

Tartalom

Bevezetés	2
Anyag és módszer.....	3
EREDMÉNYEK.....	6
Talajok végső jellemzése a kétdimenziós térben.....	9
A TALAJTÖMÖRÖDÉST KÖZVETLENÜL JELLEMZŐ PENETROMÉTERES VIZSGÁLATOK	11
A kísérleti eredmények áttekintő táblázata.....	14
A bugaci Napraforgó TERMÉSEREDMÉNYEK vizsgálata különböző statisztikai módszerekkel	15
A bugaci kukorica TERMÉSEREDMÉNYEK vizsgálata különböző statisztikai módszerekkel	17
A szeged-öthalmi kukorica TERMÉSEREDMÉNYEK vizsgálata különböző statisztikai módszerekkel	18
A szeged-öthalmi napraforgó TERMÉSEREDMÉNYEK vizsgálata különböző statisztikai módszerekkel	19
A kísérlet többféle vegetációs index-szel végzett értékelése.....	20
NDVI INDEXEK CHAID ELEMZÉSE A TALAJNYOMÁS KÍSÉRLETEKTŐL ÉS KÍSÉRLETI HELYTŐL FÜGGŐEN	24
EREDMÉNYEK tézisszerű összefoglalása.....	27

VETÉS SORÁN ALKALMAZOTT ELTÉRŐ MÉRTÉKŰ TALAJTÖMÖRÍTÉS HATÁSA KUKORICÁBAN ÉS NAPRAFORGÓBAN

Bevezetés

A talajok szerkezete alapvetően befolyásolja a szántóföldi termesztés eredményességét. A tömörödöttebb talajon az elvetett mag nehezebben kel, gyengébben fejlődik a gyökérzete, az időben széthúzódó kelés a későbbi agrotechnikai műveletek időzítését és eredményességét is befolyásolja. Az egyenetlen kelés okozta legfőbb probléma, hogy a később kelő növények a lemaradásukat sosem hozzák be, a hamarabb kelő növények dominánssá válnak, elszívva a vizet, a tápanyagot, leárnyékolnak és emiatt kisebb lesz a hozam a területre vetítve. Kutatások szerint optimális esetben a magok kikelése 6-8 órán belül megtörténik, azaz ennyi idő alatt a növények 95 százaléka kibújik a földből.

Ahhoz, hogy a talajadottságok heterogenitását a termesztés során minél inkább ki tudjuk küszöbölni, a talajmunkákon túl már a vetés során alkalmazni kell a precíziós művelés nyújtotta lehetőségeket. Ennek eszköze a dinamikusan változtatható talajnyomással vető gép, melyen mindig az adott táblarész talajtömörödöttségéhez igazodva tudja szabályozni az automatika a vetésmélységet és a mélységhatároló kerekek talajnyomását. Így biztosítható, hogy a talajadottsághoz maximálisan igazodva valósuljon meg a vetés, ami a lehető legegyszerűsebb kelést eredményezi majd.

A kutatás során az elsődleges kísérleti tényező a vetés során alkalmazott eltérő talajtömörítés (downforce) volt, amit a vizsgált területek széleskörű talajvizsgálata és a növényzet fejlődésének műholdas távérzékelésen alapuló nyomon követése kísért. Célkitűzésünk volt a kezelések által elérhető többlethozam igazolása kukoricában és napraforgóban. Hazánk talajainak változatossága nemcsak tájegységenként jelentkezik, hanem sokszor akár egy 8-10 hektáros táblán belül is előfordul 2-3 féle talajtípus, és a talajtulajdonságok, különösen a tömörödöttség nagy változatosságot mutat. A kutatás eredményeként olyan termesztéstechnológiai eljárásra tettünk javaslatot, aminek a révén a precíziós technológiát használó gazdák maximálisan ki tudják használni a rendelkezésükre álló eszközökben rejlő lehetőségeket.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Különböző gyártók forgalmaznak hasonló tulajdonságú vetőkocsikat, amelyek képesek különböző talajnyomással vetni. A különböző gyártók más-más egységben fejezik ki a nyomóerő nagyságát és gyakran a megnevezés is más. Az általunk használt Precision Planting eszköznél a „downforce” (talajnyomás, direkt fordításban: leszorító erő) kifejezést használják, másutt a „margin” (kb.: mozgástér) vagy a „gauge wheel load” (mélységtartó kerék terhelés) kifejezés fordul elő. Jelen leírásunkban a Precision Planting eszközeire nézve határoztunk meg értékeket.

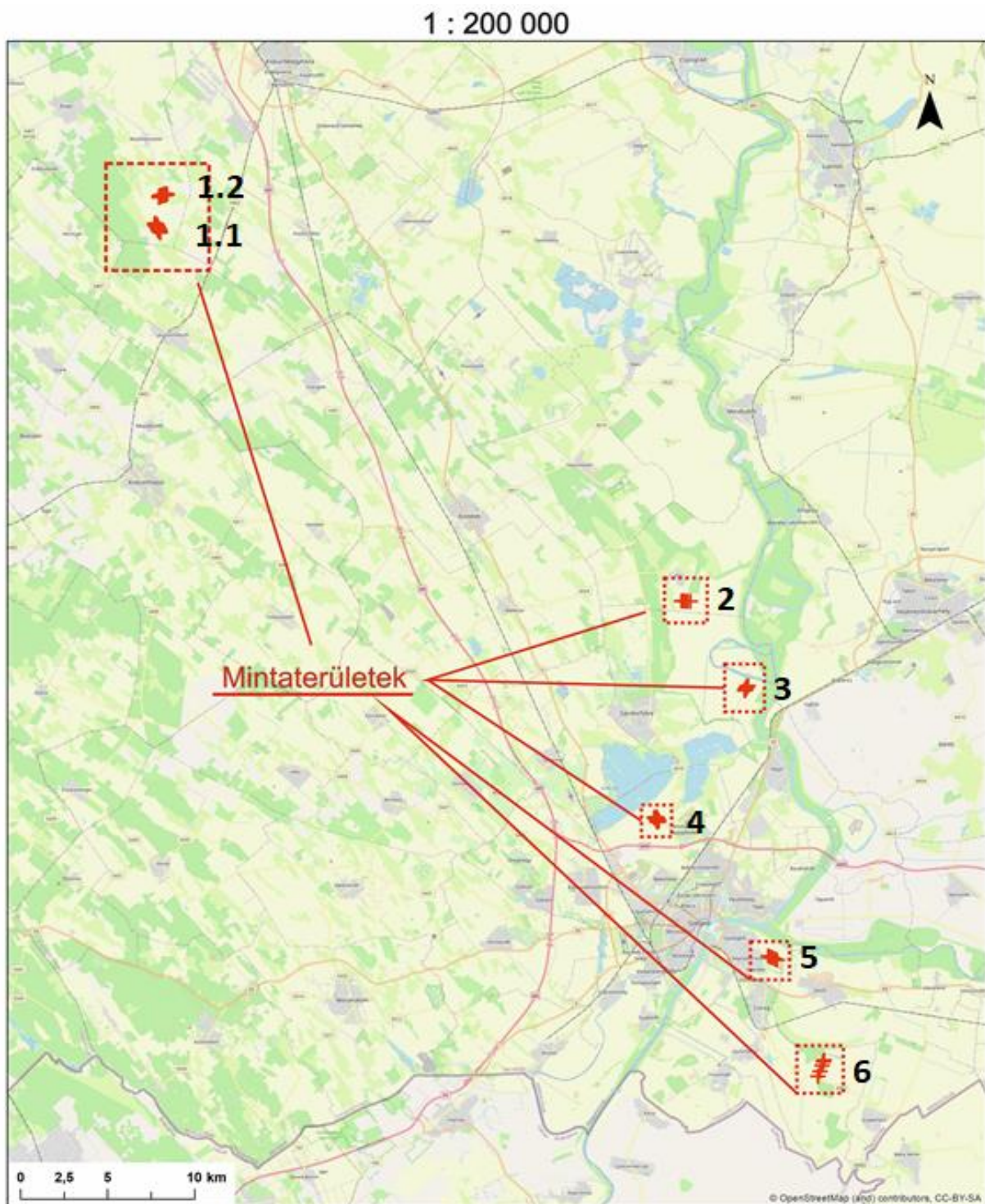
A kísérleti kezelések számozása:

- 1.: nincs plusz talajnyomás (0 kg)
- 2.: kis talajnyomás (300 font kb. = 136 kg)
- 3.: közepes talajnyomás (500 font kb. = 227 kg)
- 4.: nagy talajnyomás (900 font kb. = 408 kg - túlzott tömörítés a mag körül)

Eső után a lehető leggyorsabban elvégezték a vetést, mert a száraz talajt nem lehet tömöríteni, tehát a kezelések viszonylag hatástalanok lettek volna száraz talajon. Csaknem minden helyen volt elég terület ahhoz, hogy körül vessék a kísérletet és így a szegélyhatást többé-kevésbé ki lehetett küszöbölni, de egy esetben erre nem volt lehetőség, tehát a kísérlet értékelése során a szegélyhatás kis mértékben torzította az eredményeket.

1. táblázat: A kísérletek beállítása (kísérleti helyek térképe az 1. ábrán)

Kísérleti hely-település (számozás az 1. ábrán)	Cég neve:
Szőreg (6)	Karotin Kft.
Újszeged (5)	Agroplanta Kft.
Öthalom (4)	Kotogány Árpád
Algyő (3)	Agroplanta Kft.
Dóc (2)	Karotin Kft.
Bugac (1.2)	Bugaci Aranykalász Zrt. és Mezőgazda Kft.
Bugac (1.1)	Bugaci Aranykalász Zrt. és Mezőgazda Kft.



1. ábra Kísérleti helyek (magyarázat az 1. táblázatban)

55 ponton 110 talajmintát vettünk fűróval a felszíni rétegből (0-30 cm) és a felszín alatti rétegből (30-60 cm) úgy, hogy minden minta három egymáshoz közeli pontminta átlagából keletkezett. A három részmintát összekeverték, és abból alakítottak ki mindkét rétegre vonatkozóan 1-1 átlagmintát, és ezek kerültek laboratóriumi vizsgálatra. Ezzel a módszerrel

biztosítható volt, hogy a minták egy kisebb talajfoltra reprezentatívnak tekinthetők, és a helyi variabilitás által okozott esetlegességeket sikerült kiküszöbölni. Ennek az NDVI és termés adatokkal való jobb összehasonlíthatóság esetében van nagy jelentősége.

A 110 eredeti szerkezetű mintát 100 cm³ térfogatú mintavevő hengerrel vettük a középső pontban.

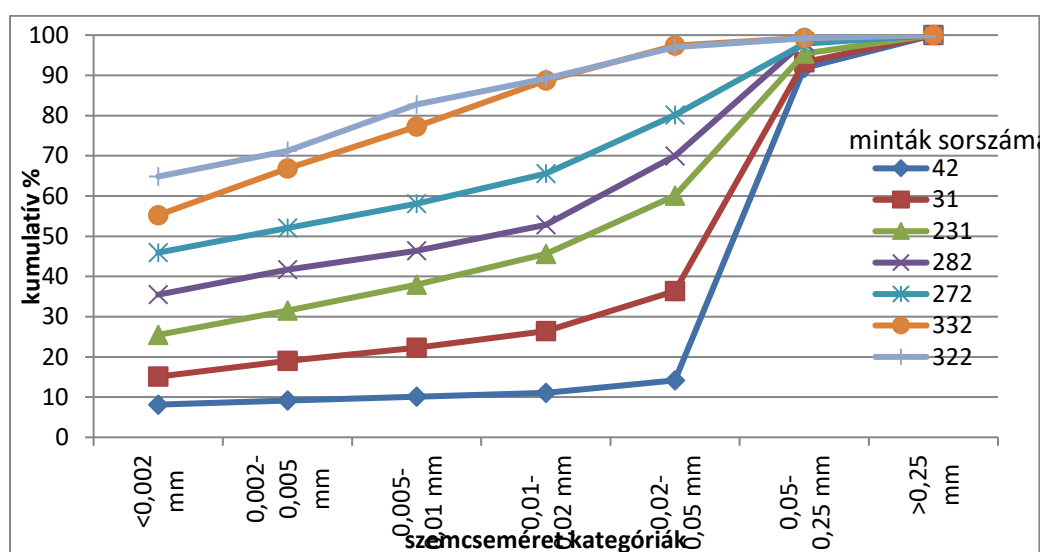
A vizsgált paraméterek:

- pH (H₂O)
 - Összes só (m/m%)
 - CaCO₃ (m/m%)
 - Arany-féle kötöttségi szám és ez alapján fizikai féleség tápanyag-vizsgálat
 - Humusztartalom (m/m%)
 - NO₂- + NO₃- -N mg/kg
 - AL-P₂O₅ mg/kg
 - AL-K₂O mg/kg
- szűkített
-
- térfogattömeg (g/cm³)
 - nedvességtartalom (m/m%)
-
- szemcseátmérő eloszlás (mm-ben)
 - <0,002
 - 0,005-0,002
 - 0,01-0,005
 - 0,02-0,01
 - 0,05-0,02
 - 0,25-0,05
 - >0,25 (A frakciók jelzése a táblázatban: lt002; b002_005; b005_01; b01_02; b02_05; b05_25; gt25)

EREDMÉNYEK

SZEMCSEMÉRET KATEGÓRIÁK KUMULATÍV ELOSZLÁSI GÖRBÉI

A 2. ábra néhány jellegzetes talajminta kumulatív szemcseméret eloszlási görbáját mutatja. Ez is alátámasztja, hogy az általunk gyűjtött 110 minta a magyarországi talajok teljességét reprezentálják a fizikai féleség tekintetében. Megállapításaink tehát nagy megbízhatósággal kiterjeszthetők a vizsgálati területen túl Magyarország összes talajára. A mintavételi helyek: 42: Bugac 4. hely 30-60 cm; 31: Bugac 3. hely 0-30 cm; 231: Bugac 23. hely 0-30 cm; 282: Dóc 28 hely 30-60 cm; 272: Dóc 27. hely 30-6 cm; 332: Algyő 33 hely 30-60 cm; 322: Algyő 32. hely 30-60 cm.

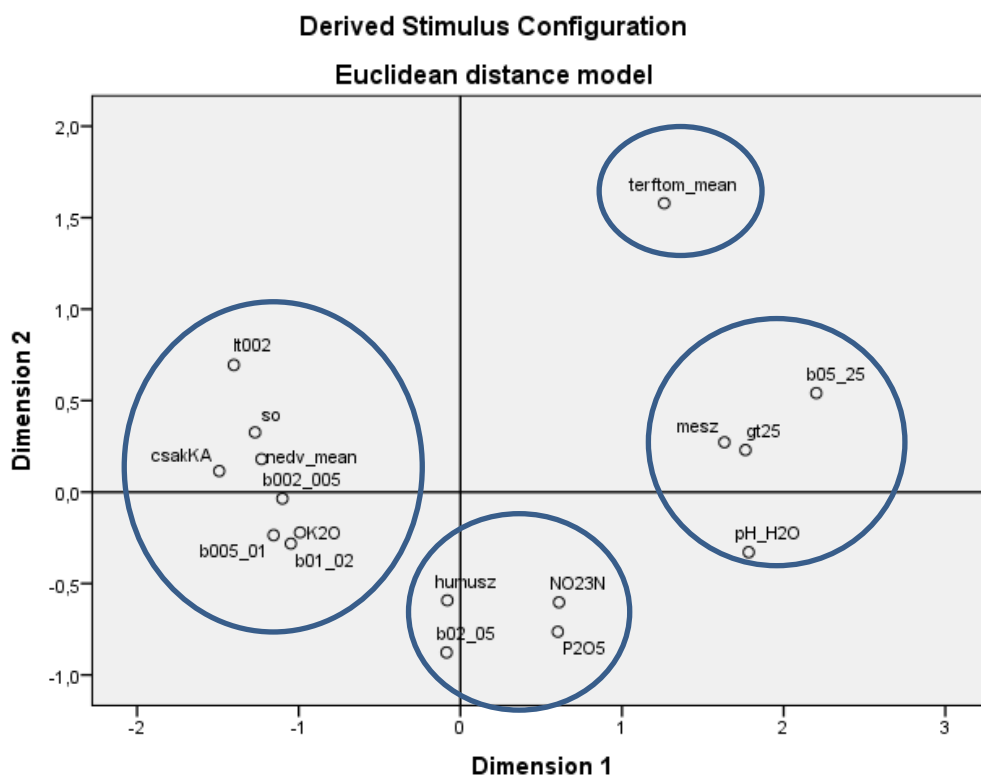


2. ábra A minták szemcseméret eloszlásának reprezentativitása

A talajok jellemzése két aggregált változóval

A 110 talajmintán 17 különböző talajtulajdonságot mértünk meg. A tulajdonságok nyilvánvalóan nem függetlenek egymástól. A talajminták sem függetlenek egymástól, hiszen az azonos táblán vett minták szükségszerűen jobban hasonlítanak egymásra, mint a különböző táblákról vett minták. Az ilyen esetekben a statisztikában a dimenziócsökkentő eljárásokat szokták alkalmazni. Olyan hipotetikus változókat számítanak ki az eredeti változókból, amelyek egymástól teljesen függetlenek (a korrelációjuk nulla), ugyanakkor az első ilyen hipotetikus változó a legtöbbet fejezi ki az összes eredeti változó által okozott varianciából, a második már kevesebbet és így tovább. Elvégeztük ezt a dimenziócsökkentő eljárást mind a változók közötti összefüggésre nézve, mind a talajminták közötti hasonlóságra nézve. A

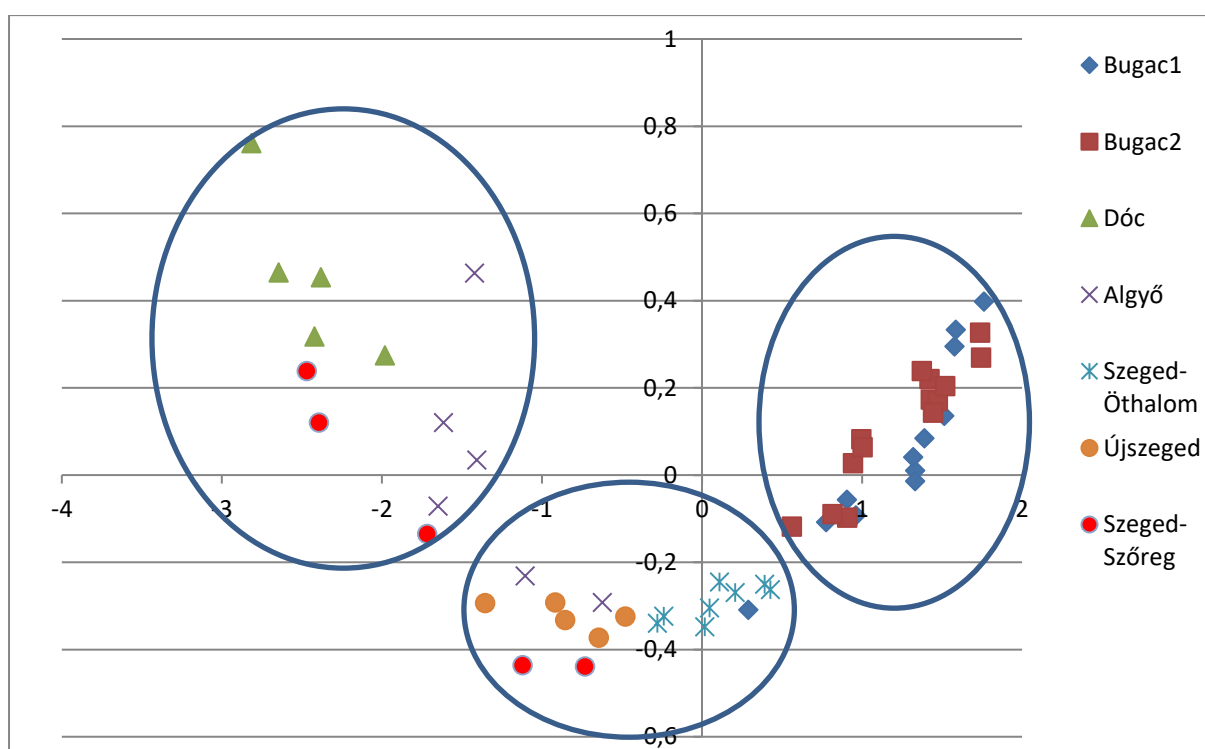
vizsgált talajtani paraméterek hasonlóságát a kétdimenziós térben (a 17 ténylegesen mért változót két elméleti változóra redukálva) a 3. ábra szemlélteti. A változók jól láthatóan négy csoportba tömörülnek, és a gyökérnövekedés szempontjából fontos térfogattömeg egyedülként elkülönül a többi csoporttól.



3. ábra A talajvizsgáló eredmények az első két faktor által meghatározott térben

TALAJOK VÉGSŐ JELLEMZÉSE A KÉTDIMENZIÓS TÉRBEN

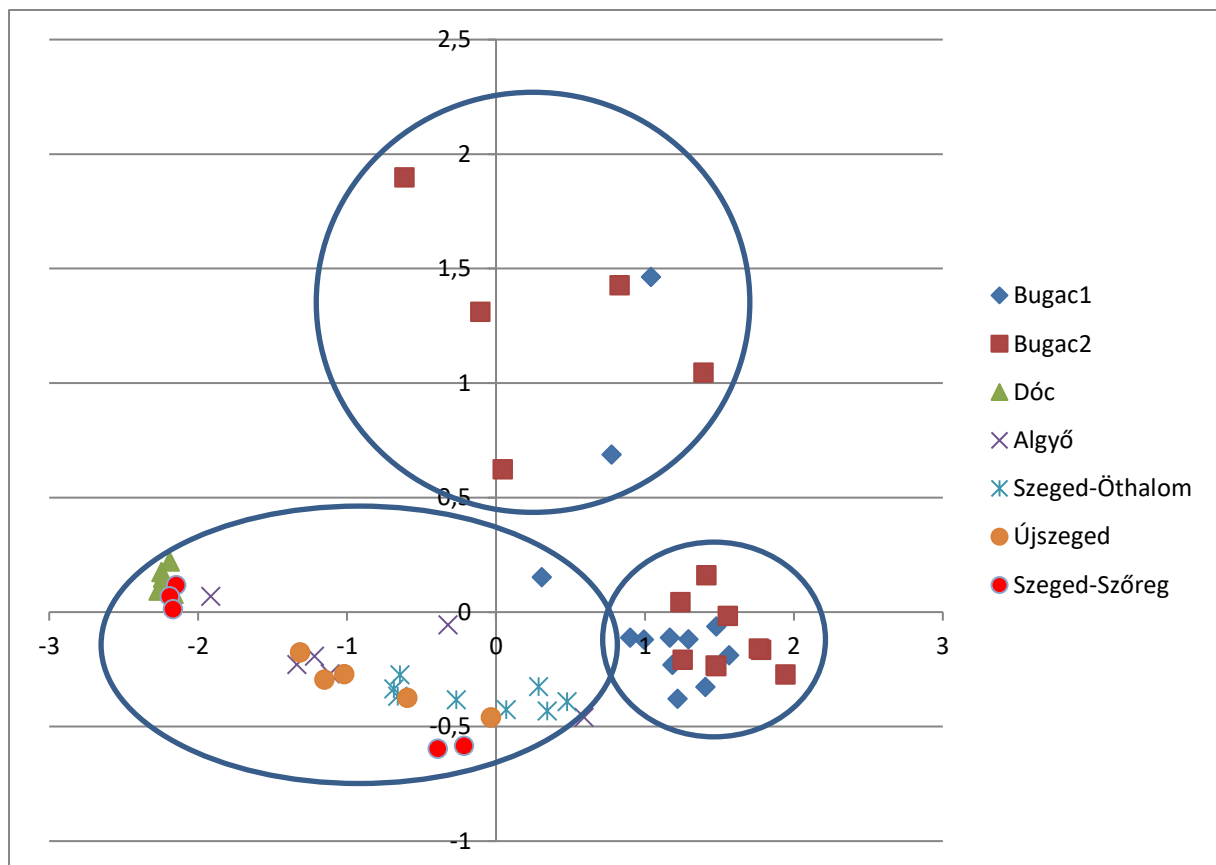
Az 110 talajminta (55 hely két rétegben mintázva) mindegyikét 17 változóval (talajtulajdonsággal) jellemeztük a laborvizsgálatok alapján. Ez matematikailag azt jelenti, hogy egy 17 dimenziós térben helyeztük el. Túlzottan összetett feladat azt megmondani, hogy egy ilyen bonyolult geometriájú probléma esetében milyen kölcsönhatások érvényesülnek. Erre a problémára dolgozták ki a dimenziócsökkentő eljárásokat, amikor matematikai eszközökkel pl. kétdimenzióssá alakítják a sokdimenziós teret. Ennek során a változók hasonlóságát és különbségét (meglévő vagy hiányzó korrelációját) használják fel. A felszíni talajrétegek tulajdonságait kétdimenziós térben ábrázolva a 4. ábrán látjuk.



4. ábra Mintavételi helyek a felszíni talajréteg első két fatora által meghatározott térben

A talajok nagyon jól sorba rendeződnek és nagyjából három eltérő csoportra oszlanak: 1: Bugac1 és Bugac2; 2: Szeged-Öthalom és Újszeged és 3: Dóc, Algyő és Szeged-Szőreg. A csoportok között kis mértékű átfedés van.

A felszín alatti réteg esetében a kétdimenziós ábra kevésbé egyértelmű, ami a művelés homogenizáló hatásának tudható be.



5. ábra Mintavételi helyek a felszín alatti talajréteg első két fatora által meghatározott térben

Jellemzően a bugaci minták erősen elütnek a többitől. Részleteiben megvizsgálva azt találjuk, hogy ezek a szikes talajminták. A felszín alatti szint esetében a bugaci mintákat és az összes többi mintát lehet két külön kategóriába sorolni, illetve a szikes altalajú bugaci minták egy külön alcsoportot képezhetnek.

A TALAJTÖMÖRÖDÉST KÖZVETLENÜL JELLEMZŐ PENETROMÉTERES VIZSGÁLATOK

40 ponton a laboratóriumi talajminták helyén penetrométeres vizsgálatokat is végeztünk a két bugaci kísérleti helyen. A penetrométeres mérések alapján a mintavételi pontokat 5 csoportba osztottuk. A csoportosításban első helyen a maximális behatolási mélységet (cm), majd a maximális talajellenállást (Newton) vettük figyelembe, majd kialakítottunk egy olyan számítási módot, ahol ezeket a tulajdonságokat egyetlen mérőszámba sűrítve, egy lineáris skálán lehetett a csoportokat elkülöníteni egymástól. A komplex penetrációs mérőszámot a következő módon lehet kiszámítani:

$$\text{KPMsz} = \log(\text{maxERŐ} \cdot (90 - \text{maxMÉLYSÉG})).$$

2. táblázat A penetrométeres mérések általi talaj csoportosítás

Komplex penetrációs mérőszám

Tukey HSD

csoport2	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
5	9	3,743545				
4	5		3,831903			
3	14			3,926798		
2	5				4,057766	
1	7					4,361741
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Jól látható módon a komplex penetrációs mérőszám teljesen egyértelműen elkülöníti az öt csoportot egymástól, tehát megfelelő talajtulajdonság-indexet dolgoztunk ki arra nézve, hogy a penetrációs ellenállás mérésére alapozva értékelhessük a kísérletek eredményét.

Ezek után feltettük a kérdést, hogy ezek a csoportok hogyan és milyen mértékben jellemzik a talajoknak azokat a tulajdonságait, amelyeket laboratóriumban meg tudunk mérni, és amelyekről pontosan tudjuk azok értelmezését. Erre vonatkozóan diszkriminancia analízist alkalmaztunk, ami minőségi változók (esetünkben az 5 csoport) elkülönítését teszi lehetővé folytonos változók (esetünkben a laboratóriumban mért talajtulajdonságok) alapján. Első közelítésben az összes megmért talajtulajdonságot bevontuk a vizsgálatba.

Elvégeztük a diszkriminancia analízissel elkülönített és a valódi csoportok közötti megfelelés vizsgálatát is, aminek az eredményét az alábbi táblázat mutatja. A 40 esetből 35 esetben (87,5 %) a megfelelő csoportba került a vizsgált minta, és 37 esetben jó csoportba vagy legfeljebb a szomszédos csoportba került (92,5 %). Csak 3 esetben (7,5 %) kerültek a minták távolabbi csoportba. Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a penetrométeres vizsgálatok az adott talajok sokféle tulajdonságát (nem kizárólag csak fizikai talajtulajdonságokat!) komplex módon jellemzik, és a penetrométeres tulajdonságok alapján végzett csoportosítás ezeknek a komplex talajtulajdonság-együtteseknek az eredőjeként megjelenő termőképességi csoportokat is reprezentálhatják kellő pontossággal.

3. táblázat A penetrométeres talajcsoportok predikciója a talajtulajdonságokkal

csoport2 * Predicted Group for Analysis 1 Crosstabulation

	Predicted Group for Analysis 1					Total
	1	2	3	4	5	
1	5	2	0	0	0	7
2	0	5	0	0	0	5
csoport2 3	1	0	13	0	0	14
4	0	0	0	5	0	5
5	0	1	1	0	7	9
Total	6	8	14	5	7	40

A fenti vizsgálatokat megismételtük úgy is, hogy nem az összes talajvizsgálatot, hanem csak a szűkített tápanyagvizsgálatot vontuk be az elemzésbe. Ennek abban állna a jelentősége, hogy ezeket a vizsgálatokat gyakorlatilag minden táblán elvégzik, ahol a tápanyagellátás pontosítása céljából talajmintát vesznek, tehát ha ezek alapján a vizsgálatok alapján is sikerül jól csoportosítani a mintákat, akkor az eredményeket sokkal általánosabban ki lehetne terjeszteni akár a penetrométeres vizsgálatok elvégzése nélkül is, pusztán a szokásos talajvizsgálatokból számított mutatószám alapján. Mivel a diszkriminancia analízis eredményét mutató második fenti táblázatban bőségesen vannak olyan változók, amelyek kívül esnek a szűkített tápanyagvizsgálatok körén, túlzott reményeket nem fűztünk ehhez a vizsgálatához. Ez a várakozás be is igazolódott. A következő oldalon az így képzett csoportok és a valódi csoportok egyezését mutatjuk be. 22 minta került a megfelelő csoportba (55 %) és 30 minta a megfelelő vagy legfeljebb a szomszédos csoportba (75 %), ami nem kellően pontos eredmény. A következtetésünk az, hogy a penetrométeres vizsgálatok sokkal komplexebb képet adnak a talajról, mint a szűkített tápanyagvizsgálat eredmények, de ezt nagyon összetett módon reprezentálják. Előnyük viszont, hogy könnyen és egyszerűen elvégezhetők, valamint sokkal olcsóbban is, mint a mechanikai összetétel vizsgálatok több rétegből vett talajmintán. Mivel a szűkített tápanyagvizsgálatokhoz képest lényeges plusz információt tartalmaznak, ez a többletinformáció felhasználható a vetésmélység meghatározásár a precíziós művelés során.

A KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÁTTEKINTŐ TÁBLÁZATA

4. táblázat *Kukorica* termésátlag eredmények (t/ha)

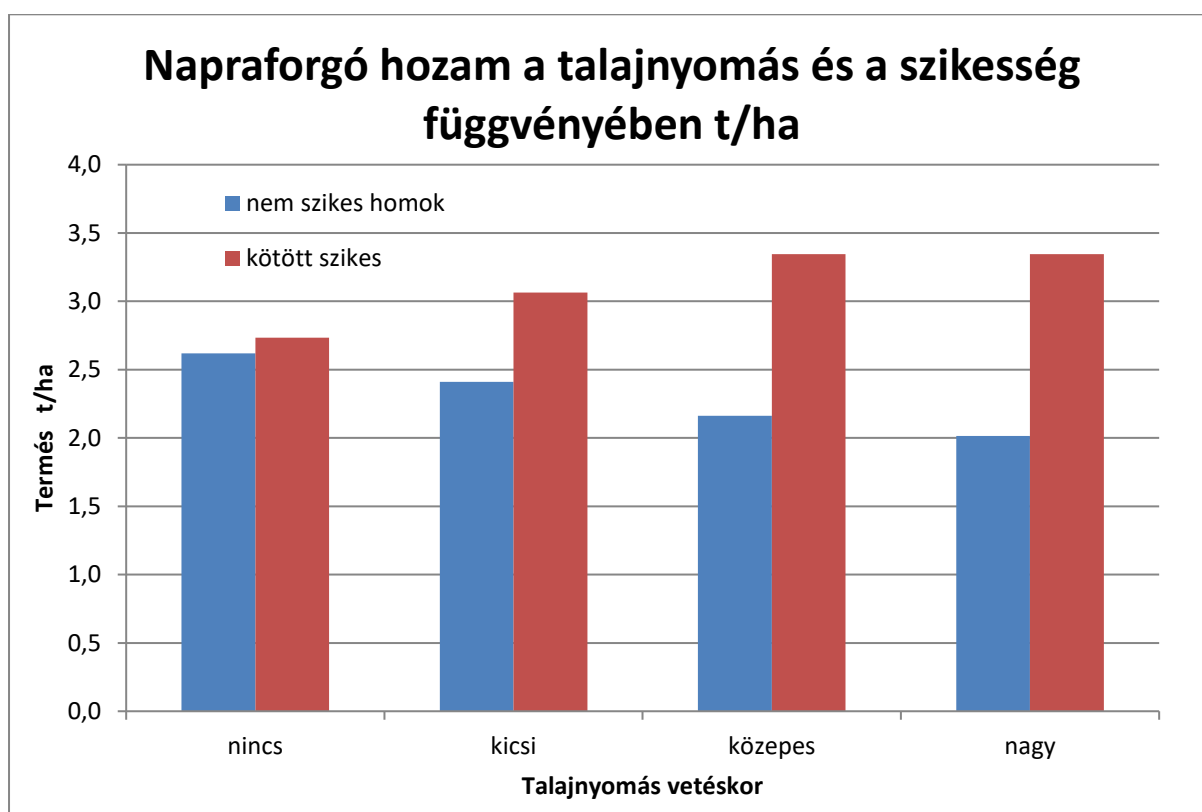
év	talaj- nyomás kezelés	Bugaci Aranykalász Zrt.	Mezőgazda Kft.	Karotin Kft.	Agroplanta Földi László	Kotogány Árpád
2020	1	5,39	5,34	12,44	9,72	11,62
	2	5,28	5,12	11,62	9,80	11,66
	3	4,88	4,59	11,64	9,88	11,60
	4	6,27	6,46	11,49	9,64	11,62
2021	1	1,97	1,91	6,74	8,28	7,89
	2	1,73	1,70	7,15	8,33	8,08
	3	1,49	1,43	6,83	8,34	8,18
	4	1,69	1,66	6,99	8,22	8,06

5. táblázat *Napraforgó* termésátlag eredmények (t/ha)

év	talaj- nyomás kezelés	Bugaci Aranykalász Zrt.	Mezőgazda Kft.	Karotin Kft.	Agroplanta Földi László	Kotogány Árpád
2020	1	2,75	2,62	3,80	2,72	2,98
	2	2,81	2,84	2,88	2,80	3,00
	3	2,86	2,92	2,52	2,81	2,50
	4	2,78	2,73	2,88	2,34	1,84
2021	1	1,93	1,95	2,78	2,89	2,76
	2	1,91	1,87	2,55	2,94	2,82
	3	1,94	1,98	3,24	2,90	3,02
	4	1,86	1,77	2,98	2,87	2,78

A BUGACI NAPRAFORGÓ TERMÉSEREDMÉNYEK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ STATISZTIKAI MÓDSZEREKKEL

A kezeléseket kétjegyű számmal jelöltük, ahol a tízes helyi értéken a talajnyomás kísérletek sorszáma állt (1-4) az egyes helyi értéken pedig a szikesség jelölése (1: van, 0: nincs). Így nem egyenlő számú mintát tartalmazó 8 különálló kezelést tudtunk vizsgálni, amelyekben a szikesség a talajtulajdonságokból adódott. Az adatokból kitűnt, hogy a kezelések szignifikáns hatásának bizonyultak. Az összes varianciából a kezelések hatásaként 57,8 %-ot magyaráztunk meg, ami jó értéknek számít a terméseredmények becslése terén. Kitűnt, hogy a nem szikes homoktalajokon a termés alacsonyabb, mint a szikes, de mélyebben fekvő kötöttebb talajokon. Ezen belül az 1. és 2. kezelés, valamint a 3. és 4. kezelésben nem térnek el szignifikánsan az átlagok egymástól. A talajnyomás nélküli szikes és nem szikes kezelések (10 és 11) nem térnek el egymástól. A ... ábrán látható, hogy a kötött szikes talajokon és a laza homoktalajokon a talajnyomás kísérlet hatása éppen ellenkező, a homokon negatív hatású, a kötött talajfoltokon pozitív hatású a növekvő talajnyomás.



6. ábra Napraforgó hozamok és befolyásoló tényezők Bugacon

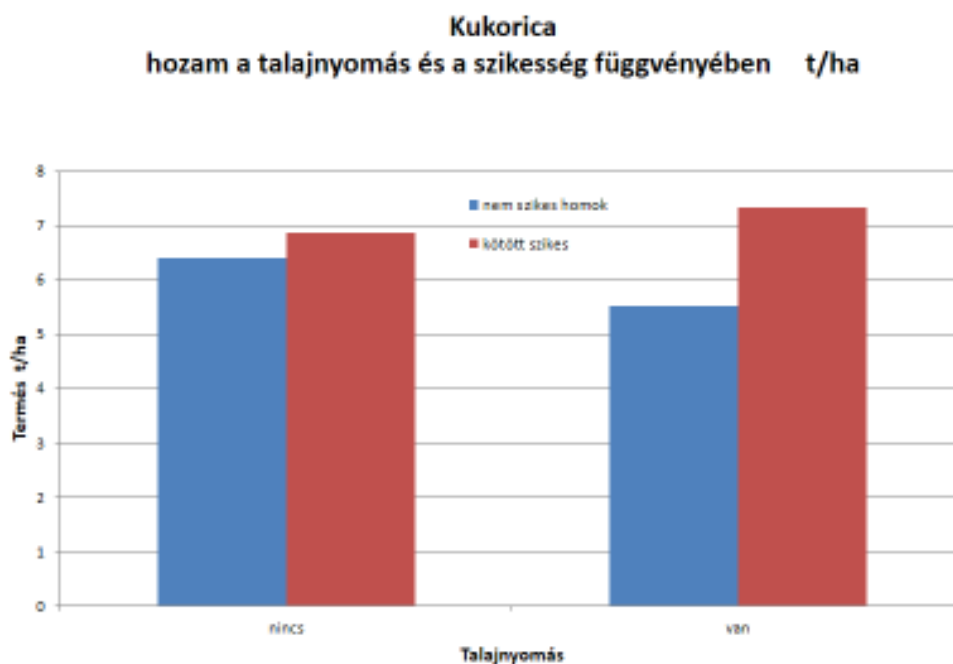
A fenti ábráról is látszik, hogy a kötött szikes talajon és a homokon eltérő a kezelések hatása. Ezért többtényezős variancia analízissel is vizsgáltuk a terméseredményekre gyakorolt hatást

külön a kezelés (a lenti táblázatban KISERLET néven), külön a szikesség és a kettő kölcsönhatásának az esetében is. A kezelés főhatás nem szignifikáns, de a szikesség főhatása és a kezelés és a szikesség kölcsönhatása egyértelműen az.

Egy következő lépésben egy összetett módszert, az általános lineáris modellt (general linear model: GLM) használtuk, ami egyszerre képes folytonos változókat (NDVI) és minőségi változókat (kezelés, szikesség) is kezelni. A folytonos és kategória változók is szignifikáns hatásúnak bizonyultak, és együtt a termés összes varianciájának a 65,3 %-át képesek megmagyarázni.

A BUGACI KUKORICA TERMÉSEREDMÉNYEK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ STATISZTIKAI MÓDSZEREKKEL

A kukorica esetében ebben a környezetben csak a talajnyomás alkalmazása vagy nem alkalmazása között mutatkozott szignifikáns különbség a termésre nézve (... ábra).



7. ábra Kukorica hozamok és befolyásoló tényezők Bugacon

Itt is alkalmaztuk a GLM modellt is, ebben az esetben úgy, hogy a kezelést, a szikességet és a kettő kölcsönhatását önálló befolyásoló változóként kezeltük. Mind az NDVI mint folytonos változó, mind a minőségi változók hatása szignifikáns hatással volt a kukorica termésére. Együttesen az összes variancia 49 %-át tudták megmagyarázni.

A vizsgálatok arra utaltak, hogy a mélyebben fekvő kötött szikes talajokon a kezelések hatása alapvetően más, mint a magasabban fekvő laza homoktalajon. A kukorica esetében a plusz talajnyomást nem kapott kezelés és az összes többi kezelés között együttesen kell szignifikáns hatásokat keresni. Míg a kötött szikes talajon a talajnyomás kedvező hatású a kukorica termésére, addig a laza homoktalajon éppen ellenkezőleg, negatív hatású.

A SZEGED-ÖTHALMI KUKORICA TERMÉSEREDMÉNYEK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ STATISZTIKAI MÓDSZEREKKEL

A fentiekhez hasonlóan a szeged-öthalmi 4. számú kísérleti hely adataival is elvégeztük a különböző módszerekkel a termésadatok elemzését. Itt termőkéességében a bugacinál sokkal homogénebb területről van szó. Érdekes módon a napraforgó hozamok csak alig térnek el a bugacitól, a kukorica hozamok csaknem dupla akkorák. Ezt jól magyarázza a két terület vízgazdálkodása közötti különbség, mivel ez a terület jó vízgazdálkodású vályogtalajon található.

Variancia analízissel vizsgáltuk a kezelések hatását a kukorica termésére. Itt nem voltak szíkes foltok, így csak a négy kezelést kellett figyelembe venni. A kezelések hatását ki tudtuk ugyan mutatni, de azok mindösszesen 2,2 %-át magyarázták a termésadatok összes varianciájának. Gyakorlati szempontból azt mondhatjuk, a kezelés nem, illetve elhanyagolható mértékben hatott a kukorica termésére.

A júliusi NDVI index és a szeptemberben betakarított termés összefüggését lineáris regressziós módszerrel vizsgáltuk. Az összes varianciának ezzel a módszerrel 26 %-át sikerült megmagyarázni, ami magasabb termésátlagok esetén, mint ebben az esetben, jó értéknek számít.

Az általános lineáris modell (GLM) módszerrel mind a talajnyomás kísérletek 4 szintjét, mind az NDVI indexet figyelembe vettük a termést befolyásoló tényezők között. Amint az várható is volt, alig lett nagyobb a modell magyarázó értéke, mint a lineáris regresszió esetében (26,4 %), és a kezelések hatása nem is bizonyult szignifikánsnak.

A SZEGED-ÖTHALMI NAPRAFORGÓ TERMÉSEREDMÉNYEK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ STATISZTIKAI MÓDSZEREKKEL

A napraforgó terméseredmények ezen a kísérleti helyen csaknem tökéletes normál eloszlást mutatnak, ami annak a jele, hogy nagyszámú, de egyenként csak kis módosító hatással rendelkező tényező hatására alakult ki a termés, nem volt egyetlen olyan tényező sem, ami erősen hatott volna, és általa ferde vagy kétsúcsú eloszlás alakult volna ki.

Egytényezős variancia analízissel vizsgáltuk, hogy a négy különböző talajnyomás kezelés milyen hatással volt a napraforgó termésre. Összességében erős szignifikáns hatást találtunk, ami 22,4 %-ban magyarázta a termés összes variáciáját.

A következő lépésben az általános lineáris modell (GLM) segítségével is vizsgáltuk a júliusi NDVI index és a talajnyomás kezelések együttes hatását a napraforgó termésére. A modell konstansa (intercept) nem tért el szignifikánsan nullától. Mindkét befolyásoló tényező szignifikánsnak bizonyult, de az NDVI gyakorlatilag alig tett hozzá valamit a magyarázó értékhez. Az előző variancia analízishez képest a modell magyarázó értéke alig nőtt (23,3 %).

A KÍSÉRLET TÖBBFÉLE VEGETÁCIÓS INDEX-SZEL VÉGZETT ÉRTÉKELÉSE

A 4. számú kísérleti hely (Szeged-Öthalom, Kotogányn Árpád területe) volt az egyetlen, ahol viszonylag homogén talajon egymás mellett helyezkedett el a napraforgó kísérlet és a kukorica kísérlet, azaz a kétféle növény közvetlenül összehasonlítható volt a vizsgálatok szempontjából fontos paraméterek tekintetében.

Vegetációs indexek kiszámítása

Az NDVI (normalizált differenciális vegetációs index) a következőképpen kerül meghatározásra

$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ ahol a NIR a közeli infravörös sávban mért reflexiós érték, a RED pedig a vörös sávban mért reflexiós érték. A MOD09 adatok esetében a 2. sáv a közeli infravörös reflexiós értéket (871- 876 nm), az 1. sáv pedig a vörös reflexiós értéket (620-670 nm) jelenti (Rouse et al., 1974).

ROUSE, J.W., JR., HAAS, R.H., DEERING, D.W., SCHELL, J.A., HARLAN, J.C., (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation green wave effect of natural vegetation. NASA Ž . rGSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD, 371 pp.

A SAVI (talajhoz igazított vegetációs index) a következőképpen kerül meghatározásra

$SAVI = ((NIR - RED) / (NIR + RED + L)) \times (1 + L)$ ahol L a talaj fényerősség-korrektíós tényezője. Az L értéke a zöld növényzet mennyiségétől vagy borítottságától függően változik: a nagyon magas növényzetű területeken $L = 0$; a zöld növényzet nélküli területeken pedig $L = 0.17$ növényzet, $L = 1$. Általában az $L = 0.5$ érték a legtöbb helyzetben jól működik, és ez az alapértelmezett érték. Ha $L = 0$, akkor $SAVI = NDVI$ (Huete, 1988).

HUETE , A. R (1988) A soil-adjusted vegetation index (SAVI) Remote Sensing of Environment Remote sensing of environment, 25(3), 295-309.

A két vizsgált vegetációs index legnagyobb értéket júliusban mutatja ... ábra), ezért a kezelések különbségeit is ezen adatok alapján értékeltük.

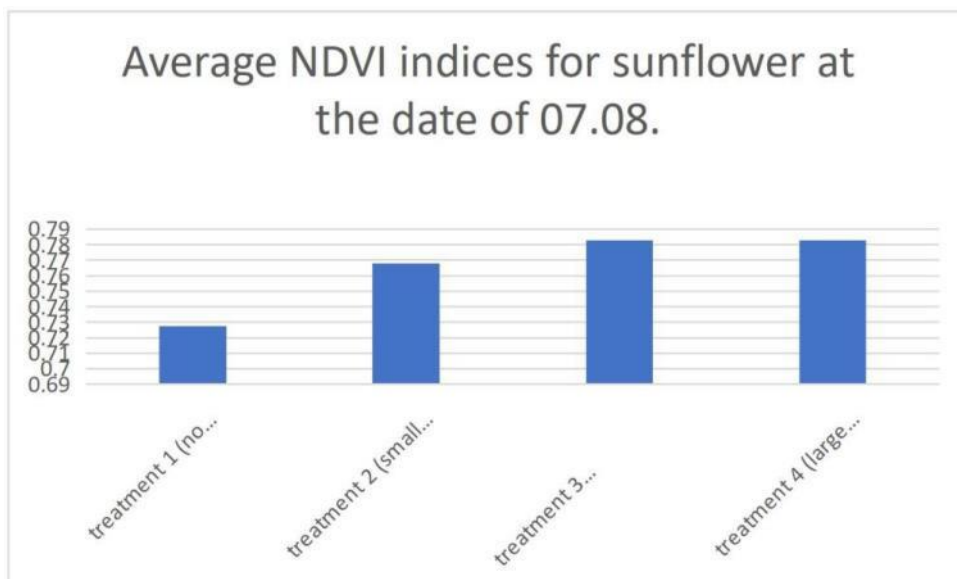


8. ábra Sentinel-alapú vegetációs indexek a napraforgó esetében (Öthalom)

A napraforgó esetében a SAVI és az NDVI kissé eltérnek egymástól, a SAVI értékei a várakozásoknak megfelelően enyhén alacsonyabbak.

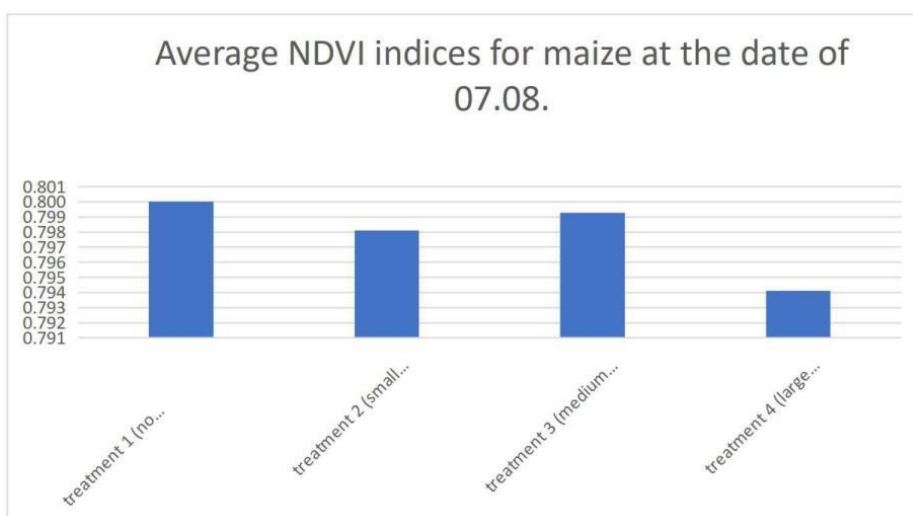


9. ábra Sentinel-alapú vegetációs indexek kukorica esetében (Öthalom)



10. ábra Napraforgó átlagos NDVI-indexek a kezelések hatására (Öthalom)

11. ábra Kukorica átlagos NDVI-indexek a kezelések hatására (Öthalom)



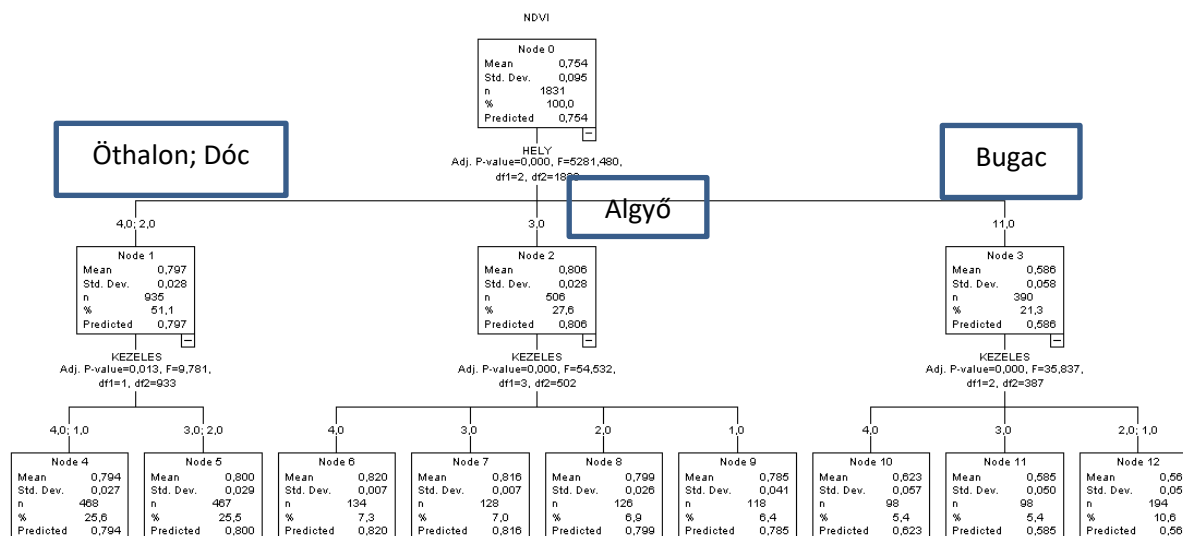
Ebben a hónapban az NDVI-indexek alapján az optimum a napraforgó esetében a 3-4. kezelés (nagy vagy igen nagy talajnyomás) a kukorica esetében az 1-3. kezelés (az igen nagy talajnyomás kivételével bármi).

NDVI INDEXEK CHAID ELEMZÉSE A TALAJNYOMÁS KÍSÉRLETEKTŐL ÉS KÍSÉRLETI HELYTŐL FÜGGŐEN

Kipróbáltunk egy további módszert is annak érdekében, hogy ezeken az értékeken javítani tudjunk. Ez a CHAID döntési fa módszer volt (Chi-square Automatic Interaction Detector). Nem csak a statisztikai módszert változtattuk meg, hanem további változókat is bevontunk a magyarázó változók közé, úgy mint az NDVI index kialakításához felhasznált úrfelvételek három sávját (BLUE, RED, NIR) és a talajtulajdonságok összessége alapján kialakított két mesterséges változót. A CHAID módszer előnye, hogy kezelni tud folytonos és minőségi változókat is, nem igényel normál eloszlást, és vizuálisan jól áttekinthető módon mutatja be a szignifikáns hatással járó tényezőket. Hátránya, hogy erősen hajlamos „modell túlillesztésre”, amit a felhasználó az adatok körültekintő előkészítésével, és a modellillesztés paramétereinek gondos megválasztásával tud elkerülni.

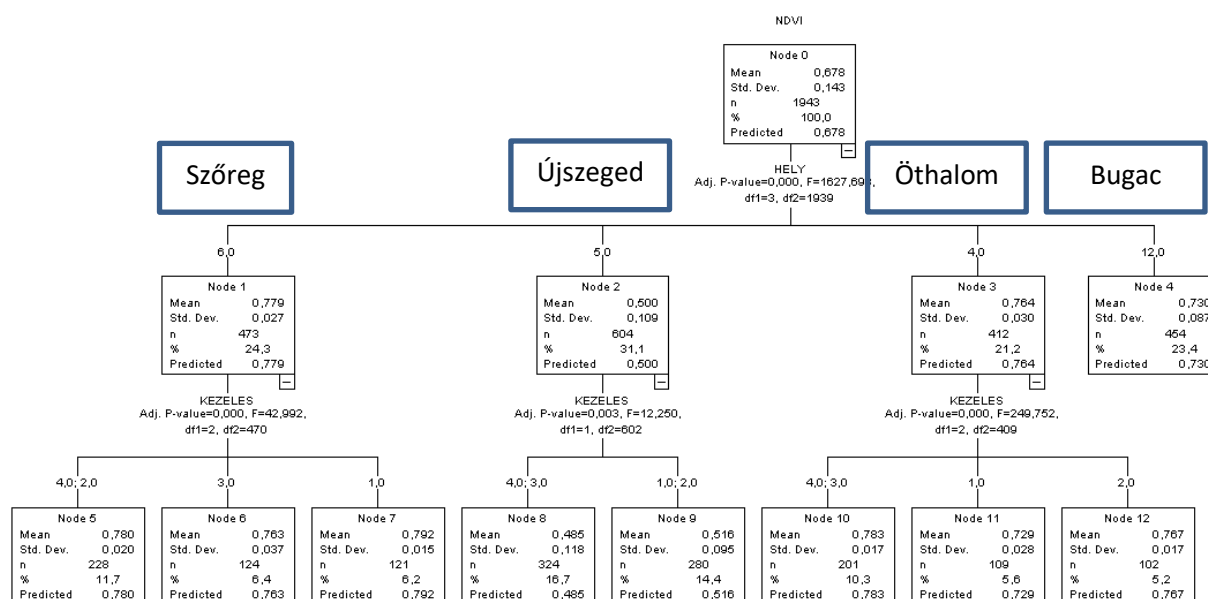
A fenti elemzések azt is megmutatták, hogy az NDVI viszonylag homogén viszonyok között a talajtulajdonságokban meglévő különbségeket tükrözi, és nagyon eltérő tulajdonságú területek esetében a termésnek is jó indikátora. A lenti elemzésben az NDVI indexet tekintettük függő változónak és az összes kísérleti helyen egyszerre vizsgáltuk a kísérleti helytől és a kezeléshatástól való függését.

Először variancia analízissel vizsgáltuk a kukorica júliusi NDVI indexeinek a fenti két tényezőtől való függését. A kísérleti hely és a kezelés hatások is szignifikánsak voltak, és együttesen az összes variancia 85,9 %-át magyarázták. Ezt a megállapítást alátámasztotta a CHAID elemzés is. A kísérleti helyek jelentek meg a legmagasabb hierarchikus szinten, azon belül a kezelések szignifikáns hatással voltak az NDVI index értékére.



11. ábra CHAID döntési fa a kukorica NDVI index meghatározására

A fentiekhez hasonló elemzést végeztünk a napraforgó NDVI indexekkel is, de eltérő eredménnyel. Első közelítésben a többszörös variancia analízis nem mutatta ki a kezelések szignifikáns hatását, de a kísérleti helyek hatását igen. Elsősorban tehát a kísérleti helyek közötti különbségekből adódóan az NDVI indexek varianciájának 71,6 %-át lehetett így magyarázni. Ezzel szemben a CHAID elemzés egyértelműen kimutatta: amellet, hogy a kísérleti helyek voltak legerősebb hatással a napraforgó NDVI indexekre, a kísérleti helyeken belül eltérő módon, de a kezelések mindenütt fontos meghatározói az NDVI indexnek.



12. ábra CHAID döntési fa a napraforgó NDVI index meghatározására

EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA

A projekt során kimutattuk, hogy a szokásos talajvizsgálatok (szűkített tápanyagvizsgálat) nem elegendő a talajok fizikai állapotának, tömörödöttségének a megítélésére. A nagy költség-, és időigényű mechanikai összetétel vizsgálatokból, térfogattömeg vizsgálatokból levezetett talajtulajdonságok komplex módon megjelennek a szakszerűen elvégzett penetrométeres vizsgálatokban, amelyek elvégzése gyors, és viszonylag olcsó, és az eredmények a növénytermesztés számára is relevánsak. Erre vonatkozóan kategória rendszert dolgoztunk ki, ami segít a talajnyomás értékek vetés előtti meghatározásában.

Igazoltuk a talajnyomás kísérletek hatását az NDVI indexre és a termésre. Ezek a hatások a talajtípustól és a növénykultúrától függnak. Nagy általánosságban a homoktalajokon negatív hatásúak, a kötöttebb talajokon pozitív hatásúak, illetve a napraforgó esetében erősebbek, a kukorica esetében gyengébbek.

Igazoltuk, hogy a fejlett elemzési módszerekkel (CHAID) a táblán belüli ok-okozati összefüggések feltárhatók, a talajnyomás kísérlet hatása igazolható, de a módszer alkalmazása során nagy körültekintésre van szükség a modell túlillesztés elkerülése érdekében.