

**Budapesti Corvinus Egyetem**

**A MEZŐGAZDASÁGI FÖLDHASZNÁLAT ÉS A TALAJTANI  
ADOTTSÁGOK KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA TALAJMINŐSÉG-  
INDEXEK KIALAKÍTÁSÁVAL**

**Doktori (PhD) értekezés**

**JUHOS KATALIN**

Budapest

2015

**A doktori iskola megnevezése:** Kertészettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Növénytermesztési és kertészeti tudományok

**vezetője:** Dr. Tóth Magdolna egyetemi tanár, DSc, tanszékvezető  
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,  
Gyümölcstermő Növények Tanszék

**Témavezető:** Dr. Madarász Balázs  
egyetemi adjunktus, PhD  
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar  
Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

**A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanácsa 2015. október 13-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:**

**BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:**

**Elnöke:**

Terbe István DSc, Budapesti Corvinus Egyetem

**Tagjai:**

Szabóné Erdélyi Éva PhD, Budapesti Gazdasági Főiskola  
Szabó György PhD, Debreceni Egyetem  
Farsang Andrea PhD, Szegedi Tudományegyetem

**Opponensek:**

Fülek György CSc, Szent István Egyetem  
Sisák István CSc, Pannon Egyetem

**Titkár:**

Gaál Márta PhD, Budapesti Corvinus Egyetem

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS .....</b>	<b>3</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....</b>	<b>6</b>
2.1. A földminősítéssel és földértékeléssel kapcsolatos fogalmak, alapelvek.....	6
2.2. Külföldi földminősítési és földértékelési módszerek .....	8
2.2.1. Kvalitatív (kategóriarendszerű) földminősítési módszerek .....	8
2.2.2. Kvantitatív, talajosztályozáson alapuló földminősítési módszerek .....	11
2.2.3. Kvantitatív paraméteres földminősítési módszerek és talajminőség-indexek .....	12
2.2.4. Többtényezős döntés-előkészítő rendszerek .....	16
2.3. A hazai földminősítés és földértékelés módszerei .....	18
2.3.1. Kvalitatív általános mezőgazdasági célú tájértékelés földminősítés .....	18
2.3.2. Kvantitatív földminősítés és földértékelés .....	20
2.3.3. A földhasználat stratégiai és helyi szintű értékelése, tervezése .....	24
2.4. A talaj és a termés kapcsolatát magyarázó empirikus modellek .....	27
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....</b>	<b>31</b>
3.1. A mintaterület bemutatása és kiválasztásának szempontjai .....	31
3.2. A talajtani adatbázis felépítése .....	34
3.2.1. Talajterképezés és mintavétel.....	34
3.2.2. A vizsgálatba vont talajtani indikátorok kiválasztásának szempontjai .....	35
3.2.3. Laboratóriumi talajvizsgálati módszerek .....	37
3.3. A terméseredmények megismerése, a várható termés és termésbiztonság jellemzése.....	39
3.4. Matematikai és statisztikai módszerek .....	40
<b>4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK.....</b>	<b>43</b>
4.1. A terület talajviszonyainak jellemzése és homogén talajfoltok lehatárolása .....	43
4.2. A várható termés és a termésbiztonság a mintaterületen.....	48
4.3. A talaj-termés kapcsolatrendszer értékelése lineáris módszerekkel.....	52
4.3.1. A talajtani indikátorok és a várható termés ill. termésbiztonság lineáris kapcsolata .....	52
4.3.2. A főkomponens analízis eredménye (lineáris talajminőség indexek) .....	57
4.3.3. A főkomponensek mint lineáris talajminőség indexek kapcsolata a termékenységgel .....	60
4.4. A talajtani indikátorok nemlineáris interpretálása és a talajalkalmassági indexek .....	63
4.4.1. A kémiai tulajdonságok interpretálása és a kémiai alkalmassági index .....	64
4.4.2. A fizikai tulajdonságok interpretálása és a fizikai alkalmassági index .....	68
4.4.3. A tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok interpretálása és a termékenységi index .....	70
4.4.4. A talajalkalmassági indexek alakulása a produktivitási osztályokban .....	73
4.5. A lineáris talajminőség- és a nemlineáris talajalkalmassági indexek összehasonlítása .....	75
4.6. A mezőgazdasági talajalkalmassági osztályok .....	79

4.7. Új tudományos eredmények.....	83
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK .....</b>	<b>85</b>
<b>6. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>87</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>89</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>91</b>
<b>MELLÉKLETEK .....</b>	<b>105</b>
<b>1. Melléklet.</b> A változati szinten lehatárolt homogén talajfoltok jellemező talajszelvényei .....	105
<b>2. Melléklet.</b> A homogén talajfoltok 100 pontos talajértékszámának meghatározása .....	110

# 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Az intenzív szántóföldi növénytermesztés következményei már megmutatkoznak a talaj szervesanyagának, biológiai aktivitásának, tápanyagtartalmának csökkenésében, a talajszerkezet leromlásában, a savanyodásban, a pufferképesség csökkenésében (VÁRALLYAY, 2005). Mára már nyilvánvaló, hogy a fenntartható mezőgazdaság feltétele az ökológiai adottságokhoz alkalmazkodó racionális földhasználat kialakítása (ÁNGYÁN és MENYHÉRT, 1997; 2004). A környezeti alkalmazkodás és tájgazdálkodás azt jelenti, hogy a földet arra és olyan intenzitással használjuk, amire az a legalkalmasabb, így ugyanazt a termésszintet kisebb mesterséges energiabevittel érhetjük el, miközben csökken a környezet terhelése, és javul a termelés gazdaságossága (LÓCZY, 1989). Mindez a mezőgazdasági táblák területi szerkezetének racionalizálása útján valósítható meg, amelyhez megfelelő intenzitású termőhely-specifikus termesztéstechnológia kidolgozása szükséges (VÁRALLYAY, 2003).

Az Európai Unió agrárpolitikájában meghatározóvá váltak a környezet-, a természet-, és a tájvédelmi célok integrálását elősegítő támogatási rendszerek. Ezen tendenciák Magyarországon egyrészt a mezőgazdasági termelést várhatóan a legjobb ökonómiai és ökológiai adottságú területekre fogják koncentrálni, másrészt a művelési ágak megoszlásában érzékelhető az alkalmazkodó, extenzív gazdálkodás irányában ható elmozdulás (NAGY, 2006). Jelenleg az ország termőterületének közel 60%-a szántóterület (KSH, 2013). A javításra szoruló, kedvezőtlen adottságú szántóföldeken racionálisabb lenne a piaci versenytől eltérő, extenzív, különböző támogatási rendszerekhez kapcsolható gazdálkodás, amely a táji, természeti értékek megőrzését és fenntartását is előnyben részesíti (MÁTÉ, 1999).

A hazai kutatók több kvalitatív termőhelyelemző és -osztályozási módszert is kidolgoztak a talajok mezőgazdasági értékelésére (pl. BEKE, 1933; KREYBIG és MANNINGER, 1947; KREYBIG, 1956; GÖRÖG, 1954; GÉCZY, 1968), amelyek eredményei sajnos nagyrészt feledésbe merültek, holott a mai szakemberek számára is tartogathatnak hasznos információkat. Jelenleg nincs olyan korszerű kvantitatív mezőgazdasági talajminősítési rendszerünk, vagy talajhasznosítási térképi adatbázisunk, ami legalább a termőhelyválasztásban irányadó lenne.

A földhasználat stratégiai és regionális szintű tervezése egységes viszonyítási skálán történő ökológiai földminősítést igényel, amely kifejezi a talajok produktivitási funkcióját (termékenységét) különböző művelési ágakban (TÓTH, 2003). Ezen a téren azonban vannak elmaradásaink. A 18. századból örökölt jelenlegi hozadéki földértékelési rendszerünk (aranykorona), nem ökológiailag, hanem közgazdasági szempontból értékeli a földet (DÖMSÖDI, 1999). A hagyományos kvantitatív talajminősítési rendszerünk (100 pontos talajértékszám) a genetikai talajosztályozás egységeinek pontosított értékelése útján egy általános termékenységet

fejez ki, és nem kifejezetten agronómiaiilag értékeli a talajokat (FÓRIZSNÉ et al., 1972). A 2000-es évek fordulóján a *D-e-Meter* projekt egy új földminősítési és földértékelési rendszer kialakítására vállalkozott, amely az ökológiai és ökonómiai szempontokat egyszerre képes érvényre juttatni (TÓTH et al, 2006). A D-e-Meter rendszer ugyanúgy az altípus és változati szinten lehatárolt egységek pontozásán alapul, de a pontozás sokkal objektívebben, országos terméshozamok és agrokémiai adatbázisok feldolgozásán alapult. Ennek bevezetését a megfelelő léptékű talajtérképek és laboratóriumi talajvizsgálati eredmények hiánya akadályozza.

A hazai földminősítési munkák és földhasználati tervezés abban különböznek leginkább a nemzetközi tendenciáktól, hogy főként genetikai talajosztályozási egységeket értékelnek, és kevésbé vállalkoznak a talajtermékenység egyszerűbb talajtulajdonságokból való felépítésére, ill. azoknak egymással és a terméseredményekkel való összefüggéseinek vizsgálatára. A külföldi példák ismertek a hazai szakemberek körében is, köszönhetően számos áttekintő tanulmánynak (pl. FÜLEKY, 1999b; TAR, 1999; TÓTH, 2000; DÖMSÖDI, 2007). Egyszerű indikátorokból felépíteni a földminősítési rendszert nem könnyű. A hazai álláspont általában az, hogy a talajtulajdonságok és a termés közötti kapcsolatrendszer nagyon bonyolult, használható empirikus összefüggést találni nehéz. Talajtulajdonság-kombinációk értékelésének van értelme, így adódik, hogy a genetikai talajosztályozás egységeiből induljunk ki. A genetikai típusokban rejlő információt azonban összetettségénél fogva nehéz interpretálni, ráadásul az osztályba sorolás szubjektivitása is befolyásolja az eredményt.

Véleményem szerint mégis meg kellene vizsgálni a lehetőségét valamilyen paraméteres, a talajtulajdonságokból felépülő termőhelyi értékelés kialakításának. Ugyanis helyi szinten a művelési ágak, vetésforgók és termesztéstechnológiák ökológiai adottságokhoz való helyes megválasztása mélyebb ismeretet igényel a termőhely és a növény kapcsolatáról. Többek között meg kell tudni válaszolni, hogy: (1) a földhasználatnak mik a talajtani optimumai; (2) a talajnak mely tulajdonságai és milyen mértéktől vannak korlátozó hatással a növénytermesztésre, és azok egymáshoz viszonyított súlya hogyan alakul; (3) mennyire alkalmazkodik a földhasználat a talajtani adottságokhoz; (4) a földhasználat milyen hatással van a termőhelyre?

Mindezek szellemében munkám célkitűzése a földhasználat és a talajviszonyok kapcsolatának vizsgálata volt egy jellegzetes alföldi mezőgazdasági területen, ennek érdekében:

- a terület talajviszonyainak felmérése legalább változati szinten, a mezőgazdasági szempontból releváns fontosabb talajtulajdonságok vizsgálata;
- a jelenlegi gazdálkodási rendszer főbb jellemzőinek és eredményének megismerése különböző évjáratokban, ehhez a várható terméshozamok és termésbiztonság (termékenység) jellemzésére megfelelő mérőszám kialakítása;

- olyan matematikai statisztikai módszerek kidolgozása, amelyek lehetővé teszik a jellemző talajtulajdonság-kombinációk kvantitatív megfogalmazását egy relatív skálán (indexek) úgy, hogy azok kifejezzék a növénytermesztésre való alkalmasságot vagy legalább az általános talajtani kockázatot;
- ennek segítségével a talaj agrökológiai értékeléséhez minimálisan szükséges indikátorok meghatározása, a fontosabb korlátozó tényezők azonosítása, ill. annak meghatározása, hogy milyen talajtulajdonság-kombináció(k) a legkevésbé korlátozó(k) a növénytermesztés számára;
- a kapott viszonyszámok alapján olyan talajalkalmassági osztályok kialakítása, amelyek agroökológiailag releváns talajtulajdonság-kombinációkat határolnak le, és szignifikánsan meghatározzák a gazdálkodás lehetséges színvonalát és a várható terméseredményeket, valamint talajtani információt nyújtanak a művelési ág, növény és termesztéstechnológia választáshoz.



## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. A földminősítéssel és földértékeléssel kapcsolatos fogalmak, alapelvek

A FAO által megfogalmazott definíció szerint a *földminősítés* (*land evaluation*) a föld teljesítményének meghatározását jelenti a különböző hasznosítási célok szempontjából a vizsgált terület sajátosságainak figyelembevételével, amelynek célja a legmegfelelőbb földhasználati formák meghatározása és összehasonlítása (FAO, 1976). A minősítés alapja a terület tájszerkezeti, talajtani, klimatikus, vegetációra vonatkozó, stb. információinak interpretálása, a földhasznosítási alternatívák összehasonlítása pedig ökonómiai szempontok szerint történik. A megfelelő földhasznosítás egyben ökológiailag és ökonómiailag fenntartható földhasználatot jelent. Ennek szellemében a *földhasználat tervezéséhez* a FAO számos útmutatót adott ki (FAO, 1993a, 1993b; 1995; 1997; FAO/UNEP, 1995; 1996; 1997; 1999a; 1999b). A FAO (1976) definíciója tehát komplexen értelmezi a földminősítés feladatát. A hazai irodalomban ennek a fogalomnak talán a legjobb megfelelője a *tájértékelés*, amely meghatározott terület (táj) természeti tényezőin túl vizsgálja a településhálózatot, infrastruktúrát, a társadalom és gazdaság térbeli szerveződését is (LÓCZY, 2002), példaként hozható GÓCZÁN (1980) agroöko-geográfiai kutatása.

A kifejezetten *mezőgazdasági célú földminősítés* a FAO (1983; 1985) definíciója szerint az a folyamat, amely során a meghatározott hasznosítású föld termelési potenciálja, produktivitása kerül értékelésre. A termelési potenciál egyrészt azt jelenti, hogy a környezeti adottságok milyen korlátokat, ill. kapacitásokat jelentenek a földhasznosítás számára (*land capability*), másrészt pedig, hogy az adott terület milyen hasznosításra, hányféle növény termesztésére alkalmas, és milyen színvonalon (*land suitability*) (DRIESSEN és KONIJN, 1992). A környezet értéke ugyanis attól függ, hogy mi a hasznosítási cél, milyen növények igényeinek kell megfelelnie (ÁNGYÁN, 1987). A termőhelyi adottság olyan komplex fogalom, amelynek kialakításában igen sok, eltérő nagyságrendű és mértékegységű, egymással többé-kevésbé korreláló tulajdonság vesz részt, másrészt a növényfajok visszahatnak a termőhelyi adottságokra is (ÁNGYÁN és MENYHÉRT, 1997). *Magyarországon a földminősítés* kifejezés alatt kifejezetten a mezőgazdasági célú minősítést értik, ami a talaj, a domborzat, a vegetáció és a klimatikus adottságok meghatározásán nyugszik, és célja a termőhely agroökológiai potenciáljának, a föld növénytermesztésre való alkalmasságának értékszámokkal történő jellemzése (DÖMSÖDI, 2007).

A földminősítés alapulhat a terméseredményeken és a haszonnövények termesztetőségén, a terméshozamokon (*közvetett módszer*) vagy a termelékenységet meghatározó ökológiai tényezők vizsgálatán (*közvetlen módszerek*) (MCRAE és BURNHAM, 1981). A föld teljesítőképessége kifejezhető a sokéves terméshozamok átlagával, de a termésadatok monitoringja térbeli és

időbeli autoregresszív előrejelzést is tehet lehetővé (*dinamikus földminősítés*) (RITTER et al., 2008; SCHELLBERG et al., 2008; SMIT et al., 2008; LUKAS et al., 2009).

A közvetett földminőség kifejezhető egyszerű mérhető indikátorokból (*paraméterrendszer*), de a környezeti tulajdonságok bizonyos küszöbértékei által meghatározott kategóriákkal (*kategóriarendszer*) is (MCRAE és BURNHAM, 1981). Ez a megnevezés azonban nem szerencsés, hiszen a paraméteres rendszerek is csoportosítanak, a kategóriarendszerűek is használnak fel egyszerű indikátorokat, ill. találunk kombinált megoldásokat is. Sokkal praktikusabb a kvalitatív és kvantitatív módszerek megnevezés (VAN LANEN et al., 1992). A *kvalitatív módszerek* általában csak a limitáló tényezőket vizsgálják, általános válaszokat adnak a termékenységi potenciált illetően és alkalmassági osztályokban fejezik ki a földminőséget (kategóriarendszerű) (SYS et al., 1991). A *kvantitatív módszerek* esetében diszkrét változók fejezik ki a minőségi kritériumokat, és az így kapott numerikus információ gazdasági összefüggésben is értelmezhető (DRIESSEN, 1989).

Ellentétben a nemzetközi definíciókkal, a hazai szakirodalom határozottan elkülöníti a föld ökológiai és gazdasági értékelését. A föld gazdasági értékét sok természeti és gazdálkodási tényező együttesen, egymással bonyolult kölcsönhatásban befolyásolja, ezért az általános elv a hazai gyakorlatban, hogy a föld pénzbeli, közgazdasági értékelése a termőhely ökológiai minősítésén kell, hogy nyugodjon (FÓRIZSNÉ, 1972; DEBRECZENINÉ et al., 2003). Tehát, ha a földminősítést közgazdasági szempontokkal is kiegészítjük (földrajzi, közigazgatási hely, terméshozam, felmerülő költségek stb.), akkor *földértékelésről* beszélünk, ami a földárban és jövedelmezőségben juthat kifejezésre (DÖMSÖDI, 2007). Az ökonomiai értékelésnek ki kell fejeznie a föld hatását a terméshozamra és a felmerülő közvetlen termelési és externális költségek alakulására (ROSSITER, 1995). A gazdasági értékelés történhet a környezeti tényezők közgazdasági szempontú értékelésével, amely során az ökológiai földminősítők és az ökonomiai érték között kell megtalálni a kapcsolatot. A legegyszerűbb módszer, ha közvetlenül az elérhető terméshozamokat és bevételeket összevetjük az összes költséggel. A hazai aranykoronához hasonló hozadéki rendszerek tartoznak ide, amelyek a legelső földértékelési módszerek voltak (pl. Franciaországban, Olaszországban, Németországban és Dániában) (FEKETE, 1965).

A kvalitatív és kvantitatív földminősítési és földértékelés módszerek kombinációi felhasználhatók a *földhasználati tervezéshez* (RIQUIER et al., 1974). A kvalitatív rendszerek az adott földhasználatra való alkalmasságot, a kvantitatív rendszerek pedig a termékenység mértékét, a várható terméshozamokat fejezik ki. A számítástechnika fejlődésével a földminősítésben földhasználati tervezésben számos új, matematikai statisztikai módszereket alkalmazó megoldás jelent meg, amelyek *többtényezős döntéselemzést*, kockázatelemzést tesznek lehetővé (DE LA ROSA és VAN DIEPEN, 2002).

A talaj vizsgálata a földminősítés egyik központi eleme, sőt, széles szakmai kör szerint a talajtani adottságokat reprezentáló adatbázis önmagában is alkalmas lehet arra, hogy egységes földminősítési és földértékelési módszert hozzunk létre (VÁRALLYAY, 1989; DAVIDSON, 1992; STEFANOVITS, 1999; MUELLER et al., 2010). Ezzel kapcsolatban felmerülő *talajminőség* kifejezés a talaj tágabb értelemben vett funkcióképességét jelenti, amibe beletartozik a produktivitása, a környezetvédelmi kapacitása, élőhely funkciója, stb. (DORAN és PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997). Több szerző szerint a talajminőséget nem lehet önmagában értelmezni, azt mindig valamilyen földhasználati cél kontextusában lehet definiálni, ill. kiválasztani azokat a tulajdonságokat, amelyek determinálják azt (LETEY et al., 2003; ROUSSEUA et al., 2012). A *mezőgazdasági célú talajminősítés* (talajbonitáció) a hazai definíciók szerint a talajok termőképességének kifejezését jelenti valamilyen skálán, a talajok belső tulajdonságai, illetve a termékenységet döntően befolyásoló külső környezeti tényezők figyelembevételével (FÓRIZSNÉ, 1972). A *talajminősítés* a talajtulajdonságok és taxonómiai egységek agronómiai értékelését jelenti, ami lehet kategóriarendszerű vagy paraméteres, kvalitatív vagy kvantitatív. A talajtani paraméterek interpretálásának feltétele a talaj-termés kapcsolatrendszer megismerése *magyarázó empirikus és sztochasztikus modellek* segítségével.

Az irodalom feldolgozása során az egyes módszerekről eredeti forrásból tájékozódtam, és elsősorban arra kerestem a választ, hogy

- a földminősítési és értékelési módszerek milyen jellegű talajtani információt igényelnek, azokat hogyan választják ki;
- a talajtani információkat milyen módszerekkel interpretálják, és azokat hogyan építik be az értékelési rendszerbe;
- a különböző talajminősítési rendszerek, ill. a talajtani információk hogyan használhatók fel a földhasznosítást érintő döntéshozásban és a talaj-termés bonyolult kapcsolatrendszerének megértésében?

## **2.2. Külföldi földminősítési és földértékelési módszerek**

### **2.2.1. Kvalitatív (kategóriarendszerű) földminősítési módszerek**

A tradicionális kvalitatív módszerek kategóriákkal fejezik ki a föld teljesítőképességét, különböző komplex és egyszerű tulajdonságok tapasztalati úton történő interpretálása útján. A talajtani adatokat illetően gyakori a talajtérképezési egységek és az osztályozási rendszerek valamely taxonómiai szintjének alkalmazása. A környezeti tényezők küszöbértékekkel történő lehatárolása után többlépcsős szűréssel állapítják meg, hogy az adott területen milyen korlátok

jelentkeznek (*land capability classification*), valamint az alkalmassági osztályokat a különböző hasznosításokra (*land and soil suitability classification*).

A földminősítés egyik legelterjedtebb kvalitatív módszertanát Hollandiában dolgozták ki (BEEK és BENNEMA, 1972), amelyet a FAO (1976) keretrendszere is átvett. A lehetséges földhasznosítási típusok meghatározásához (*land utilisation types*, LUTs) a FAO négy szintű alkalmassági osztályozást javasol. A klasszifikáció folyamata a FAO (1976) szerint a következő lépésekből áll:

1. A releváns földhasználati módok mérlegelése;
2. A releváns földhasználati módok követelményeinek, limitáló tényezőinek meghatározása, a gazdálkodási viszonyokat jellemző input adatok meghatározása (termés, piaci lehetőségek, tőkeerősség, munkaerő, energiaforrások, technológia, infrastruktúra, birtokstruktúra, jövedelemszint).
3. A terület leírása, térképezése, földminőséget jellemző tulajdonságok meghatározása (talajtulajdonságok, domborzat, klimatikus adatok, vegetáció, felszíni és felszín alatti vizek), homogén agroökológiai egységek lehatárolása, ezek osztályba sorolása.
4. A földminőségi paraméterek összevetése a földhasználati követelményekkel, a különböző földhasználati alternatíváknak való megfelelés meghatározása az egyes agroökológiai egységekre, majd a terület előzetes osztályba sorolása.
5. A földhasználati alternatívák gazdasági és társadalmi teljesítményének meghatározása, és végleges osztályozás kialakítása.

A FAO ajánlásai alapján számos ország elkészítette a főként kategóriarendszerű kvalitatív földértékelési rendszerét. Klasszikus példa az Amerikai Egyesült Államokban létrehozott Land Capability Classification (USDA-LCC) háromszintű, hierarchikus rendszere, amely a három fő művelési ágban (szántó, gyepek, erdők) értékeli a földet (KLINGEBIEL és MONTGOMERY, 1961). Alapja a talajtérképezési egységek (Soil Survey Staff, 1975) mezőgazdasági interpretálása. A klasszifikáció hierarchiájában a legalsó szintet az ún. egységek képezik, amelyeken ugyanolyan gazdálkodás, művelési intenzitás jellemző, ugyanazon növények termesztésére és földhasználati módra alkalmasak, hasonló terméshozam várható és hasonló talajvédelmi beavatkozások szükségesek. Az alosztályok a korlátozó tényező minőségét fejezik ki (úgy mint az erózió, a túlzott nedvességtartalom, a gyökérszónában jelentkező talajhibák és a klimatikus kockázati tényezők). Az osztályba sorolásnál a legjobban korlátozó tényező a döntő, ezért a módszert *maximum-limitations system*-nek (DE LA ROSA és VAN DIEPEN, 2002) vagy *simple limitation method*-nak (SYS, 1991) is nevezik. Az osztályok (I.-VIII.) a kockázatok mértékét fejezik ki, amelyek alapján meghatározták a földhasználati alkalmasságot. Az I-IV. osztályok mindhárom fő művelési ágban való hasznosításra alkalmasak, bár itt kiemelten a szántó művelés javasolt, az

V.-VII. osztályok csak a gye-, legelő- és erdőgazdálkodásra, míg a VIII. osztály csak természetvédelmi és rekreációs célokra alkalmasak.

Az USDA-LCC nagy hatást gyakorolt más országok földértékelésére is. Szinte változtatás nélkül vették át pl. Indiában, Pakisztánban, Queensland-ben (Ausztrália), a Dél-Afrikai Köztársaságban és Venezuelában. Hasonló, háromszintű, hierarchikus osztályozást dolgoztak ki más országokban is, azzal a különbséggel, hogy az osztályok és alosztályok számát, ill. az osztályozásban figyelembe vett korlátozó tényezőket módosították. Példaként hozható a *Canada Land Inventory* (ARDA 1965), az új-zélandi *Land Use Capability Classification* (LYNN et al., 2009), Nagy-Britanniában a Macaulay Land Use Research Institute által kidolgozott *Land Capability Classification for Agriculture* (BIBBY et al., 1991), vagy az alkalmassági osztályozás Írországból (LEE, 1980) és Olaszországból (MAGALDI és RONCHETTI, 1980). Minden ország a saját természeti adottságaira és földhasználati hagyományaira formálta a módszert úgy, hogy a korlátozó tényezők klasszifikációjához saját határozókulcsot, kritériumrendszert dolgozott ki.

Európában nem csak az amerikai modell követésére van példa, számos ország kidolgozta a saját hagyományain alapuló kategóriarendszerű földértékelését. Nagy-Britanniában JONES és THOMASSON (1987) a főbb szántóföldi növények termesztésre való alkalmassága szerint négy kategóriába sorolták a talajokat, az alkalmasságot kizáró okok (extrém nedvességtartalom, a 15%-nál meredekebb lejtő, nem megfelelő hőmérsékleti viszonyok) vizsgálata alapján. Hollandiában (HAANS, 1980) és Belgiumban (HANOTIAUX, 1980) a kisebb mértékű éghajlati és domborzati különbségek miatt néhány talajtani minősítőn alapuló kategóriarendszerű értékelés lett népszerű. Minden fontosabb földhasználati módra megadták az alkalmasságot leginkább meghatározó talajtani tényezőket (pl. drénviszonyok, vízkapacitás, művelhetőség, szerkezetstabilitás, a feltalaj tömödöttsége, tápanyag-kapacitás, talajképző kőzet, termőréteg-vastagság). A minősítőket meghatározott indikátorok alapján kategóriákkal fejezték ki, és a kategóriák kombinációi alapján adták meg az alkalmassági osztályokat és alosztályokat.

A nemzetközi szinten alkalmazott kategóriarendszerű fizikai földértékelési rendszerekre példaként hozható a *Fertility Capability Classification* (FCC), amelyet az 1970-es években hoztak létre (SANCHEZ et al., 1982). Az FCC sokat merít az USDA Soil Taxonomy-ból (Soil Survey Staff 1975). Az osztályozásnak 3 hierarchiaszintje van: a típust a feltalaj textúrája, az altípust az altalaj textúrája alapján határozták meg, az ún. módosítók (15 db) pedig a talaj mezőgazdasági hasznosítását korlátozó tényezőket fejezik ki. Az FCC főként abban különbözik a morfogenetikus talajosztályozási rendszerektől, hogy azoknál jóval nagyobb hangsúlyt fektet a feltalaj, a művelt réteg tulajdonságaira. Az FCC-nek több, különböző klímaterületekre, pl. trópusi országokra (SANCHEZ et al., 2003) alkalmazható verziója is született.

A kvalitatív földminősítés jelentősége mára kissé elhalványult, mert a merev kategóriák összehasonlítása nehéz, és pl. közvetlenül nem alkalmas adózási célokra. A kategóriarendszer leginkább akkor alkalmazható, ha a földhasznosításban döntő szerepe csak néhány tényezőnek van, és a többi alárendelt szerepet játszik.

### 2.2.2. Kvantitatív, talajosztályozáson alapuló földminősítési módszerek

A kvantitatív termőhelyi értékszámok egy része valamilyen térképezési vagy talajosztályozási taxonómiai egység elemeire épül. Ezen taxonómiai kategóriákat, ill. tulajdonságkombinációk kategóriáit helyezik el egy viszonyítási skálán. Az értékelést tehát nem paraméterenként, tényezőként végzik el, hanem azok kombinációit pontozzák. Ez a földminősítési típus áll a legközelebb a hazai módszerekhez (100 pontos talajértékszám, D-e-Meter értékszám).

Európában az egyik legkorábbi példa a német birodalmi talajbecslés (*Reichbodenschätzung*), amelyet 1934-ben iktattak törvénybe az egységes adóztatás céljából (HEIDE és MÜCKENHAUSEN, 1980). A módszer a talaj tulajdonságait a klimatikus és domborzati viszonyok figyelembevételével értékeli. Szántók esetében a talaj textúráját, a talajképző kőzetet, a talaj fejlettségi állapotát, a klimatikus és domborzati adottságokat, gyepterületek esetében pedig a talaj textúráját, a talajképző kőzetet, a talaj fejlettségi állapotát és a vízháztartását vizsgálták meghatározott indikátorok alapján. A vizsgált egyszerű és komplex tulajdonságokat előbb kategorizálták, majd a kategóriák kombinációi alapján összeállítottak egy földértékelési táblázatot (mátrix) mindkét földhasználati típusra. A táblázatokban szereplő pontértékek meghatározásához reprezentatív talajokat választottak ki viszonyítási alapként. Szántó művelési ágban pl. a feltételezett mintagazdaság és optimális termőhely (csernozjom talaj, 100 pont) Magdeburg környékén lett kijelölve. A módszer megbízhatóságát annak köszönheti, hogy a talajok termékenységének becslésekor a várható terméseredményeket is figyelembe vették.

A német módszer alapján dolgozták ki és fejlesztették tovább Ausztriában az 1970-ben törvénybe iktatott talajértékelési táblázatok (PEHAMBERGER, 1992; WAGNER, 2001), amely szintén figyelembe veszi az éghajlati és domborzati adottságokat is. A klímaterületeket a hőmérsékleti viszonyokat jellemző indikátorok alapján határozták meg, a vízháztartási típust pedig a nedvességellátottság mértéke és gyakorisága alapján. A táblázatban szereplő értékeket a terület csapadékviszonyai és lejtőhajlása szerint pontlevonással módosították. A német módszerből sokat merített több Kelet-európai talajminősítés, többek között a szovjet termőhelyi értékszám (TÓTH, 2000), de hasonlóan a genetikai talajtípusokra épül KARMANOV és FRIYEV (1985) ún. talajökológiai indexe is.

Az Amerikai Egyesült Államokban az *US Land Evaluation and Site Assessment* (US-LESA) szántóföldi értékelési módszere is tartalmaz hasonló elemeket (PEASE és COUGHLIN, 1996). Szántóföldek értékelésében első lépésként a talajtípusok (Soil Taxonomy szerint), a lejtőkategória, a szántóföld jelentőség szerinti besorolása és a produktivitás index (elérhető jövedelem) alapján csoportokat hoztak létre (1-15). Ezen csoportokra épül az ökonómiai értékelés: ún. relatív értéket (maximum 100 pont) számítanak az adott csoportban jellemző terméshozamok súlyozott átlaga és az elérhető maximális hozam alapján. A relatív értékeket a klimatikus és árvízi kockázatok alapján korrigálják pontlevonással.

A különböző talajtani kategóriák agronómiai minősítése akkor lehet megbízható, ha megfelelő mennyiségű termésadattal, tapasztalattal van alátámasztva. Gyakorlati alkalmazásuk feltétele pedig egy egységes talajosztályozási és térképezési rendszer megléte.

### 2.2.3. Kvantitatív paraméteres földminősítési módszerek és talajminőség-indexek

A kvantitatív módszerek másik csoportja az egyszerű paraméterek interpretálása után valamilyen matematikai módszerrel integrálja az információkat. Az első ilyen paraméteres talajminősítési módszernek az 1930-as években Kaliforniában létrehozott (és azóta már többször módosított) Storie-index tekinthető (STORIE, 1978). A minősítési rendszer négy tényezőcsoportot értékel meghatározott indikátorok alapján. Minden tényezőcsoportához tartozó paraméter optimális értéke 100%, és a kedvezőtlenebb állapotokat százalékos korlátozásokban fejezi ki. A tényezőcsoportokból súlyozás nélkül multiplikatív indexet számol:

$$\text{Storie index} = A \cdot B \cdot C \cdot X,$$

ahol

A: a talajszelvény felépítése (a talajképző közet mélysége és minősége, valamint a jelenkori üledékképződés alapján); B: a felszíni talajréteg textúrája; C: a lejtő alakja és szöge; X: egyéb, a termékenységet meghatározó talajtulajdonságok, drénviszonyok, szikesedés, savanyúság, tápanyag-ellátottsági szint, erózió mértéke, mikrorelief szorzata.

A Storie-index értékei alapján hat termékenységi fokozatot határoztak meg. A Storie-indexet több országban is átvették és átdolgozták, így pl. Brazíliában (BACIC et al., 2003) és Lengyelországban (KORELESKI, 1988).

Szintén multiplikatív NEILL, (1979) talajproduktivitás indexe, amely már számol a talajtulajdonságok mélységi megjelenésével is: a faktorokat rétegenként súlyozza a termesztett növény gyökerezési mélységének figyelembevételével. A produktivitási index számítása a következőképpen történik:

$$PI = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot D_i \cdot E_i \cdot WF_i),$$

ahol

PI: talajproduktivitás index;  $A_i$ : felvehető vízkapacitás az  $i$ . rétegben;  $B_i$ : légáteresztő képesség az  $i$ . rétegben;  $C_i$ : térfogattömeg az  $i$ . rétegben;  $D_i$ : pH az  $i$ . rétegben;  $E_i$ : vezetőképesség (EC) az  $i$ . rétegben;  $WF_i$ : súlyfaktor az  $i$ . rétegben;  $n$ : a vizsgált rétegek száma;  $i$ : a vizsgált réteg sorszáma. A faktorsúlyokat a termesztett növény gyökerezési mélysége alapján számítja a módszer:

$$WF_i = \frac{(RDm - D_1)^2 - (RDm - D_2)^2}{RDm^2},$$

ahol

$WF_i$ : faktorsúly az  $i$ . rétegben;  $RDm$ : a gyökérzet maximális mélysége (cm);  $D_1$ : az  $i$ . réteg felső határának mélysége (cm);  $D_2$ : az  $i$ . réteg alsó határának mélysége (cm).

A paraméteres talajindexek számítása lehetséges egy maximális értékből való kivonással. Például Franciaországban olyan talajminősítési módszert hoztak létre, amelyben az egyes faktorok produkciót korlátozó hatását pontlevonással fejezték ki (MORI et al., 1984). A faktorokat jelentőségüknek megfelelően súlyozták. Kanadában a kategóriarendszerű földértékelést (CLI) felváltó *Canadian Land Suitability Rating System for Agricultural Crops* rendszerben a talajminősítési értékszám is hasonlóan pontok levonásával keletkezik (Agronomic Interpretation Working Group, 1995).

Az additív módszerek a faktorok (akár súlyozott) összeadásával számítják az indexeket. Ilyen például az US-LESA erdőterületekre vonatkozó termőhelyi értékelése (PEASE és COUGHLIN, 1996). A módszer 4 tényezőt értékel 0 és 1 közé eső számmal: a produktivitást a fahozam alapján, az uralkodó fafajt, a lejtőkategóriát és a fő talajtani limitáló tényezőket. A négy érték összegzésével és 100 pontos skálára vetítésével keletkezik a relatív minőség érték. Az erdőgazdálkodási kategóriák lehatárolása a talajrendszertani információk és a relatív értékek alapján (1-10 csoport) történik.

Az US-LESA az ökonómiai értékeléshez (földérték) számításához is additív módszert javasol. Megadja az értékelés szempontjait, amelyből a helyi döntéshozatali szinten választják ki a szükséges paramétereket (pl. földhasználat és produktivitás a környező területeken, farm mérete, települési és közlekedési infrastruktúra, vízkitermelési lehetőségek, stb.). Az egyes szempontokat 0-10 skálán helyezi el, és ezeket jelentőségüknek megfelelő súlyozással összeadja. A kapott viszonyszámokból földérték számítható.

Az additív és multiplikatív módszer kombinációjára is van példa. Németországban a Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) kidolgozta az ún. *Muencheberg Soil Quality Rating* (M-SQR) rendszert, amely a talajok termékenységét értékeli szántó és gyepterületekben (MUELLER et al., 2007a; 2007b). Az M-SQR ún. alap- és kockázati indikátorokat nevez meg, és ad útmutatót az értékelésükhöz. Az alapindikátoroknak olyan



paramétereket nevez meg, amelyek a mérsékelt övben jól korrelálnak a terméshozamokkal (pl. talajképző kőzet, humuszos réteg vastagsága, a termőréteg szerkezete, az altalaj tömődöttsége, vízkapacitás, belvízérzékenység, domborzati viszonyok). A kockázati indikátorokhoz olyan tulajdonságokat sorol, amelyek az agrotechnikával nehezen módosíthatók, és önmagukban is determinálják a terméshozamot (pl. szennyezőanyagok, szikesedés, savanyodás, felszínhez közeli kompakt kőzet, extrém víztelítettség, meredek lejtő). Az alapindikátorokat 0-2 közötti skálán értékeli, és súlyozással (1-3 értékekkel) összegzi azokat. A vizsgált területen releváns ún. kockázati indikátorokat 0-2,94 közötti skálán értékeli, majd az alap talajértékszámot ezekkel a kockázati értékekkel szorozza meg. A kapott talajértékszám 100 pontos skálán fejezi ki a talajok termékenységét. Az indikátorok pontozását megfeleltették a World Reference Base (WRB) (FAO, 2006) minősítőinek is.

A modern kvantitatív talajminőség indexekhez az értékeléshez szükséges tulajdonságok kiválasztásához, azok interpretálásához, valamint indexek kifejezésekor a faktorok súlyának meghatározásához egyaránt különböző matematikai és többváltozós statisztikai módszereket alkalmaznak az egyszerű táblázatos, szakértői módszerek helyett. Általában a kvantitatív talajminőség indexek kialakítása három lépésben történik (KARLEN et al., 1997): (1) a talajtermékenységet leíró indikátorok kiválasztása, (2) a kiválasztott indikátorok skálázása, interpretálása, és (3) az indikátorok integrálása egy indexbe.

Az indikátorok kiválasztása két lépésben történhet. Az első lépésben a szakértői megítélés alapján választanak ki olyan indikátorokat, amelyek az adott területen és földhasználati típusban relevánsak, minden talajképző folyamat és termesztést befolyásoló tényezőt együttesen leírnak (Total Data Set, TDS). Ezt a teljes adathalmazt szűkítik tovább (Minimum Data Set, MDS) valamilyen többváltozós statisztikai módszerrel, pl. főkomponens analízissel (PCA) (ANDREWS et al., 2002a; 2002b; SHARMA et al., 2005; MASTO et al., 2008; QI et al., 2009; D'HOSE et al., 2014; RAHMANIPOUR et al., 2014). A faktoranalízisek, köztük a PCA, alkalmasak a változók közötti látens kapcsolatok feltárására, azoknak olyan lineáris kombinációit állítják elő, amelyek már nem korrelálnak. A PCA komponens mátrixa alapján kiválaszthatók azok a független, nem korreláló változók, amelyek az összes indikátor varianciájának a lehető legnagyobb százalékát magyarázzák. Vagyis a PCA alkalmas az összefüggő változók által közösen hordozott információ sűrítésére.

A szerzők többsége a kiválasztott MDS indikátorok interpretálásakor azokat egy 0 és 1 közötti skálára vetíti lineáris (LIEBIG et al., 2001; SHARMA et al., 2005) vagy nemlineáris (KARLEN et al., 1994; ANDREWS et al., 2002a; 2002b; LI et al., 2002; ZHANG et al., 2004; QI et al., 2009; LIMA et al., 2013; D'HOSE et al., 2014; RAHMANIPOUR et al., 2014) függvények segítségével. Az interpretált indikátorok integrálására a legelterjedtebb módszer az additív, ún.

Integrated Quality Index (IQI) (KARLEN et al., 1994; DORAN és PARKIN, 1996; ANDREWS et al., 2002a; 2002b; ZHANG et al., 2004; SHARMA et al., 2005; MASTO et al., 2008; LIMA et al., 2013; D'HOSE et al., 2014), amelyet a következőképpen számítanak:

$$IQI = \sum_{i=1}^n W_i N_i$$

ahol

$W_i$  az  $i$ -dik indikátor súlya,  $N_i$  pedig az  $i$ -dik indikátor pontszáma.

De találunk példát súlyozott multiplikatív index kialakítására is (LI et al., 2002). Mivel az egyes talajtulajdonságok jelentősége a termékenység, a terméshozamok kialakításában eltérő lehet, ezért gyakori, hogy súlyozzák az egyes indikátorokat.

Az ún. Nemoro Quality Index (NQI) (QI et al., 2009; RAHMANIPOUR et al., 2014) a skálázott indikátorok átlagával és a legkedvezőtlenebb (minimum) tényezővel számol:

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2}}$$

ahol

$P_{ave}$  a skálázott indikátorok átlaga,  $P_{min}$  az indikátorok közül a legkisebb érték.

A paraméterek súlyozása történhet szakértői becsléssel (DORAN és PARKIN, 1996; KARLEN et al., 1994; ANDREWS et al., 2002a; 2002b; LIMA et al., 2013), vagy ún. analitikus hierarchia eljárás segítségével (AHP) (LI et al., 2002; ZHANG et al., 2004; QI et al., 2009). Az AHP matematikai módszerét a többtényezős döntés-előkészítésben is széleskörűen alkalmazzák (lásd a 2.2.4. fejezetben).

Az ilyen matematikai, paraméteres értékelések nagyon sok szakértelmet, széleskörű adatbázison alapuló tapasztalatot igényelnek az indikátorok kiválasztásához, súlyozásához, interpretálásához és integrálásához egyaránt. Egyik módszer esetében sem zárható ki bizonyos mértékű szubjektivitás (főként a súlyozásnál). Az egyes indexek eltérő mértékben juttatják kifejezésre a paramétereket, ami számos kérdést felvet. Például a multiplikatív módszerekben minden kedvezőtlenebb tulajdonság jól kifejeződik, ami nem feltétlenül gond, ha egyetlen tényező is kizáró oka lehet a természtésnek. Ugyanakkor gyakoribb lehet az az eset, amikor a legrosszabb tényező hatása a többi talajtulajdonságtól is erősen függ, azokkal együtt, meghatározott kombinációban fejt ki hatását. Az additív indexek esetében a súlyozástól függ, hogy mit fejeződik ki leginkább az indexben. Azonban az eredmény még így sem biztos, hogy kifejezi az eltérő talajtulajdonság-kombinációk hatását, jelentőségét a mezőgazdasági földhasznosításban, hiszen ugyanaz az index érték különböző kombinációban is kijöhet, holott az egyes kombinációk biztosan nem azonos hatást gyakorolnak a haszonnövényekre.

Mindenesetre a matematikai-statisztikai módszerekkel előállított indexek ma már a legelterjedtebben használt módszerek pl. a földhasználati rendszerek talajra gyakorolt hatásának vagy a talaj bizonyos funkcióinak kifejezésére. A koncepcióik, módszereik sok újdonsággal szolgálhatnak a hazai kutatásnak, ha alkalmazásukra kísérletet tennénk.

#### 2.2.4. Többtényezős döntés-előkészítő rendszerek

A föld teljesítőképességét nagyon sok környezeti, gazdasági és agrotechnikai tényező határozza meg, amelyek egymással kölcsönhatásban érvényesülnek. Ezen információk közötti kapcsolatrendszer felderítése, és ez alapján egy földhasználati stratégia kialakítása lényegében egy többtényezős döntés-előkészítést jelent (*multi criteria decision making*, MCDM) (PEDRYCZ és GOMIDE, 1998). A gazdálkodástudományban ennek számos technikai megoldása született, amelyeket a környezetértékelésben is egyre többen átvesznek.

Az ún. analitikus hierarchia eljárás (*analytical hierarchy process*, AHP) a sokféle tényező közötti információ-hierarchia megfogalmazását teszi lehetővé. A módszert alkalmazzák a talajok produktivitásának és konkrét fölhasznosításra való alkalmasságának meghatározásában is (LI et al., 2002; ANANDA és HERATH, 2003; ZHANG et al., 2004; QI et al., 2009). Az AHP-ban az első lépés, hogy a döntéshozatal szempontjait, tényezőit természetes tulajdonságaik alapján csoportosítjuk, majd a csoportokat más szempont szerint besorolva újabb hierarchiaszintet alkotunk, míg végül eljutunk a rendszer legfelső eleméhez, amely a döntési problémát, a döntés célját jelenti. A hierarchiaelemzés során a legfontosabb megválaszolandó kérdés, hogy a legalsó szinten lévő szempontok vagy tényezők milyen módon hatnak a legfelső szintű tényezőre, vagyis milyen az intenzitásuk és prioritásuk. A szakértők által így felvázolt hierarchikus struktúra (gráf) csomópontjai közötti kapcsolat erősségét egy  $[0;1]$  intervallumba eső számérték fejezi ki. Ezek meghatározásához az elemek és a közvetlenül fölöttük álló elemet egy párnak tekintjük, és a páros alsó tagjához egy pozitív egész számot rendelünk, a felső tagjához annak reciprokát. A kapott fontossági értékekkel minden hierarchiaszinten felírható az ún. Saaty-mátrix (SAATY, 1980). A mátrix legnagyobb sajátértékéhez tartozó sajátvektor elemei megadják a hierarchia összeköttetéseinek súlyát.

Az MCDM egy másik matematikai eszköze a bemenő adatok transzformálása (interpretálása) a felhasználási célnak megfelelően matematikai operátorokkal. Ennek alapjait az ún. Fuzzy halmazelmélet adja, amely lehetőségekkel és tagságfüggvényekkel dolgozik: a megfigyelések valamely csoportba tartozását  $[0;1]$  intervallumba eső számértékkel fejezi ki (ahol a 0 a teljesen halmazon kívüliséget, az 1 pedig a teljes mértékű tagságot jelenti) (PEDRYCZ és GOMIDE, 1998). A módszer alkalmas az átmenetek bemutatására, azaz lehetővé teszi, hogy az

egyes kritériumértékek fokozatosan változnak az egyik állapotból a másikba. A többtényezős földértékelésben, földhasználati döntés-előkészítésben a fuzzy-indikátorok az attribútum adatok (talajtulajdonságok, termésadatok, egyéb környezeti tényezők) egyezését fejezik ki a felhasználói csoportok igényeivel (KURTENER és BADENKO, 2000; MALCZEWSKI, 2002; ZHANG et al., 2004; BAJA et al., 2007; BUSSCHER et al., 2007; KURTENER et al., 2008).

Az ún. statisztikai döntési fák olyan a döntéshozatalban használt grafikus modellek (matematikai gráfok), amelyek csúcsain az egyes (bizonytalan kimenetelű) lehetőségek értékei, élein az azokhoz tartozó valószínűségek szerepelnek, és a több lehetőség közül kiválasztható optimális döntést a várható érték maximalizálásával határozhatjuk meg (DE LA ROSA és VAN DIEPEN, 2002). Példaként hozható az Automated Land Evaluation System (ALES), amely a FAO (1976) keretrendszerében leírt földminősítési lépéseket valósítja meg ún. statisztikai döntési fák segítségével (ROSSITER, 1990). Az ALES bekerült a FAO (2007) megújított földminősítési keretrendszerébe is.

A földhasználat optimalizálásában a döntési fáknál már fejlettebb módszert képviselik a neurális hálózatok (DE LA ROSA és VAN DIEPEN, 2002; DRUMMOND et al., 2003). A neurális hálózat olyan párhuzamos, elosztott működésre képes információ-feldolgozó eszköz, amely:

- nagyszámú, azonos, vagy hasonló típusú, lokális feldolgozást végző műveleti elem, neuron többnyire rendezett topológiájú, nagymértékben összekapcsolt rendszeréből áll;
- rendelkezik tanulási algoritmussal (learning algorithm), mely általában minta alapján való tanulást jelent, és amely az információfeldolgozás módját határozza meg;
- rendelkezik a megtanult információ felhasználását lehetővé tevő információ előhívási algoritmussal (recall algorithm) (HORVÁTH 2006).

A különböző modern alkalmazásokat integrálja a térbeli elemzést is lehetővé tevő *MicroLEIS DSS (decision support system)*, amelyet eredetileg mediterrán térségekre dolgoztak ki (DE LA ROSA et al., 1992). A szoftvert ma már világszerte használják a földhasználat változásának vizsgálatára, földminősítésre és a földhasználat tervezéséhez (KELGENBAEVA, 2002; LAMELAS et al., 2008; LUGO-MORIN és REY, 2008; SHAHBAZI et al., 2008; DE LA ROSA et al., 2009; ANAYA-ROMERO et al., 2011). A program bemenetét éghajlati, talajtani és gazdálkodási adatok képezik, amely nemcsak adatbázis, hanem statisztikai, szakértői, neurális hálózati, Web és GIS alkalmazásokat is integrál. A rendszer a földértékelés 6 kérdéskörét, feladatát jelentő modellből tevődik össze, amelyek a paraméteres és kategóriarendszerű földminősítés módszereit ötvözik:

- Terraza: bioklimatikus hiányokat, hibákat elemző modell (paraméteres),
- Cervantana: általános földhasználati adottságokat elemző modell (kvalitatív),
- Sierra: erdő alkalmassági modell (kvalitatív),

- Almagra: mezőgazdasági talajalkalmassági modell (kvalitatív),
- Albero: mezőgazdasági talajproduktivitási modell (statisztikai),
- Marisma: természetes talajtermékenység modell (kvalitatív).

A döntéstámogató rendszerek alkalmazása a földhasználat tervezésében és a földminősítésben sokkal komplexebb vizsgálatokat tehet lehetővé, mint az egyszerű indexek és klasszifikációk.

## **2.3. A hazai földminősítés és földértékelés módszerei**

### **2.3.1. Kvalitatív általános mezőgazdasági célú tájértékelés földminősítés**

A hazai tájgazdálkodási kutatások a nemzetközi csoportosításban a kvalitatív, kategóriaendszerű földminősítéseknek felelnek meg, amelyek főként közvetett értékelést tesznek lehetővé. Elsősorban arra adnak választ az üzemi gyakorlat számára, hogy az adott földterület milyen haszonnövények termesztésére, milyen földhasznosításra alkalmas, de mennyiségi értékelésre nem vállalkoznak.

Elsőként BEKE (1933) munkáját említeném, aki térképeket szerkesztett, amelyeken feltüntette az általa Magyarországon nagy jelentőségűnek tekintett növények legjobb termőhelyeit. A területek kijelölése a termelési tapasztalatok és a környezeti feltételek alapján történt, és nem a pontosság igényével, hanem csak nagyvonalakban, felhívva a figyelmet a természeti adottságokban rejlő lehetőségekre. BEKE (1937) fogalmazta meg először a növénytermesztési körzetek természeti adottságok alapján történő lehatárolásának jelentőségét. Véleménye szerint a mezőgazdálkodás négy pilléren nyugszik: a talaj, az éghajlat, a szellemi és az anyagi tőke. Az első kettő állandónak tekinthető, a másik kettő viszont folyamatosan változó, rugalmasan befolyásolható tényezők. Ha az éghajlat és a talajadottságok kedvezőek, akkor jövedelmező lehet a növénytermesztés, ellenben ha kedvezőtlenek, akkor igen nagy ráfordítással lehetséges a termelés fenntartása. A mezőgazdaság sikerének az is feltétele, hogy a szellemi és anyagi tőkét az első két pillér figyelembevételével kell alkalmazni. Ezek az elvek még ma is megfontolandóak.

KREYBIG és MANNINGER (1947) az egyes területek talaj- és éghajlati adottságainak, ill. az egyes növények talaj- és éghajlati igényeinek összevetése alapján meghatározták a legfontosabb gazdasági növények optimális hazai termőterületeit. Eredményeiket „Növénytermesztési atlasz” címen adták ki. Munkájukban statisztikai módszereket nem alkalmaztak, és nem vizsgáltak terméseredményeket. A talajok fizikai és kémiai állapotát, a nyári félév hőmérsékletét és csapadékösszegét hasonlították össze a növények talaj-, hő- és csapadékigényével. A természeti tényezőket nem súlyozták.

A Kreybig Lajos által kezdeményezett és vezetett országos térképezés (1934-1951) célja egy olyan szelvényezett térképsorozat készítése volt, amely a termesztett növények élettani feltételeit ábrázolja, az agronómiai szempontból jelentős talajtulajdonságokat mutatja (SZABÓ et al., 2005). A Kreybig-féle térképezés kifejezetten gyakorlati célokat szolgált; a termelést irányító szerveknek, az agrárpolitikusoknak, a gazdáknak, a termesztés kérdéseivel tudományosan foglalkozó intézményeknek szólt. Az Átnézetes Talajismereti Térképeken a talajtani és földhasználati viszonyokat együttesen ábrázolták. KREYBIG (1956) a térképek alapján termőtájakat határolt le, és nem csupán a termesztendő növények körét adta meg, hanem az egyes tájakra vonatkozóan agrotechnikai irányelveket is megfogalmazott. Ajánlásai nagyrészt még a mai technológiai feltételek mellett is aktuálisak.

A tájtermesztés alapjának GÖRÖG (1954) is a területek adottságainak és a termesztendő növények igényeinek összevetését tekintette. „Magyarország mezőgazdasági földrajza” című művében kísérletet tett a növények termelési területeinek lehatárolására. Magyarország talajtani tájegységeit Kreybig Lajos talajtájegység beosztása alapján adta meg. Meghatározta az egyes növények talajigényét, és a számukra I., II. és III. rendű talajtípusokat. Összevetette a növények talajigényét az ország talajadottságaival. A növényeknek nem csupán a vegetációs időszakuk alatt jelentkező éghajlati igényeit jellemezte, hanem a kritikus időszakuk alatti csapadék- és hőmérsékletigényüket is figyelembe vette. A növények éghajlati igényét és az ország adottságait klímatermésztőként hasonlította össze. Az egyes területeket ezek alapján osztályokba sorolta, és a klímatermésztőkénti területi pontszámokat összeadta, amivel így a klímára egy összesített osztálybeosztást kapott. Nagy érdeme a munkának, hogy meghatározta a természeti tényezők (talaj, csapadék, hőmérséklet) egymás közötti fontossági sorrendjét minden egyes növényre.

Az 1960-as években az Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet Géczy Gábor vezetésével talajtérképezésen nyugvó, mezőgazdasági szempontú országos környezetminősítő felmérést végzett. GÉCZY (1968) az éghajlati elemek és talajadottságok községi szintű feltérképezésével vizsgálta a növénytermesztés területi elhelyezkedését. 1:25000 méretarányú gyakorlati mezőgazdasági talajismereti térképeket szerkesztett a rendelkezésre álló Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti Térképek és saját felvételezései segítségével. Az elkészült talajtérképeken a talajtulajdonságokat a növények igénye, az agrotechnika és a meliorációs lehetőségek szerint értékelte. A természeti adottságok és a növények ökológiai igénye közötti viszony és a területhasználati lehetőségek kifejezésére létrehozta az ún. talajhasznosítási osztályozási rendszert. Az osztályozáshoz három növényből (jelzőnövény) álló növénycsoportot használt, amelyekkel a termelési lehetőségben mutatkozó kisebb eltéréseket érzékeltette. A szántó művelési ágban a jelzőnövényekből a vezető növény gabona, az egyik kísérő növény takarmány- vagy ipari kapás kultúra, a másik pedig pillangós takarmánynövény. A szántóterület

hasznosítási lehetőségeinek jellemzésére 21 osztályt alkotott, amelyeket a három jelzőnövénnyel nevezett meg. A gyakorlati talajismereti térképei és a talajhasznosítási osztályozási rendszere segítségével 40 mezőgazdasági termelési körzetet határolt le, amelyeken belül a termelést befolyásoló természeti adottságok azonosak, vagy legalábbis hasonlóak. Körzetenként megadta az elsőrendű növényeket is. Géczy osztályozása kvalitatív, nem konkrét számadatokon, hanem általános megfigyeléseken alapult. A Géczy-féle térképek – léptékük (1:25000) és tematikájuk alapján – még ma is használhatók lehetnek a földhasználat üzemi szintű optimalizálására, hiszen a gyakorlat számára készültek.

Számos, speciálisan egy-egy művelési ágban használatos termőhely-értékelési munkák is születtek pl. az erdészetben (BABOS, 1966; SZODFRIDT, 1993; MÁRKUS és MÉSZÁROS, 1997), a gyümölcstermesztésben (KÁLLAYNÉ és SZENCI, 1985) és szőlőtermesztésben (SZABÓ et al., 2000), amelyeket máig használnak a telepítések engedélyezésénél. Ezen földhasznosítási módok termőhelyi igényeivel az ingatlankataszteri földminősítési és értékelési munkák sokáig nem foglalkoztak.

### **2.3.2. Kvantitatív földminősítés és földértékelés**

Magyarországon az első ingatlankataszteri célú földminősítési és -értékelési munka az 1875. évi VII. törvénycikk rendelkezése szerint kialakított aranykorona rendszer (AK) volt, amely a vizsgált terület egységen elérhető átlagos tiszta jövedelmet fejezte ki (DÖMSÖDI, 2007). Meghatározásának két tényezője volt: a talaj minőség szerinti osztályozása (kategóriarendszerű közvetett földminősítés), valamint a föld jövedelmezőségének megállapítása. A tiszta jövedelmeket hét művelési ág és ezek legfeljebb 8 minőségi osztálya alapján állapították meg. A minőségi osztály meghatározására az osztályt legjobban jellemző földterületeken ún. mintatereteket jelöltek ki a hasonló termelési költségekkel és talajviszonyokkal jellemezhető becslőjárásonként. Egy-egy becslőjáráshoz azok a községek tartoztak, amelyek egy piacra szállították termékeiket. Az osztályokhoz (becslőjárásonként) az átlagos terület egységre vetített tiszta jövedelmet (AK/kat. hold, ma AK/ha) rendelték. Adott terület AK értékét ma is a következőképpen számítják: az egyes osztályokba tartozó terület nagyságát a hozzá tartozó AK/ha értékkel megszorozzák, majd a részeredményeket összeadják. A hozadéki értékszám megállapítása idején azt fejezte ki, hogy egy adott földrészleten átlagos gazdálkodás mellett, az átlagos termelési költségek levonása után kataszteri holdra vonatkoztatva mennyi tiszta hozadék marad. Ma az aranykorona már csak egy viszonyszám, amely az azonos művelési ágú területek termőképessége közötti különbséget mutatja. Mint ökológiai földminősítési rendszer kvalitatív, kategóriarendszerű, mint földértékelés pedig kvantitatív, közvetlenül a jövedelmezőséget fejezte

ki. Ismereteim szerint a világban ez az egyetlen olyan földértékelési rendszer, amely a tiszta jövedelmet (ill. ma már annak viszonyait) fejezi ki. A műszaki, gazdasági fejlődés okozta változások nyomán követésének hiányosságai, valamint a kevés és nagyjából becsült talajadatok használata miatt mára kissé elavultnak tekintik. A 19. század óta több korrekción is átesett aranykorona rendszer van jelenleg is hatályban (105/1999. (XII. 22.) FVM rendelet), és ez alapján számítják a földértéket és a földvédelmi járulékokat, bírságokat.

Új földminősítési és földértékelési módszer kidolgozására számos kísérlet volt az 1950-es évektől kezdődően. DÉR (1957) és SIK (1958) a földminősítés korszerűsítését az 1:10 000 léptékű talajtérképekre alapozva képelték el. Az általuk fontosnak ítélt talajvizsgálati adatokból vezették le a talajminőségi számokat, amelyek a földértékelés alapjául szolgálhatnak.

MÁTÉ (1960) a nagyméretarányú üzemi genetikai talajtérképeken kijelölt talajegységek termékenységének jellemzésére a tíz legfontosabb gazdasági növény sokéves átlagos hozamaiból képzett értékszámokat használta, azok vetésterületük szerinti súlyozásával állította elő a termékenységi mutatószámokat. A feldolgozott termésadatok nem a talajrendszertani egységekre lettek meghatározva, így a talajminőség csak megközelítően lett kifejezve, ill. a talajtermékenységi mutatószámok csak magasabb taxonómiai egységekre vonatkoztak. Azonban a kutatás eredményei egy új kiindulási alapot szolgáltatottak a későbbi földminősítési munkáknak. Rámutatott többek között, hogy a talaj effektív termékenysége nem változatlan tulajdonság, hanem a termelés színvonalától nagymértékben függ, ezért a talajbonitáció kialakításának közgazdasági megfontolásokon is nyugodnia kell.

SALLAK (1962) szerint a földminősítés csak a genetikai talajvizsgálatra és osztályozásra épülhet. Az effektív termékenységgel való jellemzés szubjektív és időleges, a termesztéstechnológiától és termesztett növény ökológiai igényétől függ. Ezért a talajok potenciális termékenységük alapján való csoportosítását tartotta célszerűnek. FEKETE (1965) szintén az 1:10000 genetikai talajtérképekre támaszkodva gondolta megalkotni az új földminősítési és földértékelési módszert. Az egyes talajvizsgálati paraméterek termékenységre gyakorolt hatásának mérlegelésével alakított ki pontértékeket, mint a földminőség és -értékelés alapparaméterét.

Kormányhatározat előírásai alapján a hetvenes években kezdődtek meg egy új, az aranykoronát felváltó értékelési rendszer kialakításának munkálatai. Ezen kutatások eredményeként létrehoztak egy gyakorlati alkalmazásra alkalmas 100 pontos talajminősítési rendszert (közvetlen félkvantitatív) (FÓRIZSNÉ et al., 1972). Ebben a rendszerben a termékenységet kifejező mutatószámok megállapítása a nagyméretarányú üzemi genetikai talajtérképezés során a talajtípus, altípus, illetve bizonyos talajparaméterek alapján elkülönített változatokra történt. A genetikai talajosztályozáson alapuló földminősítést az indokolta, hogy az



osztályozás egy-egy kategóriájában az egymással összefüggő talajtulajdonságok rendszere jut kifejezésre, és a talajtermékenység maga is olyan tulajdonságok eredője, amelyek egymással kölcsönhatásban állnak. Az ország legtermékenyebb altípusainak termékenységéhez a 100 értékszámot, a leggyengébb termékenységűekhez az 1 értékszámot rendelték. Szakértői becsléssel határozták meg a genetikai altípusok talajpont-értékének felső és alsó határát, míg a változati tulajdonságok levont pontok alapján módosították a pontértéket. Az altípus pontértékének felső határát a legtermékenyebb változat adja, vagyis minden ettől eltérő változat ennél kevésbé termékeny és így kisebb a pontszáma. A típusok és altípusok lehetséges pontszámai bizonyos átfedéssel követik egymást, ami a genetikai osztályozás természetéből következik. A kapott talajérték mind a talajok vízgazdálkodását, mind a tápanyag-gazdálkodását magában foglalja, részben közvetlen, részben közvetett és komplex értékelés útján. A genetikai talaj-felvételezési módszert azonban a régi kataszteri földértékelési rendszer elemeire (becslőjárások, mintateretek, művelési ágak, minőségi osztályok) alkalmazták (MÁTÉ és TÓTH, 2003). E mintateres genetikai földminősítési munka 1985-ben fejeződött be.

Az 1986-ban indult talajterképes genetikai földminősítési rendszer már független volt a becslőjárásoktól és a mintaterektől (DÖMSÖDI, 2007; BACSA, 1989). Egységes metodikával készült, 1:10000 méretarányú országos talajterképezésen és egy szintén 100 pontos termőhelyi értékszám-skálán alapult. A talajterképek nem községhatárosan, hanem szelvényhatáros rendszerben az Egységes Országos Térképrendszer alapján készültek, és változat szintjén határozták le a talajfoltokat. A talajszelvényeket 10-12 hektáronként helyszíni bejárás alapján jelölték ki. A lényeges talajtulajdonságokat helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokkal határozták meg. A talajértékszámokat (1-100 pont) a helyi éghajlati, domborzati, hidrológiai viszonyok szerint parametrizálták (termőhelyi értékszám) (MÉM-FTH-FFF, 1986). A munka finanszírozási okok, ill. a rendszerváltással bekövetkező tulajdonreform bizonytalanságai miatt nem fejeződött be, és újból életbe lépett a máig is használt aranykorona. A 100 pontos termőhelyi értékszámok ökonómiai és agronómiai nem értékelik a földet, a várható terméshozamokkal, a termesztett növények igényeivel nincs kapcsolatuk (SZABÓNÉ, 1999). A módszer megalkotóinak azonban ez nem is volt célja, inkább egy tudományosan megalapozott talajtani becslést akartak létrehozni, amelyet a speciális igények szerint pontosítani lehet. A 100 pontos értékszámok speciálisabb talajigényű kultúrákban, bizonyos művelési ágakban, pl. erdészet, gyümölcsös, szőlő, nem használhatók. Későbbi kutatások rávilágítottak, hogy a legtöbb esetben az egyes növények termésátlagaival közvetlen kapcsolata gyenge (ÁNGYÁN és MENYHÉRT, 1988).

A hazai hagyományos talajminősítési koncepció tehát talajegységenként viszonylagos mértékkel méri a talajminőséget. Egy lehetséges legjobb termőképességű talaj altípushoz

viszonyítja a többi altípus termékenységet, ill. változati szinten pontlevonásokkal juttatja érvényre az altípuson belüli varianciát, ill. az esetleges kedvezőtlen talajtulajdonságokat.

2001-ben 9 intézményt összefogó kutatási és fejlesztési konzorcium keretében új földminősítési munka kezdődött el (GAÁL et al., 2003; 2005). A módszer az országos földhasználati, növénytermesztési és talajtani adatbázisokon (Agrokémiai Információs és Irányítási Rendszer [AIIR], Országos Műtrágyázási Tartamkísérleti Hálózat adatai), valamint az agrár-mintaterületekről rendelkezésre álló talajtani és növénytermesztési információk statisztikai értékelésén nyugszik, ami a korábbi becslési eljárásokkal szemben nagyobb pontosságot biztosít. A kutatások során a hozamokat kialakító klimatikus és trágyázási hatások figyelembevételével keresték az összefüggést a talajtulajdonságok és a termés hozamok között. Bebizonyosodott, hogy a termékenység mértékét a talajok altípusa alapján érdemes vizsgálni, a produktív potenciált pedig a vízgazdálkodás alakításában döntő szerepet játszó változati talajjellemzők és a tápanyag-ellátottságot tükröző talajvizsgálati eredmények alapján írható le a legpontosabban. Az ún. D-e-Meter értékelési rendszerhez az üzemi genetikus talajtérképek alapján elkülönített hasonló tulajdonságkombinációval rendelkező talajfoltok csoportjaira az AIIR adatbázis adatai alapján átlagos terméshozamokat állapítottak meg (MAKÓ et al., 2007). Az átlaghozamokat 100 pontos skálára vetítve határozták meg a kiinduló pontértékeket, amelyeknek korrekciója után kapták meg a földminőség értékszámot. A vízgazdálkodási kategória figyelembevételével a termesztett növényenként, évjáratonként (kedvező, kedvezőtlen, átlagos), meteorológiai körzetenként, valamint lejtőkategóriánként meghatározták a szignifikánsan eltérő termékenységi csoportokat (MAKÓ et al., 2003). Az egyes csoportoknál a 0-100 pont tartományra „átskálázott” termésadatok átlagértékei adták az úgynevezett „köztes minőségjelző” mutatószám értékeit. A „köztes minőségjelző” a talajváltozati tulajdonságoknak megfelelően tovább faktorozták a tápanyagmodellel, a domborzati viszonyok, valamint az elővetemény szerint (DEBRECZENINÉ et al., 2003). A D-e-Meter talajminőségi pontérték számítása később erdő- és gyepterületekre is kiterjedt (TÓTH et al., 2006). A módszer a 100 pontos talajértékszámhoz és az aranykoronához hasonlóan a talajtípusokat skálázza le, de azt már sokkal több adat felhasználásával, statisztikai értékelésével támasztja alá. A rendszer országos alkalmazásának viszont jelentős jogi és infrastrukturális feltételei vannak. A legfontosabb a legalább 1:10 000 méretarányú genetikus talajtérképek digitális rögzítése és reambulanciája, valamint a hiányzó területek talajinformációs lefedettségének biztosítása.

KOCSIS és mtsai (2008) egy Csongrád megyei mintaterületen összehasonlították az Aranykorona, a 100 pontos és az új D-e-Meter földminősítési rendszert. Tapasztalataik szerint a földminősítési mutatók kevés átfedést mutatnak a genetikus talajtérképpel. Kevés a hasonlóság a 100 pontos és a D-e-Meter földminősítési térképek között is. A különbségek a mérőszámok

eltérő módszertanából adódnak. Véleményük szerint az egyes módszerek jóságát a mintaterület tábláinak sokéves termésátlagaival összevetve lehetne értékelni. Felvetik azt a kérdést, hogy mennyiben megbízható a D-e-Meter rendszer a mintaterület változati kategóriáira, ill. rendelkezik-e a háttéradatbázisa (AIIR) kellő számú információval az egyes növények és talajváltozatok esetében.

Kifejezetten a talajtani paraméterekből felépülő termőhelyi értékszámot dolgozott ki ÁNGYÁN és mtsai (ÁNGYÁN et al., 1982; 1985; ÁNGYÁN és MENYHÉRT, 1997) különböző gazdaságok példáján. Az elemzésük a hatást kiváltó okváltozókból, környezeti (korlátozó) tényezőkből és a hatás indikátoraiként használt növényfajonkénti termésátlagokból, mint okozati változókból indul ki. A vizsgálatot elvégezték a klimatikus és a talajtani tényezőkre is. A talajtani tényezőket kölcsönös összefüggéseik alapján főkomponens analízis segítségével csoportosították, ill. azokat a kapott 1-nél nagyobb sajátértékű főkomponensekkel jellemezték. A vizsgálatához a következő talajtani indikátorokat használták: fizikai talajféleség, genetikai főtípus, lejtésirány, Arany-féle kötöttség, pH, humusztartalom, humuszos réteg vastagsága, mésztartalom, felvehető  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Mg, Zn, Cu,  $SO_4$  tartalom, összes só, kapilláris vízemelés, hidrolitos aciditás, leiszapolható rész. A talajtani tényezők főkomponens mátrixa és a növényfajonkénti termésátlagok mátrixa alapján korrelációs számítással határozták meg, hogy a különböző tényezőcsoportok (főkomponensek) milyen mértékben és irányban befolyásolják a növényfajok termésátlagát. A kapott korrelációs koefficiensek értékeivel súlyozva a főkomponens értékeket összegezték, amelynek eredményeképpen növényfajonként egy talajalkalmassági értékszámhoz jutottak. Az értékszámokból megállapítható a táblák rangsora egy adott növény termesztetősége szempontjából, ill. a növényfajok termesztetőségi rangsora egy adott táblán. Ezen paraméteres talajalkalmassági értékszámok kapcsolata a termésátlagokkal szorosabbnak bizonyult ( $r = 0,4-0,9$ ), mint a 100 pontos talajértékszám és az aranykorona érték esetében. Megállapították, hogy míg a növénytermesztési talajalkalmassági értékszám és a termés kapcsolata az esetek 72%-ában volt szignifikáns, addig ez a gyakoriság az aranykorona esetében 31%, a 100 pontos talajértékszám esetében pedig 17% volt.

Egyszerű talajtani paraméterekre épülő módszerekre vagy talajminőség indexek kialakítására további hazai példát nem találtam.

### **2.3.3. A földhasználat stratégiai és helyi szintű értékelése, tervezése**

A tájhoz illeszkedő funkció, ágazati rendszer, gazdálkodási szerkezet és méret, növényfaj- és fajtaszerkezet, intenzitási fok és agrotechnika kialakítása érdekében az 1990-es évek végén elkészült Magyarország földhasználati zónarendszere (ÁNGYÁN et al., 1998). A munka

módszertanát tekintve nagy előrelépést jelentett az információk térinformatikai integrálásában. 9 talajalkalmassági, 6 klímaalkalmassági és 13 környezetérzékenységi paraméter értékelésével és térinformatikai integrálásával kialakították Magyarország komplex agráralkalmassági-környezetérzékenységi térképét. A környezeti változókat kategorizálták, és minden egyes változót és kategóriát súlyoztak aszerint, hogy milyen szerepet játszik az agráralkalmasság ill. a környezeti érzékenység kialakításában. Az ország területét 100x100 méteres cellaméretű (felbontású) rácshálózattal felosztották, majd minden egyes ha-ra meghatározták a környezeti jellemzők értékeit. A 15 mezőgazdasági alkalmassági, valamint a 13 környezetérzékenységi értékszámot cellánként összegezték, majd ezeket az értékeket térképen ábrázolták. Ezzel az ország területének minden egyes hektárját elhelyezték egy 0-99 közötti mezőgazdasági alkalmassági és egy 0-99 közötti környezetérzékenységi értékskálán. A cellánkénti mezőgazdasági alkalmassági értékszámokból kivonták a környezetérzékenységi értékszámokat, majd a különbséghez hozzáadtak 100-at. Így egy 0-198 közötti értékskálát kaptak, amelynek két végpontján az egyértelműen agrár, vagy környezeti területek, a skála közepe körül pedig a kettős meghatározottságú (környezeti szempontok által korlátozott extenzív agrárterületek) helyezkednek el. Az eredmények alapján földhasználati forgatókönyveket, és a legracionálisabb forgatókönyv alapján művelési ág változtatási javaslatot dolgoztak ki. A földhasználat három típusát különítették el: védelmi célú, extenzív termelési célú és intenzív termelési célú. Az így létrehozott országos zónarendszer fontos kiindulópontot jelentett a Nemzeti Agrár-környezetvédelmi Program célprogramjai számára (ÁNGYÁN et al., 1999). TAR (2005) Magyarország általános földhasználati zónarendszeréből kiindulva a mezőgazdasági területek termelési alkalmasságának agroökológiai alapú növényfajonkénti elemzését végezte el a kukorica, őszi búza, napraforgó, őszi árpa, lucerna és repce példáján.

Az országos földhasználati zónarendszer az agráralkalmasságot és a környezetérzékenységet egydimenziós skála mentén értékelte, azonban más földhasználati cél, mint például az erdőgazdálkodás megjelenése szükségessé tette e módszer módosítását. Az Állami Erdészeti Szolgálat megbízásából kidolgozták a „kiváló termőhelyi adottságú szántóterületek”, az „erdőtelepítésre, fásításra alkalmas területek” és az „országos erdőgazdálkodási térségek” lehatárolásának módszertanát (PODMANICZKY és MAGYARI, 2006). A projektben az egyes környezeti tényezőket egymástól függetlenül elemezték, és elvégezték ennek megfelelően az ökotípusos földhasználati lehatárolást az Országos Területrendezési Terv számára. A szántóföldi alkalmasság vizsgálatának alapját a felhasznált talajtani és klimatikus környezeti tényezők értékelési célok (őszi búza, kukorica, napraforgó, lucerna, cukorrépa termesztési alkalmassága) szerinti súlyozása adta. Az egyes tényezők kategóriáinak kombinációjával 315 területváltozatot (ökotípus) kaptak, amelyeket az egyes növények termesztési alkalmassága alapján rangsoroltak.

Kiváló termőhelyi adottságú szántóként azt az ökotípust jelölték ki, amely legalább három növény szempontjából a rangsor élén helyezkedett el. Az erdőtelepítési alkalmasság meghatározásához két fő szempontot vettek figyelembe: a vizsgált terület gazdasági alkalmasságát, és az erdő iránti környezeti igényt. Az ezeket befolyásoló tényezőket pontozták. A tényezők pontszámait térképi adatbázis segítségével összegezték. Az így kapott intervallumot három részre osztották: erdőtelepítésre feltételesen alkalmas, erdőtelepítésre alkalmas és erdőtelepítésre kiválóan alkalmas kategóriákra. Az ország szintetizált környezeti érzékenységet a földhasználati zónarendszer módszeréhez hasonlóan három tényező pontozásos értékelésével és összegzésével állították elő (élővilág érzékenysége, talajérzékenység, vízbázisok érzékenysége). A szántóföldi és erdészeti alkalmasság, valamint a környezetérzékenység térbeli adatbázisának újrapontozásával (0-3 pont) és kombinálásával 10 „ökotípust” hoztak létre.

A stratégiai szintű földhasználati tervezés és területrendezés után a következő lépés a módszertan az országgal konzisztens regionális, megyei és kistérségi szintű lépcsőinek kidolgozása volt, amely nagyobb térbeli felbontású adatbázisok építését és tematikus adatbővítést igényelt. Az ökotípusos földhasználati vizsgálatok megtörténtek a megyei szintű területrendezési tervek számára is (SZABÓ et al., 2007). Az országos földhasználati zónarendszer regionális és lokális léptékű adaptálására is vannak példák (GRÓNÁS és FOGARASSY, 2000; LÖRINCI és BALÁZS, 2001; TAMÁS, 2006).

A földhasználat racionalizálását segítő döntéstámogató rendszerek tekintetében Magyarország annyiban kapcsolódik a nemzetközi tendenciákhoz, hogy egyre általánosabbá válik a térinformatikai módszerek alkalmazása. A modern, többtényezős értékelésekre, pl. a fuzzy modellezésre hazánkban egyelőre még nem sok példát találunk. HONFI (2006) a földhasználat optimalizálására olyan modellt dolgozott ki, amely egy terület értékeléséhez figyelembe veszi a terület lejtésszögét, amely befolyásolja a használat jellegét, ráfordítás igényét, valamint a terület aranykorona értékét, mely a termőföld minőségét értékeli. Az alkalmasságot nem merev kategóriaértékekkel határozta meg, hanem fuzzy halmazok tagsági függvényeiként. Ezáltal nemcsak a kiválasztott növénytermesztési ágazatra való alkalmasság, hanem az alternatív használat lehetősége is vizsgálható. A vizsgálatot egy Somogy megyei mikrotérségben végezte el, az eredményeket pedig a termelési színvonal figyelembevételével 790 hektár nagyságú területen ellenőrizte. Az ehhez szükséges információkat a táblatorzskönyvekből szerezte.

A földhasználat tervezésében az országos zónarendszerben is alkalmazott 1:100000 méretarányú AGROTOPO térképsorozat használata nyilvánvalóan már nem releváns kistáji, kistérségi és települési szinten. Felismerve a talajtani információigényeket, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetében megkezdődött a 1:25000 méretarányú Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti Térképek digitalizálása és reambulálása (SZABÓ et al., 2005). A megyei szintű

területrendezési tervek számára az ökotípusos földhasználati vizsgálatok talajtani háttérét a Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszer adta. A Géczy-féle talajismereti és talajhasznosítási térképek térinformatikai feldolgozása több agrár-felsőoktatási intézményben is megkezdődött, de éppen emiatt ennek egyelőre nincs egységes módszertana, és a végtermékként kialakuló regionális adatbázisok harmonizálása sem történt még meg (SZABÓ et al., 2007).

A hazai térképezési munkák közül üzemi szinten az 1980-as években készült 1:10000-es méretarányú üzemi genetikus talajtérképek és kartogramjaik, ill. helyszíni és laboratóriumi jegyzőkönyvei szolgáltatják a legpontosabb információt a földhasználat számára (SZABÓ et al., 2002). A térképek azonban nem készültek el az ország teljes területére. Digitalizálásuk kutatási célból néhány mintaterületi projekt keretében már elkezdődött.

Több szerző 1:10000 méretarányú genetikus talajtérképeken alapuló talajinformációs rendszer kidolgozásával képzelte el az üzemi szintű földhasználati döntéstámogató rendszert, amelyben a térképi állományhoz hozzárendelhetők a táblatörzskönyvi adatok (helyrajzi szám, parcella területe, termesztett növény, termésátlag, tápanyag-gazdálkodás adatai) is (SZABÓ et al., 2002; DORKA, 2003; TAKÁCS et al., 2004). SZABÓ és mtsai (2002) megfogalmazása szerint az üzemi szintű tervezés és precíziós gazdálkodás 1:10000 – 1:1000 méretarányú térbeli támogatást kíván, amely a település, ill. a mezőgazdasági üzem területére korlátozódik. A kataszteri egységek lehetnek azok a térbeli alapegységek, amelyekre a földhasználati ajánlások vonatkoznak, a mezőgazdasági táblák pedig azok, amelyekre az agrotechnika elemeire vonatkozó konkrét ajánlások megfogalmazhatók. A helyi szintű vizsgálatok tehát nagy felbontású térbeli talajtani adatbázist igényelnének, amelynek hiányában nehezen várható el a talaj-terméshozam kapcsolatrendszer mélyebb megismerése.

## 2.4. A talaj és a termés kapcsolatát magyarázó empirikus modellek

Egy növényállomány reakciója a limitáló faktorokra empirikusan számos függvénnyel leírható, az egyik leggyakoribb a negatív exponenciális függvény (BERZSENYI, 2013):

$$W = W_{max}(1 - e^{cR}),$$

ahol

$W_{max}$  az aszimptotikus termés, melyet nem korlátoz az R tényező szintje, c pedig egy konstans. A függvény meredeksége meghatározza a termés érzékenységet az R változó szintjeire:

$$\frac{dW}{dR} = c(W_{max} - W).$$

Két vagy több limitáló faktor (X, Y, Z) együttes hatása leírható szorzatos függvénnyel:

$$f(X, Y, Z) = (1 - b_1 e^{-k_1 X})(1 - b_2 e^{-k_2 Y})(1 - b_3 e^{-k_3 Z}).$$

Az egyenlet csak akkor működik jól, ha a koefficiensek módosítva vannak minden specifikus helyzetre. Az ilyen empirikus finomítás általános probléma a növény szimulációs modellekben.

Másik megközelítés a több limitáló faktor hatásának leírására Liebig törvénye alapján a következő:

$$W = W_{max} \min[f_1(X), f_2(Y), f_3(Z)],$$

ahol a minimum függvény jelzi a legjobban limitáló faktor kiválasztását. Ez a függvény ténylegesen kikerüli a faktorok interakcióját, a növény igényéhez képest minimumban lévő tényezőt emeli ki.

Ezek az összefüggések jelennek meg egyes matematikai talajminőség indexekben (multiplikatív indexek, Nemoro Index) is. A talajtermékenység egyszerű tulajdonságokból történő levezetése (paraméteres földminősítés) a termést talajtani indikátorokkal magyarázó empirikus modellek ismeretében lesz a legmegbízhatóbb.

Olyan változók, amelyeknek kiemelkedő hatása van a földhasználatra, a föld teljesítőképességére, önmagukban is alkalmazhatók a talajtermékenység becslésére. Példaként hozható RIQUIER (1974) talajmélység indexe:

$$SDI = 1 - e^{-xSD},$$

ahol SDI a talajmélység index,  $x$  a növény-specifikus koefficiens ( $\text{cm}^{-1}$ ), SD pedig a talaj mélysége (cm). A képlet pontosítható a növények minimális talajmélység-igényével. Például, ha az adott növénynek legalább 20 cm-es termőrétegre van szüksége, akkor a képlet a következőképpen módosul:

$$SDI = 1 - e^{-x(SD-20)}.$$

A növénytermesztésben általában a limitáló tényezőket egyenként vizsgálják, egyváltozós modellekre vezetnek vissza a hatásokat, különösen igaz ez a trágyázási hatások meghatározásánál. Csathó például az országos műtrágyázási tartamkísérletek adatbázisa alapján vizsgálta az őszi búza, kukorica és a lucerna terméshozamai és a talaj foszfor-, kálium- és szervesanyag-tartalmának kapcsolatát a módosított Mitcherlich függvény felhasználásával (CSATHÓ, 1997; 2002; 2003a; 2003b; 2003c; 2003d; 2003e; 2003f; 2005a; 2005b).

Azonban a talajtulajdonságok termésre gyakorolt hatásának meghatározása gyakran ennél sokkal összetettebb feladat, hiszen a termést a talajtulajdonságok komplex interakciója hozza létre a többi külső környezeti és agrotechnikai tényezővel együtt. Vagyis többváltozós vizsgálatok szükségesek, amelyekben a legfontosabb megoldandó probléma az egyes változók közötti bonyolult kapcsolatrendszer figyelembevétele, érvényre juttatása.

A hazai kvantitatív minősítés nem terjed ki empirikus összefüggések keresésére, mert a talaj mérhető tulajdonságai és a termékenység közötti összefüggések nagyon bonyolultak, használható képletet nehéz találni. A talajvizsgálatoknak inkább abban látja a szerepét, hogy pontosan leírjuk

az előforduló talajtípusokat, változatokat, ill. lehatároljuk a térben az egyes talajfoltokat. A külföldi irodalomban ezzel szemben gyakran találkozunk többváltozós empirikus modellekkel.

Az első megválaszolandó kérdés, hogy mely indikátorok alkalmasak a célra? Az indikátorok számának (dimenziószám) csökkentésére és a „fontos” változók azonosítására a főkomponens analízist (PCA) nem csak a talajminőség indexek kialakításához alkalmazzák. Gyakori, hogy regressziós modellekhez egymástól független, kevésbé korreláló és a teljes talajtani változékonyság nagy részét jellemező változók kiválasztásához is PCA-t használnak (SMITH et al., 1993; BRUBAKER et al., 1994; WANDER és BOLLERO, 1999; SCHIPPER és SPARLING, 2000; ANDREWS és CARROLL, 2001; DE ARAUJO et al., 2009). Többféle regressziós modell ismert a talaj-termés összefüggés vizsgálatára. A többváltozós lineáris regresszióanalízis *stepwise* módszerrel (*stepwise multivariate linear regression analysis*, SMLR) alkalmas a terméshozamot legjobban magyarázó paraméterek kiválasztására (ANDREWS és CARROL, 2001; DRUMMOND et al., 2003; REZAEI et al., 2006; DE ARAUJO et al., 2009). A módszer hiányossága egyrészt, hogy a kapcsolat nem feltétlenül írható le lineáris függvénnyel, másrészt pedig, hogy az erősen korreláló változók esetében multikollinearitási probléma lép fel, amely a regressziós modellt félrevezetheti.

A multikollinearitás kiküszöbölésére más szerzők (CORWIN et al., 2003; PING et al., 2004) a legkisebb négyzetek elvén alapuló lineáris regresszió módszerét (*partial least squares regression*, PLS) alkalmazzák. A modell a változók lineáris kombinációit állítja elő, amelynek loadingjainak determinációs együtthatói alkalmasak a terméshozamra legnagyobb hatással lévő indikátorok kiválasztására. A módszer hibája az eredeti változók használatához képest csökken ugyan, de emellett a robusztussága is csökken.

A másik módszer a multikollinearitás kivédésére a PCA-val kapott főkomponensekkel végzett lineáris regresszió (*principal component regression*, PCR) (MALLARINO et al., 1999; COX et al., 2003; SHUKLA et al., 2004b; AYOUBI et al., 2009). A főkomponenseket több szerző olyan komplex indikátorként definiálja, amelyek az egymással összefüggésben álló paraméterek által közösen magyarázott varianciát, az azok által közösen kifejezett talajképző folyamatokat írják le (SHUKLA et al., 2004a; GOVAERTS et al., 2006; YAO et al., 2013). A főkomponensek interpretálása a PCA komponens mátrixa alapján lehetséges (ortogonális Varimax rotálással), és bár nem képviselik a bemenő változók teljes varianciáját (adatvesztés), hatékony adatredukciót tesznek lehetővé. A különböző regressziós modellek alkalmazhatóságát az adatok mennyisége és eloszlása határozza meg.

A legrobusztusabb módszerek közé tartoznak a klasszifikációs és regressziós fák (*Classification And Regression Trees*, CARTs), amelyeket szintén gyakran alkalmaznak a talajtani paraméterek és a földhasználat terméshozamra gyakorolt hatásának vizsgálatában



(TITTONELL et al., 2008; ZHENG et al., 2009; AHMAN és BHATTI, 2015). Regressziós fákat Magyarországon is alkalmaznak pl. a talajok víztartó képességének becsléséhez egyszerű fizikai tulajdonságokból (TÓTH et al., 2014) vagy nagy felbontású digitális talajtérképezéshez (ILLÉS et al., 2011), de talaj-termés kapcsolatrendszer vizsgálatára nem találtam hazai példát.

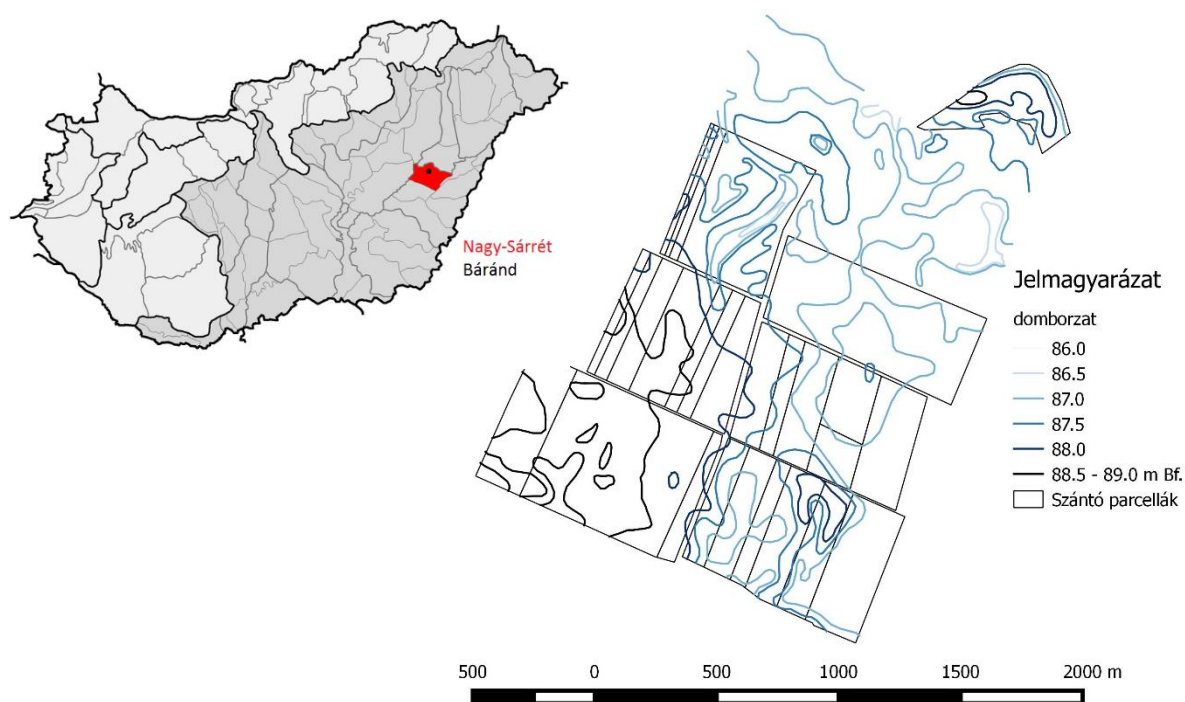
### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1. A mintaterület bemutatása és kiválasztásának szempontjai

A vizsgált mintegy 300 hektáros terület a Nagy-Sárréten található (MAROSI és SOMOGYI, 1990), Báránd község határában ( $21^{\circ}13' E$ ,  $47^{\circ}17' N$ ) (1. ábra). A kistáj egy alacsony fekvésű ármentes síkság, ahol a tengerszint feletti magasság 86-89,5 m között változik. A típusos felszíni formák folyóvízi eredetűek: folyóhátak, elhagyott medrek és morotvák teszik változatossá a domborzatot. A felszín nagy részét ártéri iszap és agyag borítja, amelyen a talajvíz mélységétől (0,5-4 m) és sótartalmától függően jellegzetes hidromorf talajsorok alakultak ki (réti csernozjom, csernozjom réti, réti, lápos réti, láp, szolonyeces réti, réti szolonyec).

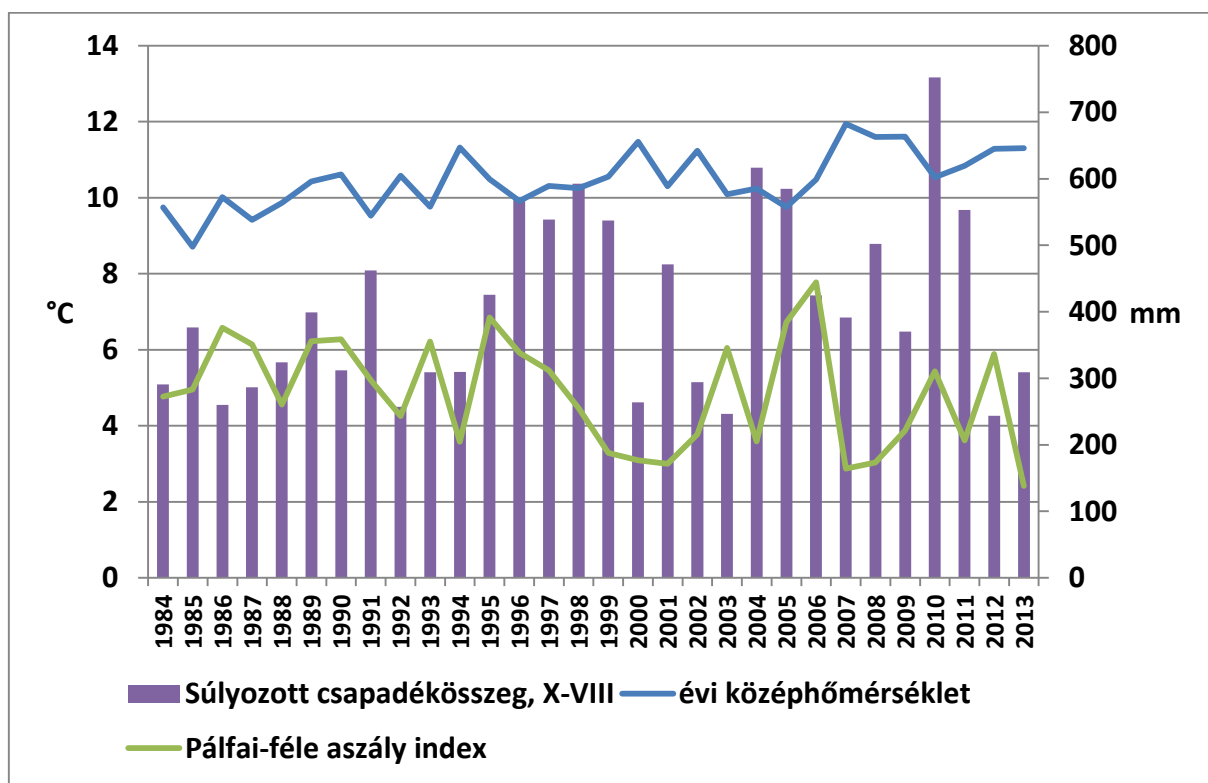
A mintaterület kiválasztásánál az volt a legfontosabb szempont, hogy a hidromorf talajsornak minél szélesebb spektruma reprezentálva legyen. A talajvíz mélysége a legcsapadékosabb évjáratokban 50-120 cm mélységben volt található, aszályos nyarakon a feltárás mélységéig 120-150 cm sehol sem található meg a talajvíz tükre. A talajvíz mélységét a terepi fúrások alkalmával becsültem meg.

Az ármentesítések és lecsapolások előtt a terület a 87,5 m alatti térszíneit állandóan, vagy időszakosan víz borította (MAROSI és SOMOGYI, 1990). A 19. században a szántók növelése érdekében történt lecsapolások következtében azonban a szikesedés egyre nagyobb teret nyert. Az egykor vízzel borított területeken ma többnyire réti és szolonyeces réti talajokat találunk. Egy részükön ma is szántóföldi művelés folyik.



1. ábra. A mintaterület földrajzi elhelyezkedése és domborzati viszonyai.

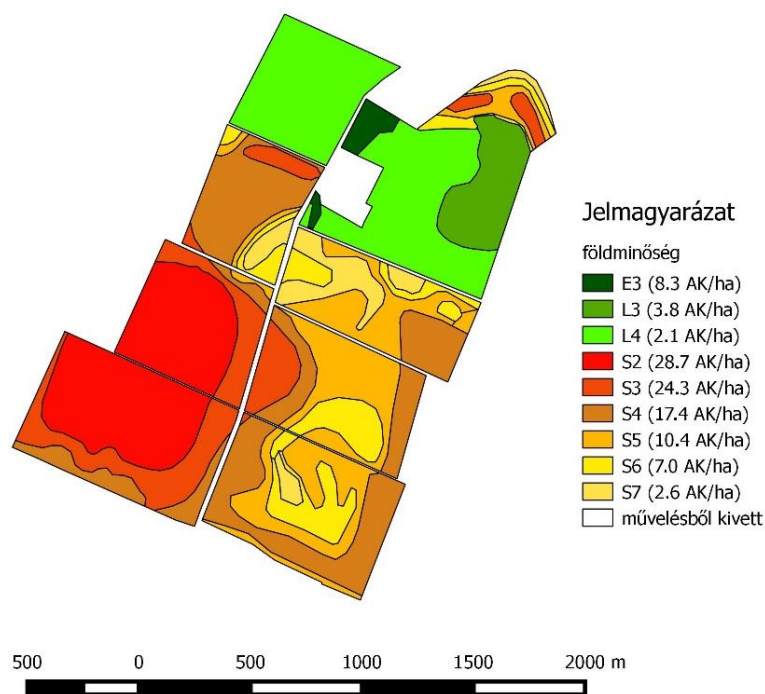
Méretéből adódóan a mintaterület klimatikusan homogénnek tekinthető. Nagy-Sárrét mérsékelt meleg és száraz éghajlatú kistáj (MAROSI és SOMOGYI, 1990), a Köppen-féle klímaosztályozás szerinti besorolása *Cfa* (FÁBIÁN és MATYASOVSKY, 2010). A vizsgált területhez legközelebbi szinoptikus állomás Debrecenben van (35 km-re), ahol az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) mérései szerint az évi középhőmérséklet az 1984-2013 időszakban átlagosan 10,5°C, ami kissé növekvő tendenciát mutat (2. ábra). A legközelebbi csapadékmérő állomás Sápon van, 9,7 km-re a mintaterlettől, ahol az utóbbi 30 év átlagos éves csapadékösszege 580 mm. A Pálfai-féle aszályindex (PÁLFAI, 2002) alapján a vizsgált 30 évből 15 száraz volt ( $PAI > 5,0$ ), ill. megállapítható, hogy a szélsőséges évjáratok gyakran egymást követik.



**2. ábra.** A fontosabb meteorológiai tényezők alakulása a mintaterületen az 2004-2013 időszakban Sáp és Debrecen mérőállomások adatai alapján (forrás: OMSZ, 2014)

A Földhivatal nyilvántartása szerint a kiválasztott terület 74.4%-a szántó (225 ha), 24.5%-a legelő (74 ha), erdő csupán kisebb foltokban jelenik meg (3,4 ha; 1,1%) (3. ábra). Az 1960-ban készült üzemi genetikus talajtérkép tanúsága szerint a legelő területek egykor kiterjedtebbek voltak. A jelenlegi legelőkkel szomszédos területek egy részének intenzív művelésbe vonása az akkori Új Élet Termelő Szövetkezet működése idején történt meg, amelyek azóta is szántó művelési ágban vannak. A legelőterületek valamint a vele szomszédos szántóföldi táblák

nitrátérzékenyek, ill. beletartoznak a Magas Természeti Értékű Területek zónájába (Bihari Sík). Jelenleg a szántóterületek a 2-7. földminőség osztályokba tartoznak, az átlagos aranykorona/ha értékük 17,5 (3. ábra). A leggyengébb, 7. szántóföldi minőségi osztályba a terület közel 20%-a esik.



**3. ábra.** A mintaterület művelési ág szerinti megoszlása és földminőség osztályai.  
E: erdő; L: legelő; S: szántó; számok: földminőség osztályok művelési áganként; zárójelben az osztályok átlagos aranykorona/ha értékei (forrás: Püspökladányi Járási Földhivatal, 2014).

A terület kiválasztásának másik fontos szempontja az volt, hogy termesztéstechnológiát és vetésforgót illetően minél egységesebb legyen. A gazdálkodási információkat és adatokat az érintett földhasználóktól kértem. Az aszály gyakorisága ellenére a termesztés többnyire öntözés nélkül folyik, holott a terület egy része be van rendezve öntözésre. É-ről a Hamvas-csatorna határolja, amelyből az öntözővíz nyerhető. A tápanyag-gazdálkodás általában extenzív, főként N-műtrágyázás (többnyire egyszeri fejtrágyázás) jellemző. Az utóbbi 10 évben jelentősebb mennyiségű szervestrágyát, talajjavító anyagot nem juttattak ki a gazdálkodók. A vizsgálatba vont parcellák kiválasztásánál azok mérete csak annyiban volt szempont, hogy több nagyságrendi különbség ne legyen köztük. A parcellák területe 1,04 és 31,90 hektár között alakult. A terület kiválasztása alapján feltételezhető, hogy a jellemző terméseredmények főként az évjárat és a talajtani adottságok függvényében alakulnak.

## 3.2. A talajtani adatbázis felépítése

### 3.2.1. Talajterképezés és mintavétel

Mivel a területről csak igen hiányosan állnak rendelkezésre talajtani adatok, szükségesnek láttam részletes talajfelvételezést végezni. A FÖMI-től kapott 1:10 000 mértarányú topográfiai térkép birtokában 2010-ben talajterképezést kezdtem a nagyméretarányú talajterképezési útmutató (MÉM-FTH-NTF, 1989) alapján.

Az első évben összesen 22 helyen végeztem feltárást 140-150 cm mélységig fúrással. A kizárólag fúrással történő feltárást az indokolta, hogy a területen érintett földhasználók többsége nem járult hozzá szelvénygödör ásásához. A fúrások azonban így is alkalmasak voltak a talaj altípusok meghatározására, ill. a genetikai szintek közelítő lehatárolására, morfológiai jellemzésére. A laboratóriumi vizsgálatokhoz a fúrásokból egységesen 20 cm-ként vettem mintát a későbbi számítások, statisztikai vizsgálatok standardizálhatósága végett. Az altípusok és tulajdonságok minél pontosabb lehatárolása érdekében a következő 3 évben további pontokon végeztem kisebb mélységben terepi vizsgálatokat, indokolt esetben néhány helyről újabb mintát vittem a laborba. A fúrások és mintavételi helyek az Eredmények fejezetben a leíró kartogramokon követhetők nyomon.

A genetikus talajterképen altípus szintjén határoltam le a talajfoltokat. Szerkesztettem a területről pH-mész, szikesedési, humusz és textúra kartogramokat is. A genetikus térkép és a leíró kartogramok alapján 33 homogén talajfoltot határoltam le. A homogén talajfoltokat a rájuk eső szelvénnel, több szelvény esetében a szelvények átlagával jellemeztem. A homogén talajfoltokra referenciaként kiszámítottam a 100 pontos talajértékszámokat domborzati és klimatikus módosítások nélkül (MÉM-FTH-FFF, 1986). A térképszerkesztéshez *Q-GIS* 2.8. szoftvert használtam (<http://www.qgis.org/hu/site/>). A vektoros állományú homogén talajfoltokat tartalmazó adatbázist minden talajvizsgálati, számítási, statisztikai eredménnyel feltöltöttem. A feltöltött adatokból raszteres rétegeket (GRID) hoztam létre, amelyekből később a parcellákra vetített talajtani indikátorokat is levezettem.

Tápanyagvizsgálatok céljából gazdálkodási területegységekről, parcellákról 20-20 részmintából álló átlagmintát gyűjtöttem a felső 20-30 cm-es rétegből (Pürkhauer-féle szűrőbottal). A parcellánkénti átlagmintavételt a tápanyagok nagyfokú talajbeli heterogenitása indokolta, valamint az, hogy a tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok erősen függenek a földhasználat módjától.

### 3.2.2. A vizsgálatba vont talajtani indikátorok kiválasztásának szempontjai

A talaj agroökológiai minősítéséhez a szükséges talajtani indikátorok kiválasztásának szempontjai a következők voltak:

- olyan egyszerűen mérhető, viszonylag kevésbé dinamikus változó fizikai és kémiai indikátorok legyenek, amelyek vizsgálatára van magyar szabvány, és a nemzeti szaktanácsadási rendszerbe illeszthető;
- tükrözzék a mintaterület talajképződési és degradációs folyamatait, a termesztés talajtani, vagy azzal összefüggésben lévő kockázatait;
- tegyék lehetővé a talajfoltok változati szinten történő lehatárolását;
- a változók között minőségi jellemző nem lehet, csak mennyiségi (folytonos) változókat alkalmaztam.

A vizsgálatához a talajnak agroökológiai szempontból releváns három funkcióját választottam ki (KARLEN et al., 1997; HERRICK, 2000; DE LA ROSA, 2005; MUELLER et al., 2010):

1. gyökerezés fizikai feltételei, termőréteg vastagság, vízgazdálkodási tulajdonságok;
2. gyökerezést és a vízfelvételt befolyásoló alapvető kémiai tulajdonságok;
3. tápanyag-kapacitás és a tápanyagok felvehetőségét befolyásoló tulajdonságok.

A fizikai és kémiai alapparaméterek (1. és 2. csoport) meghatározzák az egyes növények termesztését, a termesztés talajtani kockázatait (degradációs folyamatok), a termésbiztonságot, hatással vannak a tápelem- és vízfelvételre. A 3. csoportba olyan tulajdonságok tartoznak, amelyek kedvezőtlen értékeik esetén nem feltétlenül zárják ki a növénytermesztést, inkább annak ráfordításigényét jelzik. Az ezeket leíró indikátorok között van átfedés, hiszen egyes talajtulajdonságoknak több funkcióban is szerepe is van.

#### 1. Fizikai indikátorok kiválasztása

A talaj fizikai tulajdonságai agronómiai szempontból a víz- és levegőgazdálkodási kondíciók és a művelésfizikai paraméterek miatt fontosak (VERMES, 1997; VÁRALLYAY, 2004; SISÁK et al., 2009). A művelésfizikai szempontokat az ökológiai talajminősítésben külön nem kívántam szerepeltetni, hiszen a talaj kötöttségéhez az agrotechnika tud alkalmazkodni, ill. azok a vízgazdálkodási tulajdonságokkal is összefüggnek. A mintaterület hidrológiai viszonyai és az utóbbi évtizedek igen szélsőséges időjárása miatt ennek ismerete elengedhetetlen, az évjárat hatása ugyanis a talaj víz- és levegőgazdálkodásán keresztül érvényesül a terméshozamban.

Az értékeléshez egyszerűbben mérhető, állandó fizikai tulajdonságokat. Az egyes szemcsefrakciók mennyiségéből, a textúrából a talajok vízgazdálkodási tulajdonságai jól becsülhetők (VÁRALLYAY et al., 1980; RAJKAI et al., 1981; RAJKAI et al., 1994; MAKÓ et al.,

2011). A textúrát az esetleg eltérő agyag/iszap arány miatt a leiszapolható rész ( $<0,02$  mm) és az agyagtartalom ( $<0,002$  mm) alapján határoztam meg (FILEP és FERENCZ, 2001). Az Arany-féle kötöttségi szám ( $K_A$ ) értéke a mintaterületen gyakori szolonyeces talajok esetében korlátozottan alkalmas a textúra jellemzésére (VÁRALLYAY, 1988), ezt a paramétert csak a talajok tápanyag-gazdálkodási tulajdonságainak értékeléséhez használtam fel (BUZÁS et al., 1979; CSATHÓ et al., 2002).

## 2. Kémiai indikátorok kiválasztása

A talaj pH-ja és mésztartalma a legalapvetőbb kémiai tulajdonságok, amelyek meghatározzák a talaj bázistelítettségét, tápanyag-dinamikáját, biológiai aktivitását, szerkezetét, ezáltal a talaj termékenységét (FÜLEKY, 1999a; CSATHÓ, 2001a; CSATHÓ, 2001b; DEBRECZENINÉ és NÉMETH, 2009).

A mintaterületen az egyik legfontosabb talajképző folyamat a szolonyecesedés a szoloncsákosodás. Ennek indikátoraként egyrészt az ecetsavas ammónium-laktátban (AL) oldható Na-tartalmat választottam. Az AL-kivonószert a tápanyag-vizsgálatokban is alkalmazzák (BUZÁS et al., 1979), amelynek  $\text{NH}_4^+$  ionja lecseréli a kolloidok felületén adszorbeált  $\text{Na}^+$  ionokat, így azzal a vízben oldható + kicserélhető Na mennyisége fejezhető ki. A szoloncsákosodást az összes vízdoldható sótartalommal jellemeztem. A szikes sók közül a szóda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a legkritikusabb a növénytermesztés számára, ennek jelenlétére a desztillált vizes szuszpenzióban mért pH értékből lehet következtetni, ill. az AL- $\text{Na}^+$ -mal dinamikus egyensúlyt tart (FILEP és WAFI, 1991). Így a szikesedés minőségi jellemzéséhez e két paramétert elegendőnek ítéltam.

## 3. Tápanyag-gazdálkodási indikátorok kiválasztása

A talaj tápanyag-szolgáltató képessége nagyon sok fizikai és kémiai tulajdonság függvénye, ezért a potenciálisan és valóban felvehető tápelem-koncentráció meghatározásának van gyakorlati jelentősége (FÜLEKY, 1999a). A vizsgálat során a növények számára legnagyobb mennyiségben szükséges makroelemekre (N, P és K) koncentráltam, bár mikroelemek is limitálhatják a termést. A gazdálkodókkal folytatott konzultáció során nem derült ki, hogy előfordult-e a területen jelentős mikroelemhiány az utóbbi években.

A hazai trágyázási szaktanácsadás a talajok nitrogénszolgáltató képességét a humusztartalomról becsüli (BUZÁS et al., 1979; CSATHÓ et al., 2002). Mivel a humusztartalom kapcsolata a termésmennyiséggel nem közvetlen, és az ásványi N mennyisége igen gyorsan változik a talajban, ezért célszerűnek láttam HARGITAI (1970) által javasolt ún. könnyen

hidrolizáló szerves N-t is vizsgálni. A talaj foszfor- és káliumszolgáltató képességének jellemzésére a hazai szaktanácsadási rendszerben (BUZÁS et al., 1979; CSATHÓ et al., 2002) használt ecetsavas ammónium-laktát kivonószert (EGNÉR et al., 1960) alkalmaztam, amely nemcsak a közvetlenül felvehető, hanem a talaj tartaléktápanyagát is jellemzi.

### 3.2.3. Laboratóriumi talajvizsgálati módszerek

A szükséges talajvizsgálatokat a Budapesti Corvinus Egyetem Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszékének laboratóriumában végeztem el. A mintákat előbb kiszárítottam, eltávolítottam belőlük a nagyobb növényi/állati maradványokat, ledaráltam, majd 2 mm lyukátmérőjű szitán átszitáltam.

Az *agyag és a leiszapolható frakció* ( $<0,002$  mm és  $<0,02$  mm) meghatározását ülepitéses módszerrel határoztam meg (VÁRALLYAY, 1988) a magyar szabvány szerinti (MSZ-08-0205-1978) Na-pirofoszfátos előkészítéssel. A talajmintákból 20 g-ot mértem be, az előkészített mintát  $1\text{ dm}^3$  ülepitő hengerbe mostam, majd jelig töltöttem. Stoke törvénye alapján az egyes szemcseméretekhez a következő ülepedési hosszokat és hozzájuk tartozó ülepedési időket számítottam ki:  $<0,02$  mm - 10 cm - 4'27" és  $<0,002$  mm - 4 cm - 3h 2'. A kiszámított idő letelte után a meghatározott mélységből  $10\text{ cm}^3$ -s pipettával vettem mintát előzőleg lemért főzőpoharakba. A főzőpoharak bepárlási maradékából számítottam az adott szemcsefrakció mennyiségét.

Az *Arany-féle kötöttségi szám* ( $K_A$ ) meghatározásához az átlagmintákból 100 g-ot mértem be, majd bürettából desztillált vizet adagoltam hozzá a képlékenység felső határának eléréséig (fonál-próba) (VÁRALLYAY, 1988).

A talaj *kémhatását* (pH- $\text{H}_2\text{O}$ ; pH-KCl) 1:2,5 arányú talaj-desztillált víz és 1:2,5 arányú talaj-nKCl szuszpenzióban határoztam meg 1 napi állás után potenciometriásan (MSZ-08-0206-2:1978; BUZÁS et al., 1988).

A *szénsavas mésztartalom* ( $\text{CaCO}_3$ ) volumetrikus meghatározásához a Scheibler-féle calcimétert használtam, amellyel a 10%-os sósav hatására 2 g bemért talajból adott hőmérsékleten és légnyomáson fejlődő  $\text{CO}_2$  térfogatát mértem (MSZ-08-0206-2:1978; BUZÁS et al., 1988). A fejlődő gáz térfogatából számítottam ki a talaj összes karbonáttartalmát, amely közel egyenlő a  $\text{CaCO}_3$  tartalommal.

A *vízoldható sótartalom* meghatározásához 1:5 arányú talaj-desztillált vizes szuszpenziót készítettem, amelyből 1 óra rázatás és szűrés után fajlagos vezetőképességet (EC) mértem (LUKÁCS és RÉDLYNÉ, 1988; MSZ-08-0206-2-1978). A vezetőképesség egyenesen arányos az oldat ionkoncentrációjával (és függ a hőmérséklettől). A minták vizes kivonatának



vezetőképességét 0,01 M koncentrációjú KCl oldat és desztillált víz vezetőképességéhez kalibráltam.

A *kicszerélhető + vízdoldható*  $\text{Na}^+$  (AL-Na) tartalmat a tápanyagvizsgálatoknál alkalmazott 1:20 talaj-0,1 M ammónium-laktát + 0,4 M ecetsav kivonatból (EGNÉR et al., 1960) határoztam meg lángfotométer segítségével, amelyet ismert  $\text{Na}^+$ -koncentrációjú standardsorhoz kalibráltam.

A talajminták *humusztartalmát* Tyurin módszerével (humusz) határoztam meg (HARGITAI, 1988; MSZ-08-0210-1977). 0,1-0,3 g talaj szerves anyagát krómsavas oxidációval,  $10 \text{ cm}^3$   $0,4 \text{ mol/dm}^3$   $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  hozzáadásával 5 perces forralással elroncsoltam. A változatlanul visszamaradt krómsavat 8-10 csepp tömény foszforsav ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) és 5 csepp kénsavas difenilamin indikátor mellett redukálószerrel (oxidimetria),  $0,2 \text{ mol/dm}^3$  koncentrációjú Mohr-sóval ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ) határoztam meg. A roncsoláshoz fogyott oxidálószerrel egyenértékű humusz mennyiségét számítottam ki.

Az átlagminták *felvehető foszfor- és káliumtartalmát* (AL- $\text{P}_2\text{O}_5$ , AL- $\text{K}_2\text{O}$ ) 1:20 arányú talaj-0,1 M ammónium-laktát + 0,4 M ecetsav kivonatból határoztam meg (EGNÉR et al., 1960; MSZ-20135-1999). A szűrlet káliumtartalmát lángfotométerrel mértem meg, amelyet ismert koncentrációjú standard sorhoz kalibráltam. Az eredményt  $\text{K}_2\text{O}$ -ban (mg/kg) fejeztem ki. A kivonatok foszfortartalmát a foszfátokkal színes komplexet képező reagens hozzáadásával spektrofotométerrel határoztam meg. A szűrlet  $10 \text{ cm}^3$ -jéhez  $15 \text{ cm}^3$   $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ -ot (komplex képző), majd  $2 \text{ cm}^3$  aszkorbinsavas  $\text{SnCl}_2$ -t (redukálószer) adtam, és 60 perc után 660 nm-en fotometrálтам, amelyet ismert koncentrációjú standard sorhoz kalibráltam. Az eredményt  $\text{P}_2\text{O}_5$ -ban (mg/kg) fejeztem ki.

Az ún. *könnyen hidrolizáló nitrogént* HARGITAI (1970) módszerével határoztam meg (Hargitai-N). A minta előkészítésének első lépéseként 20 g légszáraz talajhoz  $100 \text{ cm}^3$  0,5n  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -at adtam, majd egy éjszakán át állni hagytam. Másnap a szűrlet  $50 \text{ cm}^3$ -jéhez 0,5 g vas-cink por keveréket adtam és felforraltam. A kihűlt anyaghoz ezután  $5 \text{ cm}^3$  cc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -at adtam és homokfürdőn bepároltam a barna szín megjelenéséig. Kihűlés után  $4 \text{ cm}^3$  20%-os  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -t adtam hozzá és ismét homokfürdőn pároltam a zöld szín és a gázok megjelenéséig. A kihűlt anyagot ezután kis desztillált vízzel felhígítottam. Az előkészítés (oxidatív hidrolízis) során a mintában felszabaduló nitrogén mennyiségét NaOH hozzáadásával Parnass-Wagner vízgőzdesztilláló készülék segítségével választottam le, és  $10 \text{ cm}^3$  0,02n  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -ban fogtam fel. A nitrogén koncentrációját 0,02n NaOH-dal, titrálással határoztam meg.

A humusztartalmat és a tápanyagtartalmakat szerencsésebb lett volna egy meghatározott rétegveastagságú területegységre megadni, pl. t/ha-ban vagy kg/ha-ban, mert az a terméseredményekkel vélhetően szorosabb kapcsolatban van. Azonban ehhez nem volt lehetőségem meghatározni a talajrétegek térfogattömegét.

### 3.3. A terméseredmények megismerése, a várható termés és termésbiztonság jellemzése

A terméseredményeket az 2004-2013 időszakra vonatkozóan kértem el a földhasználóktól. Csak azoknak a növényfajoknak a termésadatait vontam be a vizsgálatba, amelyeket 3 évnél hosszabb ideig termesztettek a vizsgált területen, ill. legalább a táblák felén előfordultak. Az adatbázis összeállításában szempont volt az is, hogy a különböző évjáratok hasonló arányban legyenek reprezentálva. A terméshozamok csak a teljes parcellák területére álltak rendelkezésre, a parcellákon belül az eltérő talajfoltok hozamait nem volt lehetőségem vizsgálni.

A termékenység kifejezésére az átlagos agrotechnika mellett nyert terméseredmények átlagértékei alkalmasak (FÓRIZSNÉ et al., 1972). Mivel a vetésforgóban több növény is szerepel, azok összehasonlíthatósága (standardizálása) érdekében előbb növényenként relatív terméshozamokat számítottam a mintaterületen elérhető legnagyobb terméshozam alapján:

$$RY_p = \frac{Y_p}{Y_{max}},$$

ahol  $RY_p$ : a relatív terméshozam  $p$  parcellán (értéke 0 és 1 közé eső szám),  $Y_p$ : növény terméshozama  $p$  parcellán ( $t\ ha^{-1}$ ),  $Y_{max}$ : a teljes területen tapasztalt maximális terméshozama a növénynek ( $t\ ha^{-1}$ ).

A parcellák várható terméshozamait a 10 év relatív terméseredményeinek átlagaként ( $\overline{RY_p}$ ) számítottam. A termésbiztonságot az egyes parcellákra a relatív szórásokkal fejeztem ki:

$$CV(RY_p)[\%] = \frac{SD(RY_p)}{\overline{RY_p}} \cdot 100,$$

ahol  $CV(RY_p)$ : a relatív szórás (termésbiztonság) a  $p$  parcellán (%),  $SD(RY_p)$ : a relatív terméshozamok szórása a  $p$  parcellán (2004-2013),  $\overline{RY_p}$ : átlagos relatív termés a  $p$  parcellán (2004-2013). A relatív termésátlagok és szórások alapján a parcellákat produktivitási csoportokba soroltam.

A terméshozamokat nemcsak parcellánként, hanem az évjárat függvényében is értékeltem. Ehhez a vizsgált időszakot a Pálfa-féle aszály index (PÁLFAI, 2002) alapján két évjárat-típusba soroltam (nem aszályos:  $PAI < 5$ ; aszályos:  $PAI > 5$ ).

### 3.4. Matematikai és statisztikai módszerek

A földhasználat, a várható terméshozamok ill. termésbiztonság valamint a talajviszonyok közötti kapcsolatrendszer vizsgálatához a következő matematikai statisztikai módszereket alkalmaztam:

1. az egyszerű talajtani indikátorok, valamint a várható termés és termésbiztonság közötti lineáris kapcsolat meghatározása leíró statisztikai vizsgálattal és egy- és többváltozós lineáris regresszióanalízissel;
2. az indikátorok dimenzióredukciója főkomponens analízissel;
3. a kapott főkomponensek mint lineáris talajminőség indexek és a várható termés és termésbiztonság közötti lineáris kapcsolat meghatározása többváltozós regresszióanalízissel;
4. a lineáris vizsgálatok tapasztalatai alapján kiválasztott indikátorok nemlineáris transzformálása és nemlineáris talajalkalmassági indexek kialakítása;
5. a lineáris talajminőség és nemlineáris talajalkalmassági indexek összehasonlítása korreláció és diszkriminancia analízissel;
6. a legjobban interpretálható talajtani indexek alapján agroökológiai talajalkalmassági osztályok lehatárolása hierarchikus klaszteranalízissel.

*A terméshozamok és a talajtani indikátorok közötti lineáris statisztikai kapcsolat értékelése* segít a változók viselkedésének megértésében, és a terméshozamot potenciálisan befolyásoló indikátorok kiválasztásában. Ehhez a bemenő talajtani változókat a következő módon állítottam elő:

- A pH-H<sub>2</sub>O, a pH-KCl, a vízdoldható só, a CaCO<sub>3</sub>, az AL-Na, a leiszapolható rész és agyag szemcsefrakció valamint humusztartalom változóknak a homogén talajfoltok 0-100 cm-es rétegére vonatkozó átlagát számítottam, ahol a 20 cm-es felbontású mérések ebben azonos súllyal szerepelnek. Így kifejeződnek a mélyebb rétegekben mutató különbségek is.
- A változók homogén talajfoltokra vonatkozó átlagértékeiből térinformatikai program (*Q-GIS 2.8*) segítségével kiszámítottam a parcellákra vonatkozó talajtulajdonságokat.
- A vizsgálatba bevontam az eredetileg is a parcellákra meghatározott Hargitai-féle N, AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és AL-K<sub>2</sub>O értékeket is.

Az így kapott (parcellákra vonatkozó) egyszerű talajtani indikátoroknak először a produktivitási osztályok szerinti eloszlását vizsgáltam leíró statisztikai módszerrel. A talajtani indikátorok közötti kapcsolatot lineáris korrelációanalízissel (Pearson) vizsgáltam. Ezután az

indikátorokkal mint független változókkal, valamint az átlagos relatív termés és relatív szórás értékekkel mint függő változókkal egy- és többváltozós lineáris regresszióanalízist végeztem. A nem lineáris vizsgálat lehetőségeit előzetesen ellenőriztem, de mivel semmilyen indikáció nem mutatkozott rá, a lineáris módszer mellett maradtam. A változók normál eloszlását és a kiugró értékeket a csúcsossággal és ferdeséggel ellenőriztem (TABACHNICK és FIDELL, 2013). Az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  változó erős csúcsosságának csökkentésére logaritmus (ln) transzformációt végeztem.

Az indikátorok kombinációinak matematikai megfogalmazása ill. a dimenzióredukció érdekében az összes változó bevonásával *főkomponens analízist* (PCA) végeztem, amely a bemenő változók olyan lineáris kombinációit állítja elő, amelyek nem korrelálnak. A PCA-t Varimax forgatással végeztem, ugyanis az ortogonális forgatások szemléletesebbé teszik a változók szerepét a kapott főkomponensekben, közben megőrzik azok korrelátlanságát. A főkomponensek könnyebb interpretálhatósága érdekében a bemenő változókat a lineáris regresszióanalízisek tapasztalatai alapján standardizáltam: szélső értékeik alapján 0 és 1 közötti skálára vetítettem, ahol a 0 a mintaterületen előforduló legkedvezőtlenebb, az 1 érték pedig a legkedvezőbb értéket jelenti. Az így kapott főkomponens értékeket a komponens mátrix alapján lineáris talajminőség indexekként interpretáltam. A többváltozós kiugró értékek meghatározásához Mahalanobis távolságot számítottam (ROUSSEEUW és VAN ZOMEREN, 1990). A mintavétel (kiválasztott változók) megfelelőségét Kaiser-Meyer-Olkin- (KMO) és Bartlett-tesztet, a modell megbízhatóságát a Cronbach-alpha értékkel vizsgáltam.

A kapott *főkomponensekkel* mint független változókkal és az átlagos relatív termésekkel és relatív szórással mint függő változókkal *többváltozós lineáris regresszióanalízist* végeztem. A nem lineáris vizsgálat lehetőségeit itt is előzetesen ellenőriztem, de semmilyen indikáció nem mutatkozott rá. A főkomponensek közül csak az 1-nél nagyobb sajátértékűeket használtam (Kaiser szabály), ugyanis azon főkomponensek, amelyek sajátértéke  $<1$ , az összes változó varianciájából nagyon keveset magyaráznak, kevesebbet, mint egyetlen változó varianciája (KAISER, 1960).

A talajtani adottságok és a földhasználat viszonyát nem elegendő a talajtani indikátorok és a terméseredmények statisztikai elemzésével vizsgálni, hiszen annak eredménye nagyban függ az adatok eloszlásától, a mintaterület nagyságától, a termesztéstechnológia sajátosságaitól. Továbbá az indikátorok termésre gyakorolt korlátozó hatása általában nem írható le lineáris függvénnyel. Ezért a lineáris vizsgálatok tapasztalatai alapján kiválasztott indikátorokat főként a hazai irodalmi adatok felhasználásával *nemlineáris transzformációval* interpretáltam. A tápanyag-

gazdálkodási paraméterek értékeléséhez telítődési, a többi indikátor értékeléséhez másodfokú reciprokon függvényeket alkalmaztam, amelyeket *MS-Excel* és *CourveExpert Basic 1.4* szoftverek segítségével állítottam elő. Minden indikátor esetében a függvényeket úgy alakítottam ki, hogy az interpretált változók értékei ( $q$ ) egységesen a következőképpen fejezzék ki a szántóföldi növények igényéhez való viszonyukat: 0,8-1: nem korlátozó; 0,6-0,8: mérsékelten korlátozó; 0,4-0,6 közepesen korlátozó; 0,2-0,4; erősen korlátozó; 0-0,2: szántó művelésre nem alkalmas. Az így kapott  $q$  értékek a növénytermesztésre való alkalmasság viszonzyszámaként értelmezhetőek. A nemlineárisan interpretált változókból funkciójuk (és részben a köztük lévő korreláció) szerint 3 féle talajalkalmassági mutatót számoltam multiplikatív módon, amelyek a talaj kémiai ( $Q_{kém}$ ), fizikai ( $Q_{fiz}$ ) és termékenység ( $Q_{term}$ ) funkcióit ill. kondícióit fejezik ki.

*A lineáris talaminőség (PC) és nemlineáris talajalkalmassági indexek (Q) összehasonlító értékelését* a produktivitási osztályokat magyarázó erejük, a várható terméssel és termésbiztonsággal való korrelációjuk és az integrálhatóságuk vizsgálata alapján végeztem.

Ha a parcellák relatív termésátlagok és szórás alapján létrehozott produktivitási osztályait (alacsony mérési szintű függő változók) a talajtani indexekkel mint független változókkal akarjuk magyarázni, akkor egy robusztusabb statisztikai módszer, a diszkriminanciaanalízis lehet a megfelelő módszer. Az indexek normál eloszlását a csúcsosságuk és ferdeségük alapján ellenőriztem (TABACHNICK és FIDELL, 2013). A külön-külön a talajindexek és az összegzett indexek, valamint a relatív termésátlagok és szórás közötti kapcsolatot a Pearson-féle korrelációs együttható alapján vizsgáltam.

*Az agroökológiai talajalkalmassági osztályok létrehozásához* a produktivitási osztályokat és a várható termést és termésbiztonságot legjobban magyarázó talajindexek alapján a homogén talajfoltokat hierarchikus klaszteranalízissel csoportosítottam. A hierarchikus klaszteranalízist within-groups linkage összevonási módszerrel végeztem, amelyben két csoport távolsága egyenlő az elemeik páronkénti távolságainak átlagának és a két csoport elemszámának hányadosával. A távolságot két megfigyelés közötti euklideszi távolság négyzetével definiáltam.

A statisztikai vizsgálatokat *IBM SPSS Statistics 22* szoftver segítségével végeztem.

## 4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### 4.1. A terület talajviszonyainak jellemzése és homogén talajfoltok lehatárolása

A talajvíz mélységétől és sótartalmától függően a mintaterületen réti csernozjom, csernozjom réti, szolonyeces réti, réti és réti szolonyec talajok alakultak ki (4. ábra). A réti szolonyecек kivételével mindegyiken folyók szántóföldi növénytermesztés. Változati szinten 33 homogén talajfoltot határoltam le. A talajváltozatok jellemző szelvényeinek leírása és talajvizsgálati eredményei az 1. Mellékletben olvashatók.

A homogén talajfoltokra vonatkozó 100 pontos talajértékszámok kiszámításakor a leggyakoribb pontlevonások a talajvíz közelsége, a szikesedés mértéke és a fizikai talajfélség miatt történtek (2. Melléklet). Az értékszámok 8-100 pont között változnak a mintaterületen (5. ábra).

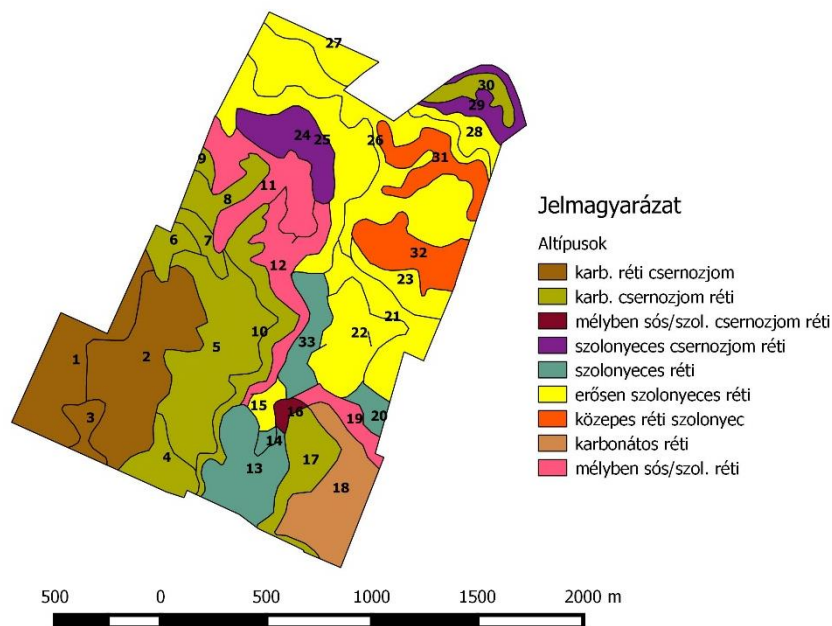
*Régi csernozjom* talajok a területen 88,5 m feletti, a legkevésbé belvízveszélyes, partosabb térszínen jellemzőek, és a *karbonátos* altípusba sorolhatók. Változati szinten *mély humuszos rétegűek*, talajértékszámuk 95-100 pont.

A *csernozjom réti* talajok a területen a 87,5-88,5 m térszínen találhatók. Legnagyobb részben a *karbonátos* altípusba és a *mély humuszos rétegű* változatba sorolhatók. Az altípus talajértékszáma 74-90 között alakul. A *mélyben sós/szolonyeces és szolonyeces altípusai* karbonátosak és *mély humuszos rétegűek*, talajértékszámuk 34-59 pont.

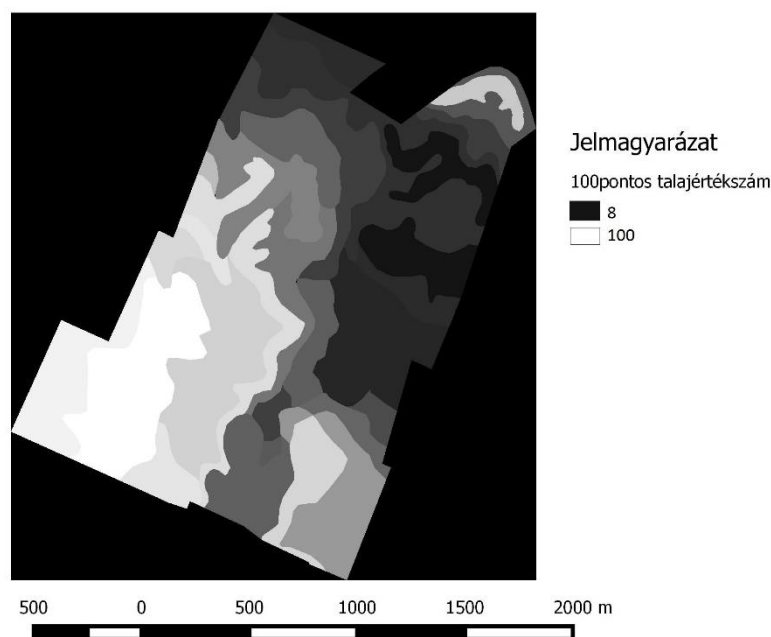
A *szolonyeces réti* talajok jellemzően a 86,5-87,5 m közötti térszínen találhatók. A *szolonyeces* altípusuk karbonátos, *mély humuszos rétegű* változatba sorolhatók. Mindenhol szántóföldi művelésben vannak, talajértékszámuk 30-38 pont. Az *erősen szolonyeces* altípusuk szántóföldi és legelő művelési ágban van. Talajértékszámuk 15-25 pont között változik.

A 87,5 m alatti térszínen *felszíntől karbonátos típusos réti* talajok alakultak ki, amelyek belvizes időszakok kivételével szántóföldi művelés alatt állnak. A *mélyben sós, mélyben szolonyeces réti* altípus általában csak mélyben karbonátosak, és a humuszos réteg vastagsága és humusztartalma nagyobb, mint a karbonátos altípusé. A karbonátos altípus talajértékszáma 60, a mélyben sós/szolonyeces altípusé pedig 40-51 pont.

A réti szolonyec talajok a 87-87,5 m térszínen jellemzőek. Az *erősen szoloncsákos közepes réti szolonyec*eken főként legelőket találunk, amelynek talajértékszáma 8.



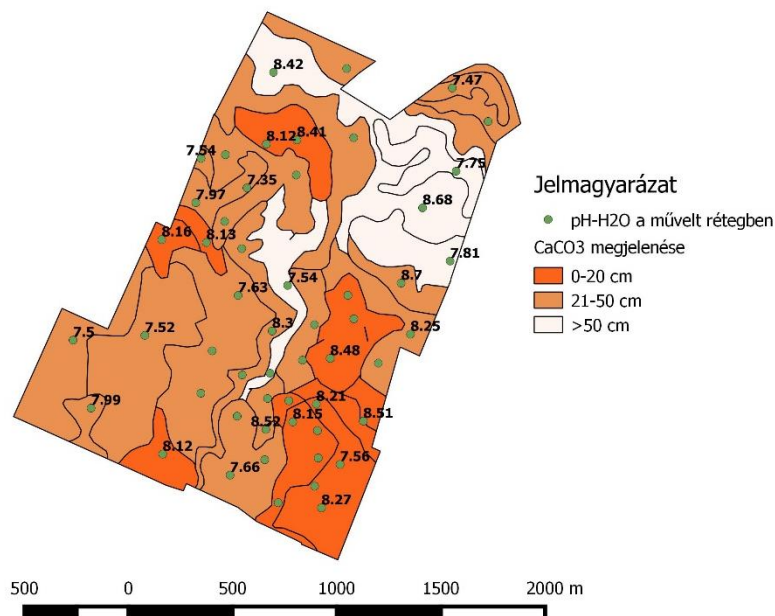
**4. ábra.** A mintaterület genetikus talajtérképe és a lehatárolt homogén talajfoltok (1-33)



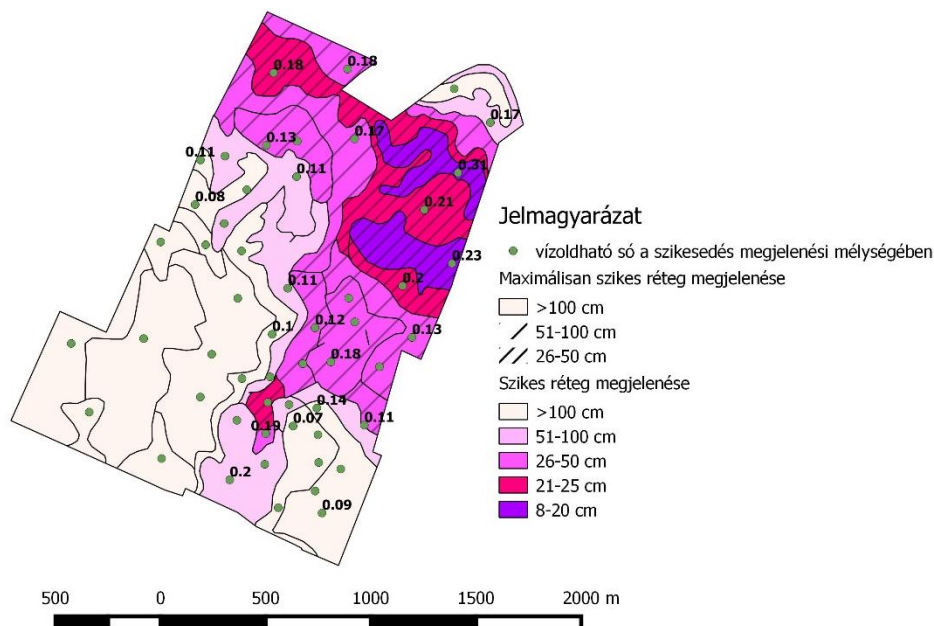
**5. ábra.** A homogén talajfoltok 100 pontos talajértékszámja a mintaterületen

A  $\text{CaCO}_3$  megjelenési mélysége 0-80 cm között változik területen, amelynek függvényében a művelt réteg kémhatása a semlegestől a gyengén lúgosig terjed (6. ábra). A szolonyecesedés és sófelhalmozódás igen széles spektruma megjelenik a területen (7. ábra). A két folyamat általában együtt jelenik meg, ha nem is pontosan ugyanabban a mélységben. A szikesedés megjelenési mélysége 10-150 cm között változik. A legszikesebb talajfoltokon főként legelőket találunk, szántóterületeken általában 20 cm alatt kezdődik a só- ill.  $\text{Na}^+$ -felhalmozódás. A szántott réteg általában nem szoloncsákos, de helyenként (erősen szolonyeces réti talajokban) a

felső 1 m-es rétegben erősen szoloncsákos szintek is megjelennek. A humuszos réteg vastagsága gyakran az 1 m-t is meghaladja, a legmélyebben fekvő karbonátos réti, ill. erősen szolonyeces réti és réti szolonyec talajok esetében azonban ez jóval kisebb, 35-60 cm is lehet (8. ábra). A mintaterületen vályog, agyagos vályog és agyag fizikai talajfőleség egyaránt jellemző (9. ábra). Kisebb foltban a felszínen homokos vályogot is találunk. A művelt réteg alatt többnyire növekszik az agyag és iszap frakciók aránya, különösen a réti szolonyec, szolonyeces réti és réti talaj típusok esetében.

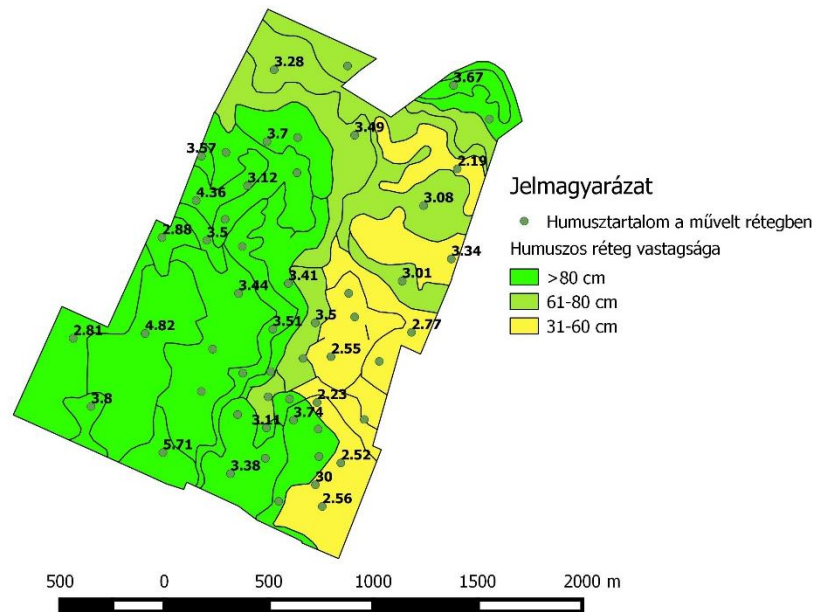


**6. ábra.** A mintaterület pH és mészkartogramja (pontok: a 140-150 cm mély feltárások és további felszín közeli vizsgálatok helyei)

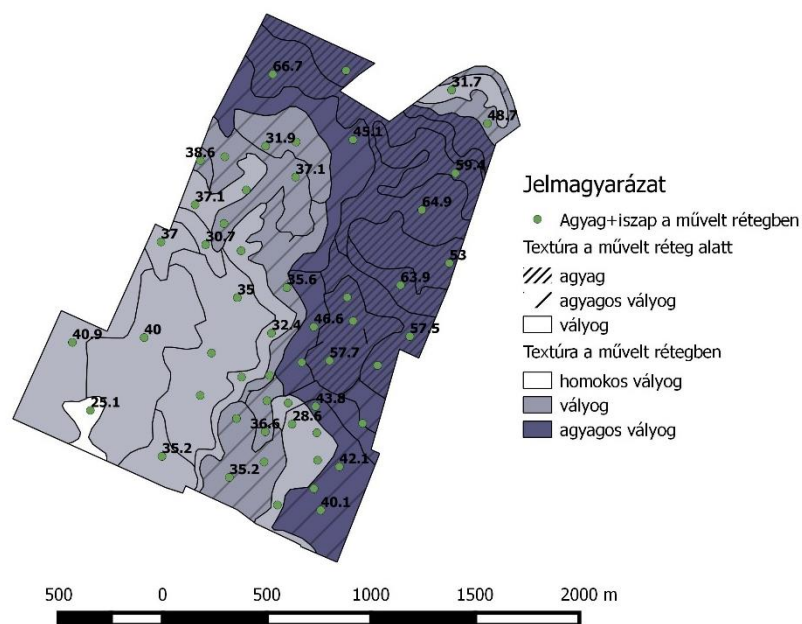


**7. ábra.** A mintaterület szikesedés kartogramja (pontok: a 140-150 cm mély feltárások és további felszín közeli vizsgálatok helyei)





**8. ábra.** A mintaterület humusz kartogramja (pontok: a 140-150 cm mély feltárások és további felszín közeli vizsgálatok helyei)



**9. ábra.** A mintaterület fizikai talajféleség kartogramja (pontok: a 140-150 cm mély feltárások és további felszín közeli vizsgálatok helyei).

A művelt réteg tápanyag-ellátottsági szintjét a MÉM-NAK műtrágyázási irányelvei (BUZÁS et al. 1979) alapján értékeltem. A réti csernozjom és csernozjom réti talajokra eső parcellákat az I. termőhelyi kategóriába, a réti és szolonyeces réti talajokat III., és az erősen szolonyeces réti és réti szolonyec talajokat pedig az V. termőhelyi kategóriába soroltam.

**1. táblázat.** A parcellák felvehető tápanyag-tartalma, humusztartalma és a tápanyag-felvételt befolyásoló fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságok

Parcella sz.	Termőhely kategória	CaCO <sub>3</sub> , 0-50 cm	K <sub>A</sub> , 0-50 cm	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 0-30 cm (mg/kg)	AL-K <sub>2</sub> O 0-30 cm (mg/kg)	Humusz-tartalom, 0-100 cm átl. (%)	Hargitai-N, 0-30 cm (mg/kg)
1	I.	>1	<42	78,84	249,42	2,90	67,79
2	I.	>1	<42	89,17	250,65	2,97	68,93
3	I.	>1	<42	83,96	230,78	2,44	64,92
4	I.	>1	<42	75,19	230,78	2,72	60,63
5	I.	>1	<42	92,15	230,78	2,74	53,40
6	I.	>1	<42	80,10	249,42	2,85	58,22
7	I.	>1	<42	72,26	230,78	2,96	67,06
8	I.	>1	<42	83,49	227,40	2,77	64,60
9	I.	>1	<42	91,44	212,54	2,43	67,86
10	I./III.	>1	<42	101,72	194,72	2,76	63,31
11	I./III.	>1	<42	94,29	194,72	2,55	56,34
12	I./III.	>1	<42	150,31	348,85	2,11	62,50
13	I.	>1	<42	75,79	212,54	2,73	57,95
14	III.	>1	<42	155,38	307,84	2,60	63,58
15	III.	>1	42-50	110,40	268,48	1,69	60,63
16	III./V.	>1	42-50	119,59	268,48	1,62	64,92
17	III./V.	>1	42-50	94,29	230,78	2,06	51,52
18	I./III.	>1	<42	213,21	328,14	2,95	62,77
19	I./III.	>1	<42	205,82	307,84	2,99	54,20
20	I./III.	>1	<42	349,25	307,84	3,01	56,88
21	I.	>1	<42	94,29	160,32	2,80	66,79
22	I./III.	>1	<42	211,00	348,85	2,88	57,95
23	III.	>1	<42	109,00	268,48	2,62	56,00
24	III.	>1	<42	107,00	213,00	2,55	57,00
25	III.	>1	42-50	119,00	254,61	1,67	62,00
26	III./V.	>1	42-50	112,00	268,48	1,57	62,00
27	III./V.	>1	42-50	155,38	307,84	2,27	63,00
28	I./V.	>1	<42	211,00	348,85	2,66	56,00

A terület *nitrogénszolgáltató képessége* a humusztartalom és textúra alapján legalább közepes, helyenként jó, igen jó (1. táblázat). A terület humusz kartogramjairól is jól látszik, hogy a felszínen gyakran 3% fölötti humusztartalom mérhető. A Hargitai-féle N-tartalom 51,1-68,9 mg/kg között alakult (1. táblázat). Az eredmények azonban egyáltalán nem korrelálnak a művelt rétegben tapasztalható humusztartalommal, ill. az abból következő MÉM-NAK irányelvek szerinti N-ellátottsági kategóriákkal.

A talajok AL-oldható P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tartalma 66,2-349,2 mg/kg között változik, átlagosan 117,7 mg/kg (1. táblázat). A terület *foszforszolgáltató képessége* a parcellákról származó átlagminták AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és mésztartalma alapján általában közepes, helyenként jó, de az I. termőhelyi kategóriákban előfordul, hogy gyenge. A foszfortartalomban mutatkozó különbségek lehetnek talajgenetikai eredetűek, de a szántóföldi művelés intenzitásának és múltjának is tulajdoníthatók. A belvizektől mentes, a lecsapolások előtt is szárazon lévő területeken sokkal régebben folyik szántóföldi művelés, ami a talajok tápanyag-tökéjét mindig jobban igénybe vette.

A talajok AL-oldható  $K_2O$  tartalma 160,3-348,8 mg/kg között alakul, átlagosan 255,2 mg/kg (1. táblázat). A terület káliumszolgáltató képessége a parcellákról származó átlagminták AL- $K_2O$  tartalma és Arany-féle kötöttségi száma alapján értékelve általában közepes vagy jó, gyenge ellátottsági szint nem jellemző. Feltételezhetően a kálium koncentrációjának alakulása is részben a gazdálkodással függ össze.

A talajfelvételezés alapján megállapítható, hogy a mintaterületen a szántóföldi művelést potenciálisan korlátozó legfontosabb tényezők a szolonycesedés, szoloncsákosodás, valamint a talaj textúrájából és a közeli talajvízből következő szélsőséges vízgazdálkodási tulajdonságok. A tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok közül a humusztartalom és a felvehető foszfortartalom esetében mutatkozik nagyobb heterogenitás a területen. A MÉM-NAK irányelvek szerint az ellátottsági szintek általában közepesek, helyenként gyengék vagy igen jók.

#### 4.2. A várható termés és a termésbiztonság a mintaterületen

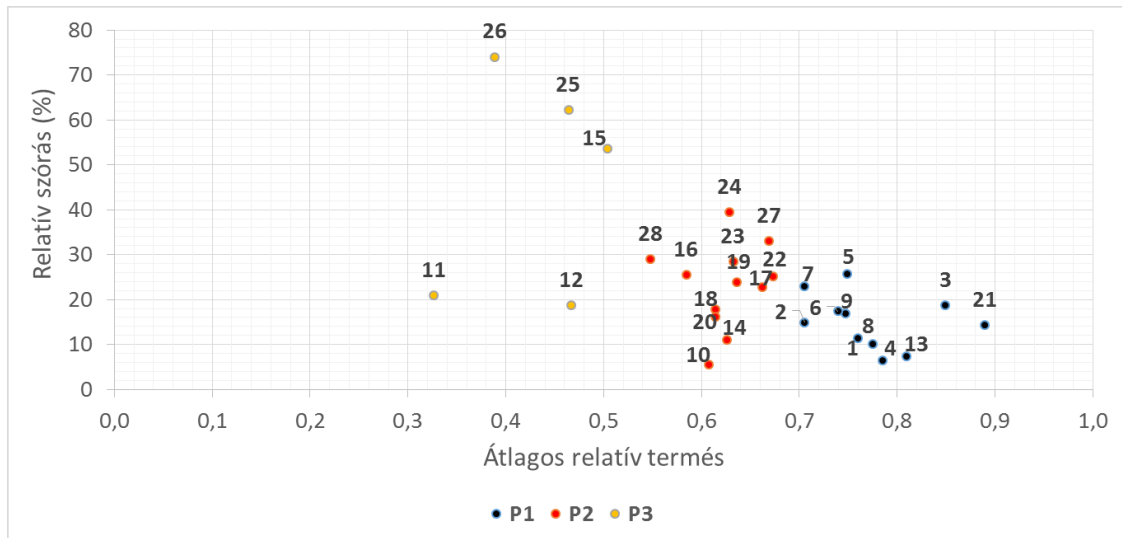
A vizsgált időszakban termesztett növények az őszi búza, kukorica, napraforgó, lucerna, olajtök voltak. A kabai cukorgyár bezárása előtt jelentős szerepe volt a vetésszerkezetben cukorrépának is. Az adatok közül az őszi búza, kukorica, napraforgó terméseredményei bizonyultak az egész területre nézve reprezentatívnak, így csak ezeket vontam be a vizsgálatba.

A területen a terméshozamok igen nagy változatosságot mutatnak. A kukorica teljes területre vonatkozó termésátlaga a vizsgált 10 évben 6,71 t/ha volt. Egyes parcellákon előfordult már 10 t/ha kukoricatermés is nem csak a csapadékosabb években (a 17. és a 21. számú parcellákon). Az őszi búza termésátlaga 4,63 t/ha, a legjobb termést, 7,1 t/ha-t 2004-ben takarították be a 3. számú parcelláról, de közel ennyi, 6,9 t/ha ugyanebben az évben az 5. parcellán is megtermett. A napraforgó terméshozama 1,4 és 4,5 t/ha között alakult, átlagosan 2,77 t/ha volt.

A relatív termésátlag ( $\overline{RY_p}$ ) és relatív szórás ( $CV(RY_p)$ ) értékeket közös koordinátarendszerben ábrázolva a parcellákat három jól elkülöníthető produktivitási csoportra lehet osztani. A 10. ábrán a jobb alsó sarokból a bal felső felé haladva egyre kisebb várható termésű és termésbiztoságú parcellák helyezkednek el. Az azonos termésátlagú, de különböző szórású parcellák közül a kisebb szórású, az azonos szórású, de különböző termésátlagú parcellák közül pedig a nagyobb átlagú tekinthető növénytermesztés szempontjából a kedvezőbbnek. A várható érték és variancia alapján történő lehatárolás (E,V efficiency) módszerével a következő három produktivitási osztályt lehet elkülöníteni:

- P1: nagy termésátlagok és termésbiztonság;  $\overline{RY_p}$  0,71 és 0,89 t/ha között, a  $CV(RY_p)$  6,43 és 25,71% között alakul;

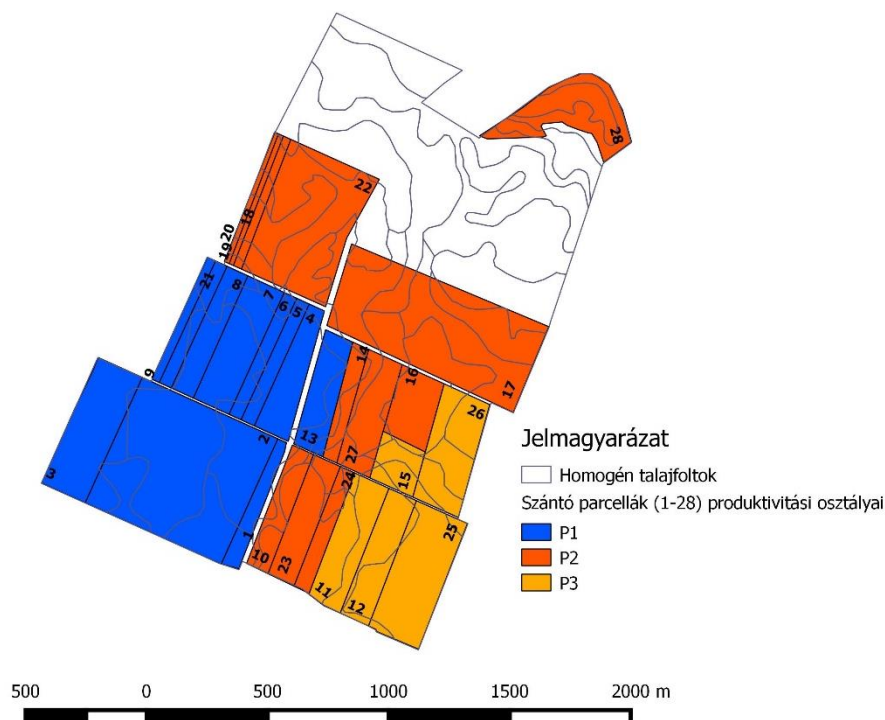
- P2: közepes termésátlagok és közepes terméshozam;  $\overline{RY_p}$  0,55 és 0,67 t/ha közötti, a  $CV(RY_p)$  5,48 és 39,45% között változik;
- P3: kis termésátlagok és kis terméshozam;  $\overline{RY_p}$  0,33 és 0,50 t/ha között, a  $CV(RY_p)$  18,70 és 74,07% között alakul.



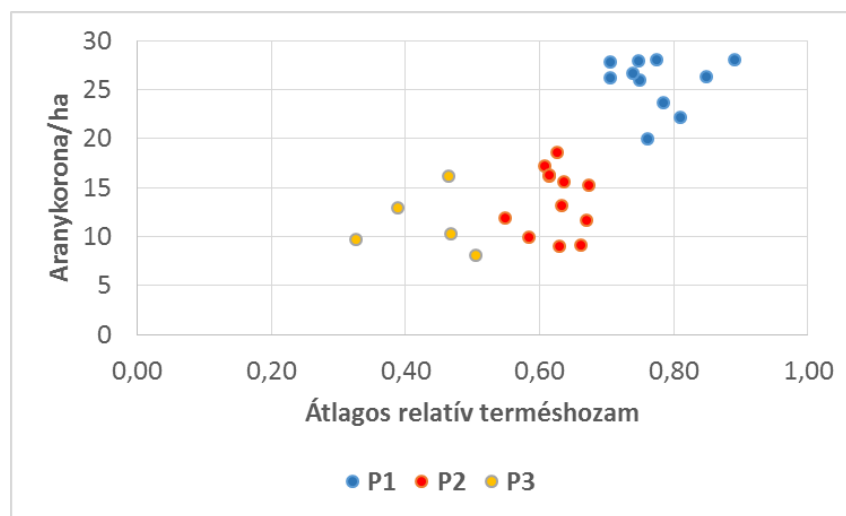
**10. ábra.** A parcellák átlagos relatív terméshozama és szórása, valamint a produktivitási osztályokba (P1, P2, P3) sorolása. 1-28: a parcellák sorszáma. Relatív termés referenciaértéke (maximális termés = 1): 10,0 t/ha kukorica szemtermés, 7,1 t/ha őszi búza szemtermés; 4,5 t/ha napraforgó kaszattermés

Térbeli elhelyezkedésüket tekintve a P1 osztályban lévő parcellák vannak a legmagasabb topográfiai helyzetben, lényegében lefedik a réti csernozjom és csernozjom réti talajokat (11. ábra). A P2 parcellák alacsonyabb topográfiai helyzetben találhatóak, ahol a terméshozam már csökken. Jellemzően a mélyben sós réti, csernozjom réti, szolonyeces és erősen szolonyeces réti talajok foltjait foglalják magukban. A P3 osztályba tartozó parcellák szintén a mélyebb térszínen jellemzőek, de főként a típusos réti, kisebb részben csernozjom réti és szolonyeces réti talajú területeken találhatók.

A P1 osztályba tartozó parcellák  $A_k$ /ha értéke 20 fölött van, átlagosan 25,75 (12. ábra). A P2 osztályban az  $A_k$ /ha értékek 9,06 és 18,57 között változnak, átlagos értékük 13,68. A P3 osztály átlagos  $A_k$ /ha értéke 11,47, ami nem jelentősen kisebb a P2-től, amelynek aranykorona értéke 8,12-16,21 között változik. Az aranykorona értékek és a termésátlagok között szoros lineáris kapcsolat van ( $R^2 = 0,561$ ;  $p < 0,001$ ;  $F = 33,183$ ), ami (a sokak által elavultnak tekintett) földértékelési rendszerünk érvényességét támasztja alá.



**11. ábra.** A produktivitási osztályok területi elhelyezkedése



**12. ábra.** Az átlagos relatív termés hozamok és az aranykorona/ha értékek közötti kapcsolat (P1, P2, P3: produktivitási osztályok)

A vizsgált időszakban 4 extrém csapadékos, belvizes év volt (2004, 2006, 2010, 2011), az aszályos évek száma 4, ebből a 2012-es és 2013-as évben a Pálfai-féle aszály index a 6,0 értéket is meghaladta. Az évek a PAI értékek alapján egy aszályos ( $PAI > 5,0$ ) és egy csapadékosabb ( $PAI < 5,0$ ) évjárat-típusba sorolható (2. táblázat).

Az évjáratok szerint vizsgálva a három produktivitási osztályt, a P1 és P2 esetében a száraz és csapadékos évjáratok átlagos relatív termés hozamai és szórása között nincs jelentős különbség (13. ábra). Egyes parcellákon a szárazabb évjáratokban érték el a maximális termés hozamot. Az

a tény, hogy száraz éveknek nincs olyan nagy termés csökkentő hatása, azzal magyarázható, hogy ezeket az időszakokat egy vagy több csapadékos, vagy esetenként extrém csapadékos év előzte meg. A területen jellemző talajok vízkapacitása a textúrájukból következően elég nagy, amelyek a mélyebb rétegekben az előző évből is tárolnak felvehető nedvességet.

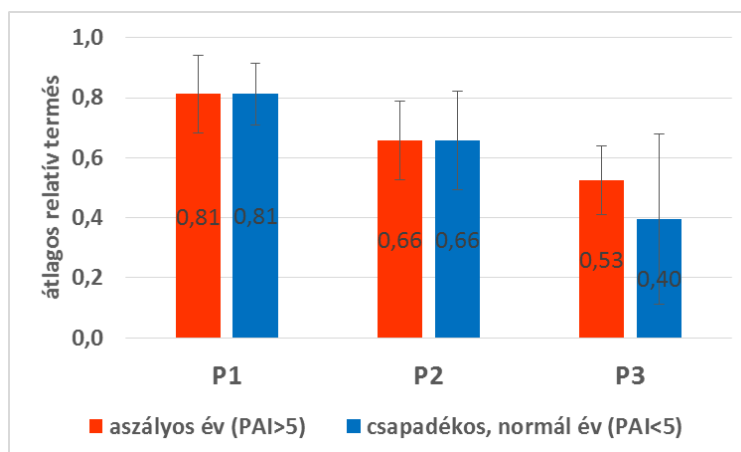
Az extrém csapadékos évek azonban bizonyos parcellákon 0 termést, vagy legalábbis a szokottnál kevesebb termést hoztak. A vizsgált 10 évben 3 olyan év is volt, amikor néhány területet belvíz borított (2006, 2010 és 2011), emiatt a csapadékos évjáratokban a terméshozamokban mutatkozó szórás sokkal nagyobb, mint az aszályos években. Az évjáratnak tehát bizonyos térszíneken igen jelentős hatása van, amit a talaj agroökológiai értékelésénél figyelembe kell venni.

**2. táblázat.** A Pálfi-féle aszály index (PAI) alakulása a 2004-2013 időszakban ( $T_{IV-VIII}$ : az áprilistól augusztusig terjedő időszak átlaghőmérséklete,  $P_{X-VIII}$ : az előző év októberétől a tárgyév augusztusáig terjedő időszak súlyozott csapadékösszege)

Év	$T_{IV-VIII}$ (°C)	$P_{X-VIII}$ (mm)	$PAI = \frac{T_{IV-VIII}}{P_{X-VIII}} \cdot 100$
2004	17,40	605,94	2,87
2005	17,52	578,06	3,03
2006	17,84	460,53	3,87
2007	19,66	361,63	<b>5,44</b>
2008	18,32	506,85	3,61
2009	19,24	326,87	<b>5,89</b>
2010	18,26	755,36	2,42
2011	18,56	552,99	3,36
2012	19,48	243,66	<b>7,99</b>
2013	18,84	309,19	<b>6,09</b>
Átlag	18,51	470,12	4,46

Csapadék és hőmérséklet adatok forrása: OMSZ, 2014

Félkövér kiemelés: aszályos évek,  $PAI > 5,0$



**13. ábra.** Az átlagos relatív termés és szórás alakulása az évjárok szerint az egyes produktivitási osztályokban (P1, P2, P3: produktivitási osztályok, PAI: Pálfi-féle aszály index)

### 4.3. A talaj-termés kapcsolatrendszer értékelése lineáris módszerekkel

#### 4.3.1. A talajtani indikátorok és a várható termés ill. termésbiztonság lineáris kapcsolata

Az egyszerű talajtani indikátorok alapján (3. táblázat) a P1 produktivitási osztály parcelláinak kémiai tulajdonságai a legkedvezőbbek, tekintve hogy a pH, összes vízdíszható só ill. az oldható és kicserélhető  $\text{Na}^+$ -tartalom értékek itt a legkisebbek. A mész megjelenési mélysége jellemzően 30-40 cm között változik. A P2 parcellák pH-ja, vízdíszható só- és kicserélhető  $\text{Na}^+$ -tartalma a legnagyobb, ami mellett a mésztartalom megjelenése hasonlóan alakul, mint a P1 osztályban. A talajok lúgosságát a P2 osztályban alapvetően a szikes sók okozzák, amelyek felhalmozódása ezen a köztes térszínen a legjellemzőbb. A P3 parcellák pH-ja hasonló, mint a P2 osztályé, azonban a lúgosságot nem a szikes sók, hanem elsősorban a szénsavas mésztartalom okozza, amely gyakran már a felszínen megjelenik.

A P1 parcellák a talaj fizikai tulajdonságait illetően is elkülönülnek, ezeken a legkisebb a leiszapolható rész és az agyag aránya a szemcseösszetételben. Jellemzően vályog textúrájúak a teljes vizsgált mélységben. A kiemeltebb topográfiai helyzet következtében a szélsőséges vízháztartási helyzetek (belvíz) kialakulása igen ritka. A P2 és P3 osztályokba tartozó parcellák a talajtextúrát tekintve nagyon hasonlóak. Általában vályog-agyagos vályog textúrájú művelt réteg alatt az agyagtartalom jelentősen megnövekszik. Lényeges különbség azonban, hogy a kötöttebb fizikai talajféleség mellé a P2 osztály esetében nagyobb kicserélhető  $\text{Na}^+$ -tartalom, míg a P3 esetében alacsony topográfiai helyzet társul.

A humsztartalom a P1 osztálytól a P3 felé csökkenő tendenciát mutat, a művelt réteg Hargitai-N tartalma azonban nem mutat jelentős különbséget. A felvehető foszfor és kálium értékek a legrégebben szántóföldi művelés alatt álló P1 parcellákon a legkisebbek, bár többnyire ezek is elérik a közepes ellátottsági szintet. A tápanyag-visszapótlásra vonatkozó információk szerint az utóbbi évtizedben jelentősebb PK trágyázás nem volt a területen. A foszfor- és káliumtartalmak a kisebb várható termésű és termésbiztonságú, de kevesebb ideje művelt P2 és P3 parcellákon a legnagyobbak. A többi fizikai és kémiai tulajdonsághoz képest a tápanyagtartalmak vélhetően nem jelentenek jelentős korlátozó tényezőt a termesztés számára. A tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok alakulásában nemcsak a talajképződési folyamatok, hanem a földhasználat hatása is megjelenik.

A 100 pontos talajértékszámok a P1 osztályban szignifikánsan magasabbak. A P2 és P3 osztályok közötti lényeges talajtani különbségeket önmagában ez a talajértékszám nem tudja kifejezni, és nem is ad magyarázatot a termésátlagokban és termésbiztonságban mutatkozó különbségekre sem. Az indikátorokat vizsgálva a növénytermesztés potenciálisan korlátozó

tényezők a szélsőséges vízháztartási helyzetek előfordulása, a szikes sók megjelenése, a lúgos kémhatás és a kisebb humusztartalom lehet.

**3. táblázat.** A 100 pontos talajértékszám, a tengerszint feletti magasság és a talajtani paraméterek átlaga ( $\pm$  szórás) a teljes vizsgált mélységre vonatkozóan az egyes produktivitási osztályokban

Talajtani indikátor	Vizsgált mélység (cm)	P1 (n=11)	P2 (n=12)	P3 (n=5)
pH-H <sub>2</sub> O	100	<b>8,11 <math>\pm</math> 0,06</b>	8,51 $\pm$ 0,34	8,54 $\pm$ 0,26
pH-KCl	100	<b>7,17 <math>\pm</math> 0,06</b>	7,48 $\pm$ 0,19	7,67 $\pm$ 0,15
só (%)	100	<b>0,06 <math>\pm</math> 0,00</b>	0,12 $\pm$ 0,05	0,09 $\pm$ 0,03
AL-Na (mg/kg)	100	<b>27,14 <math>\pm</math> 2,12</b>	109,64 $\pm$ 66,67	67,05 $\pm$ 53,17
CaCO <sub>3</sub> megjelenése (cm)	100	34,29 $\pm$ 6,00	36,39 $\pm$ 13,34	<b>5,27 <math>\pm</math> 6,47</b>
Leisz. rész (<0,02 mm) (%)	100	<b>36,24 <math>\pm</math> 3,71</b>	50,59 $\pm$ 9,67	50,73 $\pm$ 11,04
Agyag (<0,002 mm) (%)	100	<b>9,04 <math>\pm</math> 0,43</b>	19,48 $\pm$ 6,72	16,75 $\pm$ 5,61
AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	30	<b>83,34 <math>\pm</math> 7,58</b>	169,39 $\pm$ 73,66	117,20 $\pm$ 20,60
AL-K <sub>2</sub> O (mg/kg)	30	<b>225,95 <math>\pm</math> 25,45</b>	286,05 $\pm$ 51,26	267,03 $\pm$ 54,96
Hargitai-N (mg/kg)	30	63,47 $\pm$ 5,12	58,93 $\pm$ 4,38	60,69 $\pm$ 2,53
humusz (%)	100	2,76 $\pm$ 0,18	2,58 $\pm$ 0,42	<b>1,92 <math>\pm</math> 0,41</b>
Tengerszint feletti mag. (m)	-	<b>88,23 <math>\pm</math> 0,26</b>	87,38 $\pm$ 0,26	87,21 $\pm$ 0,21
100 pontos talajértékszám	-	<b>89,47 <math>\pm</math> 5,45</b>	50,95 $\pm$ 19,86	54,42 $\pm$ 17,81

Félkövér kiemelés: jelentős pozitív vagy negatív eltérések.

Az indikátorok korrelációs mátrixából jól látható (4. táblázat), hogy a kémiai tulajdonságok (pH, CaCO<sub>3</sub>, só, AL-Na<sup>+</sup>) egymással és a fizikai tulajdonságokkal (leiszapolható rész, agyag) is összefüggenek, ami a talajok gentikája alapján várható is. A területen a sófelhalmozódás és a szolonyecesezés folyamataival együtt jár az agyagfelhalmozódási szint, a finomabb textúra megjelenése is. Azokon a térszíneken, ahol a szikesedés kialakulhat, mindig több az agyag. De az is látszik, hogy a szikesedés és az alacsonyabb topográfiai helyzettel gyakran együtt jár a kisebb humuszfelhalmozódás. A desztillált vizes szuszpenzióban mért kémhatás a vízdoldható só és AL-Na<sup>+</sup> értékkel, a KCl-os szuszpenzióban mért pH pedig a CaCO<sub>3</sub> megjelenésével van szorosabb korrelációban. A felvehető foszfor- és káliumtartalmak csak egymással korrelálnak, a Hargitai-féle N pedig csak a tengerszint feletti magassággal mutat szignifikáns pozitív korrelációt.



**4. táblázat.** A talajtani indikátorok közötti Pearson-féle lineáris korrelációs együtthatók (a parcellákra számított, a teljes vizsgált mélységre vonatkozó átlagos értékek alapján)

	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	só	AL-Na	CaCO <sub>3</sub> mj.	Leisz. rész	Agyag	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AL-K <sub>2</sub> O	Hargit ai-N	Humusz	T.sz.f. mag.
pH H <sub>2</sub> O	1	,914**	,829**	,886**	-,443*	,905**	,929**	,012	,115	-,183	-,757**	-,790**
pH KCl	,914**	1	,655**	,681**	-,603**	,841**	,827**	,136	,276	-,212	-,832**	-,873**
só	,829**	,655**	1	,969**	-,083	,763**	,904**	,013	,054	-,363	-,431*	-,679**
AL-Na	,886**	,681**	,969**	1	-,179	,824**	,909**	-,016	,017	-,296	-,484**	-,676**
CaCO <sub>3</sub> mj.	-,443*	-,603**	-,083	-,179	1	-,442*	-,259	,220	,139	-,181	,720**	,350
Leisz. rész	,905**	,841**	,763**	,824**	-,442*	1	,921**	,193	,206	-,189	-,717**	-,706**
Agyag	,929**	,827**	,904**	,909**	-,259	,921**	1	,177	,242	-,312	-,620**	-,731**
AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	,012	,136	,013	-,016	,220	,193	,177	1	,716**	-,301	,188	-,264
AL-K <sub>2</sub> O	,115	,276	,054	,017	,139	,206	,242	,716**	1	-,185	-,039	-,339
Hargitai-N	-,183	-,212	-,363	-,296	-,181	-,189	-,312	-,301	-,185	1	-,017	,464*
Humusz	-,757**	-,832**	-,431*	-,484**	,720**	-,717**	-,620**	,188	-,039	-,017	1	,589**
T.sz.f.mag.	-,790**	-,873**	-,679**	-,676**	,350	-,706**	-,731**	-,264	-,339	,464*	,589**	1

\* szignifikáns  $p < 0.05$ ; \*\* szignifikáns  $p < 0.01$  szinten

A lineáris regresszióanalízist először több, egymással nem korreláló változók kombinációiban végeztem el, azonban a többváltozós vizsgálatok minden esetben sikertelenek voltak, ill. csak egy változó maradt benne a modellben. A külföldi irodalomban több működőképes példát találunk arra, hogy a különböző statisztikai és szakértői módszerekkel kiválasztott nem korreláló indikátorok bevonásával a többváltozós lineáris regresszióanalízis alkalmas a terméshozamokkal szignifikáns kapcsolatban lévő indikátorok kiválasztására (ANDREWS és CARROL, 2001; DRUMMOND et al., 2003; REZAEI et al., 2006; DE ARAUJO et al., 2009). Ez esetben azonban nem működnek az ilyen módszerek. A talajtulajdonságok bonyolult interakcióit egyszerű matematikai összefüggésekkel nehéz leírni, ezért nem minden esetben releváns arra törekedni, hogy empirikus kapcsolatot találjunk.

Az egyváltozós lineáris regresszióanalízisek az indikátorok közül a kémhatás, a CaCO<sub>3</sub> megjelenési mélysége, az agyag és a leiszapolható rész, a humusztartalom és topográfiai helyzet esetében eredményeztek szignifikáns modellt (5. táblázat). A magyarázott variancia a relatív átlagtermés esetében  $R^2 = 0,246-0,492$  között, a relatív szórás esetében  $R^2 = 0,225-0,504$  között változik. A 100 pontos talajértékszám önmagában szintén szignifikáns lineáris kapcsolatban van a termésmutatókkal.

**5. táblázat.** Az átlagos relatív terméssel és szórással szignifikáns kapcsolatban lévő talajtani indikátorok az egyváltozós lineáris regresszióanalízis eredménye alapján. A becslés paraméterei és a modell diagnosztika (a modell F-értékei, a paraméterek Student-féle t értékei és a magyarázott varianciát kifejező  $R^2$ )

Független változó	Függő változó	Standardizált paraméterek		t (df = 26)	F	$R^2$
pH-H <sub>2</sub> O	$\overline{RY_p}$	konstans pH-H <sub>2</sub> O	2,393 -0,496	3,992*** -2,912**	8,481***	0,246
pH-KCl	$\overline{RY_p}$	konstans pH-KCl	3,523 -0,389	6,147*** -5,018***	25,177***	0,492
CaCO <sub>3</sub> megjelenése	$\overline{RY_p}$	konstans CaCO <sub>3</sub>	0,505 0,541	10,364*** 3,280**	10,761**	0,293
Leisz. rész (<0,02 mm)	$\overline{RY_p}$	konstans Leisz. rész	0,932 -0,498	9,388*** -2,928**	8,575**	0,248
Agyag (<0,002 mm)	$\overline{RY_p}$	konstans Agyag	0,791 -0,490	14,492*** -2,869**	8,231**	0,240
Humusz	$\overline{RY_p}$	konstans Humusz	0,246 0,530	1,912+ 3,183**	10,134**	0,280
Tengerszint f. magasság	$\overline{RY_p}$	konstans Tszf magasság	-15,132 0,689	-4,653*** 4,853***	23,548***	0,475
100 pontos t.é.sz.	$\overline{RY_p}$	konstans 100 pontos	0,428 0,587	6,783*** 3,896**	13,663**	0,344
pH-H <sub>2</sub> O	$CV(RY_p)$	konstans pH-H <sub>2</sub> O	-193,525 0,512	-2,698* 3,036**	9,218**	0,262
pH-KCl	$CV(RY_p)$	konstans pH-KCl	-288,694 0,631	-3,383** 4,151***	17,233***	0,399
CaCO <sub>3</sub> megjelenése	$CV(RY_p)$	konstans CaCO <sub>3</sub>	40,495 -0,513	6,732*** -3,051**	9,307**	0,264
Leisz. rész (<0,02 mm)	$CV(RY_p)$	konstans Leisz. rész	-20,234 0,645	-1,913+ 4,299***	18,479***	0,415
Agyag (<0,002 mm)	$CV(RY_p)$	konstans Agyag	7,371 0,474	1,106 2,748*	7,552*	0,225
Humusz	$CV(RY_p)$	konstans Humusz	89,392 -0,710	6,936*** -5,144***	26,741***	0,504
Tengerszint f. magasság	$CV(RY_p)$	konstans Tszf magasság	1594,441 -0,567	3,568** -3,514**	12,348**	0,322
100 pontos t.é.sz.	$CV(RY_p)$	konstans 100 pontos	48,951 -0,549	6,209*** -3,345**	11,191**	0,301

+ szignifikáns  $p < 0,1$ ; \* szignifikáns  $p < 0,05$ ; \*\* szignifikáns  $p < 0,01$ ; \*\*\* szignifikáns  $p < 0,001$  szinten

A pH és az átlagos relatív termés közötti szignifikáns kapcsolatot alátámasztja az irodalom is, mely szerint az őszi búza, a kukorica és a napraforgó is rosszabbul tűri a lúgos kémhatást, mint a savanyút, a kukorica és a napraforgó pedig a mélyebb talajrétegek szódatartalmára is reagál (HERKE, 1959; GÉCZY, 1968; SZABOLCS, 1971; BÓCSA, 1979; SZENDRŐ, 1980; BOCZ, 1996; RAGASITS, 1998). A vizsgált területen a pH és terméshozam kapcsolatában úgy tűnik, inkább a mész okozta lúgosság fejeződik ki, és a vízdoldható sók és az AL-Na<sup>+</sup> tartalom nincs szignifikáns kapcsolatban a termés mutatókkal. Ez esetben önmagában a pH nem biztos, hogy a legjobb indikátora a talaj kémiai korlátozó hatásának. Ugyanakkor a genetikai talajtérkép és a leíró kartogramok alapján látható, hogy a szikesedés megjelelése fontos rendező tényező a művelési ágak alakulásában. Ha ehhez a tényezőhöz a földhasználat jól alkalmazkodik, akkor a

szántó művelési ágban a szikesedés indikátorai és a várható termés és termésbiztonság között nem lehet szignifikáns kapcsolatot találni.

A regresszióanalízis eredménye azt mutatja, hogy a mész felszínközeli megjelenése negatívan befolyásolja a várható termést. Ez a következtetés egészen biztosan nem állja meg a helyét, tekintve hogy nem ismert egyértelmű empirikus kapcsolat a mésztartalom és a terméshozamok között, de tudjuk, hogy a területen termesztett növények mészben nem szegény, kalciummal telített talajokat kedvelik (KREYBIG, 1956; GÉCZY, 1968; BÓCSA, 1979; SZENDRŐ, 1980; MENYHÉRT, 1985; BOCZ, 1996; ANTAL, 2000; HÍDVÉGI, 2007; RADICS, 2007; TÓTH, 2007; NAGY, 2011). A szikes és savanyú talajok javítási tartamkísérletei (HERKE, 1959; PRETTENHOFFER, 1969; SZABOLCS, 1971; 1981; FILEP és FÜLEKY, 1999; CSATHÓ, 2001a; 2001b; NAGY, 2011) támasztják alá, hogy a karbonátok megjelenése a talajok szerkezetének, vízgazdálkodási tulajdonságainak és biológiai aktivitásának javítása útján inkább pozitívan befolyásolja a termékenységet, és egyedül a túlzott mésztartalom okozhat problémákat a tápanyag-felvételi zavarok miatt (FÜLEKY, 1999a).

A pH és mésztartalom értékelésekor azonban nem lehet figyelmen kívül hagyni a tényt, hogy a mintaterületen a legmélyebb térszínen elhelyezkedő, legkisebb termésátlaggal és termésbiztonsággal rendelkező réti talajok mésztartalma a legnagyobb, de egyben a humusztartalma a legkisebb.

A termés relatív szórása és a humusztartalom között szoros, negatív lineáris kapcsolat van, de az átlagos relatív terméssel is szignifikáns összefüggést mutat a humusz. A humusztartalomnak a termésre gyakorolt hatása inkább közvetett, de az országos tartamkísérletek alátámasztják, hogy szignifikáns kapcsolatot lehet kimutatni a talajok humusztartalma és a terméshozamok között (KISMÁNYOKY és DEBRECZENINÉ, 2001; DEBRECZENINÉ és NÉMETH, 2009; HERMANN et al., 2014b). A szervesanyagnak a mineralizációval jelentkező N-szolgáltatáson túl, kedvező hatása van a talaj kationcserélő kapacitására, vízgazdálkodására, a talaj tömörödésére, a talajaggregátumok stabilitására és a mikrotápelemek adszorpciójára, ill. szolgáltatására is (FILEP, 1988; HARGITAI, 1993; FÜLEKY, 1999a; MAKÓ és TÓTH, 2007; DUNAI et al., 2013). CSATHÓ (2003a; 2003b; 2003c) a humusztartalom, valamint az őszi búza, kukorica és lucerna terméshozamaik közötti kapcsolatot telítődési függvénnyel írta le, ahol a magyarázott variancia  $R^2=0,37$ ,  $0,35$  és  $0,11$  volt.

Ahogy már a produktivitási osztályok talajtani jellemzése alapján is nyilvánvaló volt, a tápanyag-tartalmak egyike sem mutat szignifikáns kapcsolatot a várható terméssel és termésbiztonsággal, azok térbeli varianciáját pedig erősen befolyásolják a földhasználati tényezők. A felvehető tápanyagok és a teréshozamok közötti kapcsolat azonban nem írható le lineáris függvénnyel (NÉMETH, 2006; DEBRECZENINÉ és NÉMETH, 2009; HERMANN et al.,

2014a). CSATHÓ a fontosabb szántóföldi növények és a talajok foszfor- (CSATHÓ, 2003d; 2003e; 2003f) és káliumtartalma (CSATHÓ, 1997; 2005a; 2005b) közötti kapcsolatot a módosított Mitcherlich függvényvel írta le, ahol a magyarázott variancia  $R^2=0,11-0,59$  között alakult.

A leiszapolható rész és az agyagtartalom szignifikáns negatív lineáris kapcsolatban van a termésmutatókkal, azonban ennek háttérében a hidrológiai viszonyok, a topográfiai helyzet és a szolonyecsedés is állhat. Az alföldi talajok szélsőséges vízgazdálkodási tulajdonságait és vízháztartási helyzeteit a szolonyecsedés, a nehéz textúra és a topográfiai adottságok együttesen hozzák létre (VÁRALLYAY, 1981; TÓTH et al., 2001; DOUAİK et al., 2007). A nehéz textúrájú alkáli talajok a növények számára jelentős korlátozó tényezőt jelentenek a víz-, tápanyag- és energiatranszport folyamatok akadályozása révén (ÁBRAHÁM és BOCSKAI, 1971; MURAKÖZY et al., 2003).

#### 4.3.2. A főkomponens analízis eredménye (lineáris talajminőség indexek)

A főkomponens analízis (PCA) a bemenő változók között lévő lineáris korreláció figyelembevételével azoknak olyan lineáris kombinációját állítja elő (főkomponensek), amelyek már nem korrelálnak. A kapott főkomponensek tulajdonképpen a korreláló változók által közösen magyarázott varianciát hordozzák (sajátértékek). Az egyes főkomponensekben a változók súlya (faktorsúlyok, loadings), a komponensmátrixból derül ki, ahol a változóknak a főkomponenssel vett Pearson-korrelációja szerepel. Ha a bemenő változókat előbb interpretáljuk, lineárisan leskálasszuk, akkor a kapott főkomponens értéke a talajképző folyamatokra utaló komplex indikátorként, indexként értelmezhető, amely egy relatív skálán adja meg a növénytermesztés potenciális kockázatait. A koncepció az volt, hogy a PCA-ban az összes talajtani indikátor szerepeljen, hiszen a változók együttesen írják le a legpontosabban a talajtulajdonságok varianciáját. A PCA alkalmas egyfajta dimenziócsökkentésre úgy, hogy közben a bemenő változók összes varianciáját nagyrészt megőrzi.

A bemenő indikátorokat jelentőségük szerint lineárisan skáláztam, rangsoroltam az előző fejezetben ismertetett lineáris regressziós összefüggések tapasztalatai alapján és az irodalom (5. táblázat). A rangsorolás a változók eloszlása alapján viszonylag egyértelműen eldönthető.

A talajtulajdonságok közötti szerteágazó és erős korreláció (4. táblázat) alapján a PCA három olyan főkomponenst eredményezett, amelynek sajátértéke  $>1$ . Ezek együtt a bemenő változók varianciájának 86,365%-át magyarázzák (6. táblázat). A változók kommunalitásai (ami azt fejezi ki, hogy az adott változó heterogenitásából mennyit őrzött meg a három főkomponens) általában 0,8 fölött vannak, egyetlen kivétel a Hargitai-N, amely esetében a főkomponensek a heterogenitás 49,2%-át őrzik meg (de még ez is elfogadható). A Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) és

Bartlett tesztek azt bizonyítják, hogy a változók közti korreláció és kapcsolatrendszer kellőképpen szoros, a főkomponens analízis releváns módszer a dimenzióredukcióhoz.

**5. táblázat.** A talajtani indikátorok leíró statisztikája a parcellákra vonatkozóan és a változók rangsorolása a főkomponens analízishez és (n = 28)

Talajtani indikátor	Vizsgált talajréteg (cm)	Átlag	Szórás	Ferde-ség	Csúcsos-ság	Mini-mum	Maxi-mum
pH-H <sub>2</sub> O ↓	0-100	8,36	0,32	1,44	1,74	8,03	9,29
pH-KCl ↓	0-100	7,39	0,24	0,72	0,39	7,07	7,95
CaCO <sub>3</sub> megj. mélysége (cm) ↑	0-100	30,00	15,20	-0,83	-0,12	0,04	53,87
Vízoldható só (m/m %) ↓	0-100	0,09	0,04	1,13	-0,10	0,06	0,19
AL-Na <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) ↓	0-100	69,62	60,66	1,39	0,67	23,00	221,59
Tengerszint f. mag. (m) ↑	-	87,68	0,51	0,40	-0,42	87,01	88,55
Leisz. rész, <0,02 mm (m/m %) ↓	0-100	44,98	10,61	0,99	0,61	31,55	72,36
Agyag <0,002 mm (m/m %) ↓	0-100	14,89	6,86	1,27	0,99	18,48	33,30
Humusz (m/m %) ↑	0-100	2,53	0,45	-1,09	0,07	1,57	3,01
AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> ) ↑ *	0-30	126,26	62,35	2,06	4,97	72,26	349,25
AL-K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> ) ↑	0-30	259,04	50,40	0,32	-0,58	160,32	348,85
Hargitai-N (mg kg <sup>-1</sup> ) ↑	0-30	61,03	4,79	-1,16	-0,93	51,52	68,93

↓ csökkenő rangsor ("minél kisebb, annál jobb"); ↑ növekvő rangsor ("minél nagyobb, annál jobb")

\* a csúcsosság miatt ln transzformációt végeztem

**6. táblázat.** A rangsorolt talajtani indikátorokkal végzett főkomponens analízis eredménye és rotált komponensmátrixa

Főkomponensek	PC1	PC2	PC3	Kommunalitások
Sajátértékek	6,822	2,135	1,407	
Magyarázott variancia (%)	56,848	17,789	11,728	
Kumulált variancia (%)	56,848	74,637	86,365	
Faktor loadingok (Varimax)				Kommunalitások
só	<b>0,972</b>	-0,019	0,022	0,945
AL-Na	<b>0,967</b>	0,076	0,063	0,945
Agyag (<0,002 mm)	<b>0,922</b>	0,230	-0,186	0,938
pH-H <sub>2</sub> O	<b>0,872</b>	0,440	-0,065	0,959
Leisz. rész (<0,02 mm)	<b>0,808</b>	0,432	-0,193	0,877
Tengerszint f. magasság	<b>0,739</b>	0,306	-0,393	0,795
pH-KCl	<b>0,705</b>	<b>0,618</b>	-0,280	0,957
Hargitai-N	0,478	-0,417	-0,299	0,492
CaCO <sub>3</sub> megjelenése	-0,112	<b>-0,902</b>	-0,109	0,837
Humusz	0,479	<b>0,802</b>	0,006	0,872
AL-K <sub>2</sub> O	-0,037	-0,014	<b>0,929</b>	0,864
lnP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,122	0,107	<b>0,925</b>	0,883

KMO = 0,534; Chi<sup>2</sup> (66) = 497,724; p < 0,001

Fékövér kiemelés: a főkomponensekben nagy súllyal szereplő indikátorok loadingjai

A rotált komponens mátrix alapján a főkomponensek könnyen interpretálhatók (6. táblázat). Az első főkomponensben (PC1) a sófelhalmozódás, szolonyecesezés, szikesedés okozta lúgosság, a nehezebb textúra és a mélyebb topográfiai helyzet fejeződik ki a vízoldható só, AL-Na<sup>+</sup>, agyag, pH-H<sub>2</sub>O, leiszapolható rész, tengerszint feletti magasság és pH-KCl változók

loadingjai alapján. A PC1 az összes változó varianciájának 56,848%-át magyarázza. A második főkomponens (PC2) értékében a mész okozta lúgosságot és a humuszfelhalmozódást kifejező indikátorok szerepelnek nagy súllyal (pH-KCl,  $\text{CaCO}_3$  megjelenési mélysége, humusztartalom). A PC2 a teljes változókészlet varianciájának 17,789%-át magyarázza. A PC3-ban az  $\text{AL-P}_2\text{O}_5$  és  $\text{AL-K}_2\text{O}$  indikátorok loading értékei alapján a felvehető foszfor- és káliumtartalmak fejeződnek ki. A magyarázott variancia ez esetben 11,728%.

Mivel a kapott főkomponensek egymással összefüggő indikátorokat tömörítenek, és így talajképző folyamatársulásokra utalnak, bizonyos talajtípusok, altípusok és változatok azonosítására, lehatárolására alkalmassak. Így például a PC1 értéke elkülönítheti a csernozjom réti és réti csernozjom talajokat a szolonyecsedéssel érintett altípusoktól. A PC2 pedig megkülönbözteti a karbonátos csernozjom réti talajokat a gyengébben humuszos karbonátos réti talajoktól, vagy a karbonátos csernozjom réti talajokat a nem karbonátos változatoktól. A PC3-ban leginkább a földhasználattal szorosabban összefüggő tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok jutnak kifejezésre, ami persze közvetve a talajképző folyamatokkal is összefügg. A PCA talajosztályozásban való alkalmazhatóságának vizsgálata nem szerepelt a célkitűzéseim között. Az eredmények interpretálhatóságát megerősíti, hogy a talajképző folyamatok kontextusában is értelmezhetők a főkomponensek.

A földminősítésben a főkomponens analízist több szerző csupán a "fontos", nem korreláló indikátorok kiválasztására (*minimum data set*) használja (ANDREWS és CARROLL, 2001; ANDREWS et al., 2002; SHARMA et al., 2005; MASTO et al., 2008; QI et al., 2009; D'HOSE et al., 2014; RAHMANIPOUR et al., 2014). A rotált komponensmátrixból ugyanis kiderül, hogy mely változók korrelálnak, és melyek varianciája a legmeghatározóbb a változókészletben. A főkomponenseket más szerzők olyan komplex talajtani indikátorokként interpretálják, amelyekkel a földhasználat talajtani hatásait, ill. a talajok földhasználatra gyakorolt hatásait lehet értékelni, monitorozni (SHUKLA et al., 2004a; GOVAERTS et al., 2006; YAO et al., 2013). A hatékony dimenzióredukciót támaszja alá, hogy pl. SHUKLA és mtsai (2004a) 20 indikátort vizsgáltak PCA-val, amellyel 4, talajtaniilag jól interpretálható főkomponenst kaptak, amelyek a változók varianciájának 78%-át magyarázták. YAO és mtsai (2013) Indiában szikes talajokat vizsgáltak PCA-val. A 22 vizsgált változóból 7 főkomponenst kaptak, amelyek a teljes variancia 78,5%-át magyarázzák. GOVAERTS és mtsai (2006) 17 fizikai és 16 kémiai indikátorból 2-2 főkomponenst (a magyarázott variancia 76% és 92%) képeztek, amellyel a talajok búza és kukorica termesztésére való alkalmasságát vizsgálták.

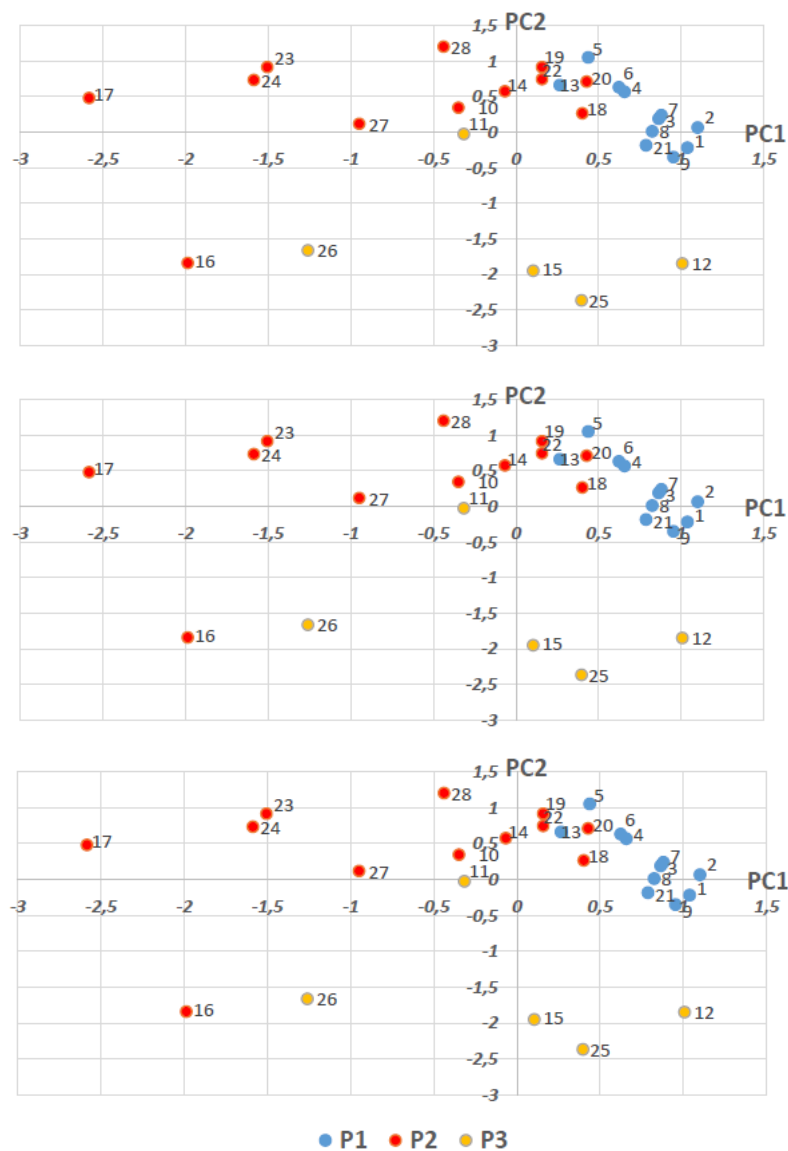
Mivel a változókat rangsorolva vittem be a főkomponens analízisbe, a kapott főkomponensek a talajminőség szempontjából könnyen értelmezhetők: minél nagyobb az értékük, annál kedvezőbb a talajtulajdonság-kombináció a növénytermesztés szempontjából.

Hogy ez mennyire teljesül, az a főkomponens mátrix loadingjainak előjeleiből derül ki. A nagy súlyú loadingok a PC1 és PC3 esetében mind pozitívak, de a PC2 esetében változóak. Vagyis a második főkomponens értékét a mész felszínközeli megjelenése csökkenti, a kedvező pH-KCl és a humuszmennyiség pedig növeli. A PC2-t azonban még így is megfelelő talajminőség mutatónak tartom. Bizonyos talajtulajdonság-kombinációk megjelenése, ill. eloszlásukban mutatkozó kiugró értékek (mint a mész és a humusz esetében is) a főkomponensek talajminőség indexként ill. komplex talajminőség indikátorként való alkalmazását, interpretálhatóságát megnehezíthetik. Erre a már hivatkozott szerzők egyike sem hívja fel a figyelmet, és nem is fektet kellő hangsúlyt a főkomponens mátrix és a főkomponensek nagyságának értékelése. Holott téves következtetésekhez vezet, ha nem megfelelően interpretáljuk a PCA-t.

#### **4.3.3. A főkomponensek mint lineáris talajminőség indexek kapcsolata a termékenységgel**

A főkomponens értékek standardizáltak, a nulla közeli értékek jelentik az átlagot. A 14. ábrán látható, hogy a P1 produktivitási osztály parcellái átlag feletti PC1 értékkel rendelkeznek, a PC2 értékeik is többnyire pozitívak, azonban a PC3 értékeik a legalacsonyabbak közé tartoznak. Jól mutatják a főkomponensek, hogy a legnagyobb terméshozamú és termésbiztonságú parcellák azokon a talajokon találhatóak, amelyek a legkisebb fizikai és kémiai kockázatot jelentenek a növények számára. A P2 produktivitási osztályba tartozó parcellák PC1 értékei széles skálán mozognak, de kisebbek, mint a P1 osztály esetén. A PC2 értékek itt általában átlag feletti, a PC3 értékek varianciája pedig szintén nagy. Ezek alapján az feltételezhető, hogy közepes terméshozam és termésbiztonság változó talajviszonyok mellett elérhető, de vélhetően feltétele a nagyobb humusztartalom (PC2). A P3 produktivitási osztály jellemezhető a legkisebb PC2 értékekkel, a másik két főkomponens értékei pedig nagyon változóak.

A többváltozós lépésenkénti lineáris regresszióanalízis eredménye szerint a főkomponensek az átlagos relatív termést és relatív szórást jól magyarázzák, mindkét esetben szignifikáns modellt kaptam (7. táblázat).



**14. ábra.** A parcellák (1-28) és produktivitási osztályok (P1, P2, P3) lineáris talajminőség index (főkomponens) értékei (PC1: általános fizikai és kémiai kockázatok, PC2: humusztartalom, PC3: felvehető foszfor és kálium)

**7. táblázat.** A főkomponensekkel mint független változókkal és az átlagos relatív terméssel ( $\overline{RY_p}$ ) és relatív szórással ( $CV(RY_p)$ ) mint függő változókkal végzett regresszióanalízis eredménye. A becslés paraméterei és a modell diagnosztika (a modell F-értékei, a paraméterek Student-féle t értékei és a magyarázott varianciát kifejező  $R^2$ )

Függő változó	Standardizált paraméterek		t (df = 26)	F	R <sup>2</sup>
$\overline{RY_p}$	konstans	0,649	35,239***	9,060***	0,531
	PC1	0,371	2,651*		
	PC2	0,474	3,388**		
	PC3	-0,412	-2,845**		
$CV(RY_p)$	konstans	24,065	10,117***	9,892**	0,442
	PC1	-0,372	-2,488*		
	PC2	-0,551	-3,687**		
	PC3	kizárva a modellből			

\* szignifikáns  $p < 0.05$ ; \*\* szignifikáns  $p < 0.01$ ; \*\*\* szignifikáns  $p < 0.001$  szinten



Az átlagos relatív termés esetében mindhárom főkomponens bekerült a modellbe. A PC1 belépésével a várható termés magyarázott varianciája  $R^2=0,224$  ( $p<0,05$ ), a PC2 belépésével a két főkomponens által magyarázott variancia  $R^2=0,394$  ( $p<0,01$ ). A három főkomponenssel együtt pedig a modell magyarázó ereje nagy,  $R^2=0,531$  ( $p<0,001$ ) lett. A paraméterek és a konstans mind szignifikánsak. A felvehető foszfort és káliumot kifejező PC3 és az átlagos relatív termés között szignifikáns negatív lineáris kapcsolat van, ami ez esetben úgy interpretálható, hogy a tápanyagok nem korlátozó tényezők a növénytermesztésnek. Az egymással összefüggő fizikai és kémiai tulajdonságok (PC1) valamint a humusztartalom (PC2) valóban meghatározó tényezők a várható termésnek.

A termés relatív szórását a főkomponensek közül a PC1 és PC2 magyarázza, a modellből a PC3 kikerült. A PC1 belépésével a relatív szórás magyarázott varianciája  $R^2=0,304$  ( $p<0,01$ ), ami a PC2 belépésével  $R^2=0,442$ -re ( $p<0,01$ ) növekedett. A paraméterek és a konstans mind szignifikánsak. A paraméterek mind negatívan befolyásolják a termésbiztonságot, a PC2 (humusztartalom) valamivel erősebben, mint a PC1 (szikesedés és a fizikai korlátozó tényezők).

Összességében a többváltozós regresszióval jobban magyarázhatók a várható termés és a termésbiztonság, mint egyváltozós módszerekkel, ill. az egymással nem korreláló főkomponensekkel értékelhető modellt lehet kapni szemben az egyszerű indikátorokkal. A várható termés és a termésbiztonság a talajtulajdonságok lineáris kombinációival (főkomponensek) magyarázhatók, és nem önmagukban.

A kapott eredmények a többváltozós vizsgálatokkal elérhető szignifikancia szintekhez képest meggyőzőnek tekinthetők. Hazai példa hiányában az eredményeimet csak teljesen más agroökológiai régiókra vonatkozó küldöldi kutatással tudom összehasonlítani. SHUKLA és mtsai (2004b) Ohióban vizsgálták a talajtani adottságok és a földhasználat ill. a termés kapcsolatát. A talajtani indikátorokat PCA-val vizsgálva 4 főkomponenst kaptak, amelyekkel a szemtermés és a biomassa (kukorica ill. szója) nagyságát igyekeztek magyarázni lépésenkénti regresszióval. A szemtermést a modellben maradt PC1 és PC2 magyarázta szignifikánsan ( $R^2=0,24$ ,  $p<0,02$ ), a biomassa tömeg esetében  $R^2=0,42$  ( $p<0,003$ ) lett, ahol a modellbe a PC1, PC2 és PC4 kerültek be. A kutatásban nem termésátlagokat, hanem egy év terméseredményét használták fel, a talajvizsgálatok pedig csak a művelt rétegre terjedtek ki.

Másik példaként MALLARINO és mtsai (1999) kutatását említeném, amely módszertanában lényeges különbség, hogy faktoranalízissel vizsgálták az indikátorokat. A főkomponens analízissel szemben a faktoranalízis csak a közös varianciarányt vizsgálja, az egyéni varianciákat nem. A talajmintavétel parcellánként történt 0-15 cm mélységből, de öt különböző termőhelyet vizsgáltak (Iowában, Nebrascában és Wisconsinban). A termésadatok (kukorica) itt

sem átlagos értékek, hanem egyetlen évre vonatkoznak. Az 5 termőhelyre külön-külön végezték a faktor- és regresszióanalízist. A kapott három faktor által magyarázott variancia értékek  $R^2=0,01$  ( $p<0,254$ ) és  $0,67$  ( $p<0,001$ ) között alakultak. A több termőhelyen és különböző kultúrákban elvégzett hasonló statisztikai vizsgálatok alapján lehet valóban helyes következtetésekre jutni.

ÁNGYÁN és MENYHÉRT (1997) is alkalmazták a PCA-t a talajtani indikátorok információtartalmának tömörítésére és termőhelyi alkalmasság kifejezésére. A kapott főkomponensek és a termés hozamok kapcsolatát lineáris korrelációanalízissel vizsgálták. A főkomponenseket ill. a korrelációanalízis eredményét azonban nem interpretálták (ortogonális forgatás nélkül nem is tudhatták). A korrelációs koefficiens értékeivel súlyozva a főkomponens értékeket összegezték, és a kapott talajalkalmassági értékszámok és termésátlagok lineáris korrelációját értékelték. Ezen talajalkalmassági értékszámok azonban nem adnak magyarázatot az eltérő talajtulajdonság-kombinációk és a termés hozamok bonyolult kölcsönhatására.

#### **4.4. A talajtani indikátorok nemlineáris interpretálása és a talajalkalmassági indexek**

Az egyszerű talajtani indikátorok a növénytermesztésre való alkalmasságuk szerinti értékelése nem könnyű feladat, ugyanis a paraméterek bonyolult kölcsönhatásban vannak egymással, és együtt határozzák meg a növények életfeltételeit. A talaj termékenysége csak adott körülmények között (pl. éghajlati, hidrológiai, domborzati), és adott növények szempontjából értelmezhető. Az indikátorok interpretálásának matematikai módszeréhez kerestem a hazai irodalomban empirikus összefüggéseket, azonban csak a tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok esetében találtam ilyenekre az országos műtrágyázási tartamkísérletek eredményei között. A külföldi irodalomban sok ilyen empirikus összefüggést lehet találni, ezeknek az átvétele azonban hazai viszonyok között nem célszerű, ill. az eltérő talajvizsgálati szabványok miatt részben nem is lehetséges. Így nem maradt más, minthogy az irodalom ismeretére támaszkodva azokat az adott földhasznosításban optimális értéktől való eltérésük alapján saját magam által kialakított nemlineáris függvényekkel újraskálázzam.

Az értékeléshez felhasználtam a mintaterület vetésforgóiban rendszeresen előforduló szántóföldi növények ökológiai igényéről szóló irodalmi információkat, különösen az őszi búza (*Triticum aestivum* L.), a kukorica (*Zea Mays* L.), a lucerna (*Medicago Sativa* L.) és a napraforgó (*Helianthus annuus* L.) ökológiai igényeit és alaktanát tanulmányoztam. Nehézséget okozott, hogy a legújabb fajtáknak az egyes talajtulajdonságokhoz való alkalmasságáról nagyon

kevés információ áll rendelkezésre. Ezért kifejezetten növény-specifikus értékelésre nem vállalkoztam, de a gyakorlatban egyébként is vetésforgónak (vagy legalábbis vetésváltásnak) kell megvalósulnia, és elegendőnek ítélttem egy átlagosnak vélt, vagy esetenként egy szigorúbb értékelést alkalmazni a legigényesebb növény figyelembevételével. Az értékeléshez a változók körét a talajtulajdonságok és terméseredmények statisztikai vizsgálatainak tapasztalatai alapján szűkítettem. A koncepció az volt, hogy az erősen korrelálók közül akár egyet is elég továbbvinni, ill. a lineáris elemzések során a terméssel szignifikáns kapcsolatban álló indikátorok mindenképpen belekerüljenek a nemlineáris értékelésbe.

#### 4.4.1. A kémiai tulajdonságok interpretálása és a kémiai alkalmassági index

Az egyes szántóföldi növények pH és mészigénye (KREYBIG, 1956; GÉCZY, 1968; BÓCSA, 1979; SZENDRŐ, 1980; MENYHÉRT, 1985; BOCZ, 1996; ANTAL, 2000; HÍDVÉGI, 2007; RADICS, 2007; TÓTH, 2007; NAGY, 2011) valamint a szikesedéssel szembeni érzékenysége (HERKE, 1959; GÉCZY, 1968; SZABOLCS, 1971; BÓCSA, 1979; SZENDRŐ, 1980; BOCZ, 1996; RAGASITS, 1998) az irodalom alapján a következőképpen foglalható össze:

- Az őszi búza mészkedvelő növény, rendezett mészállapotú, telítettebb talajokon fejlődik jól, optimális számára a 7,0-8,5 pH-H<sub>2</sub>O. A savas kémhatást jobban tűri, lúgos közegben csökken a terméshozama. Mérsékeltén sótűrő, jó termőhelye a szolonyeces réti és a csernozjomok mélyben sós változatai is. <0,1% sótartalom nincs káros hatással a fejlődésére, ha a termőréteg nem szódás. A szikeseken legbiztosabban termesztendő növény.
- A kukorica pH-KCl optimuma 6,6-7,5, kritikus értékek az <5,5 és >8,0 pH-KCl. A lúgos kémhatásra érzékenyebben reagál, mint a savas közegre. Mészben nem szegény, kalciummal telített talajokat kedveli, de kevésbé érzékeny a talaj mészállapotára, mint a búza. Mérsékeltén sótűrő, de a szódára nagyon érzékeny, 70 cm mélységben is megérzi. Jobb szikeseken csak a korai fajták termesztetők eredményesen.
- A lucerna pH-KCl optimuma 6,5-7,8, pH-H<sub>2</sub>O optimuma 7,0-8,5 között van. Inkább mérsékeltén lúgos kémhatást kíván, savanyú pH-n nem gyűjt nitrogént, hanem fogyasztja. Mészigénye 10-12-szer nagyobb, mint a búzának, javított, meszezett szikeseken is termesztendő. Kritikus számára a <1% mésztartalom, de a magas mésztartalommal szemben közömbös. Erősen sótűrő, javított, meszezett szikeseken is termesztendő. A szódára viszont igen érzékeny, már akkor is megérzi, ha 40-50 cm-től szódás a talaj. Minél vékonyabb a nem szódás réteg, annál rövidebb életű lesz a lucerna.

- A napraforgó a talaj kémhatásához jól alkalmazkodó növény, de a semleges körülményhén savanyú talajokat kedveli; pH-H<sub>2</sub>O optimuma 6,5 és 8,5 között van. Mészkedvelő, mélyre hatoló gyökérzete révén a kalciumot fel tudja venni az altalajból is. Mérsékeltén sótűrő, de már a 40 cm-nél mélyebben jelentkező szódára is reagál. Javított szikeseken még termesztethető.

Összességében a növényeknek a legmegfelelőbb a semleges körüli, gyengén lúgos kémhatás és a telített, mészből nem szegény, az altalajban sem szódás termőhely, amelynek sótartalma <0,1%.

Mivel a kémiai indikátorok erősen korrelálnak egymással, így a kémiai talajalkalmasság kifejezésére nem tartottam szükségesnek az összes indikátort bevonni. Az eredmények szerint a mintaterület talajai bázikusak, telítettek, a lúgosságot a szikesedés és a mésztartalom okozza. A CaCO<sub>3</sub> megjelenését és mennyiségét nem tartottam relevánsnak külön értékelni, hiszen a növények által valóban felvehető kalcium mennyiségét a méasztartalom közvetlenül nem fejezi ki, ehhez figyelembe kell venni a pH-t is. Erősen lúgos kémhatáson (a mintaterületen inkább ez várható) a Ca<sup>2+</sup> ionok a talajban inaktiválódnak, a Na<sup>+</sup> ionok a kolloidok felületéről képesek lecserélni a Ca<sup>2+</sup> ionokat (SZABOLCS, 1981; FILEP és FÜLEKY, 1999). (A méasztartalom értékét elegendőnek láttam a tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok értékelésénél figyelembe venni.) A legfontosabb kémiai indikátornak a pH-H<sub>2</sub>O tekintetem, mivel a terméshozamokkal szignifikáns lineáris kapcsolatban van, ill. abból a szóda jelenlétére jól lehet következtetni, és az AL-Na<sup>+</sup>-mal is szoros lineáris korrelációban van. Mivel egy bizonyos pH-H<sub>2</sub>O tartományban a lúgosabb kémhatást okozhatja a szikes sók megjelenése mellett a nagy, 10% fölötti méasztartalom is, ezért szükséges a kémiai kockázatok értékelésénél a vízzoldható sótartalmat is figyelembe venni. A pH-H<sub>2</sub>O és vízzoldható sótartalom indikátorok kiválasztását indokolta az is, hogy az irodalom alapján ezek tűntek a legkönnyebben interpretálhatónak.

A kiválasztott indikátorokat másodfokú reciprok függvényekkel interpretáltam (8. táblázat). Ugyan a pH szerepét a legtöbb külföldi szerző valamilyen haranggörbével fejezi ki (KARLEN et al., 1994a, 1994b; ANDREWS és CARROL, 2001; ANDREWS et al, 2002a; 2002b), a mintaterületen savanyú talajok híján elegendőnek találtam a semleges feletti tartományra koncentrálni. Mivel ezen tényezők korlátozó hatása attól is függ, hogy milyen mélységben jelentkeznek, az interpretált értékeket a mélységgel csökkenő súllyal vettem figyelembe.

Az említett irodalmak szerint a szántóföldi művelésben bőven elegendő 70 cm-es termőréteg is, de ez függ a növények gyökérzetének felépítésétől, mélységétől. A kukorica bojtos gyökérzetének fő tömege a felső 30 cm-es talajrétegben van, de koronagyökerei akár 2 méter mélységig is elérnek. Az őszi búza másodlagos gyökérzete sűrűn átszövi a talaj 20-50 cm-es rétegét, de az elsődleges hajtás eredetű gyökerek 90-200 cm-re is lehatolhatnak. A lucerna

gyökérzete orsó alakú, mélyre (2-4 m) hatoló főgyökérrendszer, ennek tulajdonítható a szárazságtűrő képessége. Az arra alkalmas talajtípusokon a talajvízből is fedezni képes a vízszükségletét. Az oldalgyökerek többsége a talajfelszín közelében helyezkedik el. A napraforgónak szintén erőteljes főgyökérrendszere van, amely 2-3 m (akár 4-5 m) mélységbe is lehatol. A főgyökér teljes hosszában képződő oldalgyökerek jól behálózzák a talajt. Minden egyes növény gyökérzetének felépítését és gyökerezési mélységét nehéz figyelembe venni, főleg, hogy az a talaj nedvesség- és tápanyagtartalmától is függ. A gyökérzet tömegének legnagyobb része általában a talaj felső 50 cm-es rétegében található, ugyanakkor bizonyított, hogy az altalaj fizikai-kémiai tulajdonságaira is reagálnak. A növénytermesztés szempontjából relevánsnak tartottam a felső 100 cm-es réteg értékelését a mélység felé csökkenő súllyal. A talajrétegsúlyokat a következő képlettel számítottam:

$$WF_i = \frac{(a-b_1)^2 - (a-b_2)^2}{a^2},$$

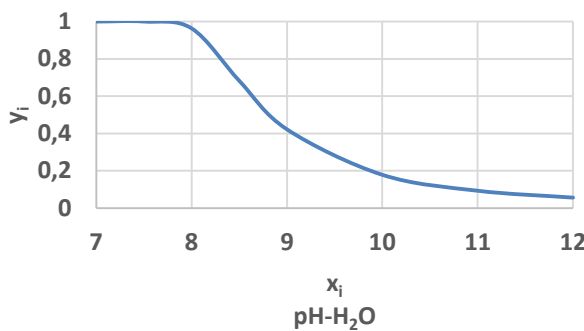
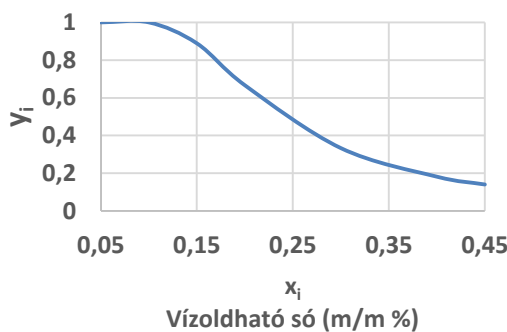
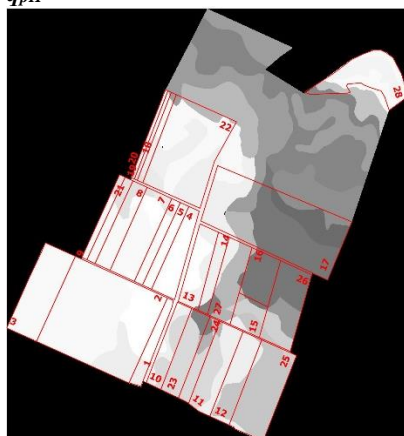
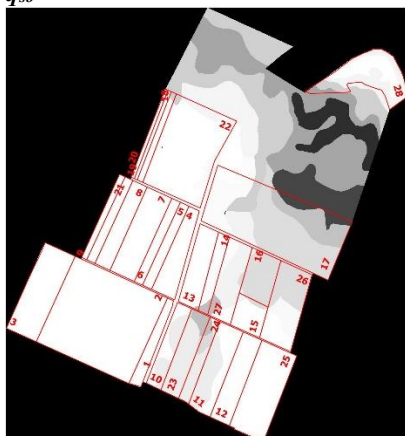
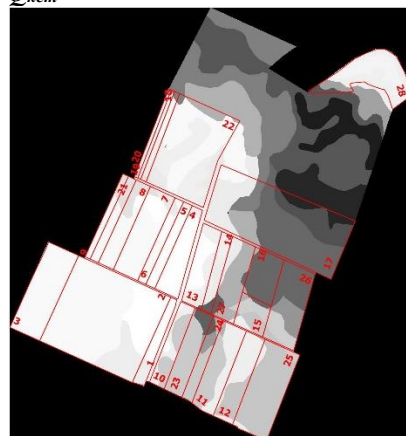
ahol




$WF_i$ : faktorsúly az  $i$ . rétegben;  $a$ : a maximális mélység, ahol még releváns az adott paraméter ismerete (cm);  $b_1$ : az  $i$ . réteg felső határának mélysége (cm);  $b_2$ : az  $i$ . réteg alsó határának mélysége (cm).

Az interpretált kémiai változók szorzataként fejeztem ki a talaj kémiai alkalmassági indexét ( $Q_{kém}$ ) (8. táblázat). A multiplikatív módszert az indokolta, hogy jelentőségüknél fogva mindkét indikátor korlátozó hatásának erősen kifejezésre kell jutnia.

A homogén talajfoltok  $q_{pH}$  értéke 0,400-0,947 között változik, területi eloszlását tekintve (8. táblázat) elmondható, hogy a kémhatás a vizsgált terület jelentős részén, beleértve a szánóterületeket is, mérsékelten és közepesen korlátozó. A  $q_{só}$  érték 0,181-1,000 között változik, de szembeutó, hogy vízzoldható sótartalomhoz a földhasználat jól alkalmazkodik, a szántóterületeken legfeljebb mérsékelten korlátozó értékek jelennek meg. A  $Q_{kém}$  index értéke a teljes területen 0,108 és 0,947 között alakul, de a szántóterületekre vonatkozó értékek alapján a kémiai tulajdonságok a szolonyeces réti és réti talajokon is legfeljebb közepes vagy mérsékelt korlátozó tényezőt jelentenek.

**8. táblázat.** A kémiai indikátorok nemlineáris interpretálása (kémiai talajalkalmasság index,  $Q_{kém}$ )

$q_{pH}$														
$q_{pH} = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot W_i)$ $x_i \leq 7,8$ $y_i = 1$ $x_i > 7,8$ $y_i = \frac{1}{1 + 0,95 \cdot (x_i - 7,8)^2}$		rétegek súlyozása <table><tr><th>i. réteg, cm</th><th>W<sub>i</sub></th></tr><tr><td>0-20</td><td>0,36</td></tr><tr><td>20-40</td><td>0,28</td></tr><tr><td>40-60</td><td>0,20</td></tr><tr><td>60-80</td><td>0,12</td></tr><tr><td>80-100</td><td>0,04</td></tr></table>	i. réteg, cm	W <sub>i</sub>	0-20	0,36	20-40	0,28	40-60	0,20	60-80	0,12	80-100	0,04
i. réteg, cm	W <sub>i</sub>													
0-20	0,36													
20-40	0,28													
40-60	0,20													
60-80	0,12													
80-100	0,04													
$q_{só}$														
$q_{só} = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot W_i)$ $x_i \leq 0,1$ $y_i = 1$ $x_i > 0,1$ $y_i = \frac{1}{1 + 50 \cdot (x_i - 0,1)^2}$		rétegek súlyozása <table><tr><th>i. réteg, cm</th><th>W<sub>i</sub></th></tr><tr><td>0-20</td><td>0,36</td></tr><tr><td>20-40</td><td>0,28</td></tr><tr><td>40-60</td><td>0,20</td></tr><tr><td>60-80</td><td>0,12</td></tr><tr><td>80-100</td><td>0,04</td></tr></table>	i. réteg, cm	W <sub>i</sub>	0-20	0,36	20-40	0,28	40-60	0,20	60-80	0,12	80-100	0,04
i. réteg, cm	W <sub>i</sub>													
0-20	0,36													
20-40	0,28													
40-60	0,20													
60-80	0,12													
80-100	0,04													
$Q_{kém} = q_{pH} \cdot q_{só}$														
$q_{pH}$  min=0,400; max.=0,947	$q_{só}$  min.=0,181; max.=1,000	$Q_{kém}$  min.=0,108; max.=0,947												

 Szántó parcellák (1-28)  
 0,000  
 1,000

#### 4.4.2. A fizikai tulajdonságok interpretálása és a fizikai alkalmassági index

A fizikai értékelésnek nem csak a növények igényét, hanem a textúrából következő víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságokat is ki kell fejeznie. Ehhez szükségesnek tartottam a talajtextúrát a topográfiai adottságok és a szolonyecsedés függvényében értékelni. A fizikai indikátorok közül az agyag ( $<0,002$  mm) frakció és a leiszapolható rész ( $<0,02$  mm) erősen korrelálnak, vagyis az agyag/iszap arány nem tér el annyira a talajokban, mint vártam. A két indikátor közül a leiszapolható részt tartottam könnyebben interpretálhatónak az irodalom alapján, ami erősen korrelál az AL- $\text{Na}^+$ -mal is.

Az irodalom alapján (GÉCZY, 1968; BÓCSA, 1979; SZENDRŐ, 1980; MENYHÉRT, 1985; BOCZ, 1996; RAGASITS, 1998; ANTAL, 2000; HÍDVÉGI, 2007) az egyes szántóföldi növények igénye következőképpen foglalható össze:

- Az őszi búza (a legigényesebb gabonafélének) kolloidokban gazdag, nagyobb víztartóképeségű, középkötött vagy kötött, belvizektől mentes termőhelyet kíván.
- A kukorica mélyrétegű, középkötött, jó kapilláris vízemelésű és vízgazdálkodási tulajdonságú vályogtalajokat igényel. Talajra való érzékenysége nagyobb a búzáénál. A legbiztosabb termést réti csernozjom talajokon adja, ahol 2,5 m mélységben van a talajvíz. Érzékeny a talaj légjárhatóságára, a talaj tömődöttsége a terméshozamot akár 50%-kal is csökkentheti.
- A lucerna a jó szerkezetű, mély termőrétegű, középkötött talajokat kedveli. Fontos, hogy a talajvíz 3-4 m mélységben legyen. A belvíz és magasan álló talajvíz hatására az állomány kiritkul.
- A napraforgó a talajhoz jól alkalmazkodik, de az egyöntetű érés és virágzás érdekében itt is fontos a középkötött, jó kapilláris vízemelő képességű termőhely. A mély fekvésű, belvizes, kötött, sekély termőrétegű talajok a napraforgó termesztésére nem alkalmasak.

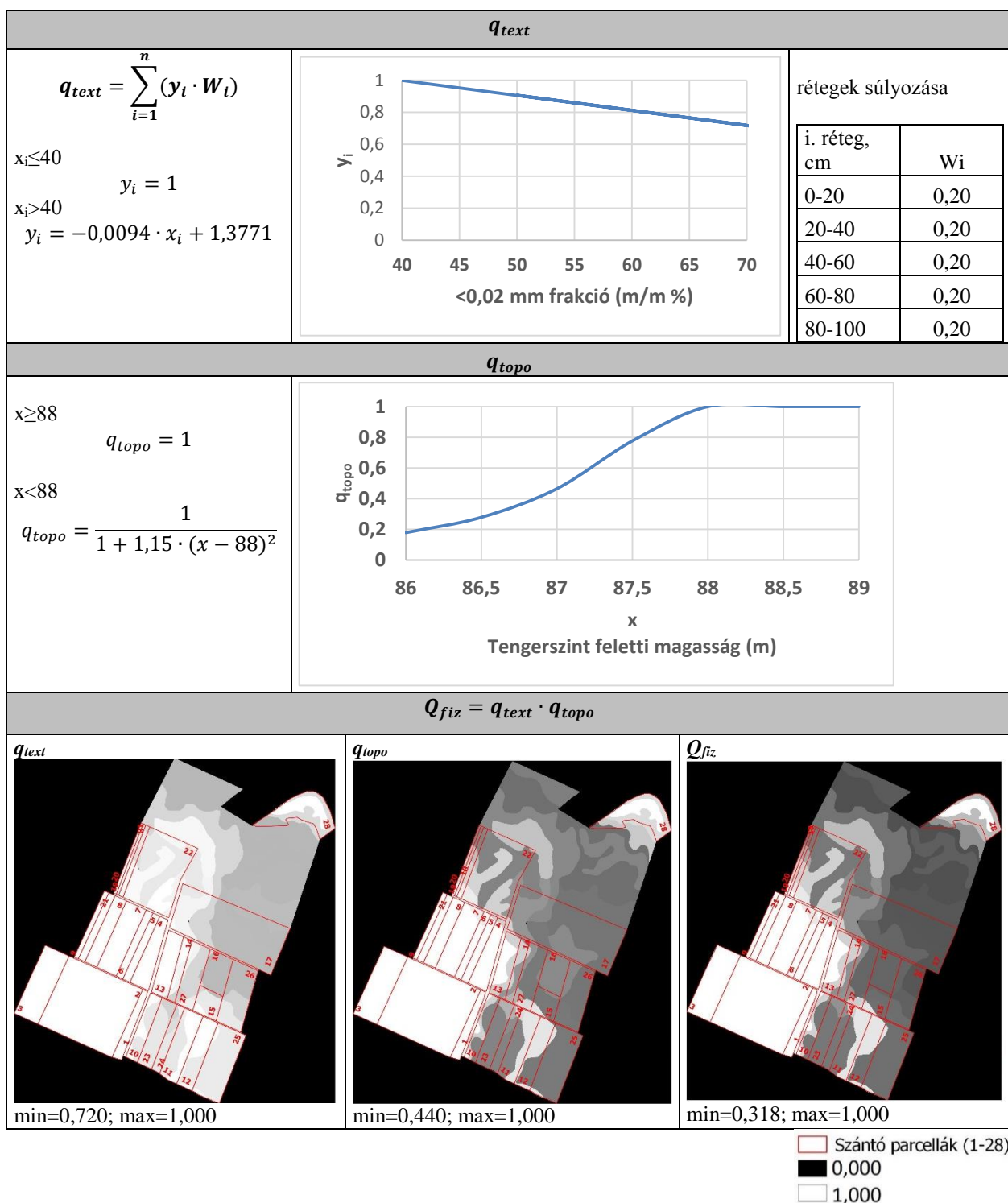
A növények számára felvehető víz mennyisége a talajban alapvetően meghatározza a termés mennyiségét és biztonságát (FARKAS et al., 2005; TÓTH et al., 2007). Aszályos évjáratokban a víztartóképeség értékelődik fel; a nagyobb vízkapacitású talajon nagyobb lehet a termésbiztonság. Csapadékosabb évjáratokban a gyenge víznyelő- és vízvezetőképesség elősegíti a felszíni vízborítás megjelenését. Egyszerre minden évjáratban optimális víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságokat nem minden talajtól várhatunk el, főként, hogy azt a topográfiai adottságok és kémiai tulajdonságok (pl. kicserélhető  $\text{Na}^+$ ) is befolyásolják. Minden szempontnak leginkább a középkötött, jó vízvezető- és víztartóképeségű, vályog textúrájú talajok felelnek meg, ha a talajvíz nincs túl közel a felszínhez ( $>1$  m). A fizikai tulajdonságok matematikai kifejezésénél azt tartottam célravezetőnek, ha az indexben leginkább a belvízzel

szembeni rézékenység fejeződik ki. A terméshozamokban ugyanis leginkább a csapadékosabb érvjárok volt szignifikáns negatív hatása. A fizikai talajalkalmassági indexet a következő módon képeztem (9. táblázat):

- A textúrának önmagában kisebb jelentőséget tulajdonítottam, de mivel a nehezebb textúrával együtt jár a szolonyeceseedés is, a  $<0,02$  mm frakciót is bevontam az értékelésbe. A leiszapolható részt lineárisan transzformáltam azt feltételezve, hogy a talajok hasznos víztartalma (ill. 2,3 és 4,2 pF értékei) és a kisebb szemcsefrakciók mennyisége között a területen jellemző textúracsoportokban lineáris kapcsolat van (RAJKAI et al., 1981). A lineáris skála végpontjainak meghatározásában VÁRALLYAY és mtsai (1980) vízgazdálkodási kategóriarendszeréből indultam ki, amely szerint az agyag talajok hasznos víztartalma a vályog textúrájú talajokéhoz képest kevesebb, annak 67% is lehet. A textúra interpretálásakor ( $q_{text}$ ) a  $\leq 40\%$  leiszapolható rész esetében a talaj 1 értéket kapott, a legnagyobb leiszapolható rész pedig 0,670 értéket. Az értékeléshez a 0-100 cm-es réteg átlagát vettem figyelembe (súlyozás nélkül), mert a víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságok alakulásában a mélyebb talajrétegek szerepét is ugyanúgy meghatározóak (hacsak nem jobban) tartottam, mint a művelt réteget.
- A mélyebben gyökerező szántóföldi növények érzékenyek a magasan álló talajvízre. A víz:levegő arány a talajban nem csak a textúrától függ, a vizsgált területen a talajvíz mélysége és az azzal összefüggő topográfiai adottságok is nagy szerepet játszanak ebben. A  $q_{topo}$  értékét a tengerszint feletti magasság alapján számítottam másodfokú reciprokl függvénnyel. Optimálisnak a 88 m feletti térszint tekintettem (ezek kapták az 1 értéket), ahol a talajvíz mélysége 2-3 m, és az extrémebb évjáratokban sem számíthatunk belvíz kialakulására. A mintaterületen a 87 m alatti szántókon (a talajvíz 1-0,5 m) az utóbbi 10 évből 3 évben olyan belvíz volt, hogy helyenként vetni sem lehetett, a függvény itt a 0,3 értéket veszi fel. A 87-87,5 m közötti térszín a legkritikusabb, ott néhány cm különbségnek is nagy jelentősége van.
- A fizikai talajalkalmassági indexet ( $Q_{fiz}$ ) a textúraminősítő ( $q_{text}$ ) és a topográfiai viszonyszám ( $q_{topo}$ ) szorzataként fejeztem ki. A  $q_{text}$  és  $q_{topo}$  értékek önmagukban nem értékelhetők, csak a szorzatukként kapott fizikai talajalkalmassági index ( $Q_{fiz}$ ).

A homogén talajfoltok  $Q_{fiz}$  értékei 0,318-1,000 között alakulnak, és területi eloszlását tekintve (9. táblázat) szolonyecesedéssel érintett és réti talajokon a legkisebbek. Az index értéke alapján a víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságok a vizsgált terület jelentős részén, beleértve a szánóterületeket is, mérsékelten és közepesen korlátozók.



**9. táblázat.** A fizikai indikátorok nemlineáris interpretálása (fizikai talajalkalmasság index,  $Q_{fiz}$ )**4.4.3. A tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok interpretálása és a termékenységi index**

A tápanyag-gazdálkodási paraméterek közül előzetesen csak a Hargitai-N-t zártam ki a nemlineáris értékelésből, ugyanis ennek a varianciája a legkisebb a területen, és a főkomponensanalízisben is nagyon csekély szerepet játszott. A lineáris értékelés alapján a felvehető foszfor és kálium nem bizonyult termést meghatározó tényezőnek, de a

humusztartalom igen. Ennek ellenére mind a három indikátort megtartottam, hiszen közöttük a korreláció gyenge, ill. egyik tápelem sem helyettesíti a másikat, ill a változók varianciája elég nagy a területen.

A mintaterületen termesztett növények mindegyike tápanyagigényes, a tápanyagokban és humuszban gazdag talajokat kedveli (FÜLEKY 1999a; BOCZ, 1996;), tápanyag-reakciójukban azonban jelentős különbségek vannak, ahogy azt az országos műtrágyázási tartamkísérletek is bizonyítják (NÉMET, 2006; DEBRECZENINÉ és NÉMETH, 2009). A talajok tápanyagszolgáltató képességének értékelése azért is nagy körültekintést igényel, mert a talaj termékenységét a tápanyagdinamika szabja meg, és nem a tápanyagtartalom. Ezért figyelembe vettem a tápanyagok felvehetőségét befolyásoló fizikai és kémiai tulajdonságokat is (SARKADI et al., 1987; CSATHÓ, 2002). A foszfor értékelésénél az erősen talajtulajdonságfüggő, AL kivonószerezrel mért  $P_2O_5$  tartalmakat SARKADI és mtsai (1987) által kidolgozott és CSATHÓ (2002) által módosított korrekciós modell (B változat) alapján egy standard talajtulajdonság-sorra transzformáltam át ( $K_A$ : 37;  $CaCO_3$ : 1%; pH-KCl: 7,0), kiküszöbölve az eltérő kötöttség, kémhatás és mésztartalom torzító hatását (10. táblázat). A káliumnál leginkább a talaj textúrája befolyásolja a tápanyag-dinamikát, ezért az AL- $K_2O$  értékek esetében a MÉM-NAK I., II. és V. termőhelyi kategóriákra és Arany-féle kötöttségi számokra vonatkozó ellátottsági határértékeinek (BUZÁS et al. 1979) figyelembevételével korrekciót végeztem. A humusztartalom értékét nem tartottam indokoltnak korrigálni, hiszen az említett termőhelyi kategóriákban túl nagy eltérés nincs a kötöttség szerint.

A humusztartalom és a korrigált tápanyagtartalom nemlineáris interpretálásához CSATHÓ (1997; 2003a, 2003b; 2003c; 2003d; 2003e; 2003f; 2005a; 2005b) által megadott egyenleteket használtam, aki az 1960 és 2000 közötti szabadföldi műtrágyázási tartamkísérletek adatbázisán kísérlete meg a kontrollparcellák humusz- és tápanyagtartalma (AL- $K_2O$  és korrigált AL- $P_2O_5$ ) ill. a relatív termésben, ill. a terméstöbbletben kifejezett tápanyaghatások közötti összefüggéseket jellemezni az őszi búza, a kukorica és a lucerna esetében. A különböző növényekre megadott telítődési függvények közül mindig a „szigorúbbat” választottam ki (10. táblázat). A humusztartalom értékelésénél a 0-60 cm-es réteg átlagát vettem figyelembe, hogy a humuszos réteg vastagsága is kifejeződjön, ill. a gyökérzet legnagyobb része ebben a zónában helyezkedik el.

**10. táblázat.** A tápanyag-gazdálkodási indikátorok nemlineáris interpretálása (termékenységi index,  $Q_{term}$ )

Szántó parcellák (1-28)  
 0,000  
 1,000

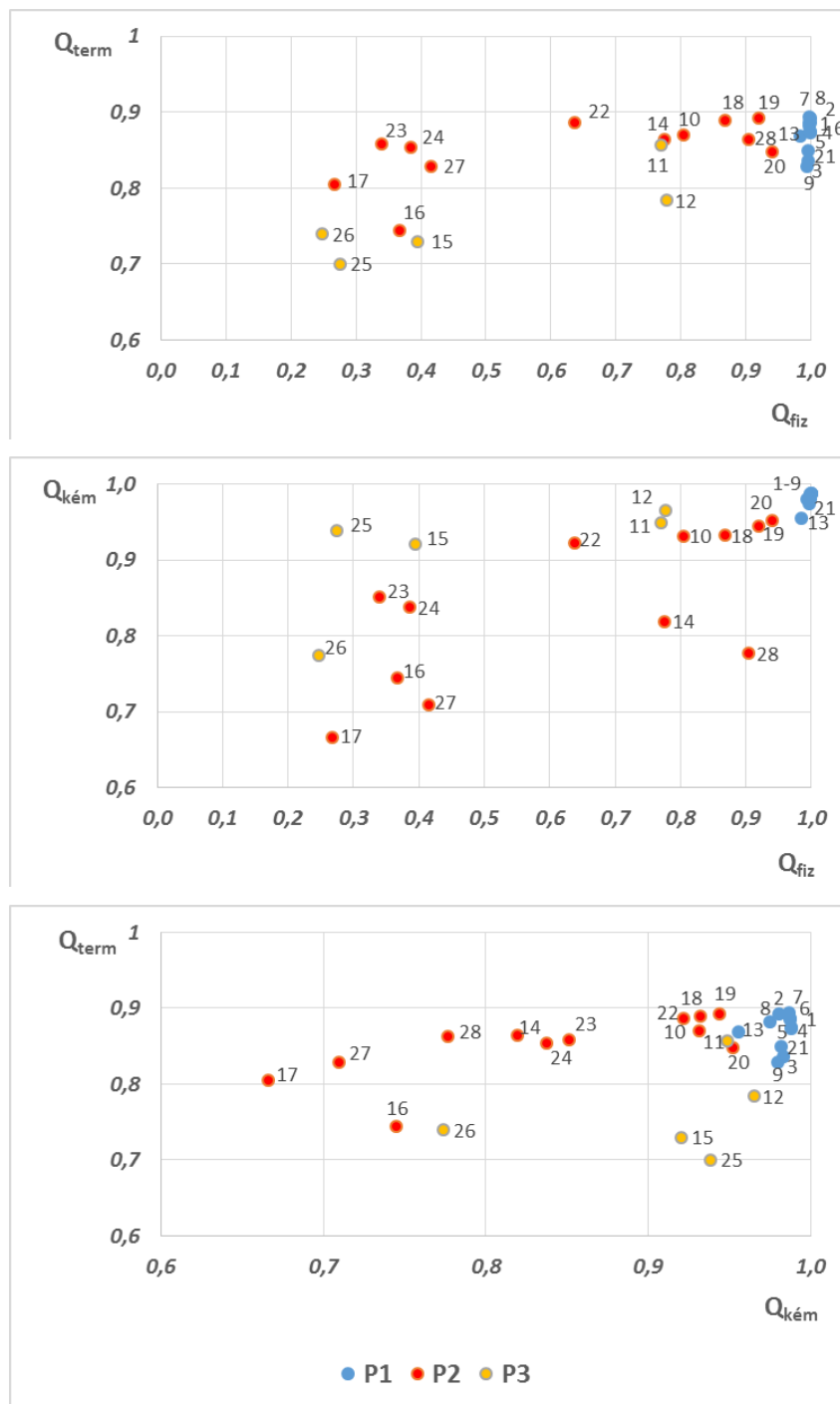
$q_{humusz}$		
$q_{humusz} = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot W_i)$ $y_i = 1 - 10^{-0,2913 \cdot x_i}$ (CSATHÓ 2003a; 2003b; 2003c) vizsgált réteg: 0-60 cm		$q_{humusz}$ min=0,627; max=0,916
$q_{P205}$		
AL- $P_2O_5$ korrekció pH-KCl: 7; $CaCO_3$ : 1%; $K_A$ : 37 paraméterekre (SARKADI et al 1987; CSATHÓ 2002): $korrrP_2O_5 = P \cdot \left[ \frac{K^{-0,28} \cdot (M + 0,22)^{-0,15} \cdot H^{0,25}}{37^{-0,28} \cdot (1 + 0,22)^{-0,15} \cdot 7^{0,25}} \right]^{\frac{1}{0,6}}$ P: AL- $P_2O_5$ (mg/kg); K: Arany-féle kötöttségi szám; M: $CaCO_3$ (m/m %); H: pH-KCl		
$q_{P205} = 1 - 10^{-0,0141 \cdot x}$ (CSATHÓ 2003d; 2003e; 2003f) vizsgált réteg: 0-30 cm		$q_{P205}$ min=0,870; max=1,000
$q_{K20}$		
AL- $K_2O$ korrekció <0,02 mm = 45% paraméterre: $x = a \cdot [-0,0009 \cdot (b - 45)^2 + 0,0017]$ a: AL- $K_2O$ (mg/kg); b: <0,02 mm szemcsefrakció (m/m %)		
$q_{K20} = 1 - 10^{-0,0083 \cdot x}$ (CSATHÓ 1997;2005a; 2005b) vizsgált réteg: 0-30 cm		$q_{K20}$ min=0,953; max=0,999
$Q_{term} = q_{humusz}$		

A felvethető foszfor- és káliumtartalmak nemlineáris interpretálása után a minősítők legkisebb értéke is 0,870 lett, következésképpen ezek a tápanyagok nem valószínű, hogy számottevő korlátozó tényezőt jelentenek (10. táblázat). A talajalkalmasság értékelésében a jelenlegi tápanyag-ellátottsági szinteken nem feltétlenül kell szerepeltetni az AL- $P_2O_5$  és AL- $K_2O$  indikátorokat. Azonban a  $q_{humusz}$  értékek (0,627-0,916) alapján a humusztartalom bizonyos területeken mérsékelt korlátozó tényező lehet. A tápanyag-gazdálkodási tulajdonságokat kifejező termékenység indexként ( $Q_{term}$ ) a továbbiakban a legnagyobb varianciájú és legkisebb értékeket felvevő  $q_{humusz}$  értéket használtam.

#### 4.4.4. A talajalkalmassági indexek alakulása a produktivitási osztályokban

A P1 produktivitási osztály mindhárom talajalkalmassági index alapján jól elkülönül a többi osztálytól (15. ábra),  $Q_{fiz}$ ,  $Q_{kém}$  és  $Q_{term}$  index értékei egyaránt 0,8 fölött vannak (nem korlátozó). A P2 és P3 produktivitási osztályokba tartozó parcellák közötti különbségek azonban nem ilyen egyértelműek. A legkisebb  $Q_{term}$  index értékek a P3 osztályban találhatók, és ez alapján a P1 osztálytól jól elkülönülnek. A talajfizikai kockázatokat kifejező  $Q_{fiz}$  index értékek a P2 és P3 osztályban igen változóak, az erősen korlátozótól a nem korlátozóig terjednek. A legkisebb  $Q_{kém}$  értékek a P2 osztályban találhatók, de azok is legfeljebb mérsékelt korlátozót tényezőt jelentenek.

A főkomponensekhez hasonlóan jól mutatják a talajalkalmassági viszonzszámok is, hogy a legnagyobb terméshozamú és termésbiztonságú parcellák azokon a talajokon találhatóak, amelyek a legkisebb fizikai és kémiai kockázatot jelentenek a növények számára, és nagy humusztartalommal rendelkeznek. Közepes terméshozam és termésbiztonság változó talajviszonyok mellett elérhető, de vélhetően feltétele a legalább közepes humusztartalom ( $Q_{term}$ ). A P3 produktivitási osztály jellemezhető a legkisebb  $Q_{term}$  értékekkel (közepesen korlátozó), és a fizikai fizikai tulajdonságok jelentős korlátozó tényezőt jelentenek.



**15. ábra.** A parcellák (1-28) és produktivitási osztályok (P1, P2, P3) talajalkalmassági indexei ( $Q_{fiz}$ ,  $Q_{kém}$ ,  $Q_{term}$ ): 0,8-1: nem korlátozó; 0,6-0,8: mérsékelten korlátozó; 0,4-0,6 közepesen korlátozó; 0,2-0,4; erősen korlátozó; 0-0,2: szántó művelésre nem alkalmas.

#### 4.5. A lineáris talajminőség- és a nemlineáris talajalkalmassági indexek összehasonlítása

A főkomponens analízissel kapott lineáris talajminőség indexek (PC) általános talajtani kockázatot fejeznek ki egy relatív skálán. Olyan komplex indikátoroknak tekinthetők, amelyek értékeiben az erősen korreláló indikátorok csoportjai jutnak kifejezésre. Összetettségükénél fogva ezen indexek interpretálása nagy körültekintést igényel.

A lineáris vizsgálatok tapasztalatai alapján kiválogatott, és szakértői becslés alapján nemlineárisan interpretált változókból képzett talajalkalmassági indexek (*Q*) kifejezetten a termesztett növények talajigényének és a talajtulajdonságoknak a viszonyát fejezik ki egy relatív skálán. Ebben az esetben az indikátorok kiválasztása és nemlineáris interpretálása igényel nagy körültekintést.

Lényeges tartalmi különbség, hogy a nemlineáris talajalkalmassági indexekkel a fizikai, kémiai tulajdonságok és a humusztartalomban mutatkozó különbségek jobban kifejeződnek, ill. elkülöníthetők, mint a nemlineáris indexekkel. A lineáris indexek közül a PC3 tartalmazza a felvehető foszfor- és káliumtartalmakat, amelyek a nemlineáris értékelésből kikerültek. Ez az összehasonlítás során figyelembe kell venni.

A két tartalmilag és módszertanilag is különböző indextípust az alapján célszerű összehasonlítani, hogy azok együtt hogyan magyarázzák a produktivitási osztályokat és produktivitási indexeket, valamint segítségükkel mennyire interpretálható, milyen tartalmú talajtulajdonság-kombinációkat lehet lehatárolni. A három-három index integrálását egy értékszámra csak ezek után érdemes megtenni, ill. eldönteni.

Először a produktivitási osztályokra diszkriminancia analízist végeztem a három-három talajindexszel, mint független változókkal (*II. táblázat*). A módszer a vizsgált változók dimenzióját lecsökkenti annyira, hogy a csoportok a lehető legjobban elkülönüljenek. Összehasonlítva az eredeti besorolást a diszkrimináns függvény(ek) segítségével történő besorolással megállapítható, hogy a talajindexekből milyen valószínűséggel becsülhető az, hogy egy parcella melyik produktivitási osztályba tartozik (DELARMELINDA et al., 2011). A diszkrimináns függvények együtthatói alapján vizsgálható, hogy melyek a leginkább meghatározó tényezők a csoportosításban. Az analízisbe a változók standardizálva lépnek be. Ez nagyon hasznos, mivel a nemlineáris talajalkalmassági indexek összehasonlíthatósága a módszertanából adódóan nem teljesen bizonyos (attól függ, hogy a mennyire sikerült becsülni a változók közötti funkcionális kapcsolatot és a növények optimumától való eltérést).

**11. táblázat.** A produktivitási osztályokra (függő változó) végzett diszkriminancia analízis eredménye és a modell diagnosztika: a kanonikus korrelációs együttható, a csoportosító változók magyarázott varianciája, a Wilks-féle lambda, a struktúra mátrix (a változók és a diszkriminancia függvény értékei közti Pearson-féle korrelációs együttható mátrix) és az osztályba sorolás eredménye

Csoportosító változók: PC1, PC2, PC3			Csoportosító változók: PC1, PC2			Csoportosító változók: Q <sub>fiz</sub> , Q <sub>kém</sub> , Q <sub>term</sub>					
Kanonikus korreláció			Kanonikus korreláció			Kanonikus korreláció					
Függv.	Variancia, %	Kanon. korr.	Függv.	Variancia, %	Kanon. korr.	Függv.	Variancia, %	Kanon. korr.			
1	80,7	0,921	1	64,9	0,764	1	83,4	0,935			
2	19,3	0,757	2	35,1	0,657	2	16,6	0,763			
Wilks-féle lambda			Wilks-féle lambda			Wilks-féle lambda					
Függv. teszt	Wilks- lambda	Chi <sup>2</sup>	df	Függv. teszt	Wilks- lambda	Chi <sup>2</sup>	df	Függv. teszt	Wilks- lambda	Chi <sup>2</sup>	df
1-2	0,065	65,712*	6	1-2	0,236	35,339*	4	1-2	0,052	70,730*	6
2	0,427	20,409*	2	2	0,568	13,842*	1	2	0,418	20,914*	2
* szign. p<0,001			* szign. p<0,001			* szign. p<0,001					
Struktúra mátrix			Struktúra mátrix			Struktúra mátrix					
	Függvény			Függvény			Függvény				
	1	2		1	2		1	2			
PC1	0,383*	-0,076	PC2	0,904*	0,428	Q <sub>fiz</sub>	0,733*	0,099			
PC3	-0,346*	-0,086	PC1	-0,327	0,945*	Q <sub>kém</sub>	0,299*	0,016			
PC2	-0,004	0,980*				Q <sub>term</sub>	0,234	0,700*			
* szign. p<0,001			* szign. p<0,001			* szign. p<0,001					
Klasszifikáció pontossága: 89,3% (p<0,001)			Klasszifikáció pontossága: 82,1% (p<0,001)			Klasszifikáció pontossága: 92,9% (p<0,001)					

Az eredmények szerint a három lineáris talajminőség index (PC1, PC2, PC3) bevonásával 89,3%-os pontossággal ( $p<0,001$ ) becsülhető a parcellák valamely produktivitási osztályba tartozása (11. táblázat). A főkomponensek közötti sorrend a struktúramátrix értékei alapján az első diszkrimináló függvényben: PC1 (0,383), PC3 (-0,346) és PC2 (-0,004); a második diszkrimináló függvényben: PC2 (0,980), PC3 (-0,086) és PC1 (-0,076). Ez azt jelenti, hogy az első függvény a fizikai-kémiai tulajdonságkombinációk (PC1) és a felvehető foszfor- és káliumtartalom (PC3) alapján szignifikánsan lehatárolja a P1 produktivitási osztályt (ahol a PC1 értékek nagyok, és a PC3 értékek a legkisebbek), majd a második függvény a humusztartalom (PC3) alapján elkülöníti egymástól a P2 és P3 produktivitási osztályokat. A kanonikus korrelációs együtthatók alapján (0,921 és 0,757) az első függvény 87,7%-ban, a második 19,3%-ban magyarázza a független változók varianciáját.

Mivel a  $Q$  talajalkalmassági indexekből hiányzik a felvehető foszfor- és káliumtartalom, a jobb összehasonlíthatóság érdekében a diszkriminancia analízist elvégeztem a PC3 nélkül is. Ebben az esetben a PC1 és PC2 bevonásával 82,1%-os pontossággal ( $p<0,001$ ) becsülhető a parcellák valamely produktivitási osztályba tartozása (11. táblázat). Az első függvényben a PC2

szerepel nagy súllyal (0,904), amely szignifikánsan elkülöníti a P3 produktivitási osztályt. A második függvényben a PC1 index a meghatározó, amely alapján a P1 és P2 produktivitási osztályok választhatók el egymástól. A kanonikus korrelációs együtthatók alapján (0,784 és 0,657) az első függvény 64,9%-ban, a második 35,1%-ban magyarázza a független változók varianciáját.

A parcellák produktivitási osztályokba tartozását tehát a felvehető foszfor- és káliumtartalmak nélkül is jól lehet becsülni, bár a csoportosítás pontosságát a több index bevonása növelheti. A többváltozós lineáris regresszóanalízis alapján a PC3 a terméshozamok relatív szórását nem magyarázta, a relatív termésátlagot pedig éppen negatívan befolyásolta, ami persze a becslés szignifikancia szintjét jelentősen megnövelte. Megerősítést nyert tehát, hogy a felvehető tápanyag-tartalmakban mutatkozó különbségek a terméshozamokra és termésbiztonságra nézve nem jelentenek szignifikáns hatást.

A három nemlineáris talajalkalmassági index ( $Q_{fiz}$ ,  $Q_{kém}$ ,  $Q_{term}$ ) bevonásával 92,9%-os pontossággal ( $p < 0,001$ ) becsülhető a parcellák valamely produktivitási osztályba tartozása (11. táblázat). Az indexek közötti sorrend a struktúramátrix (Pearson-féle korrelációs együttható mátrix) értékei alapján az első diszkrimináló függvényben:  $Q_{fiz}$  (0,733),  $Q_{kém}$  (0,299) és  $Q_{term}$  (0,234); a második diszkrimináló függvényben:  $Q_{term}$  (0,700),  $Q_{fiz}$  (0,099) és  $Q_{kém}$  (0,016). Az első függvény tehát a fizikai és kémiai alkalmasság alapján szignifikánsan lehatárolja a P1 produktivitási osztályt, majd a második függvény a humusztartalom alapján elkülöníti egymástól a P2 és P3 osztályokat. A kanonikus korrelációs együtthatók alapján (0,935 és 0,763) az első függvény 83,4%-ban, a második 16,6%-ban magyarázza a független változók varianciáját.

A csoportba sorolás a nemlineáris talajalkalmassági indexekkel bizonyult a legpontosabbnak, bár a különbség nem számottevő. Azonban a talajalkalmassági indexek segítségével a fizikai és kémiai tulajdonságok szerepe jobban elkülönül, és mivel standardizálva léptek be a diszkriminancia analízisbe, a csoportosító erejük is összehasonlítható. A lineáris talajminőség indexekből nem derül ki, de a nemlineáris talajalkalmassági indexekből igen, hogy a talaj fizikai tulajdonságai sokkal jelentősebb korlátozó tényezőt jelentenek, mint a kémiai tulajdonságok.

A talajindexek és az átlagos relatív termés és relatív szórás közötti lineáris kapcsolat (Pearson-féle korrelációs együtthatók) vizsgálata alapján azonban jelentős különbségek vannak (12. táblázat). A PC indexek közül nem mindegyik van szignifikáns kapcsolatban a várható teréssel és termésbiztonsággal, azok is inkább közepes korrelációt mutatnak. Érdekes, hogy a fizikai és kémiai tulajdonságokat integráló PC1 Pearson-féle korrelációs együtthatója nem mutat szignifikáns kapcsolatot ( $p < 0,05$ ) sem az átlagos relatív termékkel, sem a termések relatív szórásával. A nemlineáris  $Q$  értékek mindegyike közepes vagy erős korrelációt mutat a termés mutatókkal, és az együtthatók előjelei szerint is jól interpretálhatók a talajalkalmassági



értékszámok. Fontos különbség továbbá, hogy a PC értékek önmagukban nem, de együtt már szignifikánsan magyarázzák a várható termést és termésbiztonságot, ezt a főkomponensekkel végzett lépésenkénti többváltozós regresszióanalízis támasztotta alá. Ezzel szemben a  $Q$  indexekkel a többváltozós regresszióanalízis nem működött (ezért nem is közöltem az eredményét), ellenben önmagukban igen jól korrelálnak a produktivitási indexekkel.

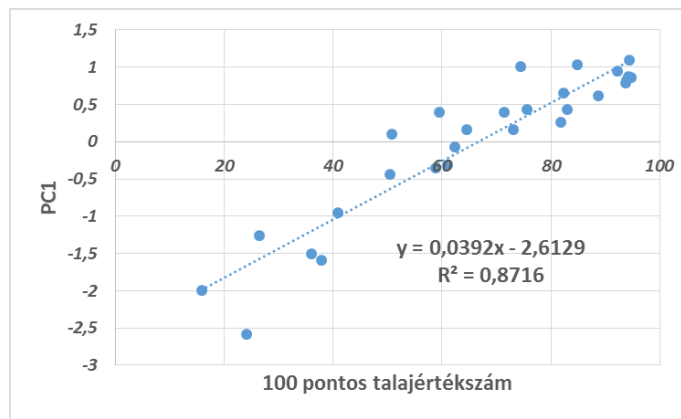
**12. táblázat.** A lineáris talajminőség indexek (PC1, PC2, PC3), a nemlineáris talajalkalmassági indexek ( $Q_{\text{fiz}}$ ,  $Q_{\text{kém}}$ ,  $Q_{\text{term}}$ ) és integrált értékeik, valamint az átlagos relatív termés ( $\overline{RY_p}$ ), a termés relatív szórása ( $CV(RY_p)$ ), a 100 pontos talajértékszám (100 p.) és az aranykorona értékek (AK/ha) közötti Pearson-féle lineáris korrelációs együttható mátrixa

	$\overline{RY_p}$	$CV(RY_p)$	PC1	PC2	PC3	$\Sigma PC_{1-3}$	$\Sigma PC_{1-2}$	$Q_{\text{kém}}$	$Q_{\text{fiz}}$	$Q_{\text{term}}$	$\Sigma Q$	100 p.	AK/ha
$\overline{RY_p}$	1	-,594**	,371	,474*	-,412*	,250	,597**	,486**	,678**	,533**	,636**	,587**	,749**
$CV(RY_p)$	-,594**	1	-,372	-,551**	,195	-,420*	-,652**	-,540**	-,629**	-,726**	-,655**	-,549**	-,470*
PC1	,371	-,372	1	,000	,000	,577**	,707**	,889**	,806**	,347	,831**	,934**	,702**
PC2	,474*	-,551**	,000	1	,000	,577**	,707**	,428*	,370	,858**	,485**	,241	,268
PC3	-,412*	,195	,000	,000	1	,577**	,000	-,022	-,353	-,086	-,220	-,205	-,465*
$\Sigma PC_{1-3}$	,250	-,420*	,577**	,577**	,577**	1	,816**	,748**	,475*	,646**	,633**	,560**	,292
$\Sigma PC_{1-2}$	,597**	-,652**	,707**	,707**	,000	,816**	1	,931**	,832**	,852**	,931**	,831**	,687**
$Q_{\text{kém}}$	,486**	-,540**	,889**	,428*	-,022	,748**	,931**	1	,860**	,671**	,947**	,924**	,704**
$Q_{\text{fiz}}$	,678**	-,629**	,806**	,370	-,353	,475*	,832**	,860**	1	,634**	,970**	,925**	,871**
$Q_{\text{term}}$	,533**	-,726**	,347	,858**	-,086	,646**	,852**	,671**	,634**	1	,744**	,544**	,484**
$\Sigma Q$	,636**	-,655**	,831**	,485**	-,220	,633**	,931**	,947**	,970**	,744**	1	,938**	,819**
100 p.	,587**	-,549**	,934**	,241	-,205	,560**	,831**	,924**	,925**	,544**	,938**	1	,849**
AK/ha	,749**	-,470*	,702**	,268	-,465*	,292	,687**	,704**	,871**	,484**	,819**	,849**	1

\*\* szignifikáns  $p < 0,01$ ; \* szignifikáns  $p < 0,05$

A  $Q$  talajalkalmassági indexek összeadhatók, integrálhatók egy additív indexbe, melynek eredményeképpen a lineáris korreláció a várható terméssel és termésbiztonsággal megmarad (12. táblázat). A lineáris PC indexek összegezve nem magyarázzák jobban a termékenységet, azonban a PC1 és PC2 összege már sokkal erősebb korrelációt mutat. A  $Q$  indexek önmagukban és összegezve is, a PC indexek pedig összegezve erősebben korrelálnak az átlagos relatív terméssel és szórással, mint a 100 pontos talajértékszám, de az együtthatók az aranykorona értékénél kisebbek.

További különbség, hogy míg a lineáris PC indexek közül csak a PC1, addig a nemlineáris  $Q$  indexek mindegyike erősen korrelál a 100 pontos talajértékszámmal. A főkomponens analízissel tulajdonképpen a fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságokat integráló olyan indexet lehet kapni, amely a 100 pontos talajértékszámmal megegyező információt nyújt az általános termékenységről. Mindegyikre igaz, hogy a kémiai tulajdonságokat, a szikesedést a jelentőségükhöz képest túldimenzionálják.



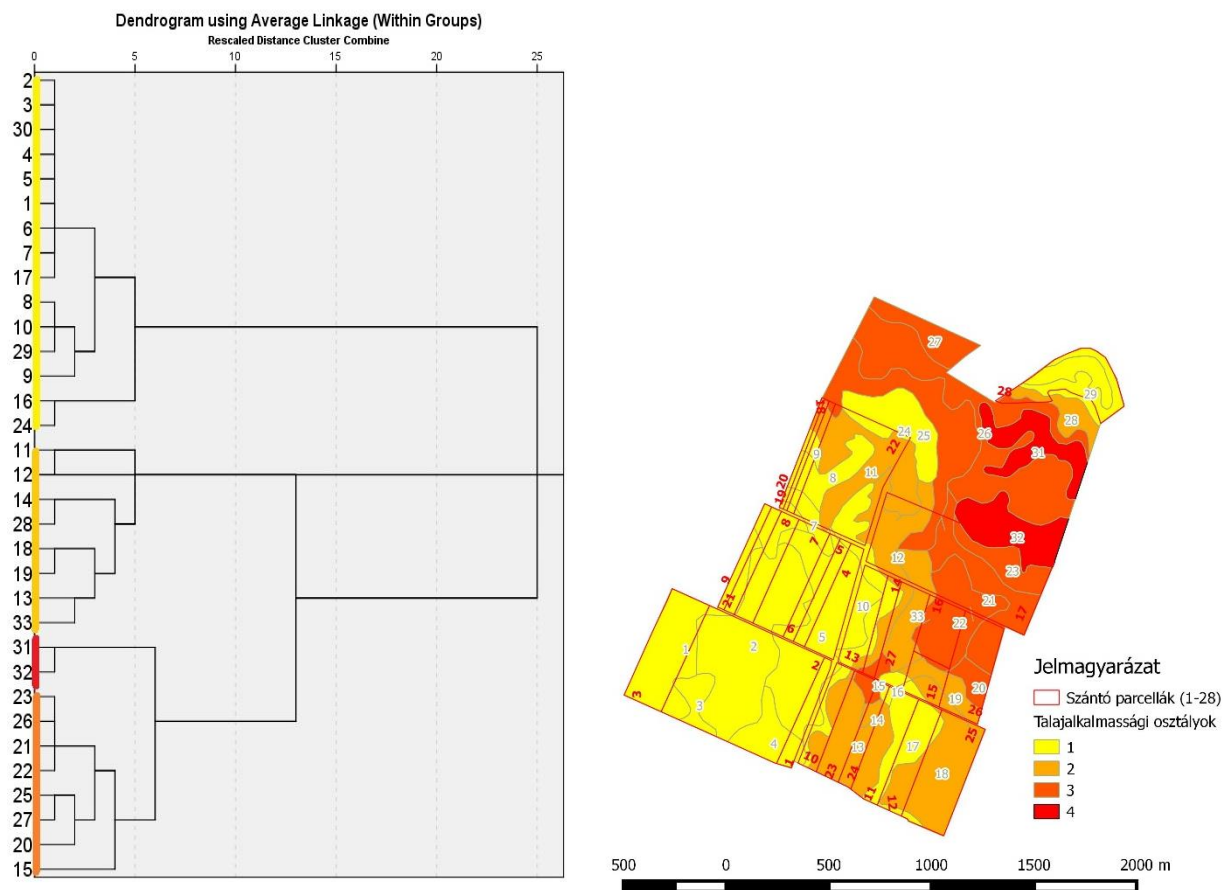
**16. ábra.** A 100 pontos talajértékszám és a főkomponens analízissel kapott PC1 lineáris talajminőség index közötti lineáris kapcsolat a parcellákra vonatkozó értékek alapján

#### 4.6. A mezőgazdasági talajalkalmassági osztályok

Mivel a nemlineáris talajalkalmassági indexek valamivel jobban magyarázzák a terméseredményeket, ill. sokkal informatívabbak, mint a lineárisak, ezek alapján készítettem el a mintaterület agronómiai talajalkalmassági térképét. A hierarchikus klaszteranalízis a homogén talajfoltokat a talajalkalmassági indexek ( $Q_{fiz}$ ,  $Q_{kém}$ ,  $Q_{term}$ ) alapján négy jól elkülönülő csoportra osztotta (17. ábra). Az így kapott talajalkalmassági osztályok az agroökológiailag többé-kevésbé homogén talajfoltokat jelentik. Az osztályok legfontosabb talajtani indikátorairól és talajalkalmassági indexeiről a 13. táblázat ad áttekintést.

**13. táblázat.** A mezőgazdasági talajalkalmassági osztályok jellemzői

	Talajalkalmassági osztályok			
	1	2	3	4
pH- H <sub>2</sub> O	8,05-8,86	8,17-8,79	8,87-9,31	9,07-9,26
pH-KCl	7,09-7,76	7,25-7,82	7,76-7,96	7,97-8,01
Vízoldható só, 0-100 cm (%)	0,05-0,13	0,06-0,22	0,12-0,30	0,51-0,54
$Q_{kém}$	0,662-0,947	0,570-0,927	0,307-0,558	0,108-0,147
Leiszapolható rész, 0-100 cm (%)	27,42-54,77	44,66-69,69	56,48-69,69	67,71-69,86
Topográfiai helyzet (m)	87,47-88,99	87,02-87,52	86,95-87,39	87,00-87,10
$Q_{fiz}$	0,659-1,000	0,406-0,573	0,318-0,579	0,344-0,376
Humusz, 0-100 cm (%)	2,22-3,30	1,39-2,84	1,49-2,30	1,09-1,55
Humusz, 0-20 cm (%)	3,43-5,71	2,23-3,49	2,39-3,49	2,19-2,74
$Q_{term}$	0,828-0,916	0,692-0,887	0,723-0,827	0,627-0,716
$\Sigma Q$	0,750-0,942	0,622-0,774	0,482-0,586	0,370-0,402
100 pontos talajértékszám	34-100	24-60	15-30	8
Átlagos relatív termés	0,71-0,89	0,46-0,63	0,39-0,66	legelő
Termés relatív szórása	6,49-25,71	28,38-62,18	25,50-74,07	



**17. ábra.** A nemlineáris talajalkalmassági indexek hierarchikus kalaszteranalízisével kialakított mezőgazdasági talajalkalmassági osztályok

Az 1. osztályba tartoznak a karbonátos réti csernozjom, csernozjom réti talajok, mélyben sós csernozjom réti és szolonyeces csernozjom réti talajok (100 pontos talajértékszámuk: 34-100). Kémhatásuk általában gyengén-közepesen lúgos, a karbonátok megjelenési mélysége változó, de leggyakrabban 0-40 cm, sófelhalmozódás és szolonyecsedés legfeljebb 50 cm mélység alatt jellemző. A művelt réteg általában vályog textúrájú, az alatt helyenként már agyagos vályogot találunk. Mély humuszos rétegűek, a felszínen a humusztartalom 3,43% feletti. Topográfiai fekvésükből (>87,5 m) adódóan szélsőséges vízháztartási helyzetek nem jellemzőek. Kémiai tulajdonságai nem, vagy legfeljebb mérsékelten korlátozóak, vízgazdálkodási és tápanyag-gazdálkodási tulajdonságaik nem jelentenek korlátozó tényezőt a növénytermesztés számára. Az ezeken a területeken található szántóföldi parcellák átlagos relatív termése a legnagyobb, 0,71-0,89, a terméshozamok szórása pedig a legkisebb, 6,49-25,71%.

Az 1. osztályba tartozó parcellákon gyakorlatilag bármilyen szántóföldi kultúra termesztendő. A legigényesebb növényeket érdemes ezekre a területekre tervezni, különösen a kukoricát. A vetésszerkezet itt gyakran a kukorica-búza vetésváltásban merül ki, amelyet az értékesítési lehetőségeknek megfelelően célszerű lenne változatosabbá tenni (pl. zöldborsó, burgonya, napraforgó, őszi káposztarepce, olajtök). Véleményem szerint a talajtani és klimatikus

adottságok mellett a jelenlegi termésszintektől sokkal jobb eredmények is elérhetőek lennének. Ehhez azonban az extenzív, és főként a nitrogénre korlátozódó műtrágyázási gyakorlatról egy intenzívebb, a foszfor és a kálium visszapótlására is kiterjedő tápanyag-gazdálkodási rendszerre kellene áttérni. A talajban mért AL-P2O5 értékek még nem korlátozóak, de a legtöbb helyen jóval alatta vannak a megfelelő ellátottsági szintet jelentő 130 mg/kg értéknek, ezért fokozatos tápanyag-feltöltésre lenne szükség.

A 2. osztályba sorolta a klaszter analízis az alacsonyabb térszíneken lévő (<87,5 m) talajok közül a karbonátos réti talajokat, és részben a mélyben sós/szolonyeces réti és szolonyeces réti talajokat (100 pontos talajértékszámuk: 30-60). Ezek közepesen lúgosak, 50 cm alatt gyengén sósak, szolonyecesek, de a kémiai tulajdonságok legfeljebb közepes vagy mérsékelt korlátozó tényezőt jelentenek. A karbonátok többnyire 40 cm-en belül megjelennek, 10% fölötti értékük okozza a nem szikes talajok lúgosabb pH-ját. A topográfiai helyzet és a művelt réteg alatti agyagos vályog textúra miatt a vízgazdálkodási tulajdonságaik kedvezőtlenek, emiatt gyakori a belvíz kialakulása. A humusztartalom helyenként 3% alatt van, és a humuszos réteg vastagsága 30-60 cm, ami mérsékelt korlátozó tényezőt jelenthetnek. Az itt található parcellák átlagos relatív termése szignifikánsan kisebb, mint az 1. osztályban, 0,46-0,63, a terméshozamok szórása pedig nagyon változó, 28,38-62,18%.

Bár kisebb eredménnyel, de megfelelő évjáratban ezek is alkalmasak szántóföldi művelésre. A lúgosabb kémhatású és kisebb humuszos rétegű területeken azonban megfontolandó, hogy a hagyományos szántóföldi kultúrák helyett valamilyen alternatív földhasznosítási módot kellene választani (pl. fás szárú energianövény).

A 3. osztályban jellemzően erősen szolonyeces réti talajok vannak (100 pontos talajértékszámuk: 15-30), amelyek a 2. osztályhoz hasonlóan kedvezőtlen vízgazdálkodásúak. Ez még a néhány cm-rel kiemeltebb térszínekre is igaz, hiszen a művelt réteg alatt szinte közvetlenül agyagot találunk. A szolonyecesedés megjelenési mélysége 25-50 cm, ami rontja a vízgazdálkodási tulajdonságokat, de a sófelhalmozódás mértéke nem jelent komolyabb kockázatot, a kémhatás azonban közepesen korlátozó, amit a mészhányában egyértelműen a szikesedés okoz. A humuszos réteg vastagsága általában 60-80 cm, a művelt réteg humusztartalma 2,4-3,53% közötti, ami nem jelent korlátozó tényezőt a növénytermesztés számára, bár szignifikánsan kisebb, mint az 1. osztályba tartozó területeken. Az ezeken a területeken található parcellák átlagos relatív termése a 2. osztályéhoz hasonló, 0,39-0,66, a terméshozamok szórása pedig 25,50-74,07% közötti.

Kisebbs eredménnyel, de megfelelő évjáratban ezek is alkalmasak szántóföldi művelésre. Azonban ezeken a területeken speciálisabb termesztéstechnológia szükséges. A felszíni vízborítás kialakulását a művelt réteg alatt szinte közvetlenül következő szolonyeces, de mélyen

humuszos agyag is elősegíti. A mélyebb rétegek kedvezőtlenebb kémiai tulajdonságai miatt a forgatás maximális mélysége 30 cm lehet, a vízvezetési és levegőgazdálkodási tulajdonságokat gyakori középmezőny lazítással lehet javítani. A szolonyecsedés miatt a műveléshez szükséges optimális talajnedvesség tartomány eléggé szűk, de a jelenlegi földhasználók elég jól alkalmazkodnak az adottságokhoz. A tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok nem korlátozóak, így extenzívebb szántóföldi művelésre alkalmasak. A vizenyős, tavasszal nehezebben felmelegedő, gyakran tömődött, agyagos textúra és a szolonyecesség miatt az olajtök, az őszi káposztarepce és a kukorica termesztésére nem a legmegfelelőbb, de szárazabb évjáratokban ezek is megfelelő termést adhatnak.

A 4. csoportba kerültek a réti szolonyec talajok (100 pontos talajértékszámuk: 8), amelynek 25 cm-nél vékonyabb a nem szikes legfelső genetikai szintje. A sófelhalmozódás a mintaterületen egyedül itt jelent erősen korlátozó tényezőt, amelynek hatására a kémhatás is a mélyebb rétegekben erősen lúgos. A karbonátok 50-60 cm-nél mélyebben jelennek meg. A felszíni agyagos vályog textúra alatt agyag és nehéz agyag található, amely a szolonyecességgel együtt igen korlátozott víznyelő és vízvezető képességet hoz létre. A kémiai és fizikai tulajdonságok mind erős korlátozó tényezőt jelentenek a növénytermesztés számára, így szántóföldi művelésre nem alkalmasak. Jelenleg a teljes területe legelő művelési ágban van.

#### 4.7. Új tudományos eredmények

1. Egy Nagy-sárréti mezőgazdasági területen felmértem a szántóföldi növénytermesztés szempontjából releváns talajtulajdonságokat, és elkészítettem a terület genetikai talajtérképét és leíró kartogramjait.
2. A várható terméshozamok és termésbiztonság jellemzésére kidolgoztam egy értékelési rendszert, amely összehasonlíthatóvá teszi a terméshozamokat a vetésforgók, növényi sorrend valamint az évjáráthatásokban mutatkozó különbségek standardizálásával.
3. Megállapítottam, hogy a vizsgált területen az aranykorona értékek és a várható terméshozamok között szoros lineáris kapcsolat van ( $R^2=0,561$ ;  $p<0,001$ ), ami a jelenlegi ökonómiai földértékelési rendszer relevanciáját támasztja alá.
4. Megállapítottam, hogy a vizsgált területen a 100 pontos talajértékszám kapcsolata a várható terméshozammal és termésbiztonsággal gyenge. Ennek oka, hogy a genetikai talajosztályozáson alapuló talajminősítési rendszer a szikesedésnek, a kémiai tulajdonságoknak a vizsgált szántóföldi kultúrák igényéhez képest nagyobb jelentőséget tulajdonít.
5. Főkomponens analízissel olyan mérhető talajtani indikátorokból felépülő lineáris talajminőség indexeket hoztam létre, amelyek egy relatív skálán fejezik ki a növénytermesztés potenciális talajtani kockázatait. A fizikai és kémiai indikátorok lineáris kombinációjával kapott index (főkomponens) a 100 pontos talajértékszámmal azonos információt nyújt a talajminőségről.
6. Megállapítottam, hogy a speciális térbeli varianciájuk és kombinációik miatt a talajtani változók önmagukban nem, de lineáris kombinációikban jól magyarázzák a várható terméseredényeket és termésbiztonságot a vizsgált területen. Ezen összefüggések vizsgálatának megfelelő statisztikai módszere a főkomponensekkel végzett többváltozós lineáris regresszióanalízis.
7. Mérhető talajtani indikátorokból felépülő nemlineáris matematikai talajminősítési módszert dolgoztam ki (talajalkalmassági index), amely kifejezi, hogy a földhasználat

eredményességét mely talajtani tulajdonságok milyen mértéktől és milyen súllyal határozzák meg. A kapott talajalkalmassági index egy relatív skálán fejezi ki a növénytermesztésre való alkalmasságot, és a vizsgált területen jobban magyarázza a várható termést és termésbiztonságot, mint a lineáris indexek és a 100 pontos talajértékszám.

8. A lineáris és nemlineáris indexek segítségével a vizsgált területen azonosítottam a szántóföldi növénytermesztés fontosabb korlátozó tényezőit és azok jelentőségét, valamint meghatároztam a talaj agrökológiai értékeléséhez minimálisan szükséges indikátorok körét. A nemlineáris indexek alapján elkészítettem a terület mezőgazdasági talajalkalmassági térképét.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

Megfelelő matematikai statisztikai módszerekkel és azok eredményeinek helyes interpretálásával lehetséges egyszerű paraméterekből felépített talajminősítési rendszert alkotni. A talajtulajdonságok közötti bonyolult interkorreláció megnehezíti az egyszerű indítákorok helyes interpretálását, azokat mindig a többi talajtani paraméter, a külső környezeti tényezők és a hasznosítási cél (növény igénye) függvényében lehet értelmezni. Az egyszerű paramétereken alapuló termőhelyi értékelés és földminősítés hátránya, hogy nagy körültekintést és szaktudást igényelnek. Azonban a genetikus talajrendszertanra alapozott talajminősítési módszerhez képest jobban alkalmasak a termést leginkább meghatározó korlátozó tényezők meghatározásához, a talaj-termés kapcsolatrendszer megértéséhez, így szolgáltatva információt a talajtani adottságokhoz alkalmazkodó vetésszerkezet és agrotechnika kialakításához.

A speciális térbeli varianciájuk és kombinációik miatt a talajtani változók jelentősége a várható terméshozamok és termésbiztonság alakításában önmagukban lineárisan nem, vagy nehezen értékelhetők. Az egyváltozós lineáris vizsgálatok könnyen vezetnek helytelen következtetésre, de segítenek a változók viselkedésének és a közöttük lévő kapcsolatrendszer megismerésében. Az egyszerű indikátorok lineáris kombinációikban magyarázzák a várható terméseredényeket és termésbiztonságot. A talajtulajdonság-kombinációk matematikai megfogalmazására alkalmas módszer a főkomponens analízis (PCA), amely a változók lineáris korrelációja alapján azoknak olyan lineáris kombinációit állítja elő, amelyek már nem korrelálnak. Előnye a PCA-nak, hogy nagyszámú indikátort be lehet vonni a vizsgálatba (nem kell előzetesen szubjektíven válogatni közöttük), azokkal hatékony adatredukciót hajt végre úgy, hogy akár a változók varianciájának nagy %-át megőrzi. A főkomponens analízissel ugyan veszítünk valamennyi varianciát, de ellentétben a faktoranalízissel, itt a megmaradt magyarázott variancia nemcsak közös varianciahányad, hanem abban benne van a változók által egyénileg is magyarázott variancia, ami nagyon fontos és jó. Ha a bemenő változókat jelentőségüknek megfelelően lineárisan skálázzuk, és a PCA-t ortogonális forgatással végezzük, akkor a kapott főkomponensek könnyebben interpretálhatók, és lényegében komplex lineáris talajminőség indexként alkalmazhatók. A lineáris talajminőség indexekkel a 100 pontos talajértékszámhoz hasonló információt kapunk, amely a talajok általános fizikai-kémiai kockázatait fejezi ki.

A változók lineáris kombinációjával kialakított indexek segítenek a várható terméshozamokra szignifikáns hatással lévő tulajdonságok azonosításában, a minimálisan szükséges indikátorok kiválasztásában. Azonban a módszer nem visz közelebb annak a kérdésnek a megválaszolásához, hogy a földhasználat eredményességét mely talajtani tulajdonságok milyen mértéktől és milyen súllyal határozzák meg. Ehhez meg kell érteni az



egyszerű paraméterek szerepét, és a szántóföldi növények igényének megfelelően nem lineárisan interpretálni azokat. Az indikátorok nemlineáris transzformációjával kapott értékek sem önmagukban, hanem a többi tulajdonság figyelembevételével értékelhetők. A főbb talajtulajdonságokat jellemző nemlineáris talajalkalmassági indexek jobban magyarázzák a várható termést és a termésbiztonságot, mint a főkomponens analízissel kapott lineáris indexek. A talajalkalmassági indexekből következtetni lehet a földhasználatot leginkább befolyásoló talajtani tényezőkre, azokból klaszteranalízissel agronómiai talajalkalmassági csoportok alkothatók. A mintaterületen a talajalkalmassági indexek alapján lehatárolt kategóriák általában nincsenek összefüggésben a 100 pontos talajértékszámokkal, ebből következően konkrét agronómiai minősítés valóban szükséges a genetikai talajértékek mellé.

A mintaterületen a talajok nagy vízkapacitásának köszönhetően a terméseredményeket az aszályos évjáratok nem érintik nagyon hátrányosan, a túlzottan csapadékos téli félévek azonban egy bizonyos térszín alatt a talaj korlátozott víznyelő és vízvezető képessége miatt jelentősen csökkentik a termésbiztonságot. A topográfiai adottságokhoz, a talaj textúrájához, víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságaihoz a földhasználat kevésbé alkalmazkodik. Holott a mélyebb térszíneken a nehéz textúrával gyakran együtt jár a szolonyecsedés is, ami a szántó területeken a legfontosabb korlátozó tényezőnek tekinthető. A szikesedésnek a teljes skálája megjelenik a területen, azonban a sótartalomhoz a földhasználat jól alkalmazkodik, szántókat nem találunk a szolonyecsedéses talajokon. A szántókon a talaj kémhatása is csak mérsékelt, közepes korlátozó tényezőt jelent. A termékenységet meghatározó paraméterek közül a foszfor és kálium (nagy varianciájuk ellenére) a legkevésbé befolyásolják a várható termést, a humusztartalomnak azonban sokkal nagyobb jelentősége van a termékenység alakításában. A kvantitatív paraméteres talajminősítéshez minimálisan szükséges indikátorok a vizsgált területen: a 0-100 cm réteg pH-ja, leiszapolható része és humusztartalma (de legalább a művelt réteg humusztartalma és a humuszos réteg vastagsága), valamint a topográfiai helyzet.

Összefoglalva, a legfontosabb korlátozó tényezőt a topográfiai helyzetből és szolonyecsedésből adódó kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonság jelenti, ezt követi a humusztartalom. A kémhatáshoz és a sótartalomhoz a gazdálkodás jól alkalmazkodik. Művelési ág változtatás nem feltétlenül szükséges a mintaterületen, mert megfelelő évjáratban a legkedvezőtlenebb adottságú szántó területeken is el lehet érni közepes teréseredményeket. Azonban a növényválasztásban és az agrotechnika alakításában a földhasználatnak jobban kellene alkalmazkodnia a talajtani adottságokhoz. A talajtani heterogenitáshoz igazodó növényválasztásra, vetésforgóra és termesztéstechnológiára lenne szükség a termőhely termelési potenciáljának jobb kihasználásához.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A fenntartható mezőgazdaság feltétele az ökológiai adottságokhoz alkalmazkodó racionális földhasználat kialakítása. Helyi szinten a művelési ágak, vetésforgók és termesztéstechnológiák ökológiai adottságokhoz való helyes megválasztása mélyebb ismeretet igényel a termőhely és a növény kapcsolatáról. Jelenleg azonban nincs olyan korszerű kvantitatív mezőgazdasági talajminősítési rendszerünk, és részletes talajhasznosítási térképi adatbázisunk, ami legalább a termőhelyválasztásban irányadó lenne. Ehhez kapcsolódóan munkám célkitűzése a földhasználat és a talajviszonyok kapcsolatának vizsgálata, és egyszerű mérhető talajtulajdonságokból felépülő kvantitatív termőhelyi értékelési rendszer kialakítása egy Nagy-sárréti mezőgazdasági területen.

A szakirodalom feldolgozása alapján áttekintettem hazai és külföldi a földminősítési és értékelési módszereket, azok talajtani információ-igényét, az indikátorok kiválasztásának és integrálásának szempontjait, módszereit.

A mintaterületen felmértem a szántóföldi növénytermesztés szempontjából releváns talajtulajdonságokat és elkészítettem a terület genetikus talajtérképét és leíró kartogramjait. A talaj 0-100 cm-es rétegében meghatároztam a pH, szénsavas mész, vízdoldható só, vízdoldható és kicserélhető  $\text{Na}^+$ , agyagtartalom, leiszapolható rész, humusztartalom paramétereit. Az eredmények alapján 33 homogén talajfoltot határoltam le, amelyekre meghatároztam a mért indikátoroknak a 0-100 cm-es rétegre vonatkozó átlagát, valamint kiszámítottam a 100 pontos talajértékszámot. A művelt rétegben vizsgáltam a felvehető foszfor, kálium és nitrogén mennyiségét. A topográfiai helyzet és a talajvíz elhelyezkedésének indikátoraként a tengerszint feletti magasságot használtam. A paramétereket kiszámítottam a parcellák területére vetítve is.

Vizsgáltam a terület klimatikus adottságait 30 év hőmérséklet és csapadékadatok alapján. A 2004-2013 közötti évjáratokat két típusba soroltam a Pálfi-féle aszály index segítségével ( $\text{PAI} > 5,0$ : aszályos;  $\text{PAI} < 5,0$ : nem aszályos). A vizsgált 10 éves időszakban 4 aszályos és 2 extrém belvizes év volt. A talajok nagy vízkapacitásának köszönhetően a terméseredményeket az aszályos évjárat nem csökkenti szignifikánsan, a túlzottan csapadékos téli félévek azonban egy bizonyos térszín alatt a talaj korlátozott víznyelő és vízvezető képessége miatt jelentősen csökkentik a termésbiztonságot. A vizsgált területen az aranykorona értékek és a várható terméshozamok között szoros lineáris kapcsolat van ( $R^2=0,561$ ;  $p<0,001$ ), ami a jelenlegi ökonómiai földértékelési rendszer relevanciáját támasztja alá.

A várható terméshozamok és termésbiztonság jellemzésére kidolgoztam egy értékelési rendszert (növényenként a maximális terméshez viszonyított relatív termések átlaga, relatív szórás), amely összehasonlíthatóvá teszi a terméshozamokat a vetésforgók, növényi sorrend valamint az évjáráthatásokban mutakozó különbségek standardizálásával. A parcellákat 3

produktivitási osztályba soroltam: nagy várható terméshozam és termésbiztonság (P1); közepes várható teréshozam és termésbiztonság (P2); alacsony várható terméshozam és termésbiztonság (P3).

Főkomponens analízissel olyan egyszerű talajtani indikátorokból felépülő lineáris talajminőség indexeket hoztam létre, amelyek egy relatív skálán fejezik ki a növénytermesztés potenciális talajtani kockázatait. A fizikai és kémiai indikátorok lineáris kombinációjával kapott index (főkomponens) a 100 pontos talajértékszámmal azonos információt nyújt a talajtermékenységéről. Az egyszerű indikátorokkal végzett egy- és többváltozós regresszióanalízis, valamint a főkomponensekkel végzett többváltozós lineáris regresszióanalízis eredménye alapján megállapítható, hogy a speciális térbeli varianciájuk és kombinációik miatt a talajtani változók önmagukban nem, de lineáris kombinációikban jól magyarázzák a várható terméseredményeket és termésbiztonságot.

Egyszerű talajtani indikátorokból felépülő nemlineáris matematikai talajminősítési módszert dolgoztam ki (talajalkalmassági index), amely kifejezi, hogy a földhasználat eredményességét mely talajtani tulajdonságok milyen mértéktől és milyen súllyal határozzák meg. A kapott talajalkalmassági index jobban magyarázza a terméshozamokat, mint a lineáris indexek és a 100 pontos talajértékszám.

A lineáris és nemlineáris indexek segítségével azonosítottam a szántóföldi növénytermesztés fontosabb korlátozó tényezőit és azok jelentőségét a vizsgált területen, valamint meghatároztam a talaj agroökológiai értékeléséhez minimálisan szükséges indikátorok körét. A legfontosabb korlátozó tényezőt a topográfiai helyzetből és szolonyecsedésből adódó kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonság jelenti, ezt követi a humusztartalom. A kémhatáshoz és a sótartalomhoz a gazdálkodás jól alkalmazkodik, vagyis a szoloncsákos és erősen lúgos kémhatású talajokon szántókat egyáltalán nem találunk, ezek mind legelő művelési ágba vannak. A kvantitatív paraméteres talajminősítéshez minimálisan szükséges indikátorok: a 0-100 cm réteg pH-ja, leiszapolható része és humusztartalma (de legalább a művelt réteg humusztartalma és a humuszos réteg vastagsága), valamint a topográfiai helyzet.

A nemlineáris indexek alapján a területen talajalkalmassági osztályokat határoltam le, melyekre földhasználati javaslatokat fogalmaztam meg. Művelési ág változtatás nem feltétlenül szükséges a mintaterületen, mert megfelelő évjáratban a legkedvezőtlenebb adottságú szántókon is el lehet érni közepes terméseredményeket. Azonban a talajtani heterogenitáshoz igazodó növényválasztásra, vetésforgóra és termesztéstechnológiára lenne szükség a termőhely termelési potenciáljának jobb kihasználásához.

## SUMMARY

A requirement for the sustainable agriculture is the realization of a land use adaptable to ecological conditions. A profound knowledge of the relationship between soil and plant is required for choosing the land use, crop rotation and cultivation practice at local level. However, no quantitative soil quality assessment method or soil suitability map exists which could help with land use planning. The objective of this research is an examination of the relationship between land use and soil condition factors, and the development of quantitative parametric land quality assessment tools relating to a given land in the East Hungarian region.

By means of scientific literature on land evaluation, I summed up the Hungarian and foreign methods of land evaluation and land use planning, and their applied indicators.

I surveyed the soil conditions concerning crop rotation, and mapped the genetic soil types and properties in the research site. Soil pH,  $\text{CaCO}_3$ , soluble salt, soluble and exchangeable sodium, clay and silt content and soil organic matter were analysed at 0-100 cm layer at 20 cm depth increments. The research site was divided into 33 soil units which were characterised by average of properties at 0-100 cm layer, and the 1-to-100 scale of the Hungarian soil quality value system. Available phosphorus, potassium and nitrogen were analysed at 0-30 cm. Topographical position was determined in order to indicate the average depth of groundwater-table. The means of properties were calculated at parcel level as well.

Climatic conditions were characterized by annual precipitation and mean annual temperature of the 10 years studied (2004-2013). The years were separated into two groups according to the Pálfai Drought Index ( $\text{PDI} > 5,0$ : drought;  $\text{PDI} < 5,0$ : no drought). Over the 10 years, there were 4 years of drought and 2 years of extreme groundwater recharge. Due to the high water capacity of soils drought did not do a significant damage in yields, while on the other hand, at a specific topographical position the groundwater recharge was capable of causing major crop failure.

The Hungarian economic land evaluation value (aranykorona), which indicates the registered net income of landed property, was highly correlated with the expected yields of the parcels ( $R^2=0,561$ ;  $p<0,001$ ).

I developed an evaluation system for characterizing the expected yields and variability of parcels. I calculated mean relative yield and relative standard deviation, which standardize the variability of crop rotation and different meteorological conditions of years. on the basis of these indices, parcels were divided into 3 productivity classes: high yield with low variance (low risk); medium yield with medium variance (moderate risk); low yield with high variance (high risk).

I developed linear soil quality indices based on simple soil indicators by using principal component analysis, which indicate the risks for crop rotation on a relative scale. The first

principal component derived from the physical and chemical indicators was highly correlated with the Hungarian soil quality value.

Using simple soil indicators and linear soil indices (principal components) as independent variables, and mean relative yield and relative standard deviation as dependent variables, simple and multivariate linear regression analyses were conducted. As a result of these analyses, it can be proved that the simple indicators did not explain the yields, but their linear combinations (principal component) did explain them.

I developed soil suitability indices based on nonlinear interpretation and integration of simple soil indicators, which characterize the physical, chemical and fertility conditions, and their limitation. The integrated soil suitability index explained more than the Hungarian soil quality values did.

By using the linear and nonlinear indices, I identified the main soil limitation factors, their relative importance, and the minimum data set of indicators at the research site. The major limiting factors were the extreme moisture regime resulting from the topographical position and solonetz horizon, and the low soil organic matter content. Arable farming avoids the unfavourable pH and soluble salt content. The minimum data set consist of the soil organic matter content at cultivated layer, the thickness of A horizon, and topographical position.

Based on nonlinear physical, chemical, and fertility indices, I defined four suitability classes at the research site. There is no need for land use change but I suggested more sustainable farming systems, crop rotation, and management practices for the suitability classes because of the heterogeneity of soils.

## IRODALOMJEGYZÉK

- ÁBRAHÁM L., BOCSKAI J. (1971): A szikes talajok javítása. OMMI Kiadvány 4. Budapest.
- AHMAN, M.N., BHATTI, A.U. (2015): Comparison of regression models to predict potential yield of wheat from some measured soil properties. *Pakistan Journal of Agricultural Science* 52(1): 239-257. ISSN 0552-9034
- ANANDA J., HERATH G. (2003): The use of analytic hierarchy process to incorporate stakeholder preferences into regional forest planting. *Forest Policy and Economics* 5: 13-26. DOI:10.1016/S1389-9341(02)00043-6
- ANAYA-ROMERO M., PINO R., MOREIRA J. M., MUNOZ-ROJAS M., DE LA ROSA D. (2011): Analysis of soil capability versus land use change by using CORINE land cover and MicroLEIS. *International Agropysics* 25(4): 395-398. ISSN/ISBN: 0236-8722
- ANDREWS S. S., CARROL C. R. (2001): Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications* 11: 1573-1585. DOI: 10.1890/1051-0761(2001)011[1573:DASQAT]2.0.CO;2
- ANDREWS S. S., KARLEN D. L., MITCHELL J. P. (2002a): A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture Ecosystems and Environment* 90: 25-45. DOI:10.1016/S0167-8809(01)00174-8
- ANDREWS S. S., MITCHELL J. P., MANCINELLI R., KARLEN D. L., HARTZ T. K., HORWATH W. R., PETTYGROVE G. S., SCOW K. M., MUNK D. S. (2002b): On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal* 94: 12-23. DOI:10.2134/agronj2002.1200
- ÁNGYÁN J. (szerk.) (1987): Agroökológiai hatások a kukoricatermesztésben. Az agroökológiai körzetek és a területi fejlesztés. GATE-KSZE, Gödöllő-Szekszárd, 210 p.
- ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. (1988): Integrált alkalmazkodó növénytermesztés. GATE-KSZE Gödöllő-Szekszárd, 163 p.
- ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. (1997): Alkalmazkodó növénytermesztés, ésszerű környezetgazdálkodás. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, pp. 265-303.
- ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z., RADICS L., SERES J., JENEY CS., TÁNCZOS F., PÉCSI M. (1982): Kukoricatermesztési adatok ökológiai csoportosítása faktor- és clusteranalízis segítségével. *Növénytermelés* 31(2): 141-153.
- ÁNGYÁN J., KÓNYA K., VARGA A. (1985): A sárándi Szabadság Mg. Tsz. növénytermesztésének racionális területi elhelyezése a termőhelyi adottságok növényközpontú, komplex összefüggés-vizsgálata alapján. In: Lőrincz J. (szerk.) Javaslatok a sörárpa-termesztési technológiák fejlesztésére Mgtsz-ekben 1985. évre, GATE, Gödöllő, 1-25.
- ÁNGYÁN J., FÉSŰS I., NÉMETH T., PODMANICZKY L., TAR F. (szerk.) (1998): Magyarország földhasználati zónarendszerének kidolgozása a mezőgazdasági EU-csatlakozási tárgyalások megalapozásához, Alapozó modellvizsgálatok I. Készült: az FVM Agrárkörnyezeti, Erdészeti, Biogazdálkodási és Vadgazdálkodási EU Harmonizációs Munkacsoport megbízásából, Gödöllő, 46 p.
- ÁNGYÁN J., FÉSŰS I., NAGY SZ., PODMANICZKY L., TAR F. (1999): Az Agrár-környezeti Program (AKP) bevezetéséhez szükséges célprogramok területi lehatárolásának módszertani vizsgálata, Alapozó modellvizsgálatok II., készült az FVM Agrárkörnyezeti, Erdészeti, Biogazdálkodási és Vadgazdálkodási EU Harmonizációs Munkacsoport megbízásából, Gödöllő, 110 p.

- ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. (1997): Az EU-konform mezőgazdasági stratégiaváltás legfontosabb területi és feladatai a növénytermesztésben – Zöld Belépő: EU-csatlakozásunk környezeti szempontú vizsgálata. (MTA Stratégiai kutatási program), Gödöllő-Budapest, 104 p.
- ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. (2004): Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 559 p.
- ANTAL J. (Szerk.) (2000): Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 391 p.
- ARDA (1965): Canada Land Inventory. Soil Capability Classification for Agriculture. The Canada Land Inventory Report No. 2. Department of Forestry and Rural Development, Ottawa, 16 p.
- AYOUBI, S., KHORMALI, F., SAHRAWAT, K.L. (2009): Relationship of barley biomass and grain yields to soil properties within a field in the arid region: Use of factor analysis. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil & Plant Science* 59(2): 107-117.
- BABOS I. (szerk.) (1966): Erdészeti termőhely-feltárás és térképezés. Akadémiai Kiadó, Budapest, 158 p.
- BACIC I. L. Z., ROSSITER D. G., BREGT A. K. (2003): The use of land evaluation information by land use planners and decision-makers: a case study in Santa Catarina, Brazil. *Soil Use Management* 19: 12-18.
- BACSA I. (1989): Az aranykoronás földértékeléstől a komplex termőhelyi értékszámig. *Geodézia és Kartográfia* 41(3): 166-171.
- BAJA S., CHAPMAN D. M., DRAGOVICH D. (2007): Spatial based compromise programming for multiple criteria decision making in land use planning. *Environmental Modeling and Assessment* 12: 171-184. DOI: 10.1007/s10666-006-9059-1
- BEEK K. J., BENNEMA J. (1972): Land evaluation for agricultural land use planning. An ecological methodology. Department of Soil Science and Geology, Agriculture University, Wageningen, 70 p.
- BEKE L. (1933): Mezőgazdasági termelésünk átszervezése természeti adottságok alapján. Kivitelre mit és hol termesszünk? Piatnik Rt. Budapest, 33 p.
- BEKE L. (1937): Mezőgazdasági kiviteli cikkeink legjobb termőhelyei. Kivitelre mit és hol termesszünk? Piatnik Rt. Budapest
- BERZSENYI Z. (2013): Növénytermesztés. Környezeti, növekedési és termésreakciók. Agroinform Kiadó és Nyomda, Budapest.
- BIBBY J. S., DOUGLAS H. A., THOMASSON A. J., ROBERTSON J. S. (1991): Land capability classification for agriculture. Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen.
- BÓCSA I. (1979): A lucerna termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 330 p.
- BOCZ E. (szerk.) (1996): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 887 p.
- BRUBAKER S. C., JONES A. J., FRANK K., LEWIS D. T. (1994): Regression models for estimating soil properties by landscape position. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1763-1767. DOI:10.2136/sssaj1994.03615995005800060026x
- BUSSCHER W., KRUEGER E., NOVAK J., KURTENER D. (2007): Comparison of soil amendments to decrease high strength in SE USA Coastal Plain soils using fuzzy decision-making analyses. *International Agrophysics* 21: 225-231. ISSN: 0236-8722
- BUZÁS I. et al. (szerk.) (1979): Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. I.-II. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest.
- BUZÁS I., MURÁNYI A., RÉDLYI L. (1988): A talaj kémhatásának vizsgálata. In: BUZÁS I. (szerk.) Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 87-102.

- COX, M.S., GERARD, D.P., WARDLAW, M.C., ABSHIRE, M.J. (2003): Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. *Soil Science Society of America Journal* 67: 1296–1302. DOI:10.2136/sssaj2003.1296
- CORWIN, D.L., LESCH, S.M., SHOUSE, P.J., SOPPE, R., AYARS, J.E. (2003): Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. *Agronomy Journal* 95(2): 352–364. DOI:10.2134/agronj2003.3520
- CSATHÓ P. (1997): Összefüggés a talaj K-ellátottsága és a kukorica, őszi búza és lucerna K-hatások között a hazai szabadföldi kísérletekben, 1960–1990. *Agrokémia és Talajtan* 46: 327-345.
- CSATHÓ P. (2001a): Összefüggés a talajsavanyodás mértéke és a mészhatások között a hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán, 1950-1998. I. A mészfórmák és a talajtulajdonságok szerepe a mészhatások megjelenésében. *Agrokémia és Talajtan* 50: 103-118.
- CSATHÓ P. (2001b): Összefüggés a talajsavanyúság mértéke és a mészhatások között, a hazai meszezési tartamkísérletek adatbázisán, 1950-2000. II. A kísérleti növények, a mészfórmula és a meszezés óta eltelt idő szerepe a mészhatások megjelenésében. Szemle. *Agrokémia és Talajtan* 50: 509-523.
- CSATHÓ P. (2002): Az AL-P korrekciós modell értékelése a hazai szabadföldi őszi búza P-kísérletek adatbázisán, 1960-2000. *Agrokémia és Talajtan* 51(3-4): 351-380.
- CSATHÓ P. (2003a): Őszi búza N hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 52(1): 41-59.
- CSATHÓ P. (2003b): Kukorica N hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan* 52(1-2): 169-184.
- CSATHÓ P. (2003c): Lucerna N hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 52(2): 243-253.
- CSATHÓ P. (2003d): Őszi búza P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 52(6): 679-701.
- CSATHÓ P. (2003e): Kukorica P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan* 52(3-4): 455-472.
- CSATHÓ P. (2003f): Lucerna P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 52(1-2): 141-156.
- CSATHÓ P. (2005a): Őszi búza K-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 54(3): 197-213.
- CSATHÓ P. (2005b): Kukorica K-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 54(5-6) 447-465.
- CSATHÓ P., ÁRENDÁS T., NÉMETH T. (2002): Új, a hazai körülményekre adaptált, költségkímélő számítógépes trágyázási szaktanácsadási rendszer. In: Harnos Zs., Herdon M. (szerk.). *Agrárinformatika 2002: Informatikai kutatások, fejlesztések és alkalmazások az agrárgazdaságban és vidékfejlesztésben*. Debrecen. 2002 augusztus 27-28. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. pp. 237-241.
- DAVIDSON D. A. (1992): *The Evaluation of Land Resources*. Second Edition, Longman, Harlow, 198 p.
- DE ARAUJO J. L., DOS ANJOS L. H. C., PEREIRA M. G. (2009): Soil attributes and distinction of pedoenvironments for agriculture in the Mbya Indian Reserve in Ubatuba. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 33(6): 1765-1776. DOI: 10.1590/S0100-06832009000600025



- DEBRECZENI Bné, KUTI L., MAKÓ A., MÁTÉ F., SZABÓNÉ K. G., TÓTH G., VÁRALLYAY GY. (2003): A D-e-Meter földminősítési viszonyszámok elméleti háttere és információtartalma. pp. 23-37. In: Gaál Z., Máté F., Tóth G. (szerk.): *Földminősítés és földhasználati információ*, Veszprémi Egyetem, Keszthely, 379 p.
- DEBRECZENINÉ, NÉMETH T. (szerk.) (2009): Az országos műtrágyázási tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967-2001). Akadémiai Kiadó, Budapest, 478 p.
- DE LA ROSA D. (2005): Soil quality evaluation and monitoring based on land evaluation. *Land Degradation and Development* 16: 551-559. DOI: 10.1002/ldr.710
- DE LA ROSA D., VAN DIEPEN C. A. (2002): Qualitative and Quantitative Land Evaluation. In: Encyclopedia of Life Support System (EOLSS-UNESCO), Eolss Publishers, Oxford, [http://www.eolss.net]
- DE LA ROSA D., MORENO J.A., GARCIA L.V., ALMORZA J. (1992): MicroLEIS: A Microcomputer-based Mediterranean land evaluation information system. *Soil Use Management* 8: 89-96. DOI: 10.1111/j.1475-2743.1992.tb00900.x
- DE LA ROSA D., ANAYA-ROMERO M., DIAZ-PEREIRA E., HEREDIA N., SHAHBAZI F. (2009): Soil-specific agro-ecological strategies for sustainable land use – A case study by using MicroLEIS DSS in Sevilla Province (Spain). *Land Use Policy* 26: 1055-1065. DOI:10.1016/j.landusepol. 2009.01.004
- DELARME LINDA E. A., WADT P. G. S., DOS ANJOS L. H. C., MASUTTI C. S. M., DA SILVA E. S., COELHO R. M., SHIMIZU S. H., DO COUTO W. H. (2011): Evaluation of agricultural suitability of soils in Acre by different experts. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 35(6): 1841-1853. DOI: 10.1590/S0100-06832011000600001
- DÉR J. (1957): Kataszteri újraosztályozás talajtani alapon. *Agrártudomány* IX (4) pp. 11-19.
- D'HOSE, T., COUGNON, M., DE VliegHER, A., VANDECASTEELE, B., VIAENE, N., CORNELIS, W., VAN BOCKSTAELE, E., REHEUL, D. (2014): The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology* 75: 189–198. DOI:10.1016/j.apsoil.2013.11.013
- DORAN, J.W., PARKIN, B.T. (1994): Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Szerk.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Inc., Madison, WI, USA, SSSA SpecialPublication 35: 3–21.
- DORAN J. W., PARKIN T. B. (1996): Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Soil Science Society of America Journal Special Publication* 49: 25-37.
- DORKA D. (2003): Talajinformációs rendszer kialakítása a mezőgazdaságban. *Agrártudományi közlemények* 10. (Különszám) pp. 60-63.
- DOUAIK, A., VAN MEIRVENNE, M., TOTH, T. (2007): Statistical methods for evaluating soil salinity spatial and temporal variability. *Soil Science Society of America Journal* 71(5): 1629-1635.
- DÖMSÖDI J. (1999): Fölhasználati reform az ezredforduló után. *Geodézia és Kartográfia* 51(11): 17-22.
- DÖMSÖDI J. (2007): A földértékelés, földminősítés módszertani elemzése (rendszerezése) és továbbfejlesztése. *Geodézia és kartográfia* 59(3): 26-33.
- DRIESSEN P. M. (1989): Qualified land evaluation: consistency in time and space. In: Bouma J. and Bregt A. K. (eds.) *Land qualities in space and time*. Proc. ISSS. Symp., Wageningen, Netherlands, 137-143.
- DRIESSEN P. M., KONIJN N. T. (1992): Land-use systems analysis. Wageningen Agricultural University, Duivendaal 10, Wageningen, 230 p.

- DRUMMOND, S.T., SUDDUTH, K.A., JOSHI, A., BIRRELL, S.J., KITCHE, N.R. (2003): Statistical and neural methods for site-specific yield prediction. *Transactions of the ASABE Journal* 46(1): 5-14. DOI: 10.13031/2013.12541
- DUNAI A., TÓTH Z., JOLÁNKAI P., KISMÁNYOKY T. (2013): Organic fertilization and soil fertility. *Növénytermelés (Suppl.)* 62: 264-272.
- EGNÉR H., RIEHM H., DOMINGO W. R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler 26: 199-215.
- FÁBIÁN Á.P., MATYASOVSKY I. (2010): Analysis of climate change in Hungary according to an extended Köppen classification system, 1971–2060. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 114(4): 251–261.
- FAO (1976): A framework for land evaluation. *Soils Bulletin* 32. FAO, Rome, 76 p.
- FAO (1983): Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. *Soils bulletin* 52., Rome
- FAO (1983): Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture. *Soils bulletin* 55., Rome
- FAO (1993a): Guidelines for land use planning. *Development Series* 1. FAO, Rome, 96 p.
- FAO (1993b): FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. World Soil Resources Report, 73., FAO, Rome, 74. p.
- FAO (1995): Planning for sustainable use of land resources. Towards a new approach. *Land and Water Bulletin* 2., FAO, Rome, 60 p.
- FAO (1996): Agro-ecological zoning. Guidelines. *Soils Bulletin* 76. FAO, Rome.
- FAO (1997): Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. *Land and Water Bulletin* 5., FAO, Rome, 212. p.
- FAO (2006): World reference base for soil resources. *World Soil Resources Reports* 103., FAO, Rome, 128 p.
- FAO (2007): Land evaluation. Towards a revised framework. *Land and Water Discussion Paper* 6., FAO, Rome, 107 p.
- FAO/UNEP (1995): Our land our future - *A new approach to land use planning and management*. FAO, Rome, 48 p.
- FAO/UNEP (1997): Negotiating a sustainable future for land - Structural and institutional guidelines for land resources management in the 21<sup>st</sup> century. FAO, Rome, 61 p.
- FAO/UNEP (1999a): Terminology for integrated resources planning and management. FAO, Rome-Nairobi
- FAO/UNEP (1999b): The Future of our land: facing the challenge. Guidelines for integrated planning for sustainable management of land resources. FAO, Rome, 71p.
- FARKAS CS., RANDRIAMAMPINANINA R., MAJERCKA J. (2005): Modelling impacts of different climate change scenarios on soil water regime of a mollisol. *Cereal Research Communication* 33:185-188.
- FEKETE Z. (1965): Útmutató a talajok gyakorlati minősítéséhez. Mezőgazdasági kiadó, Budapest, 128 p.
- FILEP GY. (1988): Talajkémia. Akadémiai Kiadó, Budapest, 292 p.
- FILEP GY., FERENCZ G. (2001): Javaslat a magyarországi talajok szemcseösszetétel szerinti osztályozásának pontosítására. *Talajtan és Agrokémia* 48(3–4): 305-320.
- FILEP GY., FÜLEKY GY. (1999): A talaj kémiai tulajdonságai. In: STEFANOVITS P. (szerk.) Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 86-130.
- FILEP GY., WAFI M. J. K. (1991): A kicserélhető Na % és a talajoldat sókoncentrációjának számítása a telítési kivonat jellemzőiből. *DATE Tudományos Közleményei* 30: 21-30.

- FÓRIZSNÉ, MÁTÉ F., STEFANOVITS P. (1972): Talajbonitáció - Földértékelés. *Agrártudományi Közlemények* 30(3): 359-378.
- FÜLEKY GY. (szerk.) (1999a): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 714 p.
- FÜLEKY GY. (1999b): Az angol földértékelés rendszere. In: Stefanovits P. és Michéli E. (szerk.) A talajminőségre épített EU-konform földértékelés elvi alapjai és bevezetésének gyakorlati lehetőségei. MTA Agrártudományi Osztálya, Budapest, 43-69.
- GAÁL Z., MÁTÉ F., TÓTH G., VASS J. (2003): Az NKFP támogatásával készülő D-e-Meter környezeti földminősítő rendszer az Európai Unió mezőgazdasági és vidékfejlesztési stratégiájának tükrében. In: Nábrádi A., Lazányi J. (szerk.) Agrárgazdaság, vidékfejlesztés és agrárinformatika az évezred küszöbén (AVA), nemzetközi konferencia, 2003. április 1-2. Debrecen, Debreceni Egyetem AC, Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar, Debrecen, pp. 1-12.
- GAÁL Z., TÓTH G., VASS J., NIKL I., SPEISER F. (2005): A D-e-Meter intelligens földminősítési rendszer információs technológiája. Agrárinformatika 2005. Konferencia, Debrecen, 2005. augusztus 23. pp. CD: /eloadasok/A23.pdf – 6 p, ISBN 963 219 023 8
- GÁTHY A. (2006): A fenntartható mezőgazdaságra vonatkozó koncepciók – a nemzeti fenntartható fejlődési stratégia. *Agrártudományi Közlemények* 20(különszám): 42-51.
- GÉCZY G. (1968): Magyarország mezőgazdasági területe. Akadémiai Kiadó, Budapest, 307 p.
- GÓCZÁN L. (1980): Mezőgazdasági területek agroökoгеográfiai kutatása, tipizálása és értékelése. Akadémiai Kiadó, Budapest, 125 p.
- GOVAERTS, B., SAYRE, K.D., DECKERS, J. (2006): A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil & Tillage Research* 87: 163-174. DOI:10.1016/j.still.2005.03.005
- GÖRÖG L. (1954): Magyarország mezőgazdasági földrajza. Tervgazdasági Kiadó, Budapest. 197 p.
- GRÓNÁS V., FOGARASSY CS. (2000): Védett területek mezőgazdasági földterület hasznosításának értékelése térinformatikai eszközökkel. *Földrajzi Értesítő* 49(3-4): 235-243.
- HAANS J. C. F. M. (1980): Soil resource inventories and their application in the Netherlands. In: Lee J., van der Plas L. (eds.): Land resource evaluation, A seminar in the EEC programme of coordination of research on land use and rural resources held at An Foras Taluntais, Johnstown Castle Research Centre, Wexford, Ireland 7-8 November 1978, Commission of the European Communities, Directorate-General for Agriculture, Coordination of Agricultural Research, Luxembourg, pp. 21-33.
- HANOTIAUX G. (1980): Land evaluation in Belgium. In: Lee J., van der Plas L. (eds.): Land resource evaluation, A seminar in the EEC programme of coordination of research on land use and rural resources held at An Foras Taluntais, Johnstown Castle Research Centre, Wexford, Ireland 7-8 November 1978, Commission of the European Communities, Directorate-General for Agriculture, Coordination of Agricultural Research, Luxembourg, pp. 34-37.
- HARGITAI L. (1970): Különböző földnemek és földkeverékek nitrogénszolgáltató képességének meghatározása. *Kertészeti Egyetem Közleményei* 34: 179-193.
- HARGITAI L. (1988): A talaj szerves anyagának meghatározása és jellemzése. In: BUZÁS I. (szerk.): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv II. kötet, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 151-173.
- HARGITAI L. (1993): The role of organic-matter content and humus quality in the maintenance of soil fertility and in environmental-protection. *Landscape and Urban Planning* 27(2-4): 161-167.

- HERMANN T., KISMÁNYOKY T., TÓTH G. (2014a): A foszfor-ellátottság hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termőképességére mezőszéki és barna erdőtalajú termőhelyeken, különböző évjáratokban. *Növénytermelés* 63(1): 1-18.
- HERMANN T., KISMÁNYOKY T., TÓTH G. (2014b): A humuszellátottság hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére mezőszéki és barna erdőtalajú termőhelyeken, különböző évjáratokban. *Növénytermelés* 63(2): 1-22.
- HEIDE G., MÜCKENHAUSEN E. (1980): Land resource evaluation in the Federal Republic of Germany. In: Lee J., van der Plas L. (eds.): Land resource evaluation, A seminar in the EEC programme of coordination of research on land use and rural resources held at An Foras Taluntais, Johnstown Castle Research Centre, Wexford, Ireland 7-8 November 1978, Commission of the European Communities, Directorate-General for Agriculture, Coordination of Agricultural Research, Luxembourg, pp. 38-50.
- HERKE S. (1959): Gazdálkodás szikeseken. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 374 p.
- HERRICK J. E. (2000): Soil quality: an indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology* 15: 75-83. DOI:10.1016/j.still.2005.03.005
- HÍDVÉGI SZ. (szerk.) (2007): *Növénytermesztés*. DE AMTC AVK, Debrecen, 141 p.
- HONFI V. (2006): A földhasználat optimalizálása fuzzy alapú modell segítségével. *Acta Agraria Kaposváriensis* 10(3): 279-287.
- HORVÁTH G. (szerk.) (2006): Neurális hálózatok, Budapest, Panem Kiadó, 447 p.
- ILLÉS G., KOVÁCS G., HEIL B. (2011): Nagyfelbontású digitális talajtérképezés a Vaskereszt erdőrezervátumban. *Erdészettudományi Közlemények* 1(1): 29-43.
- JONES R. J. A., THOMASSON A. J. (1987): Land suitability classification for temperate arable crops. pp. 29-35. In: Beek, K. J., Burrough, P. A., McCormack, D. (szerk.) Quantifield Land Evaluation Procedures. ITC Publication, 6. ITC, Enschede, Pays-Bas.
- KAISER, H.F. (1960): The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement* 29: 141-151.
- KÁLLAYNÉ, SZENCI GY. (1985): Üzemi gyümölcsültetvényeink ma és 1990-ben. Ma újdonság, holnap gyakorlat. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p. 156.
- KARLEN D. L., WOLLENHAUPT N. C., ERBACH D. C., BERRY E. C., SWAN J. B., EASH N. S., JORDAHL J. L. (1994a): Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil and Tillage Research* 31: 149-167. DOI:10.1016/0167-1987(94)90077-9
- KARLEN D. L., MAUSBACH M. J., DORAN J. W., CLINE R. G., HARRIS R. F., SCHUMAN G. E. (1997): Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61: 4-10. DOI:10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x
- KARMANOV I. I., FRIYEV T. A. (1985): Site quality based on ecological soil indices. *Soil Survey and Land Evaluation* 5(1): 40-48.
- KELGENBAEVA K. (2002): Adaptation of a mediterranean land suitability model for Inner-Alpine Basins of the Siberian Altai. In: 7th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, ICA, Bishkek. pp. 109-114.
- KISMÁNYOKY T. ÉS DEBRECZENI B. (2001): The optimal nutrition of maize in the Hungarian national long-term field experimental network. *Archives of Agronomy and Soil Science* 46(3-4): 251-265. DOI: 10.1080/03650340109366176
- KLINGEBIEL A. A., MONTGOMERY P. H. (1961): Land Capability Classification. U.S. Department of Agriculture, Handbook, 210., 21 p.

- KOCSIS M., FARSANG A., MAKÓ A. (2008): Csongrád megyei mintaterület termőhely minősítése a hazai földértékelési gyakorlat és az új D-e-Meter rendszer tükrében. In: Simon L. (szerk.): *Talajvédelem* (különszám), Talajtani Vándorgyűlés, Nyíregyháza, 2008. május 28-29. pp. 601-608.
- KORELESKI K. (1988): Adaptations of the Storie index for land evaluation in Poland. *Soil Survey and Land Evaluation* 8: 23-29.
- KREYBIG L. (1956): Az agrotechnika tényezői és irányelvei. Akadémiai Kiadó, Budapest, 819 p.
- KREYBIG L., MANNINGER R. (1947): Növénytermesztési atlasz. Akadémiai Kiadó, Budapest
- KURTENER D., BADENKO V. (2000): Precision agriculture experimentation on the base of fuzzy models synthesized with GIS. *Aspects of Applied Biology* 61: 139-143. ISSN 0265-1491
- KURTENER D., TORBERT H. A., KRUEGER E. (2008): Evaluation of agricultural land suitability: Application of Fuzzy Indicators. *Computational Science and its Applications ICCSA 2008*, pp. 475-490. doi: 10.1007/978-3-540-69839-5\_35
- LAMELAS M. T., HOPPE A., DE LA RIVA J., MARINONI O. (2009): Modelling environmental variables for geohazards and georesources assessment to support sustainable land-use decisions in Zaragoza (Spain). *Geomorphology* 111: 88-103.
- LEE J. (1980): Land suitability evaluations system for Ireland. In: Lee J., van der Plas L. (eds.): Land resource evaluation. A seminar in the EEC programme of coordination of research on land use and rural resources held at An Foras Taluntais, Johnstown Castle Research Centre, Wexford, Ireland 7-8 November 1978, Commission of the European Communities, Directorate-General for Agriculture, Coordination of Agricultural Research, Luxembourg, pp. 75-81.
- LETEY, J., SOJKA, R.E., UPCHURCH, D.R., CASSEL, D.K., OLSON, K., PAYNE, B., PETRIE, S., PRICE, G., REGINATO, R.J., SCOTT, H.D., SMETHURST, P. AND TRIPLETT, G. (2003): Deficiencies in the soil quality concept and its application. *Journal of Soil and Water Conservation* 58: 180-187.
- LI P., Z. LI AND Z. ZHAO. (2002): Index System and Method for Soil Productivity Evaluation on the Hillsides in the Loess Plateau. *Arid Land Research and Management* 64: 335-348. DOI:10.1080 /15324980290000449
- LIEBIG M. A., VARVEL G., DORAN J. W. (2001): A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. *Agronomy Journal* 336: 313-318. DOI:10.2134/agronj2001.932313x
- LIMA, A.C.R., BRUSSAARD, L., TOTOLA, M.R., HOOGMOED, W.B., DE GOEDE, R.G.M. (2013): A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Applied Soil Ecology* 64: 194–200. DOI:10.1016/j.apsoil.2012.12.009
- LÓCZY D. (1989): Tájéértékelés, földértékelés vagy mezőgazdasági célú környezetminősítés? *Földrajzi Értesítő* 38(3-4): 263-282.
- LÓCZY D. (2002): Tájéértékelés, földértékelés. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs. p. 307.
- LŐRINCI R., BALÁZS K. (2001): A táj adottságaihoz, hagyományaihoz illeszkedő földhasználati rendszer kialakítása Bonyhád mellett, István-major külterületen. In: Palkovics M. (szerk.): XLIII. Georgikon Napok, Vidékfejlesztés – Környezetgazdálkodás – Mezőgazdaság tudományos konferencia, Keszthely, 2001. szeptember 20-21., pp. 219-225.
- LUGO-MORIN D. R., REY J. C. (2008): Evaluación de la vulnerabilidad a la degradación agroambiental a través del uso del sistema Microleis en Los Suelos De Los Llanos Centrales de Venezuela. *Revista Internacional Contaminación Ambiental* 25(1): 43-60.
- LUKÁCS A., RÉDLYI LNÉ (1988): A talajok sótartalmának és sóösszetételének vizsgálata. In: BUZÁS I. (szerk.): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv II. kötet, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 174-210.

- LUKAS V., NEUDERT L., KREN J. (2009): Mapping of soil conditions in precision agriculture. *Acta Agrophysica* 13: 393-405.
- LYNN I., MANDERSON A., PAGE M., HARMSWORTH G., EYLES G., DOUGLAS G., MACKAY A., NEWSOME P. (2009): Land Use Capability Survey Handbook - a New Zealand handbook for the classification of land. 3rd ed., AgResearch Ltd, Hamilton; Landcare Research New Zealand Ltd, Lincoln; Institute of Geological and Nuclear Sciences Ltd, Lower Hutt, 163 p.
- MAGALDI D., RONCHETTI G. (1980): Present status of land evaluation in Italy and a proposed system of land suitability classification. In: Lee J., van der Plas L. (eds.): Land resource evaluation, A seminar in the EEC programme of coordination of research on land use and rural resources held at An Foras Taluntais, Johnstown Castle Research Centre, Wexford, Ireland 7-8 November 1978, Commission of the European Communities, Directorate-General for Agriculture, Coordination of Agricultural Research, Luxembourg, pp. 82-94.
- MAKÓ A. ÉS TÓTH B. (2007): A talajok vízgazdálkodása és a talajtermékenység. *Agronapló* 11(2): 46-47.
- MAKÓ A., VÁRALLYAY GY., TÓTH G. (2003): A földminőség évjáratos változásának talaj vízgazdálkodási tényezői. In: Gaál Z., Máté F., Tóth G. (Szerk.) Földminősítés és Földhasználati információ, Veszprémi Egyetem, Keszthely, pp. 49-55.
- MAKÓ A., TÓTH G., MÁTÉ F., HERMANN T. (2007): A talajtermékenység számítása a változati talajtulajdonságok alapján. In: Tóth T., Tóth G., Németh T., Gaál Z. (Szerk.) Földminőség, földértékelés és földhasználati információ, MTA TAKI, Budapest-Keszthely, pp. 39-44.
- MAKÓ A., TÓTH B., HERNÁDI H., FARKAS CS., MARTH P. (2011): A MARTHA adatbázis alkalmazása a hazai talajok víztartó képesség becslésének pontosítására. *Talajvédelem: Különszám*. Talajtani Vándorgyűlés, Szeged, 2010. szept. 3-4. pp. 51-57.
- MALCZEWSKI J. (2002): Fuzzy Screening for Land Suitability Analysis. *Geographical and Environmental Modelling* 6: 27-39. DOI:10.1080/13615930220127279
- MALLARINO, A.P., OYARZABAL, E.S., HINZ, P.N. (1999): Interpreting within-field relationships between crop yields and soil and plant variables using factor analysis. *Precision Agriculture* 1: 15-25. DOI: 10.1023/A:1009940700478
- MÁRKUS L., MÉSZÁROS K. (1997): Erdőérték számítás. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 216 p.
- MAROSI S., SOMOGYI S. (szerk.) (1990): Magyarország kistájainak katasztere I.-II. MTA FKI, Budapest, 1023 p.
- MASTO, R.E., CHHONKAR, P.K., SINGH, D., PATRA, A.K. (2008): Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environmental Monitoring and Assessment* 136: 419-435. DOI: 10.1007/s10661-007-9697-z
- MÁTÉ F. (1960): Megjegyzések a talajok termékenységük szerinti osztályozásához. *Agrokémia és Talajtan* 9: 419-426.
- MÁTÉ F. (1999): A termőföld minősítése a főbb növényekre való alkalmassága alapján. In: Stefanovits P., Michéli E. (szerk.) A talajminőségre épített EU-komform földértékelés elvi alapjai és bevezetésének gyakorlati lehetőségei. MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest, pp. 100-109.
- MÁTÉ F., TÓTH G. (2003): Az aranykoronától a D-e-Meter számokig. In: Gaál Z. et al. (Szerk.): Földminősítés és Földhasználati Információ. Keszthely, Veszprémi Egyetem, pp. 145-152.
- MCRAE S. G., BURNHAM C. P. (1981): Land Evaluation. Monographson Soil Survey, 7. Clarendon Press, Oxford, 239 p.
- MÉM Földügyi és Térképészeti Hivatal, Földvédelmi és Földértékelési Főosztály (1986): Táblázatok a termőföld minősítéséhez. Budapest.

- MÉM Földügyi és Térképészeti Hivatal, Növényegészségügyi és Talajvédelmi Főosztály (1989): Útmutató a nagyméretarányú országos talajtérképezés végrehajtásához. AGROINFORM, Budapest, 147 p.
- MENYHÉRT Z. (szerk.) (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 240-244.
- MORI A., BEGON J. C., DUCLOS G., STUDER R. (1984): First approximation of a national land evaluation system (France). In: Haans J. C. F. M., Steur G. G. L., Heide G. (eds.): Progress in land evaluation, Proceedings of a Seminar on Soil Survey and Land Evaluation, Wageningen (Netherlands) 26-29 September 1983, A. A. Balkema, Rotterdam/Boston, 1984, pp. 43-56.
- MUELLER L., SCHINDLER U., BEHRENDT A., EULENSTEIN F., DANNOWSKI R. (2007a): Das Müncheberger Soil Quality Rating (SQR) - ein einfaches Verfahren zur Bewertung der Eignung von Böden als Farmland. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 110(2): 515-518.
- MUELLER L., SCHINDLER U., BEHRENDT A., EULENSTEIN F., DANNOWSKI R. (2007b): Das Muenchenberg Soil Quality Rating (SQR): ein einfaches Verfahren zur Bewertung der Eignung von Boeden als Farmland. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Muencheberg, 102 p.
- MUELLER L., SCHINDLER U., MIRSCHEL W., SHEPHERD G., C. BALL B., HELMING K., ROGASIK J., EULENSTEIN F., WIGGERING H. (2010): Assessing the productivity function of soils: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 601-614.
- MURAKÖZY, E.P., NAGY, Z., DUHAZE, C., BOUCHEREAU, A., TUBA, Z. (2003): Seasonal changes in the levels of compatible osmolytes in three halophytic species of inland saline vegetation in Hungary. *Journal of Plant Physiology* 160(4): 395-401. DOI:10.1078/0176-1617-00790
- NAGY J. (2006): Magyarország földhasználat-változásának értékelése. In: Jávör A., Berde Cs. (szerk.) A térségfejlesztés vezetési és szervezési összefüggései. DE-ATC, Debrecen, pp. 66-71.
- NAGY J. (2011): The effect of soil ph and precipitation variability during the growing season on maize hybrid grain yield in a 17 year long-term experiment. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 59(1): 60-67. DOI:10.2478/v10098-011-0005-9
- NEILL L. L. (1979): An evaluation of soil productivity based on root growth and water depletion. University of Missouri, Columbia, 696 p.
- NÉMETH, T. (2006): Application of the Bray-Mitscherlich equation approach for economically and environmentally sound fertilization of field crops in Hungary. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37: 2227-2247. DOI:10.1080/00103620600817556
- PÁLFAL I. (2002): Probability of drought occurrence in Hungary. *Időjárás* 106(3-4): 265-275.
- PEASE J., COUGHLIN R. (1996): Land Evaluation and Site Assessment: A Guidebook for Rating Agricultural Lands. USDA Natural Resources Conservation Service, Soil and Water Conservation Society, IA, Ankeny, 240 p.
- PEDRYCZ W., GOMIDE F. (1998): An introduction to fuzzy sets: Analysis and Design. MIT Press, Cambridge, 465 p.
- PEHAMBERGER A. (1992): Die Bodenschätzung in Österreich. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 67: 235-240.
- PING, J.L., GREEN, C.J., BRONSON, K.F., ZARTMAN, R.E., DOBERMANN, A. (2004): Identification of relationships between cotton yield, quality, and soil properties. *Agronomy Journal* 96(6): 1588-1597. DOI:10.2134/agronj2004.1588
- PODMANICZKY L., MAGYARI J. (2006): Magyarország ökotípusos földhasználati vizsgálata. Készült az Állami Erdészeti Szolgálat megbízásából, Gödöllő, 34 p.

- PRETTENHOFFER I. (1969): Hazai szikések javítása és hasznosítása (Tiszántúli szikések). Akadémiai Kiadó, Budapest, 366 p.
- QI Y., DARILEK J. L., HUANG B., ZHAO Y., SUN W., GU Z. (2009): Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* 149: 325-334. DOI:10.1016/j.geoderma.2008.12.015
- RADICS L. (szerk.) (2007): Szántóföldi növénytermesztés. Szaktudás Kiadóház, Budapest, 260 p.
- RAGASITS I. (1998): Búzatermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 152 p.
- RAHMANIPOUR, F., MARZAIOLI, R., BAHRAMI, H.A., FEREIDOUNI, Z., BANDARABADI, S.R. (2014): Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators* 40: 19–26. DOI:10.1016/j.ecolind.2013.12.003
- RAJKAI K., VÁRALLYAY GY., PACSEPSZKIJ J.A., SCSEBBAKOV R.A. (1981): pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege alapján. *Agrokémia és Talajtan* 30: 409-438.
- RAJKAI K., KABOS S., VAN GENUCHTEN M.T.H. (1994 2004): Estimating the water retention curve from soil properties: comparison of linear, nonlinear and concomitant variable methods. *Soil and Tillage Resources* 79: 145-152. DOI:10.1016/j.still.2004.07.003
- REZAEI, S.A., GILKES, R.J., ANDREWS, S.S. (2006): A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma* 136: 229–234. DOI:10.1016/j.geoderma.2006.03.021
- RQUIER J. (1974): A summary of parametric methods of soil and land evaluation. *Soils Bulletin* 22, FAO, Rome.
- RITTER C., WEIS M., OEBEL H., PIEPHO H. P., BÜCHSE A., GERHARDS R. (2008): An on-farm approach to quantify yield variation and to derive decision rules for site-specific weed management. *Precision Agriculture* 9: 133-146. DOI: 10.1007/s11119-008-9061-5
- ROSSITER D. G. (1990): ALES: A Framework for Land Evaluation Using a Microcomputer. *Soil Use and Management* 6: 7-20. DOI: 10.1111/j.1475-2743.1990.tb00790.x
- ROSSITER D. G. (1995): Economic land evaluation: why and how? *Soil Use & Management* 11: 132-140. DOI:10.1111/j.1475-2743.1995.tb00511.x
- ROUSSEAU, G.X., DEHEUVELS, O., RODRIGUEZ ARIAS, I. AND SOMARRIBA, E. (2012): Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. *Ecological Indicators* 23: 535–543. DOI:10.1016/j.ecolind.2012.05.008
- ROUSSEUW, P.J., VAN ZOMEREN, B.C. (1990): Unmasking multivariate outliers and leverage points. *Journal of the American Statistical Association* 85(411): 633–651. DOI:10.1080/01621459.1990.10474920
- SAATY T. L. (1980): The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- SALLAK A. (1962): A talajminősítés (bonitáció) néhány kérdése és javaslat a genetikus talajosztályozásra épülő talajminősítés alapelveire. *Agrokémia és Talajtan* 11(3-4): 469-480.
- SANCHEZ P. A., COUTO W., BUOL S. W. (1982): The fertility capability soil classification system: Interpretation, application and modification. *Geoderma* 27: 283-309. DOI:10.1016/0016-7061(82)90019-2
- SANCHEZ P. A., PALM C. A., BUOL S. W. (2003): Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114: 157-185. DOI:10.1016/S0016-7061(03)00040-5
- SARKADI J., THAMM F.-né, PUSZTAI A. (1987): A talaj P-ellátottságának megítélése a korrigált AL-P segítségével. Melioráció, Öntözés és Tápanyag-gazdálkodás. Agroiinform, Budapest, pp. 66-72.
- SHELLBERG J., HILL M., GERHARDS R., ROTHMUND M., BRAUN M. (2008): Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints – a review. *European Journal of Agronomy* 29: 59-71. DOI:10.1016/j.eja.2008.05.005



- SCHIPPER L. A., SPARLING G. P. (2000): Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. *Soil Society of America Journal* 64: 300-311. DOI:10.2136/sssaj2000.641300x
- SHAHBAZI F., DE LA ROSA D., ANAYA-ROMERO M., JAFARZADEH A., SARMADIAN F., NEYSHABOURY M., OUSTAN S. (2008): Land use planning in Ahar area (Iran) using MicroLEIS DSS. *International Agrophysics* 22(3): 277-286.
- SHARMA, K.L., MANDAL, U.K., SRINIVAS, K., VITTAL, K.P.R., MANDAL, B.M., GRACE, J.K., RAMESH, V. (2005): Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil & Tillage Research* 83: 246-259. DOI:10.1016/j.still.2004.08.002
- SHUKLA, M.K., LAL, R.; EBINGER, M. 2004a. Soil quality indicators for reclaimed minesols in southeastern Ohio. *Soil Science* 169(2): 133-142.
- SHUKLA, M.K., LAL, R., EBINGER, M. 2004b. Principal component analysis for predicting corn biomass and grain yields. *Soil Science* 169(3): 215–224.
- SIK K. (1958): A helyi talajváltozatok országos minősítése a részletes talajtérképeken. OMMI Évkönyv IV. 1956-57, pp. 59-78.
- SISÁK I., MÁTÉ F., MAKÓ A., SZÁSZ G., HAUSNER CS. (2009): Termésátlag idősorok varianciájának függése a klimatikus hatásoktól – A talajok klímaérzékenysége. *Klíma-21 Füzetek* 57: 30-42.
- SMIT H. J., METZGER M. J., EWERT F. (2008): Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. *Agricultural Systems* 98: 208-219. DOI:10.1016/j.agry.2008.07.004
- SMITH J. L., HALVORSON J. J., PAPENDICK R. I. (1993): Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. *Soil Society of America Journal* 57: 743-749. DOI:10.2136/sssaj1993.03615995005700030020x
- SOIL SURVEY STAFF (1975): Soil Taxonomy: A basis system of soil classification for making and interpreting soil surveys. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, U.S. Government Printing Office, Washington DC., 870 p.
- STEFANOVITS P. (1999): A talaj minőségétől a földértékelésig. In: Stefanovits P. és Michéli E. (szerk.) A talajminőségre épített EU-konform földértékelés elvi alapjai és bevezetésének gyakorlati lehetőségei. MTA Agrártudományi Osztálya, Budapest, 9-18.
- STORIE R. E. (1978): Storie Index for Soil Rating (Revised). Special Publications, 3203. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, USA.
- SYS C., VAN RANST E., DEBAVEYE J. (1991): Land evaluation. Part 1. Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication 7., Brussels, Belgium, 247 p.
- SZABÓ A., BOTOS E. P., SZENTELEKI K. (2000): A szőlőkataszteri felvételezések az EU harmonizáció keretében. *Borászati Füzetek* 5: 1-10.
- SZABÓ J., BAKOS L., DOBOS A., CSERVENÁK R., PÁSZTOR L., POGRÁNYI K. (2002): Üzemi szintű agrár-geoinformációs rendszer a mezőgazdasági szaktanácsadás szolgálatában. In: Nagy J. (szerk.) EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen, pp. 22-31.
- SZABÓ J., PÁSZTOR L., BAKACSI ZS. (2005): Egy országos, átnézetes, térbeli talajinformációs rendszer kiépítésének igénye, lehetősége és lépései. *Agrokémia és Talajtan* 54(1-2): 41-58.
- SZABÓ J., PÁSZTOR L., BAKACSI ZS., LÁSZLÓ P., LABORCZI A. (2007): A Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer alkalmazása térségi szintű földhasználati kérdések megoldásában. *Agrokémia és Talajtan* 56(1): 5-20.

- SZABOLCS I. (szerk.) (1971): European solonetz soils and their reclamation. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- SZABOLCS I. (1981): Szódás szikesek és szolonyecsek. *Agrokémia és Talajtan* 21: 415-433.
- SZABÓNÉ KELE G. (1999): A termőhelyi értékszám meghatározásának helyzete és a talajtérképes módszer országos befejezésének feltételei. In: Stefanovits P., Michéli E. (szerk.): A talajminőségre épített EU-konform földértékelés elvi alapjai és bevezetésének lehetőségei. MTA Agrártudományok Osztálya, AGROINFORM Kiadó és Nyomda, Budapest, pp. 81-99.
- SZENDRŐ P. (szerk.) (1980): A napraforgó termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 302 p.
- SZODFRIDT I. (1993): Erdészeti termőhely-ismerettan, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 317 p.
- TABACHNICK B.G., FIDELL L.S. (2013): Using multivariate statistics (6th ed.). Boston, US.
- TAKÁCS P., TAMÁS J., LÉNÁRT CS. (2004): Virtuális talajinformációs rendszerek kialakítása a Bihari-sík és a Tedej Rt. területén. *Agrártudományi Közlemények*, Debreceni Egyetem. pp. 186-189.
- TAMÁS J. (2006): Az agrár- és környezetvédelmi célú földhasználati konfliktusok kezelése térbeli optimalizációs eljárásokkal. In: Dömsödi J. (szerk.): Településrendezés, birtokrendezés (előadások és posztterek összefoglalója), Nyugat-Magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár, pp. 30-32.
- TAR F. (1999): Termőföldértékelés az Európai Unióban. In: Stefanovits P. és Michéli E. (szerk.) A talajminőségre épített EU-konform földértékelés elvi alapjai és bevezetésének gyakorlati lehetőségei. MTA Agrártudományi Osztálya, Budapest, 19-42.
- TAR F. (2005): Magyarország területének alkalmassága különböző növények termesztésére: a tájgazdálkodás térségi – övezeti lehatárolása II. In: Podmaniczky L. (szerk.): Az Agrár-környezetgazdálkodási Információs Rendszer kialakításához szükséges megalapozó kutatások, Gödöllő.
- TITTONELL, P., SHEPERD, K.D., VANLAUWE, B., GILLER, K.E. (2008): Unravelling the effects of soil and crop management on maize productivity in smallholder agricultural systems of western Kenya - An application of classification and regression tree analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 123: 137-150. DOI:10.1016/j.agee.2007.05.005
- TÓTH B., MAKÓ A., TÓTH G. (2014): Talajaink víztartó képességének meghatározása talajtérképezési információk alapján – a csernozjom talajok példája. *Hidrológiai Közöny* 91(1): 69-75.
- TÓTH G. (2000): A nemzetközi földminősítési kutatások eredményeinek és a földminősítés külföldi rendszereinek áttekintése. *Agrokémia és Talajtan* 49(3-4): 573-585.
- TÓTH G. (2003): Fönntartható mezőgazdasági földhasználat: az integrált tervezés lehetőségei. *Földrajzi Értesítő* 52(3-4): 215-227.
- TÓTH T. (2007): Egyes talajtulajdonságok hatása a szikes és csernozjom főtípus talajain termelt őszi búza és kukorica termésére. In: TÓTH T., TÓTH G., NÉMETH T., GAÁL Z. (szerk.): Földminősítés a XXI. században! Földminőség, földértékelés és földhasználati információ a környezetbarát gazdálkodás versenyképességének javításáért. 2007. november 22-23. Keszthely, pp. 83-90.
- TÓTH, T., KUTI, L., KABOS, L., PÁSZTOR, L. (2001): Use of digitalized hydrogeological maps for evaluation of salt-affected soils of large areas. *Arid Land Research and Management* 15(4): 329-346. DOI: 10.1080/153249801753127624
- TÓTH T., NÉMETH T., HORVÁTH E., LÁSZLÓ P., BIDLÓ A., DÉR F., FEKETE M., FÁBIÁN T., GAÁL Z., HEIL B., HERMANN T., KOVÁCS G., MAKÓ A., MÁTÉ F., MÉSZÁROS K., PÁSZTOR L., PATOCSKAI Z., SPEISER F., SZÜCS I., TÓTH G., VÁRALLYAY GY., VASS J., VINOGRADOV SZ. (2006): Új földminősítési rendszer megalapozása Magyarországon. III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, 2006. szeptember 6-7. (CD).

- TÓTH B., MAKÓ A., RAJKAI K. (2007): Vízgazdálkodás és termékenység összefüggésének vizsgálata hazai talajtani adatbázisokon. *Talajvédelem*. Különszám: Talajtani Vándorgyűlés Sopron, 2006. augusztus 23-25. pp. 262-267.
- VAN LANEN H. A. J., VAN DIEPEN C. A., REINDS G. J., DE KONING G. H. J. (1992): A comparison of qualitative and quantitative physical land evaluations using an assessment of the potential for sugar-beet growth in the European Community. *Soil Use and Management* 8(2): 80-89. DOI: 10.1111/j.1475-2743.1992.tb00899.x
- VÁRALLYAY GY. 1981. Extreme moisture regime as the main limiting factor of fertility of salt affected soils. *Agrokémia és Talajtan* 30(Suppl.): 73-96.
- VÁRALLYAY GY. (1988): A talajok fizikai tulajdonságainak vizsgálati módszerei. In: BUZÁS I. (szerk.) Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 15-114.
- VÁRALLYAY GY. (1989): Land evaluation in Hungary – Scientific problems, practical applications. In: Bouma J. and Bregt A. K. (eds.) Land qualities in space and time. Proc. ISSS. Symp., Wageningen, Netherlands, 241-251.
- VÁRALLYAY GY. (2003): Az ésszerű és fenntartható földhasználat tudományos alapjai. *Geodézia és Kartográfia* 55(5): 3-11.
- VÁRALLYAY GY. (2004): Talaj az agroökoszisztémák alap-eleme. „Agro-21” Füzetek 37: 33-49.
- VÁRALLYAY GY. (2005): Talajvédelmi Stratégia az Európai Unióban és Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan* 54(1-2): 203-216.
- VÁRALLYAY GY., SZÜCS L., RAJKAI K., ZILAHY P., MURÁNYI A. (1980): Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategória rendszere és 1:100 000 méretarányú térképe. *Agrokémia és Talajtan* 29: 77–112.
- VERMES L. (szerk.) (1997): Vízgazdálkodás mezőgazdasági, kertész-, tájépítész- és erdőmérnök- hallgatók részére. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 462 p.
- WAGNER J. (2001): Bodenschätzung in Österreich. In: Umweltbundesamt: Bodenaufnahmesysteme in Österreich. (Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft Heft, 62.), Umweltbundesamt, Wien, pp. 69-104.
- WANDER M. M., BOLLERO B. A. (1999): Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Society of America Journal* 63: 961-971. DOI:10.2136/sssaj1999.634961x
- YAO, R., YANG, J., GAO, P., ZHANG, J., JIN, W. (2013): Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil & Tillage Research* 128: 137–148. DOI:10.1016/j.still.2012.11.007
- ZHANG B., ZHANG Y., CHEN D., WHITE R. E., LI Y. (2004): A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma* 123: 319-331. DOI:10.1016/j.geoderma.2004.02.015
- ZHENG, H., CHEN, L., HAN, X., ZHAO, X., MA, Y. (2009): Classification and regression tree (CART) or analysis of soybean yield variability among fields in Northeast China: The importance of phosphorus application rates under drought conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 132: 98-105. DOI:10.1016/j.agee.2009.03.004
- 105/1999. (XII. 22.) FVM rendelet a földminősítés részletes szabályairól.

## MELLÉKLETEK

### 1. Melléklet. A változati szinten lehatárolt homogén talajfoltok jellemező talajszelvényei

#### Réti csernozjom talajok

A mész megjelenése az A szint alján, a Bk szintben jellemző, ezért a *karbonátos* altípusba sorolhatók. A teljes szelvényük gyengén lúgos kémhatású. Változati szinten *mély humuszos rétegűek*, mivel a humuszos réteg vastagsága meghaladja a 80 cm-t, a felszín humusztartalma általában 3,5% fölötti. Jellemző rájuk egy 20-25 cm-es művelt, kissé leromlott szerkezetű (szemcsés, lemezes) Asz szint, alatta az A2k szint legalább 50 cm mélységig tart, ami sötétbarna, barnás fekete színű, szemcsés-morzsás szerkezetű vályog fizikai féleségű. A Bk szint (50-80 cm): sötét szürkésbarna vályog, fokozatosan csökkenő a humusztartalommal. A karbonát tartalom 2-15% között változik, mészlepedék megjelenése jellemző. Egy vékony átmeneti BCk szint után következik a szürkés sárga színű talajképző kőzet, Ckl szint, ami mindenhol iszapos agyag, amelyre nyomokban vasfoltok és jól látható másodlagos mészkiválások jellemzők.

Mély humuszos rétegű, karbonátos réti csernozjom talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
Asz	0-20	7,52	6,63	0,21	0,056	18,82	4,82	10,34	26,7	62,96
A2k	20-40	7,52	6,74	0,32	0,060	20,18	3,21	10,54	28,06	61,4
	40-60	8,24	7,23	6,14	0,064	33,08	3,01	10,9	30,28	58,82
Bk	60-80	8,41	7,39	10,87	0,057	32,40	2,58	11,7	31,3	57
BCk	80-100	8,55	7,44	13,07	0,063	40,55	1,86	12,65	32,49	54,86
Ckl	100-120	8,44	7,46	14,96	0,080	41,23				
	120-140	8,44	7,50	13,28	0,106	49,37				

#### Csernozjom réti talajok

*Karbonátos* altípusuk a *mély humuszos rétegű* változatba sorolhatók. Szelvényükben a mész helyenként már a felszínen megjeleni, maximális mennyisége általában 80 cm körül található, és nem haladja meg a 15%-ot. A nem felszíntől karbonátos szelvényekben a mész megjelenési mélysége 30-50 cm, teljes szelvényük gyengén lúgos kémhatású. A humuszos réteg vastagsága eléri a 80 cm-t, a felszín humusztartalma 2,9-4,5%. A szántóföldi művelés miatt itt is jellemző a 20-25 cm-es művelt, kissé leromlott szerkezetű (szemcsés, lemezes) Asz szint. Ez alatt 50-65 cm mélységig következik a sötétbarna, barnás fekete színű, vályog fizikai féleségű A2 szint. A Bk szint (50-80 cm) sötét szürkésbarna, vályog textúrájú, fokozatosan csökkenő humusztartalommal, mészlepedék megjelenése jellemzi. A Ckl szint enyhén glejes, mészkonkréciók megjelenése jellemző.

*Mélyben sós/szolonyeces és szolonyeces altípusai* abban különböznek az előbbiektől, hogy a mélyben szolonyeces esetében 1 méter mélységtől, az erősen szolonyeces esetében már 60-80 cm-től só- és nátrium-felhalmozódás jelentkezik, ami a talaj pH-ját 9-re növeli, és tömődöttebbé teszi a Ckln ill. a Bkn szintet. A karbonátok már a felszínen megjelennek, és a szelvényben meghaladhatják a 20%-ot is.

Mély humuszos rétegű karbonátos csernozom réti talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
Asz	0-20	7,97	7,09	0,37	0,072	10,68	4,36	7,39	31,19	61,42
A2k	20-40	8,12	7,18	1,58	0,059	16,11	3,51	12,56	35,54	51,9
	40-60	8,31	7,38	9,71	0,055	20,18	3,40	17,59	39,67	42,74
Bk	60-80	8,36	7,42	12,08	0,052	24,93	2,87	22,2	38,8	39
Ckl	80-100	8,42	7,47	13,44	0,062	29,69	2,37	24,3	38,33	37,37
	100-120	8,65	7,52	12,60	0,069	45,98				
	120-140	9,13	7,61	8,87	0,108	107,08				
Mély humuszos rétegű mélyben sós/szolonyeces csernozom réti talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
Asz	0-20	8,34	7,37	2,68	0,068	56,16	3,43	5,9	26,675	67,425
A2k	20-40	8,57	7,44	3,15	0,114	46,60	2,90	12,25	30,3	57,45
	40-60	8,50	7,65	21,89	0,068	49,19	1,95	23	25,675	51,325
Bk	60-80	8,82	7,73	18,85	0,079	69,74	1,66	23,165	29,135	47,7
Ckln	80-100	9,33	7,85	17,69	0,185	137,63	1,18	25,2	30,025	44,775
	100-120	8,98	7,96	16,88	0,293	212,26				
	120-140	9,18	7,97	15,17	0,488	262,83				
Mély humuszos rétegű szolonyeces csernozom réti talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
Asz	0-20	8,12	7,43	1,63	0,056	12,03	3,70	4,5	19,1	76,4
A2k	20-40	8,31	7,47	1,68	0,059	35,12	2,59	12,8	27,67	59,53
	40-60	8,92	7,72	8,66	0,098	113,87	2,37	13,2	37,55	49,25
Bkn	60-80	9,37	7,97	11,76	0,174	255,05	1,97	25,6	24,89	49,51
Ckln	80-100	9,57	8,19	11,55	0,243	312,68	1,73	30,15	20,95	48,9
	100-120	9,58	8,26	12,97	0,228	319,32				
	120-140	9,54	8,19	11,45	0,235	359,22				

#### A szolonyeces réti talajok

A *szolonyeces* altípusa *mély humuszos rétegű* változatba sorolható, amelyre a felszínen 3-3,5% humusztartalom jellemző. A karbonátok megjelenési mélysége 20-50 cm, ami 1 m alatti mélységben megközelíti a 20%-ot. A szemcsés szerkezetű, vályog textúrájú Asz (0-20/25 cm)

színtet egy szürkés fekete színű, agyagos vályog textúrájú A2 szint követi (50-65 cm mélységig), amelynek kémhatása semleges körüli, vagy gyengén lúgos. A nátrium és sófelhalmozódás jelei már 60-80 cm mélységtől megmutatkoznak. A vízdoldható + kicserélhető  $\text{Na}^+$ -tartalom a B szint alján eléri a maximumát. A B<sub>kn</sub> szint (50/65-80 cm) gyengén lúgos kémhatású, elérheti a 9 pH-t, mészkiválások és glejes foltok jellemzőek, feketés szürke színű, tömör agyagos vályog-agyag textúrájú. A C<sub>kn</sub> szint (>80 cm) erősen vasfoltos, sok mészkonkrécio jellemző, a vízdoldható sótartalom eléri a 0,2%-ot.

Az *erősen szolonyeces* altípus humuszos réteg vastagsága 60-80 cm, a humusztartalom a felszínen jellemzően 2,5-3%. A karbonátok helyenként a felszínen megjelennek, máshol csak 50 cm alatti mélységben. A nátrium és sófelhalmozódás jelei már 30-40 cm mélységtől megmutatkoznak. A vízdoldható + kicserélhető  $\text{Na}^+$ -tartalom kb. 60 cm mélységben eléri a maximumát. Az Asz szint szemcsés szerkezetű, agyagos vályog textúrájú, a karbonáttartalomtól függően semleges-gyengén lúgos kémhatású. Az A2 szint (20-40 cm) szürkés fekete színű, tömődött, agyagos vályog, gyengén lúgos kémhatású, elérheti a 9 pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>-t. A B<sub>kn</sub> szint (40-70 cm) feketés szürke színű, tömődött agyag, mészkonkréciók és vasfoltok megjelenése jellemző. A pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> meghaladja a 9-es értéket, a sótartalom eléri a 0,25%-ot. A C<sub>kn</sub> szint (>70 cm) erősen vasfoltos, sok mészkonkrécio jellemző. Kémhatása erősen lúgos, szoloncsákos, a vízdoldható sótartalom eléri a 0,3%-ot.

Mély humuszos rétegű szolonyeces réti talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízdoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
Asz	0-20	7,66	6,67	0,16	0,046	22,90	3,38	9,9	25,29	64,81
A2	20-40	8,09	7,16	1,05	0,074	45,98	2,95	9,8	25,7	64,5
	40-60	8,80	7,54	8,66	0,099	107,08	2,97	18,7	31,25	50,05
B <sub>kn</sub>	60-80	8,64	7,64	13,86	0,220	199,64	2,27	25,1	33,8	41,1
C <sub>kn</sub>	80-100	9,05	7,86	18,32	0,303	310,46	2,07	31,95	37,55	30,5
	100-120	9,00	7,96	17,22	0,474	388,03				
	120-140	8,93	7,94	15,59	0,565	392,46				
Karbonátos erősen szolonyeces réti talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízdoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
Asz	0-20	8,70	7,48	1,16	0,057	73,14	3,00	25,1	33,42	41,48
A2k	20-40	9,19	7,69	2,47	0,122	381,38	2,49	33,45	35,4	31,15
B <sub>kn</sub>	40-60	9,50	7,98	1,31	0,201	199,64	2,30	43,8	29,1	27,1
	60-80	9,45	8,02	2,52	0,245	310,46	2,20	42,4	29,4	28,2
C <sub>kn</sub>	80-100	9,50	8,10	8,66	0,246	399,11	1,51	41	30,45	28,55
	100-120	9,39	8,11	15,12	0,350	221,81				
	120-140	9,29	8,00	9,77	0,313	255,05				

Mélyben karbonátos erősen szolonyeces réti talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
Asz	0-20	8,42	7,49	0,84	0,099	100,29	3,28	32,7	33,98	33,32
A2	20-40	9,09	7,69	0,37	0,146	286,08	2,65	47,9	24	28,1
Bknl	40-60	9,20	7,79	0,47	0,275	376,95	1,75	47,45	23,75	28,8
	60-80	9,22	7,96	0,63	0,346	394,68	1,62	43,3	26,8	29,9
Cknl	80-100	9,29	8,01	4,99	0,312	255,05	1,01	38,4	30,15	31,45
	100-120	9,34	7,98	6,72	0,314	317,11				
	120-140	9,26	7,78	4,15	0,235	321,54				

### Típusos réti talajok

A *felszíntől karbonátos altípus* humuszos réteg vastagsága többnyire 30-60 cm, a humusztartalom a felszínen 2,2-2,6% között változik. A mésztartalom már a felszínen eléri a 10%-ot. A szelvény teljes mélységében gyengén lúgos kémhatású. Az Asz szint szemcsés szerkezetű, szürkésfekete színű vályog. Az A2k szint (20-40 cm) szürkésfekete színű agyagos vályog, ahol mészkiválások találhatók. A Bk szint (40-60 cm) fokozatosan világosodó szürkésfekete, tömődöttebb, agyagos vályog textúrájú. A karbonát tartalom 20% fölött is lehet, mészkonkréciók megjelenése jellemző, gyengén vasfoltos, csigahéjak találhatók benne. A talajképző kőzet, Ckl szint, szürkés sárga színű iszapos agyag, glejes foltokkal, mészkiválásokkal és csigahéjakkal.

A *mélyben sós, mélyben szolonyeces réti* altípus esetében só- és kicserélhető nátrium-felhalmozódás jelentkezik, ami lúgos kémhatásban, és tömődöttebb szerkezetben nyilvánul meg a Ckln ill. a Bkn szintekben. Ezen altípusok általában csak mélyben karbonátosak, és a humuszos réteg vastagsága és humusztartalma nagyobb.

Karbonátos réti talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
Asz	0-20	8,27	7,64	13,86	0,063	23,58	2,56	10,35	29,7	59,95
A2k	20-40	8,36	7,72	17,33	0,059	20,86	1,57	14,9	33,5	51,6
Bk	40-60	8,57	7,85	25,25	0,061	22,90	1,38	19,85	33,65	46,5
Ckl	60-80	8,65	7,89	20,06	0,062	22,22	1,56	15,7	35,4	48,9
	80-100	8,77	7,99	16,59	0,074	24,25	1,30	12,3	36,3	51,4
	100-120	8,96	7,95	12,86	0,088	52,77				
	120-140	9,05	7,72	8,66	0,098	108,44				
Mélyben sós/szolonyeces réti talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)

Asz	0-20	7,54	6,89	0,26	0,071	15,43	3,41	14	21,55	64,45
A2k	20-40	7,85	7,08	0,53	0,063	13,39	3,39	14,1	26,94	58,96
Bkn	40-60	8,30	7,31	1,00	0,055	22,22	2,74	13,4	28,65	57,95
Ckln	60-80	8,63	7,42	0,74	0,163	39,19	1,81	17,2	32,4	50,4
	80-100	9,04	7,60	4,20	0,094	107,08	1,51	20	35,05	44,95
	100-120	9,34	7,73	7,93	0,136	188,56				
	120-140	9,30	7,76	8,19	0,064	210,73				

### Réti szolonyec talajok

Az erősen szoloncsákos közepes réti szolonyec maximum 50 cm humuszos rétegű, nehéz mechanikai összetételű, rendkívül szélsőséges vízgazdálkodású talajok. 15-20 cm vastag A szintjük világosszürke színű, poros vagy lemezes szerkezetű agyag, mészhányos, gyengén savanyú-semleges kémhatású. A humusztartalom 1,5-2%. A B1tn szint (15-30 cm) oszlopos szerkezetű, tömődött agyag, lúgos kémhatású. A vízdoldható + kicserélhető Na<sup>+</sup>-tartalom itt éri el a maximumát. Az ez alatt következő B2tnk szint tömődött agyag, ahol már megjelennek a másodlagos karbonátok. A vízdoldható sótartalom eléri a 0,5%-ot. A Cknl szint (>50 cm) okkersárga, szürkés sárga színű, mészeres, vasfoltos talajképző közet (iszapos agyag).

Erősen szoloncsákos közepes réti szolonyec talaj										
Genetikai szint	Mélység (cm)	pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	vízdoldható só (%)	AL-Na (mg/100 g)	Humusz (%)	Agyag (%)	Iszap (%)	Homok (%)
A	0-20	7,75	7,07	0,00	0,245	199,64	2,19	24,2	35,2	40,6
B1tn	20-40	8,87	7,86	0,42	0,535	461,17	1,24	47,8	27,4	24,8
B2tnk	40-60	9,28	8,08	1,08	0,480	487,30	1,18	47,6	24,7	27,7
Cknl	60-80	9,71	8,34	1,99	0,540	503,10	0,63	46,9	24,3	28,8
	80-100	9,73	8,51	4,43	0,600	494,20	0,20	45,3	25,9	28,8



**2. Melléklet. A homogén talajfoltok 100 pontos talajértékszámának meghatározása**

Talajfolt száma és megnevezése			max. pont	min. pont	pontlevonások							Talajérték szám
szám	típus	altípus			kőzet	karbonát megjel.	textúra	szikes.	talajvíz	hum. réteg	hum. tart	
1	réti csernozjom	karbonátos	100	55							5	95
2	réti csernozjom	karbonátos	100	55								100
3	réti csernozjom	karbonátos	100	55								100
4	csernozjom réti	karbonátos	90	45								90
5	csernozjom réti	karbonátos	90	45		3					5	82
6	csernozjom réti	karbonátos	90	45							5	85
7	csernozjom réti	karbonátos	90	45								90
8	csernozjom réti	karbonátos	90	45		3						87
9	csernozjom réti	karbonátos	90	45	6	5	5					74
10	csernozjom réti	karbonátos	90	45		3						87
11	réti	mélyben szolonyeces	65	20		5	3		6			51
12	réti	mélyben szolonyeces	65	20		5	3	5			6	46
13	szolonyeces réti	szolonyeces	50	20		2	5		5			38
14	szolonyeces réti	szolonyeces	50	20		2	5	8				35
15	szolonyeces réti	erősen szolonyeces	40	15		2	5	8				25
16	csernozjom réti	mélyben sós, mélyben szolonyeces	70	30					6	5		59
17	csernozjom réti	karbonátos	90	45					6			84
18	réti	karbonátos	80	20			3		6	5	6	60
19	réti	mélyben sós, mélyben szolonyeces	65	20			3	5	6	5	6	40
20	szolonyeces réti	szolonyeces	50	20		4	5		5	6		30
21	szolonyeces réti	erősen szolonyeces	40	15		2	8	8	5	6		15
22	szolonyeces réti	erősen szolonyeces	40	15		4	8	8		6		15
23	szolonyeces réti	erősen szolonyeces	40	15		2	8	8	5			17
24	csernozjom réti	szolonyeces	60	25	6		5	10				39
25	szolonyeces réti	erősen szolonyeces	40	15		2	5	8				25
26	szolonyeces réti	erősen szolonyeces	40	15			8	8	5			19
27	szolonyeces réti	erősen szolonyeces	40	15		2	8	8	5			17
28	szolonyeces réti	erősen szolonyeces	40	15			8	8				24
29	csernozjom réti	szolonyeces	60	25	6	5	5	10				34
30	csernozjom réti	karbonátos	90	45	6	5						79
31	réti szolonyec	közepes	18	8			5	5				8
32	réti szolonyec	közepes	18	8			5	5				8
33	szolonyeces réti	szolonyeces	50	20			5	8				37

