

Cuprins

Introducere	3
Materiale și metode	4
REZULTATE	7
Caracterizarea finală a solurilor în spațiul bidimensional	10
INVESTIGAȚII PENETROMETRICE CARE CARACTERIZEAZĂ DIRECT COMPACTAREA SOLULUI	12
Tabel sintetic al rezultatelor experimentale	15
Analiza rezultatelor de producție ale florii-soarelui din Bugac folosind diferite metode statistice	17
Analiza rezultatelor de producție ale porumbului din Bugac folosind diferite metode statistice	19
Analiza rezultatelor de producție ale porumbului din Szeged-Öthalom folosind diferite metode statistice	21
Analiza rezultatelor de producție ale florii-soarelui din Szeged-Öthalom folosind diferite metode statistice	22
Evaluarea experimentului folosind mai mulți indici de vegetație	23
Analiza CHAID a indicilor NDVI în funcție de experimentele de compactare a solului și de locația experimentală	27
Rezumat tezelor rezultatelor	30

EFFECTUL DIFERITELOR NIVELURI DE COMPACTARE A SOLULUI APLICATE ÎN TIMPUL SEMĂNATULUI LA PORUMB ȘI FLOAREA-SOARELUI

Introducere

Structura solului influențează în mod fundamental eficiența culturilor de câmp. Pe solurile mai compacte, semințele semănate răsar mai greu, sistemul radicular se dezvoltă mai slab, iar răsărirea întârziată și neuniformă influențează momentul și eficiența lucrărilor agrotehnice ulterioare. Principala problemă cauzată de răsărirea neuniformă este faptul că plantele care răsar mai târziu nu reușesc niciodată să recupereze întârzierea, în timp ce plantele care răsar mai devreme devin dominante, consumă apa și nutrienții, creează umbră, ceea ce duce la reducerea producției raportate la suprafață. Conform cercetărilor, în condiții optime, germinarea semințelor are loc în decurs de 6–8 ore, adică în acest interval aproximativ 95% dintre plante ies la suprafața solului.

Pentru a reduce pe cât posibil efectele heterogenității condițiilor de sol în timpul cultivării, pe lângă lucrările solului, este necesară aplicarea tehnologiilor de agricultură de precizie chiar din faza semănăturii. Un instrument important în acest sens este semănătoarea cu presiune asupra solului reglabilă dinamic, care permite sistemului automat să ajusteze adâncimea de semănat și presiunea roților de control în funcție de gradul de compactare al fiecărei porțiuni a parcelei. Astfel, se poate asigura realizarea semănăturii în deplină concordanță cu condițiile solului, ceea ce conduce la o răsărire cât mai uniformă.

În cadrul cercetării, principalul factor experimental a fost diferitul nivel de compactare a solului aplicat în timpul semănăturii (downforce), însoțit de analize detaliate ale solului și de monitorizarea dezvoltării culturilor prin teledetecție satelitară. Obiectivul nostru a fost demonstrarea sporului de producție obținut prin aplicarea tratamentelor la porumb și floarea-soarelui. Diversitatea solurilor din țara noastră nu se manifestă doar între diferite regiuni, ci adesea chiar și în cadrul unei parcele de 8–10 hectare pot apărea 2–3 tipuri de sol, iar proprietățile acestora, în special gradul de compactare, prezintă o mare variabilitate. Pe baza rezultatelor cercetării, am propus o tehnologie de cultură care permite fermierilor să utilizeze agricultura de precizie să valorifice la maximum potențialul echipamentelor disponibile.

MATERIAL ȘI METODĂ

Diferite companii producătoare comercializează unități de semănat cu caracteristici similare, capabile să lucreze cu diferite niveluri de presiune asupra solului. Producătorii exprimă forța de apăsare în unități diferite și folosesc adesea denumiri distincte. În cazul echipamentelor Precision Planting utilizate de noi, se folosește termenul „downforce” (presiune asupra solului, literal: forță de apăsare), în timp ce în alte sisteme apar termenii „margin” (spațiu de lucru) sau „gauge wheel load” (încărcarea roții de control al adâncimii). În prezenta lucrare, valorile au fost stabilite pentru echipamentele Precision Planting.

Numerotarea tratamentelor experimentale:

1. fără presiune suplimentară asupra solului (0 kg)
2. presiune redusă (aprox. 300 livre = 136 kg)
3. presiune medie (aprox. 500 livre = 227 kg)

4. presiune ridicată (aprox. 900 livre = 408 kg – compactare excesivă în jurul seminței)

Semănatul a fost efectuat cât mai rapid posibil după precipitații, deoarece solul uscat nu poate fi compactat, iar tratamentele ar fi fost relativ ineficiente în astfel de condiții. În majoritatea locațiilor a existat suficient spațiu pentru a înconjura zona experimentală, reducând astfel efectul de margine. Totuși, într-un caz acest lucru nu a fost posibil, iar în evaluarea rezultatelor efectul de margine a produs o ușoară distorsiune.

Tabelul 1. Configurarea experimentelor (harta locațiilor experimentale este prezentată în Figura 1)

Locul experimental – localitatea (numerotare în Figura 1)	Denumirea firmei:
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.

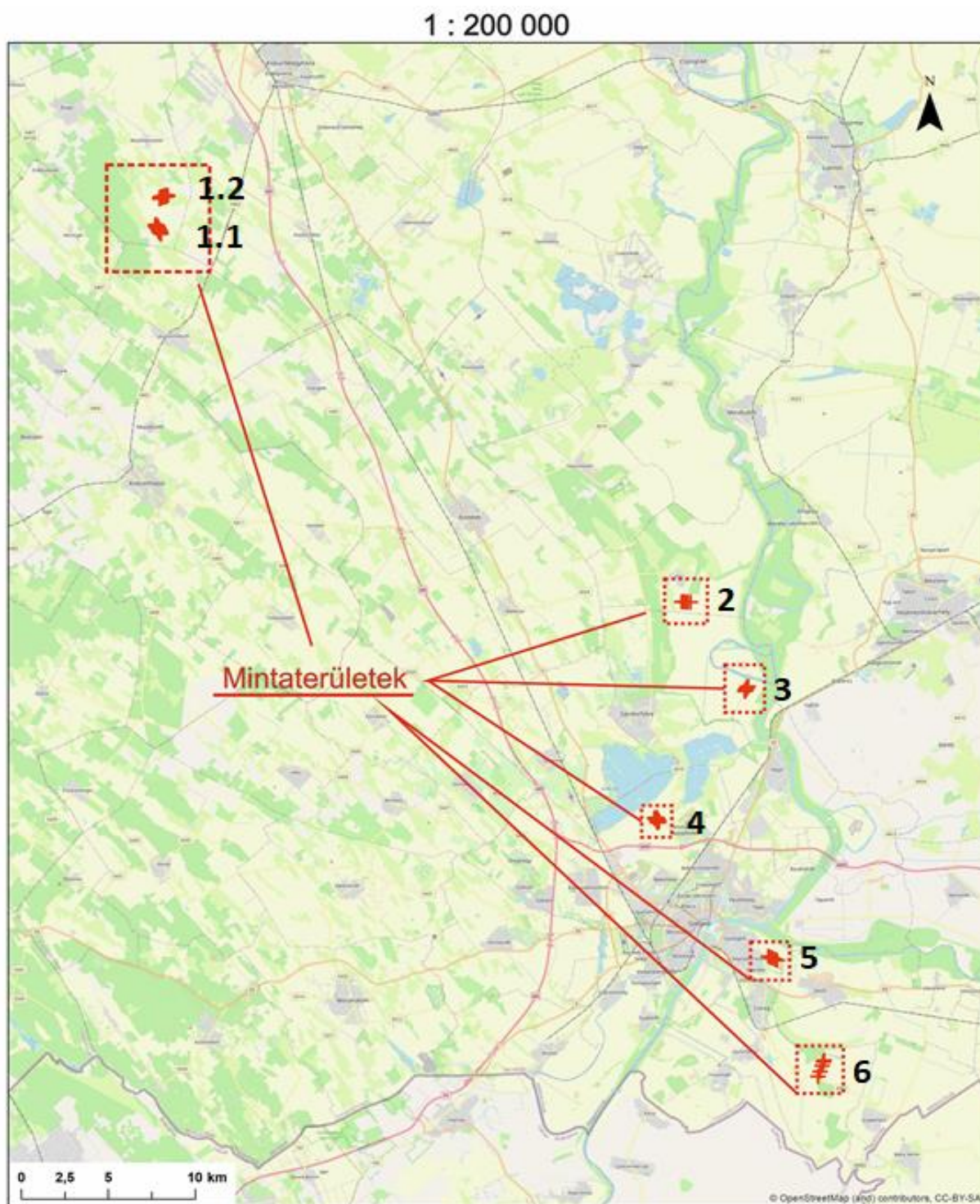


Figura 1. Locațiile experimentale (explicații în Tabelul 1)

Au fost prelevate 110 probe de sol în 55 de puncte, cu ajutorul unui burghiu, din stratul superficial (0–30 cm) și din stratul subteran (30–60 cm), astfel încât fiecare probă a rezultat din media a trei subprobe prelevate din puncte apropiate. Cele trei subprobe au fost amestecate, iar din acest amestec s-a obținut câte o probă medie pentru fiecare strat, care a fost supusă analizelor de laborator. Prin această metodă s-a asigurat caracterul reprezentativ al

probelor pentru o mică suprafață de sol, iar variațiile locale au fost eliminate. Acest aspect este deosebit de important pentru o mai bună comparabilitate cu datele NDVI și de producție.

Cele 110 probe cu structură intactă au fost prelevate din punctul central cu ajutorul unui cilindru de prelevare cu volumul de 100 cm³.

Parametrii analizați:

- pH (H₂O)
- Conținut total de săruri (m/m%)
- CaCO₃ (m/m%)
- Indicele de plasticitate Arany și, pe baza acestuia, textura solului (analiză restrânsă a nutrienților)
- Conținut de humus (m/m%)
- NO₂⁻ + NO₃⁻-N (mg/kg)
- AL-P₂O₅ (mg/kg)
- AL-K₂O (mg/kg)
- Densitate aparentă (g/cm³)
- Conținut de umiditate (m/m%)
- Distribuția diametrului particulelor (în mm):
 - <0,002
 - 0,005–0,002
 - 0,01–0,005
 - 0,02–0,01
 - 0,05–0,02
 - 0,25–0,05
 - 0,25(Notarea fracțiilor în tabel: lt002; b002_005; b005_01; b01_02; b02_05; b05_25; gt25)

REZULTATE

CURBELE DE DISTRIBUȚIE CUMULATIVĂ ALE CATEGORIILOR DE DIMENSIUNE A PARTICULELOR

Figura 2 prezintă curbele cumulative ale distribuției dimensiunii particulelor pentru câteva probe reprezentative de sol. Acestea confirmă faptul că cele 110 probe colectate reprezintă, din punctul de vedere al texturii, întreaga varietate a solurilor din Ungaria. Prin urmare, concluziile noastre pot fi extinse cu un grad ridicat de fiabilitate dincolo de aria de studiu, asupra tuturor solurilor din Ungaria.

Locațiile de prelevare:

- 42: Bugac, locația 4, 30–60 cm;
- 31: Bugac, locația 3, 0–30 cm;
- 231: Bugac, locația 23, 0–30 cm;
- 282: Dóc, locația 28, 30–60 cm;
- 272: Dóc, locația 27, 30–60 cm;

332: Algyő, locația 33, 30–60 cm;
 322: Algyő, locația 32, 30–60 cm.

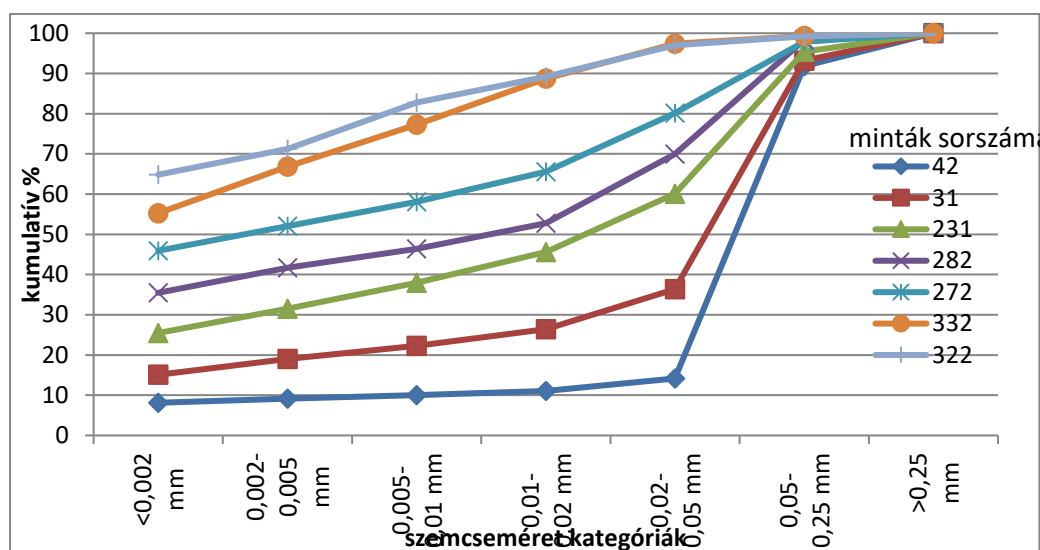


Figura 1. Reprezentativitatea distribuției dimensiunii particulelor probelor

Caracterizarea solurilor prin două variabile agregate

În cadrul celor 110 probe de sol au fost măsurate 17 proprietăți diferite. Aceste caracteristici nu sunt, în mod evident, independente unele de altele. Nici probele de sol nu sunt independente, deoarece probele prelevate din aceeași parcelă sunt, în mod necesar, mai asemănătoare între ele decât cele provenite din parcele diferite. În astfel de situații, în statistică se utilizează procedee de reducere a dimensionalității.

Din variabilele originale se calculează variabile ipotetice care sunt complet independente între ele (corelația lor este zero), iar prima dintre aceste variabile ipotetice explică cea mai mare parte a varianței totale generate de variabilele originale, a doua explică o parte mai mică, și așa mai departe.

Am aplicat această procedură de reducere a dimensionalității atât pentru relațiile dintre variabile, cât și pentru similaritatea dintre probele de sol. Similaritatea parametrilor pedologici analizați în spațiul bidimensional (prin reducerea celor 17 variabile măsurate efectiv la două variabile teoretice) este ilustrată în Figura 3.

Variabilele se grupează în mod evident în patru cluster, iar densitatea aparentă, importantă din punctul de vedere al creșterii rădăcinilor, se separă în mod distinct de celelalte grupuri.

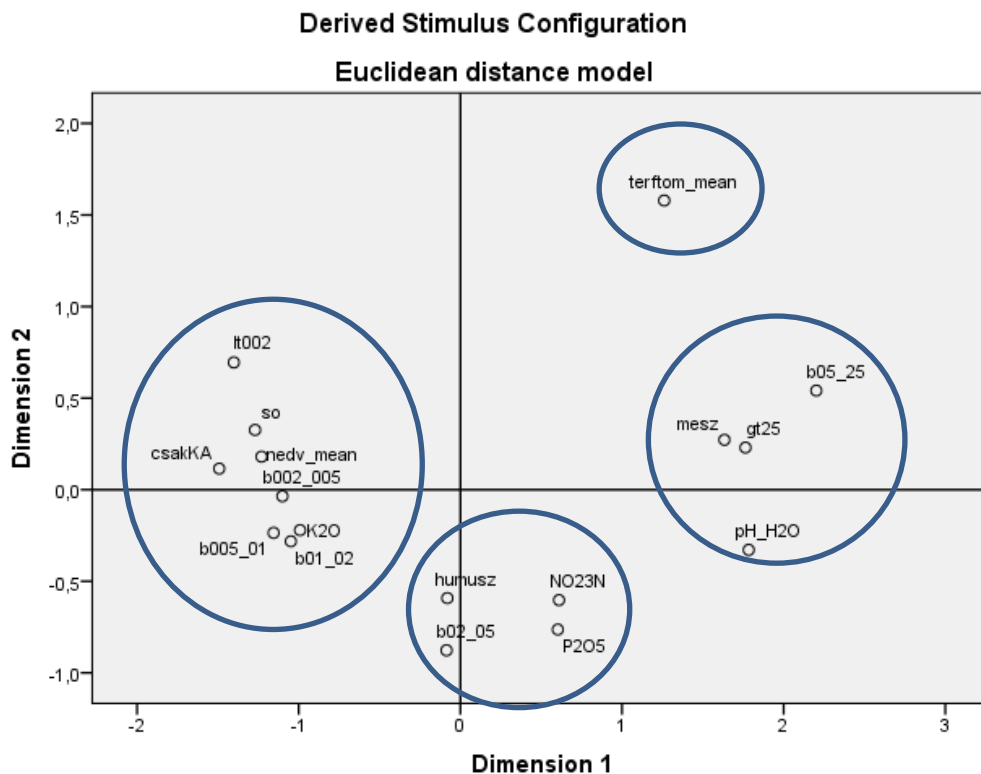


Figura 3. Rezultatele analizelor de sol în spațiul definit de primii doi factori

CARACTERIZAREA FINALĂ A SOLURILOR ÎN SPAȚIUL BIDIMENSIONAL

Fiecare dintre cele 110 probe de sol (55 locații, eșantionate pe două straturi) a fost caracterizată prin 17 variabile (proprietăți ale solului), pe baza analizelor de laborator. Din punct de vedere matematic, acest lucru înseamnă că probele au fost plasate într-un spațiu cu 17 dimensiuni. Este o sarcină extrem de complexă să se determine ce tip de interacțiuni apar într-un sistem cu o geometrie atât de complicată.

Pentru rezolvarea acestei probleme au fost dezvoltate metodele de reducere a dimensionalității, prin care spațiile multidimensionale sunt transformate, cu ajutorul instrumentelor matematice, de exemplu, în spații bidimensionale. În acest proces sunt utilizate similaritățile și diferențele dintre variabile (corelațiile existente sau absente).

Proprietățile straturilor superficiale ale solului, reprezentate într-un spațiu bidimensional, sunt prezentate în Figura 4.

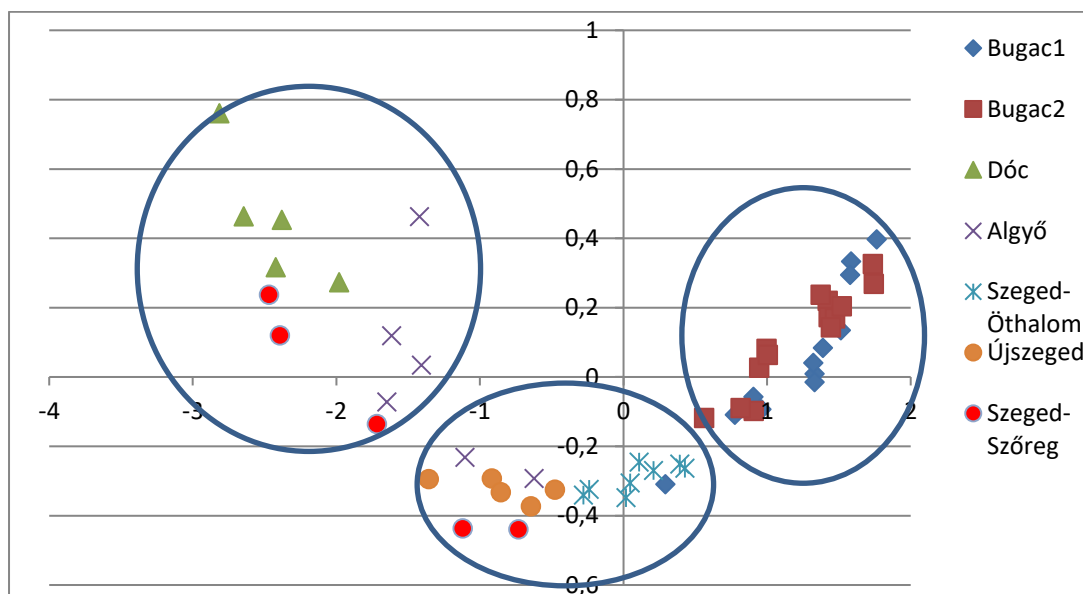


Figura 4. Locațiile de prelevare în spațiul definit de primii doi factori ai stratului superficial al solului

Solurile se ordonează foarte clar și se grupează aproximativ în trei categorii distincte:

- 1: Bugac1 și Bugac2;
- 2: Szeged-Öthalom și Újszeged;
- 3: Dóc, Algyő și Szeged-Szőreg.

Între grupuri există un grad redus de suprapunere.

În cazul stratului subteran, reprezentarea bidimensională este mai puțin clară, fapt care poate fi atribuit efectului de omogenizare al lucrărilor agricole.

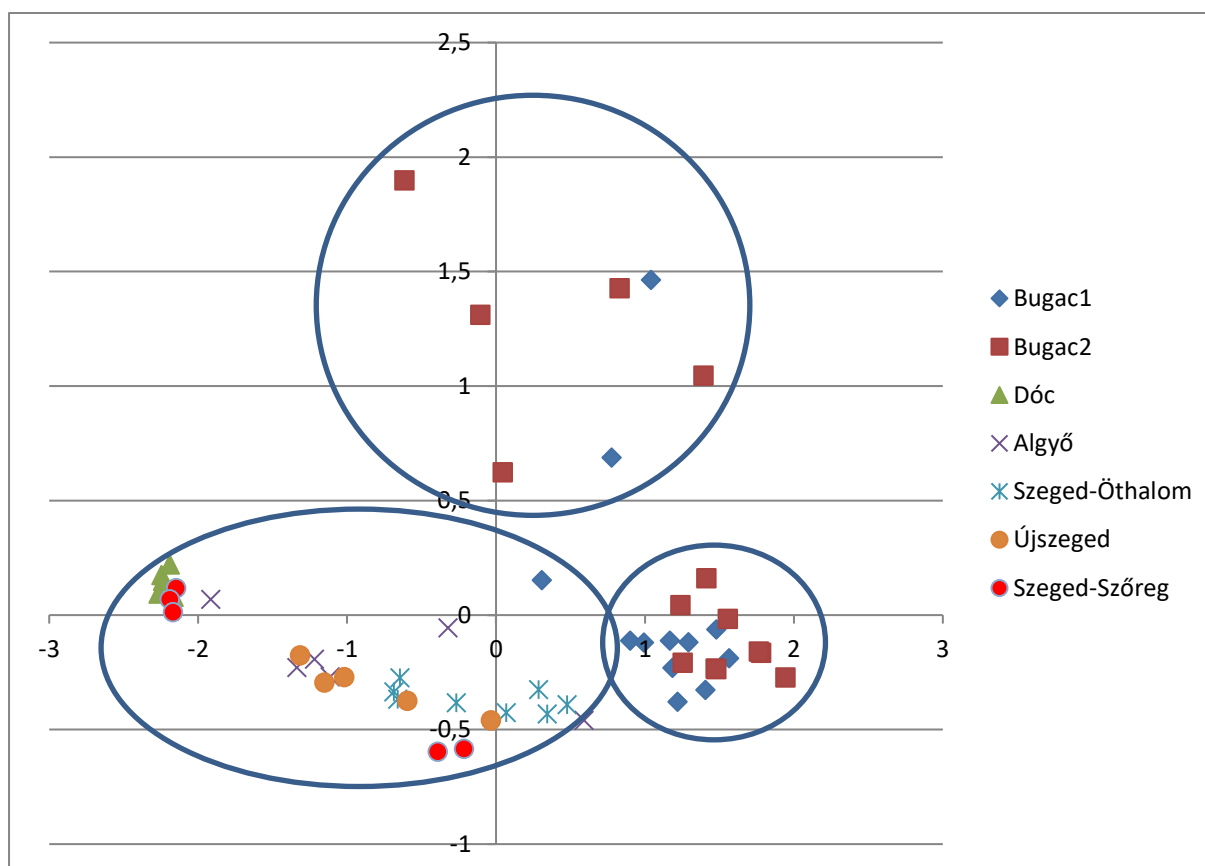


Figura 5. Locațiile de prelevare în spațiul definit de primii doi factori ai stratului subteran al solului

În mod caracteristic, probele din Bugac se deosebesc semnificativ de celelalte. Analizate în detaliu, acestea s-au dovedit a fi probe de sol sărăturat. În cazul stratului subteran, probele din Bugac pot fi separate de toate celelalte într-o categorie distinctă, iar probele din Bugac cu subsol sărăturat pot forma un subgrup separat.

INVESTIGAȚII PENETROMETRICE CARE CARACTERIZEAZĂ DIRECT COMPACTAREA SOLULUI

În 40 de puncte, corespunzătoare locațiilor probelor de sol analizate în laborator, au fost efectuate și măsurători penetrometrice în cele două locații experimentale din Bugac. Pe baza acestor măsurători, punctele de prelevare au fost împărțite în cinci grupuri.

În procesul de clasificare au fost luate în considerare, în primul rând, adâncimea maximă de penetrare (cm), apoi rezistența maximă a solului (Newton). Ulterior, a fost elaborată o metodă de calcul prin care aceste proprietăți au fost integrate într-un singur indicator, permițând separarea grupurilor pe o scală liniară.

Indicatorul complex de penetrare se calculează după următoarea formulă:

$$\text{KPMsz} = \log(\text{maxFORTĂ} \times (90 - \text{maxADÂNCIME}))$$

Tabelul 1. Gruparea solurilor pe baza măsurătorilor penetrometrice
Indicator complex de penetrare
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

În mod evident, indicatorul complex de penetrare separă foarte clar cele cinci grupuri între ele, demonstrând că a fost elaborat un indice adecvat al proprietăților solului, care permite evaluarea rezultatelor experimentelor pe baza măsurării rezistenței la penetrare.

Ulterior, ne-am pus întrebarea în ce mod și în ce măsură aceste grupuri caracterizează acele proprietăți ale solului care pot fi măsurate în laborator și a căror interpretare este bine cunoscută. În acest scop, am aplicat analiza discriminantă, care permite separarea variabilelor calitative (în cazul nostru, cele cinci grupuri) pe baza variabilelor continue (în cazul nostru, proprietățile solului măsurate în laborator). În prima etapă, toate proprietățile solului determinate au fost incluse în analiză.

De asemenea, am analizat concordanța dintre grupurile obținute prin analiza discriminantă și grupurile reale, rezultatele fiind prezentate în tabelul de mai jos. Din cele 40 de cazuri, în 35 de situații (87,5%) probele analizate au fost clasificate în grupul corespunzător, iar în 37 de cazuri au fost încadrate în grupul corect sau, cel mult, într-un grup vecin (92,5%). Doar în 3 cazuri (7,5%) probele au fost încadrate într-un grup mai îndepărtat.

Pe baza acestor rezultate, se poate concluziona că investigațiile penetrometrice caracterizează într-un mod complex multiple proprietăți ale solului (nu doar cele fizice) și că gruparea realizată pe baza parametrilor penetrometrici poate reprezenta cu o precizie suficientă

grupurile de capacitate productivă rezultate din aceste ansambluri complexe de proprietăți ale solului.

Tabelul 1. Predicția grupurilor de sol determinate penetrometric pe baza proprietăților solului
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

Analizele prezentate mai sus au fost repetate și în varianta în care nu au fost incluse toate analizele de sol, ci doar cele din cadrul analizei restrânse a nutrienților. Importanța acestui demers constă în faptul că aceste analize sunt efectuate, în practică, pe aproape toate parcelele de unde se prelevează probe de sol pentru optimizarea fertilizării. Astfel, dacă și pe baza acestor date ar fi posibilă o bună clasificare a probelor, rezultatele ar putea fi extinse mult mai general, chiar și fără efectuarea măsurărilor penetrometrice, exclusiv pe baza indicatorilor calculați din analizele obișnuite de sol.

Având în vedere că, în al doilea tabel prezentat anterior, care ilustrează rezultatele analizei discriminante, apar numeroase variabile care nu fac parte din analiza restrânsă a nutrienților, nu am avut așteptări prea mari în legătură cu acest demers. Această anticipare s-a confirmat.

Pe pagina următoare este prezentată concordanța dintre grupurile astfel obținute și grupurile reale. Doar 22 de probe au fost încadrate în grupul corespunzător (55%), iar 30 de probe în grupul corect sau cel mult într-un grup vecin (75%), ceea ce reprezintă o precizie insuficientă.

Concluzia noastră este că investigațiile penetrometrice oferă o imagine mult mai complexă asupra solului decât rezultatele analizelor restrânse ale nutrienților, însă această complexitate este reprezentată într-un mod foarte elaborat. Avantajul lor constă în faptul că pot fi realizate

ușor și rapid, precum și la costuri mult mai reduse decât analizele compoziției mecanice efectuate pe probe prelevate din mai multe straturi.

Deoarece aceste măsurători conțin informații suplimentare esențiale față de analizele restrânse ale nutrienților, aceste date pot fi utilizate în agricultura de precizie pentru stabilirea adâncimii de semănat.

TABEL SINOPTIC AL REZULTATELOR EXPERIMENTALE

Tabelul 1. Rezultatele producției medii la porumb (t/ha)

1.

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

2. **Tabelul 2.** Rezultatele producției medii la floarea-soarelui (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

ANALIZA REZULTATELOR DE PRODUCȚIE LA FLOAREA-SOARELUI DIN BUGAC FOLOSIND DIFERITE METODE STATISTICE

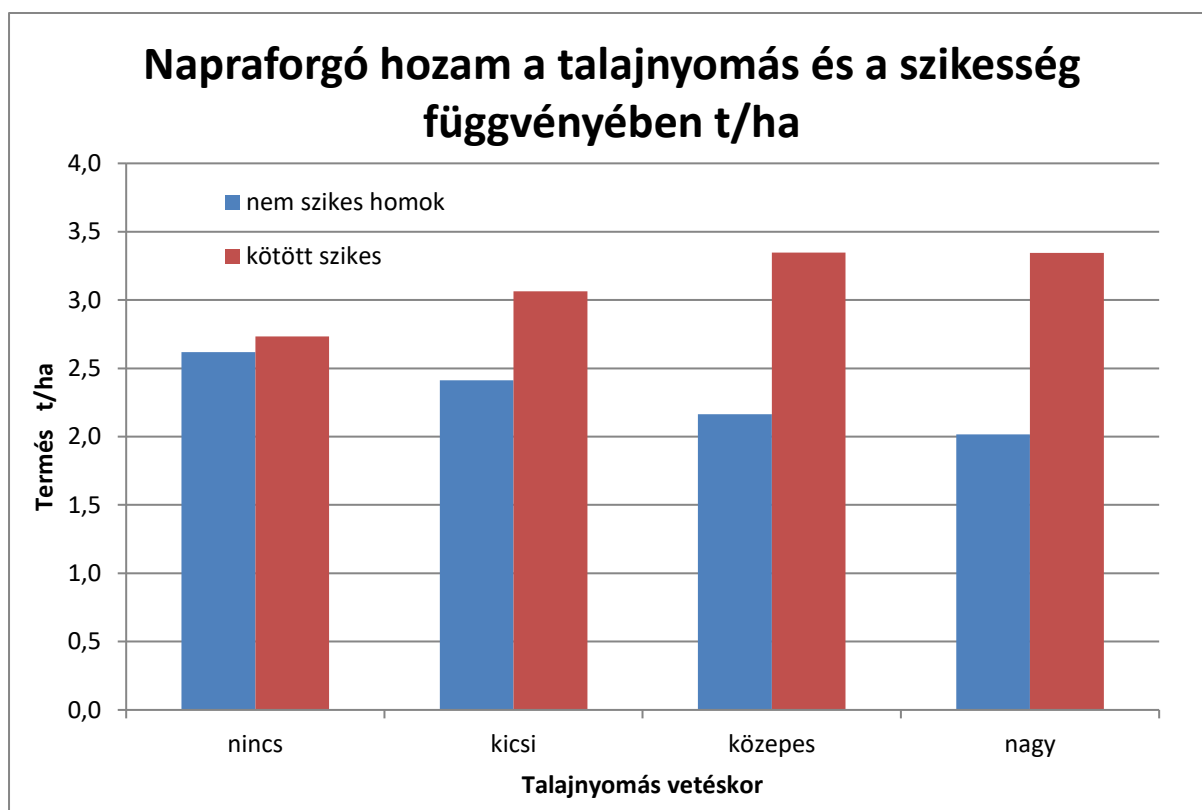
Tratamentele au fost marcate prin numere din două cifre, unde cifra zecilor indica numărul experimentului de presiune asupra solului (1–4), iar cifra unităților indica prezența sărăturii (1: prezentă, 0: absentă). Astfel, au putut fi analizate opt tratamente distincte, cu un număr diferit de probe, în care prezența sărăturii rezulta din proprietățile solului.

Datele au arătat că tratamentele au avut un efect semnificativ din punct de vedere statistic. Din variația totală, 57,8% a fost explicată prin efectul tratamentelor, ceea ce reprezintă o valoare bună în estimarea rezultatelor de producție.

S-a constatat că, pe solurile nisipoase nesărate, producția este mai scăzută decât pe solurile sărăturate, mai joase și mai compacte. În cadrul acestora, mediile tratamentelor 1 și 2, respectiv ale tratamentelor 3 și 4, nu diferă semnificativ între ele.

Tratamentele fără presiune asupra solului, atât pe soluri sărăturate, cât și pe cele nesărate (10 și 11), nu prezintă diferențe semnificative între ele.

Figura ... arată că efectul presiunii asupra solului este opus pe solurile sărăturate compacte și pe solurile nisipoase afânate: pe nisip are un efect negativ, iar pe porțiunile de sol compact efectul creșterii presiunii este pozitiv.



3. **Figura 3.** Producția la floarea-soarelui și factorii care o influențează la Bugac

Din figura de mai sus se observă, de asemenea, că efectul tratamentelor diferă pe solurile sărăturate compacte și pe cele nisipoase. Din acest motiv, influența asupra rezultatelor de producție a fost analizată și prin analiza varianței multifactoriale, separat pentru efectul tratamentului (denumit KISERLET în tabelul de mai jos), pentru efectul sărăturii și pentru interacțiunea dintre cele două.

Efectul principal al tratamentului nu a fost semnificativ, însă efectul principal al sărăturii, precum și interacțiunea dintre tratament și sărătură, au fost clar semnificative.

În etapa următoare, a fost utilizată o metodă complexă, modelul liniar generalizat (general linear model – GLM), care permite analiza simultană a variabilelor continue (NDVI) și a variabilelor calitative (tratament, sărătură). Atât variabilele continue, cât și cele categoriale s-au dovedit a avea un efect semnificativ și, împreună, au reușit să explice 65,3% din variația totală a producției.

ANALIZA REZULTATELOR DE PRODUCȚIE LA PORUMB DIN BUGAC FOLOSIND DIFERITE METODE STATISTICE

În cazul porumbului, în acest context, s-a constatat o diferență semnificativă în ceea ce privește producția doar între aplicarea și neaplicarea presiunii asupra solului (Figura ...).

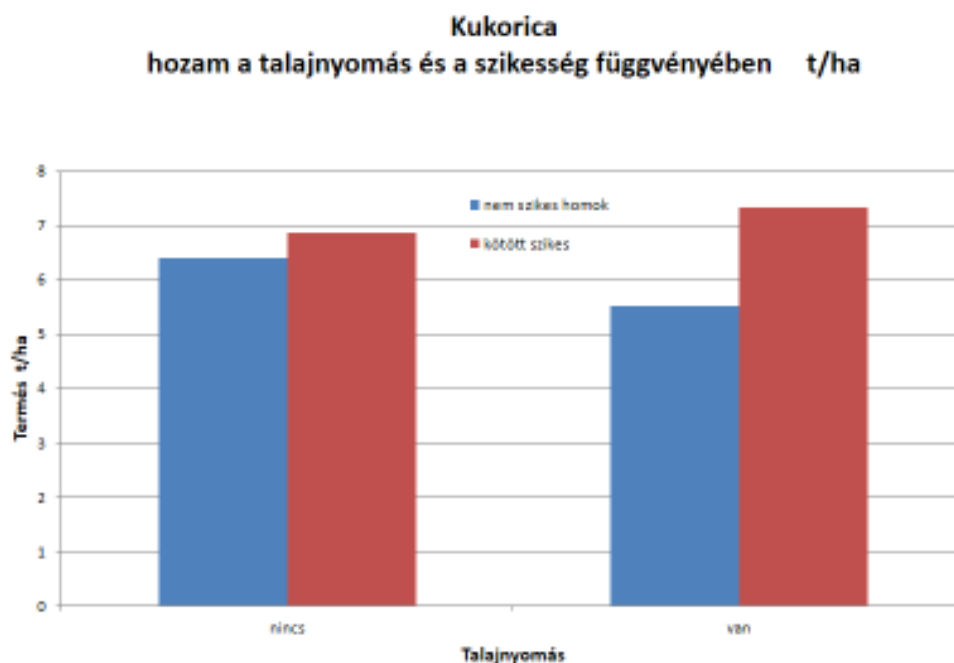


Figura 4. Producția la porumb și factorii care o influențează la Bugac

Și în acest caz a fost aplicat modelul GLM, în care tratamentul, sărătura și interacțiunea dintre acestea au fost considerate variabile explicative independente. Atât NDVI, ca variabilă continuă, cât și variabilele calitative au avut un efect semnificativ asupra producției de porumb. Împreună, acestea au reușit să explice 49% din variația totală a producției.

Rezultatele au indicat că, pe solurile sărăturate compacte situate în zone mai joase, efectul tratamentelor este fundamental diferit față de cel observat pe solurile nisipoase afânate situate la altitudine mai mare. În cazul porumbului, efectele semnificative trebuie analizate în ansamblu între tratamentul fără presiune suplimentară asupra solului și toate celelalte tratamente.

În timp ce pe solurile sărăturate compacte presiunea asupra solului are un efect favorabil asupra producției de porumb, pe solurile nisipoase afânate aceasta are, dimpotrivă, un efect negativ.

ANALIZA REZULTATELOR DE PRODUCȚIE LA PORUMB DIN SZEGED-ÖTHALOM FOLOSIND DIFERITE METODE STATISTICE

În mod similar celor prezentate anterior, datele provenite de la locația experimentală nr. 4 din Szeged-Öthalom au fost analizate prin diferite metode statistice. În acest caz, este vorba despre o zonă mult mai omogenă din punctul de vedere al capacității productive comparativ cu Bugac.

În mod interesant, producțiile de floarea-soarelui diferă doar ușor față de cele din Bugac, în timp ce producțiile de porumb sunt aproape duble. Această diferență este bine explicată de deosebirile dintre regimurile hidrice ale celor două zone, deoarece această locație este situată pe un sol lutos cu bună capacitate de gestionare a apei.

Influența tratamentelor asupra producției de porumb a fost analizată prin analiza varianței. Deoarece nu au existat zone sărăturate, au fost luate în considerare doar cele patru tratamente. Deși efectul tratamentelor a putut fi evidențiat, acestea au explicat doar 2,2% din variația totală a datelor de producție. Din punct de vedere practic, se poate afirma că tratamentul a avut un efect nesemnificativ sau neglijabil asupra producției de porumb.

Relația dintre indicele NDVI din luna iulie și producția recoltată în septembrie a fost analizată prin regresie liniară. Prin această metodă s-a reușit explicarea a 26% din variația totală, valoare considerată bună în condițiile unor producții medii ridicate, ca în acest caz.

Prin metoda modelului liniar generalizat (GLM), au fost incluse atât cele patru niveluri ale tratamentelor de presiune asupra solului, cât și indicele NDVI printre factorii care influențează producția. Așa cum era de așteptat, puterea explicativă a modelului a fost doar puțin mai mare decât în cazul regresiei liniare (26,4%), iar efectul tratamentelor nu s-a dovedit semnificativ.

ANALIZA REZULTATELOR DE PRODUCȚIE LA FLOAREA-SOARELUI DIN SZEGED-ÖTHALOM FOLOSIND DIFERITE METODE STATISTICE

Rezultatele producției de floarea-soarelui din această locație experimentală prezintă o distribuție aproape perfect normală, ceea ce indică faptul că producția a fost determinată de un număr mare de factori, fiecare având un efect individual redus. Nu a existat un factor dominant care să genereze o distribuție asimetrică sau bimodală.

Influența celor patru tratamente de presiune asupra solului asupra producției de floarea-soarelui a fost analizată prin analiza varianței unifactoriale. În ansamblu, a fost identificat un efect puternic semnificativ, care a explicat 22,4% din variația totală a producției.

În etapa următoare, influența combinată a indicelui NDVI din luna iulie și a tratamentelor de presiune asupra solului asupra producției de floarea-soarelui a fost analizată cu ajutorul

modelului liniar generalizat (GLM). Constanta modelului (interceptul) nu a diferit semnificativ de zero. Ambii factori explicativi s-au dovedit semnificativi, însă NDVI a contribuit foarte puțin la creșterea puterii explicative. Comparativ cu analiza varianței anterioară, valoarea explicativă a modelului a crescut doar marginal (23,3%).

EVALUAREA EXPERIMENTULUI FOLOSIND MAI MULȚI INDICI DE VEGETAȚIE

Locația experimentală nr. 4 (Szeged-Öthalom, terenul lui Árpád Kotogány) a fost singura unde experimentele cu floarea-soarelui și porumb au fost amplasate pe sol relativ omogen, în imediata vecinătate, permițând astfel o comparație directă între cele două culturi din punctul de vedere al parametrilor relevanți.

Calculul indicilor de vegetație

Indicele NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se calculează astfel:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

unde NIR reprezintă valoarea de reflexie măsurată în banda infraroșu apropiat, iar RED valoarea de reflexie măsurată în banda roșie. În cazul datelor MOD09, banda 2 corespunde reflexiei în infraroșu apropiat (871–876 nm), iar banda 1 reflexiei în roșu (620–670 nm) (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 GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD, 371 pp.

Indicele SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) se calculează astfel:

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + L)) \times (1 + L)$$

unde L este factorul de corecție al luminozității solului. Valoarea lui L variază în funcție de cantitatea și gradul de acoperire al vegetației: în zonele cu vegetație foarte densă, $L = 0$; în zonele fără vegetație, $L = 1$. În general, valoarea $L = 0,5$ funcționează bine în majoritatea situațiilor și este considerată valoarea implicită. Dacă $L = 0$, atunci $\text{SAVI} = \text{NDVI}$ (Huete, 1988).

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

Cei doi indici de vegetație analizați ating valorile maxime în luna iulie (Figura ...), motiv pentru care diferențele dintre tratamente au fost evaluate pe baza acestor date.

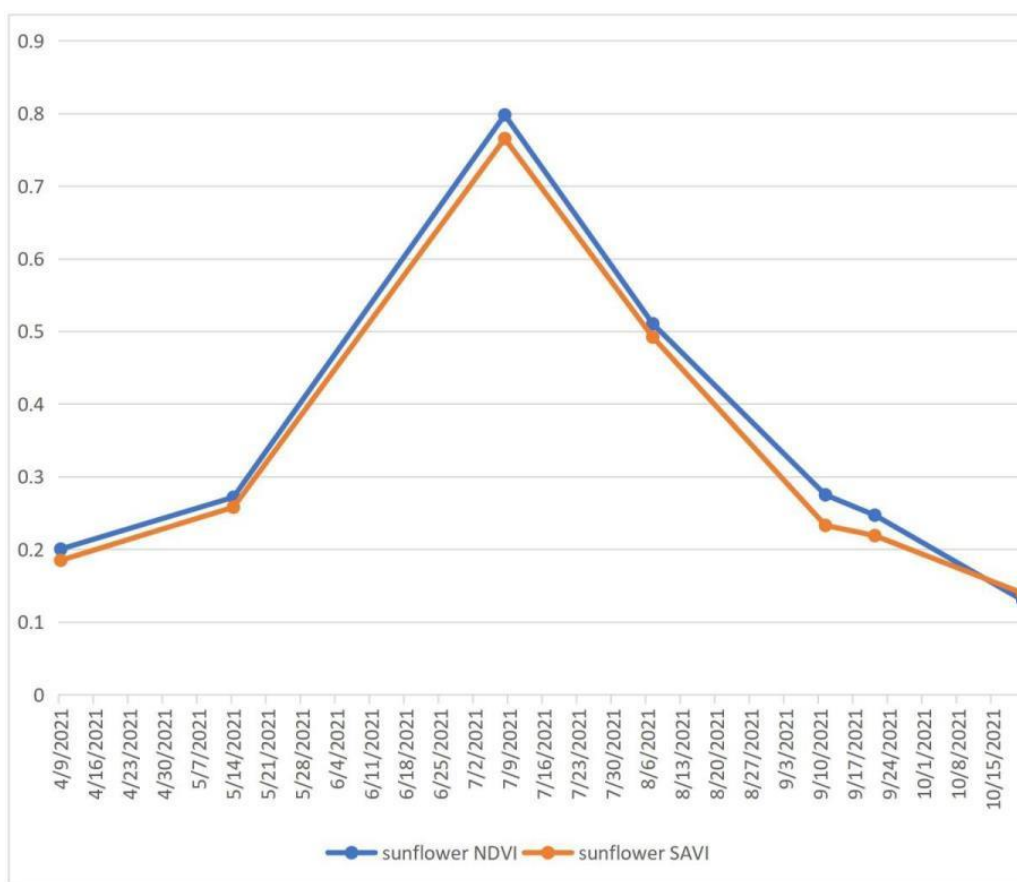


Figura 4. Indici de vegetație bazați pe date Sentinel în cazul florii-soarelui (Öthalom)

În cazul florii-soarelui, valorile SAVI și NDVI diferă ușor între ele, valorile SAVI fiind, conform așteptărilor, ușor mai scăzute.



Figura 4. Indici de vegetație bazați pe date Sentinel în cazul porumbului (Öthalom)

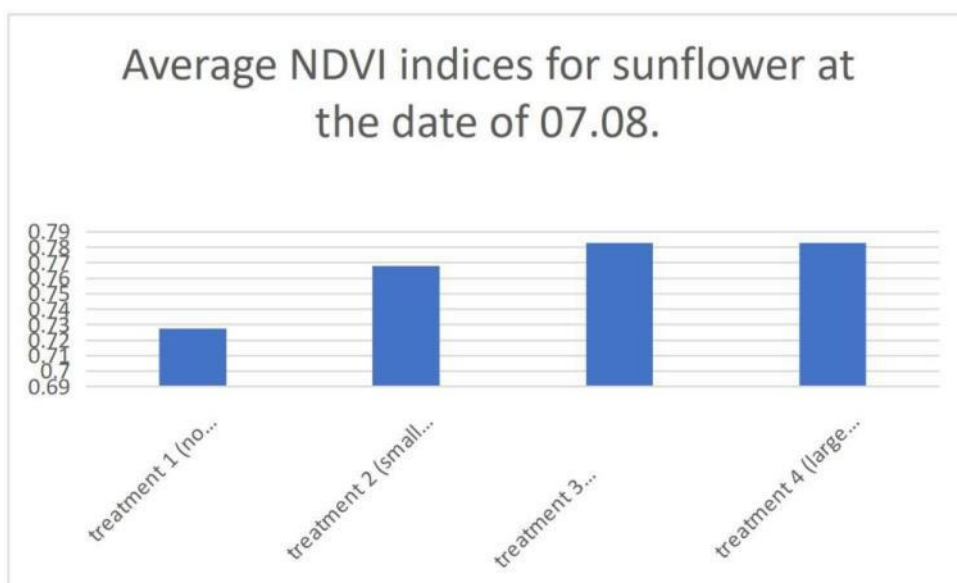
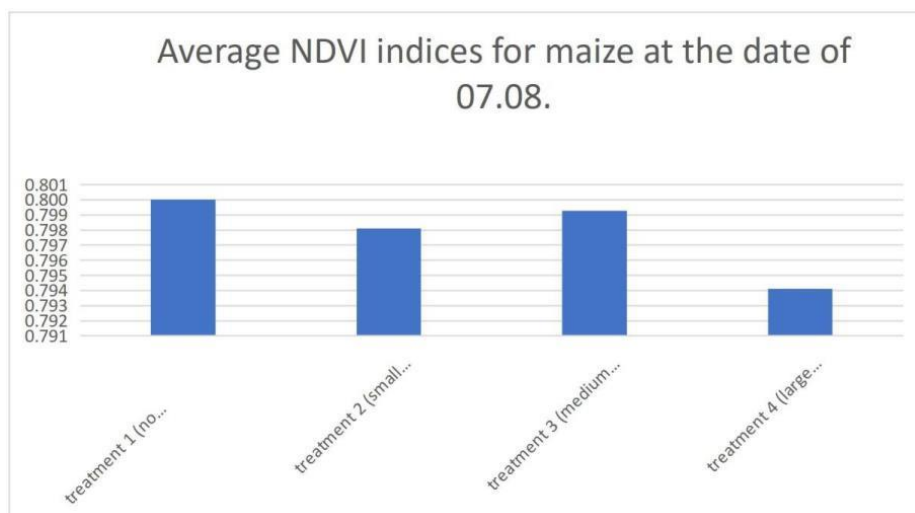


Figura 4. Indicii NDVI medii la floarea-soarelui în funcție de tratamente (Öthalom)

11. **Figura.** Indicii NDVI medii la porumb în funcție de tratamente (Öthalom)



În această lună, pe baza indicilor NDVI, nivelul optim în cazul florii-soarelui a fost reprezentat de tratamentele 3–4 (presiune mare sau foarte mare asupra solului), iar în cazul porumbului de tratamentele 1–3 (orice variantă, cu excepția presiunii foarte mari).

ANALIZA CHAID A INDICILOR NDVI ÎN FUNCȚIE DE EXPERIMENTELE DE PRESIUNE ASUPRA SOLULUI ȘI DE LOCAȚIA EXPERIMENTALĂ

Am testat și o metodă suplimentară pentru a îmbunătăți aceste rezultate, respectiv metoda arborelui decizional CHAID (Chi-square Automatic Interaction Detector). Nu doar metoda statistică a fost modificată, ci au fost incluse și variabile suplimentare în setul de factori explicativi, precum cele trei benzi ale imaginilor satelitare utilizate la calculul indicelui NDVI (BLUE, RED, NIR), precum și două variabile artificiale construite pe baza ansamblului proprietăților solului.

Avantajul metodei CHAID constă în faptul că poate gestiona atât variabile continue, cât și calitative, nu necesită distribuție normală și prezintă într-un mod vizual clar factorii cu efect semnificativ. Dezavantajul său este tendința pronunțată de „supraînvățare” a modelului (overfitting), care poate fi evitată prin pregătirea atentă a datelor și prin alegerea riguroasă a parametrilor de ajustare a modelului.

Analizele de mai sus au arătat, de asemenea, că NDVI reflectă diferențele existente în proprietățile solului în condiții relativ omogene și reprezintă un bun indicator al producției în cazul zonelor cu caracteristici foarte diferite. În analiza de mai jos, indicele NDVI a fost considerat variabilă dependentă, iar influența locației experimentale și a tratamentelor a fost analizată simultan pentru toate locațiile.

În prima etapă, dependența indicilor NDVI din luna iulie la porumb față de cei doi factori menționați a fost analizată prin analiza varianței. Atât efectul locației experimentale, cât și cel al tratamentului au fost semnificative, explicând împreună 85,9% din variația totală. Această

concluzie a fost confirmată și de analiza CHAID. Locațiile experimentale au apărut la cel mai înalt nivel ierarhic, iar în cadrul acestora tratamentele au avut un efect semnificativ asupra valorilor indicelui NDVI.

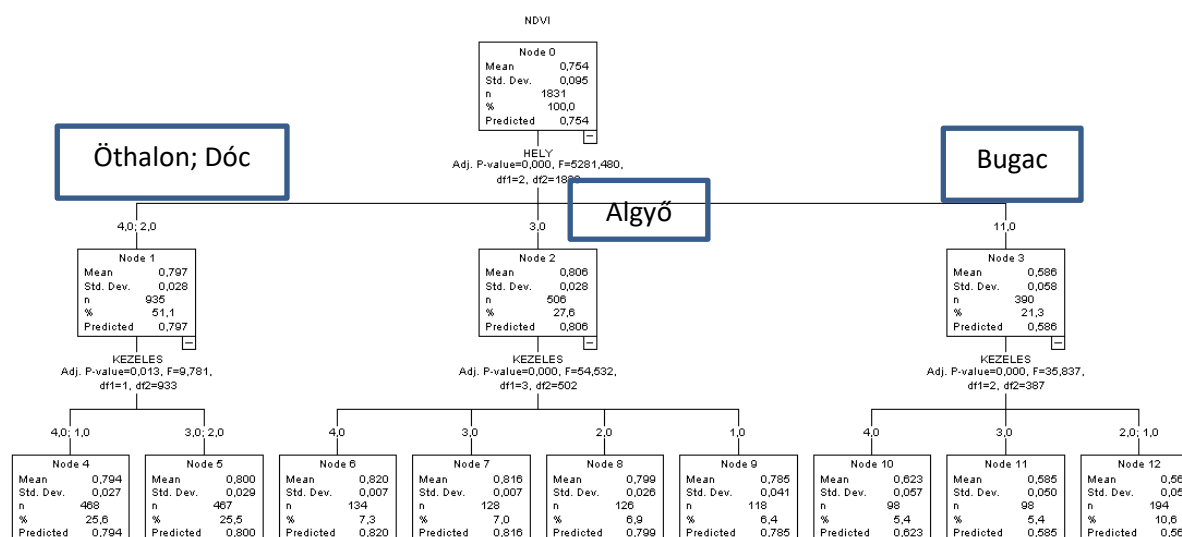


Figura 4. Arborele decizional CHAID pentru determinarea indicelui NDVI la porumb

O analiză similară a fost realizată și pentru indicii NDVI ai florii-soarelui, însă cu rezultate diferite. În prima etapă, analiza varianței multifactoriale nu a evidențiat un efect semnificativ al tratamentelor, însă a arătat un efect semnificativ al locațiilor experimentale. Astfel, variația indicilor NDVI a putut fi explicată în proporție de 71,6% în principal prin diferențele dintre locațiile experimentale.

În schimb, analiza CHAID a demonstrat clar că, pe lângă faptul că locațiile experimentale au avut cea mai puternică influență asupra indicilor NDVI ai florii-soarelui, tratamentele au reprezentat, în interiorul fiecărei locații, factori importanți de determinare a valorilor NDVI, chiar dacă modul de influență a diferit de la un loc la altul.

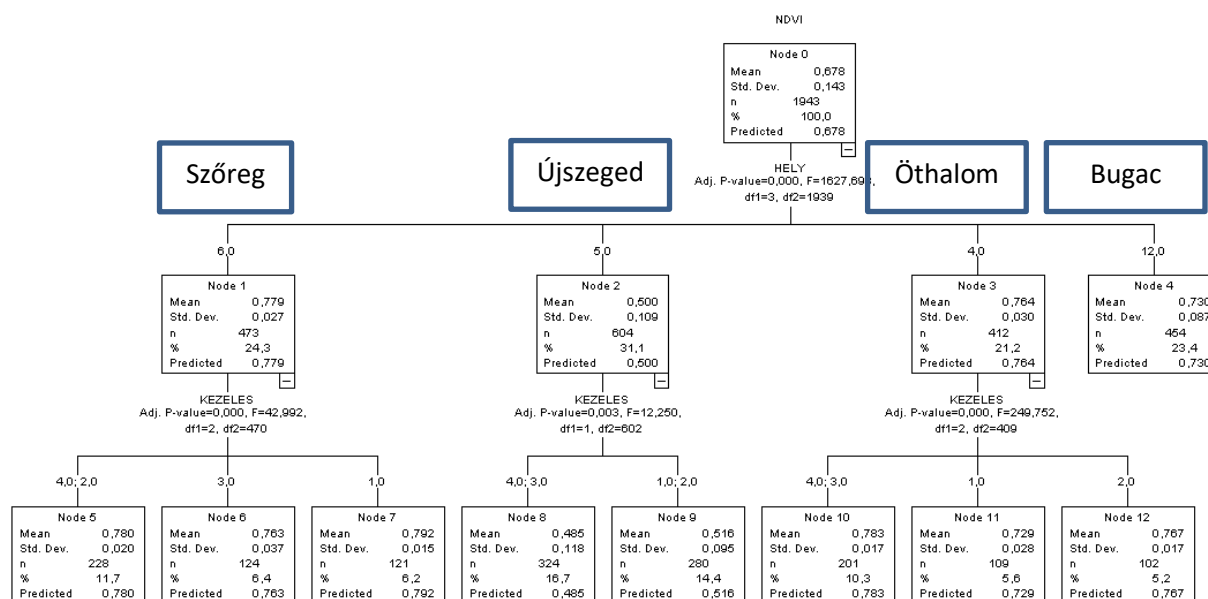


Figura 4. Arborele decizional CHAID pentru determinarea indicelui NDVI la floarea-soarelui

REZUMAT TEZELOR REZULTATELOR

În cadrul proiectului, am demonstrat că analizele obișnuite de sol (analiza restrânsă a nutrienților) nu sunt suficiente pentru evaluarea stării fizice și a gradului de compactare a solului. Proprietățile solului derivate din analizele mecanice de compoziție și din determinările densității aparente, care implică costuri și timp ridicate, se regăsesc într-un mod complex în măsurătorile penetrometrice realizate corect. Acestea sunt rapide, relativ ieftine, iar rezultatele sunt relevante și pentru producția agricolă.

În acest sens, am elaborat un sistem de clasificare care sprijină stabilirea valorilor optime ale presiunii asupra solului înainte de semănat.

Am confirmat efectul experimentelor de presiune asupra solului asupra indicelui NDVI și asupra producției. Aceste efecte depind de tipul de sol și de cultura analizată. În linii generale, ele sunt negative pe solurile nisipoase și pozitive pe solurile mai compacte, fiind mai pronunțate în cazul floarii-soarelui și mai slabe în cazul porumbului.

De asemenea, am demonstrat că, prin utilizarea metodelor avansate de analiză (CHAID), pot fi identificate relațiile cauză–efect din interiorul parcelei, iar influența experimentelor de presiune asupra solului poate fi confirmată. Totuși, aplicarea acestei metode necesită o atenție sporită pentru evitarea supraajustării modelului.