

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Beke Dóra
Keszthely
2006

**TALAJTÖMÖRÖDÉS ÉS - NEDVESSÉGTARTALOM VIZSGÁLAT
SZÁNTÓFÖLDI TARTAMKÍSÉRLETEKBEN**

Veszprémi Egyetem, Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola

Témavezető: Dr. Kismányoky Tamás

TALAJTÖMÖRÖDÉS ÉS - NEVESSÉGTARTALOM VIZSGÁLAT
SZÁNTÓFÖLDI TARTAMKÍSÉRLETEKBEN

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:
Beke Dóra

Készült a Veszprémi Egyetem Növénytermesztési és Kertészeti tudományok Doktori Iskolája keretében

Témavezető: Dr. Kismányoky Tamás

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve: _____ (igen / nem)

(aláírás)

Bíráló neve: _____ (igen /nem)

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján% - ot ért el
Veszprém / Keszthely,

A Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése

Az EDT elnöke

Tartalomjegyzék

Kivonat	5
Summary	7
Zusammenfassung	9
1. Irodalmi áttekintés	10
1.1. A talajtömörödés termésre, gyökérfejlődésre gyakorolt hatása	19
1.2. A talajon való járás hatására kialakult tömörödés	23
1.3. növénytermesztési rendszerek és a termés összefüggései	27
1.4. Irodalmi összefoglaló	28
2. Anyag és módszer	29
2. 1. A tartamkísérletek bemutatása	30
2.1.1. Minimális talajművelési mód vizsgálata búza – kukorica bikultúrában	30
2.1.2. Nemzetközi szerves- és műtrágyázási kísérlet (IOSDV)	31
2.1.3. Szervestrágyázási kísérlet különböző vetésforgókban	32
2.1.4. Műtrágyázási kísérlet kukorica monokultúrában	34
2.1.5. A KITE Rt. talajművelési kísérlete (Soponya)	36
2.2. A vizsgálati területek talajtulajdonságai és meteorológiai viszonyai	37
2.2.1. Keszthely	37
2.2.2. Soponya	39
2.3. A3T penetrométer ismertetése	40
3. Eredmények és következtetések	43
3.1. Talajművelési tartamkísérlet	43
3.1.1. Kukoricában végzett talajállapot mérések	43
3.1.2. Az őszi búzában végzett talajállapot mérések	54
3.2. IOSDV tartamkísérlet	59
3.2.1. A kukoricában végzett talajállapot mérések	59
3.2.2. Az őszi búzában végzett talajállapot mérések	65
3.2.3. Az olajretek jellemző talajállapota 2003-ban	68
3.3. Vetésforgó tartamkísérlet	69
3.3.1. A kukorica jellemző talajállapota 2003-2004-ben	69
3.3.2. Őszi búza talajállapot felmérése 2003-2004-ben	75
3.4. Kukorica monokultúra tartamkísérlet	78
3.5. A KITE Rt. talajművelési kísérlete (Soponya)	84
3.5.1. 2003 őszi talajállapot felmérés	84
3.5.2. 2004 tavaszi talajállapot felmérés	90
4. Összefoglalás	99
5. Új tudományos eredmények	102
6. Irodalomjegyzék	104
Melléklet	

Talajtömörödés és -nedvességtartalom vizsgálat szántóföldi tartamkísérletekben

A kutatási téma a talajművelés ésszerűsítésére irányult, melynek nélkülözhetetlen eleme a talaj állapotának felmérése, ismerete. A vizsgálat célja kimutatni azt, hogy a különféle növénytermesztési rendszerek (monokultúra, vetésforgó, vetésváltás) és talajművelési eljárások (mélyművelés, sekély művelés, direktvetés) milyen hatást gyakorolnak a talaj penetrációs ellenállására és nedvességtartalmára. A Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növény – és Környezettudományi Intézet Földműveléstani Tanszék kísérleti telepén folyó tartamkísérletek közül négyben, valamint a KITE Rt nagyparcellás talajművelési kísérletében (Soponya) került sor a vizsgálatok elvégzésére.

A mérési időpontok a vizsgálat éveiben (2002-2004): július és október hónap, tehát az őszi búza és a kukorica betakarítása utáni időszak. Mindkét növénynél betakarítás után, tarlóhántás előtt került sor a penetrációs ellenállás és a nedvességtartalom mérésére.

A KITE Rt. kísérletében 2003 októberben és 2004 májusban került sor a mérésre.

A vizsgálatokat 3T penetrométerrel kerültek elvégzésre, 20 ismétlésben, a tartamkísérletekben 50 cm, szántóföldi körülmények között pedig 90 cm mélységig.

A terméseredmények kiértékelésénél egytényezős varianciaanalízist alkalmazott a szerző. A mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásának vizsgálata regresszió-analízissel, a penetrogramok alapján meghatározott rétegek mechanikai ellenállását varianciaanalízissel vizsgálta a szerző.

A különböző talajművelési változatok, valamint. a vizsgált növénytermesztési rendszerek között aszályos körülmények között a talaj kis nedvességtartalma miatt kisebb a különbség. Az évtizedeken keresztül azonos módon végzett talajművelés degradáló hatása mindegyik tartamkísérletnél kimutatható.

Vizsgálva a mélylazítás hatását mindenképpen figyelemreméltó, hogy az őszi mérések során a penetrációs ellenállás értékeiben még nem mutatkozott meg a július hónapban elvégzett mélylazítás hatása. Viszont tavasszal már minden művelési rendszernél

láthatóan alacsonyabb mechanikai ellenállás értékek regisztrálhatók a lazított területeken, mint a lazításban nem részesülteken. Ennek feltehetően az az oka, hogy talaj ősze és télen beázott, a lazítás során megmozgatott, talajban lévő rögök porhanyultak. Így kisebb ellenállás értékeket mértünk, összefüggésben a nyirkos talajállapottal.

A termés mennyisége átlagosan 1 t/ha-ral volt több a lazított területen. A direktvetéses rendszerben mintegy 1-2 t/ha - ral elmarad a termés mennyisége a hagyományos művelésben mért termésszinthez képest.

Summary

Soil compaction and soil moisture studies in long-term field experiments

The major goal of the study was to elaborate procedures that rationalise soil cultivation in order to improve and maintain soil condition. For doing this it is inevitable to study and survey the actual status of soil. In our experiments we wanted to discover the effect of certain crop production systems (monoculture, crop rotation, changing of crops) and tillage procedures (deep and shallow cultivation, direct drilling) on the penetration resistance and moisture content of the soil. The studies were carried out in four long-term experiments existing at the Experimental Station of the Institute of Plant and Environmental Sciences at the Georgikon Agricultural Faculty of PANNON University. Measurements were taken also in an additional experiment at Soponya, which is a large plot soil cultivation experiment of KITE Rt. Agricultural Company.

The measurements were taken between 2002 and 2004, the sampling time was July and October after the harvest of wheat and maize respectively. After the harvest, before stubble stripping we measured the penetration resistance and the moisture content of the soil. In the experimental station of KITE the measurements were done in October 2003 and May 2004.

For measuring the penetration resistance and moisture content we used a penetrometer, type “3T System”. The measurements were carried out in 20 repetitions, to a depth of 50 cm in the long-term experiments and to 90 cm depth among field conditions respectively. For evaluation of the yield results we used analysis of variance (ANOVA). For studying the effect of moisture content on the penetration resistance regression analysis was applied. The difference between the mechanical resistances of the layers identified according to the penetrograms was also studied by ANOVA.

Among drought conditions the moisture content of the soil is low, therefore there is only little difference between the soil cultivation treatments and the crop production system variants. The degrading effect of the same soil cultivation procedures applied without any change for years can be detected in every the long-term experiments.

It is remarkable that effect of deep loosening carried out in July cannot be detected in the penetration resistance values taken at autumn. On the other hand at springtime the penetration resistance values were lower in the fields with deep loosening, than in those ones without, in the case of all cultivation systems. It can be explained presumably by the fact that during autumn and winter the soil became wet, the clods fell apart and the soil loosened. Therefore the penetration resistance values were lower in connection with the moisture status of the soil.

The yield was generally by 1 tha^{-1} higher in the fields with loosening. In the case of direct drilling the yield was usually by 1-2 tha^{-1} lower compared to that achieved in the case of conventional tillage systems.

Zusammenfassung

Untersuchungen der Bodendichtung und der Bodenfeuchtigkeit in verschiedene Dauerversuchungen

Die Bodendichtung ist eine grosse und wichtige Problem heutzutage. Die ist eine von den Bodenzerstörungen Prozessen. Der author hat die Wirkung der Düngung und Gründüngung und der verschiedene Bodenbearbeitungs Methoden auf die Bodendichtung untersucht.

Die Untersuchungen wurden mit dem 3T Schichtenindikator bis 50 cm und 90 cm Tief gemacht. Dieses Gerät registriert die Werte von dem Penetrationswiderstand und der Wasserkapazität im Bodenprofil zentimeterweise und zusammengehörend.

Der Author hat Varianz – Analyse anwendet zu bewerten die Ernte.

Die Messungen wurden in Juli und in Oktober in Weizen, in Mais, in ölrettich (als Stoppelfrucht) und in Sonnenblume gemacht.

Wegen den großen Dürre können weder die Düngung und Gründüngung noch die Minimum Tillage Bearbeitung seine günstige Wirkung darlegen.

Unter gleichen Bedingungen gemacht Bodenbearbeitung hat eine negative Wirkung zur Degradation.

Die Wirkung der Tieflockerung hat sich später ergibt. Die Ernte bei der Lockerung war 1-2 t ha⁻¹ höher. Bei der Direktsaat war die Ernte 1-2 t ha⁻¹ niedriger als in der traditionelle Bodenbearbeitung mit Pflug.

1. Irodalmi áttekintés

A talaj a mezőgazdaság legfontosabb termelőeszköze, amely élőhelyet biztosít a vadonélő állat, növény és mikroorganizmus populációknak is, és ezáltal válik a szárazföldi ökoszisztémák legfontosabb stresszhatásokat tompító alrendszerévé. A talaj vízzel és tápanyaggal látja el a növényeket, az elpusztult állatokat és növényeket pedig a benne élő organizmusok segítségével lebontja (*Füleki 1988*). Annak, hogy a talaj ezeket a funkcióit maradéktalanul ellássa, alapfeltétele a megfelelő talajszerkezet.

A talaj különböző ásványi és kémiai összetételű, méretű, alakú és térbeli elrendeződésű részecskék halmaza, s ez teszi lehetővé a víz, a levegő, valamint felvehető formában lévő (oxidált, oldott) tápanyagok egyidejű jelenlétét, többé vagy kevésbé biztosítva ezzel a talaj élővilágának, valamint a természetes növényzetnek és termesztett növényeknek a talajökológiai feltételeit (*Várallyay 1999*).

A talaj, mint három (négy) fázisú, négydimenziós, poildiszperz rendszer (különböző méretű, alakú és térbeli elrendeződésű részecskék horizontálisan és vertikálisan egyaránt heterogén, struktúrába rendeződött, s időben is dinamikusan változó halmaza) képes ugyanis a talajjal közvetlen vagy közvetett kapcsolatban álló élő szervezetek, így a természetes növényzet és a termesztett kultúrák talajökológiai igényeit (leegyszerűsítve levegő-, víz- és tápanyag-igényét) többé vagy kevésbé kielégíteni. Mégpedig úgy, hogy e tevékenysége közben a talaj nem fogy, állagában nem változik alapvetően, minősége nem romlik szükségszerűen. A talaj feltételesen megújuló (megújítható) természeti erőforrás. Nem csak termékenységgel rendelkezik, hanem egy csodálatos megújulóképességgel („soil resilience”) is. Megújulása azonban nem megy végbe automatikusan, hanem feltételekhez kötött, amelyek közül a legfontosabbak az ésszerű földhasználat, a megfelelő agrotechnika, s bizonyos esetekben a melioráció. Ezek tudatos teljesítésével a talaj zavartalan – a társadalom részéről egyre sokoldalúbban használt – multifunkcionalitása hosszú távon is biztosítható. A talaj termékenysége fenntartható, sőt fokozható, a nem megfelelő talajhasználat káros talajtani és környezeti hatásai (talajtermékenységet gátló tényezők, talajdegradációs

folyamatok, stb.) eredményesen megelőzhetőek, kivédhetőek, de legalább bizonyos tűrési határig mérsékelhetőek (Várallyay 2003).

A talaj szerkezetét vizsgáljuk megállapítható, hogy az elsődleges halmazt a koagulumok, a másodlagos halmazt a mikroaggregátumok, a harmadlagos halmazt pedig az aggregátumok alkotják.

A koagulumok a talaj kolloid részecskéiből külső tényezők hatására alakulnak ki. A koaguláció folyamán a koagulumok szerkezete igen különböző lehet, amire a külső körülményeknek nagy hatása van. A talajkolloidok, elsősorban az ásványi kolloidok nagy része apró, lemez alakú. Ezek a mértani testek három különböző formában (lap a laphoz, lap az élhez, él az élhez) állhatnak össze halmazokká.

A mikroaggregátumok a koagulumok és a vázrészek összetapadása során alakulnak ki. A talajszerkezet kialakításában a kolloidrészek mint ragasztóanyagok szerepelnek, a vázrészek pedig az építőkövek szerepét töltik be. A kolloid ragasztóanyagok lehetnek agyagásványok, szerves anyagok, valamint vas-, alumínium- és mangán-hidroxidok. Az agyagásványok főként a humuszszegény vályog- és agyagtalajokban uralkodók. A talajban élő mikroszervezetek - a baktériumok, a gombák és a sugárgombák – hártyákkal és fonalakkal szövik össze a kisebb aggregátumokat, és ezzel elősegítik a talaj ún. biológiai szerkezetének kialakulását. A talajban kialakuló biológiai szerkezetet nagymértékben befolyásolja a szerves anyag minősége. Ezen kívül a talaj szerkezetét közvetlenül befolyásolja még a talaj használata, közvetve pedig a talaj kémhatása, és a talajlakó állatok. A vas-, alumínium- és mangán-hidroxidok közül a vas-hidroxidok a leggyakoribbak a talajban, mivel ezek különösen erős ragasztóanyagok.

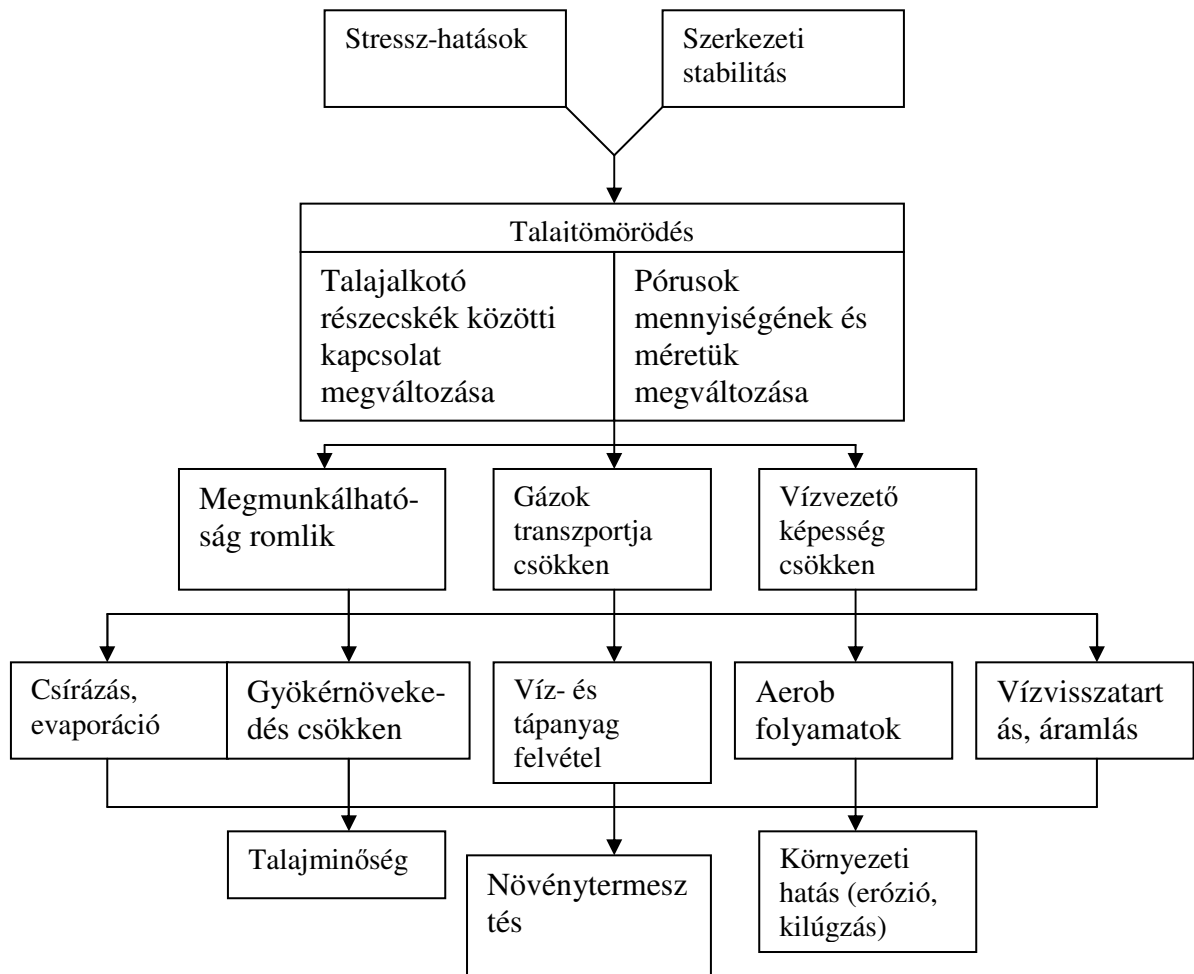
Az aggregátumok a mikroaggregátumok összetapadása nyomán keletkeznek. Ebben az összetapadásban elsősorban a fizikai erőknek van nagy szerepük, ezek származhatnak a gyökerek nyomóhatásából, a fagyhatásból, valamint a talajművelő eszközök által kifejtett nyomásból.

A talaj morfológiai szerkezete a szerkezeti elemek alak és méret szerinti osztályozását jelenti. A morfológiai szerkezet elemei a következők: morzsák, szemcsék, diók, hasábok, oszlopok és lemezek.

Az agronómiai szerkezet megítélésekor kizárólag méretük alapján osztályozzuk a szerkezeti elemeket és a különböző mérettartományba eső aggregátumok aránya bír jelentőséggel. A művelés során arra kell törekedni, hogy a morzsa frakció (0,25 mm – 10 mm) részarányát növeljük. Az lenne az ideális állapot, ha ezen frakcióba tartozó részek aránya elérné a 80 %-ot.

A megfelelő talajszerkezethez a kedvező porozitásviszony is szorosan hozzátartozik. A porozitás a talaj hézagterének és szilárd részének arányát mutatja meg, melyet térfogat%-ban fejezünk ki. Ez az érték általában 25-70%. Az 50-60%-os érték tekinthető kedvezőnek, ilyenkor a talaj kellően lazult állapotban van. Ha ez az érték csak 30-40% körüli, akkor a talaj károsan tömődött állapotban van. A pórusok átmérőjük szerint három csoportba sorolhatók, durva ($0,03\text{mm} <$), közepes ($0,03\text{-}0,003\text{mm}$) és finom ($0,03\text{mm} >$).

A talaj szerkezetének, illetve a szerkezet leromlásának egyik fokmérője a tömörödés, amely gátat szab a kedvező porozitásviszonyok, víz-levegő arány, illetve mikrobiológiai élet kialakulásának, ami a tartós szerkezet illetve beéredés feltétele is. A tömődöttség a talajban természetes és mesterséges tényezők hatására alakulhat ki. A mesterséges tényezők közül több a nem megfelelő körülmények között és a nem megfelelő minőségben végrehajtott műveléssel függ össze. Az erő- és munkagépek kerekei tömörítik a talaj felszínét, és ez a tömörítő hatás a gépek tömegétől és a talaj nedvességtartalmától függően a 30-60 cm-es mélységig terjedhet. A művelés szempontjából az optimálisnál nedvesebb talajon a művelőeszközök többsége tömöríti, gyúrja és keni a talajt. A tömődött talajban szünetelnek a biológiai folyamatok, nem alakítható ki a talaj érettségével összefüggő morzsás szerkezet.



1. ábra: Különböző stresszfaktorok hatása a talaj tulajdonságaira

A fenti folyamatábra a különböző stresszfaktorok hatását szemlélteti a talaj tulajdonságaira, minőségére, a termésre és a környezetre (Arvidsson in Lipiec et al 2003).

Amint ezen az ábrán is látszik a talaj tömörödését kiválthatják különböző stresszfaktorok és a szerkezeti stabilitás változásai. A már kialakult tömörödés megváltoztatja a talajalkotó részek közötti kapcsolatot, a pórusok méretét és mennyiségét. Ez a talaj vízgazdálkodására van komoly befolyással, hiszen a gravitációs pórusok mennyiségének csökkenésével párhuzamosan csökken a talaj vízbefogadó és vízvezető képessége. A pórusok számának csökkenés maga után vonja a gázok transzport folyamatainak csökkenését. A részecskék közötti kapcsolat megváltozásával

romlik a talaj megmunkálhatósága is. A tömörödött rétegben lemezessé válik a talaj szerkezete és ezen a lemezés rétegen a gyökök nem, vagy csak akadályozottan tudnak áthaladni, ezáltal csökken a víz és tápanyagfelvétel, és maga a gyökérnövekedés is. Levegőtlené válhat a talaj, amely gátat szab az aerob folyamatoknak. Mindezek együttesen okozzák a talajminőség romlását, a termésdepressziót és utat nyitnak a különböző degradációs folyamatok előtt.

Megállapítható tehát, hogy a művelés közvetlenül és közvetve egyaránt hat a talajszerkezet-képződés és – pusztulás folyamataira. A biológiai beébredés a romlás ütemét mérsékli ugyan, de a szerkezetpusztulás folyamatát megállítani nem képes. A legfontosabb törekvés a kiváló okok megszüntetése, semlegesítése kell hogy legyen.

Művelés hatására módosul a talaj térfogattömeggel és összes pórustérfogattal jellemezhető állapota. Ez a két mutató a talaj adott időpillanatban jellemző fizikai állapotának számszerű értékelésére alkalmas. A művelés hatása a talajellenállás értékeivel is jellemezhető. A nem művelt, vagy erősen tömörödött talaj térfogattömege $1,5 \text{ g/cm}^3$, vagy ennél nagyobb, pórustérfogata 40%, vagy ennél kisebb, talajellenállása pedig 2,5-5,5 MPa értékkel jellemezhető. Lazító művelés hatására a térfogattömeg $1,2 \text{ g/cm}^3$ értékre, vagy ez alá csökken, a pórustérfogata 50% fölé emelkedik, talajellenállása pedig 0,5-2,5 MPa-os értéktartományban marad.

A talaj tömörödöttnek minősül, ha összporozitása 40% alá csökken, térfogattömege meghaladja az $1,50 \text{ g/cm}^3$, ellenállása pedig a 2,5 MPa értéket (Birkás 1997).

A helytelen művelés miatt elporosodott talaj a csapadék hatására eliszapolódik, majd kiszáradás után cserepesedik. A cserepesedés a vízálló morzsák hiányának, a talajszerkezet leromlásának következménye. A cserepesedés akadályozza a talaj levegőzését és biológiai folyamatait. Művelés során törekednünk kell a talaj szerkezetének kímélésére, a porosodást kiváltó tényezők háttérbe szorítására (Birkás M. - Szemők A. 1999).

A Debreceni Agrártudományi Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén mészelepedékes csernozjom talajon beállított polifaktoriális tartamkísérletben vizsgálták a művelés hatását a talaj fizikai állapotára. A kísérletben szereplő talajművelési változatok: őszi szántás (27 cm), tavaszi szántás (22 cm) és tavaszi tárcsás sekélyművelés (12 cm). A vizsgálati eredmények azt igazolták, hogy a károsan tömörödött talajrétegek kialakulása a művelési nedvesség optimumok betartásával, a gépi menetszámok csökkentésével, az alpművelés mélységének változtatásával megelőzhetők lennének. Az őszi szántásos kezelésben a művelőtalp-réteg tömörödöttsége 10 éven keresztül azonos mélységű művelés ellenére sem érte el a kritikus értéket. Évek során a tavaszi szántásban és a tárcsázásban a talaj fizikai állapotának további romlását tapasztalták, amely szükségessé teszi a középmedly lazítás vagy a mélyítő szántás 3-4 évenkénti alkalmazását (*Rátonyi T et al.* 1999).

A talajműveléssel közvetlenül avatkozunk be a talaj fizikai állapotába. Hatása lehet kedvező, de kedvezőtlen is és az általa elért talajállapot változás időtartama is eltérő (*Schmidt et al.* 1998). A talajművelést ezért mindig nagy körültekintéssel és odafigyeléssel kell végezni, mivel helytelen alkalmazása esetén a talajszerkezet leromlásával kell számolnunk. Ennek elsődleges következménye a talaj pórusainak térfogateloszlás szerinti megváltozása, pórusrendszerének funkcionális átalakulása, amely kedvezőtlenül hat a talaj víz -, és levegőgazdálkodására, ezen keresztül pedig a talaj számos termékenység tényezőjére (*Tóth és Beke* 2003).

A talajművelés növényekre gyakorolt hatásának értékelésére *Dickson és Ritchie* vizsgálatokat folytattak háromféle talajművelési rendszer összehasonlításával. A talajművelési kezelések zero tillage, csökkentett talajterheléssel járó és hagyományos rendszereket foglaltak magukban. Megállapították, hogy a hagyományos rendszerben a növények stresszhelyzetbe kerülnek a csökkent levegőellátás miatt (*Dickson és Ritchie* 1993).

A talajművelés elsődleges célja olyan talajállapot létrehozása, amely a lehető legkedvezőbb a termesztett növény számára. Sok esetben azonban a hagyományos művelési módok összességükben kedvezőtlenül befolyásolják a talaj állapotát és így a termesztett növény fejlődését is (*Gyuricza et al.* 1998, *Mwendera* 1992).

A talajművelés megváltoztatja a vizet visszatartó és vissza nem tartó hézagterfogatnak az arányát, ebből adódik a talajművelés kiemelkedő szerepe. A talajműveléssel úgy kell szabályozni a talaj szerkezeti tulajdonságait, hogy a csapadékvíz minél nagyobb része a növényen át távozzon a légkörbe, a talajpárolgás, pedig mindenkor minimális maradjon. Ebből következik, hogy tavasztól ősziig a víz megőrzése, ősztől tavaszig a víznek mélyebb rétegekbe való levezetése a cél. A mély talajrétegek nedvességtartalma a nyári vízigény fedezetéhez járul hozzá. A víz befogadását elősegítő talajművelési eljárások, a mély vagy mélyítő művelés a tömör, a záró vagy rossz vízvezető réteg fellazításával teremtenek kedvező talajfizikai állapotot (*Kreybig 1946, Kemenes 1972, Sipos 1968, 1974, Nyíri 1973, 1982, Birkás 1987, 2002, Ruzsányi és Lesznyák Mné 2003*).

A talajnedvesség megőrzésének fontosságára hívja fel a figyelmet *Birkás (1996)* is. Kukorica talajművelési kísérletek elemzésével arra a következtetésre jutottak, hogy az őszi szántás a legkedvezőbb a tavaszi szántás pedig a legkedvezőtlenebb körülményeket biztosítja a kukorica számára (*Hegedűs 1984, Nagy 1996, Fenyves 1997*).

A művelésnek a talaj fizikai állapotára gyakorolt hatása egyaránt függ a helyi viszonyoktól, illetve attól, hogy miként reagál az adott talaj egy konkrét mechanikai beavatkozásra (*Farkas et al. 1999*).

A művelés akkor kedvező, ha a talajállapot alkalmas a pillanatnyi vízfölösleg befogadására, de ha kevés a csapadék, képes a nedvességveszteség csökkentésére is. Ésszerű nedvességgazdálkodással ugyanis csapadékhányos idényben is biztosabban fenntartható a talaj művelhetősége és csökkenthető a művelési rendszer menetszáma (*Birkás 2002*).

A direktvetés és a tárcsázás több éven keresztül alkalmazása szignifikánsan nagyobb talajellenállás értékeket eredményezett a forgatásos és lazítással kombinált eljárásokhoz viszonyítva (*Gyuricza et al. 1998*).

Adott sekélyművelési mód évenkénti ismétlése a tárcsázás alatti mélységben a harmadik évtől kezdődően tömörödést idéz elő, amelynek a vastagodása az ötödik évtől a felszín

és a mélyebb rétegek felé is kiterjedve a tárcsázással elérhető maximális mélységet is csökkenti (Birkás et al. 1999)

A talaj tömörödése a fizikai talajállapot egyik fontos jellemzője. Ezzel a témával már sokan foglalkoztak, és 1989-ben Lengyelországba „A talajtömörödés mint a növényi produktivitás meghatározó tényezője” („*Soil Compaction as a Factor Determining Plant Productivity*” 1989 Lublin, Poland) címmel konferenciát is rendeztek. Ezen a konferencián gyakorlatilag teljes körű áttekintést adtak a témakör különböző aspektusairól, vázolta egy olyan modell körvonalait is, amely alapul szolgálhat a téma további kutatásához, a még nem kellően kimunkált területek további vizsgálatához és különböző gyakorlati feladatok megoldásához is (Dumitru. et al. 1989).

Krisztián (1999) szerint a talajtömörödés és az aprózódás egymást gerjesztő folyamatok. Közös jellemzőjük a vízgazdálkodási tulajdonságok, a talaj vízvezető képességének romlása. A tömörödés akadályozza a felületre hulló eső, hólé beszívargását. Síkvidéken ez növeli a belvíz, lejtőkön az erózió veszélyét. Minden területen csökkenti a talajok vízkészletét, levegőtlené teszi a talajt. A tömörödött talajon minden művelet nagyobb energiafelhasználással végezhető. A többszöri művelés újabb tömörítéssel, porosítással jár, mindez gyakran visszavezethető agrokémiai hibákra, nem megfelelő időben, eszközzel végzett talajművelésekre. A rendszeres sekélyművelés eliszapolja a feltalajt amelyben egy kolloidokban gazdag, tömörödött vízzáró művelőtalp réteg alakul ki. A termesztett növényeknek kevesebb víz, kevesebb tápanyag jut, csökken a termés.

Várallyay a következőket írta a talaj fizikai degradációjáról 1999-ben. „A talajt fenyegető degradációs folyamatok közül világszerte egyik legelterjedtebb, legnagyobb károkat okozó és legnehezebben kivédhető a talaj fizikai degradációja, ezen belül pedig a talajszerkezet leromlása és a tömörödése. A talajszerkezet leromlása azért különösen veszélyes, mert gyakorlatilag irreverzibilis. Igaz ugyan, hogy a leromló talajszerkezet a károsodást kiváltó ok megszűnése után magától is regenerálódhat, az újraképződés azonban hosszú és lassú folyamat, így gyakorlatilag nem tud lépést tartani a leromlással, amely viszont egy-egy elhibázott agrotechnikai művelet, nem megfelelő

nedvességállapotban vagy nem megfelelő eszközzel végrehajtott talajművelés, növényápolás vagy betakarítás hatására sajnos igen gyorsan bekövetkezhet” (1999).

Várallyay (1996) szerint az ország talajainak 34,8 %-a érzékeny a degradációra és a tömörödése, 23% gyengén, 28,3 % mérsékelten, 13,9% pedig nem érzékeny.

Birkás a tömörödött talajok területét – figyelembe véve a művelési hiba eredetű belvizes területek kiterjedését és a talajok érzékenységet – 2000-ben a szántóterület felére becsülte.

A talaj tömörödése nagymértékben függ az adott talaj típusától is. A savanyú talajok rendkívül tömődtek, amelynek alapvető oka az, hogy a kilúgozódás következtében a talajkolloidok abszorpciós felületéről lassan eltűnnek a talajkolloidok koagulációját előidéző kalcium és magnézium ionok, helyüket pedig protonok foglalják el (Stefanovits 1997).

A talajtömörödés környezeti ártalom és káros következményei miatt világszerte kutatott téma. Az itthoni helyzet még súlyosabb. Az 1991 évi betakarítási idényben a szokásosnál több csapadék hullott, és az akkor óhatatlan okozott tömörödés enyhítésére ez ideig nem találtunk sok példát az országban. Az 1998 őszi betakarítási idényben az ismétlődő nagy esők által feláztatott talajokon még súlyosabb talajállapot károk alakultak ki. A javításra a július végéig hullott csapadék és a gazdaságok pénzügyi helyzete sem ad sok reményt. Mégsem válhat megszokottá, hogy termőföldjeinken – folyóvizektől távol, nem ártereken- minden eső után napokig pang a víz, mivel a tömödött állapotú talaj nem képes azt befogadni (Birkás 1999).

A tömörödés természeti tényezők és emberi beavatkozás hatására alakulhat ki. A már meglévő tömörödés jelentősen megváltoztatja a talaj struktúráját és hatására csökken a pórustérfogat (Pagliai et al. 2003). A porozitást tartják a talajállapot legjobb indikátorának, mivel a pórusok alakja, mérete és folytonossága befolyásol számos fontos, a talajban lejátszódó folyamatot. Ezért ezek jellemzése segítséget nyújt a talajszerkezet megítélésében (Pagliai et al. 1983, 1984; Moran and McBratney 1992).

Több kutató is kimutatta, hogy a talaj tömődöttsége és a makropórusok száma egymással fordítottan arányos. A két érték szorosan összefügg egymással (*Carter* 1990, *Diserens et al.* 1998, *Lipiec és Hakanson* 2000).

Chan és Mead (1989) vizsgálatai szerint a legmagasabb makropórus szám műveletlen területen mérhető. Gyepkultúra alatta a makropórusok száma kilenc év alatt áll vissza a bolygatatlan talajra jellemző értékre.

A tömörödés erózióra gyakorolt hatása jelentős. A folyamat bekövetkezhet a vízáteresztő képesség mérséklődése folytán a keréknyomokban és a tömörödött rétegek vízvezető képességének csökkenése miatt. Erre vonatkozóan végzett vizsgálatokat *Fleige és Horn* (2000). A keréknyomokban az erózió nagyfokú növekedését tapasztalták azokkal a területekkel összehasonlítva, ahol nem jártak erő - és munkagépek a talajon.

A talaj mechanikai ellenállása a talaj nedvességtartalmával fordított, a térfogattömeggel pedig egyenes arányban változik (*Chambell et al.* 1991). Adott nedvességtartalomnál a térfogattömeg növekedésével nő, adott térfogattömegnél növekvő nedvességtartalommal pedig csökken. A paraméterek közti összefüggés lineáris (*Whiteley et al.* 1981, *Ehlers et al.* 1983). A talajellenállást és a nedvességtartalmat érdemes azonos időpontban mérni, mivel kiugróan nagy ellenállás mind a tömörödött, mind az erősen kiszáradt talajállapotban is mérhető (*Trouse* 1971, *Rátonyi* 1999).

1.1. A talajtömörödés termésre, gyökérfejlődésre gyakorolt hatása

Sok vizsgálat támasztja alá, hogy a talajok tömörödöttsége a szerkezetromlás mellett káros hatással van a növények életfeltételeire, termés csökkentő hatása van, és számos esetben rontja a minőséget.

A talajtömörödés közvetlenül befolyásolja a növényi tápelemek felvehetőségét a talaj levegőzöttségének, vízgazdálkodási tulajdonságainak és a növény gyökere felé irányuló anyagmozgás sebességének változása miatt (*Krempner et al.* 1971). A növény

tápanyagfelvételére gyakorolt közvetett hatás a gyökérzet térbeli eloszlásának és a gyökér-talaj kapcsolat megváltoztatásán keresztül mutatkozik meg.

Győri Dániel (1984) szerint a talajszerkezet a növény életét direkt illetve indirekt úton egyaránt befolyásolja. Direkt hatásról akkor beszélünk, ha a növény gyökere eléri a talajban kialakuló eketalp réteget. A gyökér ezen réteg pórusain áthatol ugyan, megvastagodni azonban nem tud, csupán a pórusok által megszabott vastagságot éri el. Gyapot esetében figyelték meg azt, hogy míg a gyökér átmérője az eketalp réteg alatt és felett 10-20 mm volt, addig az eketalp rétegen belül az átmérő csupán az 1 mm-es vastagságot érte el.

A talajnak mint növényi élőhelynek alapvető feladata a termesztett kultúrák vízzel, oxigénnel és tápanyagokkal való ellátása. Ezt a funkcióját csak akkor képes maradéktalanul betölteni, ha a három fázis (szilárd, légnemű, folyadék) aránya eléri a kívánt mértéket (*Eitziger* 1991, *Ouwerkerk és Soane* 1994, *Birkás* 1995).

Modellkísérletekkel bebizonyították, hogy nem a pórusok méretének, hanem azok rugalmasságának a szerepe nagyobb. Indirekt hatás alatt Győri a talaj levegő-víz arányát érti (1986).

A GATE Növénytermesztési Intézetében *Birkás Márta* vezetésével talajtömörödöttségi vizsgálatokat végeztek különböző növénykultúrákban. A vizsgált talajok öt talajtípushoz tartoztak (barna erdőtalaj, csernozjom barna erdőtalaj, réti csernozjom, csernozjom, humuszos öntéstalaj). A talajok fizikai félesége vályog, agyagtartalma 48-52%. A vizsgált növényfajok: őszi búza, kukorica, cukorrépa. A vizsgálat növényfajonként 1300 hektárra és a talaj felső 65 cm-es mélységére terjedt ki. Vizsgálati módszerként alkalmazták a szelvényfeltárást, a patronos mintavételt és a talajjellenállás mérést. Meg kívánták határozni a talaj fizikai állapotát, tömör rétegeinek helyét és vastagságát. Ha a tömör réteg a gyökérszónában, vagy közvetlenül alatta helyezkedik el, vagy vastagsága eléri a 40 mm-t, akkor a növénytermesztés eredményességét rontó tényezővé válik. A cukorrépa esetében a mélyművelés 1986-89 között meghatározó volt. A területek 51,7 %-a legalább 40 cm-ig művelve volt, ami a

kívánt optimális állapotot jelenti. A területek 40,2 %-án 28-32 cm-nél találtak tömődött réteget, ami kedvező időjárási viszonyok mellett jónak minősülhet. Csupán a területek 8%-án találtak talajfelszínhez közeli tömörödött réteggel. 1991-94 között a mélyművelés drasztikus csökkenésével kellett számolni. Ekkor a kedvező talajállapot a területek 18,2 %-át jellemezte. Ezzel szemben növekedett a 28-32 cm-es réteg alatti tömörödés, ami arra enged következtetni, hogy a mélyszántás aránya növekedett, de a szükséges mélylazítás elmaradt. A 8-12 cm-es rétegben a tömörödés jelentősen nőtt, és sok helyen két tömör réteg alakult ki.

A kukorica esetében 1986-89 között 77 %-ban a talajszerkezet 28 cm-ig kedvező volt, ami 1991-94 között sem változott.

Az őszi búzánál a területek 96,3 %-a volt optimális 1986-89-ben, ami 1991-97-re 74 %-ra csökkent. Ennek oka a sekély művelés előtérbe kerülésében kereshető. (Birkás, M et al. 1996)

Kanadai kutatók megállapították, hogy a talaj tömödöttsége az árpa szem- és szalmatermését egyaránt csökkentette. A tömödöttség miatt előálló termésveszteségek vizsgálataikban 212 és 428 kg/ha között változtak (Mahli és Nyborg 1993).

Hasonló vizsgálatok folytak Lengyelországban, ahol szintén azt az eredményt kapták, hogy a talaj tömödöttsége számottevően csökkentette az árpa termését. A talaj térfogattömege a vizsgálatok során 1,264 és 1,647 g/cm³ között változott. Megállapították, hogy a nem tömődött talajokon az árpa átlagtermése 5 t/ha volt, a tömödöttebb területeken a termésátlag csak a 3,6 t/ha értéket érte el. A kritikusnak tekinthető talajtömöröttség érték az 1,480 g/cm³ térfogattömeg volt, amelynél tömörebb talajon számottevő terméseszkökenés volt tapasztalható. Az átlagosnál nagyobb tömödöttség csökkentette a növénymagasságot, a produktív bokrosodást és a legtöbb termésesemet (Styk és Sochaj 1992).

Ngunjiri és Siemens (1993) a kukorica fejlődését vizsgálták az erő- és munkagépek következtében bekövetkező talajtömöröttség hatására. Kimutatták, hogy a keréknyomás következtében tömödött táblákon a kukorica termése szignifikánsan alacsonyabb volt (12,9 t/ha), mint a nem tömödött talajú kezeléseken , ahol 13,8 és 14,0 t/ha között

változott. Minden egyéb paraméter is kedvezőtlenebb értéket mutatott a tömődött talajú táblákon: alacsonyabb volt a növények magassága, kisebb volt a szárazanyagtartalom, a növények tömege és a gyökértömeg mint a kontrollparcellákon.

Crozier és King (1993) a North Carolina Egyetem kutatói a gyökerek kimosásával végzett vizsgálataik során azt tapasztalták, hogy a kukoricanövények gyökértömege jóval fejlettebb volt azokon a területeken, ahol az erő- és munkagépek kerekeinek tömörítő hatása nem volt kimutatható.

Ugyancsak gyökérfejlődési vizsgálatokat folytatott *Moares et al.* (1991) szójanövényekkel, míg *Bengough és MacKenzie* (1994) borsóval. Valamennyien kimutatták a tömődött talajállapot kedvezőtlen hatását a gyökérnövekedésre, valamint az utóbbi két szerző mérési módszert is kifejlesztett a gyökérnövekedés nyomon követésére.

A gyökérnövekedés és a tápanyagfelvétel döntően befolyásolja a növények fejlődését. Gyakran akkor mutatkozik meg az optimum alatti tényezők hatása, amikor más tényezők is kedvezőtlené válnak és ezek összeadódó hatása már jelentős korlátozó tényezőt jelenthet.

A talaj alsó rétegei általában nedvesebbek és itt szorosabb a gyökerek és a talaj kapcsolata következképpen ez lehet a gyökerek vízfelvételének tényleges közege. A gyökerek abszorpciójára szignifikáns hatással van a különböző rétegek eltérő nedvességi állapota. Tenyészedényes vizsgálatokban kimutatták, hogy a kukorica gyökérzetének hossza a 30-50 és az 50-70 cm rétegben a teljes hossz 1-38 %-a, amíg a vízfelhasználás 54-74 % között változik a talaj típusától függően. Tehát a gyökerek vízfelvétele és méretük nem mindig van lineáris korrelációban egymással (*Lipiec et al.* 1993).

Grath és Hakansson (1992) DNy-Svédországban 1990-ben esős periódust követően, foltokban sárgulás és idő előtti érés jeleit figyelték meg borsónövényeken. A foltok elhelyezkedése és jellege azt az elképzelést látszott igazolni, hogy az ok valamilyen a gépek által előidézett tömörödéssre vezethető vissza. Ennek eldöntésére 11 különböző

táblán megmintázták mind az érintett, mind a normális foltokat. Azt találták, hogy a talaj porozitása rossz, levegőzöttsége pedig gyenge volt. Mindezek gyenge Rhizobium fejlődéshez és alacsony tápanyagfelvételhez vezettek. A növények szárazanyag-termése mintegy 40%-kal csökkent az érintett területeken.

Tömörödött talajon a termésmennyiség szoros kapcsolatban áll a gyökérzet kiterjedésével és működésével. A legtöbb modellben a gyökérnövekedést figyelembe veszik a talaj penetrációs ellenállásának és nedvességi állapotának megítélésakor. Megbecsülhető az a kritikus talajellenállás érték, amely már akadályozza a gyökerek növekedését (*Dexter 1987, Diggle 1988, Bengough és Mullins 1990*). Ez a kritikus érték változhat a talajtextúra, a makroporozitás, a mélység és a növényfaj függvényében (*Glinski és Lipiec 1990, Pabin et al. 1998*).

A talaj tömődöttsége és a termés közti összefüggésekkel foglalkozott *Kovalev (1992)* is Belorussziában végzett kísérletei során. Vizsgálatait árpa, zab és rozs növényekkel végezte. A talajok térfogattömege 1,2 és 1,6 g/cm³ között változott a vizsgálat kezdetekor. Az árpa és a zab termése az 1,4 g/cm³ térfogattömeg mellett volt a legnagyobb (3,9 és 4,54 t/ha), míg az 1,6 g/cm³ térfogattömeg mellett ettől kevesebb (2,38 és 3,11 t/ha). A rozs termése 1,6 g/cm³ térfogattömeg mellett 5,13, míg 1,3 g/cm³ mellett 5,6 t/ha volt. A magasabb térfogattömeg értékek csökkentették a zab és az árpa csírázási %-át, a m²-enkénti produktív hajtások száma pedig mindhárom növényfaj esetében csökkent. A talajtömörödöttség hatása ugyanakkor az időjárási tényezőktől is függött.

1.2. A talajon való járás hatására kialakult tömörödés

A talajok káros tömörödése számos esetben a nehéz gépek táblákon történő mozgására vezethető vissza, mint ahogy erre számos irodalmi forrás utal, mint az egyik leggyakoribb tömörödést kiváltó okra, noha természetesen számos egyéb tényező is közrejátszik.

A talaj mélyebb rétegeiben lejátszódó szerkezetromlás világszerte kutatott téma, a szerzők felhívták a figyelmet a kis szerkezeti stabilitású és a nedves talajon való járás

veszélyeire (Soane 1970, Voorhees et al. 1978, Soane et al. 1981, Hakansson et.al. 1988, Horn 1988, Russanov 1991, Larson et al. 1989).

A túlzott terhelés hatására kialakult talajállapot romlás, az intenzív nyomásra bekövetkező strukturális változások a művelés mélysége alatt jönnek létre, kialakítva az eketalp és járótalp tömörödést, egyre rosszabb feltételeket teremtve a gyökérnövekedésnek (Dexter 1986, Graham et al. 1992, Taylor és Brar 1991).

Danfors (1994) a járművek kerekeinek tömörítő hatását vizsgálva megállapította, hogy az egytengelyes járművek esetében a 8-12 t terhelés, valamint a 10-20 t terhelés a kéttengelyes járművek esetében, szignifikánsan csökkentette a porozitást a 300-400 mm-es, illetve a 400-500 mm-es talajréteg esetében. Vizsgálta továbbá, hogy milyen mértékben változik a gépek tömörítő hatása a gumiabroncsok nyomásától függően. Megállapította, hogy a 400-500 mm-es talajrétegben nem volt szignifikáns különbség az 50-100 és a 150 kPa-os nyomás között, ezért nem tartja szükségesnek a nyomásra vonatkozó jelenlegi előírások megváltoztatását.

A lánctalpas járószerkezettel ellátott erőgépek által okozott tömörödés kisebb mértékű, mint a hagyományos járószerkezetesek által kiváltott (Marsili et. al 1998).

Dán kutatók, Schjonning és Rasmussen (1994) modellkísérleteket végeztek annak megállapítása céljából, hogy a különböző menetszámú gépmozgások hogyan befolyásolják a talajok tömörödését és a termesztett növények termését. A vizsgálatok során mérték a talaj penetrációs ellenállását is 64 cm mélységig. A különböző gabonanövények termését a kezelés után 9 évig követték nyomon. Az egy menet mérsékelten tömörítette a talajt, de nem volt szignifikáns terméseszkentő hatása. A négy menet jelentősen növelte a tömörítő hatást, amely 60 cm-es mélységig kimutatható volt és hatása több évig tartott.

Hasonló következtetésre jutottak wisconsini kutatók (Loverly és Schuler 1994), akik kimutatták, hogy a 8 és 12 t-s mezőgazdasági gépek által okozott tömörödés hatása négy évig érzékelhető volt agyag és agyagos vályog talajon. A tömörődéssel

párhuzamosan növekedtek a térfogattömeg értékek. Hasonlóképpen és rendkívül határozottan emelkedtek a penetrációs ellenállás értékei. A növénymagasság ugyancsak megbízhatóan jelezte a talaj tömörödöttségét, a kukorica lelassult növekedése, a kedvezőtlen talajállapot hatása a későbbi években is érzékelhető volt.

A tömörödöttség hatásával kapcsolatban *Hakansson és Reder* (1994) megállapítják, hogy a mezőgazdasági területeken a nagy tengelynyomású járművekkel való közlekedés mélyen tömöríti az altalajt. Egy 10 t-s tengelynyomású gép mozgásának hatására 50 cm mélységben tömörödik a talaj. Az ettől magasabb tengelynyomás érték hatására a tömörödés 1 m-es mélységig is kiterjedhet. Fokozza a kedvezőtlen hatást az a tény, hogy az altalaj tömörödöttsége tartós és nagyon nehezen megszüntethető. Az altalaj tömörödése magában foglalja a termékenység csökkenésének kockázatát. Mivel ezek a hatások hosszantartók vagy állandók, el kellene kerülni őket. A mechanikai talajlazítás javítja az altalaj szerkezetét, de ez drága eljárás és alkalmazása sokszor nem hozza meg a várt eredményt.

A kérdés jelentőségét igazolja, hogy *Hakansson* (1994) a *Soil and Tillage Research* különszámában közölt dolgozatában a talajok tömörödését - különösen a mélyebb rétegekben bekövetkező tömörödést – a talajtermékenységet hosszú távon leginkább veszélyeztető tényezőnek tartja.

A gépek nagy tömegéből adódó terhelés által kialakult súlyos talajtömörödés visszafordíthatatlan folyamatnak minősül. Ezzel párhuzamosan csökken a termőképesség és növekszik az eróziós veszély, amely a környező ökoszisztémákra is hatással van (*Arvidsson and Hakansson* 1991, *Wiermann* 1998, *Voorhees* 2000)

Bazoffi és Pellegrini (2000) kimutatták, hogy a széles, alacsony nyomású gumiabroncs használata az erózió mértékét szignifikánsan növelte a normál abroncsokhoz képest. Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy a széles abroncs nagyobb futófelülettel rendelkezik és a talaj nagyobb részével érintkezik, ezáltal kisebb terhelés jut az egységnyi felületre.

A káros tömörödés elkerülése és megelőzése nem csupán növénytermesztési, de környezetvédelmi szempontból is egyik legfontosabb feladat, amelynek érdekében különböző járószerkezetek kifejlesztése, illetve alkalmazása elengedhetetlen a jövőben.

E területen már gyakorlati megoldást jelent a radiál szerkezetű, széles profilú gumiabroncsok használata. Bevezetés előtt áll a gumihevederes járószerkezet, amely a legideálisabb megoldás a talajtömörödés elkerülésére. A kettő között a mindennapok számára legjobb az ikerkerekek alkalmazása, amellyel felületi nyomás $0,4-0,6 \text{ kg/cm}^2$ – re csökkenthető (Antos G. - Kocsis G. 1998).

A talajon való járás következtében – függően a talaj nedvességtartalmától és a fordulók számától - átrendeződnek, deformálódnak az aggregátumok, leromolhatnak a meglévő szerkezeti elemek. Térfogattömeg értékekből a talaj deformitásának mértéke azonban nem határozható meg. Az elfolyósodás és a talajra gyakorolt nyíróhatás együttes jelenléte a fő oka a szerkezeromlásnak és annak a homogenizációnak, amely a térfogattömeg érték változása nélkül következik be. A talajtömörödés definiálható az aggregátumokon belüli pórusok számának csökkenésével, miközben maguk az aggregátumok stabilak maradnak. Minél nagyobb a stresszhatás, vagy minél kifejezettebb a dinamikus komponens, annál tökéletesebb a homogenizáció és annál kifejezettebb a szerkezet leromlása (Horn et al. 2003).

A talajon való járás következtében változás áll be a pórustérben is. Lal et al. (1989) különböző szántási módok pórustérre gyakorolt hatását vizsgálva kimutatták, hogy az erőgép keréknyomaiban pórustér csökkenés lépett fel. Vossbrink és Horn (2003) vizsgálatai szerint a keréknyomból vett talajminta légáteresztése 30-40%-kal csökkent, a pórustér átjárhatósága pedig 90%-kal romlott.

1.3. Növénytermesztési rendszerek és a termés összefüggései

A vetésváltás-monokultúra kérdéskör régóta áll az érdeklődés középpontjában. Számos hasonló illetve egymástól eltérő vélemény hangzik el a témával kapcsolatban és időről időre más-más szempontok miatt válik újra aktuálissá.

Győrffy (1975/a) a hazai kísérleti adatok alapján értékelve a vetésváltást megalapozó agronómiai elméleteket (szervesanyag-, tápanyag-, nitrogén-, szerkezet- és toxinelmélet) megállapítja, hogy a műtrágyázás mai szintjén talajerőgazdálkodási szempontból a vetésváltás és a vetésforgó nem indokolható. Ugyanakkor *Győrffy* (1975/b), valamint *Győrffy és Berzsenyi* (1992) kísérleti adatai igazolják, hogy mind a búza, mind a kukorica termése monokultúrában kisebb, mint vetésforgóban. A csökkenés mértéke a búza esetében nagyobb, a kukorica esetében kisebb.

Tóth és Kismányoky (2001) vizsgálatai szerint a tápanyagadagok növelésével szignifikánsan növekedtek a terméseredmények mind vetésforgóban, mind pedig a kukorica monokultúrában. A trágyázatlan kontoroll kezelésben, ahol a monokultúra és a vetésforgók tartamhatása önmagában érvényesül, átlagosan közel 1 t-val haladta meg a kukorica szemterméseredménye a monokultúrában regisztráltakat. Ez a különbség a tápanyagadagok növelésével tovább emelkedet. Ez az eredmény rámutat a tápanyagok vetésforgókban megfigyelt jóval hatékonyabb érvényesülésére.

Győrffy (1975/a, 1993) vizsgálataiból kitűnik, hogy a monokultúrákban tapasztalható termésdepresszió oka búza esetében elsősorban növénybetegségekre vezethető vissza, míg kukoricában vízháztartásbeli problémákkal és a herbicidrezisztens gyomok elterjedésével hozható összefüggésbe.

1.4. Irodalmi összefoglaló

A tömörödés talaj szerkezet leromlásának egyik fokmérője, mely különböző stresszfaktork, valamint a talaj szerkezeti stabilitásának változásai idézhetnek elő. Olyan folyamat melynek során a talaj szerkezetessége csökken, vagy megszűnik, romlik a víz-, levegő- és hőgazdálkodás. Kialakulásában szerepet játszik a nedves talajon való járás, a gépek tömege és a több éven keresztül azonos mélységben végzett művelés.

A tanulmányozott szakirodalmak alapján azt tapasztaltam, hogy sokan foglalkoztak a tömörödés és a különböző művelési módok, a megelőzésre alkalmas technikák, a gyökérfejlődés, valamint a termés összefüggéseivel. Világszerte kutatják a talajok érzékenységet a degradációra, a mechanikai terhelhetőséget. A tömörödés kialakulásának modellezésével is sok kutató foglalkozik.

Leírják a tömörödés kialakulásához vezető okokat, a tömörödés növényekre, termésre, környezetre gyakorolt hatásait.

Az elővetemény- és trágyahatások elbírálásának pontosításához hozzájáruló talajállapot mérésekről kevesebb irodalmi adatot találtam, ez a tény motivált dolgozatom témájának megválasztásában.

Az elért eredmények segítségével több lehetőség nyílik a tömörödés megelőzésére, enyhítésére. Különös tekintettel arra, hogy a hazai talajok közel felét érinti a tömörödés problémája.

2. Anyag és módszer

A Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növény – és Környezettudományi Intézet Földműveléstani Tanszék kísérleti telepén található tartamkísérletek közül négyben, valamint a KITE Rt. nagyparcellás talajművelési kísérletében (Soponya) került sor a vizsgálatok elvégzésére.

A már említett tartamkísérletekben a különböző művelési módok, a szerves trágyázás, a zöldtrágyázás, az évelő pillangós növényt tartalmazó vetésforgó, valamint a kukorica monokultúrák termesztése került összehasonlításra tömörödés szempontjából.

A nagyparcellás kísérletben a mélylazítás alkalmazásának hatásait tanulmányoztam eltérő művelési módoknál.

Mérési időpontok a vizsgálat éveiben (2002-2004): július és október hónap, az őszi búza és a kukorica betakarítása utáni időszak. Mindkét növénynél betakarítás után, tarlóhántás előtt mértem a penetrációs ellenállást és a nedvességtartalmat.

A KITE Rt. kísérletében 2003 októberben és 2004 májusban történtek a vizsgálatok.

A talajművelési és a lucernás vetésforgó kísérletekben őszi búza és kukorica növénynél, a kukorica monokultúrában kukoricánál, az IOSDV kísérletben 2003-ban kukorica, őszi búza és olajretek, 2004-ben kukorica és őszi búza növénynél, a soponyai kísérletben pedig kukoricánál és napraforgónál rögzítettem a penetrációs ellenállás és a nedvesség értékeit.

A vizsgálatokat 3T penetrométerrel kerültek elvégzésre, 20 ismételtsben, a tartamkísérletekben 50 cm, szántóföldi körülmények között pedig 90 cm mélységig.

A terméseredmények kiértékelésénél egytényezős varianciaanalízist alkalmaztam. A mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatását regresszióanalízissel, a penetrogramok alapján meghatározott rétegek mechanikai ellenállását varianciaanalízissel értékeltem.

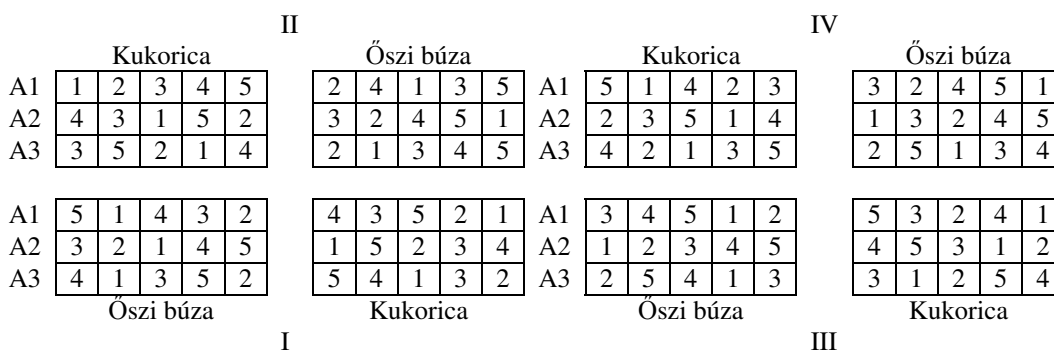
2. 1. Tartamkísérletek bemutatása

2. 1. 1 Minimális talajművelési mód vizsgálata búza – kukorica bikultúrában

Keszthelyen 1972-ben beállított talajművelési tartamkísérletben folytatottam vizsgálatokat arra vonatkozóan, hogy a különböző művelési módok milyen hatást gyakorolnak a talaj tömörödésére és nedvességtartalmára. A tartamkísérletben a hagyományos mélyműveléses (A1), a sekély tárcsás műveléses (A3) és a minimális műveléses rendszer (A2) került összehasonlításra. A kísérlet osztott parcellás elrendezésű, négy ismétléses.

Az „A” tényező a talajművelés, a „B” tényező pedig az NPK trágyázás. A vetésforgó növényei: búza – búza – kukorica – kukorica.

Az „A” főparcellák területe: $30\text{m} \times 145\text{m} = 435\text{m}^2$. A „B” parcella alapterülete: $6\text{m} \times 14,5\text{m} = 87\text{m}^2$



2. ábra. A talajművelési kísérlet alaprajza

Kukorica							Őszi búza		
N	P ₂ O ₅		K ₂ O		N		P ₂ O ₅	K ₂ O	
évente	évente	4évente	évente	4évente	évente		évente	évente	
1972-1986									
B1	-	-	-	-	-		-	-	-
B2	130	-	280	-	280		100	-	-
B3	205	-	420	-	280		150	-	-
B4	130	70	-	100	-		100	70	40
B5	205	105	-	100	-		150	105	40
1986-									
B1	-	-	-	-	-		-	-	-
B2	180	100	-	100	-		120	100	100
B3	240	100	-	100	-		160	100	100
B4	300	100	-	100	-		200	100	100
B5	360	100	-	100	-		240	100	100

3. ábra. A talajművelési kísérlet kezelése (kg ha⁻¹)

2. 1. 2. Nemzetközi szerves – és műtrágyázási kísérlet (IOSDV)

Az IOSDV kísérletet 1983-ban állították be. Ez a kísérlet osztott parcellás elrendezésű, három ismétléses (4. ábra). A parcellák alapterülete 48 m². Kukorica, őszi búza, őszi árpa és olajretek (őszi árpa után tarlóvetésként) növények kerülnek termesztésre a kísérletben. A szármaradványokat és a szalmát a talajba keverik, ezen kívül szerves és zöldtrágyázás is történik, valamint különböző adagú műtrágyák kijuttatása.

Az 5. ábra a nemzetközi szerves – és műtrágyázási kísérletben alkalmazott különböző nitrogén műtrágya adagokat mutatja be. A foszfor és a kálium állandó mennyiségben (100 kg/ha) kerül kijuttatásra ősszel egy adagban, alaptrágyaként.

	Őszi árpa			Kukorica			Őszi búza		
III									
II									
I		N4			N4			N4	
		N3			N3			N3	
		N2			N2			N2	
		N1			N1			N1	
		N0			N0			N0	
	--	--	Sz	--	#	Sz+Ztr	--	--	Ksz

= istállótrágya 150 kg/parcella, Sz = szalmatrágya, Ztr = zöldtrágya, Ksz = kukoricaszár

4. ábra. Az IOSDV kísérlet alaprajza

	Őszi árpa	Kukorica N kg/ha	Őszi búza
N0	0	0	0
N1	40	70	50
N2	80	140	100
N3	120	210	150
N4	160	280	200

P₂O₅: 100 kg/ha K₂O: 100kg/ha

5. ábra. Az IOSDV kísérlet kezelése

Az 1. vetésforgó kezelései:

Növény	alparcella	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Szerv.tr. t ha ⁻¹
kg ha ⁻¹					
Őszi búza	a	0	0	0	
	b	50	50	20	
	c	120	120	100	
	d	1200	120	100	
Lucerna	a	0	0	0	
	b	0	60	80	
	c	100	300	300	
	d	100	300	300	
Lucerna	a	0	0	0	
	b	0	0	0	
	c	0	0	0	
	d	0	0	0	
Őszi búza	a	0	0	0	
	b	60	30	30	
	c	120	150	130	
	d	120	150	130	
Kukorica	a	0	0	0	
	b	50	50	70	
	c	140	210	290	
	d	140	210	290	36

7. ábra. Az 1. vetésforgó kezelései

A 2. vetésforgó kezelései.

Növény	Alparcella	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Szerv. tr. t ha ⁻¹
kg ha ⁻¹					
Szudánifű	a	0	0	0	
	b	40	20	40	
	c	100	140	140	
	d	100	140	140	
Őszi búza	a	0	0	0	
	b	40	30	40	
	c	100	130	130	
	d	100	130	130	
Zabos bükköny	a	0	0	0	
	b	30	30	30	
	c	60	170	130	
	d	60	170	130	
Őszi búza	a	0	0	0	
	b	20	30	30	
	c	80	130	130	
	d	80	130	130	
Kukorica	a	0	0	0	
	b	30	50	60	
	c	140	210	290	
	d	140	210	290	36

8. ábra. A 2. vetésforgó kezelései

2. 1. 4. Műtrágyázási kísérlet kukorica monokultúrában

A kísérlet beállításának ideje: 1969.

A kísérlet kéttényezős, osztott parcellás elrendezésű négy-négy ismétléssel és benne az ekvidisztánsan növekvő tápanyagadagok (0, 300, 600 és 900 kg NPK/ha - N:P:K=1:1:1), valamint a N-műtrágya kijuttatás idejének (NT1: tavasszal egy adagban, NÖ1: ősszel egy adagban, NT2: tavasszal két adagban) hatása tanulmányozható.

A kísérleti területen a következő talajművelési eljárásokat alkalmazták a kukorica vetése előtt: őszi szántás, simítózás, tárcsázás, kombinátorozás.

A kísérlet célja

A kukorica termésének vizsgálata eltérő N-, P- és K-műtrágyázás esetén.

A kísérlet elrendezése és kezelései

A kísérleti elrendezés osztott parcellás, 4 ismétlésben.

"A"-tényező: az alkalmazott műtrágya mennyiség

"B"-tényező: a N-trágyázás időpontja

A parcellák alapterülete:

"A"-parcella: $18,0 \text{ m} \times 14,3 \text{ m} = 266,4 \text{ m}^2$

"B" parcella: $14,8 \text{ m} \times 6,0 \text{ m} = 88,8 \text{ m}^2$

Termesztett növények: A Magyarországon legáltalánosabban termesztett kukoricahibridek

A kukorica monokultúra kísérlet elrendezése az alábbi ábrán látható.

		a ₁			a ₂			a ₃			a ₄		
IV		b ₁	b ₂	b ₃	b ₂	b ₃	b ₁	b ₃	b ₁	b ₂	b ₁	b ₃	b ₂
		a ₄			a ₃			a ₁			a ₂		
III		b ₁	b ₂	b ₃	b ₂	b ₃	b ₁	b ₃	b ₁	b ₂	b ₁	b ₃	b ₂
		a ₂			a ₁			a ₄			a ₃		
II		b ₁	b ₂	b ₃	b ₂	b ₃	b ₁	b ₃	b ₁	b ₂	b ₁	b ₃	b ₂
		a ₃			a ₄			a ₂			a ₁		
I		b ₁	b ₂	b ₃	b ₂	b ₃	b ₁	b ₃	b ₁	b ₂	b ₁	b ₃	b ₂

9. ábra. A kukorica monokultúra kísérlet elrendezése

A kísérlet kezeléseit (kg ha⁻¹) a 10. ábra szemlélteti.

Kezelés			N		P ₂ O ₅	K ₂ O
		ősz	tavaszi ₁	tavaszi ₂		
a ₁	b ₁	-	-	-	-	-
	b ₂	-	-	-	-	-
	b ₃	-	-	-	-	-
a ₂	b ₁	-	104,3	-	104,3	104,3
	b ₂	104,3	-	-	104,3	104,3
	b ₃	-	69,5	34,8	104,3	104,3
a ₃	b ₁	-	108,6	-	208,6	208,6
	b ₂	208,6	-	-	208,6	208,6
	b ₃	-	139,0	69,6	208,6	208,6
a ₄	b ₁	-	312,8	-	312,8	312,8
	b ₂	312,8	-	-	312,8	312,8
	b ₃	-	208,6	104,2	312,8	312,8

10. ábra. A kukorica monokultúra kísérlet kezelése

2. 1. 5. A KITE Rt. talajművelési kísérlete (Soponya)

A kísérlet két ismétléses, kéttényezős sávos elrendezésű, melyben a parcellák alapterülete 114m².

A kísérlet célja az volt, hogy megvizsgálják milyen hatással van a termésre a talajlazítás alkalmazása. A lazítás tervezett mélysége: 55-60 cm volt. A kísérletben kukorica (Goldami) és napraforgó (Altesse RM) növényt termesztettek..

Napraforgó (lazított)	Napraforgó (lazítás nélkül)								
<table><tr><td>P4 direktvetés</td></tr><tr><td>P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító</td></tr><tr><td>P2 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger</td></tr><tr><td>P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító</td></tr></table>	P4 direktvetés	P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító	P2 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger	P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító	<table><tr><td>P4 direktvetés</td></tr><tr><td>P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító</td></tr><tr><td>P2 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger</td></tr><tr><td>P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító</td></tr></table>	P4 direktvetés	P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító	P2 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger	P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító
P4 direktvetés									
P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító									
P2 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger									
P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító									
P4 direktvetés									
P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító									
P2 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger									
P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító									
Kukorica (lazított)	Kukorica (lazítás nélkül)								
<table><tr><td>P4 direktvetés</td></tr><tr><td>P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító</td></tr><tr><td>P2: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger</td></tr><tr><td>P1: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító</td></tr></table>	P4 direktvetés	P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító	P2: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger	P1: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító	<table><tr><td>P4 direktvetés</td></tr><tr><td>P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító</td></tr><tr><td>P2: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger</td></tr><tr><td>P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító</td></tr></table>	P4 direktvetés	P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító	P2: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger	P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító
P4 direktvetés									
P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító									
P2: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger									
P1: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító									
P4 direktvetés									
P3 őszi szántás 28-32 cm, elmunkálás tárcsa+henger, vagy nehézfogas+simító									
P2: őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. tárcsa+henger									
P1 őszi szántás 28-32 cm tavaszi elmunkálás. Fogas+simító									

11. ábra. A KITE Rt. talajművelési kísérletének elrendezése és az alkalmazott művelési eljárások

2. 2. A vizsgálati területek talajtulajdonságai és meteorológiai viszonyai

2. 2. 1. Keszthely

A kísérleti terület talaja Ramann-féle barna erdőtalaj, amely szervesanyagban szegény, P_2O_5 -ban gyengén és K_2O -ban közepesen ellátott, fizikai félesége homokos vályog. Talajszelvény feltárás során 25-30 cm-es mélységnél kezdődő tömörödött réteget találtunk. A felső 30 cm rétegben, az A szintben a kötöttség (K_A) 28, a B_1 szintben (30-60 cm) pedig (K_A) 38. A térségre jellemző talajtípus feltárt szelvénye a 12. ábrán látható.

A vizsgálat három évének, valamint az 1901-2000 terjedő időszak csapadékadatait az 1. táblázat tartalmazza. Az 1901-2000 időszakban a térségben hullott évi átlagos csapadékmennyiség 683 mm. A vizsgálat éveiben csapadékhiány figyelhető meg, amelynek mértéke: 2002-ben -119,5 mm; 2003-ben -174,4mm; 2004-ben -63,9mm.

Hó	1901-2000		2001		2002		2003		2004	
	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C
1	34,5	-1,06	58,5	0,9	18,5	0,1	43,5	-2,4	26,8	-1,9
2	35,0	1,42	3,9	3,3	60,0	4,7	17,4	-3,9	64,4	1,5
3	38,5	5,48	64,7	7,7	32,6	7,6	9,6	5,8	50,2	4,3
4	52,0	10,92	26,2	9,1	116,2	10,5	34,9	10,3	89,4	11,5
5	69,0	15,78	13,2	17,8	33,9	18,4	50,9	18,8	29,1	14,3
6	79,0	18,97	54,0	17,8	44,2	20,8	16,8	22,9	87,8	18,5
7	76,0	20,91	32,6	21,7	59,1	22,1	57,0	22,1	29,4	20,4
8	72,0	20,30	11,8	21,8	47,4	21,3	46,3	23,1	48,4	20,1
9	61,0	16,33	137,8	13,9	27,9	15,0	51,9	15,5	24,9	15,1
10	56,0	10,63	3,3	13,7	62,1	10,7	108,0	8,4	87,4	11,9
11	61,0	5,24	45,2	4,0	19,8	8,3	41,1	7,0	45,6	5,5
12	49,0	1,26	57,8	-3,6	41,5	0,2	31,2	0,9	35,5	0,8
Σ	683,0		509,0		563,2		508,6		618,9	
Csapadék										
°C Átlag		10,51		10,7		11,6		10,7		10,2

1.táblázat Csapadék és hőmérséklet adatok Keszthely 1901-2004



12. ábra. Talajszelvény, Ramann-féle barna erdőtalaj, Keszthely

2. 2. 2. Soponya

A kísérleti terület talaja mészlepedékes csernozjom, amelynek humusztartalma 1,5 %, ami igen gyenge ellátottságot feltételez. P_2O_5 tartalma 195 mg/kg, tehát jól ellátott, K_2O tartalma 232 mg/kg, közepesen ellátott. A talaj kémhatása gyengén lúgos pH 7,5. Fizikai félesége agyagos vályog, K_A 43 értékkel.

Az évi átlagos csapadékmennyiség 550-600 mm körül alakul az ország ezen részén. 2003-ban itt is ettől jóval elmaradt a hullott csapadék mennyisége, mintegy 130mm-rel volt kevesebb, mint a sokéves átlag.

2. 3. A 3T penetrométer ismertetése

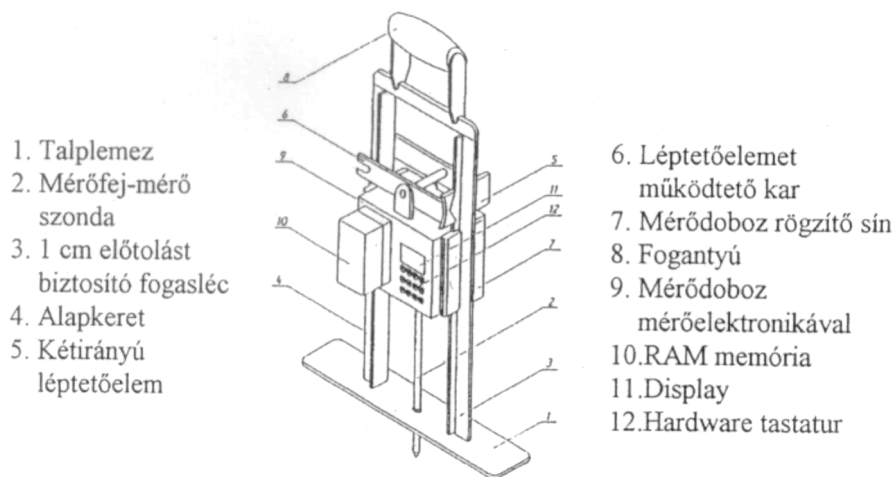
A vizsgálatokat a 3T system penetrométerrel (13/b ábra) kezelésként 20 ismétlésben végeztük 50 cm és 90 cm mélységig. Ez az eszköz 1 cm-es talajrétegenként összetartozóan méri a talaj nedvességtartalmát és mechanikai ellenállását. (A nedvességtartalmat a szántóföldi vízkapacitás %-ban (v%), a talajtömörödés értékeit MPa-ban fejeztük ki.)

A mérőberendezést egyszerű és speciálisan kiképzett mechanikus és digitális elektronikai elemek felhasználásával alakították ki.

Három mélységi talajszint 0-40, 0-60, illetve 0-95 cm mérésére alkalmas változatban készül. A berendezés 1 cm-es talajrétegenként folyamatosan és összetartozóan méri a talaj nedvességtartalmát és tömödöttségét, illetve penetrációs ellenállását. A talaj nedvességtartalmát a szántóföldi vízkapacitás (pF 2,5) %-ban kifejezett részarányaként, a penetrációs ellenállását kPa-ban méri.

Kalibrálás nélkül a szélsőségek kivételével (kavics, kotu-, láptalaj) minden fizikai talajféleség egyszerűen végrehajtható módszerrel mérhető. A mérés olyan egységekben történik, amely lehetővé teszi a különböző talajokon belüli állapotok közvetlen összehasonlítását. Az 1 cm-enként mért összetartozó adatpárokat (nedvesség, behatolási ellenállás) memóriában tárolja, ezáltal biztosítja a későbbi számítógépes kiértékelést, illetve adatbank létrehozását.

A mérőműszer szerkezeti kialakítása 13/a. ábrán látható.



13/a. ábra A 3T SYSTEM mérőműszer felépítése

A mérés egy alapkeretbe (4) foglalt szabványos (MSZ 08-1784-83) 60°-os kúpszögű szondaszár (2) kúpjának a talajban történő 1 cm-es rétegenkénti szakaszolt előrehaladásával történik. A szondaszár kúpos végében (2) szigetelten van elhelyezve a talajnedvességet érzékelő oszcillátor rendszer. A szondaszár felső része a rögzítősínnel (7) az alapkerethez (4) felfogott mérőegység dobozának biztonsági házában (9) elhelyezett erőmérő cellához csatlakozik. Itt található a nedvességmérés elektronikus egysége is. A mérőegység dobozában történik az érzékelt jelek feldolgozása, kiértékelése, a vizsgált paraméterek LCD-kijelzőn (11) való helyszíni kijelzése, valamint a mérési adatok RAM memóriában (10) való tárolása. A házon foglalnak helyet a mérés egyes funkcióit vezérlő és beállító kezelőgombok (12) is. A mérőszonda folyamatos sebességű talajba juttatása, illetve a mérés befejezése után a talajból való kiemelése a léptetőelemet működtető mechanizmusokkal (5, 6) történik. A mechanizmus az alapkeret egyik szárán pontosan 1 cm osztástávolságú kétoldali fogazással van ellátva (3). A fogakba illeszkedő kilincsszerű mechanikai áttétel (5) úgy van kialakítva, hogy kézi erővel könnyen biztosítható a szonda (2) függőleges helyzetben való talajba nyomása, illetve kiemelése a kilincsmű átváltása után. A talaj

felszínére merőleges szonda behatolást és a talaj ellenállásával szembeni ellentartás a talplemez (1), illetve a mérést végző személy, személyek súlyerejével biztosítja.

A mérés folyamán a szabványos (60°-os MSZ 08-1784-83) kúpos végű keretbe foglalt, minden esetben 1 cm-es talajréteg vizsgálatát biztosító szonda a talaj vizsgálati felületére merőlegesen hatol a talajba. A mérőberendezés a talajjal való érintkezés révén végzi – zártláncú folyamatban – a mérést 1 sec nagyságú elektronikus mintavételi időtartam alatt. A mérőszonda mintavételi ideje állandó és az elektronikus hardware révén biztosított. A vizsgálati adat mintavételéhez szükséges idő alatt az érzékelést végző mérőkúp elmozdulása elhanyagolhatóan kicsi (0,005-0,02 mm). A mérőkúp és az azzal közvetlenül szerkezeti egységként működő szonda, mérővizsgálat közbeni mozgási sebessége kvázi állandó (0,005-0,02 m/sec).

A vizsgált talajrétegen belül a talajrétegre jellemző mérési értékek meghatározása törvényszerűen mindig ugyanabban a pozícióban a rétegvastagság felénél (0,5 cm) történik. A mérővizsgálati pontatlanság az elektronikus feldolgozás segítségével $\pm 2,5\%$ -on belül marad (Szöllősi 2002).

A mérésmenete az 1. számú mellékletben olvasható.



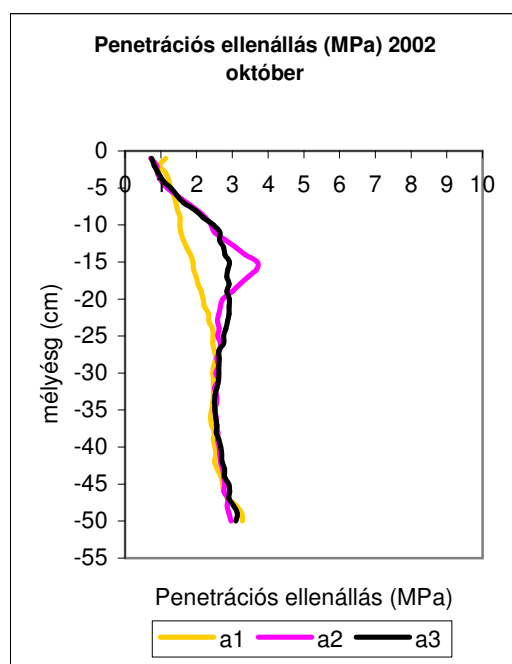
13/b. ábra. A 3T penetrométer

3. Eredmények és következtetések

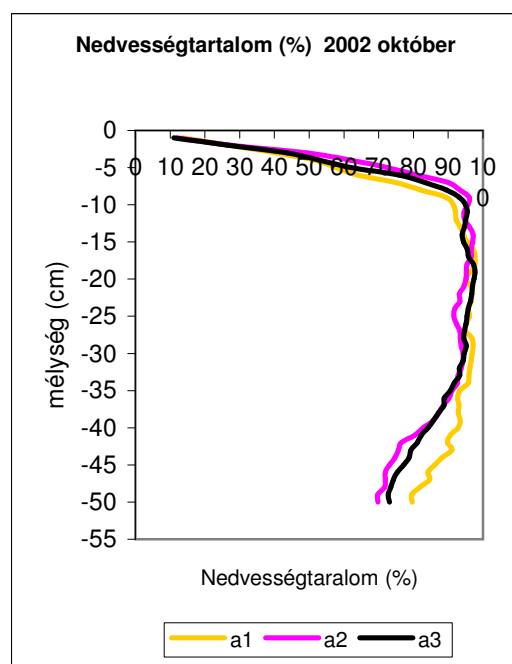
3. 1. Talajművelési tartamkísérlet

3.1.1. Kukoricában végzett talajállapot mérések

Az adatok értékelése során bebizonyosodott, hogy jelentős eltérés mutatkozik a különböző művelési módú talajok tömörödési értékeiben. Azt azonban figyelembe kell venni az eredmények értékelése során, hogy a kísérlet beállítása (1972) óta az ismétlések következtében feltehetően mindhárom művelési kezelés alatt óhatatlan romlott a talaj állapota.



14. ábra Penetrációs ellenállás 2002



15. ábra Nedvességtartalom 2002

A három vizsgálati év októberi mérési adatai összehasonlítása során azt tapasztalhatjuk, hogy a 2002-ben mért értékek voltak természetesi szempontból a legkedvezőbbek (14. ábra). Ebben az évben a penetrációs ellenállás értéke csak a minimális művelési mód esetében érte el és haladta meg kismértékben a káros (3,5 MPa) mértéket. Az A1

kezelés (hagyományos művelés) mérési eredményeit megvizsgálva láthatjuk, hogy a vizsgált mélységben a görbe sehol nem vesz fel olyan értéket, amelyből a talaj káros tömörödésére lehetne következtetni. Az A2 kezelés (minimum tillage) esetében annak ellenére, hogy nem történik szántás, a mérési adatok alapján következtethetünk az ún. művelőtalp réteg meglétére. Ez nagy valószínűséggel azzal magyarázható, hogy a kísérlet beállítása előtti időben vélhetően hagyományos, szántásra alapozott művelést folytattak a területen, amely során kialakulhatott a művelőtalp réteg. Mivel a kísérlet kezdete óta nem történt mélyebb talajművelés a parcellában a már meglévő tömörödés nem szűnt meg. Az A3 kezelésben (sekély tárcsás művelés) mért penetrációs ellenállás értékek az A1-ben mérteknél valamivel nagyobbak, de az A2-ben regisztráltaknál alacsonyabbak. A penetrációs ellenállás értékei a 30 cm mélység elérése után együtt futnak mindhárom talajművelési mód esetében, amely a talaj eredeti tulajdonságaival, ülepedési hajlamával, szerkezetével magyarázható.

A mérést megelőző csapadéknak köszönhetően a talaj a vizsgált mélységig beázott, így módon a mért talajnedvesség értékek magasak voltak (15. ábra).

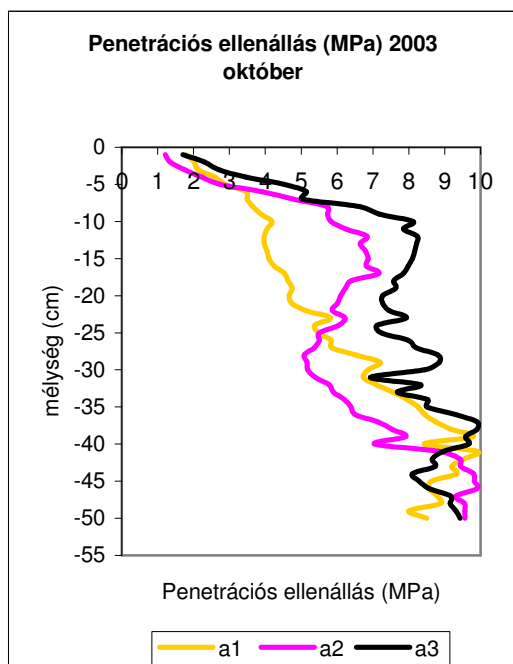
A **2002** őszen mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásának értékelésére regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet ($Y' = a + b_1x + b_2x^2$) illesztve közepesen szoros összefüggést találtunk, mind a három (A1, A2, A3) kezelésnél. A determinációs koefficiens (R^2) értékei alapján a hagyományos szántásos művelésnél a talaj nedvességtartalma 44%-ban, a minimális művelésnél 28%-ban, a sekély tárcsás művelésnél pedig 39%-ban határozta meg a penetrációs ellenállást. A négyzetes hatás mindegyik kezelésnél 0,1% szinten szignifikánsnak bizonyult. Az a ; b_1 ; b_2 ; R és R^2 értékek a következők voltak: A1 kezelés: $a = -3,3825$; $b_1 = 0,2175$; $b_2 = -0,0016$; $R = 0,6639$; $R^2 = 0,4407$. A2 kezelés: $a = -1,8285$; $b_1 = 0,1527$; $b_2 = -0,0010$; $R = 0,5341$; $R^2 = 0,2853$. A3 kezelés: $a = -2,1842$; $b_1 = 0,1698$; $b_2 = -0,0012$; $R = 0,6275$; $R^2 = 0,3937$.

A mechanikai ellenállás értékei között varianciaanalízis elvégzése után a következő összefüggéseket kaptuk: az A1 és A2 kezelés közötti különbség 5% szignifikancia szinten igazolt, az A1 és A3 kezelés közti különbség tendencia jellegű, statisztikailag

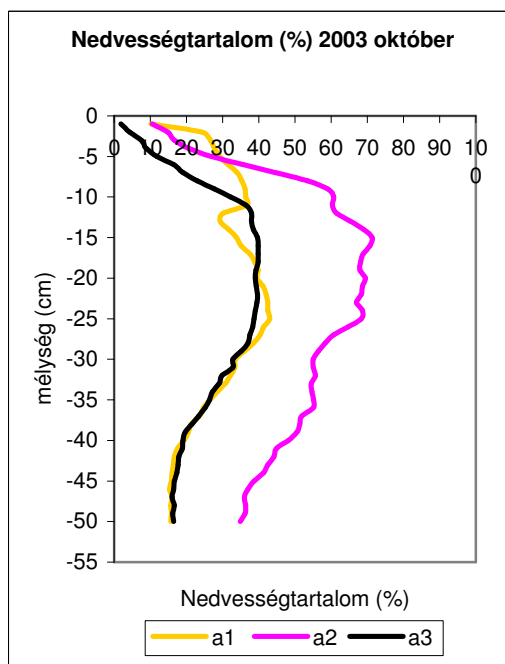
nem igazolható, az A2 és A3 kezelés közötti különbség 5% szignifikancia szinten igazolt. A penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során azt tapasztaltuk, hogy az A1 kezelésben az 1-25 cm és 26-50cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,24$ mellett 0,1% szinten igazolhatóan különböztek. Az A2 kezelésben az 1-10 cm és 11-15cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,39$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbség van. A 11-15cm és 16-20cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,45$ mellett a különbség tendencia jellegű, statisztikailag nem igazolt, a 16-20cm és 21-50 cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,34$ mellett 10% szignifikancia szinten igazolt különbséget találtunk. Az A3 kezelésnél 1-10cm és 11-25cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,24$ mellett 0,1% szinten igazolható különbség, 11-25cm és 26-50cm között $SzD_{5\%} = 0,19$ mellett pedig tendencia jellegű eltérést sikerült kimutatni. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 1-4. táblázatai tartalmazzák.

2003 októberi mérésnél (18. és 19. ábra) a vizsgált talajszelvényen belül mindhárom talajművelési mód esetében kiugró értékeket regisztráltunk. A hagyományos művelés esetében a penetrációs ellenállás értékeinek fokozatos emelkedése figyelhető meg. Míg az A2 illetve A3 kezeléseknél a behatolási ellenállás értéke a felső 10 cm-es rétegben eléri első maximumát, addig az A1 kezelésnél a görbe a maximumát csak a 40-50 cm-es mélységben éri el. A minimális művelési mód és a sekély tárcsás művelést vizsgálva a penetrációs ellenállás görbék lefutása hasonló, de az A3 kezelésnél kiugró értékek is előfordulnak

A nedvességtartalom penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásának elbírálására alkalmazott regresszió-analízis során azt tapasztaltuk, hogy az adatokra másodfokú egyenletet illesztve az A1 és A2 kezelésnél a két változó közti összefüggés közepes, míg az A3 kezelésnél szoros. Az egyenletek a ; b_1 ; b_2 és R értékei a következők voltak. A1 kezelés: $a = 12,0194$; $b_1 = -0,3063$; $b_2 = 0,0032$; $R = 0,5188$. A2 kezelés: $a = -3,2265$; $b_1 = 0,4465$; $b_2 = -0,0046$; $R = 0,6440$. A3 kezelés: $a = 0,0196$; $b_1 = 0,6515$; $b_2 = -0,0117$; $R = 0,7972$. A determinációs koefficiens értékei alapján a hagyományos szántásos művelésnél a talaj nedvességtartalma 26%-ban, a minimális művelésnél 41%-ban, sekély, tárcsás művelésnél pedig 63%-ban határozta meg a penetrációs ellenállást. A négyzetes hatás az A2 és A3 kezelésnél 0,1% szinten szignifikánsnak bizonyult, ezzel szemben az A1 kezelés esetében nem volt statisztikailag igazolható.



18. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 október október



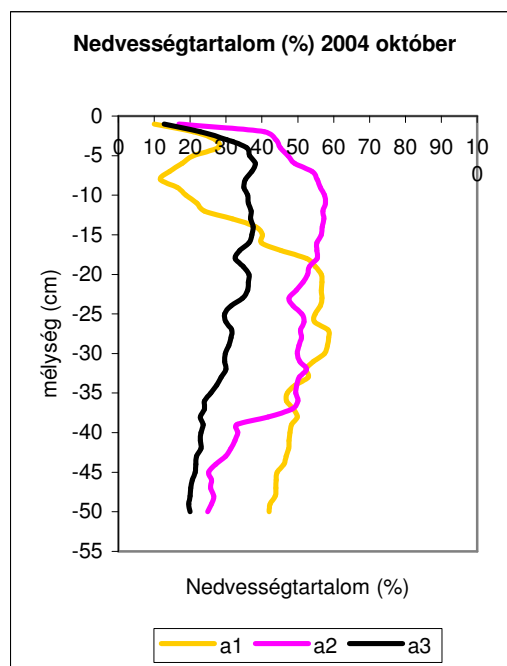
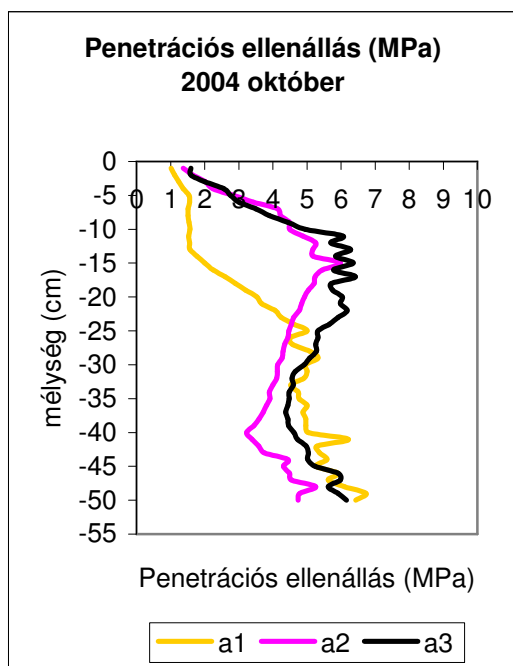
19. ábra. Nedvességtartalom 2003

Varianciaanalízissel értékelve a mechanikai ellenállás értékeit azt az összefüggést kaptuk, hogy az A1 és A3 kezelések között 5% szignifikancia szinten igazolt különbség mutatható ki. Az A1 és A2, valamint az A2 és A3 kezelések közötti különbség tendencia jellegű, statisztikailag nem igazolható. Hagyományos, szántásos művelésnél a pentrogram alapján meghatározott rétegek (1-25cm és 26-50cm) ellenállás értékei között $SzD_{5\%} = 0,63$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbség van. Minimális művelésnél az 1-12cm és 13-17cm rétegek közötti eltérés $SzD_{5\%} = 1,58$ mellett 0,1% szinten igazolt. 13-17cm és 18-25cm talajrétegek penetrációs ellenállás értékei között a különbség tendencia jellegű, statisztikailag nem igazolható, $SzD_{5\%} = 1,56$ mellett. A 18-25cm és 26-50cm rétegek között az ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 1,06$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolhatóan különböznek. A sekély, tárcsás művelési módnál a választott rétegek varianciaanalízise során a következő eredményeket kaptuk: az 1-10cm és 11-25cm rétegek közötti különbség $SzD_{5\%} = 0,90$ mellett 0,1% szinten igazolt. A 11-25 cm és 26-30 cm rétegek ($SzD_{5\%} = 1,14$), a 26-30cm és 31-37cm rétegek ($SzD_{5\%} = 1,29$), valamint a 31-37 és 38-50cm rétegek ($SzD_{5\%}$

= 1,03) közötti különbség tendencia jellegű, statisztikailag nem igazolható. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 5-8. táblázatai tartalmazzák.

2004 októberében a legkedvezőbb állapot egyértelműen a hagyományos szántásos művelésben tapasztalható (20. és 21. ábrák). A minimális és a sekély tárcsás művelési módnál hasonló lefutású görbéket láthatunk, de az A3 kezelés esetében az értékek mintegy 1 M Pa-lal magasabbak. A görbék lefutása mindhárom kezelés esetében a 2003-as októberi méréshez hasonló, de az előző évihez képest sokkal kedvezőbbek, alacsonyabbak a penetrációs ellenállás értékei. Ez a jelenség a kedvezőbb csapadékellátottsággal, a talaj nagyobb nedvességtartalmával magyarázható.

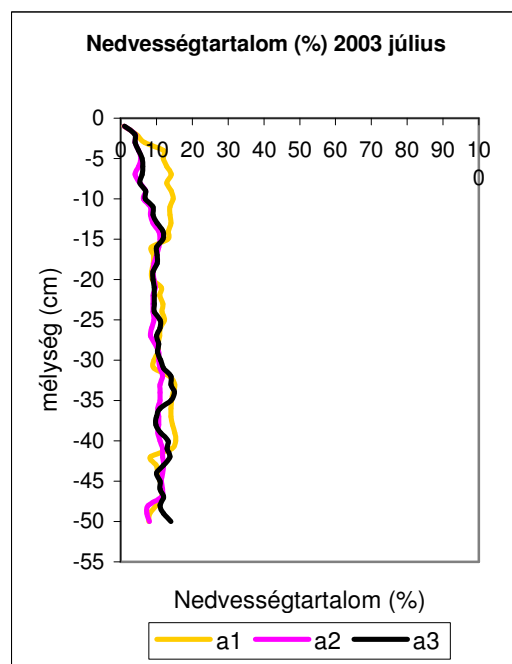
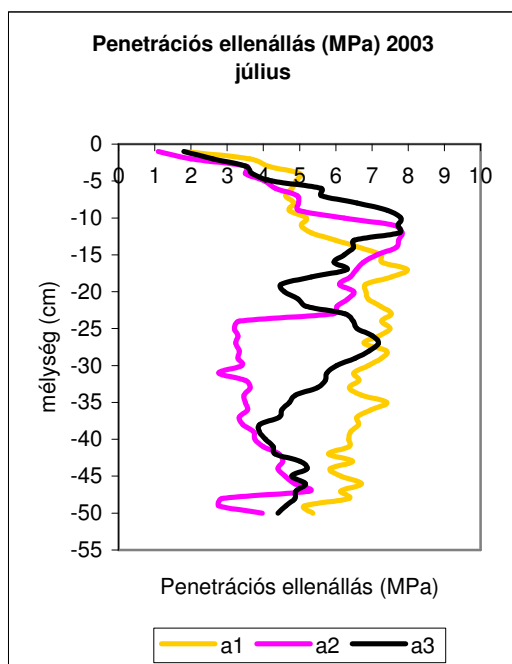
Az elvégzett regresszió-analízis kimutatta, hogy az A1 kezelésben a korrelációs koefficiens ($R=0,76$) értéke alapján a nedvességtartalom és a mechanikai ellenállás közti kapcsolat szoros, a nedvesség 58%-ban határozza meg az ellenállást. Az egyenlet a ; b_1 ; b_2 értékei a következők voltak: $a = -1,8822$; $b_1 = 0,2184$; $b_2 = -0,0018$. Az A2 kezelésben közepes összefüggést mutattunk ki ($R= 0,51$), a nedvesség 26%-ban determinálja az ellenállást ($a = 7,4783$; $b_1 = -0,2283$; $b_2 = 0,0032$). Az A3 kezelésben, laza kapcsolatot találtunk, a nedvesség csupán 5%-ban határozta meg a mechanikai ellenállást ($a = 0,7128$; $b_1 = 0,2773$; $b_2 = -0,0044$).



20. ábra Penetrációs ellenállás 2004 október 21. ábra. Nedvességtartalom 2004 október

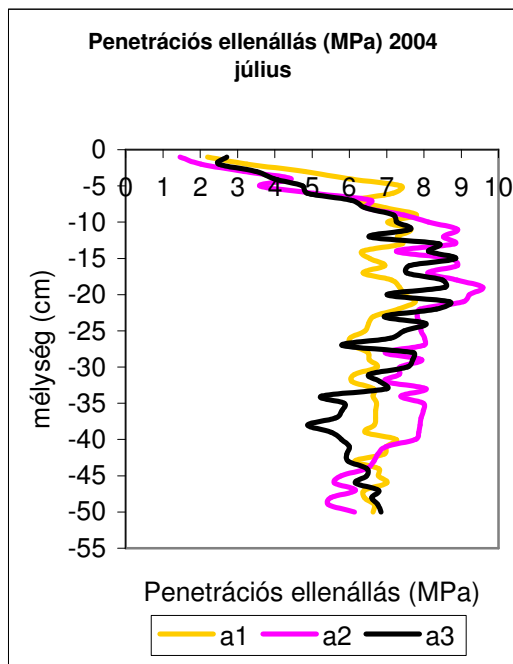
A vizsgált művelési módok penetrációs ellenállás értékeinek rétegenkénti elemzésénél a következő eredményeket kaptuk: az A1 kezelésnél az 1-5 cm és 6-13cm rétegek között a különbség statisztikailag nem igazolható tendencia jellegű, $SzD_{5\%} = 0,88$ mellett. A 6-13cm és 14-29cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,67$ mellett 0,1 % szinten igazolhatóan különböznek. A 14-29cm és 30-50cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,51$ mellett szintén 0,1% szinten igazolható különbség mutatható ki. Az A2 kezelésben a penetrogram alapján választott rétegek ellenállás értékei között tendencia jellegű különbséget mutattunk ki. Az A3 kezelésben az ellenállás görbe alapján meghatározott rétegek a következők voltak: 1-10cm; 11-15cm; 16-20cm; 21-50cm. Az 1-10cm és 11-15cm, valamint a 11-15cm és 16-20cm rétegek között $SzD_{5\%} = 2,80$ és $SzD_{5\%} = 2,50$ mellett 5% szinten igazolható különbséget mutattunk ki. A 16-20cm és 21-50cm rétegek között tendencia jellegű volt a különbség. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 9-11. táblázatai tartalmazzák.

A **2003 és 2004** évek **júliusi** méréseinél (22., 23., 24. és 25. ábrák) mindhárom művelési eljárás esetében kiugró penetrációs ellenállás értékeket regisztráltunk, amelyből a talajellenállás nagymértékű növekedésére lehet következtetni. A talaj nyári kiszáradása miatt a júliusban mért értékek nagyobbak mint az októberben mérték. Megállapítható, hogy aszályos időszakban (2003) a talajművelési változatok hatása nem jelentős. A vizsgált mélységben egyöntetűen magas penetrációs ellenállás értékeket regisztráltunk.

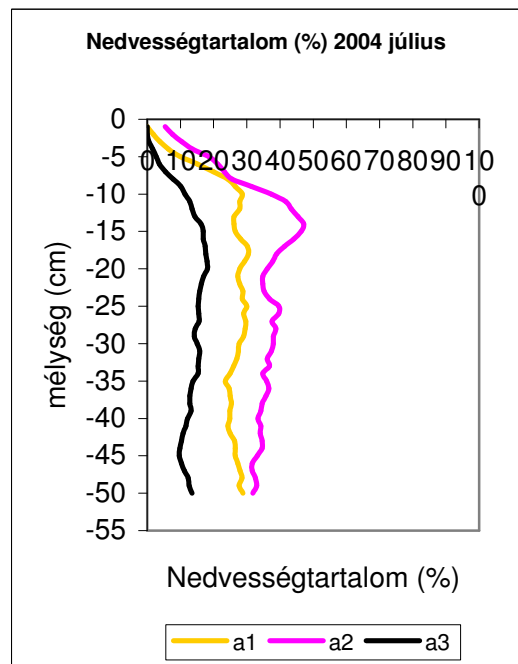


22. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 július 23. ábra. Nedvességtartalom 2003 július

A nedvességtartalom mechanikai ellenállásra gyakorolt hatásának vizsgálatakor **2003.júliusban** mindhárom kezelésnél közepesen szoros összefüggést mutattunk ki. A determinációs koefficiens (R^2) értékeiből kitűnik, hogy hagyományos és tárcsás művelésnél a nedvesség 44%-ban, minimális művelésnél 17%-ban határozza meg a behatolási ellenállást. A négyzetes hatás az A1 és az A3 kezelésben 0,1% szignifikancia szinten igazolható. A másodfokú egyenletek a következők voltak. A1 kezelés: $Y' = 0,4387 + 1,1059x + -0,0496x^2$. A2 kezelés: $Y' = -0,3859 + 1,3063x + -0,0781x^2$. A3 kezelés: $Y' = 0,4387 + 1,1059x + -0,0496x^2$.



24. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 július



25. ábra Nedvességtartalom 2004 július

2003 júliusában az A1 és A2 kezelés penetrációs ellenállás értékei között 5% szignifikancia szinten igazolt különbség mutatható ki. Az A1 és A3, valamint az A2 és A3 kezelések között a különbség tendencia jellegű, statisztikailag nem igazolt. A penetrogarmok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során azt tapasztaltuk, hogy az A1 kezelésben az 1-5cm és 6-10cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,95$ mellett 10% szignifikancia szinten igazolhatóan különböztek. A 6-10cm és 11-17cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,88$ mellett 0,1% szinten igazolható különbség volt. A 11-17cm és 18-50cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,62$ mellett tendencia jellegű, matematikailag nem igazolható különbség található. Az A2 kezelésben az 1-13cm és 14-20cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 1,20$ mellett 1% szignifikancia szinten különböznek. A 14-20cm és 21-25cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,50$ mellett 5%-os szinten igazolható különbség figyelhető meg. A 21-25cm és 26-50cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,26$ mellett 10% szinten igazolható a különbség. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 12-14. táblázatai tartalmazzák.

2004. júliusi mérési adatok statisztikai értékelése a következő eredményeket hozta: Regresszió-analízissel kimutattuk, hogy mindhárom kezelésnél (A1, A2, A3) szoros összefüggés volt a talaj nedvességtartalma és penetrációs ellenállása között. Az R^2 értékei alapján elmondható, hogy az A1 kezelésben a nedvesség 68%-ban, az A2 kezelésben 78%-ban, az A3 kezelésben pedig 67%-ban determinálta az ellenállást. A négyzetes hatás hagyományos művelésnél 0,1% szinten, minimális művelésnél 10% szinten bizonyult szignifikánsnak, tárcsás művelésnél statisztikailag nem volt igazolható. Az egyenletek a ; b_1 ; b_2 és R értékei a következők voltak. A1 kezelés: $a = -1,8822$; $b_1 = 0,2184$; $b_2 = -0,0018$; $R = 0,8302$. A2 kezelés: $a = 0,2393$; $b_1 = 0,2716$; $b_2 = -0,0019$; $R = 0,8888$. A3 kezelés: $a = 3,3597$; $b_1 = 0,3122$; $b_2 = -0,0038$; $R = 0,8190$. Hagományos szántásos művelés esetén a penetrogram alapján kiválasztott rétegek közül az 1-5cm és 6-15cm rétegek között találtunk $SzD_{5\%} = 0,80$ mellett 0,1% szinten igazolható különbséget. A többi réteg (6-15cm és 16-21cm, 16-21cm és 22-26cm, 22-26cm és 27-50cm) penetrációs ellenállás értékei között az eltérés tendencia jellegű, statisztikailag nem igazolható. Minimális művelési módnál az 1-10cm és 11-15cm rétegek összehasonlításakor $SzD_{5\%} = 1,41$ mellett 0,1% szinten igazolható különbséget találtunk. A 11-15cm és 16-20cm rétegek statisztikailag igazolhatóan nem különböztek. A 16-20 és 21-50cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,24$ mellett 1% szignifikancia szinten igazolt különbséget találtunk. Tárcsás művelés esetében az 1-10cm és 11-15cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,23$ mellett 0,1% szinten igazolható különbség van. A 11-15cm és 16-20cm rétegek közötti különbség statisztikailag nem igazolható ($SzD_{5\%} = 1,42$). A 16-20cm és 21-50cm rétegek közötti különbség $SzD_{5\%} = 1,09$ mellett 5% szinten szignifikáns volt. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 15-17. táblázatai tartalmazzák.

Az októberi mérések talajnedvesség adatai mindegyik vizsgált évben kedvező értéket mutatnak. 2003-ban az A2 kezelésben mértük a legmagasabb nedvesség értéket, amely azzal magyarázható, hogy a kukorica termése ebben a kezelésben volt a legalacsonyabb, a növény innen vonta el a legkevesebb nedvességet. 2004-ben, hasonlóan az előző év adataihoz, a minimális művelésű területen mértük a legmagasabb, a sekély tárcsás művelésű területen pedig a legalacsonyabb talajnedvesség értékeket.

A júliusban mért talajnedvesség értékek a 2003. évben voltak rendkívül alacsonyak. Ezek az értékek, különösen 2003-ban, az aszályal, illetve ennek következtében a talaj nyári kiszáradásával magyarázhatók. A csapadékosabb 2004-es évben ettől jelentős eltérést állapítottunk meg. Legnagyobb nedvességet az A2 kezelésben, a legalacsonyabbat pedig az A3 kezelésben mértünk.

A mérési eredményekből arra lehet következtetni, hogy aszályos időszakban a talaj kiszáradása általános. A különböző talajművelési változatok között jelentős eltérés nem adódik.

Vélhetően a nyári aszályos időszak miatt a 2003-as évben júliusban és októberben is magasabbak voltak a talajellenállás értékei mindhárom talajművelési módnál. A szárazság csökkenti a kímélő talajművelés pozitív hatását. Ugyanakkor a minimális és a sekély művelés ellenállás értékei alacsonyabbak a szántott talajénál.

Az októberi mérések során a három talajművelési mód közül a hagyományos szántásos művelésnél volt a legkevésbé tömörödött a talaj. A tárcsás művelésnél tapasztalt legmagasabb tömörödési értékekhez alacsonyabb nedvességtartalom tartozik.

A fenti összefüggéseket igazolandó a 2002 - 2004 vizsgálati évek szemterméseredményeit (t/ha) az alábbiakban szemléltetjük:

Évek	Művelés				SzD(A) 5%
		A1	A2	A3	
2002	Talajállapot	jó	jó	jó	
	Termés	6,428	5,872	6,285	0,385
2003	Talajállapot	tömődött	tömődött	tömődött	
	Termés	4,140	3,061	3,548	0,137
2004	Talajállapot	megfelelő	megfelelő	megfelelő	
	Termés	7,717	6,935	7,401	0,426

2.táblázat terméseredmények 2002-2004, talajművelési kísérlet, kukorica

A kukorica termésére az egyes talajművelési kezelésekből a műtrágya változatok átlagában mind az aszályos, mind pedig az átlagosnak megfelelő évjáratban

szignifikánsan különbözött a következő sorrendben: A1 – A3 – A2, vagyis a szántásos alpművelés szignifikánsan a legnagyobb termést adta a változatok közül, míg a no till rendszer a legkevesebbet. A száraz és a normál évjárat között a termésszint mintegy 50% - os eltérést mutatott. A talajnedvesség és tömörödés hatásán túl a művelési módtól függő gyomosodás is jelentős szerepet játszik, amely gyomvizsgálatokat ugyanebből a kísérletből publikálásra kerültek. A fent említett vizsgálatok kimutatták, hogy a minimális művelési módnál volt a legtöbb (12), a hagyományos szántásos művelésnél, pedig a legkevesebb (7) gyomfaj. A gyomborítottság szignifikánsan nagyobb volt a minimális művelésnél. A szántásos műveléshez viszonyítva 12,5 szerez volt a gyomborítottság a minimális művelésnél. A N ellátottságtól függően változott a termés mennyisége és a gyomelnyomó képesség is (*Lehoczky et al. 2004*).

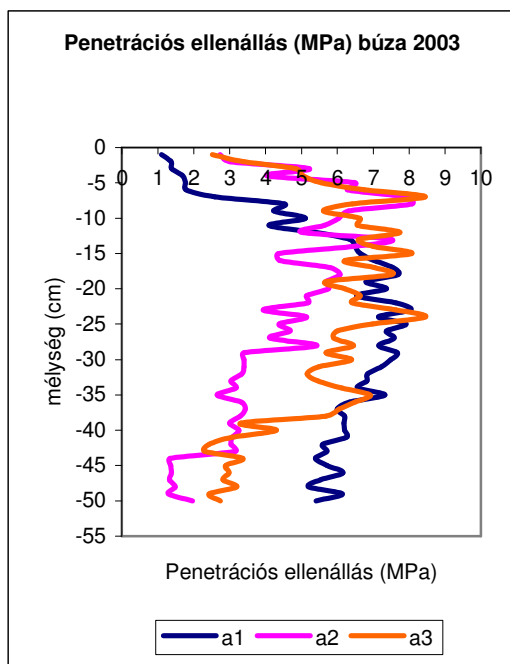
A vizsgálat éveinek mérési adatait összevetve elmondható, hogy hagyományos szántásos művelésnél a mért penetrációs ellenállás értékek 2002 és 2003-ban $SzD_{5\%} = 0,38$ mellett 0,1% szignifikancia szinten különböztek egymástól. 2002 és 2004-ben $SzD_{5\%} = 0,33$ mellett szintén 0,1% szinten igazolt különbséget mutattunk ki. 2003 és 2004 évek mérési adatai pedig $SzD_{5\%} = 0,43$ mellett 10% szinten különböztek.. A nedvességtartalom értékek 2002 és 2003 években $SzD_{5\%} = 5,18$ mellett, 2002 és 2004 években $SzD_{5\%} = 5,51$ mellett, 2003 és 2004 években pedig $SzD_{5\%} = 2,21$ mellett 0,1 % szinten igazolhatóan különböztek egymástól. Minimális művelési módnál - összehasonlítva a vizsgálati éveket - mind a penetrációs ellenállás, mind a nedvességtartalom értékek 0,1% szignifikancia szinten igazolható eltérést mutattak. Sekély, tárcsás művelési módnál a mechanikai ellenállás értékei mindhárom kombinációban (2002-2003; 2002-2004; 2003-2004) 0,1% szinten igazolható különbséget mutattak. A talaj nedvességtartalma 2002 és 2003 években $SzD_{5\%} = 5,09$, 2002 és 2004 években $SzD_{5\%} = 5,21$ mellett 0,1% szinten szignifikánsan különbözött. 2003-2004 évek nedvesség adatai egymástól $SzD_{5\%} = 1,59$ mellett 1% szinten különböztek. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 18-23. táblázatai tartalmazzák.

3.1.2. Az őszi búzában végzett talajállapot mérések

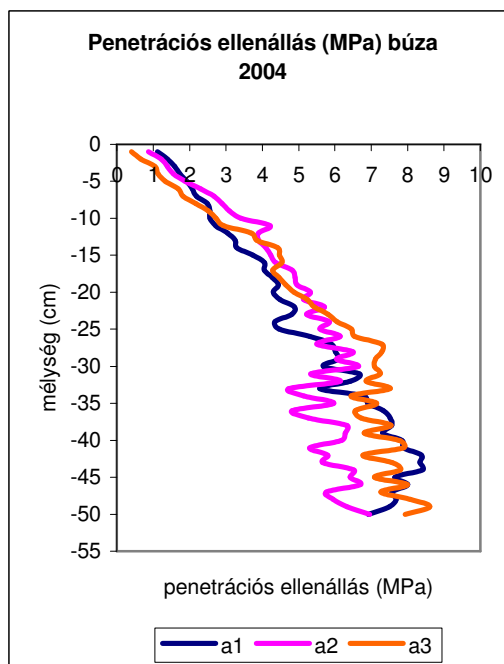
A vizsgált két év (2003 és 2004) mérési eredményeit tekintve elmondható, hogy a különböző művelési módok között jelentős eltérés nem mutatkozik a talajállapot tekintetében, amelyet a penetrációs ellenállás értékei is igazolnak. A nedvességtartalom vizsgálat során a három kezelés között érzékelhető különbség volt.

A vizsgálat elvégzésére az őszi búza betakarítása után július hónapban került sor mindhárom kezelésben, még a tarlóhántás elvégzése előtt.

2003-ban amely, csapadékhiányos év volt a mért penetrációs ellenállás értékek nagyon magasak voltak (26. ábra). A felső 10 cm-es rétegben már megtalálhatók a tömörödésre utaló jelek. Ez alól egyedül a szántásos művelés (A1) képez kivételt, itt ugyanis a káros 3,5 MPa-t „csak” ez alatt a mélység alatt éri el a görbe. A minimális művelés (A2) ellenállás értékei kedvezőbbek, 20cm-től csökkenni kezdenek az ellenállás értékek. A görbék hasonló lefutásúak, mint a kukorica növénynél rögzítettek, de itt magasabbak az értékek.



26. ábra Penetrációs ellenállás búza 2003



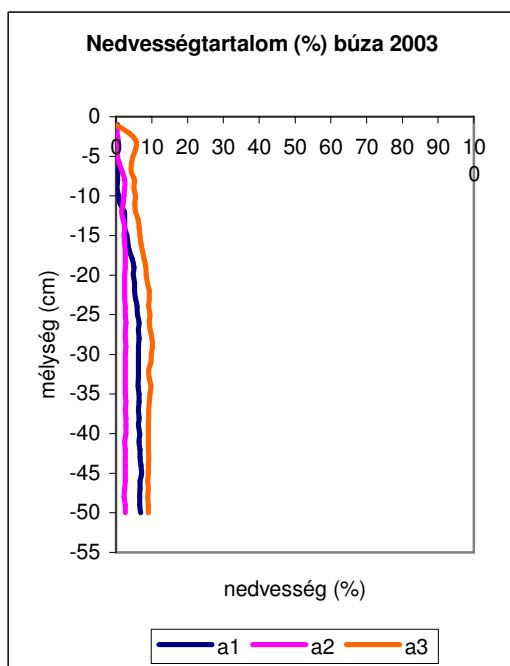
27. ábra. Penetrációs ellenállás búza 2004

Összehasonlítva a 2004-es adatokkal feltehetően a szárazság miatt az egész talajszelvényben kedvezőtlen, nagy ellenállás értékek figyelhetők meg.

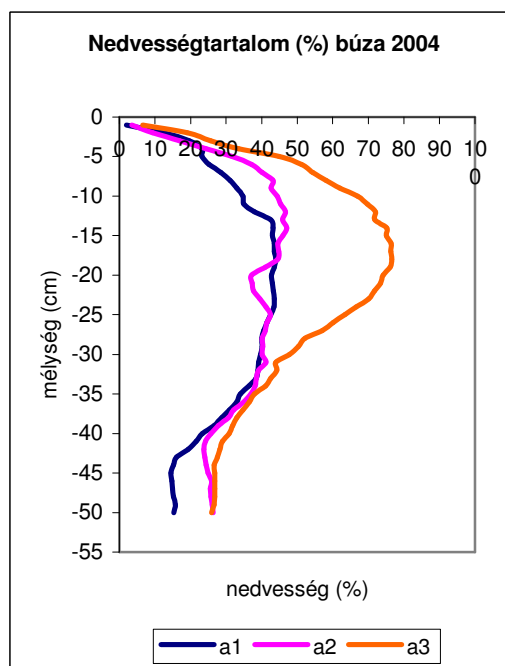
2004 hasonló időszakában (betakarítás után, tarlóhántás előtt) kedvezőbb tömörödési képet mutat mindhárom művelési mód (27. ábra). Ebben az évben a káros tömörödés határértékét kb. 15 cm mélységben éri el az ellenállás. A legkevésbé tömör az A1, leginkább tömör pedig az A2 kezelés talaj volt. A vizsgálat mélységéig a penetrációs ellenállás folyamatos emelkedése tapasztalható.

A nedvességtartalom vizsgálatoknál mindkét évben, eltérések figyelhetők meg a különböző művelési módok között (28 és 29. ábrák).

2003-ban az aszály következtében mindegyik kezelésnél rendkívül alacsony 10 % alatti nedvességet mértem. A leromlott talajállapot és a tömörödés miatt az A2 kezelésnél kevesebb vizet volt képes befogadni a talaj, ebből következően alacsonyabb nedvességtartalom volt mérhető. 2004-ben az A1 és A2 kezelések estében a görbék hasonló lefutásúak, tehát lényeges eltérés nem mutatható ki e két kezelés között nedvesség-megőrzési szempontból a vizsgálat évében



28. ábra. Nedvességtartalom búza, 2003



29. ábra. Nedvességtartalom búza, 2003

A 35 cm mélység elérését követően a három görbe lefutása hasonló.

Az adatok értékelésénél is figyelembe kell venni, hogy a kísérlet beállítása óta feltehetően romlott a talaj állapota a művelések ismétlése miatt.

A mért talajnedvesség értékek mechanikai ellenállásra gyakorolt hatásának elbírálására regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve a következő eredményt kaptuk: **2003**-ban hagyományos művelési módnál az $Y' = 1,6496 + 2,6057x + -0,2878x^2$ egyenlet alapján igen szoros összefüggést találtunk ($R = 0,9163$). A determinációs koefficiens szerint a nedvességtartalom 83%-ban határozta meg a penetrációs ellenállás értékét. A négyzetes hatás 0,1% szignifikancia szinten igazolt. Az A2 kezelésnél, ahol $a = 2,9087$; $b_1 = 4,8577$; $b_2 = -1,7392$, közepesen szoros összefüggést találtunk a két változó között ($R = 0,4924$). Az R^2 érték szerint a nedvesség 24%-ban determinálta az ellenállást. A négyzetes hatás 1% szinten igazolt. Sekély, tárcsás művelésnél (A3) a regresszió-analízis laza összefüggést ($R = 0,3283$) mutatott a két változó között. A másodfokú egyenletben a konstansok a következők voltak: $a = 2,8691$; $b_1 = 1,1051$; $b_2 = -0,0919$. A determinációs koefficiens alapján a nedvességtartalom 10%-ban határozta meg a mechanikai ellenállást. A négyzetes hatás 5% szignifikancia szinten igazolt. **2004**-ben az A1 kezelésnél (hagyományos művelés) laza összefüggés volt a nedvességtartalom és az ellenállás között ($a = 3,8712$; $b_1 = 0,1750$; $b_2 = -0,0038$; $R = 0,2744$; $R^2 = 0,0753$). A négyzetes hatás nem bizonyult szignifikánsnak. Az A2 kezelésnél (minimális művelés) a talaj nedvességtartalma és penetrációs ellenállása között közepesen szoros összefüggést találtunk ($a = -1,5799$; $b_1 = 0,4559$; $b_2 = -0,0072$; $R = 0,5936$). A determinációs koefficiens alapján a nedvesség 35%-ban határozta meg az ellenállás értékét. A négyzetes hatás 0,1% szignifikancia szinten igazolt. Az A3 kezelésnél (sekély, tárcsás művelés) szintén közepesen szoros összefüggést találtunk a két változó között. A négyzetes hatás 1% szinten igazolt. A másodfokú egyenletben szereplő konstansok és az R , illetve R^2 értékek a következők voltak: $a = 2,3526$; $b_1 = 0,1873$; $b_2 = -0,0022$; $R = 0,3808$; $R^2 = 0,1450$.

A mechanikai ellenállás értékei között varianciaanalízis elvégzése után a következő összefüggéseket kaptuk: 2003-ban, $SzD_{5\%} = 0,75$ mellett az A1 és A2 kezelések között, valamint az A2 és A3 kezelések között szignifikáns különbség van. Az A1 és A3 kezelések között a különbség tendencia jellegű, statisztikailag nem igazolt. 2004-ben,

$SzD_{5\%} = 0,83$ mellett a kezelések között tendencia jellegű eltérést mutattunk ki, mely statisztikailag nem igazolt.

A penetrogarmok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során 2003-ban azt tapasztaltuk, hogy az A1 kezelésben az 1-5cm és 6-18cm rétegek penetrációs ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 4,05$ mellett 10% szinten igazolhatóan különböznek. A 6-18cm és 19-30cm, valamint a 19-30cm és 31-50cm rétegek ellenállás értékei között tendencia jellegű különbséget találtunk. Az A2 kezelésben az 1-8cm és 9-25cm rétegek ellenállás értékei matematikailag igazolható módon nem különböznek. A 9-25cm és 26-32cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,75$ mellett 0,1% szinten igazolható különbség van. A 26-32cm és 33-50cm rétegek közötti eltérés $SzD_{5\%} = 0,74$ mellett, ugyancsak 0,1% szignifikancia szinten igazolható. Az A3 kezelésben az 1-7cm és 8-19cm rétegek mechanikai ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,96$ mellett 1% szinten igazolhatóan különböznek egymástól. A 8-19cm és 20-25cm, valamint a 26-35cm és 36-40cm rétegek közötti eltérés tendencia jellegű, matematikailag nem igazolható. A 20-25cm és 26-35cm rétegek penetrációs ellenállás értékei között $SzD_{5\%} = 1,04$ mellett 5% szignifikancia szinten igazolható különbség van. A 36-40cm és 41-50cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,11$ mellett 0,1% szinten igazolható különbséget találtunk.

2004-ben a penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise a következő eredményt hozta: az A1 kezelésben (hagyományos művelés) az 1-10cm és 11-25cm, valamint a 11-25cm és 26-50cm rétegek penetrációs ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,65$, és $0,52$ mellett 0,1% szinten szignifikánsan különböznek. Az A2 kezelésben (minimális művelés) az 1-5cm és 6-10cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,89$ mellett 1% szignifikancia szinten igazolható különbség van. A 6-10cm és 11-30cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,70$ mellett 0,1% szinten igazolhatóan különböznek. A 11-30cm és 31-50cm rétegek közötti különbség $SzD_{5\%} = 0,44$ mellett 1% szinten szignifikáns. Az A3 kezelésben (sekély, tárcsás művelés) az 1-5cm és 6-10cm, valamint a 11-30cm és 31-50cm rétegek ellenállás értékei között tendencia jellegű különbség figyelhető meg, amely matematikailag nem igazolható. A 6-10cm és 11-30cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,87$ mellett 5% szignifikancia szinten igazolható különbség van. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 24-31. táblázatai tartalmazzák.

A terméseredmények vizsgálata során a különböző művelési módok között szignifikáns különbség figyelhető meg, mindkét vizsgálati évben a következő sorrendben: A1 – A2 – A3. A kukorica terméseihez hasonlóan a búza is a szántásos művelésben adta a legnagyobb és a no till rendszerben a legalacsonyabb termést. A normál évjáratban (2004) a termésszint mintegy 35 %-kal magasabb volt, mint az aszályos évben (2003).

A 2003 és 2004 vizsgálati évek szemterméseredményei (t/ha) az alábbiakban láthatók:

Évek	Művelés				SzD(A) _{5%}
		A1	A2	A3	
2003	Talajállapot	Tömődött	Tömődött	Tömődött	
	Termés	4,18	3,53	3,88	0,20
2004	Talajállapot	Megfelelő	Ülepedett	Megfelelő	
	Termés	5,82	5,54	5,73	0,21

3. táblázat. Terméseredmények 2003, 2004 talajművelési kísérlet, őszi búza

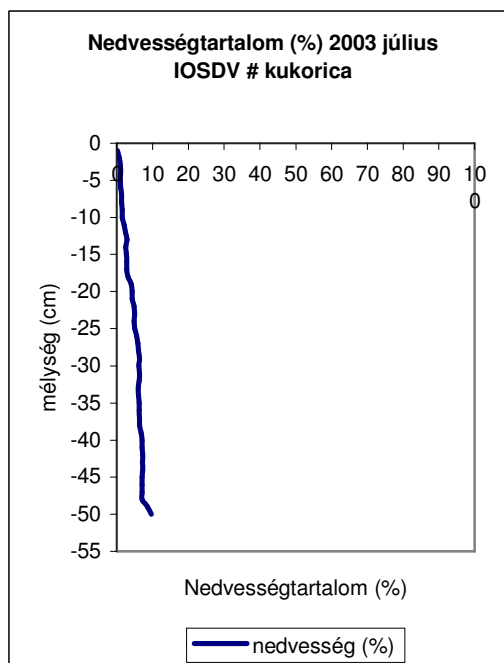
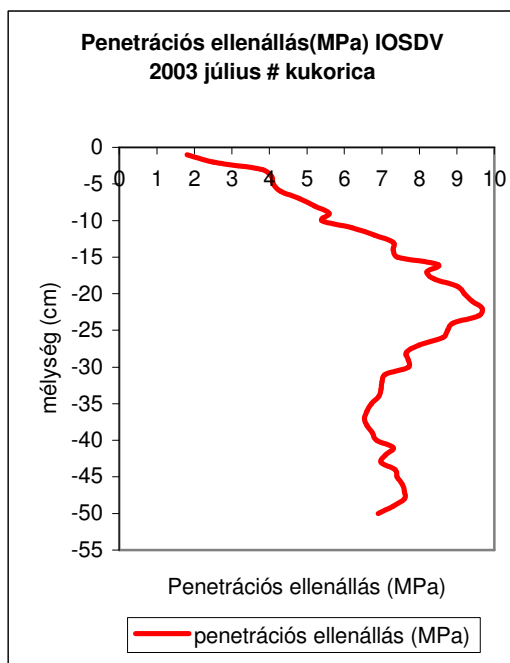
Összehasonlítva a két növény alatti talajállapotot elmondható, hogy a 2003-as aszályos évben a penetrációs ellenállás értékeiben nem látszik jelentős különbség, viszont 2004-ben őszi búzánál kedvezőbb állapotra lehet következtetni a mérési eredmények alapján. A talaj nagyfokú kiszáradása miatt a vizsgálat első évében a nedvességtartalom értékek mindkét növénynél hasonlóak, és rendkívül alacsonyak voltak. Az átlagos évjáratban kukoricánál a minimális művelés bizonyult nedvességtartalom szempontjából legkedvezőbbnek, ellenben búza esetén a sekély tárcsás művelési mód. A terméseredmények összevetéséből kitűnik, hogy mindkét növény a hagyományos szántásos művelés esetén vagyis a legkevésbé kedvezőtlen talajállapotnál hozta a legtöbb termést és a minimális művelésnél összhangban az ülepedett állapottal a legkevesebbet.

3. 2. IOSDV tartamkísérlet

3. 2. 1. A kukoricában végzett talajállapot mérések

A mérési eredmények tekintetében megállapítható, hogy **2003** júliusában (30. és 31. ábra) már a 4 cm-es mélységben 4,06 MPa-os értéket vesz fel a mechanikai ellenállás, majd folyamatos emelkedés tapasztalható, 9,68 MPa-lal éri el a maximumát a görbe 22cm-nél, ebből művelőtalp réteg meglétére következtethetünk. Utána enyhe csökkenés figyelhető meg, de végig magas értéket vesz fel, a legkisebb ellenállás érték 37cm-nél figyelhető meg, itt 6,54 MPa. Innen, a vizsgált mélységig a 6,6-7,6 MPa között ingadozik a penetrációs ellenállás. A rendszeresen művelt rétegben a nagy ellenállás értékekből a művelőtalp réteg meglétére lehet következtetni.

A mért nedvességtartalom értékek a 10 v%-ot sem érik el, itt is megfigyelhető, mint a többi kísérletben is az aszály negatív hatása, a rendkívül alacsony nedvességtartalom is közrejátszik abban, hogy a penetrációs ellenállás ilyen nagy volt a méréskor.

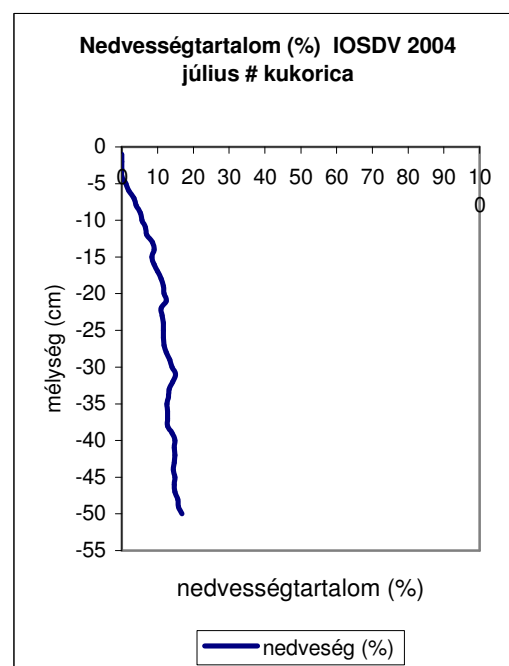
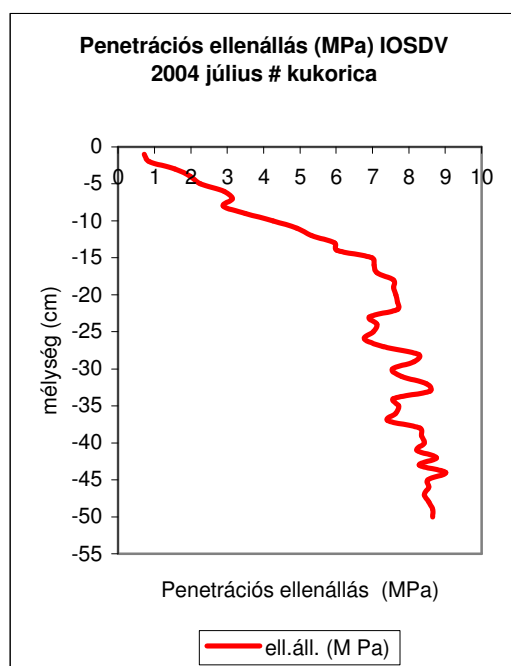


30. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 július 31. ábra. Nedvességtartalom 2003 július

A mért nedvességtartalom értékek talajtömörödésre gyakorolt hatásának értékelésére regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve szoros összefüggést ($R = 0,8631$) találtunk ($Y' = 2,6636 + 1,0671x + -0,0566x^2$). A determinációs koefficiens értéke szerint a nedvesség 74%-ban határozza meg az ellenállást. A négyzetes hatás 1% szinten szignifikánsnak bizonyult. A penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során azt tapasztaltuk, hogy az 1-5cm és 6-18cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,96$ mellett 0,1% szinten igazolható különbség van. A 6-18cm és 19-30cm rétegek $SzD_{5\%} = 0,67$ mellett 10% szignifikancia szinten mutatnak eltérést. A 19-30cm és 31-50cm rétegekben mért ellenállás értékek $SzD_{5\%} = 0,71$ mellett 1% szinten különböznek egymástól. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 32. táblázata tartalmazza.

A **2004** júliusában mért penetrációs ellenállás értékek, az előző évihez hasonlóan szintén nagyok voltak. A kritikus 3,5 MPa-t 10 cm mélyen éri el az ellenállás, 20-50 cm kiemelkedően magasak a mért értékek (32. ábra).

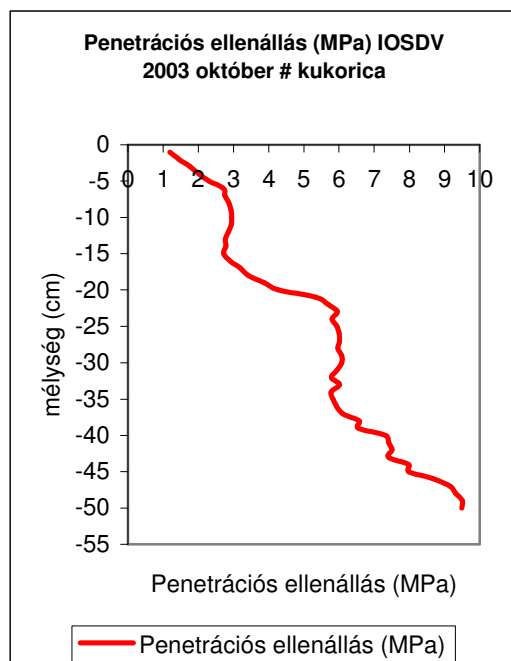
A talaj nedvességtartalma 2004 júliusában kisebb, mint a talajművelési kísérletben, a monokultúrában mértékhez hasonlatos. 15-18 v%-ot nem haladja meg (33. ábra). Az alacsonyabb nedvességtartalom feltehetően azzal magyarázható, hogy nagyobb volt a termés, több vizet vett fel a növényzet.



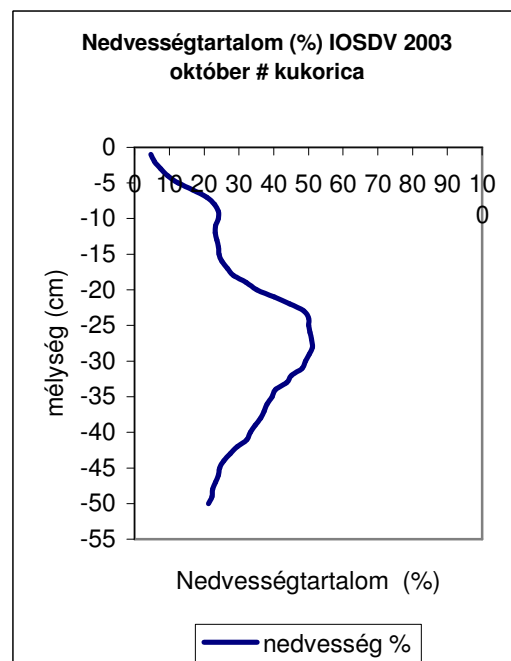
32. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 július 33. ábra. Nedvességtartalom 2004 július

Regresszió-analízis elvégzésekor a nedvesség és a behatolási ellenállás között igen szoros ($R = 0,9829$) összefüggést találtunk ($Y' = 1,1786 + 0,6934x + -0,0137x^2$). Az R^2 érték alapján a talaj nedvességtartalma 96%-ban determinálja az ellenállás értékét. A négyzetes hatás nem bizonyult szignifikánsnak. Rétegelemzés során a tömörödési diagram alapján meghatározott rétegek (1-5cm; 6-18cm; 19-30cm; 31-50cm) közül $SzD_{5\%} = 1,57$ mellett a felső két réteg közötti eltérés volt 1% szinten szignifikáns. A többi réteg különbsége tendencia jellegű, matematikailag nem igazolható. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 33. táblázata tartalmazza.

2003 októberben (34. ábra) 20 cm-nél éri el a penetrációs ellenállás a kritikus 3,5 MPa-os értéket, a 20-37 cm-ig megfigyelhető egy művelőtalp réteg, melyben az ellenállás értéke 6 MPa körüli. A 38-50 cm rétegben a mechanikai ellenállás folyamatosan emelkedik az ülepedettség, illetve a talaj természetes tömörsége miatt. Magágykészítési hibára utaló jeleket is lehet látni, a felső 5 cm –es rétegben. Mivel a talaj a mérés időpontjában nyirkos állapotban volt (35. ábra), a mért penetrációs ellenállás értékek feltehetően a valós talajállapotot tükrözik.



34. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 okt.



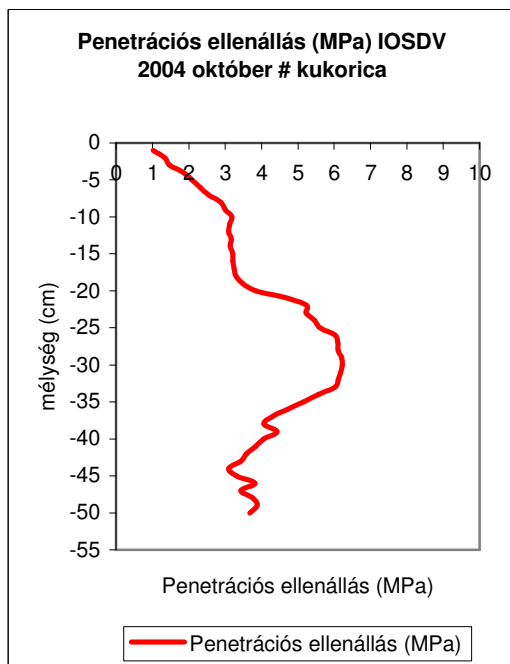
35. ábra. Nedvességtartalom 2003 okt.

A júliusi értékekkel összehasonlítva látható, hogy a nedvességtartalom 20-40 %-kal magasabb 2003 októberében (35. ábra). Ez az emelkedés minden bizonnyal az őszi folyamán hullott nagyobb mennyiségű csapadékkal magyarázható. A nedvességtartalom maximuma és a művelőtalp réteg elhelyezkedése ugyanabban a mélységben figyelhető meg ez azzal magyarázható, hogy a tömör réteg késleltette a szelvény átnedvesedését.

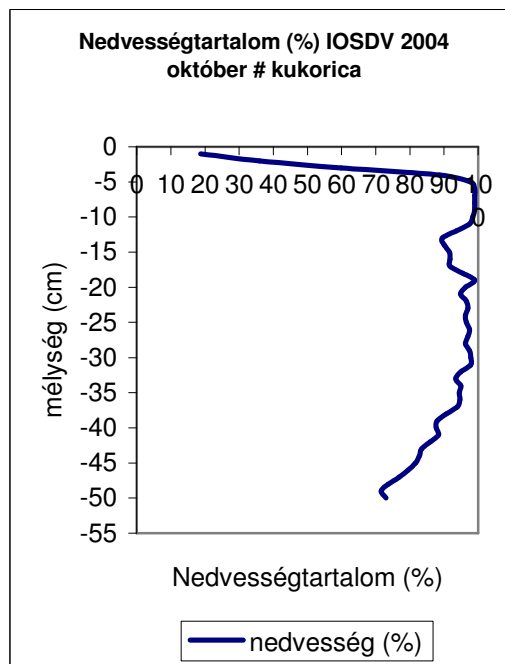
A talaj nedvességtartalma és penetrációs ellenállása között másodfokú egyenlet ($Y' = -0,2903 + 0,3220x + -0,0040x^2$) illesztésével közepesen szoros ($R = 0,5235$) összefüggést mutattunk ki. A nedvesség tömörödést determináló hatása 27%-ban nyilvánul meg. A négyzetes hatás 5% szignifikancia szinten megbízható. A rétegelemzés azt mutatta, hogy az öt réteg közötti különbség 0,1% szinten igazolt. Az 1-10cm és 11-15 cm rétegek közötti különbség tendencia jellegű. A 11-15cm és 16-25cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 1,02$ mellett 0,1% szignifikancia szinten különböznek. A 16-25cm és 26-35cm rétegek közti különbség $SzD_{5\%} = 0,83$ mellett 1% szinten igazolható. A 26-35 és 36-50cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,76$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolt különbséget találtunk. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 34. táblázata tartalmazza.

2004 októberében 20 cm után éri el a káros mértéket az ellenállás. 25-40 cm között tapasztalható egy maximum, amely egybeesik az előző évben mért legmagasabb értékkel, utána csökkenés következik be (36. ábra). A penetrogram illetően alakulása feltehetően a talaj beázásával magyarázható.

A mért nedvességtartalomról arra lehet következtetni, hogy a talaj a vizsgált mélységig teljesen beázott, akárcsak a kukorica monokultúra kísérletben (37. ábra).



36. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 okt.



37. ábra. Nedvességtartalom 2004 okt.

2004. októberében végzett mérés eredményeinek statisztikai értékelésekor a nedvességtartalom és a penetrációs ellenállás között igen szoros ($R=0,98$) összefüggést találtunk ($Y' = 0,2076 + 0,0311x + 0,0001x^2$). A nedvesség 96%-ban determinálta az ellenállást. A penetrogram alapján meghatározott rétegek (1-10cm; 11-20cm; 21-30cm; 31-50cm) között 0,1% szinten igazolt különbséget mutattunk ki, bármely rétegeket összevetve. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 35. táblázata tartalmazza.

Az IOSDV tartamkísérletben a kukorica szemterméseredményei (t/ha) a következők voltak:

Évek	I	II	III	SzD _{5%}
2003	3,579	4,463	4,146	0,27
Talajállapot	0-20cm jó, alatta tömör			
2004	7,731	8,578	8,203	0,96
talajállapot	0-20cm jó, alatta tömör			

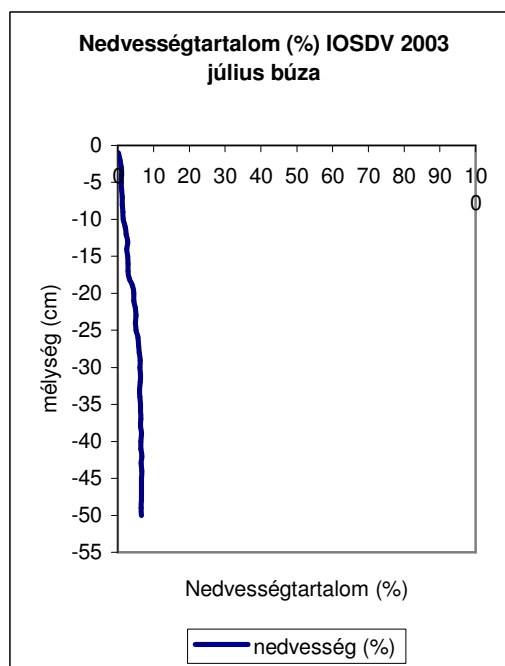
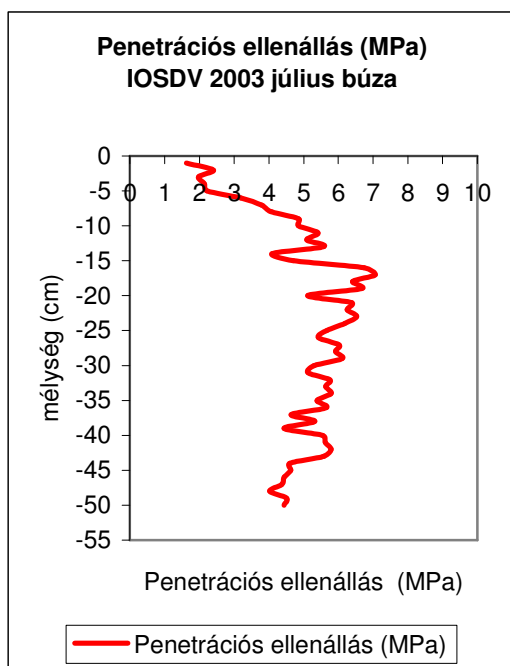
4. táblázat. Szemtermés eredmények IOSDV, kukorica

Ahol, I.: műtrágya, II.: mű – és szerves-trágya, III.: műtrágya, szalma alászántás és zöldtrágya kezelések kerültek összehasonlításra. A terméseredmények között szignifikáns különbségek mutatkoznak, mind az aszályos, mind az átlagos évjáratban. A

műtrágya és szerves trágya együttes alkalmazása hozta a legmagasabb termést. Legalacsonyabb a csak műtrágyázásban részesült területen volt a termésszint. Az átlagosnak tekinthető 2004 évben több mint 50%-kal magasabb volt a kukorica termése, mint az aszályos 2003 évben. Az évjárat hatása a terméseredményekben és a penetrációs ellenállás értékeiben is megmutatkozik.

3. 2. 2. Az őszi búzában végzett talajállapot mérések

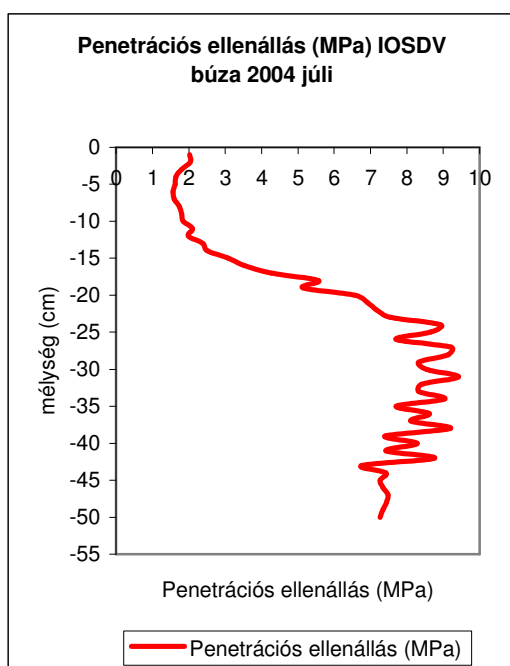
2003-ban a talaj állapotát a szokásos művelés mellett befolyásolta a száraz időjárás, a kis nedvességtartalom. Ennek is betudhatóan a penetrációs ellenállás már 5 cm mélyen eléri a 3,5 MPa határértéket. Ettől kezdve a vizsgált mélységig magas marad. A kukoricánál mért értékeknél kicsit alacsonyabb (1-2 MPa-lal), de a talaj kedvezőtlen állapotára következtethetünk belőle (38. ábra). Magágykészítési hibára utaló jeleket lehet látni a penetrogramon. A nedvességtartalom rendkívül alacsony hasonlóan a kukoricánál tapasztaltakhoz. Még a 10 v%-ot sem éri el, a talaj nagyfokú kiszáradásáért a nagymértékű csapadékhiány tehető felelőssé, amely ezen időszakot jellemezte (39. ábra).



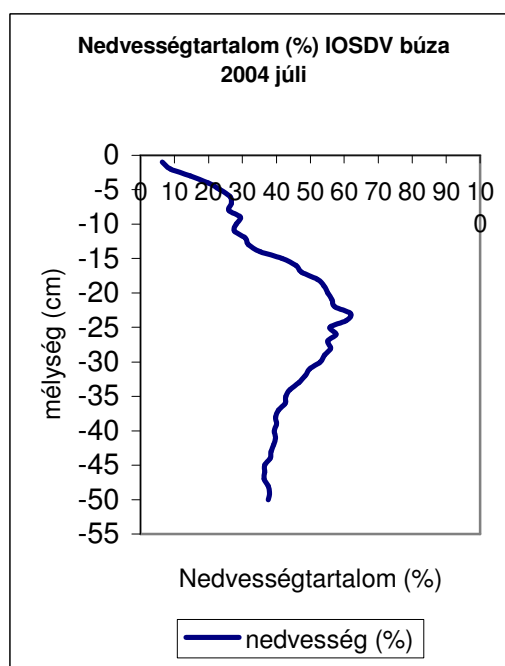
38. ábra. Penetrációs ellenállás, búza 2003 39. ábra. Nedvességtartalom, búza 2004

A következő év (2004) júliusában mért ellenállás értékek alapján művelőtalp réteg meglétére lehet következtetni (40. ábra). A mélyebb rétegek magas ellenállás értékei a talaj természetes tömörségét mutatják. Az alpművelés mélysége (25cm) alatti tömör réteg feltehetően a kísérlet beállítása előtt keletkezett.

A nedvességtartalom a két vizsgált évben jelentős eltérést mutat. 2004-ben őszi búzánál a 60 %-ot is eléri a szántóföldi vízkapacitás %-ban kifejezett nedvességtartalom (41. ábra). Ugyanebben az időszakban kukoricánál a maximális érték 20 % volt. A különbség oka feltehetően az, hogy a kukorica gyökérzete sokkal mélyebbre hatol, mint a búzáé és sokkal több vizet használ fel, jobban kiszárítja a talajt. A 2003 évi mérési eredményekben a különbség feltehetően az aszályos időjárás hatása miatt nem látszik.



40. ábra. Penetrációs ellenállás, búza 2004



41. ábra. Nedvességtartalom, búza 2004

A mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásának értékelésére regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet ($Y' = a + b_1x + b_2x^2$) illesztve a következő eredményt kaptuk: **2003**-ban a két változó között szoros összefüggés volt ($a = 0,7680$; $b_1 = 2,6023$; $b_2 = -0,2997$; $R = 0,8753$). A nedvességtartalom 76%-ban determinálta a mechanikai ellenállást ($R^2 = 0,7662$). A négyzetes hatás 0,1% szinten szignifikánsnak bizonyult. **2004**-ben szintén szoros összefüggést találtunk a két változó között ($a = -2,0109$; $b_1 = 0,2581$; $b_2 = -0,0014$; $R = 0,7288$). A determinációs koefficiens értéke alapján a nedvességtartalom 53%-ban határozta meg a penetrációs ellenállást ($R^2 = 0,5312$). A négyzetes hatás nem bizonyult szignifikánsnak. A penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízis során azt tapasztaltuk, hogy 2003-ban az 1-5cm és 6-10cm rétegek mechanikai

ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,76$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolhatóan különböznek. A 6-10cm és 11-15cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,76$ mellett 5% szinten igazolt különbséget találtunk. A 11-15cm és 16-20cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,75$ mellett 0,1% szignifikancia szinten eltérőek. A 16-20cm és 21-25 cm rétegek között tendencia jellegű, matematikailag nem igazolt különbséget találtunk. A 21-25 cm és 26-50cm rétegek penetrációs ellenállás értékei között $SzD_{5\%} = 0,59$ mellett 1% szinten igazolt különbség van. Varianciaanalízissel vizsgálva a 2004. év penetrációs ellenállás értékeit az 1-5cm és 6-10cm rétegek között tendencia jellegű, a 6-10cm és 11-25cm ($SzD_{5\%} = 1,51$), valamint a 11-25cm és 26-50cm ($SzD_{5\%} = 0,96$) rétegek között a zárójelben feltüntetett $SzD_{5\%}$ értékek mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolt különbséget találtunk. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 36-37. táblázatai tartalmazzák.

Az őszi búza szemterméseredményei (t/ha) a vizsgálat éveiben a következőképpen alakultak:

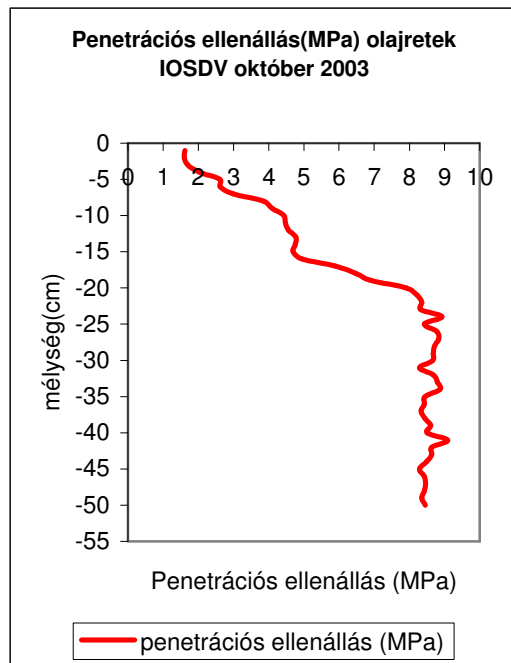
Évek	I	II	III	$SzD_{5\%}$
2003	4,18	4,97	4,79	0,23
Talajállapot	18-20cm alatt tömör			
2004	4,21	5,54	5,08	0,34
Talajállapot	18-20cm alatt tömör			

5. táblázat. Terméseredmények IOSDV, őszi búza

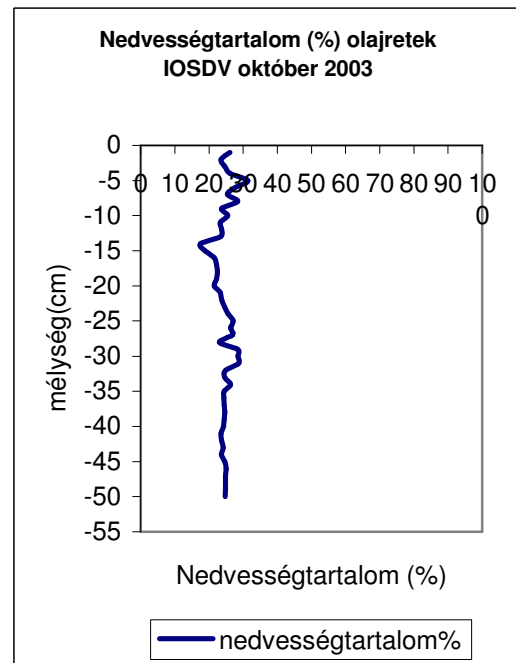
A különböző trágyázási módok között szignifikáns eltérést tapasztalható a termésszintben. A sorrend a következő: II. – III – I. Tehát az őszi búza esetében is ugyanazt a sorrendet kaptuk a terméseredmények vonatkozásában, mint a kukoricánál. Itt is a szerves és műtrágya együttes alkalmazásával sikerült a legjobb termésszintet elérni, a legalacsonyabbat, pedig a műtrágyázott kezelésben. A két vizsgálati év terméseredményeiben megmutatkozik az évjárat hatása, de búzáknál csupán 10 % volt a terméstöbbség az átlagos évben az aszályoséhoz képest, mivel a tömör állapot rontja a műtrágya hatását. A terméseredmények a termőhelynek és a talajállapotnak megfelelnek.

3. 2. 3. Az olajretek jellemző talajállapota 2003-ban

Az olajretek a kísérletben őszi árpa után tarlóvetésként kerül termesztésre. 2003 októberében ennél a növénynél is vizsgáltam a penetrációs ellenállást és a nedvességtartalmat. Az ellenállást tekintve az olajreteknel kedvezőtlenebb volt a talaj állapota, már 10 cm után károsan tömődöttnek minősült és 20-50 cm mélyen extrém magas értéket vett fel (42. ábra). A talaj nedvességtartalma a vizsgálat időpontjában 25-30 v% körül alakult (43. ábra).



42. ábra. Penetrációs ellenállás, olajretek



43. ábra. Nedvességtartalom, olajretek

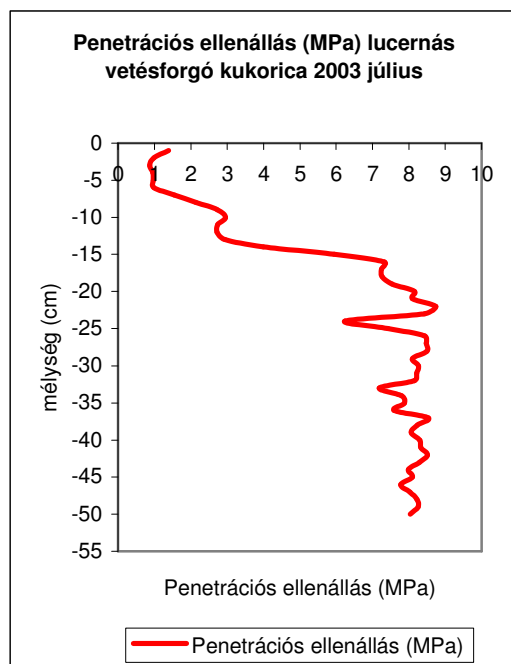
A gyökérszónában tapasztalható tömörödés miatt gyenge az olajretek gyökerezése, pedig ez egy talajlazító növény. Ahhoz, hogy ezt a hatását ki tudja fejteni a meglévő tömör réteget meg kell szüntetni.

3. 3. Vetésforgó tartamkísérlet

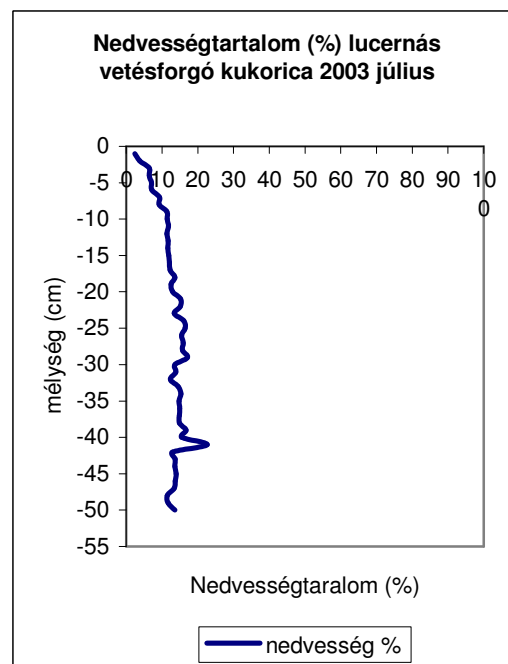
3. 3.1. A kukorica jellemző talajállapota 2003-2004-ben

2003 júliusában a mérési eredmények értékelésekor azt tapasztalható, hogy a talaj penetrációs ellenállása 15 cm alatt válik kedvezőtlené. Ekkor éri el a 3,5 MPa-t. Utána, egészen a vizsgálat maximális mélységének eléréséig magas marad az ellenállás. 8 MPa körüli értékek regisztrálhatók. A 25cm-es mélységben kicsit lazább a talaj, de kedvezőtlenül tömörödött a 18-50 cm mélységig (44. ábra).

Ebben az évben (2003) a talaj nedvességtartalma – hasonlóan a többi tartamkísérletben mértékhez – rendkívül alacsony volt. 15 % körüli nedvességtartalmat lehetett mérni, amelyből a talaj nagyfokú kiszáradására következtethetünk (45. ábra). Az alacsony értékek nagy valószínűséggel a kukorica magas vízigényével és a kevés csapadékkal magyarázhatók.



44. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 július

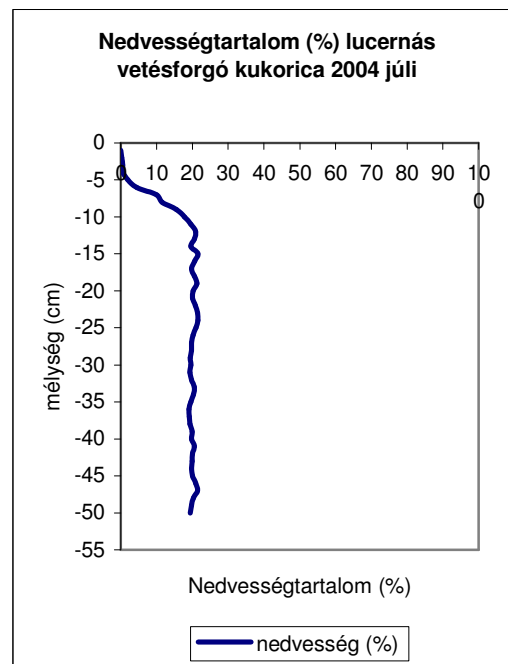
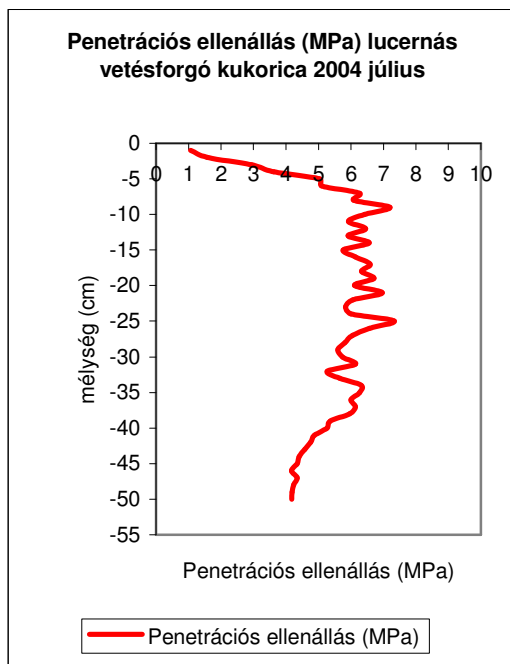


45. ábra. Nedvességtartalom 2003 július

Regresszió-analízissel vizsgálva a mért talajnedvesség és - tömörödés értékeket az $Y' = -4,4242 + 1,1307x + -0,0213x^2$ egyenlet alapján szoros összefüggést ($R = 0,8213$) sikerült kimutatni, a determinációs koefficiens alapján megállapítható, hogy a nedvesség 67%-ban határozza meg az ellenállást. A penetrogram alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise a következő eredményt hozta: az 1-5cm és 6-10cm rétegek között a különbség matematikailag nem igazolható. A 6-10cm és 11-22cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,28$ mellett 0,1% szinten igazolható különbség van. A 11-22cm és 23-50cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,83$ mellett ugyancsak 0,1% szinten igazolható különbséget találtunk. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 38. táblázata tartalmazza.

2004 júliusában a mért penetrációs ellenállás értékek 2 MPa-lal alacsonyabbak, mint előző év júliusában mivel a talaj nyirkos állapotban volt a méréskor (46. ábra). Bár már a felső 5 cm után a tavaszi magágykészítési hiba miatt 3,5 MPa-t meghaladó az ellenállás. 35 cm alatt csökkennek az értékek, de nem válik kedvezővé a talaj állapota

A nedvességtartalom alakulását nézve megállapítható, hogy 2004 júliusban a regisztrált értékek mintegy 5 % ponttal magasabbak voltak, mint az előző év hasonló időszakában (47. ábra). 10-50 cm mélységben egyenletesen 20% a nedvességtartalom. Ezen értékek meghaladják az IOSDV kísérletben és a kukorica monokultúrában mérteket. Viszont a talajművelési kísérletben mind a szántásos, mind a minimális művelési módnál magasabb volt a nedvességtartalom, de azokban a kezelésekben alacsonyabb volt a termésszint.



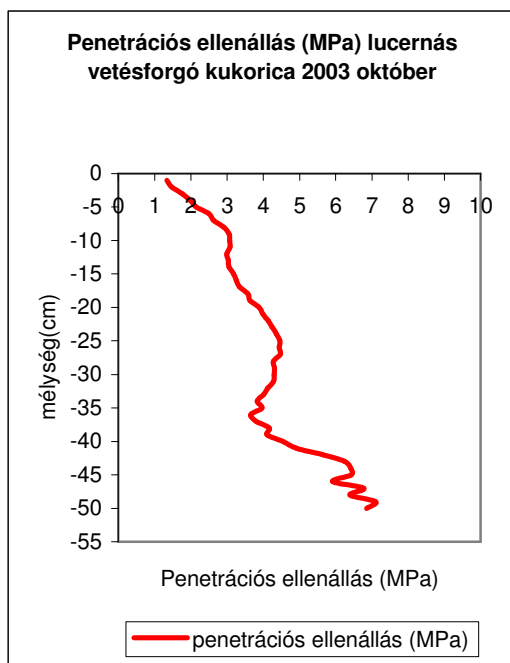
46. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 július 47. ábra nedvességtartalom 2004 július

A 2004. júliusában mért talajnedvesség-tartalom és ellenállás értékek között ($R=0,7284$) szoros összefüggést találtunk. A determinációs koefficiens értéke alapján a nedvességtartalom 59%-ban határozta meg a penetrációs ellenállást. A 1-10cm és 11-35cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,40$ mellett 0,1% szinten igazolható eltérést tapasztaltunk. A 11-35cm és 36-50cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,35$ mellett ugyancsak 0,1% szinten igazolható különbség volt. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 39. táblázata tartalmazza.

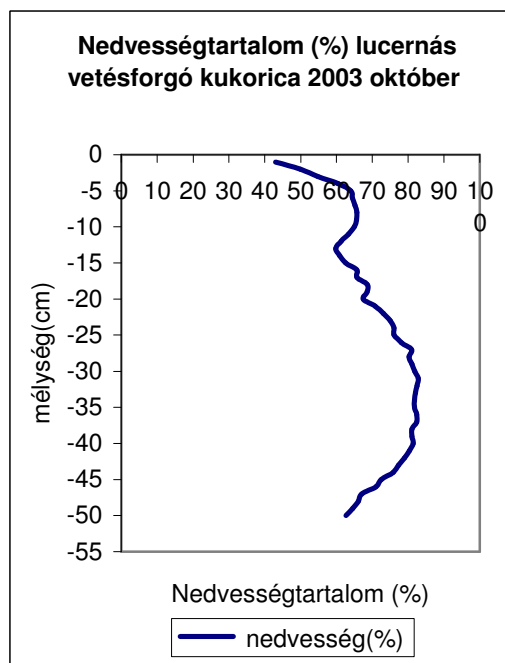
A 2003. októberi penetrációs ellenállás és nedvességtartalom mérési eredményeit tekintve megállapítható, hogy a július hónapban mértékhez képest kedvezőbb a talaj állapota (48. ábra). A káros tömörödéssre utaló 3,5 MPa határértéket 18 cm mélységben éri el az ellenállás. A rendszeresen művelt rétegben a szántás mélységében (23-25 cm) találunk maximumot az ellenállás görbéjén. Ez a 20-35 cm rétegben található emelkedés legmagasabb pontja. Szemben a nyáron mértékkel itt 4,2-4,3 MPa az ellenállás. A 38-40 cm-t elérve ismét emelkedni kezdenek az értékek, melyből kimutatható a talaj természetes tömörsége. A vizsgálat időpontjában a talaj nedves volt, tehát a rögzített ellenállás adatok reálisan mutatják a tömör réteg helyét és a tömörödés nagyságát.

A nedvesség alakulása kedvező. A felső 10 cm-ben 65 %, majd emelkedik és 85% körül éri el maximumát a 28-40 cm rétegben. Ez után ismét csökkenés figyelhető meg 60% ig (49. ábra).

Regresszió-analízissel vizsgálva a nedvesség és az ellenállás összefüggését, az $Y' = -17,5963 + 0,5719x + -0,0037x^2$ egyenletet alkalmazva arra a megállapításra jutottunk, hogy közepesen szoros az összefüggés a két változó között. A talaj nedvességtartalma 30%-ban determinálja a penetrációs ellenállás értékeit ($R = 0,5482$; $R^2 = 0,3005$). A négyzetes hatás 5% szinten szignifikánsnak bizonyult. A penetrogram alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során azt tapasztaltuk, hogy az 1-10cm és 11-15cm rétegek között a különbség statisztikailag nem igazolható, tendencia jellegű. A 11-15cm és 16-25cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,84$ mellett 0,1% szinten igazolható különbség mutatható ki. A 16-25cm és 26-35cm rétegek közötti különbség tendencia jellegű. A 26-35cm és 36-50cm rétegek között pedig $SzD_{5\%} = 0,56$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbség van. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 40. táblázata tartalmazza.



48. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 okt.

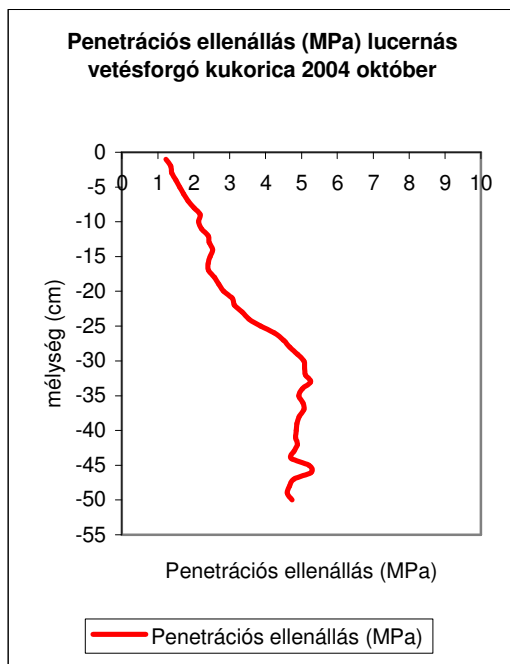


49. ábra. Nedvességtartalom 2003 okt.

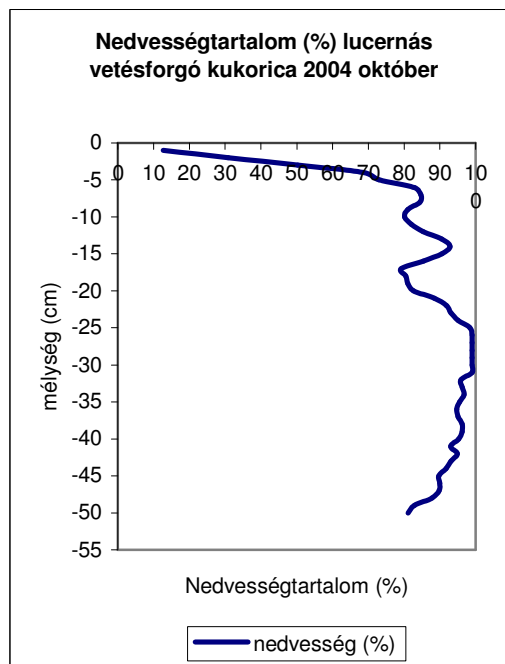
2004. októberben rögzített értékeket vizsgálva elmondható, hogy a talaj penetrációs ellenállása a felső 25 cm-ben nem haladja meg a 3,5 MPa-t. utána viszont emelkedik az ellenállás és a 30-50 cm rétegben már 5 MPa, a mélyebben fekvő rétegek tömörsége a talaj típusával és ülepedettségével magyarázható. A júliusban mért értékekhez képest jelentős csökkenés figyelhető meg. A 2003. októberinél is kedvezőbb a talaj állapota, hiszen akkor már 18 cm-nél elérte a káros tömörödés jelenlétére utaló határszámot (50. ábra). A mérésakor megfelelően nyirkos volt a talaj, tehát a penetrogram a valós talajállapotot mutatja. Látható a lucerna lazító hatása és az alpművelés mélysége is.

Vizsgálódó a nedvességtartalom penetrációs ellenállásra gyakorolt hatását regresszióanalízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet ($Y' = 2,7640 + -0,1028x + 0,0013x^2$) illesztve szoros összefüggést ($R = 0,7818$) találtunk. A determinációs koefficiens értéke alapján a nedvességtartalom 61%-ban határozza meg a mechanikai ellenállás értékét. A penetrogram alapján kiválasztott rétegek (1-10cm; 11-17cm; 18-30cm és 31-50cm) varianciaanalízise során minden kombinációban 0,1% szignifikancia szinten igazolt eltérést találtunk. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 41. táblázata tartalmazza.

A mért nedvességtartalom értékek arra engednek következtetni, hogy a talaj a vizsgálat mélységéig beázott, nedves állapotban van. Hasonlóan, mint az IOSDV kísérletben és 2003 októberében (51. ábra).



50. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 okt.



51. ábra. Nedvességtartalom 2004 okt.

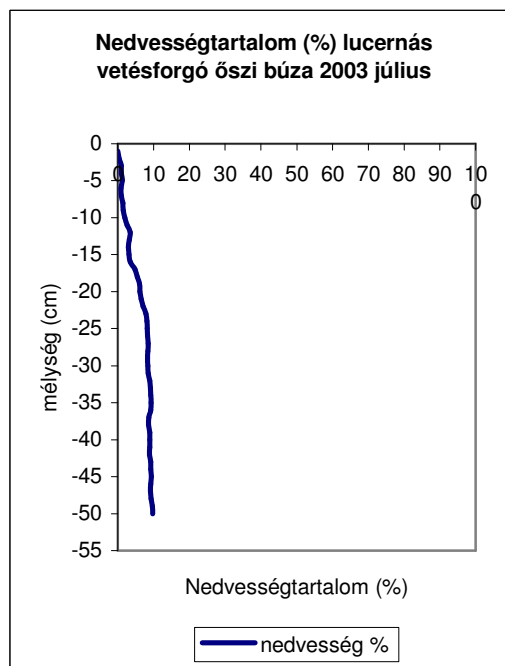
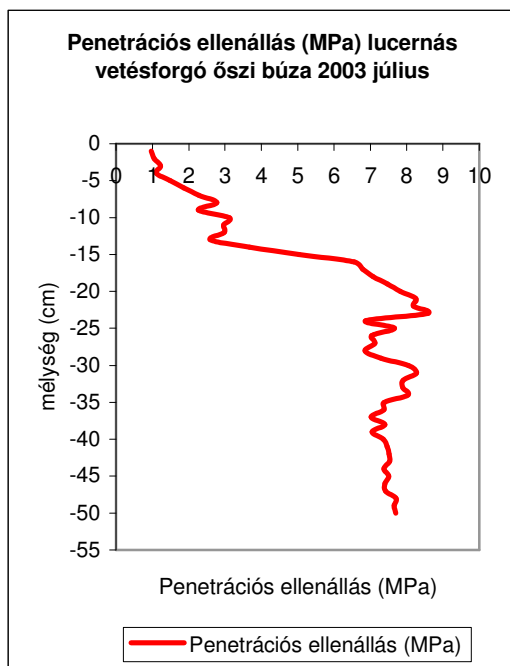
A két vizsgálati év terméseredményeiben a különböző tárgyázási kezelések között szignifikáns különbség található. Az aszályos évhez (2003) képest az átlagos csapadék-ellátottságú évben (2004) kétszeres mennyiségű termés volt betakarítható. A mért szemtermés mennyiségek (t/ha) az alábbiakban láthatók:

Évek	a	b	c	d	SzD _{5%}
2003	2,33	3,79	5,13	5,47	0,21
Talajállapot	0-18cm kedvező, 18-50cm tömör				
2004	5,74	7,31	10,37	10,15	0,88
talajállapot	0-25cm kedvező, 25-50cm tömör				

6. táblázat. Szemtermés eredmények, vetésforgó, kukorica

3. 3. 2. Őszi búza talajállapot felmérése 2003-2004-ben

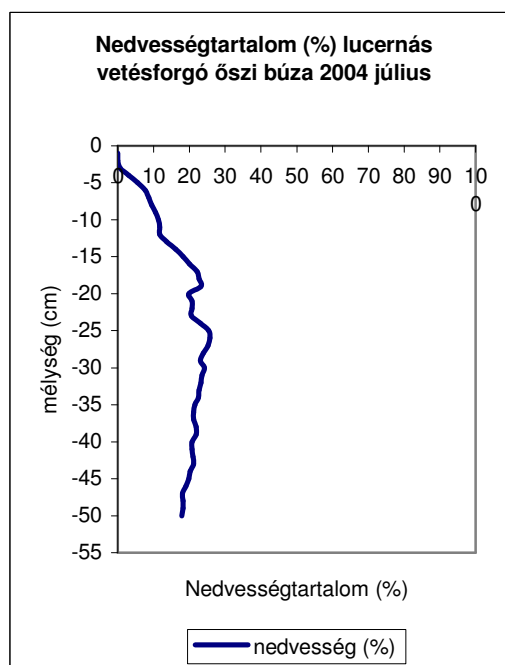
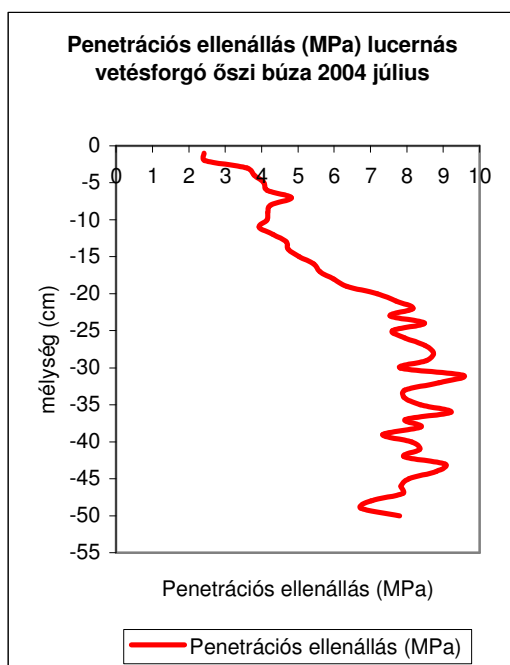
Az őszi búza állományban végzett mérés 2003-as értékei hasonlatosak a kukorica növénynél mértékhez (52. ábra). A különbség abban mutatkozik, hogy búzánál mintegy 1 MPa-lal alacsonyabb az ellenállás, mint kukoricánál. A káros tömörödés jelenlétére utaló 3,5 MPa –t 14 cm mélységben éri el az ellenállás. A mélyebb rétegben is kedvezőtlen a talaj állapota. A nedvességtartalmat ábrázoló grafikon (53. ábra) alapján elmondható, hogy a talaj v%-ban kifejezett nedvességtartalma 10% körül volt a méréskor.



52. ábra. Penetrációs ellenállás, búza 2003 53. ábra. Nedvességtartalom, búza 2003

Annak ellenére, hogy a 2004 év kedvezőbb volt, mint 2003 az őszi búzánál mért penetrációs ellenállás értékekből erre nem lehet következtetni. A talaj már az 5 cm mélységet elérve károsan tömődöttnek tekinthető, a mérési adatok alapján magágykészítési hibára lehet következtetni. A talajművelési kísérletben lehetett hasonló tapasztalni ebben a terminusban. Ezen kísérletben a kukoricánál mért értékek és az IOSDV kísérlet adatai is kedvezőbb talajállapotra utalnak. A nedvességtartalom

ugyan magasabb ebben az évben, mint az előzőben, hiszen meghaladja a 20%-ot is, de a másik kettő kísérlettel összehasonlítva alacsonyabbak az itt regisztrált értékek (54. és 55. ábra).



54. ábra. Penetrációs ellenállás, búza 2004 55. ábra. Nedvességtartalom, búza 2004

Vizsgálódó a talaj nedvességtartalmának penetrációs ellenállásra gyakorolt hatását regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve 2003-ban igen szoros, 2004-ben szoros összefüggést találtunk a két változó között. Mindkét vizsgált évben a négyzetes hatás 0,1% szinten szignifikáns volt. 2003-ban 92%-ban, 2004-ben pedig 75%-ban determinálta a talaj nedvességtartalma a mechanikai ellenállást. Az egyenletben szereplő konstansok, az R és R^2 értékek a következők voltak: 2003-ban $a = -0,0254$; $b_1 = 1,7938$; $b_2 = -0,1053$; $R = 0,9617$; $R^2 = 0,9249$. 2004-ben: $a = 2,7760$; $b_1 = 0,1738$; $b_2 = 0,0027$; $R = 0,8697$; $R^2 = 0,7564$. A penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során 2003-ban azt tapasztaltuk, hogy az 1-5cm és 6-10cm rétegek penetrációs ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 1,53$ mellett 5% szignifikancia szinten igazolhatóan különböznek egymástól. A 6-10cm és 11-23cm ($SzD_{5\%} = 1,27$), a 11-23 és 24-28cm ($SzD_{5\%} = 1,27$), a 24-28cm és 29-32cm ($SzD_{5\%} = 1,62$), valamint a 29-32cm és 33-50cm rétegek mechanikai ellenállás értékei között a zárójelben feltüntetett $SzD_{5\%}$ értékek mellett 0,1% szinten igazolt különbséget

találtunk. 2004-ben a penetrogram alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise a következő eredményt hozta: az 1-7cm és 8-11cm rétegek ellenállás értékei között tendencia jellegű, matematikailag nem igazolt különbség van. A 8-11cm és 12-22cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,01$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolt különbséget találtunk. A 12-22cm és 23-50cm rétegek penetrációs ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,61$ mellett 0,1% szinten szignifikáns különbséget mutattak. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 42-43. táblázatai tartalmazzák.

Az őszi búza szemtermés eredményei (t/ha) a következőképpen alakultak a vizsgálati években:

évek	a	b	c	d	$SzD_{5\%}$
2003	2,027	4,389	5,543	5,651	0,37
Talajállapot	Kedvezőtlen, tömődött				
2004	3,276	5,739	7,166	7,137	0,23
talajállapot	Kedvezőtlen, tömődött				

7. táblázat. Szemtermés eredmények, vetésforgó, őszi búza

Látható, hogy a kukoricához hasonlóan a búza terméseredményei között is szignifikáns különbség mutatkozik a különböző trágyázási változatok tekintetében. Átlagos évjáratban 50 %-kal magasabb termésszint tapasztalható.

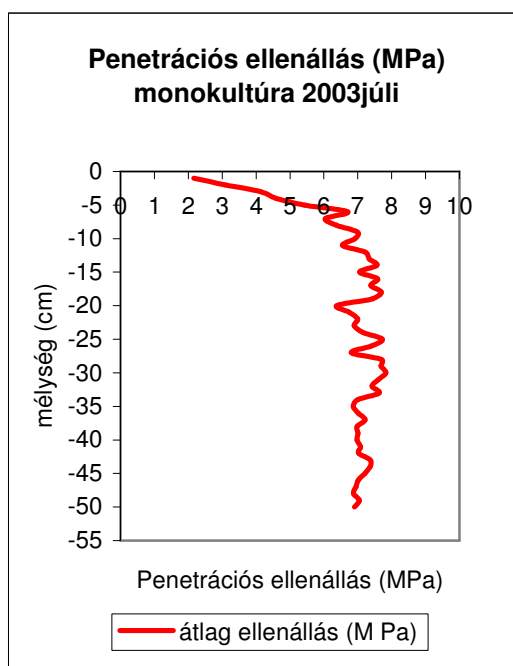
Mindkét vizsgálati évben a lucernát tartalmazó vetésforgóban kedvezőtlenebb talajállapotot találtunk, mint az IOSDV kísérletben, tehát a szerves és zöldtrágya hatása jobban érvényesült.

3. 4. Kukorica monokultúra tartamkísérlet

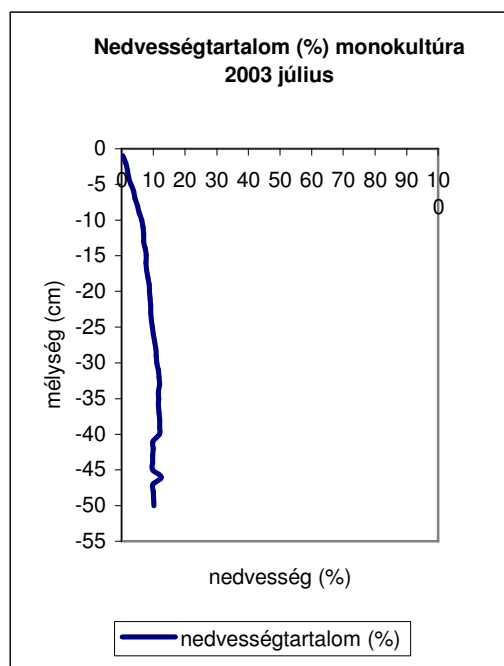
A talaj penetrációs ellenállásának és nedvességtartalmának mérésére a 2003 és 2004 években évente két alkalommal július és október hónapban került sor. A kísérleti eredményekből megállapítható, hogy mindkét vizsgálati évben a júliusban mért penetrációs ellenállás értékek (56. és 58. ábra) sokkal magasabbak voltak, mint az októberi értékek (60. és 62. ábra). A rögzített talajnedvesség értékek pedig a júliusi időszakban rendkívül alacsonyak voltak. A két vizsgálati évet összehasonlítva látható, hogy 2003-ban a penetrációs ellenállás magasabb volt, a nedvességtartalom pedig alacsonyabb, mint 2004-ben. A penetrációs ellenállás értéke 2003-ban 7-8 MPa, csökkenés a vizsgált mélység eléréséig nem figyelhető meg. 2004-ben a 6 MPa körüli érték volt mérhető, a talaj felső 20 cm-es rétegében viszont 7-8 MPa volt a penetrációs ellenállás, tehát itt csökkenés tapasztalható a talaj 25-50 cm-es rétegében. A talaj nedvességtartalma 2003-ban csak a vizsgált réteg alsó 20 cm-es részében éri el a 10%-ot, míg 2004-ben már 10cm-nél eléri ezt az értéket és kismértékben meg is haladja azt, bár így is rendkívül alacsony marad. Ez az eltérés magyarázható azzal, hogy a 2003-as év rendkívül száraz volt. Ugyan a sokéves átlaghoz viszonyítottna a 2004-es évben is kevesebb csapadék hullott, de ebben az évben az eltérés -64,1 mm volt, míg 2003-ban -174,4 mm.

A 2003. júliusban mért nedvességtartalom értékek (57. ábra) penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásának értékelésére regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve ($Y' = 2,3570 + 1,0690x + -0,0568x^2$) igen szoros összefüggést találtunk ($R = 0,933$). A determinációs koefficiens (R^2) értéke alapján a nedvesség 87%-ban határozza meg az ellenállást. A négyzetes hatás 0,1% szignifikancia szinten igazolható. A penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során az 1-5cm és 6-15cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,57$ mellett 0,1% szinten igazolható különbséget találtunk. A 6-15cm és 16-20 cm, valamint a 16-20cm és 21-50cm rétegek között statisztikailag nem igazolható tendencia jellegű különbség mutatható ki. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 44. táblázatba tartalmazza.

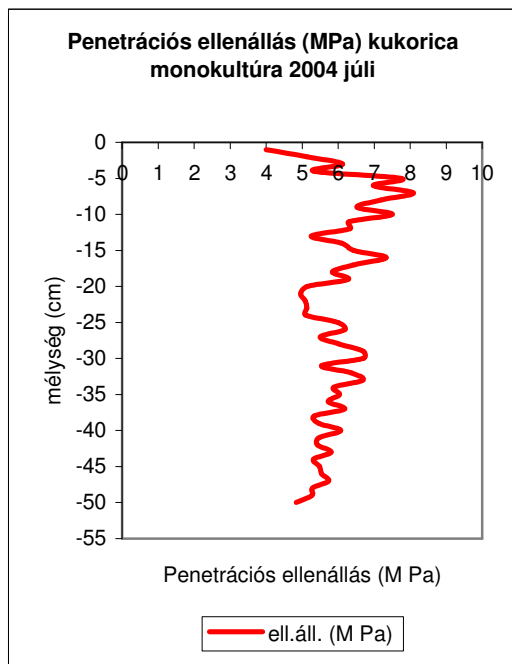
2004-ben is végeztünk regresszió-analízist a nedvességtartalom (59. ábra) és a penetrációs ellenállás közötti kapcsolat elbírálására. A kapott korrelációs koefficiens érték ($R = 0,5098$) közepesen szoros összefüggést mutat. Az R^2 értéke alapján a nedvességtartalom 25%-ban determinálta a mechanikai ellenállást. Az adatokra illesztett másodfokú egyenlet a következő volt: $Y' = 5,2185 + 0,3896x + -0,0272x^2$. A négyzetes hatás 0,1% szignifikancia szinten igazolt. A penetrogaram alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során az 1-5cm és 6-20cm, valamint a 6-20cm és 21-30cm rétegek közötti különbség $SzD_{5\%} = 0,74$ és $SzD_{5\%} = 0,59$ mellett 5% szinten szignifikáns volt. A 21-30cm és 31-50cm rétegek között a különbség tendencia jellegű, matematikailag nem igazolható. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 45. táblázatba tartalmazza.



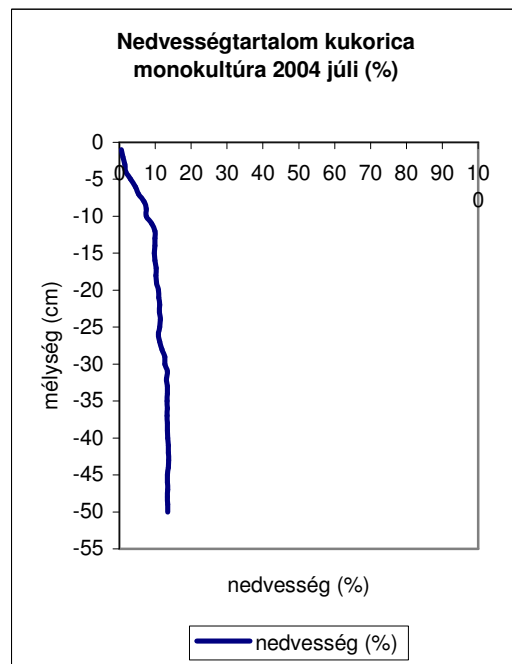
56. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 július



57. ábra. Nedvességtartalom 2003 július



58. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 július



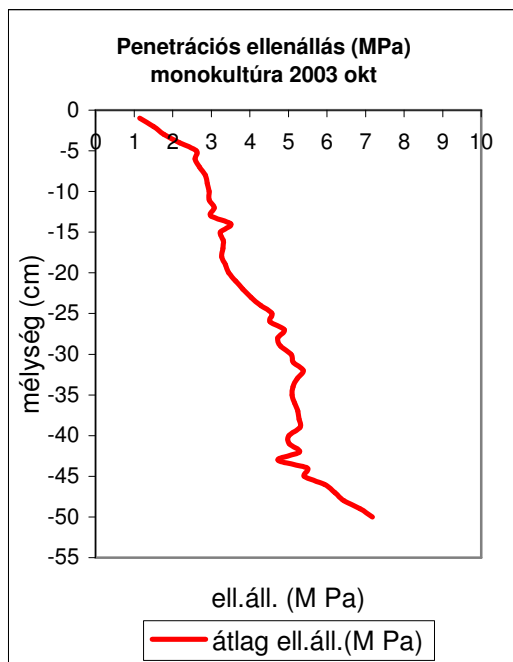
59. ábra. Nedvességtartalom 2004 július

Az októberi mérések eredményét tekintve látható, hogy sokkal kedvezőbb képet mutat a penetrációs ellenállás és a talaj nedvességtartalma is, a csapadéknak köszönhetően beázott a talaj, a penetrogram vélhetően a valós talajállapotot mutatja. Mindkét vizsgálati évben eléri a 3,5 MPa-os határértéket a penetrációs ellenállás a 20 cm-es mélységben, tehát ettől kezdve károsan tömörödöttnek tekinthető a talaj. A két év közötti különbség az októberi eredményekből azonban sokkal szembetűnőbben látszik. 2003-ban a kritikus 3,5 M Pa elérése után folyamatosan emelkedik az ellenállás értéke a vizsgált mélység elérésekkor már 7,2 M Pa, tehát a felső 20 cm-t kivéve sehol nem tekinthető a talaj kedvező állapotúnak. Ezzel szemben 2004-ben az értékek a 40 cm-es mélységben újra csökkenni kezdenek, tehát a talaj károsan tömörödöttnek a 20-40 cm-es rétegben tekinthető, a penetrogram az alapművelés mélységében kialakult tömörödést mutatja.

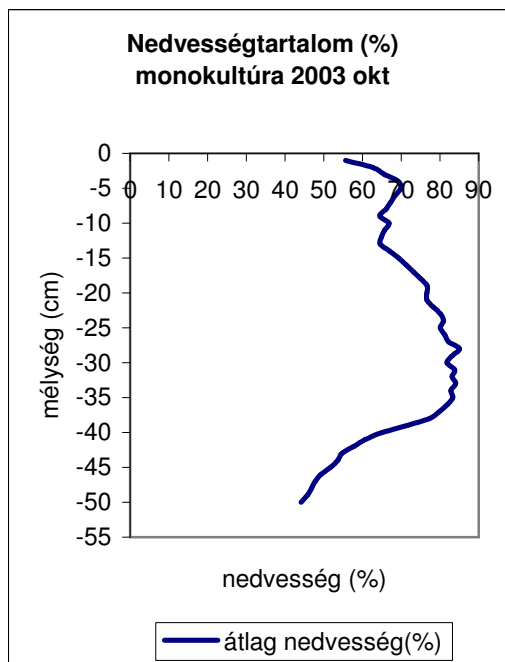
A 2003 októberi mérés adatainak regresszió-analízise a következő eredményt hozta: a talaj nedvességtartalma és penetrációs ellenállása közti összefüggés szoros volt ($R = 0,7972$). A nedvesség 65%-ban határozta meg az ellenállás értékét. Az adatokra illesztett egyenlet a következő volt: $Y' = 39,4168 + -1,0789x + 0,0080x^2$. A négyzetes hatás 0,1% szinten szignifikánsnak bizonyult. A penetrogram alapján meghatározott

rétegek a következők voltak: 1-5cm; 6-15cm; 16-32cm; 33-45cm és 46-50cm. Bármely réteget egy másikkal összehasonlítva 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbséget találtunk az $SzD_{5\%}$ értékeit és az eredménytáblát a 2. számú melléklet 46. táblázata tartalmazza.

A 2004 októberi mérési eredmények statisztikai értékelése során a nedvességtartalom és a penetrációs ellenállás között ($R=0,4350$) közepesen szoros összefüggést találtunk. Az adatokra illesztett másodfokú egyenlet a következő volt: $Y' = 4,3901 + -0,1396x + 0,0013x^2$. A determinációs koefficiens értéke szerint a nedvesség 18%-ban határozza meg az ellenállást. A négyzetes hatás ebben az esetben nem bizonyult szignifikánsnak. A penetrációs ellenállás görbéje alapján meghatározott rétegek varianciaanalízisekor az 1-8cm és 9-15 cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,36$ mellett, 1% szinten igazolható különbség volt. A 9-15cm és 16-25cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,34$ mellett 0,1% szinten különböztek. A 16-25cm és 26-32cm rétegekben mért ellenállás értékek $SzD_{5\%} = 0,34$ mellett ugyancsak 0,1% szinten különbözőek voltak. $SzD_{5\%} = 0,31$ mellett hasonlóan szignifikáns különbség volt kimutatható a 26-32cm és 33-50cm rétegek között is. Az eredménytáblát a 2. számú melléklet 47. táblázata tartalmazza.

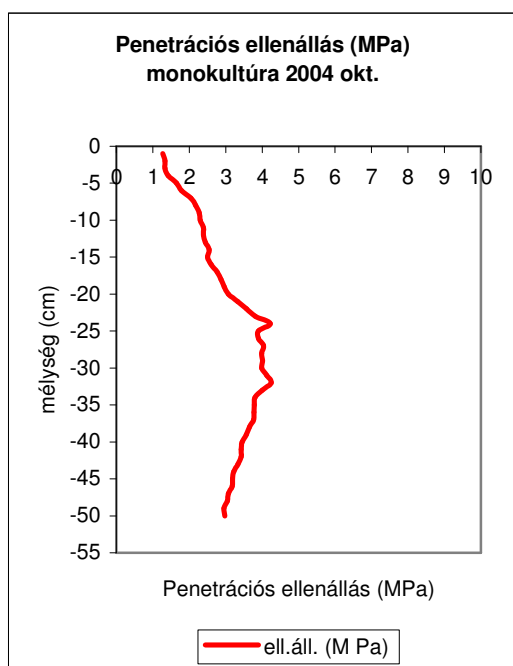


60. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 okt.

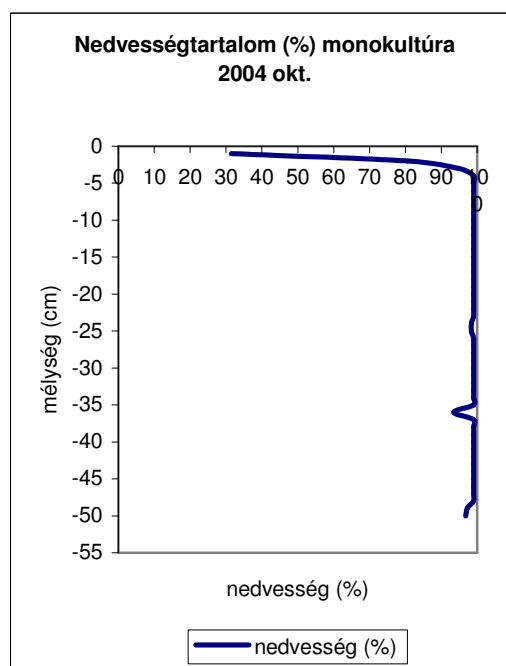


61. ábra. Nedvességtartalom 2003 okt.

A nedvességtartalomra vonatkozó mérések eredményéből le lehet vonni azt a következtetést, hogy a 2004-es évben a több csapadéknak köszönhetően a vizsgált mélységben a talaj nedvességtartalma meghaladta a szántóföldi vízkapacitást.. 2003-ban a talaj nedvességtartalma 40 cm-es mélység elérése után csökkenni kezdett. A 2003 illetve 2004 októberében rögzített ellenállás és nedvességtartalom értékek a 60, 61, 62, 63. ábrán láthatók.



62. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 okt.



63. ábra. Nedvességtartalom 2004 okt.

A vizsgálati eredményekből le lehet vonni azt a következtetést, hogy adott termőhelyen azonos művelés esetén a penetrációs ellenállás szoros összefüggést mutat a felszínre érkező csapadék mennyiségével és ezzel összefüggésben a talaj nedvességtartalmával. A két vizsgálati évben az évjáráthatás kimutatható. Valószínű, hogy az októberi méréseknél regisztrált magasabb nedvesség, illetve alacsonyabb penetrációs ellenállás értékek az őszi hónapok alacsonyabb hőmérsékleti értékeivel és a több csapadékkal magyarázható.

A betakarított szemtermés mennyiségek (t/ha) a vizsgálat éveiben a következők voltak:

évek	A1	A2	A3	A4	SzD _{5%}
2003	2,41	3,21	3,82	4,55	0,30
Talajállapot	Kedvezőtlen, tömődött				
2004	3,44	8,39	9,98	10,29	1,91
Talajállapot	Megfelelő, művelőtalpban tömör				

8. táblázat. Szemtermés eredmények, kukorica monokultúra

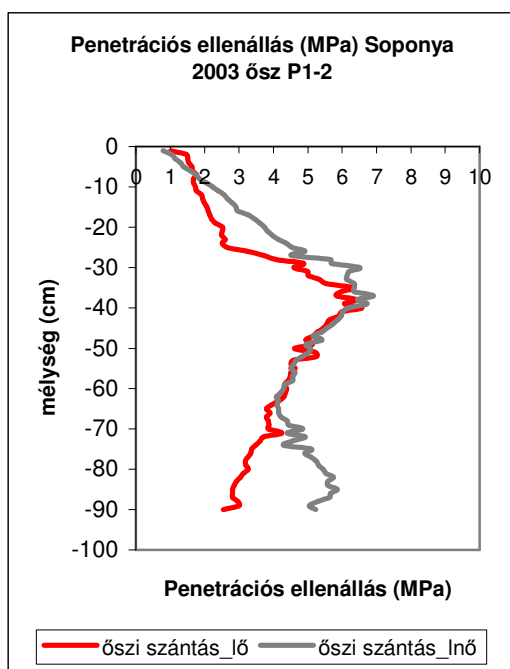
A tápanyagadagok emelkedésével szignifikánsan növekedett a termés mennyisége, mindkét vizsgálati évben. Legalacsonyabb a trágyázatlan kontrolban, legmagasabb a legnagyobb adagokkal trágyázott parcellában volt a termésszint.

A kedvező évjárat hatására 2004-ben 2 – 2,5 szeresére növekedett a termés mennyisége, a trágyázott parcellákon. A trágyázatlan kontrol termésnövekedése ettől elmaradt, de ott is kimutatható. Látható, hogy a trágyázás és a csapadék együttesen fejtik ki termésnövelő hatásukat.

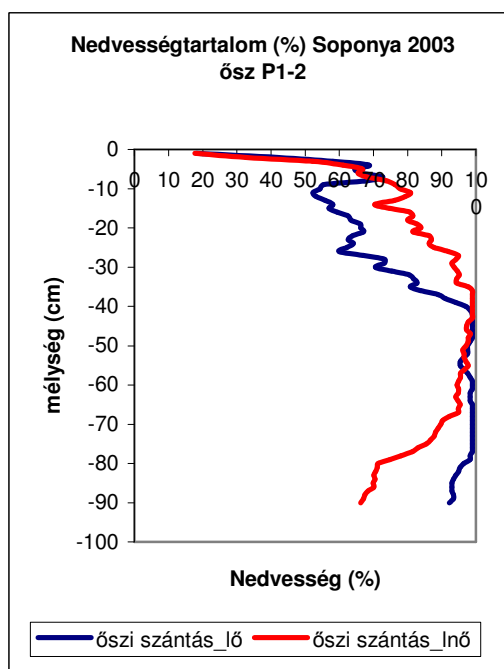
3. 5. A KITE Rt. talajművelési kísérlete (Soponya)

3. 5. 1. 2003 őszi talajállapot felmérés

Az őszi mérés során az **1 és 2 parcellák** (64. ábra) együtt kerültek értékelésre, mivel ezek őszi szántás után tavaszi elmunkálásban részesültek és az elmunkálás módjában volt különbség. A lazítás nélküli kezelésben a talajellenállás értéke 19 cm mélységtől kezdve meghaladta a kritikus 3,5 MPa -t. A különbség a két kezelés között nem látványos, azonban a lazított területen a penetrációs ellenállás később (28 cm körül) éri el a káros tömörödést jelző 3,5 MPa-t és 75 cm mélyen már újra ez alá csökken. A lazítás nélküli kezelés grafikonján két maximumot is láthatunk, az első a 30-40 cm rétegben a második pedig a 80-90 cm rétegben.



64. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 őszi



65. ábra. Nedvességtartalom 2003 őszi

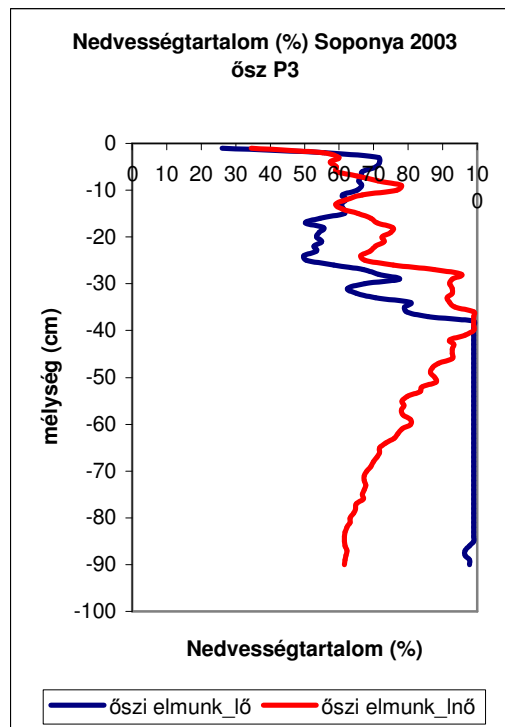
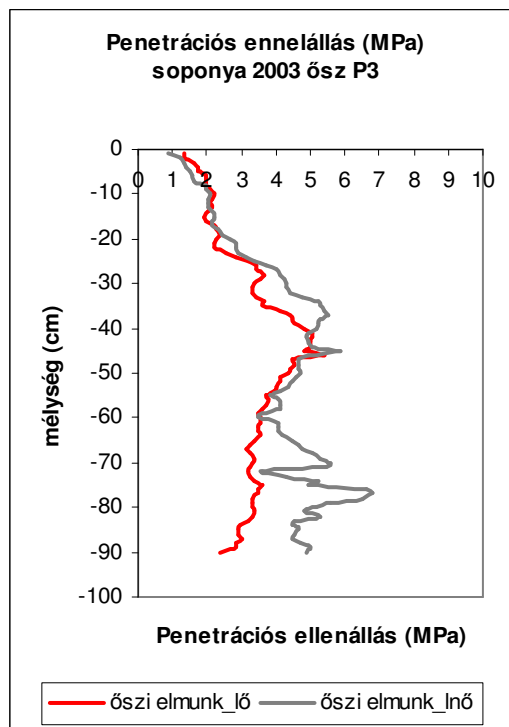
Jelmagyarázat: *lő*: lazított, őszi mérés, *lnő*: lazítás nélkül, őszi mérés

A nedvességadatokat vizsgálva látható (65. ábra), hogy mindkét esetben nedves volt a talaj, lazítás nélkül 60 cm után csökkenni kezd a talaj nedvességtartalma, de mindkét

kezelésnél elmondható, hogy kedvező nedvességi állapotban van a talaj. Ami annak is köszönhető, hogy ugyan a 2003 év szárazabb volt az átlagosnál, de a mérést megelőzően esett az eső.

A mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásának értékelésére regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve közepesen szoros összefüggést találtunk mind a lazított, mind a lazítás nélküli művelésnél. A másodfokú egyenlet a ; b_1 ; b_2 és a korrelációs koefficiens értékei a következők voltak: lazított kezelés: $a = -1,4117$; $b_1 = 0,0750$; $b_2 = -0,0002$; $R = 0,6493$. Lazítás nélküli kezelés: $a = -0,1273$; $b_1 = 0,0466$; $b_2 = 0,0001$; $R = 0,6088$. A determinációs koefficiens (R^2) értékei alapján a mélylazított területen 42%-ban, a lazítás nélküli területen pedig 37%-ban határozta meg a nedvesség az ellenállást. A négyzetes hatás egyik kezelésnél sem volt szignifikáns. A penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során azt tapasztaltuk, hogy a lazítás nélküli kezelésben az 1-10cm és 11-35cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,70$ mellett 1% szinten igazolhatóan különböznek. A 11-35cm és 36-65cm rétegek és a 36-65cm és 66-90cm rétegek $SzD_{5\%} = 0,51$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható eltérést mutatnak. A mélylazításos kezelés talajellenállás adatai az 1-10cm és 11-25cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,67$ mellett 5% szinten igazolható különbség volt. A 11-25cm és 26-40cm, valamint a 26-40cm és 41-90cm rétegeknél $SzD_{5\%} = 0,60$ és $SzD_{5\%} = 0,48$ mellett 0,1% szinten igazolható különbséget találtunk. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 48-49. táblázatai tartalmazzák.

A **3 parcellában** az őszi alapművelést még az őszi folyamán elmunkálták nehézfogassal és simítóval. A lazításban részesült parcellánál is megtalálható volt egy magasabb ellenállású réteg 47-58 cm mélyen, de ennek a rétegnek a maximuma a nem lazítotténál alacsonyabban helyeződött (66. ábra). A nem lazított területen 25 cm-től egészen a vizsgálat maximális mélységének eléréséig 3,5 MPa feletti értékek regisztrálhatók. Az 1-2 parcellákhoz hasonlóan itt is két maximum figyelhető meg a grafikonon. Az első szintén a 30-40 cm rétegben a másodikat, pedig a 80 cm mélységben találjuk. A második maximum megléte a talaj természetes tömörségével magyarázható.



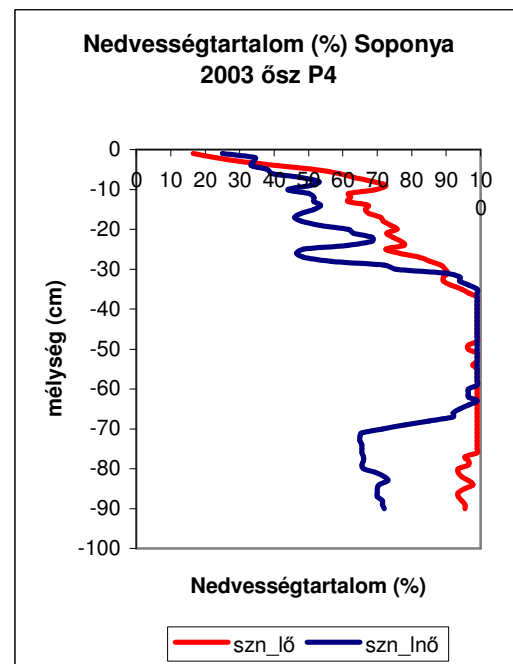
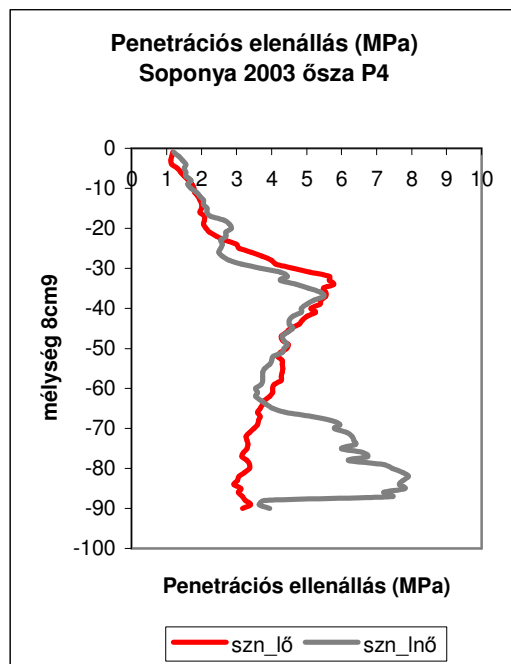
66. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 ősz 67. ábra. Nedvességtartalom 2003 ősz
Jelmagyarázat: *lő*: lazított, őszi mérés, *lő*: lazítás nélkül, őszi mérés

A lazítás nélküli kezelésben a nedvesséértékek 28-46 cm mélységben a legmagasabbak (67. ábra). A lazított parcellában 40 cm-től teljesen beázott a talaj. A lazítás során a vízzáróként is működő tömődött réteg áteresztővé vált, így a talaj mélyebb rétegei is át tudtak nedvesedni az őszi csapadék hatására. Lazítás nélkül azonban azt tapasztaljuk,

hogy a nedvességtartalom a magasabb penetrációs ellenállású réteg alatt alacsonyabb, mint a lazításos kezelésnél.

Értékelendő a nedvességtartalom penetrációs ellenállásra gyakorolt hatását regresszióanalízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve a két változó között közepesen szoros összefüggést találtunk, a lazított és a lazításban nem részesült területen egyaránt. A másodfokú egyenlet a ; b_1 ; b_2 és a korrelációs koefficiens értékei a következők voltak: lazított kezelés: $a = 0,8649$; $b_1 = 0,0226$; $b_2 = 0,0001$; $R = 0,6754$. Lazítás nélküli kezelés: $a = -1,4409$; $b_1 = 0,1035$; $b_2 = -0,0004$; $R = 0,4239$. Az R^2 értékei alapján a lazításos kezelésben 54%-ban, a lazítás nélküliben pedig 17%-ban determinálja a talaj nedvességtartalma a mechanikai ellenállást. A négyzetes hatás nem volt szignifikáns. A penetrogaramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise a következő eredményt hozta: a lazítás nélküli kezelésben az 1-10cm és 11-17cm rétegek között tendencia jellegű, matematikailag nem igazolható különbség van. A 11-17cm és 18-37cm ($SzD_{5\%} = 0,64$), a 18-37cm és 38-60cm ($SzD_{5\%} = 0,44$), valamint a 38-60cm és 61-90cm ($SzD_{5\%} = 0,40$) rétegek között a jelzett $SzD_{5\%}$ értékek mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbséget mutattunk ki. A mélylazításban részesült területen az 1-15cm és 16-25cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,43$ mellett 5% szinten igazolható különbség van. A 16-25cm és 26-45cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,41$ mellett 0,1%-os szignifikancia szinten különböznek egymástól. A 26-45cm és 46-90cm rétegek közötti különbség $SzD_{5\%} = 0,28$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 50-51. táblázatai tartalmazzák.

A **4. parcella** – melyben direktvetést alkalmaztak – mérési eredményeit vizsgálva megállapítható, hogy itt is az előzőekhez hasonlatosan alakultak a penetrációs ellenállás értékei (68. ábra). A lazítás nélküli kezelésben szintén kétmaximumos tömörödési képet láthatunk. Melynek első maximuma 35 cm körül található. A második pedig 80 cm mélységben. A lazításos kezelésnél az ellenállás értékek legmagasabb pontja szinte egybeesik a lazítás nélküli kezelésével, de e maximum elérése után a mechanikai ellenállás értékei fokozatosan csökkennek és 68 cm elérése után ismét kedvezővé válik a talaj állapota. A direktvetés talajra gyakorolt hatását még nem lehet kimutatni, mivel a mérések a kísérlet beállításának évében történtek.



68. ábra. Penetrációs ellenállás 2003 ősz 69. ábra. Nedvességtartalom 2003 ősz

Jelmagyarázat: *szn_lő*: szántás nélkül, lazított, őszi mérés; *szn_lnő*: szántás nélkül, lazítás nélkül, őszi mérés

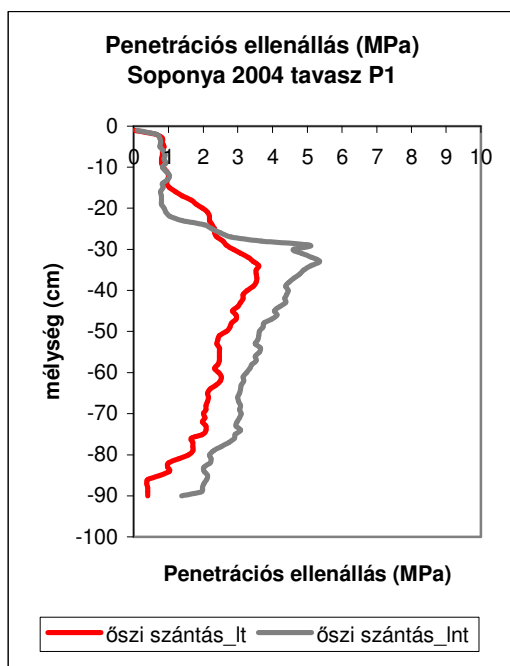
A nedvesség diagramról leolvasható, hogy a talaj a lazító művelés nélküli kezelésben ott ázott be jobban, ahol a tömörödési képen csökkenés, illetve alacsonyabb értékek figyelhetők meg. A lazított területen a talaj 35 cm mélység elérése után végig nedves állapotban található (69. ábra).

A mért nedvességtartalom értékek és a penetrációs ellenállás között a lazítás nélküli területen közepesen szoros összefüggést találtunk ($a = -9,5037$; $b_1 = 0,3749$; $b_2 = -0,0024$; $R = 0,6741$). A mélylazított területen pedig szoros összefüggést ($a = 1,0308$; $b_1 = -0,0149$; $b_2 = 0,0005$; $R = 0,7836$) találtunk regresszió-analízis során. A determinációs koefficiens értékei alapján a lazításos kezelésben a nedvesség 61%-ban, a lazítás nélküli kezelésben pedig 45%-ban határozta meg a mechanikai ellenállást. A négyzetes hatás a lazítás nélküli kezelésben 0,1% szinten szignifikánsnak bizonyult. A penetrogaramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során azt tapasztaltuk, hogy a lazítás nélküli kezelésnél az 1-20cm és 21-25cm rétegek ellenállás értékei szignifikánsan nem különböznek egymástól. A 21-25cm és 26-35cm rétegek között $SzD_{5\%} = 1,03$ mellett 5% szinten igazolható különbség van. A 26-35cm és 36-62cm rétegek közötti különbség statisztikailag nem igazolható, tendencia jellegű. A 36-62cm és 63-90cm rétegek ellenállás értékei $SzD_{5\%} = 0,51$ mellett 0,1% szinten igazolhatóan különböznek. A lazításban részesült területen mért ellenállás értékek között az 1-15cm és 16-25cm ($SzD_{5\%} = 0,43$), a 16-25cm és 26-45cm ($SzD_{5\%} = 0,46$), valamint a 26-45cm és 46-90cm ($SzD_{5\%} = 0,38$) rétegekben egyaránt 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbséget találtunk. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 52-53. táblázatai tartalmazzák.

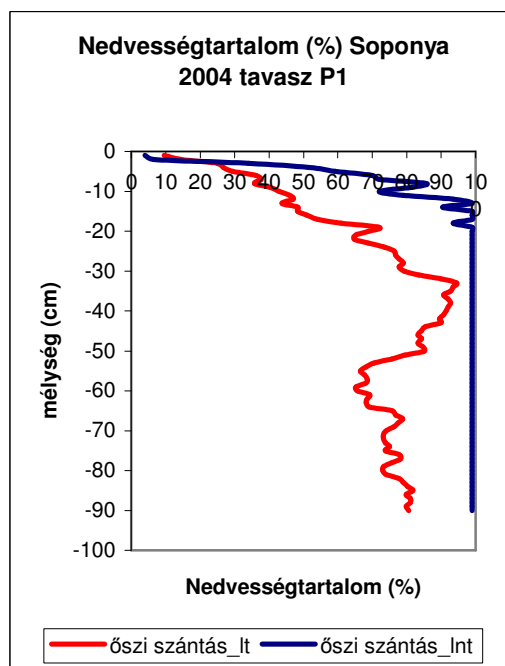
3. 5. 2. 2004 tavaszi talajállapot felmérés

A tavaszi mérések során mindegyik parcellánál érzékelhető volt a talajlazítás jótékony hatása. Az 1 és 2 parcellákat már külön kezelve vizsgáltuk, mivel a tavaszi elmunkálásuk között volt különbség.

Az **1 parcellában** a lazítás nélküli kezelésnél a talaj mechanikai ellenállása a 28-53 cm rétegben érte el, illetve haladta meg a káros tömörödés jelenlétét jelző 3,5 MPa határértéket (70. ábra). A maximum 5,4 MPa volt. 53 cm után pedig ismét kedvezőnek tekinthető a talaj állapota. A lazítás után nem található tömörödésre utaló jel, a penetrációs ellenállás elérte ugyan, de nem haladta meg a 3,5 MPa-t. Tehát a vizsgált talajszelvényen belül az eredmények alapján nem következtethetünk tömörödésre, de a vártnál kisebb lazító hatás tapasztalható.



70. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 tavasz



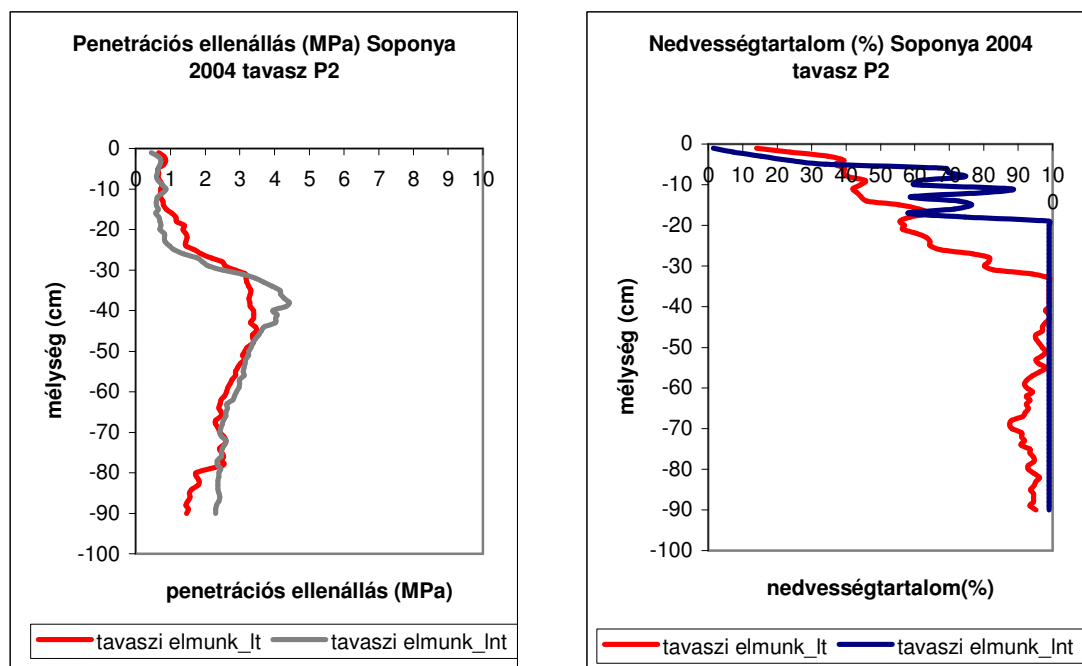
71. ábra nedvességtartalom 2004 tavasz

Jelmagyarázat: *lt*: lazított, tavaszi mérés; *Int*: lazítás nélkül, tavaszi mérés

Nedvességtartalom szempontjából mindkét kezelés talaja kedvező állapotúnak tekinthető. A lazított talaj kevésbé jobban kiszáradt, de így is kellően nedves állapotban volt (71. ábra).

A mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatását regresszióanalízissel vizsgáltuk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve mind a lazítás nélküli ($a = 1,0033$; $b_1 = -0,0619$; $b_2 = 0,0008$; $R = 0,5536$), mind a lazított kezelésnél ($a = 0,6024$; $b_1 = -0,0060$; $b_2 = 0,0003$; $R = 0,6978$) közepesen szoros összefüggést találtunk. A determinációs koefficiens értékei alapján elmondható, hogy a nedvességtartalom a lazítás nélküli területen 30%-ban, a lazított területen pedig 48%-ban határozta meg az ellenállást. A négyzetes hatás a lazításban nem részesült kezelésnél 5% szinten szignifikáns volt. A penetrogram alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során azt tapasztaltuk, hogy a lazítás nélküli kezelésben az 1-5cm és 6-20cm rétegek ellenállás adatai matematikailag igazolhatóan nem különböznek. A 6-20cm és 21-30cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,57$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbség van. A 21-30cm és 31-75cm, valamint a 31-75cm és 76-90cm rétegek között a különbség $SzD_{5\%} = 0,49$ és $SzD_{5\%} = 0,42$ mellett ugyancsak 0,1% szinten igazolható. A mélylazított területen az 1-5cm és 6-15cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,48$ mellett a különbség tendencia jellegű, statisztikailag nem igazolt. A 6-15cm és 16-27cm ($SzD_{5\%} = 0,37$); 16-27cm és 28-35cm ($SzD_{5\%} = 0,40$), valamint a 36-75cm és 76-90cm ($SzD_{5\%} = 0,26$) rétegek ellenállás értékei 0,1% szignifikancia szinten igazolhatóan különböznek. A 28-35cm és 36-75cm rétegek közötti különbség $SzD_{5\%} = 0,34$ mellett 1% szinten igazolható. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 54-55. táblázatai tartalmazzák.

A **2 parcellánál**, a lazításos kezelésnél a penetrációs ellenállás nem éri el és nem haladja meg a 3,5 MPa-t (72. ábra). Lazítás nélkül a talaj a 31-47 cm rétegben tekinthető tömörödöttnek a penetrációs ellenállás értékei alapján, tehát a művelőtalp meglétére utaló jel látható. A maximum értéke elmarad az ősztől, 4,6 MPa-lal tetőzik a mechanikai ellenállás.



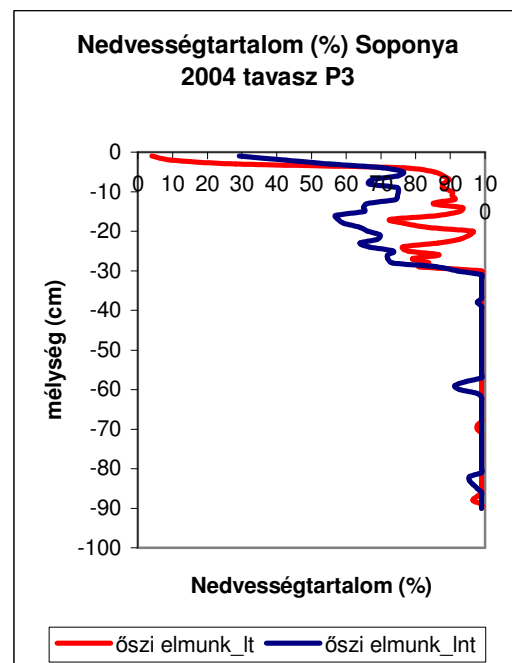
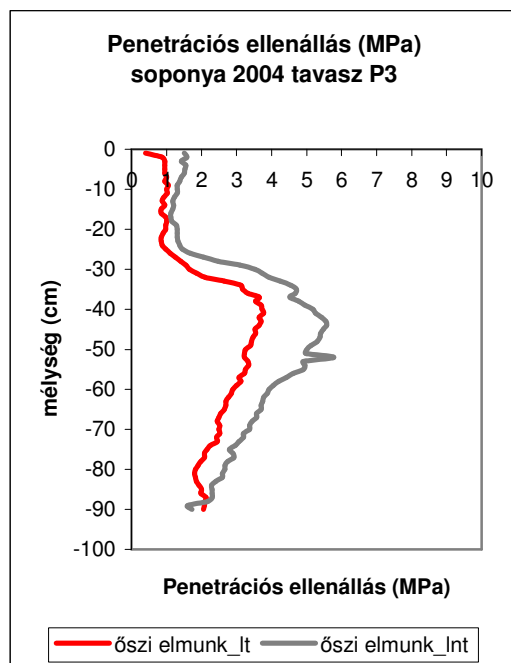
72. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 tavasz 73. ábra. Nedvességtartalom 2004 tavasz
Jelmagyarázat: *It*: lazított, tavaszi mérés; *Int*: lazítás nélkül, tavaszi mérés

A nedvességtartalom regisztrált értékeiből levonható az a következtetés, hogy a talaj mind a lazított, mind a lazítás nélküli kezelésben a vizsgálat mélységéig (90 cm) beázott köszönhetően a nagy mennyiségű őszi téli csapadéknak (73. ábra). A lazított talajban mélyebbre jutott a felszínre érkező csapadék, tavasszal időben szikkadt, a tavaszi elmunkálás nem okozott károkat.

Vizsgálódó a mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatását regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve a lazítás nélküli kezelésnél közepesen szoros ($a = 1,1778$; $b_1 = -0,0572$; $b_2 = 0,0007$; $R = 0,6971$), a lazítottnál pedig szoros összefüggés figyelhető meg ($a = 0,6526$; $b_1 = -0,0092$; $b_2 = 0,0003$; $R = 0,8478$). A négyzetes hatás a lazítás nélküli kezelésben 5% szinten szignifikáns volt.

A penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során a lazításban nem részesült terület ellenállás értékeinél az 1-25cm és 26-35cm rétegek között $SzD_{5\%} = 0,44$ mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbség volt. A 26-35cm és 36-90cm rétegek között tendencia jellegű eltérés figyelhető meg. A lazításos kezelésnél az 1-15cm és 16-25cm rétegek ellenállás értékei között $SzD_{5\%} = 0,25$ mellett 5% szinten igazolható különbséget találtunk. A 16-25cm és 26-30cm ($SzD_{5\%} = 0,34$), a 26-30cm és 31-45cm ($SzD_{5\%} = 0,32$), a 31-45cm és 46-70cm ($SzD_{5\%} = 0,20$), valamint a 46-70cm és 71-90cm ($SzD_{5\%} = 0,18$) rétegek ellenállás értékei 0,1% szignifikancia szinten igazolhatóan különböztek a zárójelben feltüntetett $SzD_{5\%}$ értékek mellett. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 56-57. táblázatai tartalmazzák.

A **3 parcellában** végzett mérések alapján megállapítható, hogy egyértelműen látszik a talajlazítás jótékony hatása (74. ábra). Azonban itt a lazított kezelésnél is eléri és kismértékben meg is haladja a 3,5 MPa-t a penetrációs ellenállás. A 35-46 cm rétegben mértük a legmagasabb értékeket. A lazító művelés nélküli kezelésben 30-68 cm mélységben a mért adatok alapján következtetni lehet a káros tömörödés jelenlétére. A mechanikai ellenállás görbéjének legmagasabb értéke 5,8 MPa. A 68 cm mélységet elhagyva ismét kedvezővé válik a talaj állapota. A 60 cm alatti magasabb ellenállás értékek a talaj természetes tömörségével magyarázhatók.

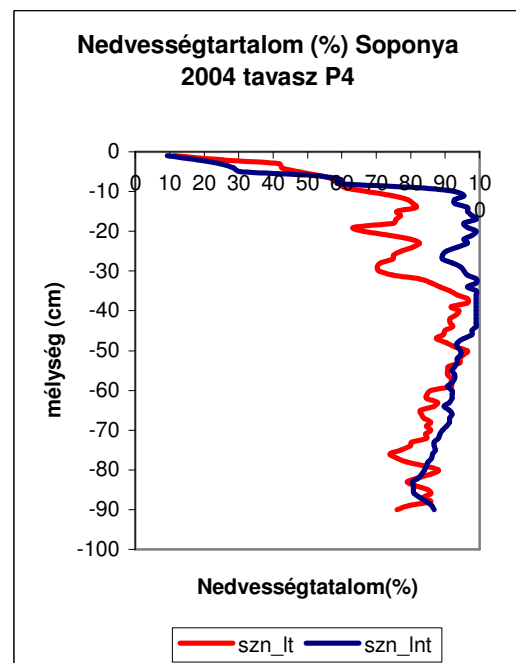
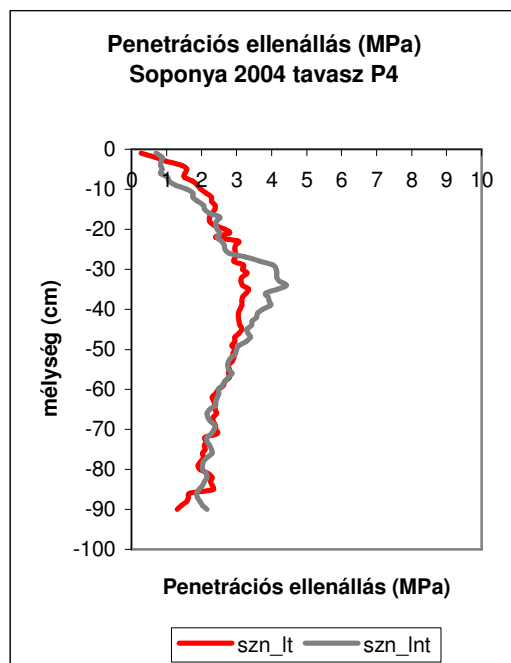


74. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 tavasz 75. ábra nedvességtartalom 2004 tavasz
Jelmagyarázat: *lt*: lazított, tavaszi mérés; *Int*: lazítás nélkül, tavaszi mérés

A mért értékek alapján a nedvességtartalom alakulásáról elmondható, hogy hasonlóan az 1 és 2 parcellákhoz a talaj kedvező nedvességi állapotban van. A vizsgálat mélységéig beázott (75. ábra). A természeteni kívánt nagy vízfelhasználású kukorica és napraforgó növényeknek elegendő nedvesség áll rendelkezésükre a kezdeti fejlődéshez.

Regresszió-analízis során mindkét kezelésnél (lazított, lazítás nélküli) szoros összefüggést találtunk a mért nedvességtartalom és penetrációs ellenállás értékek között. Az alkalmazott másodfokú egyenlet a , b_1 , b_2 értékei és a korrelációs koefficiens R a következők voltak. Lazított kezelés: $a = 1,6210$; $b_1 = -0,0968$; $b_2 = 0,0011$; $R = 0,7338$. Lazítás nélküli kezelés: $a = 4,7171$; $b_1 = -0,1392$; $b_2 = 0,0013$; $R = 0,7762$. A determinációs koefficiens (R^2) értékei alapján a talaj nedvességtartalma a lazításos kezelésnél 53%-ban a lazítás nélküli kezelésnél pedig 60%-ban határozta meg a penetrációs ellenállást. A négyzetes hatás mindkét esetben szignifikáns volt. A lazított területen a penetrogaram alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során az 1-25cm és 26-40cm rétegek között tendencia jellegű különbséget észleltünk. A 26-40cm és 41-50cm, valamint a 41-50cm és 51-90cm rétegek ellenállás adatai 0,1% szignifikancia szinten eltértek. A lazításban nem részesült területen az 1-15cm és 16-25cm rétegek mechanikai ellenállás értékei között tendencia jellegű különbség figyelhető meg. A 16-25cm és 26-45cm, valamint a 46-60cm és 61-90cm rétegek közötti különbség 0,15 szignifikancia szinten igazolható. A 26-45cm és 46-60cm rétegek mechanikai ellenállása közötti különbség 1% szinten igazolható. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 58-59. táblázatai tartalmazzák.

A **4 parcellában**, ahol direktvetést alkalmaztak szintén látható a különbség a lazított és a lazítás nélküli kezelések penetrációs ellenállás értékei között (76. ábra). A lazított kezelés esetében a talaj penetrációs ellenállása sehol sem éri el a káros tömörödés megjelenését jelző 3,5 MPa értéket. A rendszeresen művelt rétegben itt is tapasztalható az értékek emelkedése, de mint említettem a határérték alatt maradnak. A talajlazításban nem részesült területen a 29-41 cm mélységben elhelyezkedő réteg mechanikai ellenállása eléri, illetve meg is haladja a kritikus értéket, de az őszi mérési eredményektől jelentősen elmarad.



76. ábra. Penetrációs ellenállás 2004 tavasz 77. ábra. Nedvességtartalom 2004 tavasz
Jelmagyarázat: : *szn_lt*: szántás nélkül, lazított, tavaszi mérés; *szn_int*: szántás nélkül, lazítás nélkül, tavaszi mérés

A mért nedvességtartalom értékek kissé alacsonyabbak, mint a művelt területeken, de a nagy mennyiségű csapadéknak köszönhetően ebben a kezelésben is kedvező nedvességi állapotban van a talaj (77. ábra). Az alacsonyabb értékek valószínűsíthetően azzal magyarázhatók, hogy a direktvetéses művelési eljárás miatt nem nyitották meg a talajt, így nem növekedhetett a gravitációs pórusok száma, melyek a vízbefogadásért felelősek.

Figyelemreméltó, hogy az őszi mérések során a penetrációs ellenállás értékeiben nem mutatkozott meg a július hónapban elvégzett mélylazítás hatása. Viszont tavasszal már minden művelési rendszernél láthatóan alacsonyabb mechanikai ellenállás értékek regisztrálható a lazított területeken, mint a lazításban nem részesülteken. Ennek feltehetően az az oka, hogy talaj ősszel és télen beázott, a lazítás során megmozgatott, talajban lévő rögök porhanyultak. Így kisebb ellenállás értékeket mértünk, összefüggésben a nyirkos talajállapottal. A nedvességtartalom értékekben a méréseket megelőző csapadékos periódus miatt nem mutatható ki a művelési módok közötti különbség. Mindegyik kezelésnél a vizsgálat mélységéig beázott a talaj.

A mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásának elbírálására regresszió-analízist végeztünk. Az adatokra másodfokú egyenletet illesztve mindkét kezelésnél {lazított ($a = -0,0634$; $b_1 = 0,0,339$; $b_2 = 0,0000$; $R = 0,7137$), lazítás nélküli ($a = 1,7896$; $b_1 = -0,0648$; $b_2 = 0,0008$; $R = 0,7974$)} szoros összefüggést találtunk. A determinációs koefficiens értékei alapján elmondható, hogy a lazítás nélküli kezelésben 63%-ban, a lazítottban pedig 50%-ban határozta meg a nedvesség a mechanikai ellenállást. A lazítás nélküli kezelésben a négyzetes hatás 5% szignifikancia szinten igazolható. A penetrogramok alapján meghatározott rétegek varianciaanalízise során azt tapasztaltuk, hogy a lazítás nélküli kezelésben az 1-5cm és 6-15cm rétegek mechanikai ellenállás értékei között $SzD_{5\%} = 0,59$ mellett 5% szinten igazolható különbség van. A 6-15cm és 16-25cm ($SzD_{5\%} = 0,48$), a 16-25cm és 26-35cm ($SzD_{5\%} = 0,48$), valamint a 26-35cm és 36-90cm ($SzD_{5\%} = 0,37$) rétegek között a zárójelben feltüntetett $SzD_{5\%}$ értékek mellett 0,1% szignifikancia szinten igazolható különbséget találtunk a mechanikai ellenállás értékei között. A lazított kezelésben az 1-15cm és 16-25cm ($SzD_{5\%} = 0,43$), a 16-25cm és 26-45cm ($SzD_{5\%} = 0,46$), valamint a 26-45cm és 46-90cm ($SzD_{5\%} = 0,38$) rétegek a zárójelben feltüntetett $SzD_{5\%}$ értékek mellett 0,1% szinten szignifikáns eltérést mutattak. Az eredménytáblákat a 2. számú melléklet 60-61. táblázatai tartalmazzák.

A kísérletben termesztett növények (kukorica és napraforgó) terméseredményei (t/ha) az alábbiakban láthatók:

Kukorica 2004	Művelés	Lazított	Lazítás nélkül
1. parcella	Őszi szántás, tavaszi elmunkálás (fogas+simító)	13,38	12,30
2. parcella	Őszi szántás, tavaszi elmunkálás (tárcsa+henger)	12,60	11,95
3. parcella	Őszi szántás, őszi elmunkálás	12,70	11,90
4. parcella	Direktvetés	11,54	10,17

9. táblázat. Szemtermés eredmények, Soponya, 2004, kukorica

Napraforgó 2004	Művelés	Lazított	Lazítás nélkül
1. parcella	Őszi szántás, tavaszi elmunkálás (fogas+simító)	3,81	3,77
2. parcella	Őszi szántás, tavaszi elmunkálás (tárcsa+henger)	4,27	4,09
3. parcella	Őszi szántás, őszi elmunkálás	3,92	3,83
4. parcella	Direktvetés	3,89	3,89

10. táblázat. Szemtermés eredmények, Soponya, 2004, napraforgó

A két termesztett növény közül a kukoricánál látszik jobban a különbség a lazított és lazításban nem részesült parcellák terméseredményei között. Átlagosan 1 t/ha-ral volt magasabb a termés mennyisége a lazított területen. A direktvetéses rendszerben mintegy 1-2 t/ha - ral elmarad a termés mennyisége a más művelési módokhoz viszonyítva. Ez azért különösen érdekes, mivel a kísérlet év volt az első, hogy ezt a rendszert alkalmazták. Tehát a keszthelyi tartamkísérletek eredményét is alátámasztja ez az adat. A kukorica esetében a talajművelés elhagyásának hatása azonnal megmutatkozik a termés csökkenésével.

A napraforgó nem reagált ennyire érzékenyen sem a talajlazításra, sem a direktvetésre, bár a lazítás nélküli területen kevesebb volt a termés, de ez a különbség nem jelentős.

A napraforgó reakciója jó talajállapot mellett kisebb, mint a kukoricáé.

4. Összefoglalás

A kutatási téma a talajművelés észszerűsítésére irányult, melynek nélkülözhetetlen eleme a talaj állapotának felmérése, ismerete. A vizsgálat célja kimutatni azt, hogy a különféle növénytermesztési rendszerek (monokultúra, vetésforgók, vetésváltás) és talajművelési eljárások (mélyművelés, sekély művelés, direktvetés) milyen hatást gyakorolnak a talaj penetrációs ellenállására és nedvességtartalmára. A Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növény – és Környezettudományi Intézet Földműveléstani Tanszék kísérleti telepén folyó tartamkísérletek közül négyben, valamint a KITE Rt nagyparcellás talajművelési kísérletében (Soponya) került sor a vizsgálatok elvégzésére.

A már említett tartamkísérletekben a különböző művelési módok, a szerves trágyázás, a zöldtrágyázás, az évelő pillangós növényt tartalmazó vetésforgó, valamint a kukorica monokultúrás termesztése került összehasonlításra tömörödés szempontjából.

A nagyparcellás kísérletben a mélylazítás alkalmazásának hatásait tanulmányoztam, eltérő művelési módoknál.

A mérési időpontok a vizsgálat éveiben (2002-2004): július és október hónap, tehát az őszi búza és a kukorica betakarítása utáni időszak. Mindkét növénynél betakarítás után, tarlóhántás előtt került sor a penetrációs ellenállás és a nedvességtartalom mérésére.

A KITE Rt. kísérletében 2003 októberben és 2004 májusban végeztem el a vizsgálatokat.

A talajművelési, és a lucernás vetésforgó kísérletekben őszi búza és kukorica növénynél, a kukorica monokultúrában kukoricánál, az IOSDV kísérletben 2003-ban kukorica, őszi búza és olajretek, 2004-ben kukorica és őszi búza növénynél a soponyai kísérletben pedig kukoricánál és napraforgónál rögzítettem a penetrációs ellenállás és a nedvességtartalom értékeit.

A vizsgálatok 3T penetrométerrel kerültek elvégzésre, 20 ismétlésben, a tartamkísérletekben 50 cm, szántóföldi körülmények között pedig 90 cm mélységig.

A terméseredmények kiértékelése egytényezős varianciaanalízissel történt. A mért nedvességtartalom értékek penetrációs ellenállásra gyakorolt hatásának vizsgálatára

regresszió-analízist végeztem, a penetrogramok alapján meghatározott rétegek mechanikai ellenállását varianciaanalízissel vizsgáltam.

A különböző talajművelési változatok, valamint a vizsgált növénytermesztési rendszerek között aszályos körülmények között a talaj kis nedvességtartalma miatt kisebb a különbség. Az évtizedeken keresztül azonos módon végzett talajművelés degradáló hatása mindegyik tartamkísérletnél kimutatható.

Vizsgálva a mélylazítás hatását mindenképpen figyelemreméltó, hogy az őszi mérések során a penetrációs ellenállás értékeiben még nem mutatkozott meg a július hónapban elvégzett mélylazítás hatása. Viszont tavasszal már minden művelési rendszernél láthatóan alacsonyabb mechanikai ellenállás értékek regisztrálhatók a lazított területeken, mint a lazításban nem részesülteken. Ennek feltehetően az az oka, hogy talaj ősszel és télen beázott, a lazítás során megmozgatott, talajban lévő rögök porhanyultak. Így kisebb ellenállás értékeket mértünk, összefüggésben a nyirkos talajállapottal. A lazítás során a vízzáróként is működő tömődött réteg áteresztővé vált, így a talaj mélyebb rétegei is át tudtak nedvesedni az őszi csapadék hatására. Lazítás nélkül azonban azt tapasztaljuk, hogy a nedvességtartalom a magasabb penetrációs ellenállású réteg alatt alacsonyabb, mint a lazításos kezelésnél.

A KITE Rt. talajművelési kísérletében a két termesztett növény (kukorica, napraforgó) közül a kukoricánál jobban nyomon követhető a különbség a lazított és lazításban nem részesült parcellák terméseredményei között. Átlagosan 1 t/ha-ral volt magasabb a termés mennyisége a lazított területen (lazítás után: 11,54 – 13,38 t/ha, lazítás nélkül: 10,17 – 12,30 t/ha). A direktvetéses rendszerben mintegy 1-2 t/ha - ral elmarad a termés mennyisége a más művelési módokhoz viszonyítva. A keszthelyi talajművelési tartamkísérletben is a minimális művelési módnál volt legalacsonyabb a termésszint (6,39 t/ha). A kukorica termésének csökkenése a művelés elhagyását követően azonnal jelentkezik.

A napraforgó nem reagált ennyire érzékenyen sem a talajlazításra, sem a direktvetésre, bár a lazítás nélküli területen kevesebb volt a termés, de ez a különbség nem jelentős.

A penetrációs ellenállás értékei és a terméseredmények együttesen igazolják a talajművelési mód helyes megválasztásának fontosságát, a mélylazítás szükségességét. Mivel a talajtömörödés a fenyegető degradációs folyamatok közül az egyik legjelentősebb probléma hazánkban törekedni kell a kímélő művelésre és a talaj lehető legjobb állapotban való megtartására.

5. Új tudományos eredmények

1. A hazai és nemzetközi szinten nyilvántartott és elismert keszthelyi tartamkísérletekben három év alatt olyan talajállapot vizsgálatokat végeztünk, amelyek pontosíthatóbbá teszik az elővetemény-, a trágyahatások, (és a gyomosodás) elbírálását.
2. Kimutattuk, hogy a növénytermesztési rendszerekre jellemző talajállapotot a szokásos művelés mélysége és módja nagyobb mértékben befolyásolja, mint a növény, vagy a növényi sorrend.
3. A kései betakarítású növény után végzett alpművelések esetén tömörödési hiba kialakulása és kiterjedése a szokásosnál is erőteljesebb. Száraz években a kisebb nedvesség miatt általánosan nagyobbak a talajellenállás értékek, így az egyes rendszerekre jellemző talajállapot különbségek kisebbek.
4. A növénytermesztési kísérletekben kialakult művelési hibák száraz években a nedvességforgalom és a trágya hatékonyság korlátozásán keresztül csökkentik a termést. A termés csökkenés azokban a kezelésekben nagyobb, ahol a gyökérzóna a tömörödési kár miatt a normálisnál felével, harmadával sekélyebb.
5. Mészlepedékes csernozjom talajon, lazítási kísérletekben kimutattuk a kiegészítő művelések – szántás, tárcsás elmunkálás – lazítás hatékonyságát csökkentő szerepét, és ezzel összefüggésben a talaj nedvességtartalmának a talaj állapotához igazodó alakulását. A lazítás termés biztonság fokozó hatása csak kevesebb művelési hiba esetén volt egyértelmű. A másodlagos művelésekkel okozott hibák miatt a talajállapot különbségek csökkentek, így a lazított és szántott, illetve a szántott talajon elért termések között kisebb különbségek adódtak, mint hasonló fizikai féleségű, tömörödéstől mentes talajon.

New scientific results

1. In the 3 years long experimental period we carried out such soil condition studies in the nationally and internationally registered and recognised Kesztey long-term experiments, that make possible the more exact estimation of previous crop-, fertilisation and weed effects in crop production.
2. We proved that the depth and method of soil tillage have greater influence on soil condition than the plants grown or crop rotation.
3. Cultivation mistakes made in autumn, at basic soil cultivation after late-harvest plants cause more intense compaction. In dry years due to the lower moisture content the penetration resistance values are higher, therefore there are only smaller differences in soil condition parameters among the particular soil cultivation systems.
4. Cultivation failures in the experiments reduced yields by limiting water supply and restraining the efficiency of plant nutrition. These effects were especially expressed in dry years. The yield reduction was higher in those treatments where the depth of the rooting zone was by 30-50 % smaller than normal due to soil compaction.
5. In the soil loosening experiments carried out on a vermic chernozem soil we proved that the additional soil cultivation procedures, like ploughing, disking, etc. may reduce the efficiency of loosening. This draws the attention to the importance of soil moisture content at cultivation. The yield improving effect of loosening was unambiguous only in those cases where cultivation mistakes were not made after loosening. The cultivation mistakes made at secondary cultivation procedures diminished the differences in soil condition existing between the treatments with or without loosening. This was the reason why that in compacted soil there were only smaller differences in yields between these treatments than in a similar, but uncompacted soil.

6. Irodalomjegyzék

1. *Antos, G. – Kocsis, G.* 1998. Talajtömörödés csökkentése ikerkerekek alkalmazásával. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő
2. *Arvidsson, J. – Hakkanson, I.* 1991. A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. Soil and Tillage Research 20. 319-332.
3. *Bazoffi, P. – Pellegrini, S.* : 2000. stratification of soil compaction, structure decay and soil erosion as influenced by urban refuse compost and low-pressure tractor tyres. In: Horn, R.; Van der Akker, J.J. H.; Arvidsson, J. (Eds.), Subsoil Compaction: Distribution, Processes and Consequences, Advances in GeoEcology, vol. 32. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, pp. 209-217.
4. *Bengough, A.G. – Mullins, C. E.*: 1990. Mechanical impedance to root growth, a review of experimental techniques and root growth responses. J. soil Sci. 41, 341-358.
5. *Benough, A.G. – MacKenzie:* 1994. Simultaneous measurement of root force and elongation for seedling pea roots.
6. *Birkás M.*: 1987. A talajművelés minőségét befolyásoló agronómiai tényezők értékelése. Kandidátusi Értekezés, Gödöllő.
7. *Birkás M.*: 1995. Energiatakarékos, talajvédő és kímélő talajművelés. Egyetemi jegyzet, ATE Gödöllő
8. *Birkás, M.*: 1997. A talajlazítás szükségességének okai és technológiai feltételei. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő

9. *Birkás, M.*: 1999. A talajtömörödés a hazai szakirodalomban. Mezőgazdasági Technika 40. 10. pp. 28-30.
10. *Birkás, M – Gyurica, Cs – Gecse, M – Percze, A.* :1999. Az ismételt tárcsás sekélyművelés hatása egyes növénytermesztési tényezőkre barna erdőtalajon. Növénytermelés 48. 4. 387-400.
11. *Birkás, M – Szalai, T – Nyárai H, F – Fenyves, T.*: 1996. Cukorrépa, kukorica és őszi búza talajok fizikai állapota (okok és következmények 1986-1996). X. Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok
12. *Birkás, M – Szemők, A.*: 1999. Talajállapothibák és orvoslásuk. Gyakorlati Agrofórum. 10. 7. 19-22.
13. *Birkás, M.*: 2000. A talajtömörödés helyzete Magyarországon. Következményei és enyhítésének lehetőségei. MTA Doktori Értekezés, Budapest
14. *Birkás M.*: 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Kiadó, Budapest p. 345
15. *Bland, W. L. – Jones, A.C.*: 1992. Improved root growth and water uptake in the EPIC model. J. Plant Nutr. 15, 1039-1046
16. *Carter, M.R.*: 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. Can. J. Soil Sci. 70 (3), 425-433.
17. *Chambell, D.J. – O'Sullivan, M. F.*: 1991. The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage. Soil Analysis (Physical methods) ed: K.A. Smith, C.E. Mullis. Pp. 399-429.

18. *Chan, K.Y. – Mead, J.A.*: 1989. Tillage-induced differences in the growth and distribution of wheat-roots. Australian Journal of Agricultural Research. 43 (1) pp. 19-28.
19. *Crozier, C.R. – King, L.D.*: 1993. Corn root dry matter and nitrogen distribution as determined by sampling multiple soil cores around individual plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 24.11-12. 1127-1138.
20. *Danfors, B.*: 1994. Changes in subsoil porosity caused by heavy vehicles. Soil and Tillage Research. 29. 2-3. 135-144.
21. *Dexter, S.C.*: 1986. Materials Science in Aquacultural Engineering. Aquacultural Engineering. 5(2-4), pp. 333-346.
22. *Dexter, A. R.* 1987. Mechanics of root growth. Plant Soil 98, 303-312.
23. *Dickson, J.W. – Ritchie, R.M.*: 1993. Soil and crop responses to zero, reduced ground pressure and conventional traffic systems in arable rotation on a clay loam. Departmental Note-Scottish Centre of Agricultural Engineering 63. pp. 31.
24. *Diggle, A. J.*: 1988. ROOTMAP – a model in three-dimensional coordinates of the growth and structure of fibrous root systems. Plant Soil, 105. 169-178.
25. *Diserens, E. – Anken, T. – Weisskopf, P. – Zihlmann, U.*: 1998. Is the carrying capacity of the subsoil higher than expected: Agrarforschung 5, pp. 9-12.
26. *Dumitru, E. – Colibas, L. – Cordos, I. – Ludusan, V. – Niculescu, R. – Ion, P. – Seitan, L. – Canarache, A.*: 1989. Effects of wheel traffic under drought conditions on soil and yield in Romania. Int. Conf. On Soil compaction, Inst. Of Agrophysics, Lublin, Poland, Abstracts, pp.63-64.

27. Ehlers, W. – Köpke, U. – Hesse, F. – Böhm, W.: 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. Soil and Tillage Research 3. pp. 261-275.

28. Eitzinger, J.: 1991. Einflüsse unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungssysteme auf ausgewählte bodenphysikalische Eigenschaften, Dissertation, Univ. F. Bodenkultur Wien

29. Fenyves T.: 1997. A talajművelés és a trágyázás hatása a talaj állapotára és a kukorica termésére gödöllői barna erdőtalajon. Növénytermelés 46, 3:289-298.

30. Füleki, Gy.: 1988. A talaj

31. Farkas Cs. – Gyuricza Cs. – László P.: 1999. Egyes talajfizikai tulajdonságok vizsgálata talajművelési tartamkísérletekben gödöllői barna erdőtalajon. Növénytermelés, 48. 3: 323-335.

32. Fleige, H. – Horn, R.: 2000. field experiments on the effect of soil compaction on soil properties, runoff, interflow and erosion. In: Horn, R.; Van der Akker, J.J.H.; Arvidsson, J. (Eds.), Subsoil compaction: distribution, processes and consequences, Advances in Geocology, vol. 32. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, pp. 258-268.

33. Glinski, J. – Lipiec, J.: 1990. Soil physical conditions and plant roots. CRC Press, Boca Raton, FL, 250 pp.

34. Graham, R.C. – Ulery, A.L. – Neal, R.H. – Teso, R.R.: 1992. Herbicide residue distributions in relation to soil morphology in two California vertisols. Soil Science 153: 115-121.

35. Grath, T. – Hakansson, I.: 1992. Effects of soil compaction on development and nutrient uptake of peas. Swedish Journal of Agricultural Research 22. 1. 13-17.

36. Győrfy B. – Berzsenyi Z.: 1992. Martonvásári vetésforgó kísérlet 30 év termésadatának összesítése 1961-1992. Martonvásár. 2. pp. 16.
37. Győrfy B.: 1975/a. A növénytermesztési kutatások 30 éve. Tudomány és mezőgazdaság. 13. 17-20.
38. Győrfy B.: 1975/b. Vetésforgó-vetésváltás-monokultúra. Agrártudományi Közlemények, Budapest. 34. 61-90.
39. Győrfy, B. 1993. Long-term experiments with crop factors Martonvásár (1960-1990). Strategies for Sustainable Agriculture Conference proceedings, 21-26 September, 1992. Martonvásár, Hungary, pp. 27-30.
40. Győri, D.: 1984. A talaj termékenysége; A talaj szerkezete és termékenysége, Mezőgazdasági kiadó, Budapest. 51-62.
41. Gyuricza Cs. – Farkas Cs. – Baráth Cs.-né – Birkás M. – Murányi A.: 1998. A penetrációs ellenállás vizsgálata talajművelési tartamkísérletekben gödöllői barna erdőtalajon. Növénytermelés, 47. 2: 199-212
42. Hakansson, I. – Reeder, R.C.: 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent persistence and crop response. Soil and Tillage Research 29. 2-3, 277-304
43. Hakansson, I.: 1994. Subsoil compaction caused by heavy vehicles a long term threat to soil productivity. Soil and Tillage Research. 29. 2-3, 105-110.
44. Hakansson, I. – Voorhees, W. B. – Riley, H.: 1988. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. Soil and Tillage Research. 11.: pp.167-179.

45. *Hegedűs I.*: 1984. Tavaszi talajművelési módok vizsgálata kukorica monokultúrában. *Növénytermelés* 33, 2:171-177.
46. *Horn, R.*: 1988. Compressibility of arable land. *Catena*, 11. pp.53-71.
47. *Horn, J. – Way, T. – Rostek, J.*: 2003. Effect of repeated tractor wheeling stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. *Soil and Tillage Research* 73. 101-106.
48. *Kemenes, E.*: 1972. Földművelés, Talajerőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 64-91.
49. *Kemper, W.D. – Steward, B.A. – Porter, L.K.*: 1971. Effects of compaction on soil nutrient status. In: *Compaction of agricultural soils*. Szerk: Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Throckmorton, R.I., Vanden Berg, G.E. ASAE monograph, pp. 178-189.
50. *Kreybig L.*: 1946. Mezőgazdasági természeti adottságaink. Magyar Mezőgazdasági Művelődési Társaság, Budapest.
51. *Kovalev, V.P.*: 1992. Soil compaction and yield. *Pochvovedenie* 11. 111-115.
52. *Krisztián, J.*: 1999. Talajpusztulási folyamatok hatása a szántóföldi növények termesztésére. *Gyakorlati Agrofórum*. 10. 9. 7-8.
53. *Lal, R. – Hall, G.F. – Miller, F.P.*: 1989. Soil degradation: I. Basic Processes. *Land Degradation and Rehabilitation*, 1, pp. 51-69.

54. *Larson, W.E. – Blake, G.R. – Allmars, R.R. – Voorhees, W.B. – Gupta, S.C.*: 1989. Effects of dynamic and static loading on compaction of structured soils. In: *Larson, W.E. – Blake, G.R. – Allmars, R.R. – Voorhees, W.B. – Gupta, S.C. (eds.): Mechanics and related processes in structured agricultural soils. NATO ASI SERIES, E: Applied Sciences, 172, pp. 73-80*
55. *Lehoczky É. – Tóth Z. - Kismányoky T. – Plézer Á.*: 2004. Különböző talajművelési módok és a nitrogén műtrágyázás hatása a kukorica gyomosodására. *Magyar Gyomkutatás és Technológia 4. 2: 63-75.*
56. *Lipiec, J. – Ishioka, T. – Hatano, R. – Sakuma, T.*: 1993. Effects of soil structural discontinuity on root and shoot growth and water use of maize. *Plant Soil 157, 65-74.*
57. *Lipiec, J. – Hakansson, I.*: 2000. Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. *Soil and Tillage Research 53, 87-94.*
58. *Lipiec, J. – Arvidsson, J. – Murer, E.*: 2003. Review of modelling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. *Soil and tillage Research 73. 15-29.*
59. *Lowery, B. – Schuler, R.T.*: 1994. Duration and effects of compaction on soil and plant growth in Wisconsin. *Soil and Tillage Research. 29. 2-3. 205-210.*
60. *Mahli, S.S. – Nyborg, M.*: 1993. Compaction of soils. Yield of barley in greenhouse and field. *Communication in Soil Science and Plant Analysis. 24: 13-14, 1453-1464.*
61. *Marsili, A. – Servadio, P. – Pagliai, M. – Vignozzi, N.*: 1998. Changes of some physical properties of clay soil following passage of rubber- and metal-tracked tractors. *Soil and Tillage Research 49. 185-199.*

62. *Moares, M.H. – Benez, S.H. – Libardi, P.L.*: 1991. Effect of compacted subsurface layers on the development of the root systems of soyabeans. *Scientifica Jaboticabal*. 19. 1. 195-206.
63. *Moran, C.J. – McBratney, A.B.* : 1992. Acquisition and analysis of three-component digital images of soil pore structure. *J. Soil Sci.* 43, 541-550.
64. *Mwendera, E. J.*: 1992 Analysis of the Effect of Tillage on Soil Water Coservation. PhD Thesis No. 221 K.U. Leuven, Belgium, 247 p
65. *Nagy J.*: 1996. A műtrágyázás és talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés* 45:297-306.
66. *Ngujuri, G.M. – Siemens, J.C.*: 1993. Tractor wheel traffic on corn growth. Paper of American Society of Agricultural Engineers. 93. 1110. 22p.
67. *Nyiri, L.*: 1993. Földműveléstan. Mezőgazda Kiadó, Budapest
68. *Nyíri L.*: 1973. A talajjavítás, talajművelés hatása barna erdőtalajon. In: MTA Agrártudományok Osztályának Közleményei 32, 1-2: 185-197.
69. *Nyíri L.*: 1982. A melioratív talajnedvességszabályozás jelentősége és lehetőségei Tiszántúl talajai termékenységének növelésében. *Gödöllői Tudományos Napok*. Gödöllő, 87.
70. *Ouwerkerk, C van – Soane, B.D.*: 1994. Soil compaction problems in world Agriculture. In.: Soil compaction in corp production. (Ed. Soane B.D. – Ouwererk, C van) Elsevier Science B.V. Amsterdam, 1-21.

71. *Pabin, J. – Lipiec, J. – Wlodek, S. – Biskupski, A. – Kaus, A.*: 1998. Critical soil bulk density and strength for pea seeding rot growth as related to other soil factors. *Soil and Tillage Research* 46, 203-208.
72. *Padliai, M. – La Marca, M. – Lucamante, G.* : 1983. Micromorphometric and micromorphological investigation of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. *J. Soil. Sci.* 34, 391-403.
73. *Padliai, M. – La Marca, M. – Lucamante, G. – Genovese, L.*: 1984. effects of zero and conventional tillage on the length and irregularity of elongated pores in a clay loam soil under viticulture. *Soil and tillage Research* 4. 43-444.
74. *Pagliai, M – Marsili, A. – Servadio, P. – Vignozzi, N. – Pellegrini, S.*: 2003. Changes in some physical properties of clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research* 73. 119-129.
75. *Pocsai, K – Schmidt, R* :1997. Szántóföldi területek talajainak vizsgálata 3T System elektronikus rétegindikátorral a Bábolna Rt. területén. /Kutatási jelentés/
76. *Rátonyi, T – Nagy, J – Megyes, A – Dobos, A.*:1999. Alföldi csernozjom talajok érzékenysége a tömörödéssel. *Gyakorlati Agrofórum*. 10.7.4-7.
77. *Rátonyi, T.*: 1999. A talaj fizikai állapotának vizsgálata talajművelési tartamkísérletben. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen.
78. *Rusanov, V.A.*: 1991. Effects of wheel and traffic on the soil crop growth and yield. *Soil and Tillage Research*. 19: 121-131.
79. *Ruzsányi L. – Lesznyák Mné.*: 2003. A talajvízgazdálkodás és a növénytermesztés összefüggései tartamkísérletben. *Növénytermelés*, 52. No. 3-4. **oldalszám**

80. Sipos S.: 1968. Talajművelési és trágyázási rendszer hatása a terméseredményekre. Talajtermékenység III, 1:9-39.
81. Sipos S.: 1974. Talajművelési kísérletek eredményei réti talajon. Kukorica-termesztési kísérletek. 1958-1974. Akadémiai Kiadó, Budapest, 213-221.
82. Schjonning, P – Rasmussen, K.J.: 1994. Danish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. Soil and Tillage Research 29. 2-3. 215-227.
83. Schmidt, R. – Szakál, P. – Kerekes, G. – Bene, L.: 1998. A talajok tömörödöttségének vizsgálata művelőutas cukorrépa-termesztési technológia alkalmazása esetén. Cukorrépa XVI./1. pp.8-14.
84. Soane, B.D.: 1970. The effects of traffic and implements on soil compaction. J. Proc. Inst. Agric. Eng. 25: 115-126.
85. Soane, B.D. – Blavkwell, P.S. – Dickson, J.W. – Painter, D.J.: 1981. compaction by agriculture Vehicles: A Review of Compaction under Tyres and other Running Gear. Soil and tillage Research 1: 373-400
86. Stefanovits, P.: 1992. Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest
87. Stefanovits, P.: 1997. Talajvédelem, környezetvédelem. Mezőgazdasági kiadó, Budapest
88. Styk, B – Sochaj, J :1992. Effect of pre-sowing soil compaction on yield of spring barley. Roczniki-Nauk-Rolniczych. Seria-A.-Produkcija-Roslinna. 109. 3. 107-184.
89. Szöllősi, I.: 2002. Talajok tömörödöttségi állapotának jellemzése penetrométeres vizsgálatokkal. Doktori (PhD) Értekezés, Debrecen

90. *Taylor, H.M. – Brar, G.S.*: 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research*, 19: 111-119.
91. *Tóth, Z. – Beke, D.*: 2003. Tillage and Rotation Effect on the Physical Condition of Soil. Soil Management for Sustainability. Proceedings of the 16th Triennial Conference of International Soil Tillage Research Organisation. 13-18 July. The University of Quesland, Brisbane, Australia. Editors: Jeff Tullberg – Willem Hoogmoed. (CD ROM) 1259-1264.
92. *Tóth, Z. – Kismányoky, T.*: 2001. a kukorica (*Zea mays* L.) és a búza (*Triticum aestivum* L.) szemtermésének vizsgálata különböző vetésforgókban és kukorica-monokultúrában. *Növénytermelés* 50, 123-134
93. *Trouse, A.C.*: 1971. Soil conditions as they affect plant establishment, root development and yield. In: *Compaction of agricultural soils*. Szerk: Barnes, K.K., Carleton, W.M., Taylor, H.M., Throckmorton, R.I., Vanden Berg, G.E. ASAE monograph, pp. 241-276.
94. *Várallyay, Gy.* : 1996. Magyarország talajainak érzékenysége szerkezetromlásra és tömörödéssre. *Környezet – és tájgazdálkodási füzetek*. II/1. pp. 15-30.
95. *Várallyay, Gy.*: 1999. A talajfizika gyakorlati alkalmazásai a fenntartható talajhasználatban. *Gyakorlati Agrofórum*. 10. 7. 4-7.
96. *Várallyay, Gy.*: 2003. Növényi tápanyagellátás és a talaj vízgazdálkodása. III. Növénytermesztési Tudományos Nap, Gödöllő, Proceedings: szerk.: Csorba, Zs. – Jolánkai, P. – Szöllősi, G. pp. 7-15.
97. *Voorhees, W.B. – Senst, C.G. – Nelson, W.W.*: 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in northern Corn Belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42. 344-349.

98. *Voorhees, W.B.*: 2000. Long term effects of subsoil compaction on yield of maize. In: Horn, R.; Van den Akker, J.J.H.; Arvidsson, J. (Eds.), Subsoil, compaction, Distribution, Processes and Consequences: Advances in Geo ecology 32. Catena Verlag GmbH, Reiskirchen, Germany, pp. 331-338
99. *Vossbrink, J. – Horn, R.*: 2003. Folgen der Befahrung für den Boden bodenphysikalische Berachtung. FVA-Einblick, Ausgabe 08/2003.
100. *Wiermann, C.*: 1998. Auswirkungen differenzierter Bodenbearbeitung auf die Bodenstabilität und das Regenerationsverhalten lössbürtiger Ackerstandorte, vol. 45. Schriftenreihe des Insituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universitat Kiel, 215 pp.
101. *Whiteley, G.M. – Utomo, W.W. – Dexter, A.R.*: 1981. A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. Plant Soil. 61. pp. 351-364.