

Szent István Egyetem

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

Doktori (PhD) értekezés tézisei

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

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A Világbank adatai szerint a Föld népessége fokozatosan növekszik (**Világbank, 2018**), ezáltal 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, és a csapadékeloszlás egyenetlensége (**Pant, 2009**). **Bogunović et al. (2016)** kiemelték, hogy az európai viszonylatban 33 millió hektár szántóterület erősen degradált.

A talajművelés alapvető célkitűzései az 1970-es évek óta háromszor változtak. Előbb a termés maximalizálása volt a cél, amelyet a termesztési technológia adott időszakra vonatkozó tökéletesítésével értek el. A következő időszakban, az 1970 és 2000. évek között, a talajminőség javítása vált elsődleges céllá, majd 2000-es évek eleje óta a talajvédelem klímakár enyhítési feladatokkal egészült ki (**Birkás, 2015_a**).

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

A talajművelés előrehaladását több tényező is lassította pl. háborús idők, a gépesítés alacsony színvonala, a szaktudás és az alkalmazkodás hiánya. Magyarországon a kémélő művelés – talajnedvességhez, talajállapothoz igazodó, észszerűen csökkentett menetszámú eljárások – alkalmazásának igénye az utóbbi 15 évben került előtérbe (**Birkás, 2015_a**) – ugyanakkor Horvátországban még mindig a hagyományos, klímakár-csökkentésre alkalmatlan művelési technológiák élveznek elsőbbséget (**Jug et al., 2005**). 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.

Természeti és talajadottságai alapján a mezőgazdaság mindkét országban nagy szerepet játszik. A talajtípusok szerint, Horvátországban 36 talajtípus fordul elő. Az összes terület 12,1%-a Luvisol, 9,87% a Pseudogley és 9,62% a Gley amphigley teszi ki (**Husnjak et al.,**

2011). Magyarországon **Micheli et al., (2014)** szerint a talajok több mint 70%-án a Luvisol, Chernozem és Vertisol típusok uralkodnak.

Mivel a talaj állapota befolyásolja az időjárási tényezők talajra gyakorolt hatásait, ezért a fentebb leírt okokkal is összefüggésben a hagyományos és az alkalmazkodó művelési rendszereket összehasonlító vizsgálatok elvégzését tartottam 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 kitérttség alapján,
- a szántásos és a mulcshagyó művelések megfelelésének értékelése szélsőséges években (a károkozás csökkentése és a termésbiztonság megtartása érdekében)
- klímakár-csökkentésre alkalmas talajművelési rendszerek értékelése, rangsorolása megfelelésük alapján.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kutatómunka körülményei

A kísérleti munkát két különböző termőhelyen vizsgáltuk, három tenyészidőben, 2015 és 2018 között. Az első, üzemi jellegű talajművelési kísérletet Lukács (horvátul: Lukač) határában (Verőce-Drávamente megye) – Horvátország állítottuk be. A másik vizsgálati terület a Szent István Egyetem, GAK Kft., Józsefmajori Kísérleti és Tangazdaságában (Heves megye – Hatvan) 2002 óta folyó tartamkísérletében volt.

A lukácsi terület síkvidéknek osztályozható, amely az éghajlati jellemzők homogenitását határozta meg. A térség éghajlata kontinentális. Az évi középhőmérséklet 10 °C és $10,7\text{ °C}$ között van, az évi átlagos csapadék pedig az 1965-1995 közötti időszakra $815,5\text{ mm}$. Ez idő alatt a legalacsonyabb mért átlag csapadék $552,6\text{ mm}$ (1971) volt, míg a legmagasabb $1114,8\text{ mm}$ (1972). Geológiai szempontból a talaj főként löszből, eolikus homokból és szerves-mocsaras üledékekből (mocsaras agyag, homok, tőzeg) tevődik össze. A kísérleti terület talaja Luvic Stagnosol (Siltic), amelynek textúrája iszapos vályog, kedvezőtlen vízforgalommal. A 3.1. fejezetben bemutatott csapadék adatokat (Virovitica állomás) a horvátországi országos meteorológiai szolgálattól kaptam.

A józsefmajori kísérleti terület a Cserhátalján, az Alföld és az Északi-középhegység peremén helyezkedik el, síknak minősül. Az éves átlagos csapadék az 1961-1990 közötti időszakra $520\text{-}570\text{ mm}$, amelyből 395 mm esik a vegetációs időszakban (április-szeptember). Az éves átlaghőmérséklet $9,5\text{-}10,3\text{ °C}$, amely a tenyészidőszak alatt $16,3\text{-}17,5\text{ °C}$ között van (Dövényi, 2010). A Világ Talaj Referenciabázis (IUSS Working Group WRB, 2015) szerint a kísérleti terület talaja Endocalcic Chernozems (Loamic) amelynek textúrája vályog, kedvező vízforgalommal.

2.2. A kísérletek bemutatása

A lukácsi talajművelési kísérlet helyszínét és színvonalas kivitelezésének lehetőségét Katancsics (horvátul: Katančić) családi gazdaságnak köszönhetem. Háromgenerációs gazdacsalád, 1959 óta gazdálkodnak 210 ha -on közel 150 táblán. A talajok többnyire glejes erdő és réti jellegűek, középkötöttek és kötöttek, vízkár által veszélyeztetettek.

A kísérleti parcella hossza 375 m , szélessége 125 m volt. A kísérletben első évben két művelési kezelést, míg második és harmadik évben három-három művelési kezelést vizsgáltunk, véletlenszerű mintavételi pontokon. A hagyományos szántás, a sekély- és a mély kultivátoros, ugyanazon a mélységen voltak beállítva, mint a józsefmajori kísérletben. Utolsó

kutatási évben, Väderstad Tempo F vetőgéppel sikerült művelés nélkül a búza tarlóba elvetni a szóját.

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

1. táblázat: A lukácsi talajművelési kezelések, a művelési mélység, a munkaszélesség és a felhasznált művelőeszközök

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 józsefmajori talajművelési tartamkísérletet a Földműveléstani Tanszék munkatársai, Birkás Márta professzor vezetésével 2002-ben állították be, a talajminőség és a humusztartalom javítása, valamint az időjárás károk hatásainak tanulmányozása céljából. A kísérletben hat különböző művelési kezelést alkalmazunk négy ismétlésben, véletlen elrendezésben. A parcellák szélessége 13, hossza 168 m (2180 m²). A parcellák száma 24, a teljes terület a forgókkal 5,8 hektár. A kezeléseket, művelési mélységeket, munkaszélességet és felhasznált talajművelő eszközöket a **2. táblázat** mutatja. A termesztett növények – kukorica, őszi zab, szója – azonosak voltak a lukácsival.

2. táblázat: A józsefmajori talajművelési kezelések, a művelési mélység, a munkaszélesség és a felhasznált művelőeszközök

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

2.3. Talajállapot vizsgálatok

A talajállapot vizsgálatokat három tenyészidőn keresztül, kora tavasztól késő ősziig végeztük. A talaj nedvességtartalmát és a talaj penetrációs ellenállását egyidőben mértük, az összes parcellán véletlenszerűen, három ismétlésben, egymástól 5-10 méter távolságban. A méréseket 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 (m/m%) PT-I típusú mérőműszerrel mértük (Kapacitív Kft., Budapest), 0-60 cm mélységig, 5 cm-enként.

A talaj lazult-réteg mélységét a talaj penetrációs ellenállásának mérésével ellenőriztük. A mérés eszköze a 2015-2016 és 2016-2017 években a Mobitech Bt. által gyártott Szarvasi rugós erőmérő (**Daróczy, 2005**) volt, az utolsó kutatási évben (2017-2018) pedig Eijkelkamp Penetrologger. Mindkét műszernél a méréshez 60° kúpszögű, 1 cm² keresztmetszetű kúp szolgál, amelyet 2 cm/s sebességgel kell a talajba nyomni.

A talaj agronómiai szerkezetének vizsgálatát **Stefanovits (1992)** besorolása alapján végeztük. A mintavételt a felső 10 cm-ből történt, mivel ez a réteg van elsősorban az éghajlati károknak kitéve. A talajmintákat légszárazra szárítottuk, majd agronómiai szitasoron óvatosan, manuálisan szitáltuk (60 rázás/perc).

A földgiliszta populáció vizsgálatát az összes parcellán négy ismétlésben végeztük. Egy ásonyom 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 a mintákban számlált gilisztaakat egyedszám/m²-ben rögzítettük.

A talajfelszín borítottságát digitális módon Adobe Photoshop CC 2019 programmal végeztük. A folyamat két részből állt. Először a növényi maradványokat megjelöltem (szín-mintavételezés) majd a kijelölés pontosításához a szintartomány parancsot egymást követően többször alkalmaztuk, a kijelölendő szintartományhoz a „tűrés” beállítására is szükség volt. A „tűrés” beállítás a kijelölt szintartomány szélességét határozza meg (szabályozásával növelheti vagy csökkentheti a kijelölt képpontok számát). A választott tartományt fehér színnel jelöli, ezért a képpontok mennyiségét hisztogramon olvastuk le, ezáltal a fehér tartomány értékét kellett elemezni. Második részben a kijelölt növényi maradványoknak a képpont mennyiségét elosztottuk a teljes képnek a képpont mennyiségével és megszoroztuk százzal. A talajfelszín borítottságát százalékos arányban mutatom be. Minden kezelés vizsgálatát négy ismétlésben

végeztem. A felvételeket a talajművelés, valamint a vetés után végeztem. A fotók 2272×4608 képpont felbontásúak és minimum 6 m² területet fednek.

2.4. Statisztikai elemzés

A talajművelési rendszerek, 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. Az adatok normalitását *Kolmogorov-Smirnov* próbával, a varianciák homogenitását pedig Levene-tesztel 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.

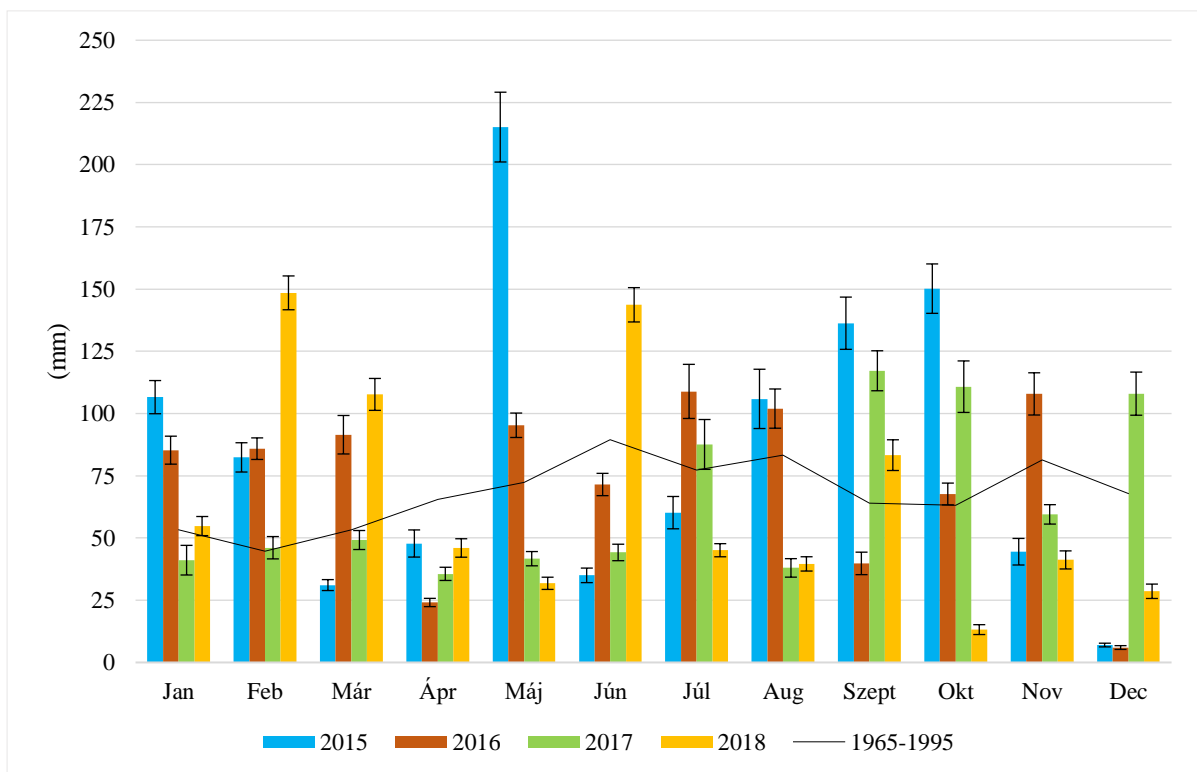
3. EREDMÉNYEK

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 változékonyak mondható. Emiatt víztöbblettel és a vízhiánnyal is számolni kell. Azokon a termőhelyeken, ahol nem lehet az öntözést megvalósítani, a talaj- és nedvesség kímélő művelési nyújthat a segítséget a növénytermesztés biztonságának fenntartásához.

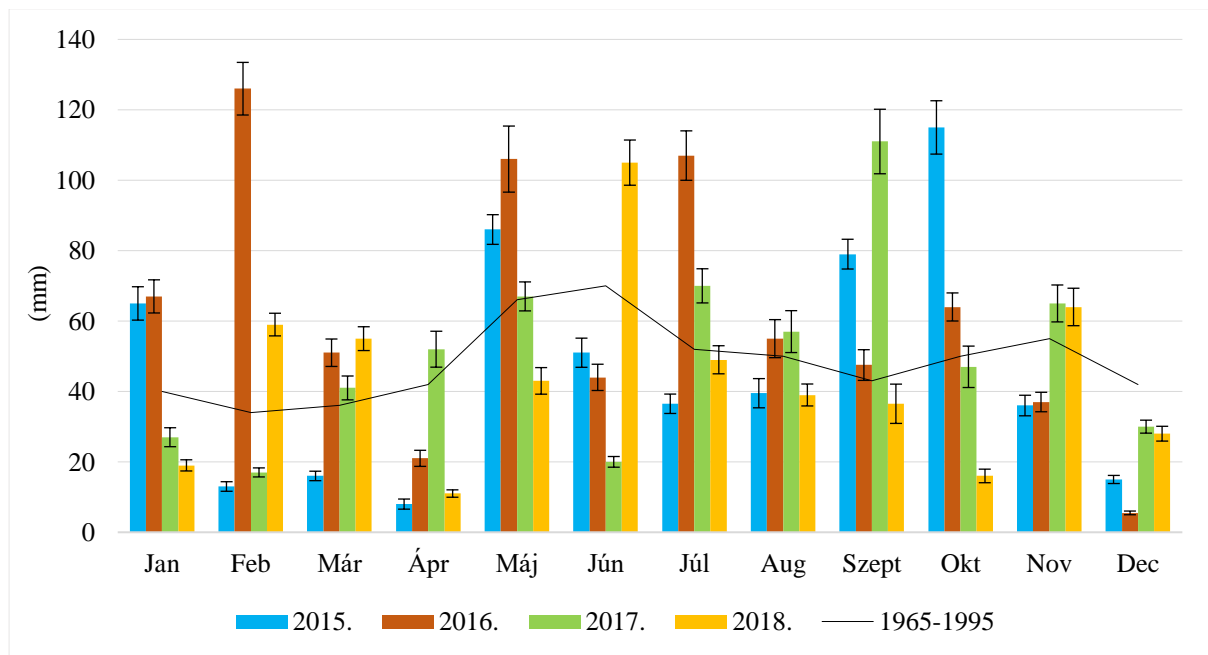
3.1. Csapadékviszonyok a vizsgálatok éveiben

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 (1. ábra). A havi csapadék mennyisége erősen ingadozott, ezért az eredmények értékelésekor az évhatást is figyelembe vettem.



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

A józsefmajori csapadék adatokat a 2. 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.



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

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.

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

Összevethetőség céljából a talajellenállás és a talajnedvesség mérési adatait azonos mélységig (0-50 cm) ábrázoltam.

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 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. 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 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 rétegben tapasztaltunk statisztikailag igazolható különbséget ($p < 0,05$). 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. 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%.

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 kultivátorral művelt talajban a 0-5 cm rétegben mértem a legalacsonyabb talajellenállás értéket (0,81 MPa) és ennél a direktvetésben tapasztaltam nagyobb értéket (1,44 MPa). 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 tapasztaltunk 20 cm alatt (25 cm-nél 2,98 MPa). A nagyobb érték esetenként a talajművelésnek és az alkalmazott erőgép által indukált tömörítésnek tulajdoníthatók.

A kukorica évében (2016) összesen nyolc mérés közül az elsőt 2015 októberében végeztem. A statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,05$; $p < 0,01$) minden rétegben kimutatható. 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 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 lazítási kezelés bizonyult a legjobbnak, a tömörebb állapotot a 40-45 cm mélységben észleltük.

A kukorica aratása után esős őszenben, a megfelelő talajművelés elvégzése és az őszi zab vetése is nehézkesnek bizonyult. A görbék hasonló lefutásúak, valamint a statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,01$) csak két rétegben (0-5 és 5-10 cm) volt kimutatható. 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 2017 éven belül a kezelések állapota jelentősen változott. 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 júniusi és a júliusi mérések során minden kezelésben a 15-20 cm és a mélyebben rétegben kaptuk a legmagasabb mérhető értékeket (6,72 MPa).

A szója idényében (2018) öt mérést végeztünk, amelyben a nyári mérések (június és július) nem szerepelnek a mérhetetlen talajállapot miatt. Statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,01$; $p < 0,05$) a 45-50 cm réteget kivéve minden rétegben kimutatható volt. 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. Minden művelés első mérési adatainak görbéje reálisan ábrázolja a művelési mélységeket. Szántott talajban a talajjellenállás növekedését a 25-30 cm rétegben tapasztaltunk, míg a lazítottban a 40-45 cm rétegben. 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 talajjellenállás mérésekkel jól nyomon követhető volt. Ezen felül minden alkalommal ásópróbával is ellenőriztük a talaj állapotát a szükséges mélységig.

3.3. A talajnedvesség alakulása szélsőséges csapadékvizonyok esetén

A lukácsi kísérletben a 2016. évben két féle művelés – szántásos és kultivátoros – összehasonlítására volt lehetőségünk.

2016-ban a kultivátorral művelt talajban minden mélységben magasabb nedvességtartalom alakult. Statisztikailag igazolható különbséget a kultivátoros kezelésben a következő rétegekben tapasztaltunk, 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. 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.

Az őszi zab idényében (2017), a szántás és a kultivátoros művelés mellett sekély kultivátoros művelést vizsgáltuk. 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. Az őszi méréshez képest a tavasszal (március, április és május), a téli átnedvesedés okán kedvezőbben alakult a talaj nedvességtartalma. Szántott talajban áprilisban a 30-35 cm rétegben volt legmagasabb a nedvesség (31,9 m/m%). A kultivátoros kezelésben a legmagasabb értéket (32,67 m/m%) márciusban mértük a 40-45 cm rétegben. A melegebb időszak érkezésével, a májusihoz képest csökkenő tendenciát mutatott a júniusi adatsor. A nyár érkezésével a talajnedvesség csökkent a felső 30 cm rétegben, de a néhány esőzés után enyhén emelkedett.

A szója évében (2018) statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,05$; $p < 0,01$) több rétegben is kimutatható volt. 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 józsefmajori kísérletben 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 felszínen 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. 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.

Az őszi zab évében (2017) nem volt szignifikáns különbség a kezelések között. Átlagosan minden görbe hasonló lefutású, ahol az értékek átlagosan 10,2-29,7 m/m % között alakultak. A decemberi nedvesség eredmények az októberihez képest alacsonyabb értékeket mutattak. A decemberi és a márciusi mérés között 72,5 mm csapadék hullott le, amely a felső rétegben a kezelések között nagyobb változásokat eredményezett. A májusi talajnedvesség az előző évhez hasonlóan alakult, minden kezelésben ekkor mértük a legmagasabb eredményeket. Ez a jelenség az 54 mm csapadéknak köszönhető, amely az utolsó 15 napban hullott le. A direktvetéses talajban 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%).

Az utolsó kutatási évben (2018), a szójában összesen hét mérést végeztünk. A statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,01$; $p < 0,05$) négy rétegben, több kezelés között kimutatható. 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. 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. Ellenben a mélyebb rétegekben rendkívül alacsony nedvességet mértünk, 18,5-22,2 m/m% között.

3.4. A felszínvédelem értékelése

3.4.1. A takart és takaratlan felszín hatása a talaj kitétségre

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 felszín takarás (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 lukácsi kísérletben 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. A szántás minden évben a legalacsonyabb (<1%) talajfelszín borítást eredményezte. 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. A 2017-ben és a 2018-ban a kultivátoros kezelés alacsonyabb borítást hagyott a sekély kultivátoros kezeléshez képest, amely a művelési mélységnek és a jobb bekeverésnek tulajdonítható.

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. A legalacsonyabb talajfelszín borítást a szántott talajon mértük (2016-ban 0,3%; 2017-ben 1,08% és 2018-ban 0,4%). A tarló borításához képest a direktvetés kezelésben volt a legalacsonyabb borítás-

csökkenés. Ezáltal a talajvédelem is jónak volt mondható. A növénytől függetlenül, a tárcsás kezelés megközelítőleg azonos és alacsony borítási szintet adott, összefüggésben a gyengébb növényállománnyal. A lukácsi kísérlettel azonos kezeléseket összevetve, a józsefmajori kultivátoros és a sekély kultivátoros kezelések fordítottan arányosak, azonban mindkét kísérletben elhanyagolható különbséggel térnek el egymástól.

A legkitettebb felszint 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: sekély kultivátoros művelés>kultivátoros művelés>szántás. A józsefmajori kísérlet adatai alapján a (csökkenő) sorrend a következő: direktvetés>kultivátoros művelés>sekély kultivátoros művelés>lazításos>tárcsás művelés>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.

Az agronómiai szerkezetet méret alapján négy kategóriában soroljuk, azaz rög (>10 mm), morzsa (2,5-10 mm), aprómorzsa (0,25-2,5 mm) és por (<0,25 mm).

Lukácson, 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 mértől.

2017-ben 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 ($p<0,01$). 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.

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.

Józsefmajorban, 2016-ban 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%). 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.

Az őszi zab idényében (2017) a legnagyobb, károsnak tekinthető rögösödést a tárcsázás (32,7%) és a szántás (30,4%) mutatta. Ugyanakkor a legalacsonyabb arányokat a sekély kultivátoros (17,0%) és a kultivátoros kezelés (18,6%) eredményezték. 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. A legalacsonyabb apró morzsa értéket a lazításos kezelésben (27,8%) mértük, míg a legnagyobbat (35,0%) a direktvetésben. A szántott talajban a 8,9% por frakció 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.

A szója évében (2018), a legalacsonyabb rögösödés a sekély kultivátoros (21,5%), valamint a kultivátoros (23,3%) kezelésben alakult. 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. A legalacsonyabb aprómorzsa arányt a tárcsás kezelésben (28,0%) mértünk, míg a legmagasabbat (31,5%) szántott talajban. A legkevesebb port a direktvetés kezelésben (4,7%) és a sekély kultivátoros kezelésben (7,3%) mértük, közöttük nem volt szignifikáns eltérés. A korábban említett kezelésektől szignifikánsan eltért a tárcsázás és a szántás, 13,2% és 16,5% por aránnyal.

3.4.2. A felszintakarás, a morzsa arány és a földigiliszta egyedszám összefüggései

A felszintakarás aránya elsősorban a növényfaj tarlómaradványainak tömegétől (olykor a minőségétől is) és a talajba juttatás módjától (keverés vagy forgatás) függ. A felszintakarás, a morzsásodás, valamint a földigiliszta egyedszám kulcsfontosságú tényezők a talaj minőségi

működésében. Az összefüggés vizsgálatát segítő az apró morzsát és a morzsát együtt kezelem. A három év átlagában, a korrelációs vizsgálat alapján, a morzsa és a földigiliszta 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 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 földigilisztaszámban. 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. A három kategóriában a földigiliszta egyedszám nem emelkedett lineárisan, mint ahogyan a borítási szintek.

A két termőhely morzsa arányait az eltérő borítási kategóriáknál, három év átlagában is vizsgáltuk. A statisztikai vizsgálatok alapján jelentős eltérést tudtunk kimutatni mindkét termőhelyen ($p < 0,01$). 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. A morzsa arány nem növekedett lineárisan a borítási kategóriákkal, mivel a borítási kategóriák több művelési kezeléssel állnak.

A földigiliszta populációk időbeli dinamikája az éghajlati és a talaj körülményekhez, a gazdálkodáshoz és a növényi maradványok jelenlétéhez kapcsolható.

Lukácson, Stagnosol talajon a földigiliszta 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 földigiliszta populációt 2016 júniusában, 2017 májusában és 2018 júniusában tapasztaltam Lukács térségi Stagnosol talajon.

Józsefmajorban, mindhárom évben nyáron – a nagyobb hőmérsékletnek és a szárazabb talajnak betudhatóan – volt mérhető a legalacsonyabb földigiliszta egyedszám, míg a legmagasabb – kedvezőbb élőhelyi viszonyok esetén –, 2016 és 2018 májusában, valamint 2017 áprilisában. A 2017 áprilisi nagy egyedszám feltételezhetően a kedvezőbb élőhelyi körülményeknek, valamint a 40 mm csapadéknak tudható be. A késő őszi mérési időpontokban a földigiliszta egyedszámot a művelésen kívül az időjárás hűvösre fordulása is csökkentette. A

hároméves adatsor alapján a következő (növekvő) sorrend alakult ki: szántás<tárcsás=lazításos<sekély kultivátoros=kultivátoros<direktvetés kezelés.

3.5. A talajművelési rendszerek értékelése eltérő csapadékviszonyok esetén

3.5.1. A szántásos rendszer megfelelősége két eltérő talajon

A talaj ellenállása a lukácsi kísérletben alacsonyabbnak bizonyult a józsefmajorihoz képest a korábban már nagyobb nedvességnek betudhatóan. Ugyanakkor a mélység növekedésével mindkét termőhelyen párhuzamosan emelkedtek a talajellenállás értékek. A mélyebb rétegekben a józsefmajori szántást nagyobb értékek jellemezték, a korábban már leírt alacsonyabb nedvesség miatt. 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 talajnedvességet illetően három év átlagában a lukácsi talajban minden mélységben átlagosan nagyobb értékeket mértünk a józsefmajorihoz képest. Ennek oka vélhetően a több csapadék (3 év átlagában 816 mm), valamint a glejes talaj mélyebb rétegeinek korlátozott száradása. A legalacsonyabb értéket jellemzően a felszínen mértük, a józsefmajori kísérletben 7,9 m/m%-ot míg a lukácsi kísérletben 9,4 m/m%-ot. 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 agronómiai szerkezet vizsgálati eredmények a lukácsi szántás kedvezőbb eloszlását mutatják. 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.

A földigiliszta egyedszám értékelése alapján, jelentősen ($p<0,01$) kedvezőbb életkörülményeket a lukácsi szántás teremtett. A lukácsi szántásban átlagosan $54,7\pm 47,6$, míg a józsefmajoriban $21,4\pm 21,4$. Mindhárom évben több földigilisztát találtunk a lukácsi szántásban, a nagyobb különbséget a szója idényben találtuk, kedvezőbb nedvesség körülmények esetén.

3.5.2. A lazító-porhanyító-mulcshagyó művelések megfelelése

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

A két kísérletben egymástól eltérő talajjellenállás eredmények voltak mérhetőek. A lukácsi kísérletben a kultivátoros és a sekély kultivátoros kezelés között 0-50 cm-re vonatkozóan nem voltak nagy eltérések. A direktvetésben mért értékek a felszínközeli és a mélyebb rétegben is eltértek a két előbbi kezeléstől. A 20-30 cm közötti rétegben nem volt nagy különbség a művelt és a nem művelt talajok között. A két sekély kultivátoros és a két kultivátoros kezelésnél között csak az 0-5 és 5-10 cm rétegben mértünk nagyobb eltérést ($p < 0,05$).

A józsefmajori nedvességtartalom eredmények általánosan kedvezőbbnek bizonyultak a lukácsi talajon elértékhez képest. A két sekély kultivátoros kezelés között nagyobb nedvességtartalom alakult Józsefmajorban, ezen felül négy rétegben szignifikáns különbség volt kimutatható. A legalacsonyabb nedvességtartalom a lukácsi direktvetéses talajt jellemezte. A direktvetésekre jellemző nedvesség értékek között csak a felszínen nem volt kimutatható szignifikáns eltérés, míg a többi rétegekben igen ($p < 0,01$). A lukácsi kultivátorral művelt talaj kevesebb nedvességet tartalmazott a józsefmajorinál. 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 lazításos kezelések nem tértek el a többi józsefmajori kezeléstől, és mivel Lukácson nem voltak beállítva ilyen kezelések, így nem volt összehasonlítási párjuk.

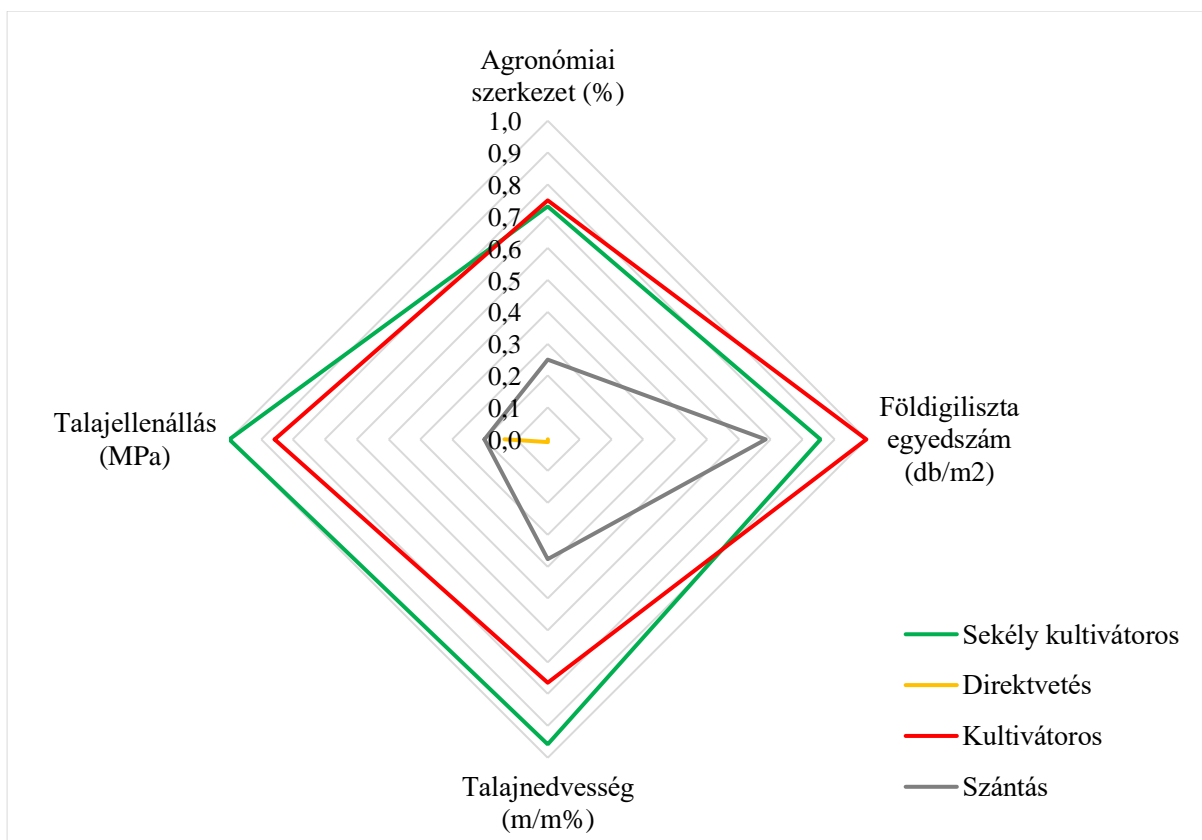
Az agronómiai szerkezet szempontjából, a sekély kultivátoros kezelésben a józsefmajori kísérletben 4,5%-kal nagyobb rög és 5,5%-kal kisebb morzsa frakciót mértünk, míg a por frakció csak 1%-kal volt több. A józsefmajori kultivátoros kezelés 5,8%-kal több rögöt és 1,8%-kal több port mutatott, továbbá 7,5%-kal kevesebb morzsát a lukácsi kultivátoros kezeléshez képest.

A földigiliszta egyedszám (db/m^2) értékelése alapján, a józsefmajori és a lukácsi lazító-porhanyító-mulcshagyó kezelésekben statisztikailag igazolható különbség ($p < 0,05$) csak a direktvetés kezelésben volt kimutatható, amelyet 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 földigiliszta számoltunk a lukácsi kultivátoros kezeléshez

képezt. Ugyanakkor 2017-ben Józsefmajorban, a jobb élőhely okán a sekély kultivátoros kezelésben 37,7 db/m²-rel több földigilisztát találtunk, ellenben 2018-ban 62,4 db/m²-rel több földigilisztát találtunk a lukácsi kezelésben, vélhetően a nedvesebb talajnak betudhatóan.

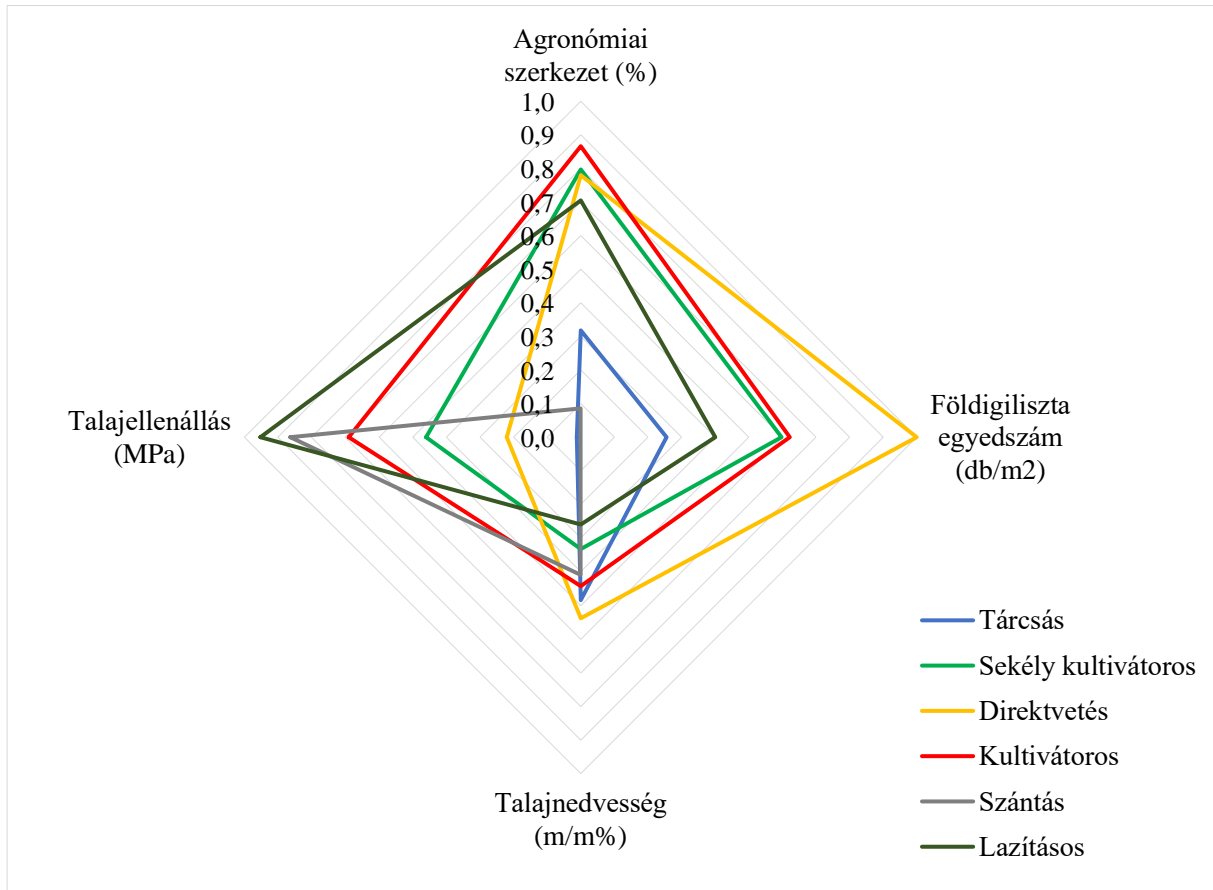
Az elvégzett értékelések – lazult réteg mélység a talajellenállással összefüggésben, talajnedvesség, felszintakarás, morzsa arány, földigiliszta egyedszám, kittedtség – segítségével lehetőségünk adódott a művelési kezelések (rendszerek) rangsorolására. Az ábrák a három év átlagadatait tartalmazzák, valamint az értékek között valós eltérést képeznek. Ennek eredményeként, bizonyos kezelések között nagyobb vagy kisebb különbség van. Az adatokat függetlenül a paraméterektől – nagyobb nedvességtartalom vagy kisebb talajellenállás érték, több morzsa vagy kevesebb rög arány – úgy szerkesztettem, hogy minél alacsonyabb, annál rosszabb az érték.

A lukácsi Stagnosol talajon a művelési rendszerek megfelelősége adott időjárási körülmények esetén – növekvő sorrendben – a következő: szántás < direktvetés < sekélykultivátoros művelés < kultivátoros művelés (3. ábra). Ez a sorrend a térségi művelések jótékony hatása ugyanis a kísérlet évei után is bizonyítást nyert.



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

A józsefmajori Endocalcic Chernozem talajon a művelési rendszerek megfelelősége és rangsora adott időjárási körülmények esetén – növekvő sorrenden – a következő: szántás <tárcsázás <lazítás <sekély kultivátoros művelés=kultivátoros művelés=direktvetés (4. ábra).



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

A fentiek alapján kialakított megfelelőségi rangsor szélsőséges években észlelt klimatikus körülményekre és talajállapokra vonatkozik. A direktvetés talajállapot előnye jelenleg még nem jelentkezik a termésben.

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.

3.6. 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 kitettség – 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 kitettségének elbírálását új tényezők (felszíntakarás, agronómiai szerkezet, felső 0-10 cm nedvessége) bevonásával bővítettem ki.
5. Számszerűsítettem a felszíntakarás, a morzsa arány és a gilisztaszám összefüggéseit két eltérő termőhelyen. Az eredmények szerint a $\geq 30\%$ felszíntakarás esetén a megkívánt összes morzsa arány ($\geq 70\%$) alakulása mellett a földigiliszták 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, földigiliszták egyedszám) alapján bizonyítottam.

4. 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. 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 vizsgálatok szerint szántott talajban gyakrabban, kultivátorral művelt talajban csak esetenként alakul 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 gyökerezést segítő, vagy korlátozó tényező. A direktvetés hosszú időszakban való alkalmazása a biológiai tevékenység javulása révén a kezdetekhez képest jobb lazulást eredményez, amely javítja a nedvesség tárolását is. Az ún. talpképző eszközök – eke, tárcsa – alkalmazása esetén kiemelten fontos talajállapot vizsgálata 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 nedvesség állapot az így művelt talajokban. A művelések között a nedvesség különbségek (2-5 m/m%) többnyire szignifikáns eltéréseket igazoltak. A forgatás nélküli művelésekben és a direktvetésben az adott időszakot tükröző nedvesség értékek voltak jellemzők, ellenben a szántott talajokban kevesebb. 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 alkalmas. 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 talajnedvességtartalma hosszabb időszak ismeretében alkalmas mutató a művelések megfelelőségének értékelésére.

A felszintakarás az utóbbi években a klímakárok csökkentésének szükségessége miatt vált értékelendő tényezővé. A kísérleteinkben szignifikáns különbség alakult a közel tiszta felszint hagyó művelés (szántás) és a felszín védelmét 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%. A minősítés kiterjedt arra, megfelel-e adott termőhelyen elvárt borítási %-nak és a nemzetközileg megjelölt 30%-os elvárásnak. Ennek az elvárásnak a kultivátoros művelések és a direktvetés feleltek meg. Az eredmények alapján a felszintakarás 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. Szignifikáns különbség volt kimutatható a morzsaromboló (szántás, tárcsázás) és a morzsakímélő (kultivátoros, lazításos, direktvetéses) kezelések adott frakciói 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 adott talaj biológiai tevékenységéről tájékoztat. A kísérleteinkben szignifikáns különbségek volt kimutatható az alkalmas és alkalmatlan élőhelyek között. Alkalmatlannak a durva bolygatás (szántás), alkalmasnak a mérsékelt bolygatás (forgatás nélküli művelés), kiemelten a csak vetéskor bolygatott (direktvetés) talajállapot bizonyult. A klimatikus és talajtényezők a tavaszi időszakban nyújtottak legkedvezőbb élőhelyet a földigilisztáknak. Glej talajban ≥ 150 , csernozjom talajban ≥ 200 db/m² egyedszám volt mérhető a 0-30 cm felső rétegben. A másik, kedvezőnek ítéltető

körülmény gabonaaratás után, a takart tarlóokban volt észlelhető, glej talajban ≥ 75 , csernozjom talajban ≥ 50 db/m² egyedszám a 0-30 cm felső rétegben.

A földigiliszta egyedszám talajállapot indikátor, ezért is vizsgálandó a talajállapot alkalmassága. A talaj biológiai tevékenységének fenntartása, fokozása érdekében a földigiliszta tevékenységet kímélő talajállapot kialakítása javasolható. A szántás e tekintetben fenntartásokkal, a forgatás nélküli művelések az adott körülményekre (művelési rendszer, időjárás) vonatkozóan javasolhatók.

A talajállapot vizsgálatok alapul szolgáltak a művelések megfelelőségének megítéléséhez. A lukácsi Luvic Stagnosol [Siltic] talajon a művelési rendszerek megfelelősége adott időjárási körülmények esetén – növekvő sorrendben – a következő: szántás<direktvetés<sekélykultivátoros művelés<kultivátoros művelés.

A józsefmajori Endocalcic Chernozem [Loamic] talajon a művelési rendszerek megfelelősége és rangsora adott időjárási körülmények esetén – növekvő sorrendben – a következő: szántás<tárcsázás<lazítás<sekély kultivátoros művelés=kultivátoros művelés=direktvetés.

A megfelelőségi rangsor szélsőséges években észlelt klimatikus körülményekre és talajállapotra vonatkozik. A direktvetés talajállapot előnye jelenleg még nem jelentkezik a termésben.

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.

5. IRODALOMJEGYZÉK

- 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
- 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
- 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
- DARÓCZI, S. 2005. Talajtömörtség-mérő műszer. Szarvas. Kézirat. 4.
- DÖVENYI, Z. 2010. (szerk.) Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, p. 876.
- HUSNJAK, S. – ROMIĆ, M. – PERNAR, N. POLJAK, M. 2011. Recommendations for soil management in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 76 (1) pp. 1-8
- 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: <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf>
- 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
- 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
- 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
- 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.
- 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
- STEFANOVITS, P. 1992. Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest
- Világ Bank 2015:
<https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.ARBL.HA.PC?locations=1W&view=chart>
- Világ Bank 2018: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>

6. AZ ÉRTÉKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN ÍRT TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK

6.1. Idegen nyelvű lektorált tudományos közlemények

Dekemati I., Bogunović, I., Kisić, I., Radics Z., Szemők A., Birkás M. 2019. The effects of tillage-induced soil disturbance on soil quality. Polish Journal of Environmental Studies 28 (5). pp. 3665-3673. **IF: 1,186**

Dekemati, I., Simon, B., Vinogradov, Sz., Birkás M. 2019. The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. Soil and Tillage Research 194. 104334. **IF: 4,675**

Bogunović, I., Kovács, G.P., **Dekemati, I.**, Kisić, I., Balla, I., Birkás, M. 2019. Effect of different tillage treatment under variable seasons on soil physical properties. Plant, Soil and Environment 65. pp. 442-448. **IF: 1,337**

Bogunović, I.; Kisić, I.; Sraka, M.; **Dekemati, I.** 2016. 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.

6.2. Angol nyelvű, hazai kiadású lektorált tudományos közlemények

Birkás M, **Dekemati I.**, Kende Z, Pósa B. 2017. Review of soil tillage history and new challenges in Hungary. Hungarian Geographical Bulletin, 66.1. pp. 55-64.

6.3. Magyar nyelvű nem impakt faktoros folyóiratban

Birkás M., **Dekemati I.**, Kende Z., Radics Z., Szemők A. 2018. A sokszántásos műveléstől a direktvetésig – Előrehaladás a talaj művelésében és védelmében. Agrokémia és Talajtan, 67. 2. pp. 253-268

6.4. Egyéb tudományos művek

6.4.1. Idegen nyelvű konferencia kiadványok

Birkás, M., Jug, D., Kisić, I., **Dekemati I.**, Kovács, G.P. 2019. Challenge in the 21st century – water management in soils. In: Jug, D., Brozović, B. (szerk.) Proceedings and Abstracts, 12th International Scientific/Professional Conference Agriculture in the Nature and Environment Protection, Osijek, Croatia. Glas Slavonije d.d. Osijek pp. 10-19

Jolánkai, M., **Dekemati, I.**, Kassai, M.K. 2018. Milestones in the development of agronomic management practices in crop production. Agrártudományi Közlemények/Acta Agraria Debreceniensis. Special Edition. pp. 203-209

Birkás M., Bogunović I., **Dekemati I.**, Kisić I., Radics Z. 2018. Adaptable tillage – is that a solution for the present climate situation? Proceedings and Abstracts, 11th International Scientific/Professional Conference Agriculture in the Nature and Environment Protection, 28th-30th May, 2018, Vukovar, Croatia. Glas Slavonije d.d., Osijek.

Birkás M., **Dekemati I.**, Kisić I., Pósa B. 2017. Results of the soil quality preservation in the extreme seasons. In: Mijic P; Ranogajec L. (eds.) Proceedings and Abstracts, 10th International Scientific/Professional Conference Agriculture in the Nature and Environment Protection, 5th-7th June, 2017, Vukovar, Croatia. Glas Slavonije d.d., Osijek, pp.10-19. ISSN 1848-5456

Dekemati I., Radics Z., Kende Z., Bogunovic I., Birkás M. 2017. Responses of maize (*Zea mays* L.) roots to soil condition in an extreme growing season. *Columella* 4. 1. Suppl. pp. 27-30.

Dekemati I., Radics Z., Kende Z., Birkás M. 2016. Soil state assessment in Croatia and in Hungary – Similarities and differences. *Növénytermelés*, 65 (Suppl.), pp. 139-142.

Birkás M., Kisić I., **Dekemati I.**, Jug D., Kovačević D. 2016. New challenges in soil tillage – Endeavours and results in the SEE region. 9th International Scientific/professional Conf., Agriculture in nature and environment protection, Vukovar, 6th–8th June 2016. Proceedings&Abstracts - Eds. Rasić S., Glas Slavonije d.d. Osijek, pp. 10-19. ISSN: 1848-5456

Birkás M; **Dekemati I.**; Kende Z; Kisić I. 2015. Excess water phenomena – long-lasting remediation. 8th International Scientific/professional Conf., Agriculture in nature and environment protection, Vukovar, 1st–3rd June, 2015. Proceedings&Abstracts (Eds. Baban M; Rasić S), Glas Slavonije d.d. Osijek, pp. 34-44. ISSN: 1848-5456

Kende Z., Bakti B., **Dekemati I.**, Róth J., Pósa B. 2015. Soil tillage and security of food supply. *Növénytermelés*, 64 (Suppl. 1) pp. 209-212. ISSN: 0546-8191

6.4.2. Magyar nyelvű konferencia kiadványok

Birkás M., **Dekemati I.**, Kende Z., Posa, B., Szemők A. 2017. Talajművelési kihívások a 21. század 2. évtizedében. In: Tamás J., Zsmebeli J., /eds./ A talajok gyógyítója. Blasko Lajos 70 éves. Debreceni Egyetem MÉK, Printent Press, Debrecen, pp. 81-92 ISBN 978-963-473-966-1

Birkás M., **Dekemati I.**, Kende Z., Radics Z., Szemők A. 2017. A sokszántásos műveléstől a direktvetésig – Előrehaladás a talaj művelésében és védelmében. “70 éves a Karcagi Kutatóintézet” Tud. Konferencia, Karcag, 2017.09.06

6.4.3. Konferencia absztrakt

Dekemati, I., Birkás, M. 2018. The effects of tillage practices on earthworm population in winter oat (*Avena fatua* L.) In: Zoltán Kende (szerk.) 17th Alps-Adria Scientific Workshop: Abstract Book, Gödöllő, Magyarország. Szent István Egyetem Kiadó pp. 122-123

Birkás M., **Dekemati I.**, Kende Z., Pósa B. 2016. New challenges in soil tillage – Endeavours and results in Hungary (from the beginning to the climate threat mitigation tillage). In: Madarász B., Tóth A. (Eds.) Book of Abstracts. International Conference on Conservation Agriculture and Sustainable Land Use. 31.05-02.06, 2016, Budapest. MTA RCAES Geographical Institute, pp.15. ISBN 978-963-9545-50-2