

A talaj elektromos vezetőképessége és a termőhelyi zónák talajtulajdonságai közötti összefüggések

¹*KOC SIS Mihály, ²MENYHÁRT László, ³BENŐ András és ⁴HERMANN TAMÁS

¹Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Környezeti Fenntarthatóság Tanszék, Georgikon Campus, Keszthely; ²Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Keszthely; ³Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani Intézet, Talajterképezési és Környezetinformatikai Osztály, Budapest; ⁴Felsőbbfokú Tanulmányok Intézete, Kőszeg
(Beérkezett: 2020.10.09.; Elfogadva: 2021.04.20.)

Bevezetés

A térinformatika tudományterületének fejlődése, a geostatistikai módszerek széles tárháza, valamint a nagy térbeli felbontású távérzékelt adatok napjainkra lehetővé tették a földművelési egységeken belüli, talajváltozati folt szintű különbségek könnyebb értelmezhetőségét és elemzését. A térinformatika által szintetizált eredmények révén a precíziós növénytermesztés termőhelyspecifikusan kezeli a táblán vagy parcellán belül elkülöníthető talajváltozatokat. Azok évjárat-hatásonkénti termőképességének tér- és időbeli variabilitását meg is jeleníti (MOORE et al. 1993).

Elsősorban Észak-Amerikában és Nyugat-Európában kibontakozó precíziós gazdálkodási technológia az utóbbi 20 évben Magyarországon gyorsuló ütemben gyűrűzik be és terjed (TAMÁS 2001), GYÖRFFY (2000), majd MESTERHÁZI (2011) véleménye szerint a precíziós növénytermesztés feladata, hogy az eltérő sajátosságokkal rendelkező talajváltozati foltokon a talaj heterogenitásából eredően a növénykultúra termőhely igénye szempontjából a különböző víz- és tápanyag-ellátottságú talajfoltokat határolják körül. Hazánk termőterületeit talajtani és tápanyag-gazdálkodási viszonyaik alapján igen nagyfokú változatosság jellemzi. A precíziós szántóföldi növénytermesztést ezért elsősorban a termőhelyek változatossága és védelme is indokolja (AMBRUS 2016). A precíziós technológia létjogosultságát MARTON (2006) a táblákon belüli különböző tápanyag-ellátottsági szintek kezelésében látta. A precíziós szántóföldi növénytermesztés egyik alapinformációját a hozamtérképek szolgáltatják, amelyek a táblán vagy parcellán belüli – a termőhelyi zónákhoz köthető – hozamkülönbségeket mutatják meg. A hozamkülönbségek (hozamingadozások) alapján képet kaphatunk a talajok termékenységén keresztül a talajviszonyokról, a tápanyag-gazdálkodásukról és az alkalmazott agrotechnika színvonaláról (SZÉKELY, 2000).

HERMANN és munkatársai (2014a; 2014b) az Agrokémiai Információs és Irányítási Rendszer (AIIR) adatbázis táblaszintű adatsorain arra végeztek vizsgálatokat, hogy a csernozjom és a barna erdőtalajú termőhelyeken, különböző (kedvező és kedvezőtlen) évjáratokban, a talaj foszfor- és humusz ellátottsága milyen

*Levelező szerző: KOC SIS MIHÁLY, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Környezeti Fenntarthatóság Tanszék, Georgikon Campus; H-8360 Keszthely, Deák Ferenc utca 16.
E-mail: kocsis.mihaly@uni-mate.hu

hatással volt a kukorica terméshozamok alakulására. Arra a következtetésre jutottak, hogy a kedvező természetes növényi vízellátású évjáratban a csernozjom talajon a magasabb foszfor-ellátottságnak már nem volt termésmnövelő hatása. Kedvezőtlen évjáratban a talaj növekvő foszfor-ellátottsága mindkét termőhelyen termésökkenést okozott. Eredményeik azt mutatták továbbá, hogy kedvező évjáratban a csernozjomokon és a barna erdőtalajokon a közepes humusztartalmú talajokon is magas kukoricahozamok várhatók. Csernozjom talajokon kedvező évjáratban a közepes ellátottságig a humusztartalom mintegy 15%-os termésmnövelő hatását figyelték meg. A barna erdőtalajokon a kedvező évjáratban közepes humusz-ellátottságig szintén hozamnövekedést tapasztaltak.

Az intenzív mezőgazdasági tevékenység, mint emberi beavatkozás, a térben igen változatos talajokra is jelentős hatást gyakorol (YOST et al. 1982), mellyel elsősorban a termőképességük változik meg. VÁRALLYAY (2012) szerint a talajok termékenységét befolyásoló elsődleges talajtulajdonságok (textúra, humusztartalom, kémhatás stb.) és azok területi és talajon belüli elhelyezése, azaz lokális felismerése az egyik legnagyobb kihívás. A talajfoltok nagymértékű térbeli heterogenitásának legfontosabb okozója az elsődleges talajtulajdonságok igen nagy változékonysága (MELCHIORI et al. 2002), amelyet a valóságban nem könnyű leképezni és számszerűsíteni. A talajtulajdonságok nemcsak elsődlegesek (kvantitatív vagy kvalitatív), hanem másodlagosak (származtatott jellemzők) is lehetnek. A talajok funkcióikra és folyamataikra, vagy szolgáltatásaikra vonatkozó ismereteket is hordozhatnak (PÁSZTOR et al. 2014). Korábban a térinformatikai és a szenzoros módszerek (pl. légi lézerszkennelés, hiperspektrális távérzékelés és talajszkennelés) megjelenése előtt, a térképező talajtani tudására és tapasztalatára hagyatkozva, a rendelkezésre álló talajinformációk és szintvonalas térképek alapján kézzel határolta le a talajváltozati foltokat (MACHANDA et al. 2002). A talajtulajdonságok elhelyezkedését, kiterjedését, valamint azok térbeli változékonyságát származtatott adatokból lehet becsülni, alapvetően a környezeti tényezők talajra gyakorolt hatása alapján (SCULL et al. 2003). Közvetett talajinformációk nyerhetők a különféle légi- és űrfelvételezések alapján készített domborzati modellekből és az azokból levezetett geomorfológiai jellemzőkből (pl. lejtőszög, lejtőgörbület, kitettség, völgymélység stb.) (MILLER & SCHAETZL, 2014). A távérzékelésből származtatott adatok a növénytermesztés növénymonitoringjához és termésbecsléséhez (ALLEN 1977), valamint a termést gátló tényezőkhöz, pl. a talajerózió mértékének megállapításához is felhasználhatók. A műholdfelvételekből származtatott adatok alapján kiszámítható a termőterületek zöldtömeg-indexe, ami tájékoztat a tenyészidőszakban az adott növénykultúrák állapotáról. A normalizált differenciált vegetációs index (NDVI) évjáratonként és növény-specifikusan jelzi a talajok termőképességét. Értékeinek kategorizálásával jellemezhetők és lehatárolhatók a tulajdonságokban is eltérő talajfoltok, amelyek felhasználhatók a precíziós művelési zónák kialakításához. Az NDVI mutatószámot, és annak változatát, a továbbfejlesztett vegetációs indexet (EVI), valamint a normalizált differenciált vízindexet (NDWI) potenciális termésbecslésekre (YE & SAKAI 2011) és a felszín közeli talajrétegek víztartalmának becslésére is alkalmazzák (GULÁCSI & KOVÁCS 2015).

A felszín közeli (0–90 cm) talajrétegek vizsgálatára egyre gyakrabban és elterjedtebben használják az elektromos vezetőképességen (EC) és a talajellenállás mérésen alapuló talajszkenner készülékeket (PERALTA et al. 2013). A talajvezetőképesség a talajoldatban oldott, töltéssel rendelkező ionok, illetve részecskék számától és anyagi minőségétől függ (RHOADES et al. 1989; CORWIN & LESCH 2003). A mért elektromos vezetőképesség értékét meghatározza a talaj víztartalma, textúrája, agyagásvány összetétele, humusz- és mésztartalma, kémhatása és vízben oldható összes sótartalma (KACHANOSKI et al. 1988; JOHNSON et al. 2001; KAFFKA et al. 2005). Megállapították (CORWIN & LESCH 2003; SUDDUTH et al. 2003), hogy a mért EC értékek és az egyes talajparaméterek között gyenge statisztikai összefüggés mutatható ki. Viszont MORAL és munkatársai (2010) szerint a talajtulajdonságok változása nyomon követhető az EC méréseken keresztül, így a talajok térbeli heterogenitásáról – a talajváltozati foltok elhelyezkedéséről – kaphatunk képet, amelyek segítségével egyszerűen és gyorsan meghatározhatók az eltérő termékenységű termőhelyi zónák.

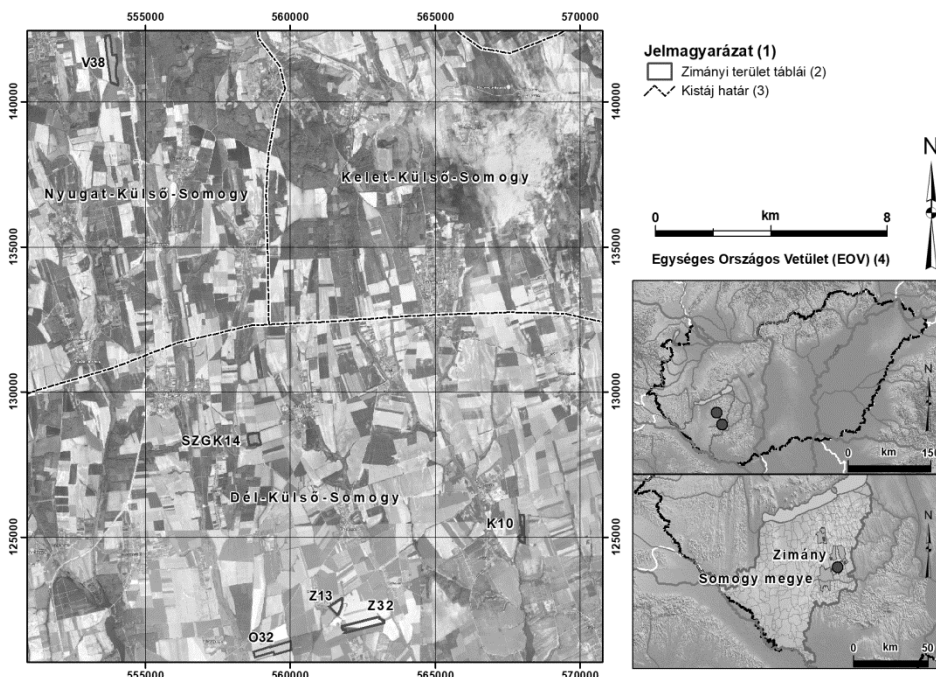
A precíziós növénytermesztés bevezethetőségének, illetve elindításának alapfeltétele, hogy a mezőgazdasági táblákon vagy parcellákon belül meg lehessen különböztetni a változati szintű talajfoltokat, és azok kellő biztonságu lehatárolását. A talajtulajdonságok táblán belüli térbeli heterogenitásának lehatárolása adhat tehát alapot a mezőgazdasági művelés agrotechnikai elemeinek táblán belüli differenciálására. Természetesen nem az összes agrotechnikai beavatkozásnak kell ezekhez a talajfoltokból eredeztethető zónákhoz kötődnie. Vannak olyan műveletek is (mint például egyes növényvédelmi beavatkozások), melyeket egyéb kritériumok alapján differenciálnak a táblán belül. Ettől függetlenül a precíziós gyakorlat azt mutatja, hogy a legtöbbet használt precíziós mezőgazdasági technikák közül a tápanyag-gazdálkodás és a vetés differenciálása legtöbbször a talajtulajdonságok heterogenitása alapján kialakított zónákra vonatkozik. Mindez a térbeli felbontás jelentős növekedésével lehetővé teszi, hogy az eddig egy egységként kezelt táblák helyett, a földművelés új alapjának a talajfoltokat tekintsük. Ez nem jelent mást, mint a terület egyes termőhelyi (művelési) zónáinak elkülönítését. A művelésre kijelölt táblák talajtani szempontból sosem tekinthetők homogén földművelési egységnek, hanem térben változatos, különböző tulajdonságú talajváltozati foltokból összetevődőnek. A talajfoltoknak minden esetben más és más a víz- és tápanyagszolgáltató képességük a növények számára, így termékenységük is akár nagyon eltérő lehet.

A művelési zónák lehatárolása nagy odafigyelést igényel, ami eddig jobbra tradicionális terepi felvételezésen és talaj-mintavételezésen, majd a talajminták laboratóriumi vizsgálatán alapult. Ez nagyon költség-, idő- és munkaigényes feladat. A művelési zónák lehatárolásának talajinformáció igénye, – remélhetőleg a közeljövőben – ha nem is helyettesíthető vagy kiváltható, de legalább kiegészíthető más, távérzékelésből származtatott (pl. NDVI), talajközeli és szenzorosan mért, pl. talaj-vezetőképesség (conductivity) és mágneses térerősség (magnetic susceptibility) adatokkal. Ezáltal a talajművelési zónák beazonosítása és elkülönítése leegyszerűsödhet, az eddigiekhez képest gyorsabbá és rutinszerűvé válhat.

Kutatási célunk egy dombvidéki mintaterület tábláin megvizsgálni a mért talajjelenállás értékek alapján lehatárolt termőhelyi zónák, illetve a talajtulajdonságaik közötti összefüggéseket. Statisztikai elemzésekkel kerestük a talajszkennerrel mért talaj-vezetőképesség és a termőhelyi zónák talajvizsgálati eredményei közötti kapcsolatokat. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a mért EC értékek, illetve az azok alapján elkülönített termőhelyi zónák miként és hogyan jellemzik a táblák talajviszonyait. Milyen mértékű a talajszkennelés által mért értékek szerinti művelési zóna-lehatárolások megbízhatósága?

Anyag és módszer

A vizsgálatunkhoz kiválasztott 6 táblából álló 143,6 hektáros mintaterületen a zimányi Farkas Kft. gazdálkodik, 2012 óta folytat mintegy 650 hektáron integrált, vetésforgós precíziós szántóföldi növénytermesztést. A kiválasztott táblákon az utóbbi két évben (2018-ban és 2019-ben) őszi búzát, repcét, napraforgót és csemege borsót termesztett. A mintaterület táblái szétszórtnak Somogy megyében, a Dunántúli-dombság nagytáján belül, a Külső-Somogy középtáj, Nyugat-Külső-Somogy és Dél-Külső-Somogy kistájak (DÖVÉNYI et al. 2010) területén helyezkednek el. Jól mutatják a dombvidéki tájat jellemző domborzati- és talajtani sajátosságokat (1. ábra).



1. ábra

A zimányi mintaterület elhelyezkedése

Az 1:200.000 méretarányú Magyarország MÉM NAK Genetikus talajtérképe (JENEY & JASSÓ 1983; KOCSIS et al. 2015) szerint, illetve a jelenleg érvényben lévő hazai talajosztályozás (STEFANOVITS, 1963; SZABOLCS et al. 1966; JASSÓ et al. 1989) besorolása alapján a táblákra löszön kialakult, vályog fizikai féleségű és feltalajjal rendelkező típusos Ramann-féle barna erdőtalaj és karbonátos csernozjom barna erdőtalaj talajtípusok jellemzőek.

2019 tavaszán a földterületek talajai elektromos vezetőképességét 50 cm-es és 100 cm-es mélységben mértük meg Geonics EM38-MK2 típusú talajszkennerrel. A méréseket a táblákon belül átlagosan 2 méteres pontsűrűséggel és a domborzati adottságoktól függően 15 méteres sortávolsággal végeztük el. Az 50 cm-es mélységben mért vezetőképesség értékeiket $5 \mu\text{S cm}^{-1}$ szélességű intervallumokba soroltuk, és az így kialakított kategóriák alapján határoltuk le a táblákon belül a termőhelyi (művelési) zónákat. A talajmintavételeket úgy terveztük, hogy a táblákon belül lehatárolt művelési zónákat jól reprezentálják a mintavételi útvonalak átlagmintái

(2. ábra). A lehatárolt zónák területéről tehát minimum 15–20 részmintát gyűjtöttünk. A részminták ily módon a talajfolt (zóna) egészét reprezentálják. A kapott átlagminta információtartalma megbízható módon megfeleltethető a művelési zónák jellemzésére (SZATMÁRI et al., 2015). Az átlagmintákat a talajmintavételi útvonalak mentén a táblák feltalajából (0–30 cm) vettük. A 6 tábláról vett 128 darab talajmintán a Magyar Szabványok (MSZ) alapján a teljeskörű laboratóriumi talajvizsgálatokat végeztettük el (1. táblázat).

1. táblázat

A zimányi táblák talajmintáinak teljeskörű laboratóriumi talajvizsgálati jegyzéke

(1) Vizsgált talajparaméterek	(2) Mértékegység	(3) Meghatározás módszere	(4) Kimutatási határ / Mérési tartomány
Kötöttség	(K _A)	MSZ–08–0205: 1978	25–60
Humusztartalom	%	MSZ–08–0210: 1977	0,2%
pH _(KCl)	–	MSZ–08–0206–02:1978	2–12
CaCO ₃	–	MSZ–20–135: 1999	0,25%
NO ₃ –N + NO ₂ –N	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	2,5 mg kg ⁻¹
P ₂ O ₅	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	25 mg kg ⁻¹
K ₂ O	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	30 mg kg ⁻¹
Vízben oldható összes sótartalom	%	MSZ–08–0206–02:1978	0,02%
Mg ²⁺	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	25 mg kg ⁻¹
Na ⁺	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	15 mg kg ⁻¹
Zn ²⁺	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	0,5 mg kg ⁻¹
Cu ²⁺	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	0,5 mg kg ⁻¹
Mn ²⁺	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	10 mg kg ⁻¹
SO ₄ ²⁻	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	2 mg kg ⁻¹
Fe ²⁺ + Fe ³⁺	mg kg ⁻¹	MSZ–20–135: 1999	10 mg kg ⁻¹

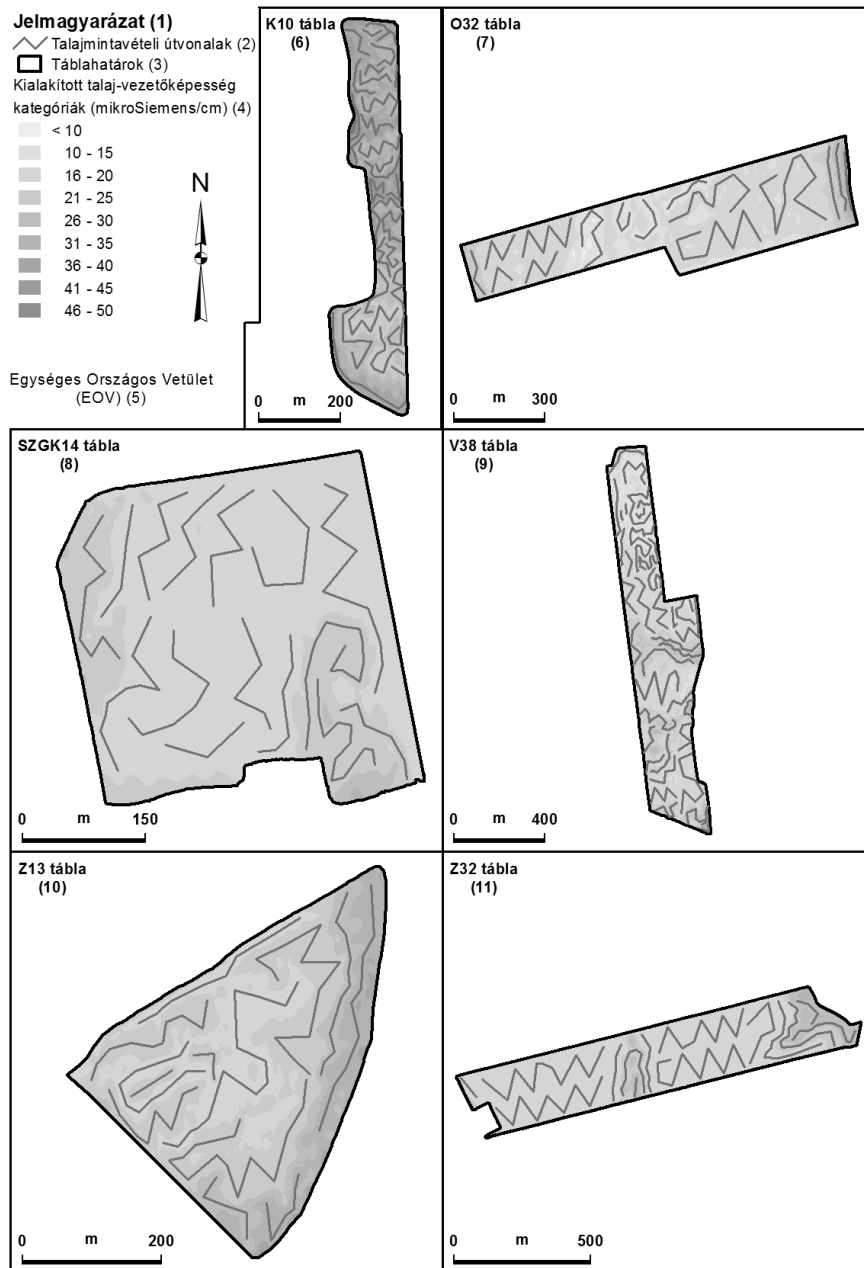
A 2020 tavaszán elvégzett laboratóriumi vizsgálatok szerint a táblák művelt talajrétege döntően vályog és agyagos vályog fizikai féleségű, domboldali és völgyfenéki helyzetétől függően humusztartalma 0,61–2,31% közötti. A savanyú (4,50–5,50 pH), a gyengén savanyú (5,51–6,80 pH) talajféleségek mellett előfordulnak semleges (6,81–7,20 pH) és gyengén lúgos (7,21–8,50 pH) talajfoltok is. Ezek karbonát-tartalma igen széles határok között változik (0–14 %). Jellemzően a szántókon karbonát-mentes, gyengén-, közepesen- és erősen karbonátos talajváltozatok találhatóak (2. táblázat). A talaj vízdoldható összes só-tartalma 0,050% alatti.

2. táblázat

A zimányi mintaterület főbb mért paramétereinek és a tengerszint feletti magasságoknak (tszfm (m)) alapstatisztikai eredményei

(1) Táblakód	(2) Terület (ha)	(3) Minta- szám	(4) Mért jellemzők	(5) Minimum	(6) Maximum	(7) Átlag	(8) Szórás
K10	11,23	32	K _A	42	54	48	3,65
			H (%)	0,84	2,25	1,79	0,29
			pH _(KCl)	6,58	7,54	7,14	0,24
			CaCO ₃ (%)	1,0	14,0	3,76	2,92
			tszfm (m)*	133	147	143	3,45
O32	31,75	15	K _A	32	48	41	5,71
			H (%)	1,32	1,80	1,59	0,15
			pH _(KCl)	6,39	7,43	6,94	0,24
			CaCO ₃ (%)	0,6	10,2	3,0	3,56
			tszfm (m)	137	151	143	5,44
SZGK14	14,73	15	K _A	40	50	45	3,33
			H (%)	1,46	2,31	1,83	0,18
			pH _(KCl)	6,30	7,43	6,93	0,39
			CaCO ₃ (%)	0,8	12,9	4,3	4,56
			tszfm (m)	174	186	181	3,25
V38	39,20	39	K _A	34	42	38	2,16
			H (%)	1,02	1,61	1,21	0,13
			pH _(KCl)	6,38	7,61	7,23	0,39
			CaCO ₃ (%)	0,6	13,8	2,98	3,63
			tszfm (m)	173	210	187	6,82
Z13	13,39	13	K _A	42	47	45	1,75
			H (%)	0,61	2,02	1,54	0,55
			pH _(KCl)	6,04	7,40	7,05	0,45
			CaCO ₃ (%)	0,7	8,6	3,2	2,61
			tszfm (m)	150	165	159	5,19
Z32	33,31	14	K _A	42	50	45	2,76
			H (%)	1,58	2,13	1,72	0,14
			pH _(KCl)	6,41	7,27	6,98	0,29
			CaCO ₃ (%)	0,7	7,5	3,5	2,46
			tszfm (m)	147	165	159	5,77

Megjegyzés: *tengerszint feletti magasság (m).



2. ábra

A táblákon lehatárolt művelési zónák alapján kijelölt talajmintavételi útvonalak

A mintavételi útvonalak körül 5 m sugarú puffert zónát képeztünk, amelyekhez a talajszkennerrel mért értékeket rendeltük. Mivel egy-egy puffert zóna területéhez több mért érték is tartozott, ezért zónastatisztika segítségével meghatároztuk a két (50 és 100 cm) talajmélység vezetőképességének a puffert zónánkénti átlagát, szórását és varianciáját.

Az adatok eloszlását boxplot diagrammal ellenőriztük, a kiugró értékeket eltávolítottuk. A kiugró értékek eltávolítása után kiszámoltuk a talajparaméterekre mért értékek átlagát és szórását. A szórásértékek másfélszeresét negatív és pozitív irányban jelöltük a mért értékek átlagértékén. A másfélszeres szórásértékeken mindkét irányban kívül eső talajvizsgálati eredményeket kizártuk a további statisztikai vizsgálatokból.

A talajparaméterek vezetőképességgel mutatott kapcsolatát stepwise lineáris regresszió-elemzéssel vizsgáltuk. A regresszió-elemzést a hazai talajtani gyakorlatban már régóta használt, – a talajvizsgálatok körének: alap, bővített és teljeskörű – felosztása szerint végeztük (BARANYAI et al. 1987).

A talajszkennerrel méterben mért tengerszint feletti magasságot (tszfm) minden esetben bevettük a lehetséges magyarázó változók közé. Az „**a**” esetben (alapvizsgálatok) talajtulajdonságokat lényegesen jellemző fontosabb (kötöttség, kémhatás, humusz- és mésztartalom) talajparaméterek; a „**b**” esetben (bővített vizsgálatok) alap talajparaméterek és makro tápanyagok (NPK ellátottság); a „**c**” esetben (teljeskörű vizsgálatok) alap talajparaméterek, makro- és mikro tápanyagok (Mg^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , SO_4^{2-} , $Fe^{2+} + Fe^{3+}$) szerinti felosztásban végeztük el az elemzéseket.

A különböző csoportosítás szerinti regressziós elemzésekkel arra voltunk kíváncsiak, hogy a talajparaméterek körének bővítésével szorosabb összefüggéseket kapunk-e az EC értékek és a talajjellemzők között.

A vektoros térinformatikai műveleteket, az adatok térbeli elemzését az ESRI ArcGIS 10.0 térinformatikai szoftverrel végeztük. A statisztikai vizsgálatokhoz az IBM SPSS Statistics 20 programot használtunk.

Eredmények

Mivel a mintaterület a somogyi dombvidéken barna erdőtalajokon, kilúgzó vízgazdálkodási talajtípusokon helyezkedik el, illetve a korrelációelemzés eredménye is azt mutatta, hogy a táblákon a vízdoldható összes sótartalomnak nincs hatása a termőhelyi viszonyok kialakításában, ezért ezt a talajparamétert nem vontuk be a regresszió analízisbe. (A sótartalomnak kiemelkedő szerepe a síkvidéken – alföldi és kisalföldi területeken van, ahol szikes talajok alakultak ki, illetve a mélyben sós talajrétegek vagy geogén háttérből eredő nagy sótartalmú talajvizek fordulnak elő.)

Vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy az „**a**” esetben (alap talajvizsgálatok) az 50 cm mélységben mért talaj-vezetőképesség 6 táblából 5-ben szignifikáns, negatív korrelációt mutat a tengerszint feletti magassággal (3. táblázat). A kötöttség az EC-vel két táblában pozitív, egy táblában pedig negatív korrelációjú. A pH egy esetben (K10 táblában) negatív, a mésztartalom pedig szintén egy esetben (SZGK14

táblában) pozitív korrelációjú a vezetőképességgel. A SZKG14 táblában a kötöttség és az EC közötti negatív korrelációt a szántón belüli nagy mésztartalmú (10,1–25,0%) talajváltozati foltok okozzák. Vályog és agyagos vályog fizikai feleség esetén a nagy CaCO_3 -tartalom megnöveli a talaj-vezetőképességét. A kötöttség hatását ily módon elfedi (pufferolja), mivel a talajrészecskék felületét a karbonát a nagy molekulásúllyal rendelkező szervesanyagokkal együtt organo-minerál komplexeket képezve hidrofóbizálja (LEE et al. 2005; JIN et al. 2014), ami megváltoztatja a talajszemcsék elektromos vezetési tulajdonságait.

Megfigyelhető, hogy az „a” **esetben** az 50 cm-en mért talaj-vezetőképesség és pl. az Arany-féle kötöttség, a mésztartalom és a kémhatás között akkor mutatható ki szignifikáns összefüggés, vagy gyenge kapcsolat, ha az adott (K10, O32 és SZGK14) táblán kevésbé kapnak szerepet a talajviszonyok kialakításában a domborzati tényezők. Ezt a megállapítást jól igazolják az adott statisztikai jellemzőket mutató táblákon belüli szintkülönbségek.

A 100 cm mélységben egyértelműen kimutatható a kapcsolat az EC és a talajtermékenységét befolyásoló talajtulajdonságok a kötöttség, a pH és a mésztartalom között. A mélyebben fekvő talajrétegek ugyanis jobban megőrzik a nedvességet, mint a művelt feltalaj és így a 100 cm-en mért talaj-vezetőképesség is nagyobb.

Három táblában egyértelműen kimutatható összefüggés és vizsgálatunk megbízhatóságának kismértékű, de szignifikáns javulása, ha a számításokba az NPK tápanyag-ellátottságot („b” **eset**) is figyelembe vettük (3. táblázat). A K10 tábla 50 cm-es talajmélységében az EC és a foszforellátottság, valamint az O32 és Z32 tábla EC és az ásványi nitrogén ellátottsága között találtunk összefüggést. A K10 tábla esetében 100 cm-es mélységben, – a foszfortartalmon kívül – kapcsolatot mutattunk ki a mért értékek és nitrogén, valamint a talaj EC értéke és kálium ellátottsága között.

A „c” **esetben** (teljeskörű talajvizsgálatoknál) a nyomelemek is szerepeltek a regresszióanalízisben az összefüggések megbízhatósága növekedett, de a „b” **esetben** tapasztalathoz képest kisebb mértékben. Az 50 cm-es talajmélységben a K10 jelű táblában a szulfáttartalom, az O32 jelű táblában pedig a vastartalom korrelált szignifikánsan a talaj-vezetőképességgel. A 100 cm-es talajmélységben a mikroelemek és a talaj-vezetőképesség között a kimutatható kapcsolatok száma kettővel növekedett: összefüggés áll fenn a K10 tábla cink-, nátrium-, szulfát- és vastartalma, illetve az EC értéke között (3. táblázat). Szintén kapcsolat figyelhető meg az O32 tábla mangán és EC, illetve réz és EC értéke között. Az SZGK14 tábla réz és EC-, valamint a V38 tábla nátrium és EC értéke között. Az összefüggések számának tapasztalt növekedése az 1 m-es mélység nedvesség viszonyaival és agyagtartalma növekedésével magyarázható.

A talajoldatban ionos formában nagy mennyiségben jelen vannak a mikro tápelemek, amelyek hatására a talajok vezetőképessége megnő. A cink- és szulfáttartalom, az EC értékekkel pozitív kapcsolatban van. A mangán- és nátriumtartalom az EC-vel negatív, míg a réz- és a vas nyomelem a táblák helyétől függően negatív, vagy pozitív kapcsolatot mutat, amely erősen függnek a talajtulajdonságoktól és a domborzati viszonyoktól.

3. táblázat
A zimányi mintaterület mezőgazdasági tábláin mért talaj-vezetőképesség és a talajparaméterek összefüggés-vizsgálatának eredményei

(1) Regresszió csoportosítása	(2) Talajmélység (cm)	(3) Táblakód	(4) Talajparaméter	(5) Standardizált β együttható	(6) Összefüggés szignifikanciája	R ²
„a” eset*	50	K10	Átlagos tszfm (m)****	-0,722	0,000	0,583
			pH _(KCl)	-0,546	0,000	
			K _A	0,311	0,013	
		O32	Átlagos tszfm (m)	-0,939	0,008	0,800
			K _A	0,547	0,046	
			CaCO ₃ (%)	0,542	0,015	
	SZGK14	K _A	-0,516	0,019	0,490	
		V38	Átlagos tszfm (m)	0,572		0,002
	Z13	Átlagos tszfm (m)	-0,895	0,003	0,767	
		Z32	Átlagos tszfm (m)	-0,772		0,003
	100	K10	K _A	0,369	0,004	0,570
			Átlagos tszfm (m)	-0,660	0,000	
			pH _(KCl)	-0,538	0,000	
		O32	Átlagos tszfm (m)	-0,968	0,005	0,835
K _A			0,502	0,045		
SZGK14		K _A	-0,571	0,006	0,593	
	CaCO ₃ (%)	0,566	0,006			
V38	Átlagos tszfm (m)	0,814	0,000	0,627		
	pH _(KCl)	0,335	0,013			
Z13	Átlagos tszfm (m)	-0,908	0,002	0,795		
	Z32	Átlagos tszfm (m)	-0,828		0,001	0,653
„b” eset**	50	K10	Átlagos tszfm (m)	-0,809	0,000	0,672
			pH _(KCl)	-0,496	0,000	
			P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	0,434	0,000	
		O32	Átlagos tszfm (m)	-1,177	0,002	0,902
			NO ₃ -N + NO ₂ -N (mg kg ⁻¹)	0,710	0,010	
		SZGK14	CaCO ₃ (%)	0,542	0,015	0,490
	K _A		-0,516	0,019		
	V38	Átlagos tszfm (m)	0,572	0,002	0,299	
		Z13	Átlagos tszfm (m)	-0,895		0,003
	Z32	Átlagos tszfm (m)	-0,717	0,000	0,842	
NO ₃ -N + NO ₂ -N (mg kg ⁻¹)		0,528	0,002			
100	K10	Átlagos tszfm (m)	-0,843	0,000	0,695	
pH _(KCl)	-0,510	0,000				
P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	0,413	0,001				
NO ₃ -N + NO ₂ -N (mg kg ⁻¹)	0,231	0,048				

3. táblázat folytatása

(1) Regresszió csoportosítása	(2) Talajmélység (cm)	(3) Táblakód	(4) Talajparaméter	(5) Standardizált β együttható	(6) Összefüggés szignifikanciája	R ²
„b” eset***	100	O32	Átlagos tszfm (m)	-1,186	0,001	0,923
			NO ₃ -N + NO ₂ -N (mg kg ⁻¹)	0,652	0,009	
		SZGK14	K _A	-0,571	0,006	0,593
			CaCO ₃ (%)	0,566	0,006	
		V38	Átlagos tszfm (m)	0,814	0,000	0,627
			pH _(KCl)	0,335	0,013	
		Z13	Átlagos tszfm (m)	-0,908	0,002	0,795
			Átlagos tszfm (m)	-0,886	0,000	
		Z32	NO ₃ -N + NO ₂ -N (mg kg ⁻¹)	0,505	0,000	0,920
			K ₂ O (mg kg ⁻¹)	-0,259	0,023	
„c” eset	50	K10	Átlagos tszfm (m)	-0,772	0,000	0,754
			pH _(KCl)	-0,530	0,000	
			P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	0,327	0,003	
			SO ₄ ²⁻ (mg kg ⁻¹)	0,313	0,003	
		O32	Fe ²⁺ + Fe ³⁺ (mg kg ⁻¹)	-0,901	0,000	0,750
			P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	0,437	0,008	
		SZGK14	CaCO ₃ (%)	0,542	0,015	0,490
			K _A	-0,516	0,019	
	V38	pH _(KCl)	0,587	0,000	0,403	
		Átlagos tszfm (m)	0,537	0,000		
	Z13	Átlagos tszfm (m)	-0,872	0,000	0,737	
		Átlagos tszfm (m)	-1,034	0,000		
	Z32	NO ₃ -N + NO ₂ -N (mg kg ⁻¹)	0,477	0,001	0,870	
		P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	-0,421	0,048		
	100	K10	Zn ²⁺ (mg kg ⁻¹)	0,426	0,001	0,779
			Na ⁺ (mg kg ⁻¹)	-0,353	0,004	
SO ₄ ²⁻ (mg kg ⁻¹)			0,491	0,000		
Átlagos tszfm (m)			-0,414	0,000		
O32		Fe ²⁺ + Fe ³⁺ (mg kg ⁻¹)	0,409	0,000	0,809	
		Mn ²⁺ (mg kg ⁻¹)	-1,018	0,000		
SZGK14		Cu ²⁺ (mg kg ⁻¹)	0,573	0,006	0,633	
		Átlagos tszfm (m)	-0,383	0,012		
K10	K _A	-0,720	0,001	0,633		
	Cu ²⁺ (mg kg ⁻¹)	-0,613	0,003			

3. táblázat folytatása

(1) Regresszió csoportosítása	(2) Talajmélység (cm)	(3) Táblakód	(4) Talajparaméter	(5) Standardizált β együttható	(6) Szignifikáns összefüggés	R^2
„c” eset	100	V38	Átlagos tszfm (m)	0,782	0,000	0,652
			pH _(KCl)	0,568	0,000	
			K _A	0,261	0,011	
		Z13	Na ⁺ (mg kg ⁻¹)	-0,216	0,038	0,798
			Átlagos tszfm (m)	-0,903	0,000	
			Átlagos tszfm (m)	-1,122	0,000	
Z32	NO ₃ -N + NO ₂ -N (mg kg ⁻¹)	0,403	0,001	0,917		
	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	-0,436	0,015			

Megjegyzés: *Alap talajvizsgálatok (kötöttség, humusztartalom, kémhatás, mésztartalom). **Bővített talajvizsgálatok (alap talajvizsgálatok és makro (NPK) tápanyag-vizsgálatok). ***Teljeskörű talajvizsgálatok (alap talajvizsgálatok, makro tápanyag-vizsgálatok és mikro (Mg²⁺, Na⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺, SO₄²⁻, Fe²⁺ + Fe³⁺) tápanyag-vizsgálatok). ****Átlagos tengerszint feletti magasság (m).

Vizsgálati eredmények megvitatása és következtetések

Vizsgálataink alapján általánosságban elmondható, hogy mindhárom regressziós felosztásban a mintaterület tábláin a tengerszint feletti magasság csökkenésével arányosan nő a talaj-vezetőképessége, illetve a mért értékek növekedésével nő a talajok kötöttsége, azaz agyagtartalma. A vizsgált dombosági területeken a talajváltozati foltok, azaz a lehatárolt termőhelyi zónák termékenységi viszonyait nemcsak az elsődleges talajtulajdonságok (textúra, kémhatás, humusz- és mésztartalom) határozzák meg, hanem azokkal együtt azt a domborzati viszonyok is befolyásolják és/vagy módosítják. A domborzati viszonyok elsősorban a táblákon vagy a parcellákon belüli tengerszint feletti magasság különbségekben nyilvánulnak meg.

Általában a szakirodalmi adatok (SUDDUTH et al., 2001; KORSÆTH 2006; PERALTA et al., 2013; PIKKI et al., 2013; HEIL & SCHMIDHALTER 2017) alapján a talaj vezetőképessége a talajnedvesség-tartalomtól, talajok fizikai feleségétől és a talajszerkezetétől is függ. A nagyobb agyagtartalmú talajfeleségek illetve talajrétegek vízmegkötő képessége és víztartalma nagyobb, mint a homok- vagy homokos vályog talajoké. A nedvesebb talaj EC-je is nagyobb. A tapasztalatok szerint a dombvidéki szántókon a csapadék felszín alatti és felszíni lefolyással a völgytalpi mélyedésekben gyűlik össze. Az erodált domboldalak és dombvállak talajfoltjai, rossz vízgazdálkodásuk miatt hamar kiszáradnak. Az erózió hatására a dombok között a mélyen fekvő területeken jórészt agyagos fizikai feleségű lejtőhordalék és réti jellegű talajok alakulnak ki. Vízgazdálkodásuk általában kedvezőbb, mint az erodált

területeké. Ezt kiválóan mutatja a talaj-vezetőképessége és tengerszint feletti magasságának szignifikánsan negatív összefüggése. A táblán belüli nagy térbeli szintkülönbségek (2. táblázat) a domborzati viszonyokra és a terület erodáltságára utalnak, amelyek alakítják a termőhelyi zónák talajtani sajátosságait.

Az EC és a karbonát-tartalom, illetve az EC és a kémhatás között is felfedezhető kapcsolat. A CaCO_3 -tartalom segíti a talaj szerkezetességének kialakulását (porhanyós, apró morzsás szerkezet), ami befolyásolja a vízgazdálkodási tulajdonságokat is. A vízgazdálkodási tulajdonságok javulása kedvezőbb nedvesség állapotot eredményez, amikor a talajoldatban több ion áramlik szabadon, ami az EC növekedéséhez vezet. A mésztartalomtól nagyban függ a talajok kémhatása. A meszes talajváltozatoknak a növénytermesztés számára kedvező, semleges körüli a pH-ja.

Az eredmények szerint a jó víz- és tápanyag-ellátottságnak fontos szerepe van a talajfoltok vagy művelési zónák termékenység viszonyaiban. Az 1 m-es talajmélységben a talaj-vezetőképesség és a mért talajparaméterek között szorosabb összefüggéseket tudunk kimutatni, mint a fél méteres vizsgálatok esetén, ezt támasztja a mélyebb talajmélységben az R^2 értékek növekedése is. Jól mutatja azt, hogy a domborzati viszonyok jelentősen befolyásolják a talajokban – a nedvességtartalom vertikális eloszlásán keresztül – a tápanyagok mozgását és felhalmozódását. A dombvidéki szántókon a magasabb területekről, a lejtőkről a csapadékkal a mélyebben fekvő helyekre mosódnak le a tápanyagok. Azok a völgytalpakban halmozódnak fel a talajokban és eredményeznek azok alsó rétegeiben magasabb tápanyagszintet. Tehát a talajok tápanyag-gazdálkodását a domborzati viszonyok is befolyásolják. Mindezek megmutatkoznak az N és a P tápanyag-ellátottság és a mért EC értékek közötti összefüggésekben.

A talaj-vezetőképessége és a mikroelemek közötti kapcsolatok statisztikai eredményeire jelenleg kevésbé tudunk magyarázatot adni. Továbbá a talajjellenállás és a makro tápanyagok közötti összefüggések, felderítéséhez és megértéséhez további vizsgálatokra, illetve a talajadatbázis bővítése szükséges. Vizsgálataink alapján elmondható, hogy azon táblákon, ahol a talaj agyagtartalma jelentős (fizikai félesége agyagos vályog és agyag), vagy az agyagosság a mélyebben fekvő talajszintekben (100 cm-en) is megjelenik, ott csak igen gyenge kapcsolatot mutattunk ki a talaj-vezetőképessége és a mikro tápelemek között. Ezt megmagyarázza, hogy a nagy fajlagos felületű agyagszemcsék és agyaghártyák jelentős mennyiségben kötnek meg mikroelemeket. Ez lehet az oka, hogy hasonlóan a nagy CaCO_3 -tartalmú talajfoltok esetében, (lásd „c” eset) a mikro tápanyagtartalom hatását a kötöttség pufferozza.

A vizsgálatra kiválasztott táblák talajszkennelése 2019 tavaszán száraz, vízhiányos időszakban történt. Ezt igazolja a zimányi mintaterület központi részére havi hőmérsékleti ($^{\circ}\text{C}$) és csapadékmennyiség (mm) adatsorokból számított éves természetes növényi vízellátottság (SZÁSZ 1991), és a Pálfai-féle aszályindex (PÁLFAI 2004). Ezek szerint a 2019-es év igen száraznak minősül a talajnedvességtartalom szempontjából.

A talajok vezetőképességének mérése valóban elérhető, gyors és egyszerű módszer, amely a laboratóriumban mért „hagyományos” talajvizsgálati

eredményekkel együtt a termőhelyi zónalehatárolás alapját képezheti. A jövőben folytatni kell az ilyen irányú vizsgálatokat más termőterületeken és egyre bővülő talajadatbázison. A statisztikai elemzésekkel tovább pontosíthatjuk és finomíthatjuk a szántókon mért talaj-vezetőképességén alapuló becselőmodell megbízhatóságát.

A tervezett szántóföldi EC méréseken alapuló talajtulajdonságok vizsgálatoknál mindenképpen azt figyelembe kell, hogy az adott mintaterületen – a vegetációs időszakot tekintve – az egyes talajrétegek folyamatos és állandó nedvesség viszonyait. A mért vezetőképesség értékeket a talaj pillanatnyi nedvességtartalma, vízellátottsága határozza meg. Vizsgálni kell az évjáráthatások szerepét is, hiszen a különböző, – pl. száraz, normál és csapadékos – évjárat-típusok is jelentősen meghatározzák a talajok aktuális állapotát, így a mért EC-t is. Az évjárat-típusok megállapításához szükség van különböző természetes növényi vízellátottságot vagy vízhiányt mutató indexek kiszámítására, amelyekhez a mintaterületekre megbízható, több éves havi, vagy dekad szintű (10 napos) időjárás adatok kellenek.

Összefoglalás

Vizsgálatunk célja az volt, hogy egy Somogyban elhelyezkedő, dombvidéki mintaterület szántóin elemezzük a mért talaj-vezetőképesség (EC) értékek és lehatárolt termőhelyi (művelési) zónák talajtulajdonságai közötti összefüggéseket. A vizsgált szántóterületek löszön kialakult, típusos Ramann-féle barna erdőtalajon és karbonátos csernozjom barna erdőtalajon helyezkednek el. Feltalajuk döntően vályog és agyagos vályog fizikai féleségű. A talaj vezetőképességét 50 és 100 cm-es talajmélységben mértük.

A mintaterület talajadatait térinformatikai állományba foglaltuk, az adatok rendezését és azok összekapcsolását az ESRI ArcGIS 10.0 programmal végeztük el. A táblák heterogenitását mutató laboratóriumi talajvizsgálatok eredményeit a mért EC értékekkel összevetettük, amelyhez az IBM SPSS Statistics 20 szoftver segítségével stepwise-típusú lineáris regressziót alkalmaztunk. A regressziókat a talajvizsgálatok csoportosításával megegyezően: alap („a” eset), bővített („b” eset) és teljeskörű („c” eset) alapján futtattuk le. A számításoknál az „a” eset a talajtulajdonságokat meghatározó fontosabb talajparaméterek (kötöttség, humusz- és mésztartalom, kémhatás), a „b” eset az alap talajparamétereket és a makro tápanyagok (NPK ellátottságot), valamint a „c” eset az előző kettőt és mikro tápanyagok (Mg^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , SO_4^{2-} , $Fe^{2+} + Fe^{3+}$) körét jelenti.

A különböző csoportosításban elvégzett elemzések során arra voltunk kíváncsiak, hogy a vizsgálati talajparaméterek körének változtatásával szorosabb kapcsolatokat találunk-e a mért átlagos EC értékek és a talajtulajdonságok között. Az eredményeink által kaphatunk-e olyan kellő pontosságú és megbízhatóságú becselőmodellt, amely a talajok térbeli heterogenitását megmutatja az EC értékek alapján, így a módszer nagyban meggyorsíthatja és leegyszerűsítheti a „hagyományos” talajvizsgálatokhoz képest a termőhelyi zónák elkülönítését.

A vizsgálati eredményeink alapján elmondható, hogy mindhárom regressziós csoportosítás esetén a tengerszint feletti magasság csökkenésével arányosan nő a talaj-vezetőképesség, illetve az EC értékek növekedésével nő a talajok kötöttsége,

amellyel együtt növekszik az agyagtartalom is. Ez a folyamat 100 cm-es talajmélységben a nagyobb víztartalom miatt erőteljesebben jelentkezik, mint az 50 cm-es talajmélységben. A termőhelyi zónák termékenységi viszonyait az elsődleges talajtulajdonságokon, illetve a makro és a mikro tápanyag-ellátottságokon kívül a domborzati viszonyok is módosíthatják. A talajellenállás mérése bárki számára elérhető, gyors és egyszerű módszer. A laboratóriumi talajvizsgálatokat kiegészítve alkalmas arra, hogy a precíziós növénytermesztésben segítséget nyújtson a termőhelyi zónák lehatárolásában.

Kulcsszavak: precíziós gazdálkodás, talaj-vezetőképesség, talajparaméterek, térbeli talajheterogenitás, termőhelyi zónalehatárolás

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a GINOP-2.2.1-15-2017-00105 azonosító számú az „Innovációs folyamatot támogató szolgáltatások fejlesztése a szántóföldi növénytermesztés számára (SMART-GAZDA)” című projekt anyagi támogatásával zajlik. A projekt a Széchenyi 2020 program keretében valósul meg. A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. Köszönet az EFOP-3.6.1-16-2016-00015 projekt anyagi támogatásáért. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. A vizsgálat az Európai Unió támogatásával a „SIEUSOIL – Sino-EU Soil Observatory for Intelligent Land Ide Management” című és 818346 azonosító számú H2020 projekt keretében történt.

Irodalomjegyzék

- ALLEN, R. D., 1977. Evaluation of arial photography as technique for estimating citrus fruit yield. U.S. Department of Agriculture Staff Report, Statistical reporting service.
- AMBRUS, A., 2016. A hely-specifikus tápanyag-ellátás és az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) mennyiségi és minőségi jellemzői közötti összefüggések vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Növénytermesztési Intézet, Gödöllő.
- BARANYAI, F., FEKETE, A. & KOVÁCS, I., 1987. A magyarországi tápanyag-vizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- CORWIN, D. L. & LESCH, S. M., 2003. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles and guidelines. *Agronomy Journal*. **95**. 455–471.

- DÖVÉNYI, Z. (Szerk.), BECSE, A., MEZŐSI, G., ÁDÁM, L., JUHÁSZ, Á., MAROSI, S., SOMOGYI, S., SZILÁRD, J., AMBRÓZY, P., KONKOLYNÉ BIHARI, Z., KIRÁLY, G., MOLNÁR, Z., BÖLÖNI, J., CSIKY, J., VOJTKÓ, A., RAJKAI, K., TÓTH, G., TINER, T., MICHALKÓ, G. & KERESZTESI, Z., 2010. Magyarország kistájainak katesztere. Második, átdolgozott és bővített kiadás. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- GULÁCSI A. & KOVÁCS F., 2015. Aszályvizsgálat lehetősége Modis műholdképekből számított spektrális indexekkel Magyarországon. Tájökológiai Lapok. **13**. (2) 235–248.
- GYÖRFFY, B., 2000. A biogazdálkodástól a precíziós mezőgazdaságig. Gyakorlati Agrofórum, **11**. (2) 1–5.
- HEIL, K. & SCHMIDHALTER, U., 2017. The Application of EM38: Determination of Soil Parameters, Selection of Soil Sampling Points and Use in Agriculture and Archaeology – Review. Sensors. **17**. 1–44.
- HERMANN, T., KISMÁNYOKY, T. & TÓTH, G., 2014a. A foszfor-ellátottság hatása a kukorica (*Zea mays L.*) termőképességére mezősi 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 csernozjom és barna erdőtalajú termőhelyeken, különböző évjáratokban. Növénytermelés. **63**. (2) 1–22.
- JASSÓ, F. (Szerk.), HORVÁTH, B., IZSÓ, I., KIRÁLY, L., PARÁSZKA, L. & SZABÓNÉ KELE, G., 1989. '88 útmutató a nagyméretarányú országos talajtérképezés végrehajtásához. Agroinform Kiadó. Budapest.
- JENEY, I. & JASSÓ, F. (Szerk.), 1983. Magyarország genetikus talajtérképe (méretarány: 1:200.000). Kartográfiai Vállalat, Budapest.
- JIN, J., ZIMMERMAN, A. R., MOORE, P. J. & MARTIN, J. B., 2014. Organic and inorganic carbon dynamics in a karst aquifer: Santa Fe River Sink-Rise system, north Florida, USA. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. **119**. (3) 340–357.
- JOHNSON, C. K., DORAN, J. W., WIENHOLD, B. J. & SHANAHAN, J. F., 2001. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. Soil Science Society of America Journal. **65**. 1829–1837.
- KACHANOSKI, R. G., GREGORICH, E. G. & VAN WESENBEECK, I. J., 1988. Estimating spatial variations of soil water content using non contacting electromagnetic inductive methods. Canadian Journal of Soil Science. **68**. 715–722.
- KAFFKA, S. R., LESCH, S. M., BALI, K. M. & CORWIN, D. L., 2005. Site-specific management in salt-affected sugar beet fields using electromagnetic induction. Computers and Electronics in Agriculture. **46**. 329–350.
- KOC SIS, M., BERÉNYI ÜVEGES, J., VÁRSZEGI, G. & SISÁK, I., 2015. A MÉM NAK genetikus talajtérkép bemutatása és talajosztályozási kategóriáinak elemzése. Agrokémia és Talajtan. **64**. (1) 53–72.
- KORSAETH, A., 2006. Height above ground corrections of EM38 readings of soil apparent electrical conductivity. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science. **56**. 333–336.

- LEE, Y. J., ELZINGA, E. J. & REEDER, R. J., 2005. Cu(II) adsorption at the calcite–water interface in the presence of natural organic matter: kinetic studies and molecular-scale characterization. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **69**. (1) 49–61.
- MACHANDA, M., KUDART, M. & TIWARI, A. K., 2002. Soil survey and mapping using remote sensing. *Tropical Ecology*. **43**. (1) 61–74.
- MARTON, J., 2006. Gabonatermesztés jövőjéről a múlt tükrében. http://ikr.hu/tudastar_gabonaterm_ml.php
- MELCHIORI, P. Z., 2002. Spatial variability of wheat yield, association with edaphic parameters and assessment of application of nitrogen for specific sites. Thesis for Master of Science degree. National University of Mar del Plata, Balcarce, Argentina.
- MESTERHÁZI, P. Á., 2011. Precíziós növénytermesztés a gyakorlatban. *Agrárágazat*. **2**. 94.
- MILLER, B. A. & SCHAETZL, R. J., 2014. The historical role of base map sin soil geography. *Geoderma*. **230–231**. 329–339.
- MOORE, I. D., GESSLER, E., NIELSEN, G. A. & PETERSON, G. A., 1993. Terrain analysis for soil specific crop management. Second International Conference on Site-Specific Management for Agricultural Systems, Supplement. pp. 27–51.
- MORAL, F. J., TERRÓN, J. M. & MARQUES DA SILVA, J. R., 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil Tillage Research* **106**. 335–343.
- PÁLFAI, I., 2004. Belvizek, aszályok Magyarországon. Közlekedési Dokumentációs Kft, Budapest.
- PÁSZTOR, L., DOBOS, E., SZATMÁRI, G., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., BAKACSI, Z. & SZABÓ, J., 2014. Application of legacy soil data in digital soil mapping for the elaboration of novel, countrywide maps of soil conditions. *Agrokémia és Talajtan*. **63**. (1) 79–88.
- PERALTA, N. R., COSTA J. L., BALZARINI, M. & ANGELINI, H., 2013. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. *Canadian Journal of Soil Science* **93**. 205–218.
- PIIKKI, K., SÖDERSTRÖM, M. & STENBERG, B., 2013. Sensor data fusion for topsoil clay mapping. *Geoderma*. **199**. 106–116.
- RHOADES, J. D., MANTEGHI, N. A., SHOUSE, P. J. & ALVES, W. J., 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. *Soil Science Social American Journal*. **53**. 433–439.
- SCULL, P., FRANKLIN, J., CHADWICK, O. A. & MCARTHUR, D., 2003. Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography*. **27**. (2) 171–197.
- SUDDUTH, K. A., DRUMMOND, S. T. & KITCHEN, N. R., 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. **31**. 239–264.
- SUDDUTH, K. A., KITCHEN, N. R., BOLLERO, G. A., BULLOCK, D. G. & WIEBOLD, W. J., 2003. Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. *Agronomy Journal*. **95**. 472–482.

- STEFANOVITS, P., 1963. Magyarország talajai. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- SZATMÁRI, G., BARTA, K. & PÁSZTOR, L., 2015. An application of a spatial simulated annealing sampling optimization algorithm to support digital soil mapping. *Hungarian Geographical Bulletin*. **64**. (1) 35–48.
- SZÁSZ, G., 1991. A nyári aszályhajlam területi eloszlása Magyarországon. *Acta Geographica*. **XXVIII–XXIX**. 291–308.
- SZÉKELY, C., 2000. Tervezési módszerek és eljárások. In: BUZÁS, G., NEMESSÁLYI, ZS. & SZÉKELY, C. (Szerk.): *Mezőgazdasági üzemtan I.* (10. fejezet). Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. pp. 272–328.
- SZABOLCS, I. (Szerk.), DARAB, K., FÓRIZS, J.-NÉ, FÖLDVÁRI, G., JASSÓ, F. & VÁRALLYAY, G., 1966. A genetikus üzemi talajtérképezés módszerkönyve. Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet (OMMI). Budapest.
- TAMÁS, J., 2001. *Precíziós mezőgazdaság*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- YE, X. & SAKAI, K., 2011. Application of airborne hyperspectral imagery to estimating fruit yield in citrus. 3rd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evaluation in Remote Sensing. Lisbon. Portugal. 6–9 June. 2011.
- YOST, R. S., UEHARA, G. & FOX, R. L., 1982. Geostatistical analysis of soil chemical properties. II. Kriging. *Soil Science Society of America Journal*. **46**. 1033–1037.
- VÁRALLYAY, G., 2012. Talajtérképezés, talajtani adatbázisok. *Agrokémia és Talajtan*. **61**. Online Suppl. 249–268. <http://www.aton.hu/documents/10156/c4e78c6b-a2bf-4441-b367-39e2275d83ce>

Correlations between soil conductivity and soil properties of crop management zones

¹*Mihály KOC SIS, ²László MENYHÁRT, ³András BENŐ and ⁴Tamás HERMANN

¹Department of Sustainability, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute for Environmental Sciences, Georgikon Campus, Keszthely (Hungary); ²Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Technology, Georgikon Campus, Keszthely (Hungary); ³Department of Soil Mapping and Environmental Informatics, Institute for Soil Sciences, Centre for Agricultural Research, Budapest (Hungary); ⁴Institute of Advanced Studies, Kőszeg (Hungary)

Summary

Our aim was to analyse the relationships between the measured soil electrical conductivity (EC) and the soil properties of different delimited production (tillage) zones in a hillside sample area situated in Somogy county. The examined arable lands are situated in typical Ramann-type brown forest soil and chernozem-brown forest soil mostly with loam and clay loam formed on loess. For the investigations, two soil resistance values (measured at 50 cm and 100 cm depth) were used.

Soil data of the sample area were incorporated into a GIS file, the ordering and connection of the data was performed by ESRI ArcGIS 10.0 program. The results of

the soil laboratory tests (which show soil heterogeneity) were correlated to the measured EC-values with stepwise linear regression using IBM SPSS Statistics 20 software. The regression were run in line with the alignment of soil investigations: basic (**case „a”**), extended (**case „b”**) and completed (**case „c”**). By the calculations, **case „a”** means the group of the most important soil parameters which are determinative soil characteristics (upper limit of plasticity or K_A , humus-, lime content, pH), **case „b”** means the previous one plus the group of macronutrients (NPK-content), while **case „c”** means **case „b”** plus the group of micronutrients (Mg^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , SO_4^{2-} , $Fe^{2+} + Fe^{3+}$).

With the analyses made in different alignments our aim was to determine whether with the changing of examined soil parameters there will be tighter relationships between the measured EC-values and soil properties. Further aim was to examine whether it is possible to make a properly accurate and reliable estimation model, which can show the real soil circumstances (spatial heterogeneity of soils) based on EC-values, since this method can accelerate and simplify the separation of productivity zones compared to the conventional soil examinations.

Based on the results it can be concluded that in case of all the three regression groups the electrical conductivity increases proportionally with the decreasing of elevation. Besides, with the increasing of EC-values the K_A – and with it, the clay content also – increases. This process develops in a more significant way in the depth of 100 cm than in 50 cm because of the higher water content. Besides the primary soil characteristics and the amount of macro- and micronutrients, the fertility conditions of the production zones can be affected by the geographical circumstances as well. The measurement of soil resistance is a fast, easy and generally available method, which is suitable – with the completion of laboratory examinations – for giving assistance to delineate the production zones in the precision crop production.

Keywords: precision management, soil conductivity, soil parameters, spatial soil heterogeneity, management zone delimitation

Tables and figures

Figure 1. Location of the Zimány study area. (1) Legend; (2) Fields of Zimány area; (3) Boundaries of microregion; (4) Unified National Projection System (UNPS, EOVS in Hungarian).

Figure 2. Soil sampling routes designated based on the cultivation zones delimited on the fields. (1) Legend; (2) Soil sampling routes; (3) Field boundaries; (4) Soil conductivity categories created ($\mu S\ cm^{-1}$); (5) Unified National Projection System (UNPS, EOVS in Hungarian); (6) K10 field; (7) O32 field; (8). SZGK14 field; (9) V38 field; (10) Z13 field; (11) Z32 field.

Table 1. Complete laboratory soil investigation list of soil samples from Zimány fields. (1) Soil parameters examined; (2) Units; (3) Method of determination; (4) Detection limit/Measuring range.

Table 2. Descriptive statistics of the main measured parameters and the altitudes above sea level (aasl (m)) of the Zimány study area. (1) Field code; (2) Area (ha); (3) Number of cases; (4) Measured properties; (5) Minimum; (6) Maximum; (7) Mean; (8) Standard deviation. *Remark:* *Altitude (m).

Table 3. Results of correlation investigations between soil conductivity and soil parameters measured on the plots of the Zimány study area. (1) Regression grouping; (2) Soil depth (cm); (3) Field code; (4) Soil parameter; (5) Standardized β coefficient; (6) Significant correlation. *Remark:* *Basic soil investigations (upper limit of plasticity, humus content, pH, lime content). ***Extended soil investigations (basic soil investigations and macronutrient (NPK) investigations). ***Completed soil investigations (basic soil investigations, extended soil investigations, micronutrient (Mg^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , SO_4^{2-} , $Fe^{2+} + Fe^{3+}$) investigations). ****Average altitude (m).

Open Access nyilatkozat: A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)
