	41			
	Morzsa	Csoportok között	2172,877	5	434,575	14,990	0,000
		Csoportokon belül	1043,666	36	28,991		
		Összesen	3216,543	41			
	Apró morzsa	Csoportok között	326,044	5	65,209	2,852	0,029
		Csoportokon belül	823,206	36	22,867		
		Összesen	1149,250	41			
2017	Rög	Csoportok között	1484,190	5	296,838	2,757	0,033
		Csoportokon belül	3875,429	36	107,651		
		Összesen	5359,619	41			
	Morzsa	Csoportok között	1969,333	5	393,867	9,866	0,000
		Csoportokon belül	1437,143	36	39,921		
		Összesen	3406,476	41			
2018	Rög	Csoportok között	790,250	5	158,050	5,737	0,001
		Csoportokon belül	826,500	30	27,550		
		Összesen	1616,750	35			
	Morzsa	Csoportok között	2189,806	5	437,961	16,131	0,000
		Csoportokon belül	814,500	30	27,150		
		Összesen	3004,306	35			

	Por	Csoportok között	551,806	5	110,361	9,201	0,000
		Csoportokon belül	359,833	30	11,994		
		Összesen	911,639	35			

M3. 14.1. táblázat: Az agronómiai szerkezet megoszlását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen

Rög			
Év=2016			
Tukey B _a	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2
Kultivátoros	7	11,5	
Sekély kultivátoros	7	11,8	
Direktvetés	7	18,7	18,7
Szántás	7	18,7	18,7
Tárcsás	7		24,8
Lazításos	7		25,2
Év=2017			
Tukey B _a	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2
Sekély kultivátoros	7	17,0	
Kultivátoros	7	18,6	
Direktvetés	7	28,1	
Lazításos	7	28,6	
Szántás	7	30,4	30,4
Tárcsás	7		32,7
Év=2018			
Tukey B _a	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2
Sekély kultivátoros	6	21,5	
Kultivátoros	6	23,3	
Lazításos	6	25,8	
Direktvetés	6	27,0	
Szántás	6	30,0	30,0
Tárcsás	6		35,8

Morzsa				
Év=2016				
Tukey B _a	Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	
Tárcsás	7	25,9		
Szántás	7	26,9		
Lazításos	7	30,2	30,2	
Sekély kultivátoros	7		41,8	
Direktvetés	7		42,4	
Kultivátoros	7		42,9	
Év=2017				
Tukey B _a	Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3
Tárcsás	7	26,7		
Szántás	7	27,4	27,4	
Direktvetés	7	33,1	33,1	
Lazításos	7		36,6	36,6
Sekély kultivátoros	7			43,3
Kultivátoros	7			44,0
Év=2018				
Tukey B _a	Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	
Szántás	6	22,0		
Tárcsás	6	23,0		
Lazításos	6		34,8	
Direktvetés	6		38,2	
Kultivátoros	6		39,0	
Sekély kultivátoros	6		41,8	

Apró morzsa			
Év=2016			
Tukey B _a	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Talajművelési mód	N	1	2
Direktvetés	7	35,0	
Tárcsás	7	37,0	37,0
Lazításos	7	39,7	39,7
Kultivátoros	7	39,9	39,9
Sekély kultivátoros	7	41,3	41,3
Szántás	7		43,0

Por				
Év=2018				
Tukey B _a	Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3
Direktvetés	6	4,7		
Sekély kultivátoros	6	7,3		
Kultivátoros	6	8,2	8,2	
Lazításos	6	9,0	9,0	
Tárcsás	6		13,2	13,2
Szántás	6			16,5

M3. 15. táblázat: A talajnedvesség adatokat alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések a 0-5 és 5-10 cm rétegekre vonatkozóan (Lukács, 2016-2018)

		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
-5 cm	Csoportok között	206,303	2	103,151	5,500	0,005
	Csoportokon belül	2194,336	117	18,755		
	Összesen	2400,639	119			
-10 cm	Csoportok között	141,451	2	70,726	4,854	0,009
	Csoportokon belül	1704,672	117	14,570		
	Összesen	1846,123	119			

M3. 15.1. táblázat: A talajnedvességre vonatkozó post hoc statisztikai elemzések a 0-5 és 5-10 cm rétegekre (Lukács, 2016-2018)

(-5 cm)				(-10 cm)			
Tukey B _{a,b}		Homogén csoportok, alfa = 0.05		Tukey B _{a,b}		Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód	N	1	2	Talajművelési mód	N	1	2
szántás	3	16,324		szántás	3	19,853	
sekély kultivátoros	3		18,890	kultivátoros	3		21,860
kultivátoros	3		19,118	sekély kultivátoros	3		22,360

M3. 16. táblázat: A földigilisza egyedszám alakulását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen (eltérő borítás esetén)

Földigilisza egyedszám (db/m ²)	Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Csoportok között	374179,016	4	93544,754	2,587	0,040
Csoportokon belül	5026542,153	139	36162,174		
Összesen	5400721,169	143			

M3. 16.1. táblázat: A földigilisza egyedszám alakulását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen (eltérő borítás esetén)

Földigilisza egyedszám (db/m ²)			
Tukey B _{a,b}	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Borítási kategóriák		1	2
0-10%	24	30,5	
11-25%	58	76,3	76,3
46-70%	15	117,9	117,9
26-45%	30	156,9	156,9
71-100%	17		185,7

M3. 17. Táblázat: A földigilisza egyedszám alakulását alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, 2017-évben (eltérő borítás esetén)

Földigilisza egyedszám (db/m ²)	Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Csoportok között	68458,815	2	34229,407	4,223	0,020
Csoportokon belül	413420,000	51	8106,275		
Összesen	481878,815	53			

M3. 17.1. táblázat: A földigiliszta egyedszám alakulását alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, 2017-ben (eltérő borítás esetén)

Földigiliszta egyedszám (db/m ²)			
Tukey B _{a,b}	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Borítás-kategória		1	2
0-10%	9	37,8	
11-25%	36	91,2	91,2
71-100%	9		160,4

M3. 18. táblázat: A két termőhely morzsa arányai eltérő borítási kategóriáknál alátámasztó ANOVA statisztikai elemzések adatai a három év együttesen

Ország			Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Lukács	Morzsa	Csoportok között	1459,228	2	729,614	30,298	0,000
		Csoportokon belül	890,996	37	24,081		
		Összesen	2350,224	39			
Józsefmajor	Morzsa	Csoportok között	3607,753	4	901,938	9,253	0,000
		Csoportokon belül	11209,679	115	97,475		
		Összesen	14817,431	119			

M3. 18.1. táblázat: A két termőhely morzsa arányai eltérő borítási kategóriáknál alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a három év együttesen

Lukács			
Tukey B _{a,b}	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Borítás-kategória		1	2
0-10%	15	71,3	
46-70%	5		79,4
26-45%	20		84,3

Józsefmajor				
Tukey B _{a,b}	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05		
Borítás-kategória		1	2	3
0-10%	20	61,8		
11-25%	47	65,6	65,6	
71-100%	14		72,2	72,2
26-45%	26			75,9
46-70%	13			76,1

M3. 19. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Lukács, 2017)

	Földigiliszta egyedszám (db/m ²)	Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2017.06.21.	Csoportok között	2090,667	2	1045,333	4,200	0,046
	Csoportokon belül	2240,000	9	248,889		
	Összesen	4330,667	11			

M3. 19.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Lukács, 2017)

2017.06.21.			
Tukey HSD _a	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód		1	2
Sekély kultivátoros	4	48,0	
Szántás	4	60,0	60,0
Kultivátoros	4		80,0

M3. 20. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Lukács, 2018)

Időpont	Földigiliszta egyedszám (db/m ²)	Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2018.07.21	Csoportok között	37184,000	3	12394,667	9,932	0,001
	Csoportokon belül	14976,000	12	1248,000		
	Összesen	52160,000	15			

M3. 20.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Lukács, 2018)

2018.07.21.			
Tukey HSD _a	N	Homogén csoportok, alfa = 0.05	
Talajművelési mód		1	2
Direktvetés	4	24,0	
Sekély kultivátoros	4		124,0
Szántás	4		128,0
Kultivátoros	4		148,0

M3. 21. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2016)

		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2015.10.28	Csoportok között	546688,000	5	109337,600	8,250	0,000
	Csoportokon belül	1192704,000	90	13252,267		
	Összesen	1739392,000	95			
2015.11.27	Csoportok között	518016,000	5	103603,200	14,211	0,000
	Csoportokon belül	656128,000	90	7290,311		
	Összesen	1174144,000	95			
2016.04.20	Csoportok között	177493,333	5	35498,667	10,470	0,000
	Csoportokon belül	305152,000	90	3390,578		
	Összesen	482645,333	95			
2016.05.18	Csoportok között	3014357,333	5	602871,467	37,413	0,000
	Csoportokon belül	1450240,000	90	16113,778		
	Összesen	4464597,333	95			
2016.06.20	Csoportok között	152405,333	5	30481,067	8,307	0,000
	Csoportokon belül	330240,000	90	3669,333		
	Összesen	482645,333	95			
2016.07.16	Csoportok között	81749,333	5	16349,867	4,547	0,001
	Csoportokon belül	323584,000	90	3595,378		
	Összesen	405333,333	95			
2016.08.19	Csoportok között	36693,333	5	7338,667	3,291	0,009
	Csoportokon belül	200704,000	90	2230,044		
	Összesen	237397,333	95			
2016.09.15	Csoportok között	159445,333	5	31889,067	9,063	0,000
	Csoportokon belül	316672,000	90	3518,578		
	Összesen	476117,333	95			

M3. 21.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2016)

2015.10.28					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Szántás	16	120,4			
Tárcsás	16	126			
Lazításos	16	182	182		
Direktvetés	16	193,2	193,2		
Kultivátoros	16		224	224	
Sekély kultivátoros	16			271,6	
2015.11.27					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Szántás	16	14			
Tárcsás	16		84		
Sekély kultivátoros	16		89,6		
Kultivátoros	16		100,8		
Lazításos	16		100,8		
Direktvetés	16			190,4	
2016.04.20					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Szántás	16	2,8			
Lazításos	16		39,2		
Sekély kultivátoros	16		47,6		
Kultivátoros	16		56	56	
Tárcsás	16			86,8	
Direktvetés	16			92,4	
2016.05.18					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	4
Szántás	16	42			
Tárcsás	16		137,2		
Lazításos	16		151,2		
Kultivátoros	16			263,2	
Sekély kultivátoros	16			271,6	
Direktvetés	16				431,2
2016.06.20					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	
Szántás	16	2,8			
Tárcsás	16	14			
Lazításos	16	39,2	39,2		
Sekély kultivátoros	16		56	56	
Kultivátoros	16		61,6	61,6	
Direktvetés	16			84	
2016.07.21					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2		
Szántás	16	5,6			
Tárcsás	16	14			
Sekély kultivátoros	16	36,4	36,4		
Lazításos	16	36,4	36,4		
Kultivátoros	16	47,6	47,6		
Direktvetés	16		67,2		

2016.08.19			
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	16	0	
Tárcsás	16	14	14
Lazításos	16	19,6	19,6
Sekély kultivátoros	16	30,8	30,8
Kultivátoros	16		36,4
Direktvetés	16		39,2

2016.09.15			
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05	
Talajművelési mód	N	1	2
Szántás	16	28	
Tárcsás	16	30,8	
Sekély kultivátoros	16	42	
Lazításos	16	56	
Kultivátoros	16		95,2
Direktvetés	16		98

M3. 22. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2017)

		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2016.10.29	Csoportok között	190293,333	5	38058,667	6,998	0,000
	Csoportokon belül	489472,000	90	5438,578		
	Összesen	679765,333	95			
2016.12.12	Csoportok között	150357,333	5	30071,467	8,795	0,000
	Csoportokon belül	307712,000	90	3419,022		
	Összesen	458069,333	95			
2017.03.17	Csoportok között	542933,333	5	108586,667	18,016	0,000
	Csoportokon belül	542464,000	90	6027,378		
	Összesen	1085397,333	95			
2017.04.25	Csoportok között	1926357,333	5	385271,467	36,342	0,000
	Csoportokon belül	954112,000	90	10601,244		
	Összesen	2880469,333	95			
2017.05.19	Csoportok között	130389,333	5	26077,867	6,977	0,000
	Csoportokon belül	336384,000	90	3737,600		
	Összesen	466773,333	95			

M3. 22.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2017)

2016.10.29				
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	3
Szántás	16	42		
Tárcsás	16	58,8	58,8	
Sekély kultivátoros	16	75,6	75,6	
Lazításos	16	78,4	78,4	
Kultivátoros	16		106,4	106,4
Direktvetés	16			137,2

2016.12.12				
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05		
Talajművelési mód	N	1	2	3
Szántás	16	2,8		
Lazításos	16	28	28	
Tárcsás	16		44,8	
Sekély kultivátoros	16		50,4	

Kultivátoros	16		61,6	61,6	
Direktvetés	16			92,4	
2017.03.17					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	4
Szántás	16	19,6			
Tárcsás	16	61,6	61,6		
Kultivátoros	16		98	98	
Lazításos	16			126	
Direktvetés	16			137,2	137,2
Sekély kultivátoros	16				182
2017.04.25					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	4
Szántás	16	81,2			
Tárcsás	16	106,4	106,4		
Kultivátoros	16		159,6	159,6	
Lazításos	16		159,6	159,6	
Sekély kultivátoros	16			221,2	
Direktvetés	16				383,6
2017.05.19					
Tukey Ba		Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód	N	1	2		
Szántás	16	30,8			
Tárcsás	16	36,4			
Lazításos	16	53,2			
Sekély kultivátoros	16	64,4			
Kultivátoros	16	70			
Direktvetés	16		109,2		

M3. 23. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2018)

		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
2017.11.27	Csoportok között	109056,000	5	21811,200	7,488	0,000
	Csoportokon belül	262144,000	90	2912,711		
	Összesen	371200,000	95			
2018.03.15	Csoportok között	17109,333	5	3421,867	3,260	0,009
	Csoportokon belül	94464,000	90	1049,600		
	Összesen	111573,333	95			
2018.04.20	Csoportok között	11477,333	5	2295,467	2,152	0,046
	Csoportokon belül	96000,000	90	1066,667		
	Összesen	107477,333	95			
2018.05.16	Csoportok között	283989,333	5	56797,867	11,774	0,000
	Csoportokon belül	434176,000	90	4824,178		
	Összesen	718165,333	95			
2018.06.20	Csoportok között	75477,333	5	15095,467	5,943	0,000
	Csoportokon belül	228608,000	90	2540,089		
	Összesen	304085,333	95			
2018.07.20	Csoportok között	7381,333	5	1476,267	2,557	0,033
	Csoportokon belül	51968,000	90	577,422		
	Összesen	59349,333	95			

M3. 23.1. táblázat: A földigilisztaszám post hoc elemzésének eredményei (Józsefmajor, 2018)

2017.11.27					
Tukey Ba	N	Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód		1	2	3	
Szántás	16	2,8			
Lazításos	16	19,6	19,6		
Tárcsás	16	30,8	30,8		
Sekély kultivátoros	16	39,2	39,2		
Kultivátoros	16		47,6	47,6	
Direktvetés	16			78,4	
2018.03.15					
Tukey Ba	N	Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód		1	2		
Szántás	16	0			
Lazításos	16	0			
Tárcsás	16	8,4	8,4		
Sekély kultivátoros	16	8,4	8,4		
Direktvetés	16	8,4	8,4		
Kultivátoros	16		28		
2018.04.20					
Tukey Ba	N	Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód		1	2		
Szántás	16	2,8			
Tárcsás	16	11,2	11,2		
Sekély kultivátoros	16	11,2	11,2		
Lazításos	16	11,2	11,2		
Kultivátoros	16	16,8	16,8		
Direktvetés	16		28		
2018.05.16					
Tukey Ba	N	Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód		1	2	3	4
Szántás	16	50,4			
Tárcsás	16	64,4	64,4		
Sekély kultivátoros	16	78,4	78,4		
Lazításos	16		98	98	
Kultivátoros	16			131,6	131,6
Direktvetés	16				159,6
2018.06.20					
Tukey Ba	N	Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód		1	2	3	
Szántás	16	2,8			
Tárcsás	16	19,6	19,6		
Sekély kultivátoros	16	22,4	22,4		
Lazításos	16	30,8	30,8	30,8	
Kultivátoros	16		50,4	50,4	
Direktvetés	16			61,6	
2018.07.20					
Tukey Ba	N	Homogén csoportok, alfa =0.05			
Talajművelési mód		1	2		
Tárcsás	16	0			
Kultivátoros	16	0			
Szántás	16	0			
Lazításos	16	0			
Sekély kultivátoros	16	2,8			
Direktvetés	16		16,8		

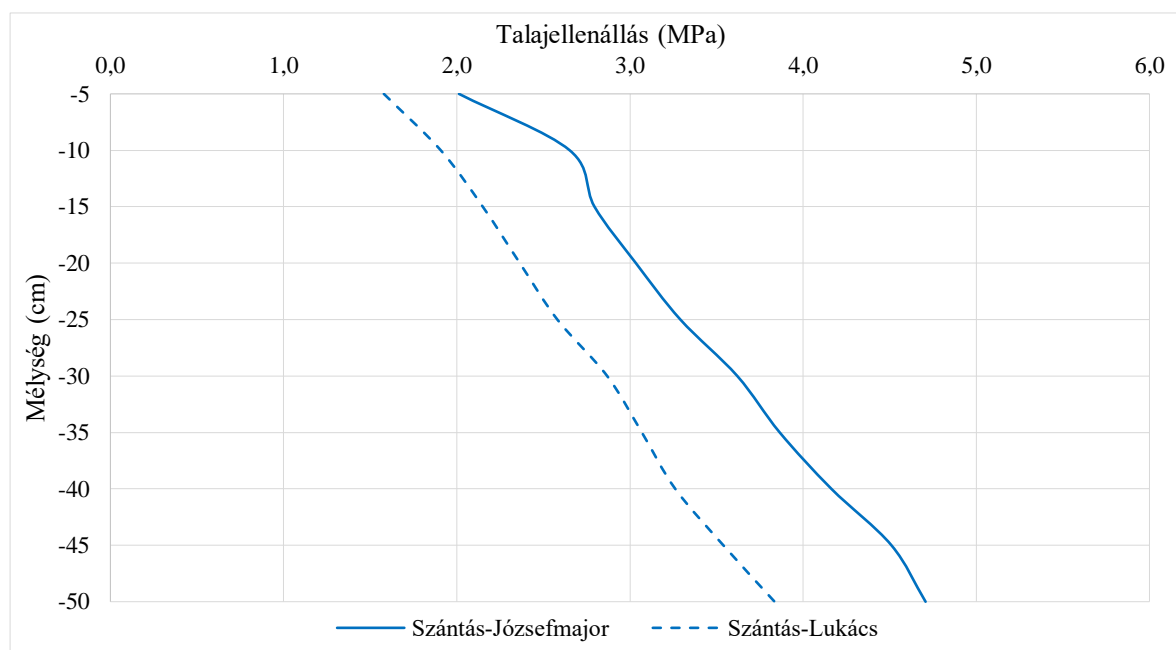
M3. 24. táblázat: A földigilisztaszám ANOVA elemzésének eredményei a józsefmajori kísérletben, a három év együttesen

	Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Csoportok között	3371429,333	5	674285,867	51,214	0,000
Csoportokon belül	30255818,667	2298	13166,153		
Összesen	33627248,000	2303			

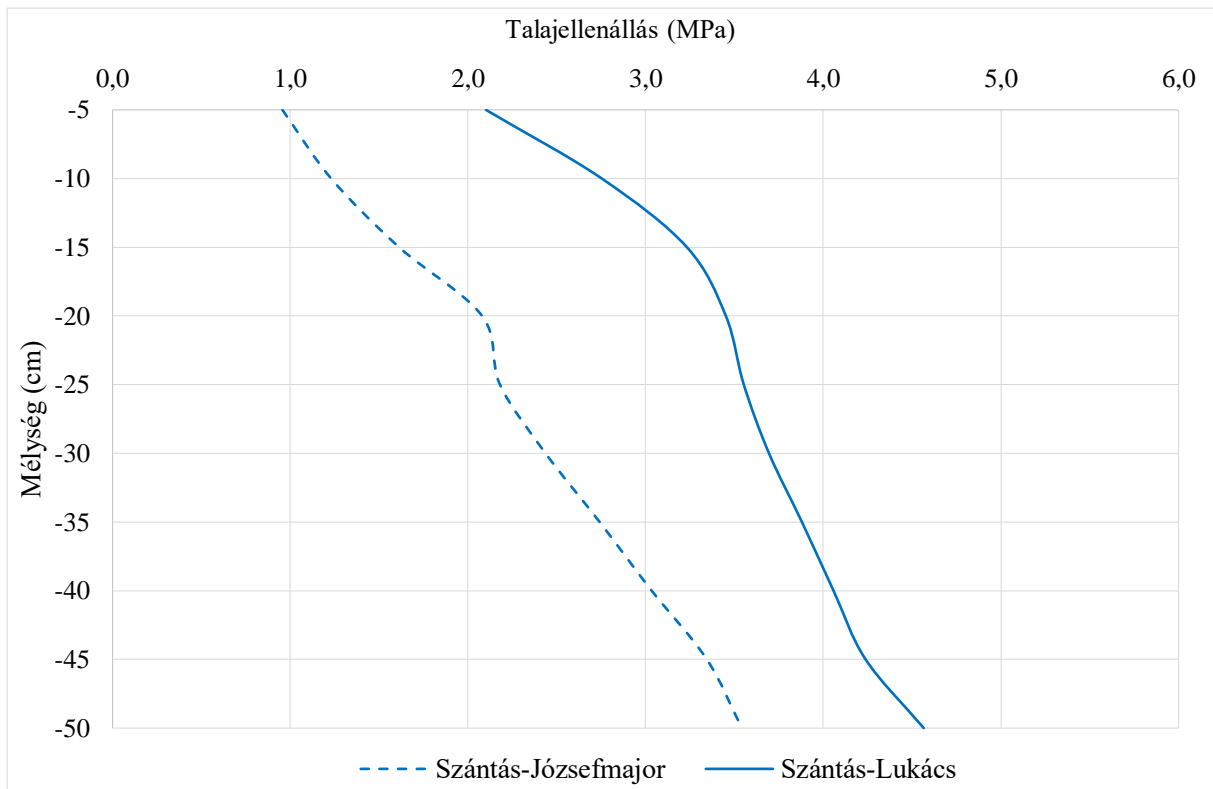
M3. 24.1. táblázat: A földigilisztaszám alátámasztó post hoc statisztikai elemzések adatai a józsefmajori kísérletben, a három évet együttvéve

Tukey B _a		Homogén csoportok, alfa = 0.05			
Talajművelési mód	N	1	2	3	4
Szántás	384	21,35			
Tárcsás	384		43,17		
Lazításos	384		55,53		
Sekély kultivátoros	384			72,33	
Kultivátoros	384			74,43	
Direktvetés	384				106,63

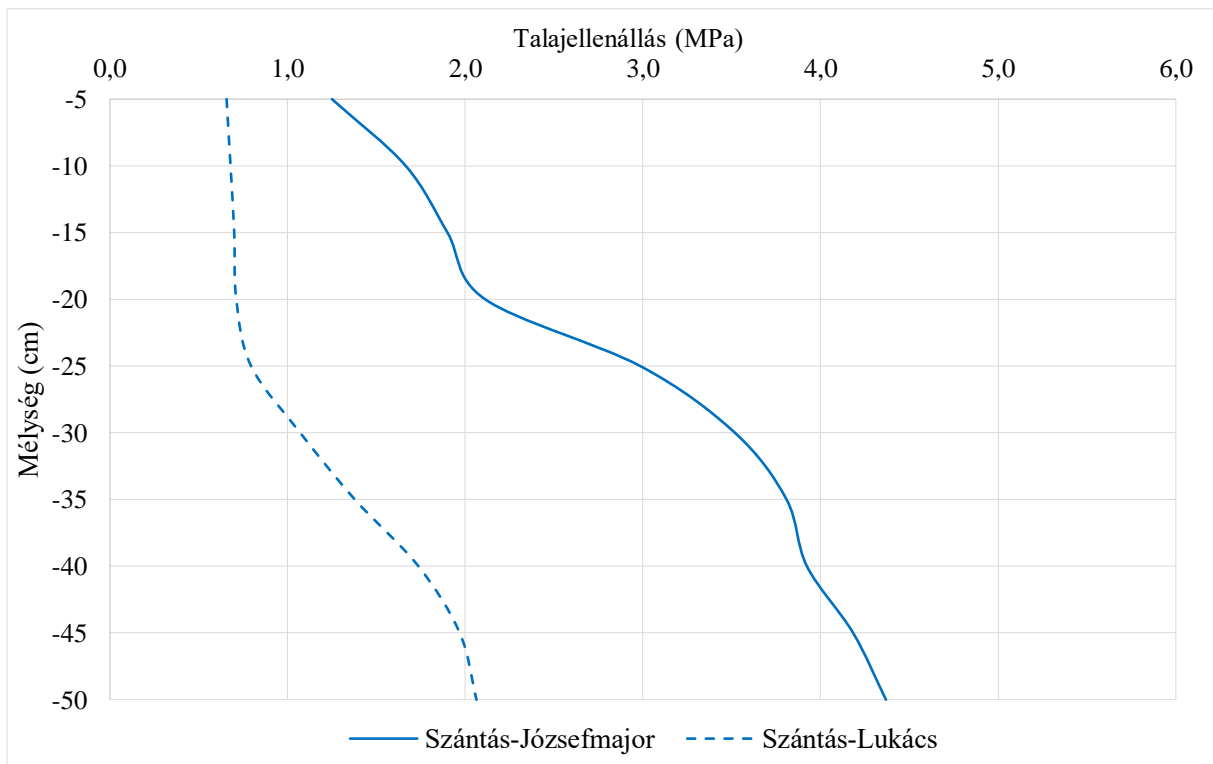
M3. 55. ábra: Szántott talajra jellemző talajellenállás (MPa), két termőhelyen (2016)



M3. 56. ábra: Szántott talajra jellemző talajellenállás (MPa), két termőhelyen (2017)



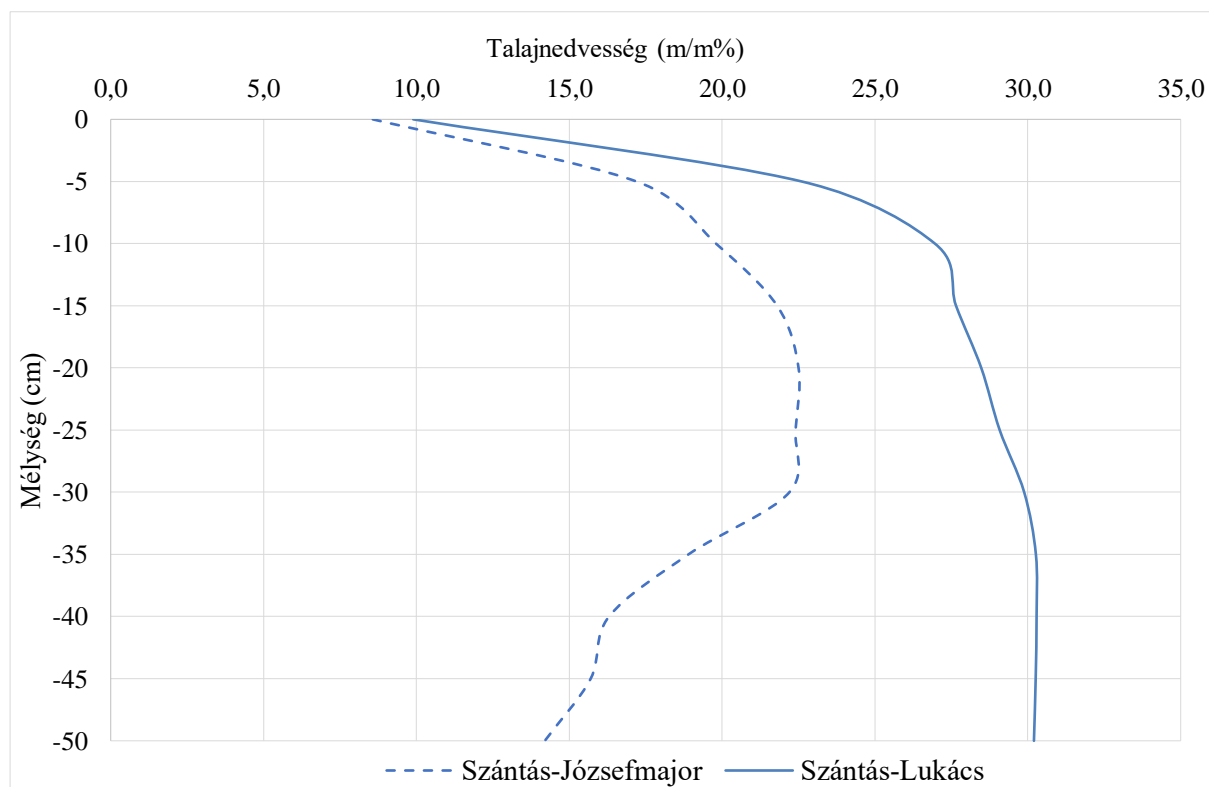
M3. 57. ábra: Szántott talajra jellemző talajellenállás (MPa), két termőhelyen (2018)



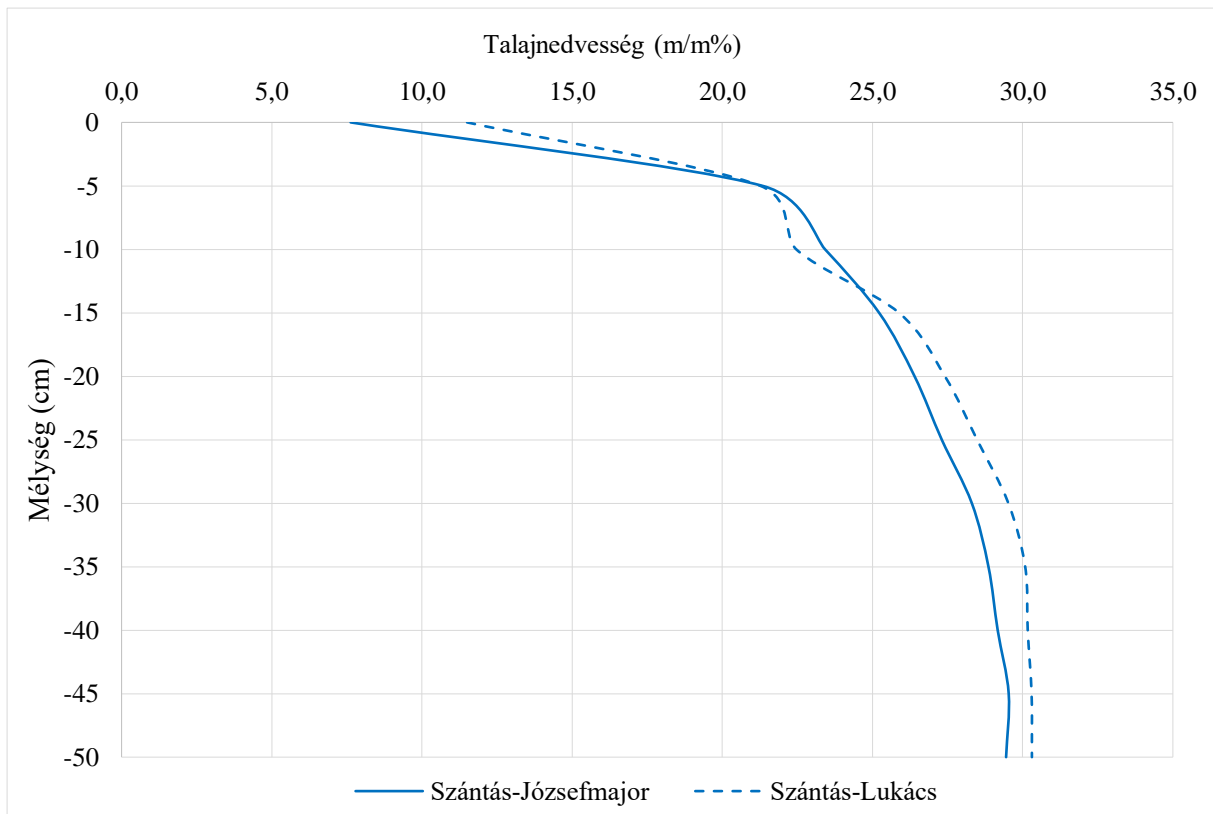
M3. 25. táblázat: A talajjellenállás ANOVA elemzések eredményei szántásban, két termőhelyen, három év együttesen

Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
-35 cm	Csoportok között	13,888	1	13,888	4,460	0,036
	Csoportokon belül	769,175	247	3,114		
	Összesen	783,063	248			
-40 cm	Csoportok között	13,848	1	13,848	4,935	0,027
	Csoportokon belül	693,104	247	2,806		
	Összesen	706,953	248			
-45 cm	Csoportok között	17,483	1	17,483	6,539	0,011
	Csoportokon belül	660,422	247	2,674		
	Összesen	677,906	248			
-50 cm	Csoportok között	14,809	1	14,809	5,355	0,021
	Csoportokon belül	683,064	247	2,765		
	Összesen	697,873	248			

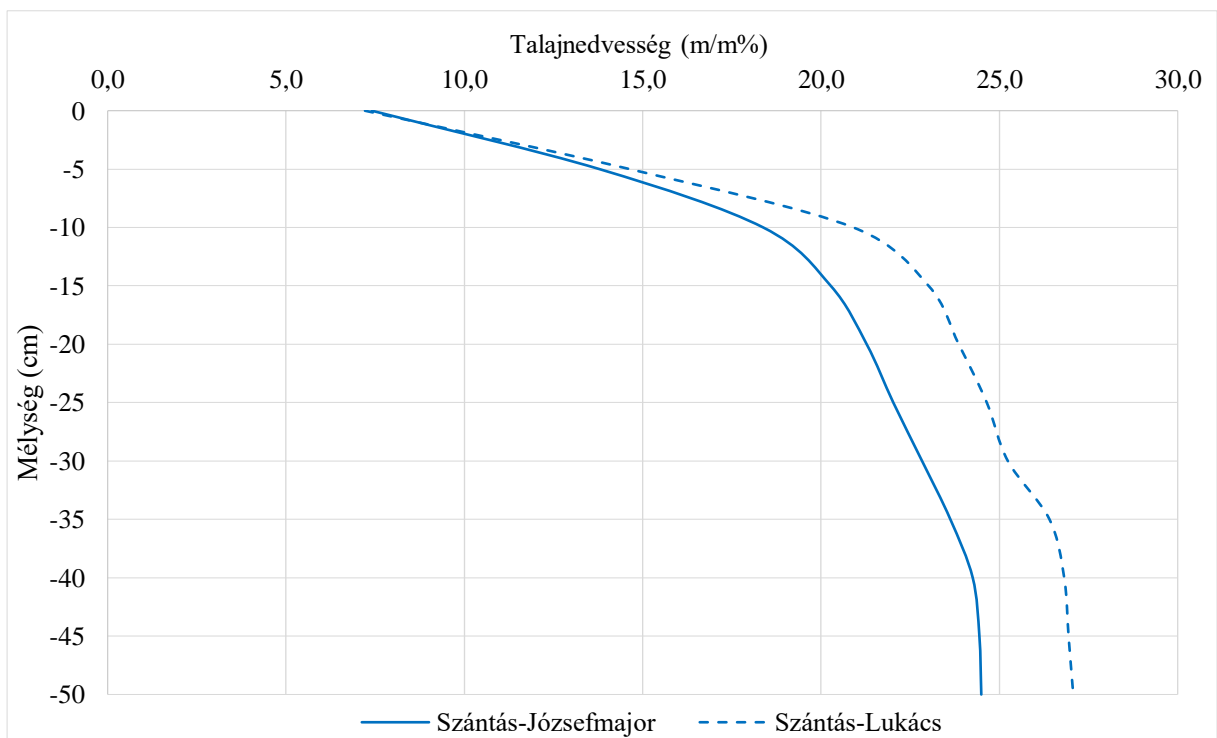
M3. 58. ábra: Szántott talajok nedvessége (m/m%), két termőhelyen (2016)



M3. 59. ábra: Szántott talajok nedvessége (m/m%), két termőhelyen (2017)



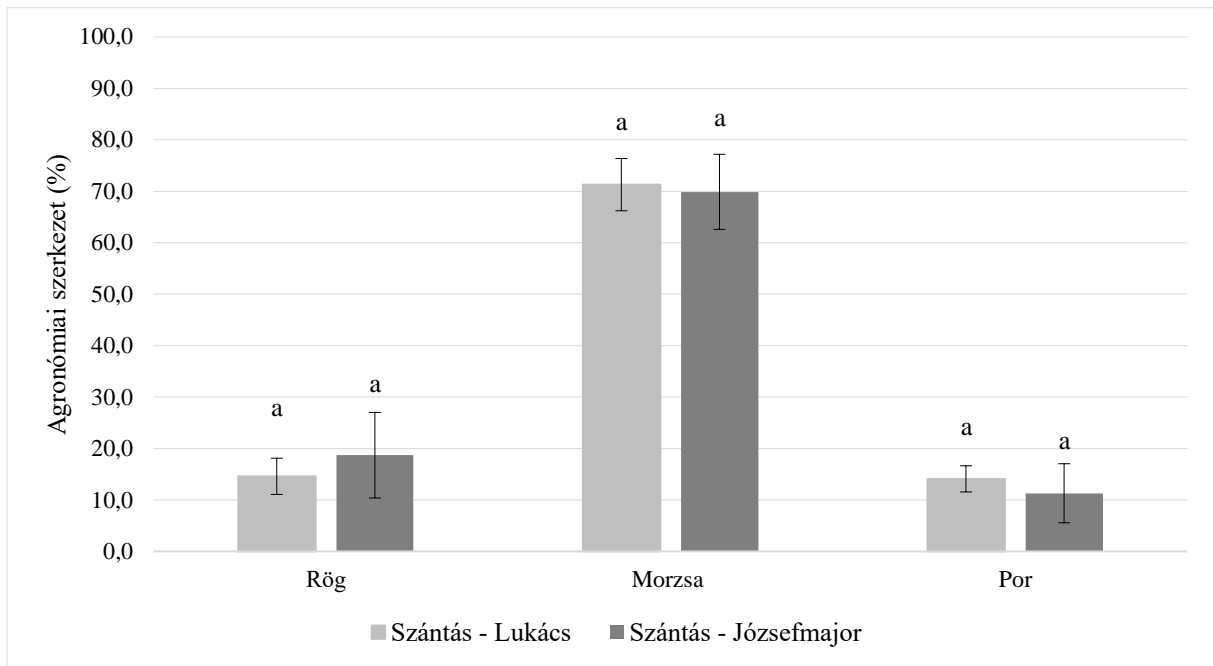
M3. 60. ábra: Szántott talajok nedvessége (m/m%), két termőhelyen (2018)



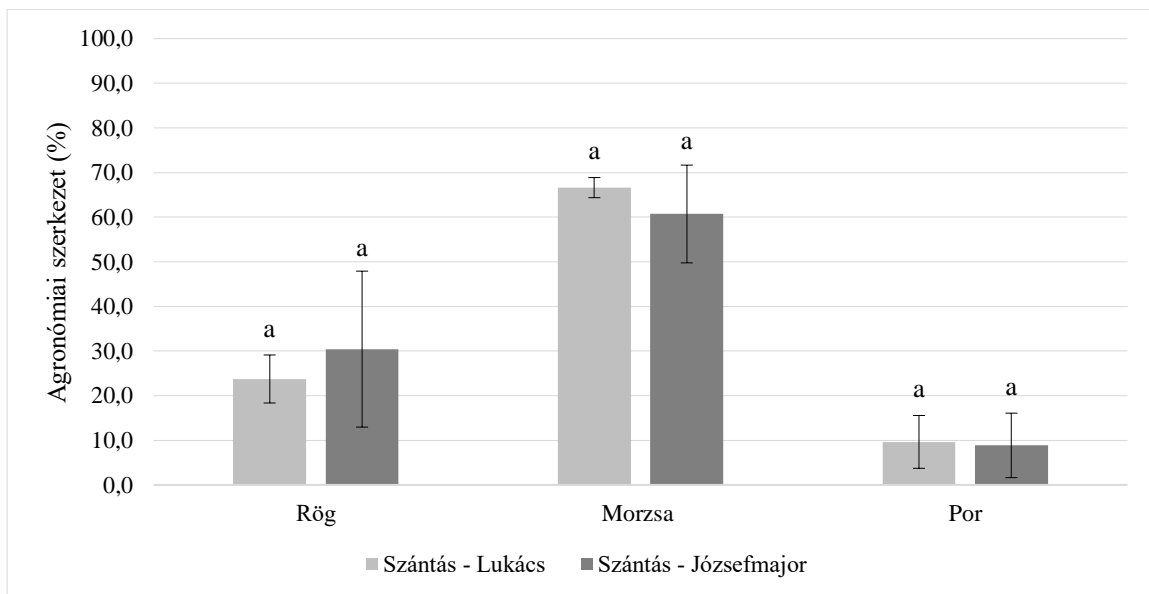
M3. 26. táblázat: A talajnedvességre vonatkozó ANOVA elemzések eredményei, két eltérő szántásban, a három év együttesen (Józsefmajor, Lukács)

Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
-5 cm	Csoportok között	320,988	1	320,988	6,465	0,012
	Csoportokon belül	13454,231	271	49,647		
	Összesen	13775,219	272			
-10 cm	Csoportok között	449,078	1	449,078	14,794	0,000
	Csoportokon belül	8226,419	271	30,356		
	Összesen	8675,497	272			
-15 cm	Csoportok között	480,763	1	480,763	29,589	0,000
	Csoportokon belül	4208,311	259	16,248		
	Összesen	4689,074	260			
-20 cm	Csoportok között	475,593	1	475,593	28,318	0,000
	Csoportokon belül	4148,303	247	16,795		
	Összesen	4623,895	248			
-25 cm	Csoportok között	554,494	1	554,494	31,234	0,000
	Csoportokon belül	4384,985	247	17,753		
	Összesen	4939,479	248			
-30 cm	Csoportok között	617,837	1	617,837	31,282	0,000
	Csoportokon belül	4878,419	247	19,751		
	Összesen	5496,256	248			
-35 cm	Csoportok között	1083,068	1	1083,068	47,836	0,000
	Csoportokon belül	5049,025	223	22,641		
	Összesen	6132,093	224			
-40 cm	Csoportok között	1614,165	1	1614,165	57,250	0,000
	Csoportokon belül	6287,479	223	28,195		
	Összesen	7901,644	224			
-45 cm	Csoportok között	1674,174	1	1674,174	56,450	0,000
	Csoportokon belül	6613,635	223	29,658		
	Összesen	8287,809	224			
-50 cm	Csoportok között	1903,868	1	1903,868	61,458	0,000
	Csoportokon belül	6908,154	223	30,978		
	Összesen	8812,022	224			

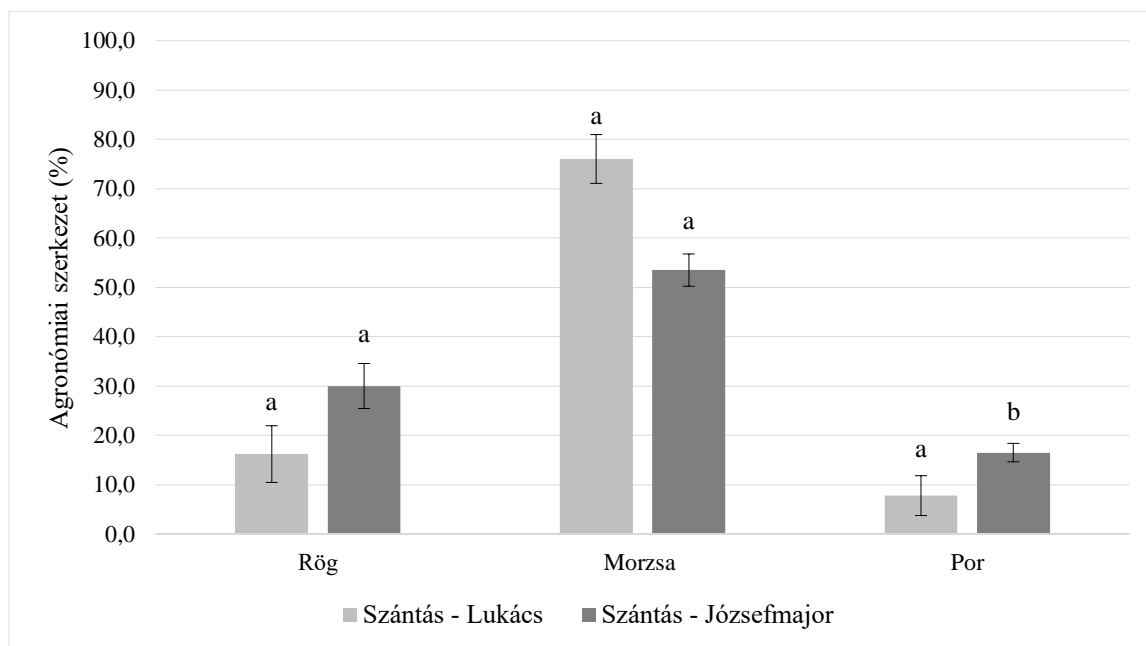
M3. 61. ábra: Szántott talajra jellemző agronómiai szerkezet átlagos arányai (%), két termőhelyen 2016-ban



M3. 62. ábra: Szántott talajra jellemző agronómiai szerkezet átlagos arányai (%), két termőhelyen 2017-ben



M3. 63. ábra: Szántott talajra jellemző agronómiai szerkezet átlagos arányai (%), két termőhelyen 2018-ban



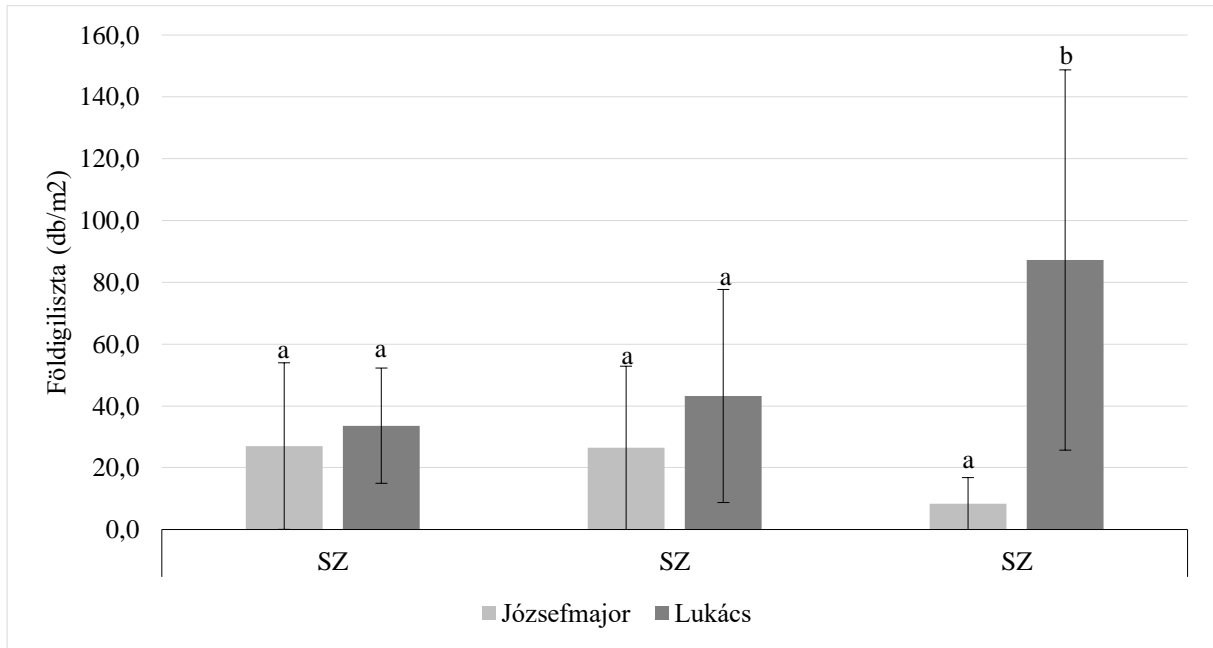
M3. 27. táblázat: Az agronómiai szerkezet ANOVA elemzések eredményei szántásban, két termőhelyen, három év együttesen

Tal. Mód			Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Szántás	Rög	Csoportok között	552,005	1	552,005	5,221	0,029
		Csoportokon belül	3488,994	33	105,727		
		Összesen	4040,999	34			
	Morzsa	Csoportok között	777,648	1	777,648	10,608	0,003
		Csoportokon belül	2419,058	33	73,305		
		Összesen	3196,706	34			

M3. 28. táblázat: Az agronómiai szerkezet ANOVA elemzések eredményei szántásban, két termőhelyen (2018)

Tal. Mód			Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Szántás	Rög	Csoportok között	519,382	1	519,382	19,804	0,002
		Csoportokon belül	236,040	9	26,227		
		Összesen	755,422	10			
	Morzsa	Csoportok között	1383,137	1	1383,137	82,238	0,000
		Csoportokon belül	151,368	9	16,819		
		Összesen	1534,505	10			
	Por	Csoportok között	207,377	1	207,377	22,544	0,001
		Csoportokon belül	82,788	9	9,199		
		Összesen	290,165	10			

M3. 64. ábra: A földigiliszta egyedszám megjelenése két termőhelyen 2016-ban, 2017-ben és 2018-ban



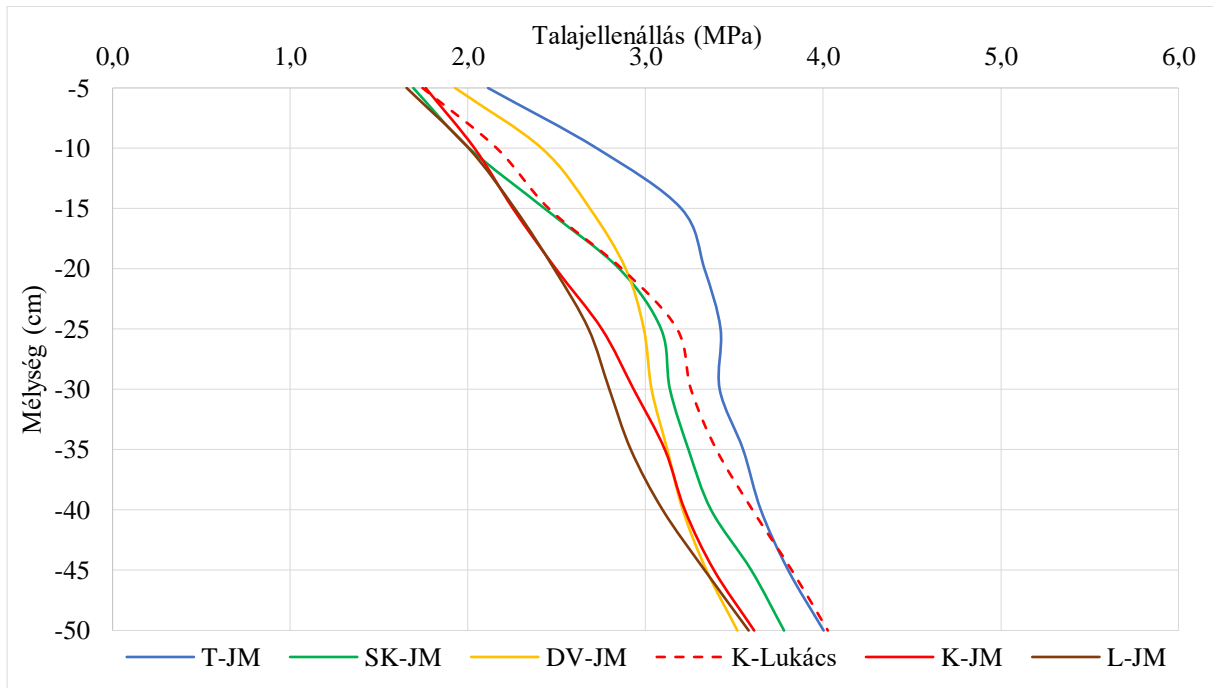
M3. 29. táblázat: A földigiliszta egyedszám ANOVA elemzések eredményei szántásban, két termőhelyen, három év együttesen

Tal. mód		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Szántás	Csoportok között	30306,306	1	30306,306	9,837	0,002
	Csoportokon belül	1361717,333	442	3080,808		
	Összesen	1392023,640	443			

M3. 30. táblázat: A földigiliszta egyedszám ANOVA elemzések eredményei szántásban, két termőhelyen (2018)

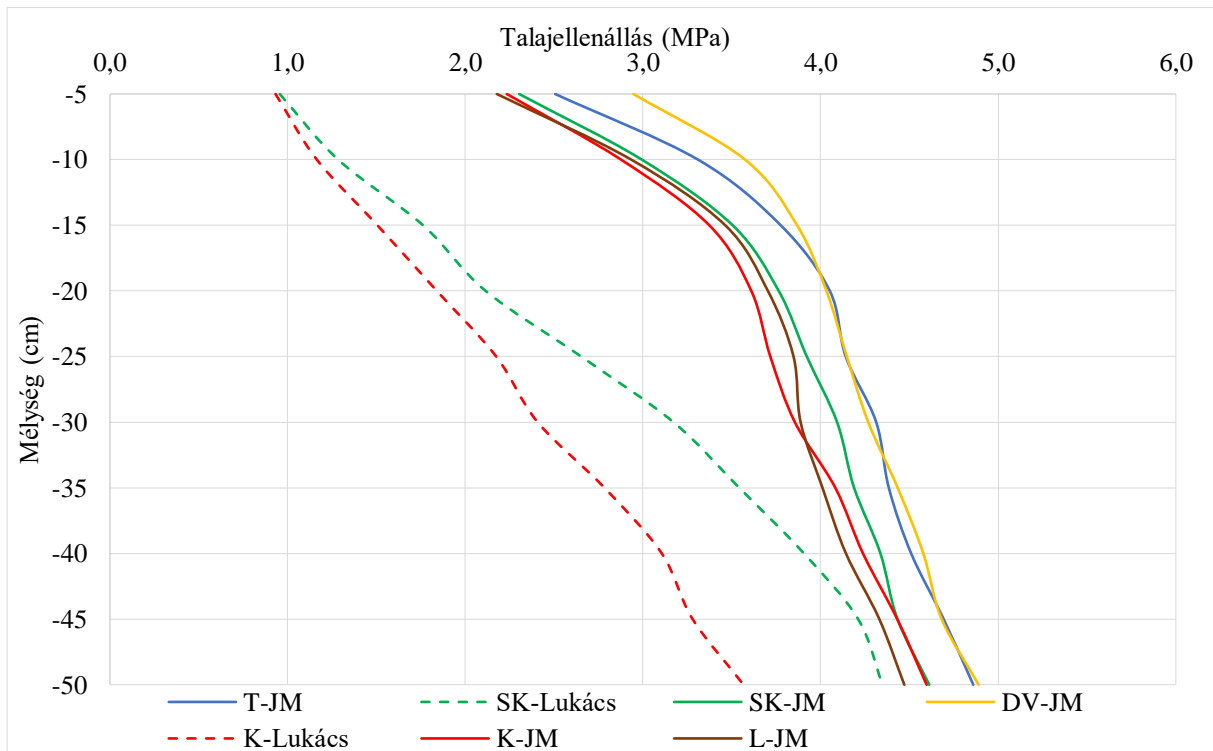
Tal. mód		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Szántás	Csoportok között	95964,315	1	95964,315	65,329	0,000
	Csoportokon belül	190963,200	130	1468,948		
	Összesen	286927,515	131			

M3. 65. ábra: Talajellenállás (MPa) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen, (2016)



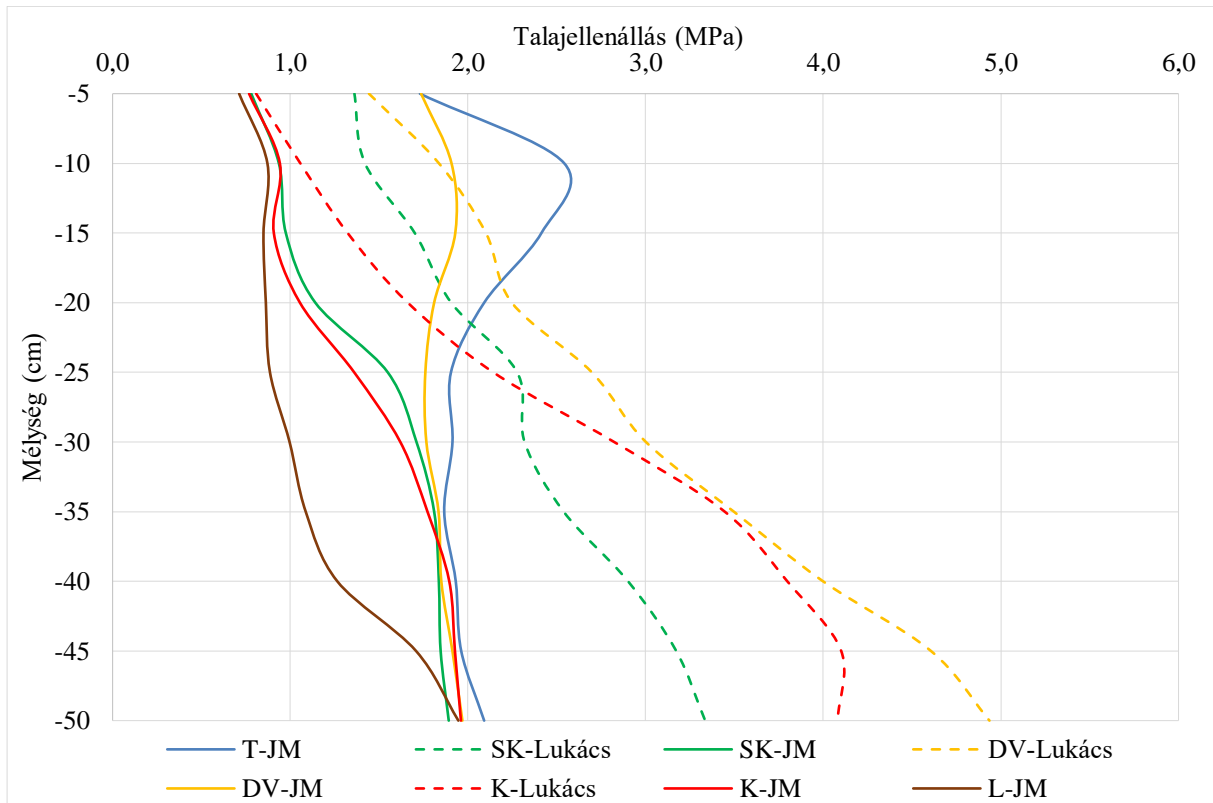
Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

M3. 66. ábra: Talajellenállás (MPa) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen, (2017)



Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

M3. 67. ábra: Talajellenállás (MPa) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen, (2018)



Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

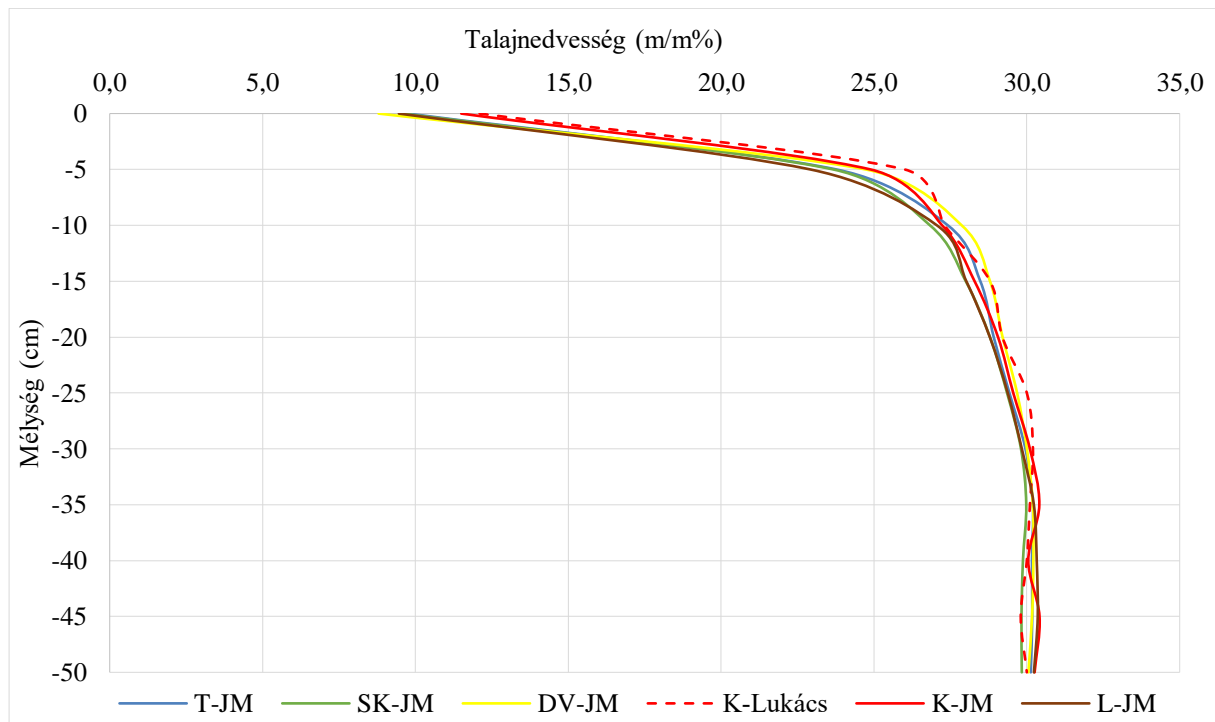
M3. 31. táblázat: A talajellenállás ANOVA elemzések eredményei, a sekély kultivátoros kezelés esetén, két termőhelyen

Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
-5 cm	Csoportok között	6,060	1	6,060	4,647	0,032
	Csoportokon belül	302,553	232	1,304		
	Összesen	308,613	233			
-10 cm	Csoportok között	12,381	1	12,381	5,495	0,020
	Csoportokon belül	522,767	232	2,253		
	Összesen	535,148	233			

M3. 32. táblázat: A talajellenállás ANOVA elemzések eredményei, a kultivátoros kezelés esetén, két termőhelyen

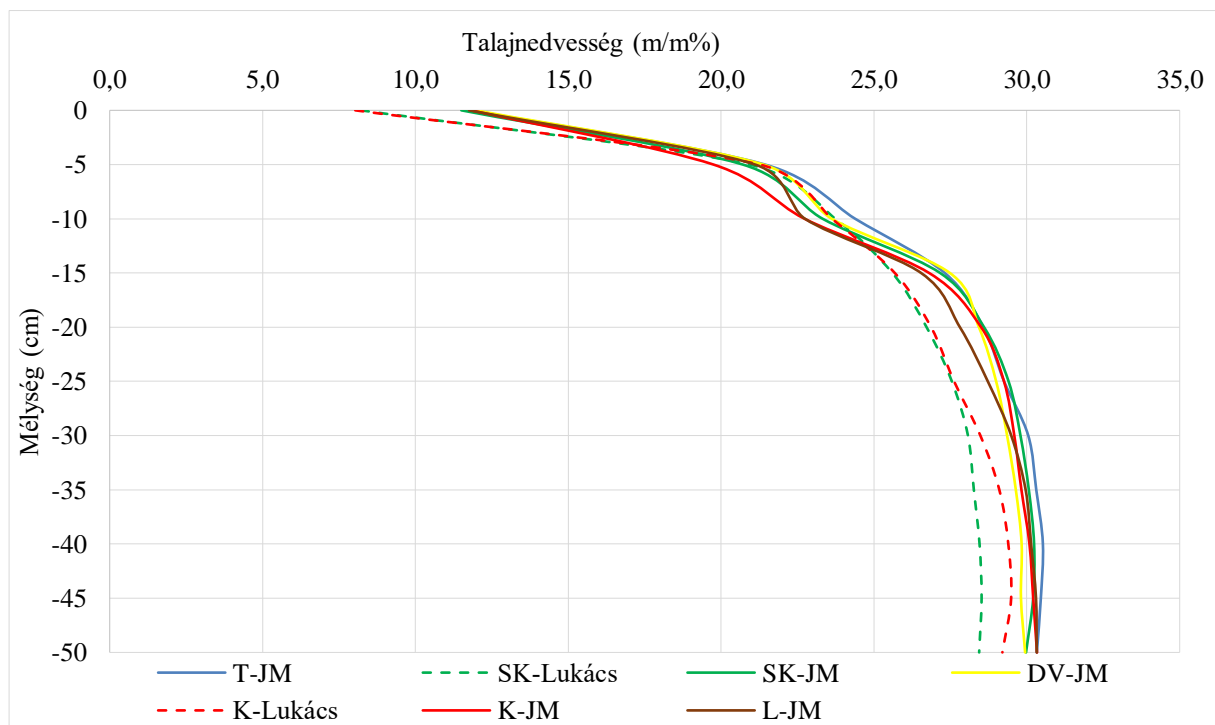
Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
-5 cm	Csoportok között	8,314	1	8,314	7,425	0,007
	Csoportokon belül	276,575	247	1,120		
	Összesen	284,889	248			
-10 cm	Csoportok között	11,154	1	11,154	5,248	0,023
	Csoportokon belül	525,010	247	2,126		
	Összesen	536,164	248			

M3. 68. ábra: Talajnedvesség (m/m%) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen, (2016)



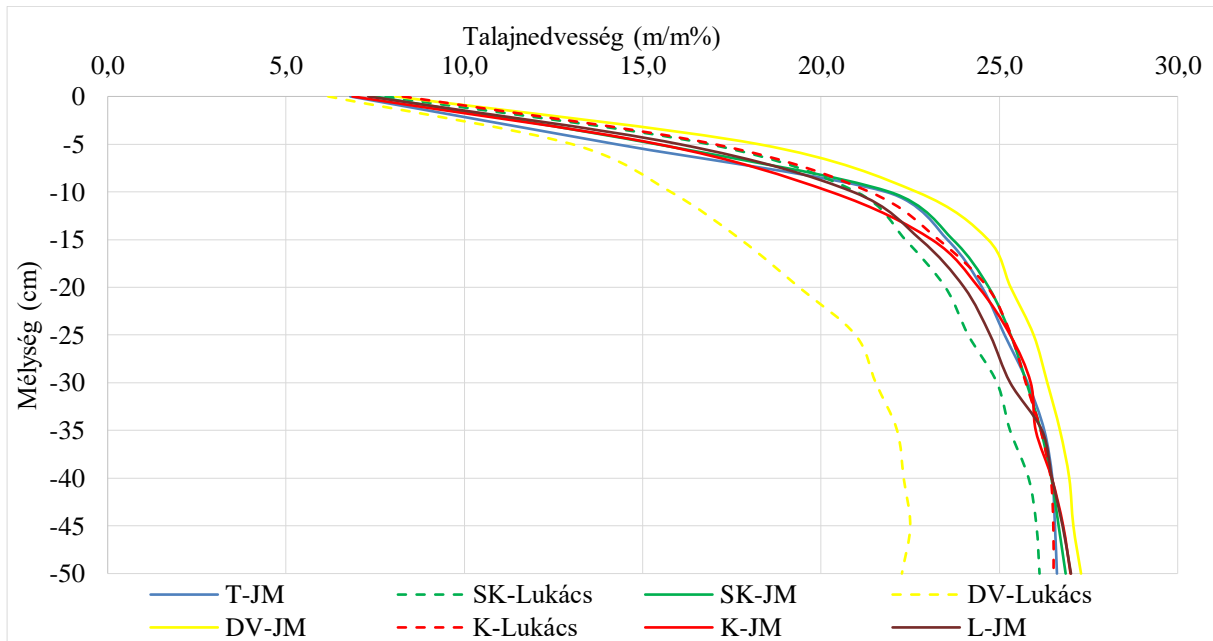
Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

M3. 69. ábra: Talajnedvesség (m/m%) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen, (2017)



Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

M3. 70. ábra: Talajnedvesség (m/m%) alakulása eltérően művelt talajokban, két termőhelyen, (2018)



Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

M3. 33. táblázat: A talajnedvesség ANOVA elemzések eredményei, a sekély kultivátoros kezelés esetén, két termőhelyen

Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
-15 cm	Csoportok között	117,615	1	117,615	6,834	0,010
	Csoportokon belül	4199,268	244	17,210		
	Összesen	4316,882	245			
-20 cm	Csoportok között	100,463	1	100,463	5,893	0,016
	Csoportokon belül	3955,364	232	17,049		
	Összesen	4055,826	233			
-25 cm	Csoportok között	91,045	1	91,045	5,026	0,026
	Csoportokon belül	4202,978	232	18,116		
	Összesen	4294,024	233			
-35 cm	Csoportok között	97,500	1	97,500	5,021	0,026
	Csoportokon belül	4038,704	208	19,417		
	Összesen	4136,204	209			

M3. 34. táblázat: A talajnedvesség ANOVA elemzések eredményei, a direktvetés kezelés esetén, két termőhelyen

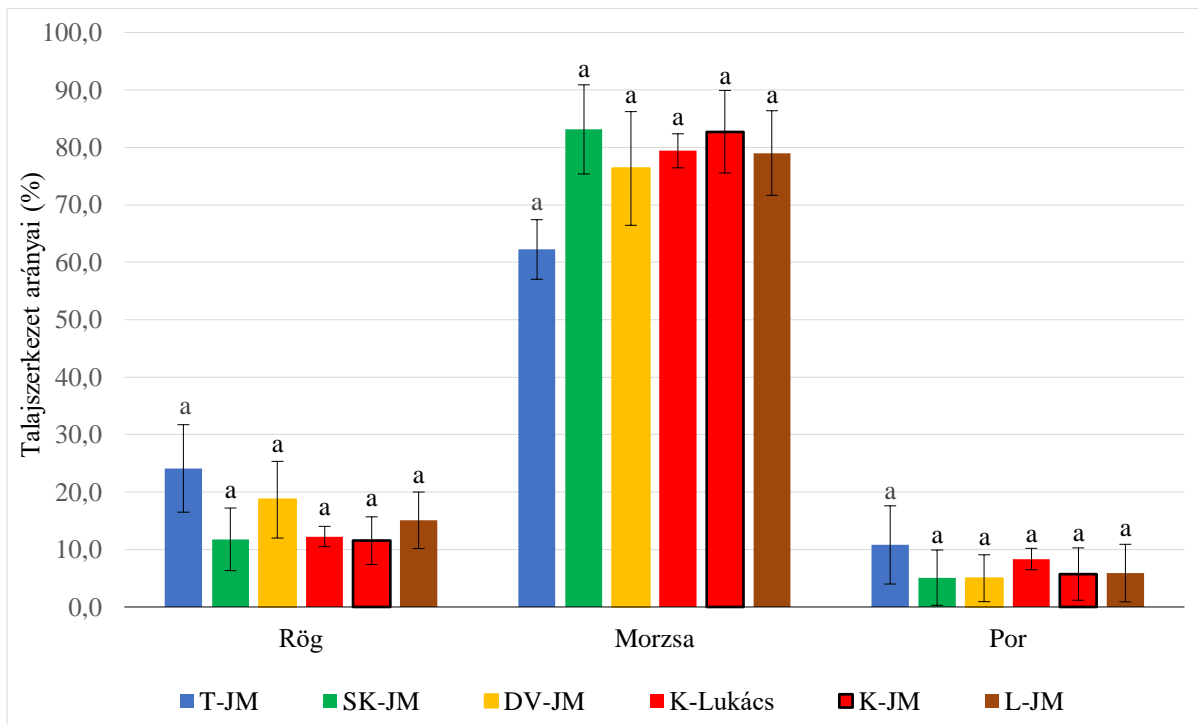
Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
-5 cm	Csoportok között	398,962	1	398,962	9,253	0,003
	Csoportokon belül	10002,784	232	43,115		
	Összesen	10401,746	233			
-10 cm	Csoportok között	455,891	1	455,891	14,094	0,000
	Csoportokon belül	7504,183	232	32,346		
	Összesen	7960,074	233			

-15 cm	Csoportok között	481,368	1	481,368	33,565	0,000
	Csoportokon belül	3155,113	220	14,341		
	Összesen	3636,481	221			
-20 cm	Csoportok között	376,649	1	376,649	25,913	0,000
	Csoportokon belül	3023,339	208	14,535		
	Összesen	3399,988	209			
-25 cm	Csoportok között	287,363	1	287,363	18,782	0,000
	Csoportokon belül	3182,305	208	15,300		
	Összesen	3469,668	209			
-30 cm	Csoportok között	270,330	1	270,330	17,490	0,000
	Csoportokon belül	3214,935	208	15,456		
	Összesen	3485,265	209			
-35 cm	Csoportok között	264,469	1	264,469	15,510	0,000
	Csoportokon belül	3137,576	184	17,052		
	Összesen	3402,046	185			
-40 cm	Csoportok között	261,387	1	261,387	15,424	0,000
	Csoportokon belül	3118,136	184	16,946		
	Összesen	3379,523	185			
-45 cm	Csoportok között	248,520	1	248,520	14,995	0,000
	Csoportokon belül	3049,499	184	16,573		
	Összesen	3298,019	185			
-50 cm	Csoportok között	271,305	1	271,305	16,331	0,000
	Csoportokon belül	3056,852	184	16,613		
	Összesen	3328,158	185			

M3. 35. táblázat: A talajnedvesség ANOVA elemzések eredményei, a kultivátoros kezelés esetén, két termőhelyen

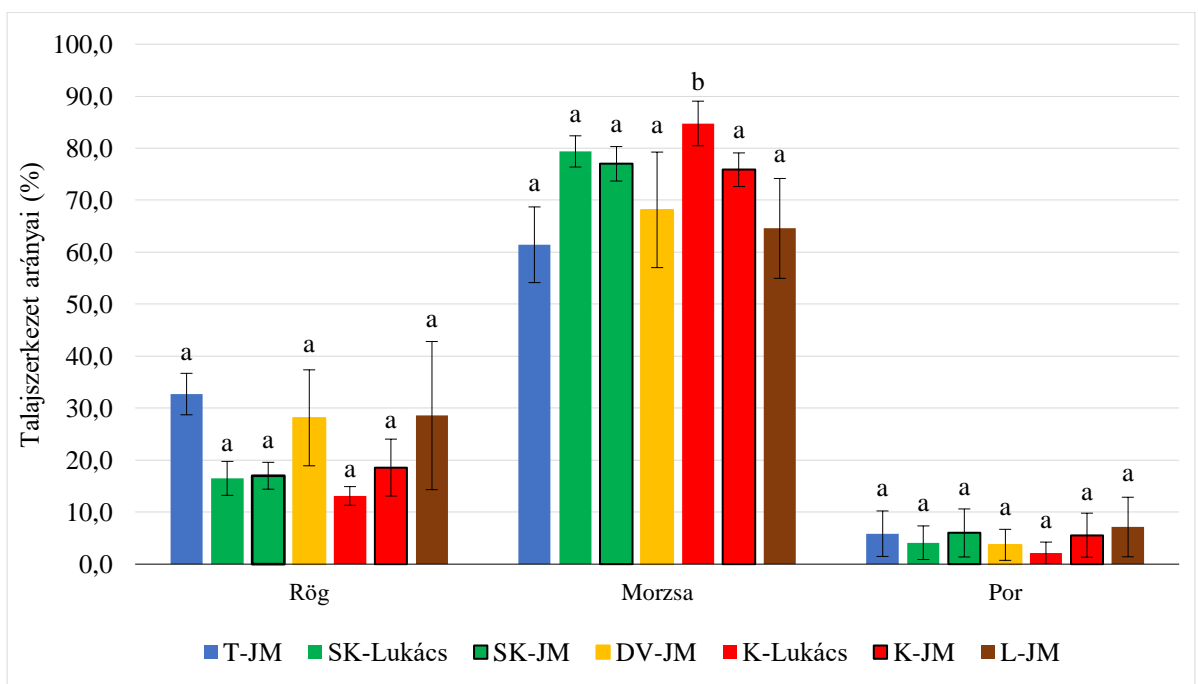
Mélység		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
-15 cm	Csoportok között	209,721	1	209,721	13,069	0,000
	Csoportokon belül	4156,252	259	16,047		
	Összesen	4365,972	260			
-20 cm	Csoportok között	226,051	1	226,051	13,553	0,000
	Csoportokon belül	4119,825	247	16,679		
	Összesen	4345,876	248			
-25 cm	Csoportok között	266,997	1	266,997	15,330	0,000
	Csoportokon belül	4301,803	247	17,416		
	Összesen	4568,800	248			
-35 cm	Csoportok között	466,704	1	466,704	22,018	0,000
	Csoportokon belül	4726,714	223	21,196		
	Összesen	5193,418	224			
-40 cm	Csoportok között	552,720	1	552,720	21,199	0,000
	Csoportokon belül	5814,162	223	26,072		
	Összesen	6366,882	224			
-45 cm	Csoportok között	753,869	1	753,869	30,387	0,000
	Csoportokon belül	5532,313	223	24,809		
	Összesen	6286,181	224			
-50 cm	Csoportok között	933,914	1	933,914	35,697	0,000
	Csoportokon belül	5834,217	223	26,162		
	Összesen	6768,130	224			

M3. 71. ábra: Az agronómiai szerkezet arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben (2016)



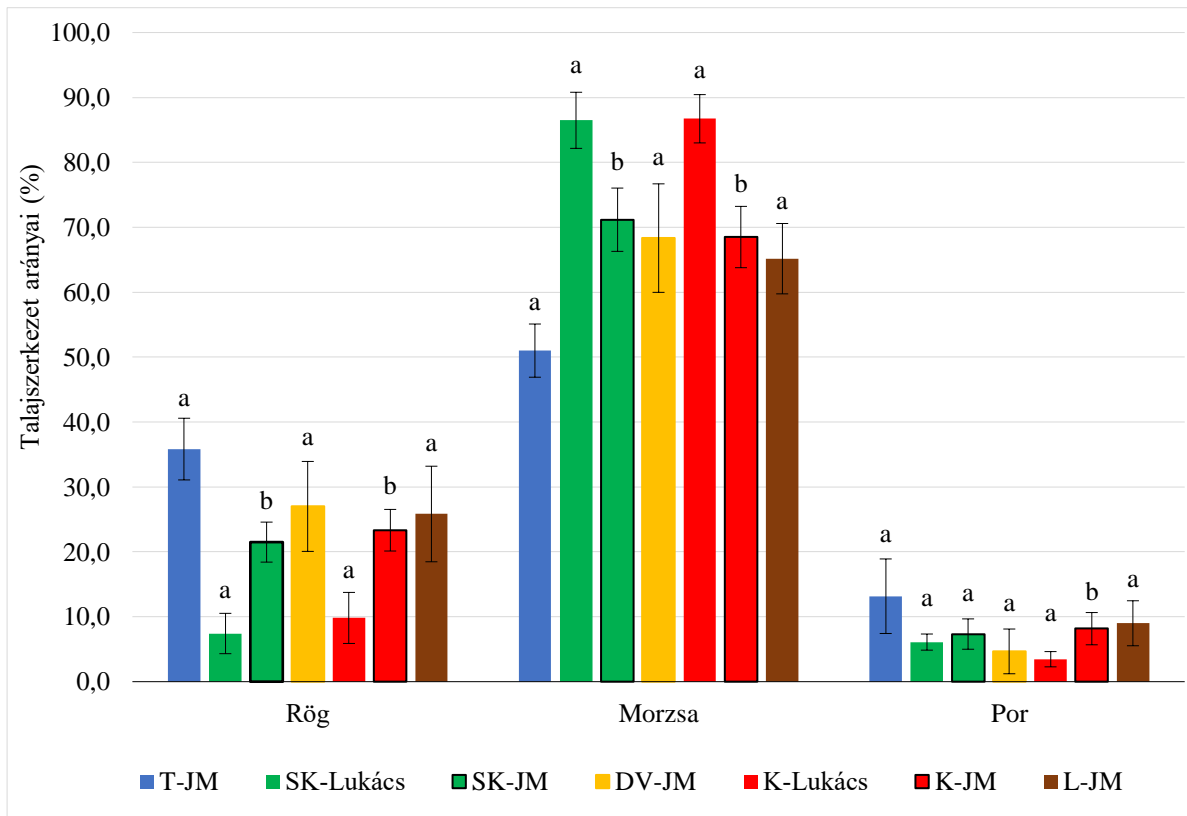
Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

M3. 72. ábra: Az agronómiai szerkezet arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben (2017)



Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

M3. 73. ábra: Az agronómiai szerkezet arányai a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben (2018)



Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos, JM: Józsefmajor

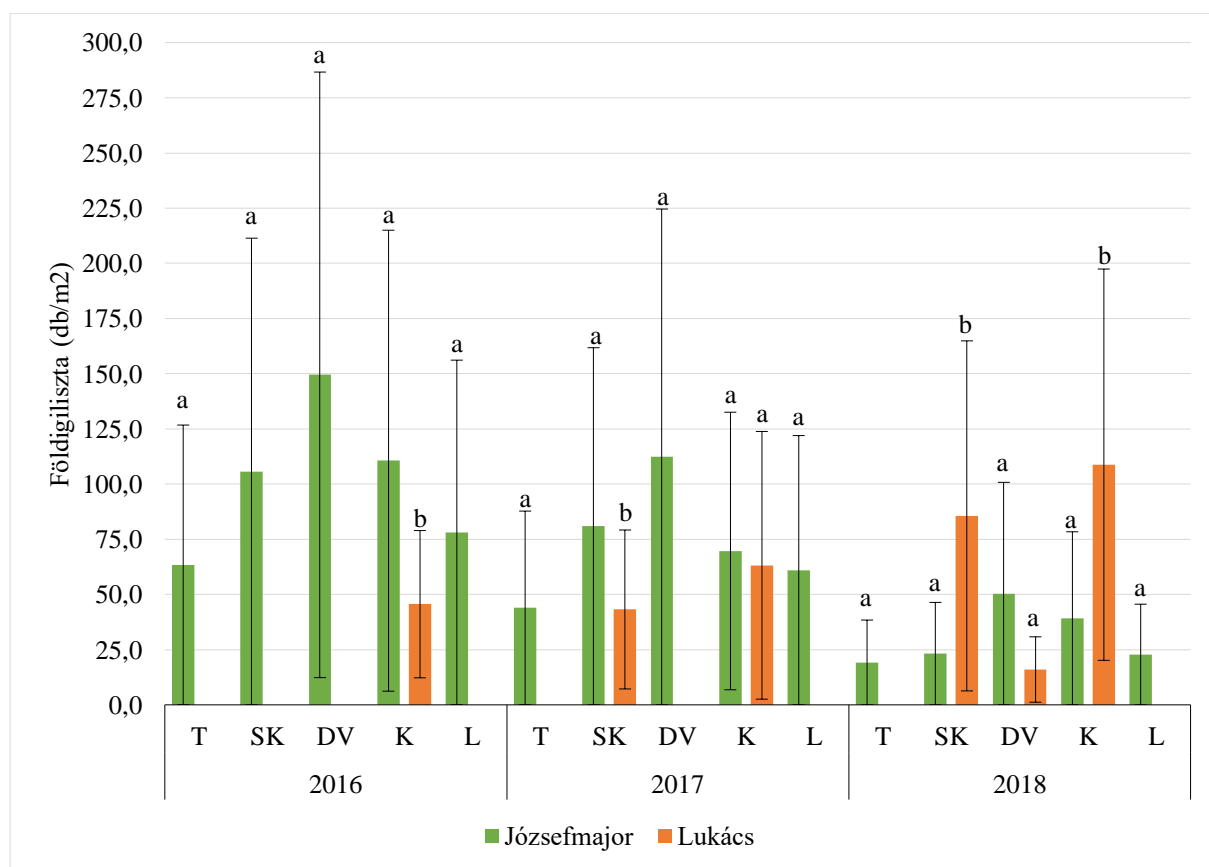
M3. 36. táblázat: Az agronómiai szerkezet ANOVA elemzések eredményei, a lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, két termőhelyen, a három év együttesen

Művelés			Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Sekély kultivátoros	Rög	Csoportok között	138,624	1	138,624	4,507	0,043
		Csoportokon belül	861,216	28	30,758		
		Összesen	999,840	29			
	Morzsa	Csoportok között	204,242	1	204,242	4,586	0,041
		Csoportokon belül	1246,991	28	44,535		
		Összesen	1451,232	29			
Kultivátoros	Rög	Csoportok között	289,006	1	289,006	10,464	0,003
		Csoportokon belül	911,441	33	27,619		
		Összesen	1200,447	34			
	Morzsa	Csoportok között	491,401	1	491,401	11,212	0,002
		Csoportokon belül	1446,379	33	43,830		
		Összesen	1937,780	34			

M3. 37. táblázat: Az agronómiai szerkezet ANOVA elemzések eredményei, a lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, két termőhelyen (2017, 2018)

Művelés	Év			Eltérésnégyzet- összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Kultivátoros	2017	Morzsa	Csoportok között	231,178	1	231,178	16,965	0,002
			Csoportokon belül	136,269	10	13,627		
			Összesen	367,447	11			
	2018	Rög	Csoportok között	498,028	1	498,028	39,588	0,000
			Csoportokon belül	113,221	9	12,580		
			Összesen	611,249	10			
		Morzsa	Csoportok között	905,368	1	905,368	48,848	0,000
			Csoportokon belül	166,808	9	18,534		
			Összesen	1072,176	10			
	Por	Csoportok között	60,416	1	60,416	14,952	0,004	
		Csoportokon belül	36,365	9	4,041			
		Összesen	96,782	10				
Sekély kultivátoros	2018	Rög	Csoportok között	540,672	1	540,672	56,524	0,000
			Csoportokon belül	86,088	9	9,565		
			Összesen	626,760	10			
		Morzsa	Csoportok között	639,540	1	639,540	29,746	0,000
			Csoportokon belül	193,501	9	21,500		
			Összesen	833,042	10			

M3. 74. ábra: A földigiliszta egyedszám, a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, a három év együttesen



Kezelések: T: tárcsás, SK: sekély kultivátoros, DV: direktvetés, K: kultivátoros, L: lazításos,

M3. 38. táblázat: A földigiliszta egyedszám ANOVA elemzések eredményei, a lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, két termőhelyen, a három év együttesen

Tal. Mód		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Direktvetés	Csoportok között	145659,646	1	145659,646	5,067	0,025
	Csoportokon belül	11210197,333	390	28744,096		
	Összesen	11355856,980	391			
Kultivátoros	Csoportok között	59283,373	1	59283,373	4,680	0,031
	Csoportokon belül	5599428,267	442	12668,390		
	Összesen	5658711,640	443			

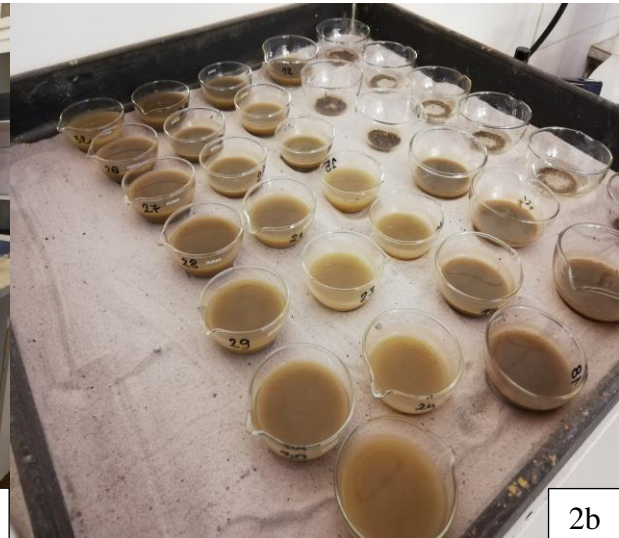
M3. 39. Táblázat: A földigiliszta egyedszámra vonatkozó ANOVA elemzések eredményei, a lazító-porhanyító-mulcshagyó művelésekben, két termőhelyen (2016, 2017, 2018)

Tal. Mód	Év		Eltérésnégyzet-összeg	szf	Variancia	F	p-érték
Sekély kultivátoros	2017	Csoportok között	91937,440	1	91937,440	6,828	0,010
		Csoportokon belül	2181398,756	162	13465,424		
		Összesen	2273336,195	163			
	2018	Csoportok között	46696,395	1	46696,395	13,835	0,000
		Csoportokon belül	438778,514	130	3375,219		
		Összesen	485474,909	131			
Kultivátoros	2016	Csoportok között	218529,903	1	218529,903	11,207	0,001
		Csoportokon belül	2846860,800	146	19499,047		
		Összesen	3065390,703	147			
	2018	Csoportok között	47308,800	1	47308,800	7,195	0,008
		Csoportokon belül	854835,200	130	6575,655		
		Összesen	902144,000	131			

8.4 M4. A kísérletek bemutató fényképek



1. kép: Direktvetés Lukácson (saját forrás, 2018)



2a és 2b kép: A lukácsi talajának a mechanikai összetétele meghatározása (SZIE, Talajtani laboratórium, saját forrás, 2019)



3. kép: Szántott talajon teljesen kitett (takaratlan) felszín (Grósz János felvétele)



4. kép: Teljesen takart felszín (Grósz János felvétele, 2019)



5. kép: Földigiliszta számlálás (saját forrás: 2018)

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A klíma-szenzitív és a klíma-védő művelés megfelelése különböző talajokon

című

Doktori (PhD) értekezésem elkészítéséhez,
a szakmai késztetésért és támogatásért, továbbá kísérletezés lehetőségeiért és segítségért

köszönettel tartozom témavezetőmnek

Dr. Birkás Márta
egyetemi tanárnak,

valamint a statisztikai módszertanban nyújtott segítségéért

Dr. Vinogradov Szergej
egyetemi docensnek.

Köszönöm a támogatást és segítséget

a SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Növénytermesztéstudományi Intézete jelenlegi és korábbi munkatársainak, különös tekintettel
Kende Zoltánnak és Pósa Barnabásnak;

a lukácsi talajművelési kísérlet színvonalas kivitelezéséért
a Katančič családi gazdaságnak, kiemelten
Zlatko Katančičnak

a GAK Nonprofit Közhasznú Kft.
Hatvan-Józsefmajori Kísérleti- és Tangazdaságának korábbi és jelenlegi munkatársainak
Koreny Gábornak, Seprenyi Évának, Sasvári Gábornak és Csordás Györgynek.

Köszönettel tartozom a horvátországi Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársának
Dr. Višnjica Vučetićnek a nyújtott segítségért.

Köszönetet mondok
a Zágrábi Egyetem Agronómiai Kar Általános Agronómiai Tanszék munkatársainak,
kiemelve **Prof. Dr. Ivica Kisić** és **Dr. Igor Bogunović** segítségét
a kutatómunka iránti érdeklődés felkeltésében

Külön köszönettel tartozom **Dr. Simon Barbarának**
a sok segítségéért, támogatásáért és biztatásáért.

Megkülönböztetett köszönettel tartozom
édesanyámnak, néhai édesapámnak,

a **Bekő családnak**, különösen **Bekő Dórának**,
akik végig mellettem voltak és biztattak a disszertáció elkészítése során,

továbbá kedves barátaimnak,
akik ösztönzése nagyon sokat jelentett nekem az elmúlt években.