

NAGYFELBONTÁSÚ DIGITÁLIS TALAJTÉRKEPEZÉS A VASKERESZT ERDŐREZERVÁTUMBAN

Illés Gábor¹, Kovács Gábor² és Heil Bálint²

¹Erdészeti Tudományos Intézet

²Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar

Kivonat

A digitális talajterképezés módszereinek alkalmazásával a Vaskereszt erdőrezervátum talajterképét készítettük el. A terület talajait rétegzett véletlen mintavétellel vettük fel. A 138 véletlen mintavételi helyen talajtípus-meghatározást végeztünk. A talajterkép előállításához a digitális domborzatmodell, a talajadatokból álló adatbázist és földtani adatokat használtuk. A mintavételi pontok közötti területek talajtípusbecslésére diszkriminancia analízist, klasszifikációs fa és mesterséges neuronhálózat módszert alkalmaztunk, melyekben domborzati és földtani prediktor változók szerepeltek. A talajterképét a három becslő módszerrel külön-külön, majd együttes alkalmazással is elkészítettük. Vizsgáltuk a talajtípusbecslések pontosságát. Megállapítottuk, hogy a becslő módszerek önmagukban is alkalmasak talajterképek előállítására, de a becslési pontosságuk egyenetlen, 66–92% közötti. A talajtípusbecslő módszerek együttes alkalmazásával nyert eredményterkép 10%-kal volt nagyobb pontosságú, mint az egy-egy becslő módszer alkalmazásával kapott.

Kulcsszavak: digitális talajterképezés, térbeli kiterjesztés, erdőrezervátum

HIGH RESOLUTION DIGITAL SOIL MAPPING IN THE VASKERESZT FOREST RESERVE

Abstract

Using the digital soil mapping methods we made the soil map of Vaskereszt forest reserve. Soil samples were collected applying stratified random sampling. 138 sample sites were appointed where soil-types were determined. We used the digital elevation model, soil data, and geological data in order to produce soil map. To predict soil information for the areas between sample points general discriminant-, classification tree, and artificial neural network analysis were applied, in which relief and geological variables were predictors. Soil map was developed first using each method separately, and second using them simultaneously. Their prediction accuracies were compared. We concluded that these methods are able to derive soil maps however the classification accuracies are uneven, ranging between 66–92%. The soil map that was derived by the joint application of the three methods obtained 10% improvement in the overall accuracy.

Keywords: digital soil mapping, spatial prediction, forest reserve

BEVEZETÉS

A digitális talajtérképezési munkákban a legtöbbször és jellemzően használt független (predikciós) változók a domborzatmodellekből (DDM) származtathatóak. Ilyenek a következők: tengerszint feletti magasság, lejtés, kitérség és a felszín görbületét leíró paraméterek. Ezeknek a változóknak a körét gyakran bővítik a hidrológiai jellemzőket leíró változók, amilyen például az összefolyási vagy konvergencia index (Behrens és mtsai 2005). A digitális felszínmodellek használata azzal indokolható, hogy a domborzat a talajképződés folyamatában az egyik kulcsfontosságú tényező (Scull és mtsai 2003). A domborzat fontossága mint a talajtulajdonságok és talajjellemzők térbeli eloszlásának térképezésére használt predikciós változók csoportja, különösen szembevetendő a viszonylagosan kis kiterjedésű térképezendő területek esetében, amelyek kiterjedése a néhány száz hektártól a néhány tíz négyzetkilométerig terjed (McBratney és mtsai 2003). A térképezés során független változóként használt egyéb adatok között szerepelnek a földtani térképek, a távérzékelt adatok, a korábbi időpontokból származó talajadatok és a klimatikus változók adatai (McBratney és mtsai 2003, Lagacherie és mtsai 2007). Meglévő talajadatok vagy régi talajtérképek nagyon hasznosak az új felvételek előkészítésében és értékelésében, de arra is vannak példák, hogy a régebbi talajtérképeket a DDM segítségével javítják és aktualizálják, ami az új felvételek elvégzésénél kevésbé költséges megoldás (Pásztor és mtsai 2010, Bakacsi és mtsai 2010, Behrens és mtsai 2008).

A szakirodalmi források jelentős része elsődlegesen a DDM-ek talajtérképezésben való felhasználásának módszertani és feldolgozási kérdéseivel foglalkozik az egyes domborzatból levezetett változók esetében (Dobos és Hengl, 2009), ide értve azokat is, amelyek az egyes talajtulajdonságok és talajjellemzők becslési bizonytalanságának mértékét vizsgálják (Bishop és mtsai 2006, Smith és mtsai 2006). A szakirodalom alapján megállapítható, hogy a domborzat-talaj modellek nem nagyon érzékenyek a DDM-ek esetleges hibáira, azonban a domborzatmodell léptéke és felbontása, valamint a vizsgált terület nagysága fontos. Egy dél-brazíliai tanulmányból kiderül, hogy a DDM alapú háttérváltozók kizárólagos használata esetén a nagyobb, aggregált talajtípus csoportok térképezése eredményesebb lehet, mint különálló talajtípusok térképezése (pl.: barna erdőtalajok csoportja) (Giasson és mtsai 2006).

Nagyon változatosak a talajtérképezésben használt adattfeldolgozási technikák (mesterséges neuronhálózatok, regressziós módszerek, klasszifikációs fák, diszkriminancia vizsgálat, szakértői rendszerek és geo-statisztikai módszerek) vagy ezek kombinációja (Zhu és mtsai 2004, Lagacherie és mtsai, 2007). Ezeknek a módszereknek a hatékonyságát vizsgálva, egy kizárólag DDM alapú predikciós kísérletben (Behrens és Scholten 2007) kiderült, hogy legjobban a neuronhálózatok és a klasszifikációs fák használhatók digitális talajtérképek előállításához. A talajtulajdonságok térképezésével kapcsolatban Minasny és McBratney (2007a) eredményei megmutatták, hogy a regressziós krigeles meglehetősen stabil eredményt szolgáltat, ha a mintaszám elegendően nagy. Minasny és McBratney (2007b) egy másik tanulmányban azt vizsgálták, mi történik, ha a talajtípusok térbeli mintázatának becslésénél figyelembe veszik a talajtípusok mint taxonómiai egységek közötti hasonlósági mérőszámokat. Azt állapították meg, hogy a taxonómiai értelemben vett hasonlóság és különbség bevonása növeli a talajtípusmintázat- becslési eredmények pontosságát.

Megállapítható, hogy a térképezési munkák szempontjából a talajról gyűjtött információk mennyisége és minősége egyaránt fontos. Általánosságban a gyűjtött minták számának a becslésekhez használt változók számához képest kb. tízszer nagyobbak kell lennie. Mayr és Palmer (2007) megmutatta, hogy a modellek kipróbálására használt gyakorló területek és az azok ellenőrzésére használt teszterületek hasonlósága alapkövetelmény. Ugyanők kimutatták, hogy a becslések pontosságát a felszíninformáció kialakulásáról rendelkezésre álló információk megléte vagy hiánya is befolyásolja.

A talajtulajdonságok térképezésében a mintavételezés módszertana jobban ki van dolgozva, mint az öszszetett vagy levezetett talajjellemzők (pl.: a talajtípusé). A digitális talajtérképezés mintavételi tervezési eljárásait általában a geo-statisztikai megközelítés uralja. Az eljárások közötti különbségeket a háttérváltozók mennyisége és minősége szabja meg (Lagacherie és mtsai 2007). Általánosságban a rétegzett véletlen min-

tavételek és a felszínformák szerinti szegmentáció javasolható. A felvételezések célja szerint azonban egyéb mintavételi módok is alkalmazhatók. További erőfeszítéseket kell tenni annak érdekében, hogy a meglévő talajtani ismereteket hatékonyabban lehessen alkalmazni a mintavételek optimalizálásában, valamint új típusú háttérváltozók kijelölésére a térképezésben (Lagacherie 2008; Carré és Boettinger 2008).

A jelen cikkben bemutatott munka célja talajtípus térképek előállításának. E cél három résztételek:

- talajtérképek készítése a Vaskereszt erdőrezervátum területére korszerű talajtérképezési módszerekkel;
- az elkészült térképek pontosságának és megbízhatóságának vizsgálata;
- eljárás kidolgozása a talajtérképezés hatékonyságának a növelésére.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A térképezett terület

A Vaskereszt erdőrezervátum a Balaton déli partján, Szántód, Szántópuszta és Balatonendréd községek határában található. Klimatikus viszonyait tekintve a cseres, ill. kocsánytalan tölgyes és az erdősztyepp klíma határán helyezkedik el. Uralkodó erdőtürsültsége a cseres-kocsánytalan tölgyesek, valamint a mész- és melegkedvelő tölgyesek.

Felhasznált adatok

A vizsgálatban a digitális talajtérképezés gyakorlatában egyöntetűen használt változókkal és adatállományokkal dolgoztunk (Hengl és Reuter 2007). A felhasznált adatok típusát, jellegét és mennyiségét az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A projektben felhasznált alapadatok
Table 1: The input data used in the project

Adat típusa	Adat jellege	Származási hely	Adatmennyiség (db)	Adatgazda
Talajadatok	Terepi megfigyelések	Vaskereszt erdőrezervátum	19 szelvény + 119 fúráspon	ERTI
Domborzati adatok	Digitális raszteres állomány	Vaskereszt	5 méteres rácshálóban 707x773 adatpon	FÖMI
Földtani adatok	Digitális vektoros állomány	Vaskereszt	36-féle földtani képződmény	MÁFI

Az egyes adattípusok rövid leírása:

Talajadatok: ismert koordinátájú mintavételi helyeken talajszelvényekből és talajfúrásokból gyűjtött mintákból végzett laborvizsgálatok és helyszíni vizsgálatok alapján megállapított talajtípus-információ.

Domborzati adatok: a Földmérési és Távérzékelési Intézet által forgalmazott M=1:10 000 méretarányú digitális domborzatmodellből származtatott, 5x5 méteres pixelméretű raszter adatállományok – lásd lentebb. Az eredeti cm-es felbontású egész számértékű DDM-ből méteres felbontású, lebegőpontos értékű, simított terépmódel felületek.

Földtani adatok: a Magyar Állami Földtani Intézet által készített földtani térképek digitális állományai, melyek a felszín közeli, 2 méter mélységben lévő képződményeket ábrázolják. Az adatállomány az 1:50 000



méretarányú földtani térkép digitális változata. E fedvény adatai a talajtípusok talajképző vagy ágyazati köze-
teinek azonosítására, ill. elkülönítésére használhatóak.

Az alapadatok mellett további, származott adatállományokat használtunk fel. A térinformatikai adatmodell
elemei a következők voltak:

- Domborzatmodell, 5x5 m-es cellamérettel, a tengerszint feletti magasság meghatározására. A simított domborzatmodell 7x7 cella nagyságú szűrővel készült, mely a központi cella magasságát a környező cellák magasságának ötszörös, háromszoros és egyszeres súlyával számolta át. Ezzel a módszerrel a kiindulási domborzattalület éles törései küszöbölhetők ki.
- Kitétség térkép, 5x5 m-es cellamérettel. A térkép a térképezendő terület pontjainak égtáj szerinti be-
sorolását egyszerűsíti le. Használatával a részletleíró termőhelyi információk pontosíthatók.
- A lejtést ábrázoló térképállomány, 5x5 m-es cellamérettel. Az előző adatállományokhoz hasonlóan az
erdészeti termőhely-besoroláshoz alkalmazott lejtőkategória meghatározását könnyíti meg.
- Évi napenergia bevételi modell, 5x5 m-es cellamérettel. Az adatállomány a földrajzi szélesség és a lo-
kális domborzatmodell alapján megmutatja, hogy mekkora lehet a potenciális napenergia-bevételi ener-
gia fluxus mértékegységben (kWh/m²/év, vagy MJ/cm²/év). Ez az érték több fontos paraméterrel lehet
összefüggésben, a hőmérséklettel, talajtípussal. Változatai a direkt, vagyis a közvetlen megvilágításból
eredő energiabevétel, illetve a diffúz, vagyis a szórt sugárzásból származó energiabevétel.
- Napos órák számát becslő térkép, 5x5 m-es cellamérettel. A direkt megvilágítású területrészek megvi-
lágítási idejét ábrázolja.
- Domborzat-pozíciós index, 5x5 m-es cellamérettel. A domborzatpozíciós index az adott terület magas-
sági értékét viszonyítja egy adott nagyságú és alakú környezet magassági értékeihez. Nagyon leegy-
szerűsítve: pozitív értékei magaslatot, negatív értékei völgyet, nulla körüli értékei sík vagy egyenlejtésű
területet jeleznek. E változó és a lejtés használatával elvégezhető a geomorfológiai kategorizálás
(Jeness 2006).
- Geomorfológiai kategória térkép, 5x5 m-es cellamérettel. Ez a térkép a vizsgált terület – adott méret-
arányú – domborzati formációit 10 osztályba sorolja a keskeny völgyektől a gerincekig. Nagy előnye,
hogy a domborzat objektív besorolását teszi lehetővé.
- Lejtőkategória térkép, 5x5 m-es cellamérettel. A lejtős területeket a lejtőlábaktól a gerincig négy kate-
góriába sorolja elhelyezkedésük szerint.
- Felszín görbületi modell, 5x5 m-es cellamérettel. A felszín esésváltozásának intenzitását mutatja. A gör-
bületet két további adatállomány is reprezentálja az adatbázisban: Ezek a planáris, illetve a profil gör-
bületi raszter állományok. Előbbi a vízszintes, utóbbi a függőleges síkban értendő görbületet jelenti.
- Vízösszefolyási mutató, 5x5 m-es cellamérettel. Ez az érték az egyes térképi pontokon arányos a víz-
összegyülekezés mértékével, ezért használatával a többlet vízhatások jellemezhetők. Értéke a pixe-
len átfolyó vízmennyiséget a pixel feletti azon pixelek számával jellemzi, amelyekből a víz a pixel felé
folyik. A több lehetséges folyásirányt figyelembe vevő ún. „multi-flow” algoritmust használtuk a számí-
tásához.
- A víz úthosszát az adott pixeltől felfelé és lefelé reprezentáló térképek, 5x5 m-es cellamérettel. Ezek a
térképállományok egy-egy pixelben azt az értéket mutatják, amely a pixeltől a völgy irányába tartó víz
úthosszát jelentik a kiindulási ponttól a pixelig vagy a pixeltől a kifolyási pontig.
- Domborzat fragmentációs és domborzati változatosságot mutató paraméterek (fragment, richness),
5x5 m-es cellamérettel (Behrens 2003).

- Tengerszint feletti magasság- és lejtéstartomány a mintapont környezetében (eleverage, sloperange), 5x5 m-es cellamérettel. Az adatállomány az adott pont környezetében a magasság- és a lejtésértékek terjedelmét adja meg. A tartomány sugara 25 m.
- Topográfiai konvergencia, avagy nedvességindex (TCI), 5x5 m-es cellamérettel. A lejtésből (b – radiánban) és a vízösszefolyási értékből (a) számított érték: $TCI = \ln(a/\tan b)$.

Adatgyűjtési módszerek

A talajadatokat pontszerűen talajszelvények készítésével, illetve talajfúrások révén gyűjtöttünk. A mintavétel alapját egy rétegzett, véletlen mintavételi protokoll adta. A térinformatikai adatbázis segítségével végzett rétegzés során a domborzatmodell szerint azonos jellegű területeket egy csoportba soroltuk. A mintapontokat a terepen minden esetben GPS segítségével kerestük fel.

A domborzatmodell klasszifikációja egyes felszínforma-kategóriákba a következő csoportosítást követte:

1. Szurdokok, illetve mélyen bevágódott vízmosások
2. Sekély völgyek
3. Vízmosások felső lejtőszakaszokon
4. Széles völgyek
5. Sík területek
6. Nyílt lejtők
7. Magasabban fekvő sík területek, fennsíkok
8. Kisebb kiemelkedések völgyekben
9. Sík területeken lévő kisebb magaslatok
10. Dombtetők, gerincek

A terület a lejtőkategória szerint további négy csoportra oszlott:

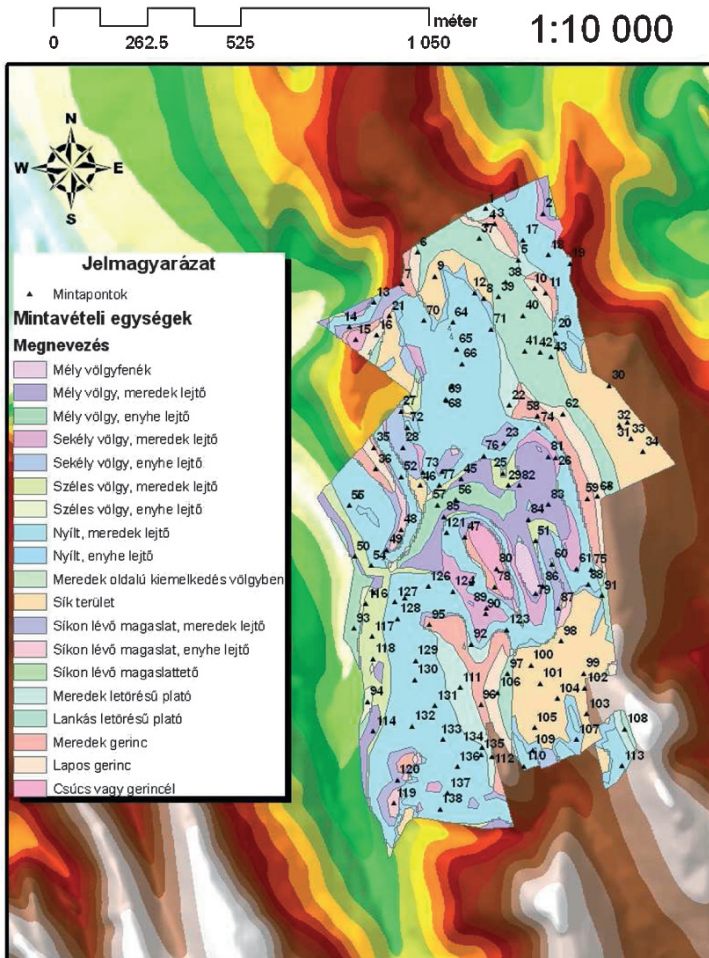
1. Völgyfenék
2. Enyhe lejtő
3. Meredek lejtő
4. Gerinc

A rétegzésben a felszínforma és a lejtőkategória alapján alakultak ki a terület kisebb mintavételi egységei, például az enyhe, nyílt lejtőkön lévő területek egy réteget alkottak.

Összesen 19 réteg és 407 területelem lehatárolása történt meg (1. ábra).

A mintavételi egységeken belül a mintavételi pontok kiosztása a terület arányában véletlenszerűen történt. Az első körben mindegyik rétegben elvégzett talajszelvénynyitás a későbbiekben fúrásos mintavétellel egészült ki.

A talajszelvényekből genetikai szintenként mintát gyűjtöttünk és a terepi felvételek, ill. a laborvizsgálati eredmények alapján határoztuk meg a talajtípust. A fúráspontokban a helyszínen állapítottuk meg a talajtípust. A fúrások esetében hengeres mintavételt alkalmaztunk, 20–20 cm-es rétegenként emelve ki a talajt egészen az alapkőzetig. A kiemelt mintákon a helyszínen vizsgáltuk a makroszkopikus fizikai jellemzőket, úgymint a színét, szerkezetét, fizikai féleségét, gyökerezettségét, kiválások jelenlétét, a humuszformát, illetve a 10%-s HCl oldattal mutatott reakció meglétét vagy hiányát.



1. ábra: Mintavételi helyek és a mintavételi rétegek a Vaskereszt erdőrezervátumban

Figure 1: Sample plots in the sampling units of Vaskereszt forest reserve

Talajvizsgáló módszerek

A talajmintákat az ERTI Sárváron található ökológiai laboratóriumában vizsgálták meg. A vizsgálatokat a hatályos magyar szabványok szerinti módszerekkel végezték. A meghatározásokban a vizes és kálium-kloridos pH, a hidrolitos és kicserélhető aciditás, a $\text{CaCO}_3\%$ -meghatározás, az Arany-féle kötöttségi szám, az ötórás kapilláris vízemelés, végül pedig a leiszapolható frakció mennyiségének meghatározása szerepelt.

Statistikai módszerek

A statisztikai eljárások közül első helyen a leíró statisztikai módszereket és az osztályozási eljárásokat kell említeni. A vizsgálatokban a klasszifikációs fákat (CART), a diszkriminancia analízist (GDA) és a mesterséges neuronhálózatokat (ANN) alkalmaztuk. A változók számának csökkentését faktoranalízis segítségével elemeztük. A statisztikai vizsgálatokhoz a Statistica 8.0 programcsomagot használtuk.

A leíró statisztikai vizsgálatok az adatok jellemzését szolgálták. Azok terjedelmének, átlagos értékeinek, eloszlás-típusainak meghatározása szükséges a megfelelő elemzési eljárások kiválasztásához, a szükséges adattranszformációk meghatározásához. Variancia analízist végeztünk az átlagok és a szórások függetlenségének megállapításához. Sok statisztikai elemzés előfeltétele a normalitás, amely – teljesen legalábbis – ritkán teljesül, de az adatállományok transzformációjával az adatok normális eloszlásúvá alakíthatók. Jelen feldolgozásban az adatokon transzformációkat nem végeztünk.

A Moran-index használatával vizsgálhatóvá vált, hogy az adatok milyen térbeli csoportosulási mintázatot követnek. Az index értéke -1 és $+1$ között változik. A pozitív értékek a térben csoportosuló, míg a negatív értékek a térben diszperz jellegre utalnak.

Az osztályozási módszerek a talajtípusok és a térinformatikai adatbázisból nyert környezeti változók értékei közötti kapcsolatok feltárását szolgálták. Vizsgálható, hogy mennyire alkalmasak ezek a kapcsolatok a talajtípusok térbeli mintázatának leírására. Ehhez minden esetben a pontszerűen rendelkezésre álló talajvizsgálati adatokat mint célváltozót és az ehhez a ponthoz a térinformatikai rendszerből hozzárendelt független (magyarázó) változókat mint prediktorokat használtuk fel. A mintákból mintegy 10–20%-ot tesztadatsorként különítettünk el.

Természetesen vizsgálat tárgyát képezte a prediktor változók és a célváltozó közti kapcsolat is. Ehhez többféle, nem-paraméteres korrelációs vizsgálatot alkalmaztunk (Pearson korrelációs együttható, Spearman rang korreláció, Kendall tau korrelációs együttható), melyhez a talajtípusokat termőhelyi értékük szerint rangsoroltuk.

A klasszifikációs fák olyan rekurzív módon levezetett döntési szabályrendszer kialakítására alkalmasak, amely lehetővé teszi az egyes talajtípusok és a környezeti változók mint magyarázó változók közötti kapcsolatok feltárását és értelmezését. Működésük során a magyarázó és a célváltozókat tartalmazó tanuló adatállományt egy-egy vágással kétfelé bontják mindaddig, amíg valamely leállási kritérium nem teljesül. Esetünkben ilyen kritérium volt a csoportokon belüli maximális homogenitás vagyis, hogy a csoporton belül legyen minimális a variancia, míg a csoportok között legyen maximális, illetve hogy ne legyen kisebb csoport, mint a mintában legkisebb elemszámmal megjelölő talajtípus.

Klasszifikációs alkalmazására számos jó tulajdonságuk miatt került sor:

- alkalmasak folytonos és kategóriaváltozók kezelésére;
- nem okoz problémát a nem-lineáris kapcsolatrendszer;
- a jól értelmezhető döntési szabályok segítik az interpretációt.

A diszkriminancia elemzés olyan eljárás, amely egy kategorikus célváltozó értékeinek meghatározásához a magyarázó – független – változók lineáris kombinációjából álló osztályozó függvényeket állít elő. Előnye, hogy nem kíván túlságosan nagy mintanagyságot, de sok előfeltétele van, amelyek teljes mértékben nem minden esetben teljesíthetők (pl.: multikollinearitás).

A mesterséges neuronhálózatok (többnyire) egyirányú adatáramlással jellemzett többrétegű klasszifikációs vagy regressziós módszerek. Három alaprétegük a bementi, a rejtett (feldolgozó) és a kimeneti rétegek. Az egyes rétegekben meghatározott számú neuron helyezkedik el, amelyek a következő réteg meghatározott neuronjaival vannak összekapcsolva. A mesterséges neuronhálózatok előnye, hogy egyszerre alkalmas lineáris és nem lineáris összefüggések kezelésére, tanítható. Hátránya, hogy nem nyújt lehetőséget ok-okozati összefüggések vizsgálatára, mert „fekete doboz”-ként működik. Ellenőrzött tanítással azonban hatékonysága mérhető.

A vizsgálatban alkalmazott neurális hálózatok többrétegű perceptron hálózatok (MLP) és a radiális bázisfüggvényeket alkalmazó hálózatok (RBF) voltak. Az eredményeket egy 38 rétegű, rétegenként 15 neuront tartalmazó MLP hálózat adta. Tanító algoritmus: BFGS (Broyden 1970). Rejtett rétegek aktivációs függvénye: tangens hiperbolikus. Kimenő réteg aktivációs függvénye: softmax.

Az osztályozók alkalmazásakor a változókat egyenlő súllyal vettük figyelembe.



A faktoranalízist a változók számának csökkentésére, függetlenségük biztosítására, a predikciók hatékonyságának növelésére használtuk. Általában 5–6 faktort használtunk mindaddig, míg a sajátértékük egynél nagyobb volt.

Eredménytérképek előállítási módszerei

Az eredménytérképek a klasszifikációs módszerek eredményeinek egyesítésével jöttek létre annak érdekében, hogy mindegyik módszer előnyét kihasználva a lehető legjobb térképezési eredmény legyen elérhető.

E törekvés oka, hogy ha – mint esetünkben is – többféle osztályozási módszert használunk a talajtípusok predikciójához, akkor többféle eredménytérképet fogunk kapni. Kérdés, hogy melyik eredmény fogadható el végeredménynek, vagy másképpen kifejezve, hogyan választható ki a legmegfelelőbb módszer, mely az összes többinél jobb eredményt ad? Elvben ez az osztályozási pontosságok alapján eldönthető, de a szakirodalmi tapasztalatok alapján megállapítható, hogy ma még ilyen módszer nincsen. Azért nincsen, mert az egyik területen talán átlagban a legjobban teljesítő módszertől sem várható el, hogy minden talajtípus esetében a legjobb találati arányt adja. Ennek a problémának a megoldására több kézenfekvő alternatíva is kínálkozik.

- Egyik lehetőség a keresett osztályok számának csökkentése. A különálló talajtípusok helyett olyan nagyobb talajkombinációk csoportjainak a keresése, melyek az adott cél – történetesen valamilyen növénytermesztési feladat megoldása – szempontjából még értelmezhetők, és a térképezési módszerek koherensen képesek a térbeli elhelyezkedésük becslésére.
- Másik lehetőség a térképezési módszerek eredményeinek fúziója. Ehhez a módszerek talajtípusokra vonatkozó becsléseit és azok pontosságát lehet felhasználni.

Ez utóbbi esetben az egyesítés alapja a módszerek becsléseinek egymáshoz viszonyított értékelése lehet. Ha egy adott pontban a módszerek többsége, esetünkben a három módszerből kettő egyező talajtípust jelöl, akkor az adott pontban a többségi eredmény elfogadható a becslés végeredményének. Ha mindhárom módszer ugyanazt a talajtípust prognosztizálja az adott pontra, akkor természetesen nincs probléma. Ha mindhárom módszer más talajtípust jelöl az adott ponton, akkor fontossá válhat a módszerek becslési pontossága: Ebben az esetben annak a módszernek a becslése fogadható el a modell kimeneteként, amelyik az adott talajtípus tekintetében a legnagyobb találati pontossággal jellemezhető.

Az eredménytérképek a rezervátum területére fektetett 10x10 méteres rácsháló pontjaira vonatkozó becslésekkel rajzolódtak ki.

EREDMÉNYEK


A talajfelvételezés eredményei

A rezervátumban talált talajtípusok az alábbiak voltak:

- humuszkarbonát talajok, melyeknek jellemző példája a 96. mintavételi pont (2. táblázat);
- barnaföldek, melyeknek egyik példája a 111-es mintavételi pont (3. táblázat);
- agyagbemosódásos barna erdőtalajok, melyeknek jellemző példája a 101. mintavételi pont (4. táblázat).

A táblázatok a helyszíni felvételi adatok mellett a laboratóriumi vizsgálatok adatait is tartalmazzák.


2. táblázat: A 96. felvételi pont adatai
 Table 2: Soil survey data of sample plot 96

Helyszín:	96							
Alapkőzet:	lősz							
Felvétel ideje:	2009.05. 12–13.							
Felvette:	Illés G., Kovács L.							
Genetikai talajtípus:	HK							
Helyszíni leírás								
Mélység	Szín	Fizikai féleség	Szerkezet	CaCO ₃	Humusz	Kiválások	Gyökér	Egyéb
0–10	fekete	V	morzsás	++	+++	-	+++	laza
10–25	szürkés barna	HV	apró morzsás	++	+	-	+++	
25–	fakó világoassárga	HV	szerk. nélküli	+++	+	kevés lőszbaba	+	lősz

Laborvizsgálati adatok (2. táblázat, 96-os felvételi pont):

A minta mélysége cm	pH		humusz	hidrolitos aciditás	kicserélhető aciditás	CaCO ₃	KA	5h kap. vízem.	hy	Leiszapolható rész
	H ₂ O	KCl	m/m%	y ₁	y ₂	m/m%		mm/5h	m/m%	%
0–10	7,2	6,9	8,8	-	-	3	50	150	3,39	33
10–25	7,4	7,1	3,9	-	-	9	45	200	2,08	37
25–	8,0	7,5	0,6	-	-	20	37	280	0,88	38


 3. táblázat: A 111. felvételi pont adatai
 Table 3: Soil survey data of sample plot 111

Helyszín:	111							
Alapkőzet:	lősz							
Felvétel ideje:	2009.05. 12–13.							
Felvette:	Illés G., Kovács L.							
Genetikai talajtípus:	BFÖLD							
Helyszíni leírás								
Mélység	Szín	Fizikai féleség	Szerkezet	CaCO ₃	Humusz	Kiválások	Gyökér	Egyéb
0–5	feketés szürke	V	apró morzsás	-	++	-	+++	laza
5–20	szürkés barna	V	nagy morzsás	-	-	-	+	erősen szerkezetes
20–60	sötét barna	V-AV	diós-nagy morzsás	-	-	agyaghártyás	++	
60–	fakó sárga	HV	szerk. nélküli	+++	-	kevés lőszbaba	-	lősz

Laborvizsgálati adatok (3. táblázat, 111-es felvételi pont):

A minta mélysége cm	pH		humusz m/m%	hidrolitos aciditás y_1	kicserélhető aciditás y_2	CaCO ₃ m/m%	KA	5h kap. vízem. mm/5h	hy m/m%	Leiszapolható rész %
	H ₂ O	KCl								
0–5	6,6	6,2	7,3	17	1	-	50	180	3,67	39
5–20	4,6	3,4	1,7	48	3	-	35	220	2,27	47
20–60	5,1	4,0	0,8	23	2	-	41	190	3,53	49
60–	7,9	7,2	0,5	-	-	37	35	210	1,48	45

4. táblázat: A 101. felvételi pont adatai
Table 4: Soil survey data of sample plot 101

Helyszín:	101							
Alapkőzet:	lössz							
Felvétel ideje:	2009.05. 12–13.							
Felvette:	Illés G., Kovács L.							
Genetikai talajtípus:	ABE							
Helyszíni leírás								
Mélység	Szín	Fizikai féleség	Szerkezet	CaCO ₃	Humusz	Kiválások	Gyökér	Egyéb
0–5	feketés szürke	V	morzsás	-	++	-	+++	laza
5–25	szürkés barna	V	apró diós-nagy morzsás	-	+	-	+++	kissé tömött
25–50	világos barna	AV-V	diós- morzsás	-	-	-	++	erősen szerkezetes
50–100	sötét barna	V-AV	diós-nagy morzsás	-	-	agyaghártyás	++	erősen szerkezetes
100–	fakó sárga	HV	szerk. nélküli	+++	-	+	-	tömött lösz

Laborvizsgálati adatok (4. táblázat, 101-es felvételi pont):

A minta mélysége cm	pH		humusz m/m%	hidrolitos aciditás y_1	kicserélhető aciditás y_2	CaCO ₃ m/m%	KA	5h kap. vízem. mm/5h	hy m/m%	Leiszapolható rész %
	H ₂ O	KCl								
0–5	5,8	5,3	10,3	53	2	-	50	150	3,32	34
5–25	5,0	3,9	1,5	34	7	-	33	210	1,5	46
25–50	4,9	3,8	0,7	21	5	-	37	270	1,89	41
50–100	5,1	4,0	0,5	19	4	-	40	240	2,98	53
100–	7,9	7,2	0,5	-	-	26	35	260	1,54	50

A statisztikai feldolgozások eredményei

A térbeli autokorrelációs vizsgálatok eredményei

A Moran-index értéke: 0,06.

A Vaskereszt mintaterületeinek eredményei azt mutatták, hogy a mintapontokon talált talajtípusok térbeli elrendeződése enyhén csoportosuló jellegűt mutat, de nem zárható ki annak lehetősége, hogy a tapasztalt mintázat a véletlen műve.

Normalitás: a vizsgálatokban alkalmazott változók tapasztalati eloszlása közel normális eloszlást mutatott.

Varianciaanalízis: a varianciaanalízis kimutatta, hogy a varianciák homogenitásának elve a legtöbb esetben nem érvényesül, vagyis az átlagok és a szórások között kapcsolat áll fenn.

A korrelációs vizsgálatok megmutatták, hogy a legtöbb, általunk független prediktorként használt környezeti változó szignifikáns kapcsolatban áll a talajtípusokkal.

Klasszifikációs eredmények

A Vaskereszt erdőrezervátumban található talajtípusoknak a környezeti változók adataiból történő predikciója klasszifikációs fák alkalmazásával lehetővé tette a három fő talajtípus térbeli elhelyezkedésének becslését. Az osztályozás összesített pontossága 71%, ami jó eredménynek mondható.

A diszkriminancia analízis osztályozó függvényeinek pontossága 74%-ot ért el, ami kicsivel meghaladja a klasszifikációs fák eredményességét.

Az 5. táblázat a legjobb neuronhálózat eredményeit szemlélteti. A háromból két talajtípus esetében 80% vagy magasabb a találati arány.

5. táblázat: Az alkalmazott neuronhálózat találati pontossága az egyes talajtípusok esetében
Table 5: Prediction accuracies of the applied neural network for found soil-types

Találati statisztika	ABE	BFOLD	HK
Elemzés	12	23	24
Helyes	8	19	19
Helytelen	4	4	5
Helyes %	67	83	80
Helytelen %	33	17	20

Ha összehasonlítjuk az alkalmazott osztályozók találati pontosságát a keresett talajtípusok vonatkozásában, akkor az alábbi, 6. táblázatot kapjuk.

6. táblázat: Az egyes osztályozók találati pontossága a Vaskereszt erdőrezervátumban
Table 6: Prediction accuracies of different classification methods for soil-types

Talajtípus	Helyesen osztályozott (%)		
	CART	ANN	GDA
BFOLD	70	82	82
HK	72	80	81
ABE	92	66	7



A 6. táblázatból az látható, hogy az osztályozók más-más talajtípusok osztályozását más-más hatékonysággal oldották meg. A táblázat jól mutatja, hogy az osztályozó algoritmusok kiegészíthetik egymást: Míg az ABE esetében a klasszifikációs fa adta a legjobb eredményt, addig a barnaföldek a klasszifikációs fa alkalmazásával nehezebben azonosíthatók, mint az ANN vagy GDA módszerek esetén.

Megvizsgálva, hogy a Vaskereszt erdőrezervátumra fektetett 10 x 10 méteres rácsháló pontjaiban milyen talajtípusokat becsültek az egyes osztályozók, az alábbi eredményeket kapjuk (7. táblázat).

7. táblázat: *Osztályozási eredmények összevetése a Vaskereszt erdőrezervátumban (n=11135)*

Table 7: *Casewise differences between predictions in the Vaskereszt forest reserve (n=11135)*

Lehetőségek	Esetek száma	Aránya (%)
Mindhárom osztályozó ugyanazt a talajtípust jelzi	5068	45,5
Kettő eredménye megegyezik	10759	97
Három eltérő eredmény	376	3,3

Mindössze 3% körüli azoknak az eseteknek a száma, amikor az egyes predikciós módszerek eltérő eredményeket adnak, az esetek 97%-ában jól kiegészíthetik egymást.

A faktoranalízis eredményei

A faktoranalízis során sikerült a tapasztalati variancia kb. 80%-át besűríteni 5 faktorba, amint az a 8. táblázatban látható. A faktorok alkalmazása az osztályozásnál azonban drámaian csökkentette az osztályozás pontosságát. Az osztályozási pontatlanság mértéke azzal a 10–20%-kal növekedett, amennyi a varianciából elveszett, ami miatt az osztályozók teljesítménye 30–40% közötti értékekre esett vissza.

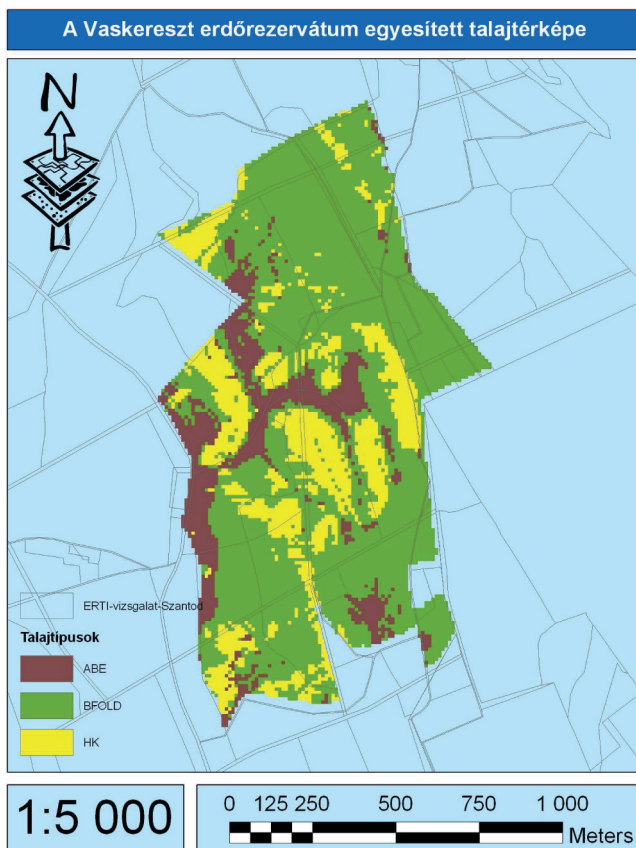
8. táblázat: *Az első 5 faktor jellemzői (Vaskereszt)*

Table 8: *Eigenvalues for the first 5 factors*

Sajátérték	% Összes varianciából	Kumulatív sajátérték	Kumulatív variancia %
7,2	31	7,2	31
5,8	25	13,0	56
2,3	10	15,3	66
1,7	7	17,0	73
1,0	4	18,0	77

Eredménytérkép

A 2. ábrán a Vaskereszt erdőrezervátum talajtérképe látható, mely a klasszifikációs módszerek eredményeinek egyesítésével készült.



2. ábra: A GDA, CART és ANN módszerek egyesítésével készült talajtérkép a Vaskereszt erdőrezervátum területén
 Figure 2: The unified GDA, CART and ANN soil map of the Vaskereszt forest reserve

KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények azt mutatják, hogy a digitális talajtérképezési eljárásoknak lehet helye gyakorlati, erdészeti termőhely-térképezési feladatok megvalósításában (pl.: erdőtervezés).

E kutatás eredményeiből az alábbi következtetések vonhatók le:

- A domborzatmodelleken alapuló, domborzati, domborzat-hidrologiai és napenergia-mennyiségi változók kiegészítve földtani és esetleg további, a talajtulajdonságokat befolyásoló paraméterekkel használható pontmintákon alapuló talajfolt-térképek előállítására.
- Nem indokolt egy-egy preferált módszert önmagában alkalmazni. Perspektivikusabb több klasszifikációs és predikciós eljárás együttes használata.
- A különböző predikciós eljárások eredményeit nem önmagukban, hanem együtt érdemes értékelni és felhasználni. Keresni kell a módszerek adta eredmények egyesítésének lehetőségét, ami erősíti a koherens eredmények elérését és a megismételhetőségét.
- Az itt tárgyalt digitális talajtérképezési eljárás empirikus modellnek tekintendő. Ez a modell a talajok, valamint az őket körülvevő környezet leírására használt mennyiségi és minőségi változók egy időpilla-



natban megfigyelt értékei között keres sztochasztikus kapcsolatokat. Nem érinti a folyamatokat, melyek a térképezés pillanatában megfigyelt állapotot létrehozták.

- A digitális talajtérképezési eljárások további fejlesztési irányának az olyan módszerek tekinthetők majd, amelyek a környezeti adatmodellek alapján a talajképző folyamatokat fogják közelíteni, és számolni az időbeni változással. Vagyis a talajképző folyamatokhoz közelítő modellek fogják a legmegbízhatóbb térképezési eredményeket adni, mely modelleknek általános érvényű – területtől független – összefüggéseik is lehetnek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti az OTKÁ-t, mely az F-68230-as azonosítószámon a projektet támogatta.

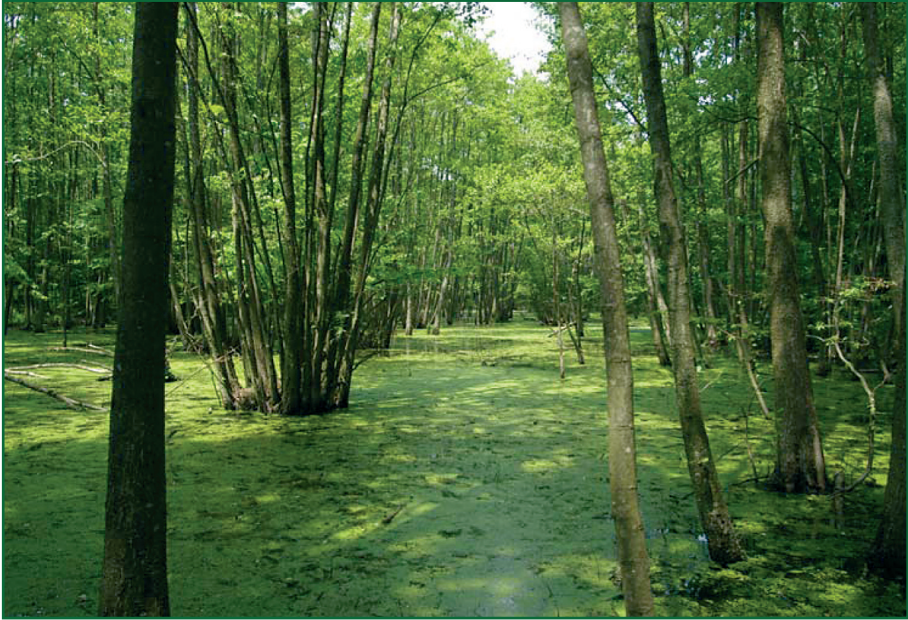
FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bakacsi, Zs.; Kuti, L.; Pásztor, L.; Vatai, J.; Szabó, J. and Müller, T. 2010: Method for the compilation of a stratified and harmonized soil physical database using legacy and up-to-date data sources. *Agrokémia és Talajtan* 59: 39–46.
- Behrens, T.; Förster, H.; Scholten, T.; Steinrücken, U.; Spies, E-D. and Goldschmitt, M. 2005: Digital soil mapping using artificial neural networks. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 21–33.
- Behrens, T. and Scholten, T. 2007: A comparison of data-mining techniques in predictive soil mapping. In: Lagacherie et al (eds): *Digital Soil Mapping an Introductory Perspective. Developments in Soil Science* 31: 353–365.
- Behrens, T.; Schmidt, K. and Scholten, T. 2008: An approach to removing uncertainties in nominal environmental covariates and soil class maps. In: Hartemink, A.E.; McBratney, A.B. and Mendonça Santos, M.L. (eds): *Digital Soil Mapping with limited data. Springer.* 213–224.
- Bishop, T.F.A.; Minasny, B. and McBratney, A.B. 2006: Uncertainty analysis for soil-terrain models. *International Journal of Geographical Information Science* 20 (2): 117–134.
- Broyden, C.G. 1970: The convergence of a class of double-rank minimization algorithms. *Journal of the Institute of Mathematics and Its Applications.* 6: 76–90.
- Carré, F. and Boettinger, J.L. 2008: Synthesis and priorities for future work in digital soil mapping. In: Hartemink, A.E.; McBratney, A.B. and Mendonça Santos, M.L. (eds): *Digital Soil Mapping with limited data. Springer.* 399–403.
- Dobos, E. and Hengl, T. 2009: *Soil Mapping Applications.* In: Hengl, T., and Reuter, H.I. (eds): *Geomorphometry Concepts, Software, Applications.* Elsevier. 461–479.
- Giasson, E.; Clarke, R.T.; Inda, A.V.; Merten, G.H. and Tornquist, C.G. 2006: Digital soil mapping using multiple logistic regressions on terrain parameters in Southern Brazil. *Scientia Agricola* 63 (3): 262–268.
- Hengl, T. and Reuter, H.I. (eds) 2007: *Geomorphometry Concepts, Software, Application.* *Developments in Soil Science* 33: 765 pp.
- Jenness, J. 2006: Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. [Online] Available: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- Lagacherie, P.; McBratney, A.B. and Voltz, M. (eds) 2007: *Digital Soil Mapping an Introductory Perspective. Developments in Soil Science* 31: 595 p.
- Lagacherie, P. 2008: Digital Soil Mapping: State of the Art. In: Hartemink, A.E.; McBratney, A.B. and Mendonça Santos, M.L. (eds): *Digital Soil Mapping with limited data. Springer.* 3–15.
- Mayr, T.R. and Palmer, B. 2007: Digital Soil Mapping: An England and Wales perspective. In: Lagacherie et al (eds): *Digital Soil Mapping an Introductory Perspective. Developments in Soil Science* 31: 365–377.
- McBratney, A.B.; Mendonça Santos, M.L. and Minasny, B. 2003: On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3–52.
- Minasny, B. and McBratney, A.B. 2007a: Spatial prediction of soil properties using EBLUP with the Matern covariance function. *Geoderma* 140 (4): 324–336.

- Minasny, B. and McBratney, A.B. 2007b: Incorporating taxonomic distance into spatial prediction and digital mapping of soil classes. *Geoderma* 142: 285–293.
- Pásztor, L.; Szabó, J. and Bakacsi, Zs. 2010: Digital processing and upgrading of legacy data collected during the 1:25.000 scale Kreybig soil survey. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* 45: 127–136.
- Scull, P.; Franklin, J.; Chadwick, O.A. and McArthur, D. 2003: Predictive Soil Mapping: a review. *Progress in Physical Geography* 27 (2): 171–197.
- Smith, M.P.; Zhu, A.X.; Burt, J.E. and Stiles, C. 2006: The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil. *Geoderma* 137 (1–2): 58–69.
- Zhu, J.; Morgan, C.L.S.; Norman, J.M.; Yue Wei and Lowery, B. 2004: Combined mapping of soil properties using a multi-scale tree-structured spatial model. *Geoderma* 118: 321–334.

Érkezett: 2011. május 14.

Közlésre elfogadva: 2011. szeptember 1.



Vízhiány

Az utóbbi évtizedekben gyakran fordulnak elő súlyosan aszályos időszakok Magyarországon. Ezek általában jelentős változásokat idéznek elő erdeink vízháztartásában is. A Somogy megyei Kaszópusztán erősen aszályos években (például 2007), még a jelentősebb vízzel borított égeresekből is eltűnnek a felszíni vizek.

Fotó: Koltay András