



Az Észak-Hanság termőhelyi viszonyainak modellezése „fuzzy”-klasszifikáció és GIS eszközök felhasználásával

¹Illés G., ²Kovács G., ²Bidló A., ²Heil B.

¹Erdészeti Tudományos Intézet (ERTI), Erdőművelési és Faterméstani Osztály, Budapest, 1023 Frankel Leó 42-44.

²Nyugat-Magyarországi Egyetem (NYME), Növényteni és Termőhelyismerettani Intézet Tanszék
Sopron, H-9400 Bajcsy-Zs. u. 4.

ÖSSZEFOGLALÁS

*Ebben a cikkben az Észak-Hanság termőhelyi viszonyainak modellezésére irányuló kutatásunk első eredményeit tárgyaljuk. Abból az alapfeltevésből kiindulva, hogy a környezeti tényezők bonyolult kölcsönhatásokon keresztül irányítják a talajfejlődés folyamatát, megpróbáltuk kiválogatni a talaj-környezet rendszer kulcstényezőit, hogy segítségükkel a vizsgálati terület minden pontján modellezhessük a talajparaméterek értékeit. Fuzzy-klasszifikációs eljárással határoztuk meg a főbb talajtípusokat és azok centrális értékeit mind a környezeti változók, mind a talajjellemzők tekintetében. Ezután, egyfajta maximális bekerülési valószínűségi mérőszám segítségével talajtípusokba soroltuk a területet 20×20 méteres felbontásban ábrázoló pixeleket. Végül, osztályonként alkalmazott többváltozós regressziós egyenletekkel határoztuk meg a talaj jellemzők értékeit.
(Kulcsszavak: fuzzy talaj osztályozás, térbeli modellezés, többváltozós regresszió, térinformatika.)*

ABSTRACT

Site mapping using GIS tools and fuzzy clustering in Wetlands

¹G. Illés, ²G. Kovács, ²A. Bidló, ²B. Heil

¹Forest Research Institute, Budapest, H-1023 Frankel Leó 42-44.

²Department of Forest Sites, Sopron, H-9400 Bajcsy-Zs. u. 4.

This paper describes the first results of our study on modelling the site conditions of North Hanság. Supposing that the environmental factors are the driving forces of soil development at a given location through complex interactions, we tried to sort out the key elements of the soil-environment system, to predict the soil properties for every spatial unit within the study area at a spatial resolution of 20 by 20 m. We used fuzzy classification to assess the main soil types and their central concepts concerning both the soil property domain and the environmental condition domain. A maximum likelihood classification was applied to assign discrete class membership values to each pixel of the study area. Finally, we applied multiple regression equations for each class to derive the soil property map from the map of environmental conditions.

(Keywords: fuzzy soil classification; spatial modelling, multiple regression, GIS)

BEVEZETÉS

A Hanság termőhelyi viszonyainak feltárását 1998-ban kezdtük meg és elsődleges célunk volt a gyökeresen megváltozott vízviszonyok eredetének feltárása. A kutatást hamar kibővítettük a hansági talajokat formáló környezeti hatások, illetve a jelenlétükben

kialakuló talajok előfordulásának modellezésére, felhasználva a korszerű talajmodellek (Zhu *et al.*, 1996, 2001; Zhu, 1997; McBratney *et al.*, 1997), és a térinformatikai alkalmazások nyújtotta lehetőségeket. A továbbiakban célunk már a talajformáló erők működésének megértése és az általuk létrehozott talajok erdőgazdálkodás számára megfelelő – az eddigi talajtérképezési eljárásoknál megbízhatóbb – előrejelzése és modellezése lett. Ennek elérése érdekében összeállítottuk az Észak-Hanságra vonatkozó – eddigi legrészletesebb – térinformatikai adatbázist. Ennek az adatbázisnak az általunk végzett termőhelyi vizsgálatokkal való feltöltése után lehetőség nyílt a területen előforduló talajszelvényekkel jellemzett talajtípusok „fuzzy”-klasszifikációjára, amely klasszifikáció nemcsak a talajok jellemzőit, hanem a jelenlétükben meghatározható környezeti viszonyokat is osztályozta és amely osztályozás lehetővé tette a nem osztályozott területek talaj tulajdonságainak becslését, az osztályozott mintapontokhoz való hasonlóságuk mértéke alapján. Ebben a cikkben a módszer elvi alapjait, az alkalmazott gyakorlati megvalósítás részleteit és az eredmények egy részét tárgyaljuk. Emellett felvetjük egy új típusú talajtérképezés elvi lehetőségét, amely lényegesen nagyobb pontossággal, ezzel szemben lényegesen kevesebb ráfordítással lenne képes talajtérképek előállítására, mint amit a hagyományos talajtérképezési módszerek jelenleg nyújtanak.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Térképi alapok

Ahogy a bevezetőben utaltunk rá, a kutatás alapját a térinformatikai adatbázis jelenti, melynek felépítése a következő.

A Magyar Állami Földtani Intézet jóvoltából rendelkezünk a Kisalföld földtani térképsorozatának, talajfejlődés szempontjából lényeges részleteinek digitális változatával (1. ábra). Szintén birtokunkban vannak a területen létesített geológiai fúráspontok különböző mélységeinek szemcseösszetétel adatai. Ezek az adatok és térképek megegyeznek a Magyar Állami Földtani Intézet által kiadott: „A Kisalföld földtani térképsorozata, Mosonmagyaróvár” címet viselő füzetben megtalálható térképekkel.

Ennek jelentősége abban áll, hogy a talajfejlődés szempontjából igen jelentős kérdés a közvetlenül a felszín alatt elhelyezkedő földtani képződmények minősége és összetétele. A Hanság azon területein, ahol nem a hidromorf talajok kialakulásának kedveztek a környezeti feltételek, a talajképző közet figyelembevétele nem megkerülhető.

Az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság jóvoltából birtokunkban van a térségben fellelhető talajvízkutak méréseiből számított havi talajvízszint átlagadatok értéke 1955-től 2000-ig (540 hónap adata). Ehhez kapcsolódóan természetesen a kutak földrajzi adatai is ismertek. Így vált lehetővé a vonatkozó időszak havi talajvízszintjeinek modellezése (2. ábra) a térség faállományai alatt. Ezt a modellt Spline illesztéssel hoztuk létre annak érdekében, hogy a kutak havi átlagadatainak értékeire illeszkedő folytonos és minimális görbületű felületet kapjunk. Ez a felület a mérési pontokon a talajvízkutakban mért értékeket veszi fel. Ez a közelítés a térség csekély domborzata, és a mélyebb talajrétegek homokos, kavicsos összetétele miatt – amely a víz mozgását nem akadályozza jelentős mértékben – nem jelent nagy tévedési lehetőséget, mivel számottevő akadály hiányában a víz is hasonló felületet igyekszik kialakítani a talajtestben. (Vízépítő mérnökökkel egyeztetve.)

A talajvíz mozgása nagy jelentőségű a lápterületek termőhelyi viszonyainak értékelésében, illetve a tözegtalajok hidrológiai viszonyainak szempontjából. A talajvízszintek és a felszíni domborzat vizsgálatával meghatározhatók azok a területrészek, amelyek leginkább ki vannak téve a talajvízből származó többletvíz

hatásának. Emellett elhatárolhatók a különböző hidrológiai kategóriák határai, úgymint vízhatástól független, felszínig nedves, vízzel borított stb. Megemlítjük, hogy a kialakult talajvízszint modellek közül az 1982 évit összevetve a MÁFI által készített talajvízszint térképpel, igen jó egyezést találtunk a két térkép között.

1. ábra

A 2 m-es mélységben található földtani képződmények térképe (MÁFI, 1991)

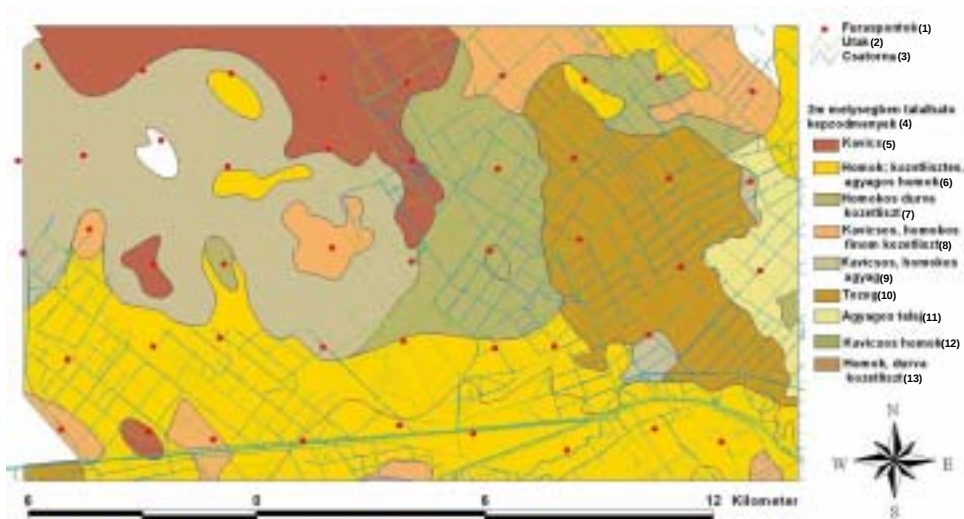


Figure 1: Geology at 2 m depth below the surface

Bore holes(1), Roads(2), Channels(3), Granulometric classes from gravel to clay and their combinations(4), Gravel(5), Sand; rock-dusty loamy sand(6), Rough sandy rock-dust(7), Gravelly, sandy fine rock-dust(8), Gravelly, sandy loam(9), Peat(10) Loamy soil(11), Gravelly sand(12), Sand, rough rock-dust(13)

A területről rendelkezésre álló Egységes Országos Vetületben készült 1:10.000 méretarányú 6×4 km-es térképszelvények síkrajzi elemeinek, szintvonalainak és magasságukkal adott pontjainak digitalizálásával elkészítettük a térség digitális domborzatmodelljét. A szintvonalakon és a magassági pontokon alapuló TIN (Triangular Irregular Network) generálásával létrehozott domborzatmodell, kulcsszerepet játszott az elemzések során (3. ábra). A domborzatmodellből levezetett, további – e helyen nem közölt – térképi adatbázisok a következők:

- lejtéviszonyok térképe és a kitérítési viszonyok térképe,
- a mikrovízgyűjtők elhelyezkedésének, ill. azok legmélyebb pontjainak térképe.

Ezeknek az adatbázisoknak az elemzése alátámasztotta azt az elméletet, miszerint a talajvízszintekben 1993-96 között észlelt drasztikus talajvízszint emelkedés – ami a hansági erdőben jelentős gazdálkodási nehézséget okozott – egyenes következménye volt a dunacsúnyi víztározó 1992-es üzembe helyezésének. A víztározó által a talajvízre kifejtett, megnövekedett hidrosztatikai nyomás ugyanis a mélyebben fekvő területeken talajvízszint emelkedést okozott.

2. ábra

Példa a talajvízkutak mérési adatain alapuló talajvízszint modellre

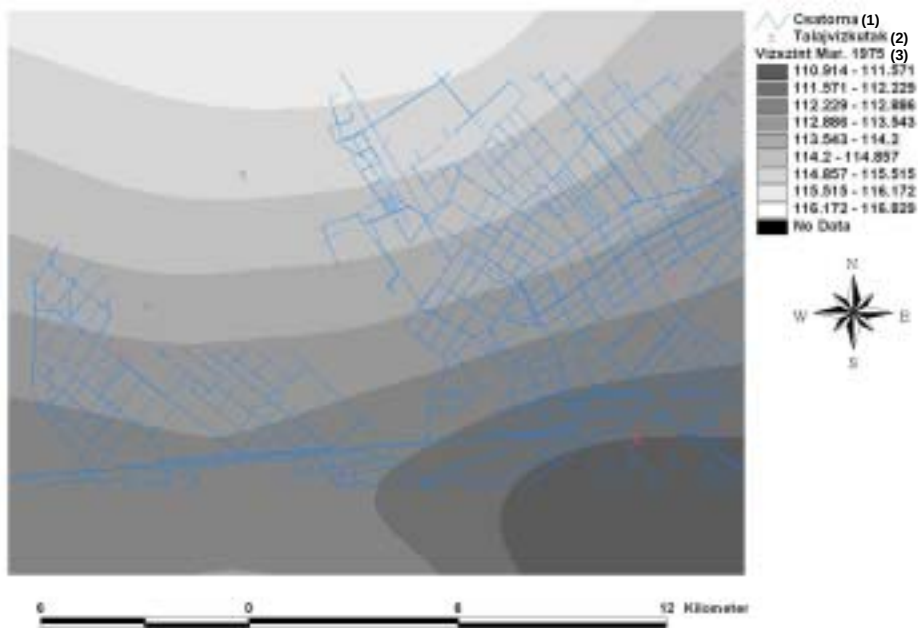


Figure 2: An example for ground water surface model

Channels(1), Groundwater wells(2), Modelled groundwater surface above sea level(3)

Ezt az állítást alátámasztják a következő tények.

- A víztározó alját nem látták el semmilyen szigeteléssel. (Forrás: A szlovák szakemberekkel folytatott konzultáció alapján.)
- Megnövekedett belvízkárokról a víztározó környezetében szlovák oldalon is beszámoltak. (Forrás: A szlovák szakemberekkel folytatott konzultáció alapján.)
- A víztározó tengerszint feletti magasságban kb. 10 m-el a kérdéses terület felett helyezkedik el és a terep a Hanság medencéje felé lejt. A horizontális távolság pedig csupán néhányszor 10 km.
- A mélyebb talajrétegek szemcse összetétele kedvez a vizek ilyen irányú áramlásának.
- A vízmennyiség az utóbbi években fokozatosan csökken a Hanságban.

Az utolsó megállapítást azért lehet az állítást alátámasztó érvnek tekinteni, mert az évek múlásával, a víztározóban lelassuló vízből kiüledik a hordalék, eliszapolja a víztározó alját és eltorlaszolja a víz útját. Így a tározó víztömege egyre csökkenő mértékben tud nyomást gyakorolni a környező talajtestek vizeire.

Terepi adatgyűjtés

A vizsgált térségben összesen 100 mintaterület került kitézésre, melyből 96-on nyitottunk szelvényt és vizsgáltuk. Ezekből az alább ismertetésre kerülő modell létrehozásában 74 terület adatát tudtuk felhasználni.

Az előző fejezetben vázolt térinformatikai adatbázist feltöltöttük a mintapont hálózattól gyűjtött adatokkal (4. ábra).

3. ábra

A szintvonalas térképekből előállított felületmodell részlete

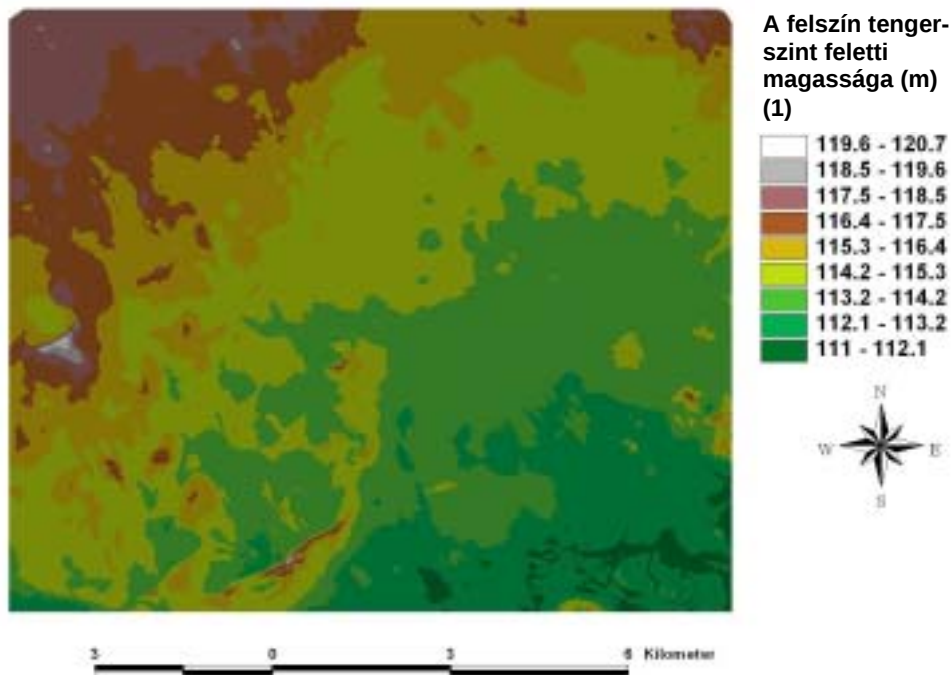


Figure 3: An extract from the digital elevation model

Altitude(1)

Mintapont hálózat megtervezése

A Kisalföldi Erdőgazdaság Rt. rendelkezésünkre bocsátotta az Észak-hansági erdőterületek fajaj és fatermőképesség szerinti megoszlást ábrázoló üzemi térképeit, amelyek alapján meghatároztuk az egyes fajajok arányát és teljesítőképességét. Felhasználva ezt az információt azonos fajajú és fatermő-képességű részekre bontottuk a területet, amelyekhez tartozó területnagyságok, mint súlyok alapján meghatároztuk az egyes részekre jutó elméleti mintaszám arányt. Ezután az egyes részterületek földrajzi elhelyezkedésének megfelelően, véletlenszerűen kiosztottuk a mintaszám kereteket. Gyakorlatilag rétegzett, véletlen mintavételt valósítottunk meg, mely révén olyan nem szisztematikus mintapont hálózat alakult ki, amelyben az egyes faállománytípusok területüknek – fontosságuknak – megfelelő arányban képviseltettek.

4. ábra

A mintapontok térbeli eloszlása a vizsgált területen, az azonosító számokkal

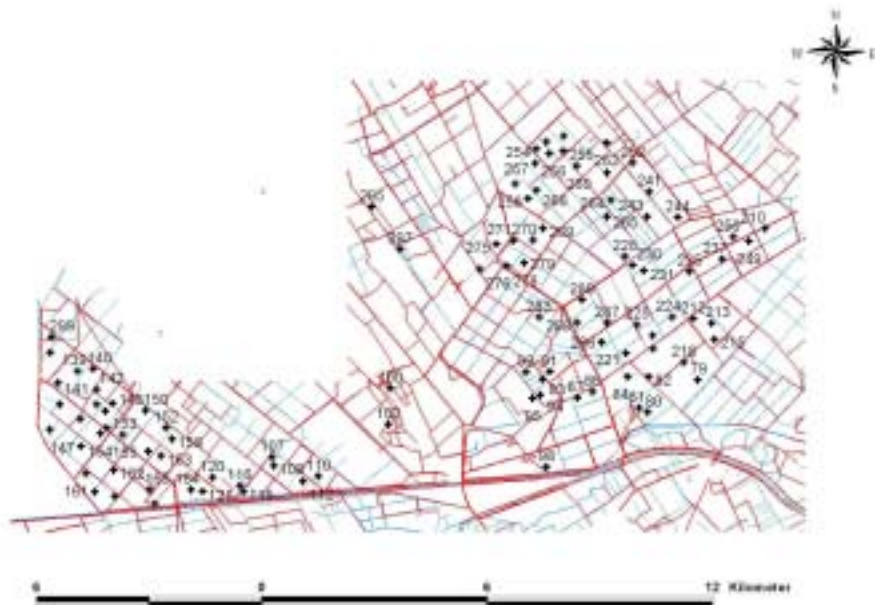


Figure 4: The sample plot network over the study area

Megfigyelések a mintapontokon

Termőhelyfeltárás:

- talajszelvény nyitás;
- szintek elkülönítése;
- a termőréteg és a tözegréteg vastagságának meghatározása, helyszíni jellemzése;
- fényképkészítés;
- szintenkénti mintavétel.

Laborvizsgálatok:

- vizes és kálium-kloridos pH meghatározása;
- hidrológiai és kicserélődési aciditás;
- szénsavas mésztartalom, szén-, nitrogén-, foszfor-, kálium- és kén tartalom meghatározása;
- mechanikai összetétel frakcióinak meghatározása (agyag, iszap, finom homok, durva homok frakciók).

A részletes termőhelyi feltárássra azért volt szükség, hogy a lehető legpontosabban lehessen majd jellemezni a különböző környezeti feltételek mellett kialakuló talajokat és a rajtuk álló állományok teljesítőképességét.

A mintapontok adatait rögzítettük a térinformatikai adatbázisban. Terepi felkeresésüket GPS használatával oldottuk meg.

A konkrét méréseken kívül a mintaterületek adattáblájába integráltuk a térinformatikai adatbázisból nyert adatokat is:

- tengerszint feletti magasság,
- kitettség,
- lejtés,
- alapkőzet,
- az aktuális mikro-vízgyűjtő legmélyebb pontjától mért távolság mérőszáma (a legmesszebbi pont távolságának százalékában),
- havi talajvízszintek (a talajvíz felületének modelljéről vett adat).

Minthogy ez utóbbi adat csak a talajfelszín magasságának ismeretében bír értelmezhető információval és korántsem érdektelen, hogy a szelvényen belül hol helyezkedik el a mindenkor talajvízszint, ezért szükségesnek éreztük egy olyan változó bevezetését, mely információt hordoz a talajvízszint szelvényen belüli elhelyezkedéséről.

A mintapontok esetében ismertük a talajfelszín tengerszint feletti magasságát, valamint a termő-, illetve az alatta elhelyezkedő tőzegrétegnek a vastagságát. Ismertük továbbá az alapkőzetnek a mélységét. Ezeknek az ismereteknek a birtokában meghatározhattuk a felső kotus, illetve a tőzeges réteg határának tengerszint feletti magasságát. Ezek után, a talajvízszint talajprofilon belüli elhelyezkedésének jellemzésére képeztünk egy talajvízszint indexet (v) (5. ábra).

5. ábra

A talajvízszint talajprofilon belüli elhelyezkedésének lehetséges esetei
(A, B és C a felszínnek, a termőrétegnek és a tőzegrétegnek a határa,
 V_i pedig a mindenkor havi talajvízszint, $i=1971$. januártól 1999. decemberig)

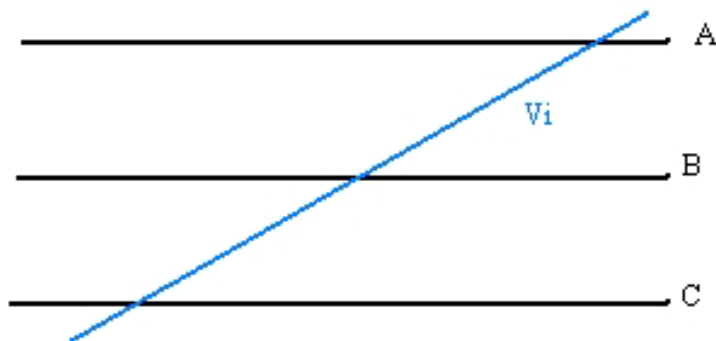


Figure 5: The possible positions of the ground water table in soil profile (A, B and C are the elevation of top soil surface, rootable depth and the lower boundary of peat layer, V_i represents the water table, $i=1971$ January to 1999 December)

- Ha a talajvízszint az ágyazati kőzetben, vagy annak határán van ($V_i \leq C$):
 $v=1-(C-V_i)/C$. Ebben az esetben v értéke egynél kisebb, vagy egyenlő eggyel.
- Ha a talajvízszint a tőzegrétegben, vagy a termőréteg határán van ($C < V_i \leq B$):
 $v=2-(B-V_i)/(B-C)$. Ebben az esetben v értéke egy és kettő közé esik.
- Ha a talajvízszint a termőrétegben, vagy a felszín határán van ($B < V_i \leq A$):
 $v=3-(A-V_i)/(A-B)$. Ebben az esetben v értéke kettő és három közé esik.
- Végül pedig, ha a talajvízszint a felszínen, vagy a felszín felett van ($A < V_i$):
 $v=4-(A-V_i)/A$. Ebben az esetben v értéke négy fölötti.

A fenti index értékeit ily módon minden egyes hónapra előállítottuk, majd a havi értékeket átlagoltuk és minden egyes szelvényt egyetlen talajvízszint indexszel jellemezhattünk, amely megmutatta, hogy a sokévi átlagot tekintve melyik talajrétegben, milyen mértékig van jelen a talajvíz. Ezzel az indexszel a talajvízszint elhelyezkedésének minőségi különbségeit is figyelembe tudtuk venni a későbbi elemzések során.

A fentebb ismertetett módszerekkel előállítottuk tehát a vizsgálati területünk környezeti leíró adatbázisát, melybe beágyaztuk a mintapontok részletes vizsgálatával nyert talajminta adatbázisunkat, amely összetett adatállomány jelentette a tulajdonképpeni elemzésekhez a kiindulást.

Elméleti alapok

Célunk egy olyan környezet-talaj modell előállítása, amely megbízhatóan használható kiindulást ad a területen dolgozó szakemberek sikeres munkájához, legyen az erdőgazdálkodás vagy természetvédelem.

Minden talajtani kutatás alapja, a genetikai talajtípuson alapuló talajosztályozást is beleértve az a gondolat, hogy a talaj a rá adott helyen ható környezeti tényezők eredőjének irányában fejlődik. Tehát:

$$T \leftarrow f(K), \quad (1)$$

vagyis a talaj (T) a rá ható talajformáló környezeti erőknek (K) a függvényeként alakul ki. Homogén talajformáló erők esetében homogén talaj mintázat, változatos talajformáló erők esetén változatos talaj mintázat jön létre.

Ebből az alapfeltevésből mindjárt következik, hogy kulcsfontosságú a talaj fejlődésére döntő hatást kifejtő környezeti változók helyes kiválasztása, és értékelése.

A talajtani kutatás sok-sok évtizedes tapasztalata megmutatta, hogy az (1) függvénykapcsolat matematikailag leírható és alkalmazható változatának megalkotása, a tényezők közötti rendkívül bonyolult kölcsönhatásrendszer miatt, gyakorlatilag lehetetlen. Lehetőség van ellenben tipikus példák, főbb talajfejlődési irányok és azok kiemelkedő irányító hatásainak és folyamatainak megragadására és leírására (talajosztályok, talajtípusok leírása). Ezt alkalmazza a genetikai talajtípusok leíró rendszere is (Stefanovits, 1975), mely tartalmazza a hazánkban előforduló talajok tipikus példáit. Erre épült aztán a hagyományos talajtérképezés rendszere, mely a genetikai talajtípusok ábrázolásával közelíti az egy adott területen fellelhető talajokat. Jelentőségük igen nagy, széles körben alkalmazhatók, ám a talajok térbeli mintázatoságát csak viszonylag nagyléptékű ábrázolás esetén képesek kielégítően követni. Részletekbe menő és nagy pontosságú talajtérképek készítésére a hagyományos talajtérképezés rendszere a túlságosan megugró szükséges mintaszám miatt, nehezen alkalmazható, márpedig az erdőrészlet szintű erdőtervezés feladataihoz legalább erdőrészlet nagyságú, vagy még nagyobb felbontású térképekre lenne szükség. A hagyományos talajtérképezés esetében a talajtípusok határainak éles meghúzására van módunk, a térkép diszkrét módon lépcsőzetesen követi a talajok változásait, ám finomabb átmenetek jellemzésére nincsen mód. Pedig folytonos talajtestek esetében, egyenletesen változó környezeti feltételek mellett a talajtípusok közötti egyenletes átmenetek jelenléte a valószínűbb.

Egy terület alatt húzódó talajok összességét célszerű tehát egy folytonos talajtestként felfogni és ábrázolni, mely talajtest jellemzői a környezeti tényezők változásával összhangban változnak, egymás folyamatos átmeneteit képezve. Egy-egy konkrét talajszelvényben talált talaj jellemzőit tekintve több típus jegyeit is magán viselheti, és nem feltétlenül lehetséges egyik, vagy másik osztályba való besorolása. Erre

egyébként csak akkor van szükség, ha mindenképpen meg kívánjuk adni talajaink taxonómiai rendszerben elfoglalt legvalószínűbb elhelyezkedését.

A talajok folytonos közegként való térbeli modellezésére a térinformatikai szoftverek és a matematikai gondolkodás fejlődése révén nyílt lehetőség. A térinformatikai szoftverek nyújtotta lehetőségeket az előzőekben már bemutattuk, azok további részletezése nem szükséges. A matematikai gondolkodásban bekövetkezett – témánk szempontjából – forradalmi áttörést a „fuzzy” (lágy) osztályokról alkotott elmélet fejlődése hozta (Zadeh, 1965).

A szétválasztási, osztályozási vizsgálatok célja kétféle lehet:

- mintánk bizonyos elemeiről el akarjuk dönteni, hogy véges számú előre definiált osztályaink közül melyikbe esnek;
- mintánkban lévő elemek sokaságát megpróbáljuk bizonyos osztályalakító szempontok szerint, természetesen elkülönülő osztályokba sorolni.

A hagyományos cluster-analízis során minden elemről feketén-fehéren eldöntjük, hogy melyik osztályba tartozik. Vagyis, az osztályba tartozást kifejező logikai változó értéke minden elem esetében az egyik osztályra nézve 1, a többi osztályra nézve pedig 0.

Olyan esetben, ahol az osztályok átmérője (egy osztály két legtávolabbi eleme közötti távolság a paraméterterben), az osztályok közötti távolságnál (két osztály egymáshoz legközelebbi elemének távolsága a paraméterterben) kisebb, lehetőség van egyértelmű elkülönítésre, ám ahol az osztályok átmérője nagyobb mint az osztályok közötti távolság, az egyértelmű szétválasztás nem lehetséges mert kialakulhatnak átfedések az osztályok között.

A forradalmi áttörést az a gondolat hozta, hogy nem feltétlenül kell egy elemnek vagy az egyik vagy a másik osztályba tartozni, hanem egyszerre több osztályba is tartozhat más-más mértékben. Ezt nevezik „fuzzy”, vagy lágy osztályozásnak. Az osztályba tartozást kifejező logikai változó értéke, mint súlyérték ebben az esetben 0 és 1 között bármilyen értéket felvehet, ám egy elemre vonatkozóan a különböző osztályokban vett súlyok összege egyenlő 1-el. A lágysági, „fuzzifikációs” paramétert és az osztályok számát előre meg kell adni és tulajdonképpen egy iterációs eljárás során állapítjuk meg a valószínűségi elkülönülő osztályok számát, amely folyamat során az egyes osztályok középső, centrális értéke meghatározható. A matematikai háttér ismertetésére nem térünk ki, ám akit bővebben is érdekel a téma, számos irodalmi forrást talál (Podani, 1997).

Az e fajta osztályozási módszer kiválóan alkalmazható a talajok osztályozására, ahol az elkülönítendő elemek közötti átmenetek fokozatosak, illetve ahol a megfigyelt objektumok közötti különbségek nem kiemelkedően markánsak.

Fuzzy osztályozás végrehajtása

Az előző fejezetekben ismertetett, összetett talajtani- és környezeti változókkal feltöltött adatbázis fuzzy klasszifikációjával szétválasztottuk az adatok alapján elkülöníthető, természetes osztályokat a talajok között a hozzájuk tartozó környezeti változók jellemző értékeivel együtt. Az elemzésekhez a SYN-TAX 2000 (Podani, 2000) programcsomagot használtuk.

Az analízis végén öt osztály vált ki a 96 talajszelvény adataiból, mely osztályok jellemző talajtani és környezeti értékei az egyes változók esetében az 1. táblázatban közölt módon alakultak.

Megjegyezzük, hogy ezek a talajosztályok semmilyen formában nem kötődnek a genetikai talajtípusok rendszeréhez.

Következő lépésként, az alábbi módszert alkalmazva előállítottuk az egész vizsgálati térségre vonatkozóan, az egyes osztályok előfordulását ábrázoló térképet (6. ábra).

6. ábra

Az Észak-Hanság talajosztályainak térképe (részlet)

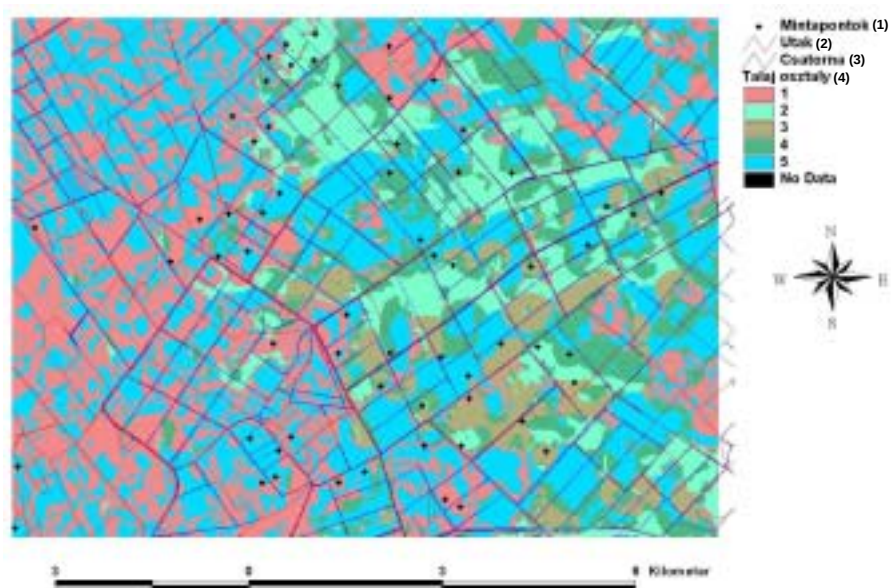


Figure 6: The soil class map of the study area (subtract)

Sample plots(1), Roads(2), Channels(3), Soil classes from 1 to 5(4)

1. táblázat

Fuzzy talajosztályok középértékei minden vizsgált talaj- és környezeti jellemzőre

Osztály (1)	Elem- szám (2)	Termő- réteg (cm) (3)	Tőzeg- réteg (cm) (4)	Lejtés (fok) (5)	Kitettség (fok) (6)	T.sz.f. mag. (m) (7)	Alapkő- zet (8)	Vízgyűj- tó táv. % (9)	pH H ₂ O (10)	pH KCl (11)
1	16	48	5	3,064	222	114,2	3	36	7,3	6,9
2	8	53	14	0,4878	19,51	113,8	4	32	7,1	6,7
3	5	65	101	0,1389	22,39	113,5	6	18	6,5	6,1
4	10	53	44	2,16	283,9	113,9	5	46	6,9	6,4
5	35	41	18	0,1013	2,622	114,1	3	40	7,2	6,9

Folytatás a következő oldalon

Continued on the next page

Folytatás az előző oldalról
Continued from the last page

Osztály	Agyag (%) (12)	Izap (%) (13)	Finom homok (%) (14)	CaCO ₃ max (%) term.r. (15)	C-tart (mg/100 mg) (16)	N-tart (mg/100mg) (17)	S-tart (mg/100mg) (18)	AL-P (mg/100g) (19)	AL-K (mg/100g) (20)	Talajvíz index (v) (21)
1	14	26	49	14	14,10	0,821	0,732	5,696	5,367	1,301
2	14	29	53	18	12,14	0,791	0,874	7,371	4,073	2,598
3	13	25	60	5	27,88	1,896	1,097	2,814	3,963	2,128
4	17	23	57	10	21,38	1,357	1,217	2,777	4,317	2,213
5	14	31	47	20	12,58	0,774	0,540	3,926	5,594	1,311

Table 1: The central concept of each fuzzy soil class considering the environmental and the soil property domain

Class(1), Number Of Obs(2), Rootable depth (cm)(3), Peat layer (cm)(4), Slope (degree)(5), Aspect (degree)(6), Elevation (m)(7), Parent mat.(8), Watershed dist. %(9), pH H₂O(10), pH KCl(11), Clay (%) (12), Silt (%) (13), Fine sand (%) (14), CaCO₃ max (%) root.depth(15), C-cont (mg/100mg)(16), N-cont (mg/100mg)(17), S-cont (mg/100mg)(18), AL-P (mg/100g)(19), AL-K (mg/100g)(20), Ground water index (v)(21)

Az 1. táblázatban látható osztály középértékek az adott osztályok tipikus értékeit mutatják, mind a talajjellemzők, mind a környezeti változók esetében. Az adatok közül a tengerszint feletti magasság, a lejtés, a kiettség, a vízgyűjtő legalsó pontjától mért távolság mérőszáma (vízgyűjtő táv. %), az alapkőzet és a talajvízszint index értéke (v) az adott osztály optimális környezeti feltétel rendszerét jellemzik.

Arra vonatkozóan, hogy az egyes osztályok előfordulása hogyan változik a paraméterterben való mozgás során, nem rendelkezünk előzetes információval. Az összes mintaterület adatainak és az egyes osztályokba eső mintapontok adatainak gyakorisági eloszlásának vizsgálata után, elfogadtuk azt a feltételezést, hogy az egyes talajosztályokba tartozó elemek nagyobb gyakorisággal és valószínűséggel fordulnak elő az osztályközép értékekhez közeli paramétertartományban, mint attól távolabb. Annak ellenére, hogy a jelenleg rendelkezésre álló elemszám még nem volt elegendő minden osztály esetében a gyakorisági eloszlásfüggvények pontos meghatározásához, a normális eloszlás gyakorisági sűrűségfüggvényével közelítettük az osztályok eloszlását. Ezt az elgondolást alátámasztotta az a megfigyelés, hogy az egyes osztályokba sorolt mintaterületek adataira osztályonként illesztett normális eloszlások várható értékei egybeestek az osztályok centrális értékeivel valamint az a tény, hogy az adatokon végrehajtott eloszlás illesztés vizsgálat a normális eloszlás esetében adta a legjobb illeszkedést. A normális eloszlás sűrűség-függvényeit használtuk az egyes osztályok legvalószínűbb területi elhelyezkedésének szemléltetéséhez. Az osztályok környezeti paraméter térben való gyakorisági eloszlását mutatja, hogy ahol a környezeti változók értéke megközelíti az adott osztály középértékét, ott a gyakorisági sűrűségfüggvény értéke közelíti a maximumot. Ahol a környezeti változók értéke egy másik osztály középértékét közelíti, annak az osztálynak a sűrűségfüggvénye közelíti a maximumát, és az adott tartományban, az alatta lévő terület, mely a valószínűséggel arányos, túlszárnyalja a többi osztály azonos értékét. A jobb szemléletesség kedvéért, úgy módosítottuk a sűrűségfüggvényeket, hogy várható értékük továbbra is az osztályközép értéke legyen, ám maximális értékük minden esetben egy (7. ábra).

7. ábra

A talajvíz felszínétől mért távolságának osztályonkénti gyakorisági sűrűség-függvényei (optimum görbéi) az öt osztályban

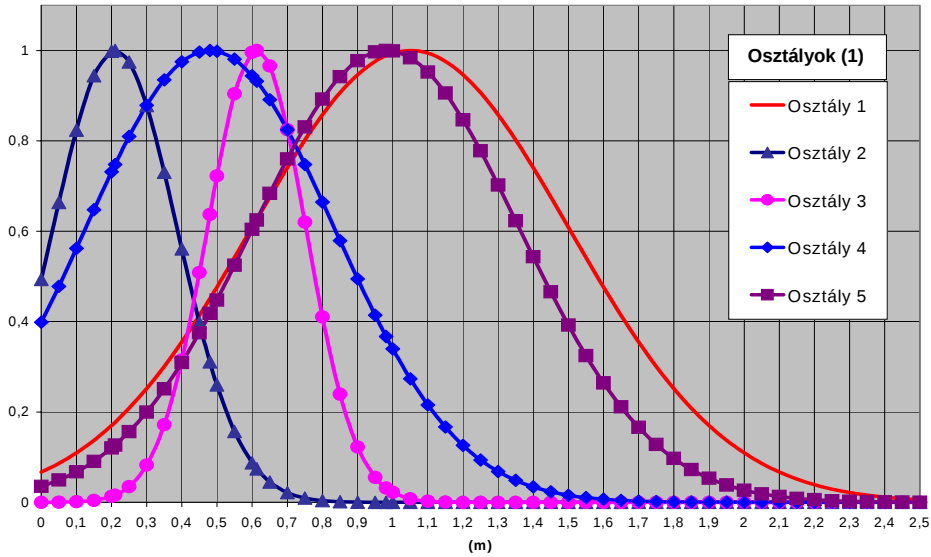


Figure 7: Frequency density functions of classes over groundwater depth from the surface

Soil class 1, 2, 3, 4, 5(1)

Így tehát a környezeti változók egész tartományában az öt osztály gyakorisági görbéi, melyek a folyamatos átmenetet és átfedést biztosítják az egyes osztályok között, szemléltetik a fuzzy talajosztályokat. Mind a hat előzőekben részletezett környezeti változó esetében, mind az öt osztályban, más-más paramétertartományban helyezkedtek el a sűrűségfüggvények. Ez azt jelenti a térképi ábrázolást tekintve, hogy minden egyes térbeli ponthoz 30 osztályközéptől való távolsági mérőszám tartozik (6 környezeti változó szorozva az 5 osztállyal). A cél az volt, hogy minden egyes terepi pontot (melyeket a pixelek ábrázolnak a térinformatikai adatbázisunkban) egy osztályba soroljunk. Ezért a hat környezeti paraméterre kiszámítottuk minden egyes pixel osztályba tartozásának mérőszámát. A számítás menete: a pixel osztályközéptől vett euklideszi távolságát elosztottuk az adott paraméterre vett és az osztályt jellemző szórással, végül a hányadost négyzetre emeltük:

$$U_{ijk} = ((Q_{ik} - X_{jk}) / S_{jk})^2 \quad (2)$$

ahol,

U_{ijk} : az i pixel j osztályba tartozásának mérőszáma, a k paraméterre nézve,

Q_{ik} : az i pixel értéke a k paraméterre nézve,

X_{jk} : a j osztály átlaga a k paraméterre nézve,

S_{jk} : a j osztály szórása a k paraméterre nézve.

Mivel kisebb az U_{ijk} értéke, annál közelebb van az adott pixel az adott osztály középpontjához, a kérdéses paraméterre nézve. Az U_{ijk} értékek átlagolásával, majd összehasonlításával a pixel hovatartozását a legkisebb átlagértékkel jellemzett osztály jelöli ki.

A talaj paraméterek becslése a mintapontok között

A talaj paramétereinek modellezésénél felhasználtuk az osztályozás eredményeit, oly módon, hogy osztályonként kerestük a környezeti változók és a talajjellemzők közötti összefüggéseket. Az osztályokra bontott paraméter becslés előnye, hogy lehetőséget ad a finomabb differenciálásra a változók között.

Könnyen belátható, hogy az egyes környezeti változók a különféle talajtípusok kialakításában más-más súllyal vesznek részt. Például, a mélyebb fekvésű területeken a talajvízszint elhelyezkedésének nagyobb szerepe van, mint az alapkőzet tulajdonságainak, míg magas fekvésű területeknél nyilván fordított a helyzet. Ennek megfelelően, az osztályonkénti paraméterbecslésnél jóval szorosabb illeszkedést találtunk a környezeti változók és a talajjellemzők között mint akkor, amikor az osztályokat figyelmen kívül hagytuk.

A talajjellemzők becslésére, osztályokon belül alkalmaztunk többváltozós regressziós eljárást, minek során minden egyes talajjellemzőt az összes lehetséges környezeti változó felhasználásával becsültünk. Az osztályonkénti regresszióra azért volt szükség, mert ugyanannak a környezeti változónak más-más talajosztályban eltérő hatása lehet. Abból kell kiindulni, hogy osztályonként változik a környezeti tényezők talajfejlődés szempontjából vett fontossági sorrendje, azonban hasonló talajtulajdonságok más-más talajosztályokban is kialakulhatnak. Ezért ha osztályozás mellőzésével, a teljes paramétertartományban próbálunk univerzális regressziós egyenletet felállítani, könnyen használhatatlan eredményeket kaphatunk. Ezzel szemben az osztályozás segítségével a paraméterteret feloszthatjuk nagyobb csoportokra – niche-ekre –, amely niche-eken belül a környezeti változók hatása homogén. Ezáltal az osztályokon niche-eken belül, pontosabban felderíthetők a környezeti változók és a talajjellemzők közötti összefüggések. A regressziós függvény alakja minden esetben a következő általános alakra vezethető vissza:

$$TJ = a_0 + a_1 \cdot (T.sz.f.m.)^{a_2} + a_3 \cdot (Lejtés)^{a_4} + a_5 \cdot (Kitettség)^{a_6} + a_7 \cdot (Alapkőzet)^{a_8} + a_9 \cdot (Vgyft)^{a_{10}} + a_{11} \cdot (v^*)^{a_{12}} \quad (3)$$

ahol,

TJ: a becsült talajjellemző,

a_0 - a_{12} : a regressziós paraméterek,

Vgyft: a ponthoz legközelebbi mikrovízgyűjtő legalsó pontjától mért távolság, a legtávolabbi pont %-ában,

v^* : a sokéves talajvízszint és a felszín közötti távolság, az adott helyen.

Természetesen nem minden esetben került be minden paraméter a regressziós egyenletbe. Csak addig folytatódott az újabb predikciós változók felvétele, amíg ebből kifolyólag az eltérés négyzetösszeg szignifikánsan csökkent (step forward multiple regression). Későbbiekben látható egy regressziós példa.

Az így nyert egyenleteket használtuk fel arra, hogy előállítsuk az alább bemutatott talaj modelleket, nevezetesen:

- termőréteg vastagsági modell,
- tőzegréteg vastagsági modell,
- termőréteg CaCO_3 tartalom modell.

Példa a talajosztályon belüli regresszióra, a termőréteg-vastagság tekintetében

A regressziós egyenlet

$$\begin{aligned} \text{Termőréteg-vastagság} = & 0,7907295 - 1,6 \cdot 10^{-11} \cdot (Vgyft)^5 - \\ & - 1,9881835 \cdot (Lejtés)^2 + 1,4226300 \cdot Lejtés - \\ & - 0,0014602 \cdot Kitettség \end{aligned}$$

2. táblázat

A regressziós paraméterek

Többváltozós regresszió (1)	R=0,953; R²=0,907; F(4,5)=12,254; p<0,0085 A becslés hibája: 0,0502 (2)
N=10	Regressziós paraméterek (3)
Kitettség (4)	-0,0014602
Lejtés (5)	1,4226300
(Lejtés) ² (5)	-1,9881835
(Vgyft) ⁵ (6)	-1,6*10 ⁻¹¹
Konstans (7)	0,7907295

Table 2: Parameter summary

Multiple regression(1), Error(2), Parameters(3), Aspect(4), Slope(5), Watershed s pour point distance (Wppd)(6), Interception(7)

8. ábra

A negyedik fuzzy talajosztályban a becsült és az előre jelzett termőréteg-vastagsági értékek és a 95%-os konfidencia intervallum

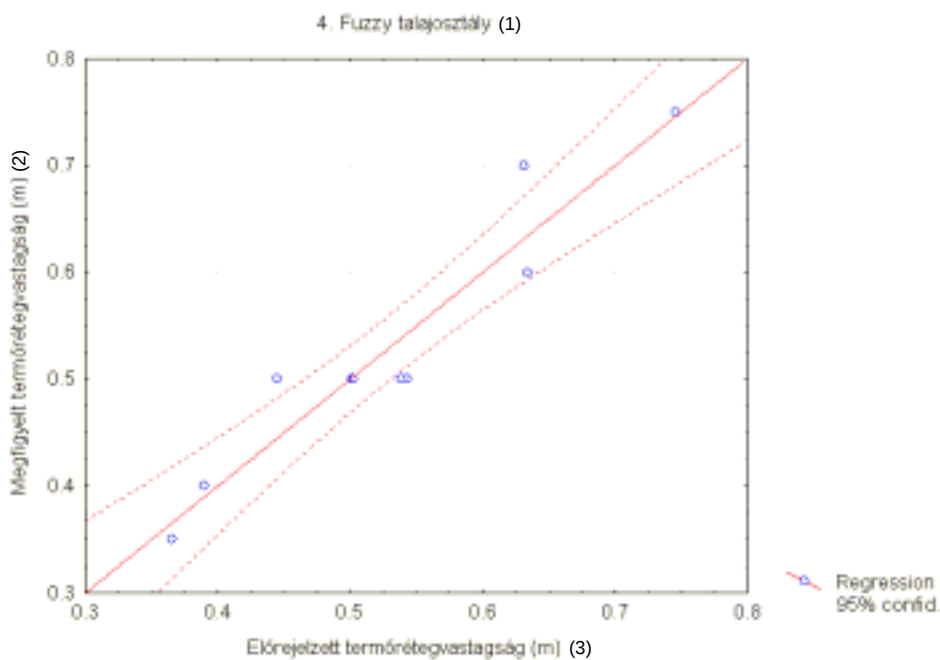


Figure 8: The observed and predicted values of rootable depth in fuzzy soil class 4 and the 95% confidence limits

4th fuzzy soil class(1), Observed rootable depth (m)(2), Predicted rootable depth (m)(3)

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Térképek

Az eredményeink közül azért mutatjuk be az előző fejezet végén felsorolt három részmodellt, mert ezek a talaj legközvetlenebbül tapasztalható tulajdonságai közé tartoznak, és mint ilyenek a gyakorlatban is viszonylag könnyen becsülhetők.

Az eredmények olyan térképek, amelyek mutatják a termőréteg vastagságának térbeli mintázatát (9. ábra), a tözegréteg vastagságának térbeli mintázatát (10. ábra), illetve a termőrétegbeli mésztartalom százalékának alakulását (11. ábra).

A térképek felbontása jóval meghaladja az eddigi talajtérképek felbontását és megegyezik a kiindulásul használt raszteres adatállományok felbontásával. Esetünkben 20×20 m-es pixelméretben ábrázoltuk a talaj tulajdonságait ami azt jelenti, hogy ekkora az a minimális terület, ami a térkép egy pontjának felel meg.

A térképek nagyobb változatosságot mutatnak, mint a 6. ábrán bemutatott talajtípus térkép, mivel képes ábrázolni az osztályokon belüli változatosságot is, a regressziós kapcsolatok felhasználásával. Az alkalmazott módszerek eredményekben is megmutatkozó előnye, hogy azokon a területeken is képes becsülni a térbeli változatosságot – felhasználva a talajjellemzők és a környezeti változók között felállított összefüggéseket –, ahol előzőleg nem létesítettünk mintaterületeket.

9. ábra

Az Észak-Hanság termőréteg vastagsági modelljének részlete

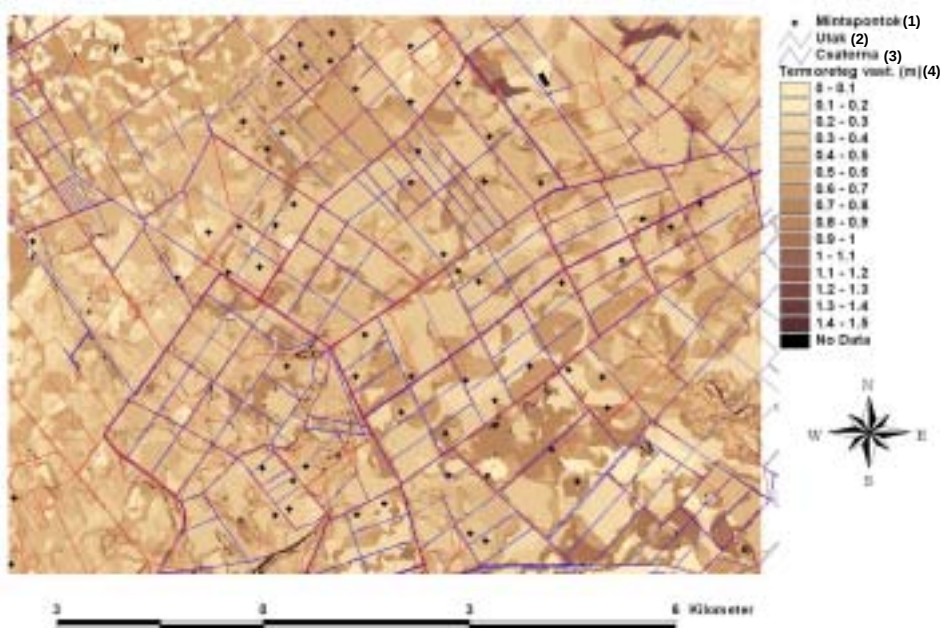


Figure 9: Model of the rootable depth under the study area

Sample plots(1), Roads(2), Channels(3), Rootable depth (m)(4)

10. ábra

Az Észak-Hanság tőzegréteg vastagsági modelljének részlete

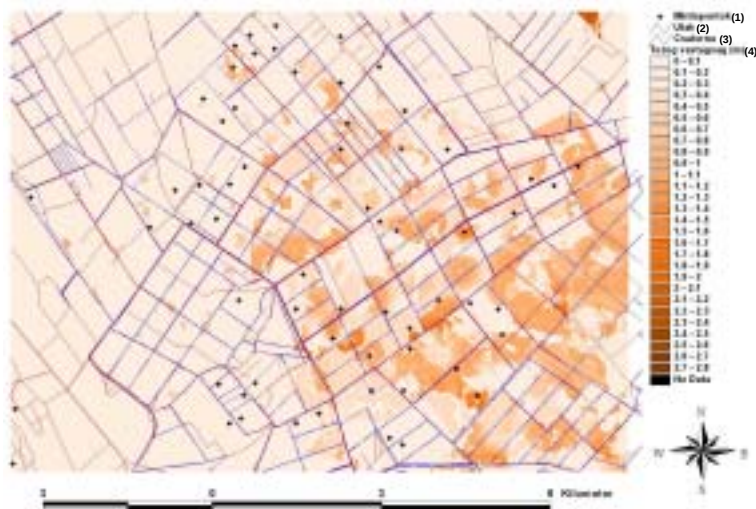


Figure 10: Peat-layer thickness under the rootable depth

Sample plots(1), Roads(2), Channels(3), Peat-layer thickness (m)(4)

11. ábra

Az Észak-Hanság termőréteg mésztartalmi modelljének részlete

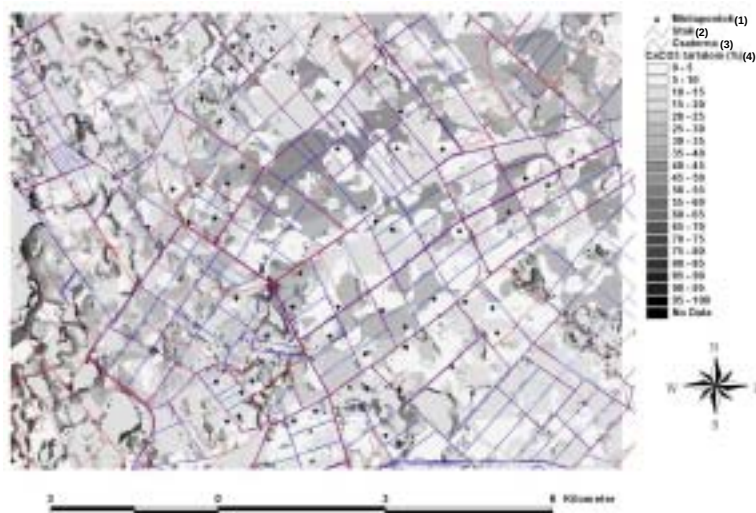


Figure 11: CaCO₃ content of the rootable depth

Sample plots(1), Roads(2), Channels(3), CaCO₃ content (%) (4)

A térképek alkalmazhatóságáról azt lehet mondani, hogy messzemenőig figyelembe kell venni a modell értelmezési tartományát, hiszen előfordulhat, hogy a paraméter tartományon kívül eső pontok esetén a modell nem értelmezhető eredményt ad. Ezért a modell létrehozásában felhasznált mintapont hálózattól távoli helyeken, a modell által generált térkép nem megbízható, hanem csak az értelmezési tartományán belül, illetve annak környezetében alkalmazható. Ott viszont – az alább bemutatásra kerülő statisztikák szerint – pontossága a jelenleg alkalmazott termőhelyi kategóriák által adott határokon belül van. Azt mondhatjuk, hogy modellünk megfelelően alkalmazható lesz az Észak-hansági Erdészet kezelésében lévő területeken a termőhelyi viszonyok átfogó értékelésére, kivéve a Hanság-Nagyerdő területét, ahol alkalmazhatósága korlátozott, a jellegüket tekintve alapvetően eltérő talajképző folyamatokból fakadóan.

Pontossági mutatók

A modell pontosságának értékeléséhez a következő szempontokat kell figyelembe venni.

- A kiindulási alapul vett környezeti változók adatbázisa, elemeit tekintve maga is egy modell, amely nyilvánvaló módon valamilyen hibával eleve terhelt, de ennek a mértékét nem ismerjük. Ez a következőkből adódik:
 - a szintvonalas térkép hibája, a térképezés óta bekövetkezett változások miatt,
 - a felületmodellből levezetett jellemzők hibája, amely az előző hiba következménye,
 - a talajvízszintek modelljének hibája, amely szintek 15 környező talajvízkút adatából kerültek levezetésre,
 - a földtani térkép esetleges hibái.
- A modellezni kívánt talajjellemzők (1. táblázat) mérési hibatartománya.
- Az antropogén hatásokat modellünk nem tudja figyelembe venni.

Az előzőekben vázolt, jelentős bizonytalansági tényezők ellenére azt kell mondanunk, hogy a modell igen jó eredményeket adott a mintaterületek adataival való összevetés során. Egyes, itt nem közölt jellemzők esetében, például a valóságos agyagtartalom, és a modell becslésének eltérése még az alább közölt értékeknél is szűkebb tartományban mozgott, tehát a modell nagyobb pontosságú eredményt produkált.

Az 12.-14. ábráról leolvasható, hogy a termő- és a tőzegréteg vastagság, továbbá a mésztartalom tekintetében az esetek (mintaterületek) hány százaléka esik a különböző hibasávokba. Az értékek meggyőzőek abban a tekintetben, hogy a modellel sikerült megragadnunk a termőhelyi viszonyok alakulását kormányzó fő tényezőket. Segítségükkel feltehetően képesek leszünk a gyakorlat mai igényeit messzemenően kielégítő térképeket készíteni. Kiegészítésként a 3. táblázatban tekinthetők meg a közölt termőhelyi tényezőkre vett hibaértékek statisztikái. Természetesen mindehhez hozzá kell tenni, hogy ezek a belső pontossági mérőszámok, ugyanis számításuknál csak a modell kialakításában szereplő területeket (74) használtuk fel.

Ezek után bemutatjuk a modell becsléseinek hibaeloszlását a 22 regresszióba be nem vont mintaterület esetére (15.-17. ábra), valamint a statisztikai adatokat részletező 4. táblázatot. Ebben az esetben látható, hogy a modell értékei a termő- és a tőzegréteg vastagságának tekintetében eléggé szorosan követik a valóságos adatokat, és a hibasávok arányai nem változnak számottevően. A mésztartalom esetében, némileg eltérő a helyzet, mivel itt a nagyobb eltérések aránya jelentősen növekedett, bár itt is igaz, hogy a becslési hibák többsége a valóságos értékektől kevésbé eltérő tartományba esik. Ez mindössze annyit jelent, hogy a mésztartalom becslése nem annyira „könnyű”, mint az előző két paraméteré. Megfigyelhető azonban, hogy a hiba értékek eloszlásának alakulása

mindegyik esetben hasonló, tehát a modell nem „mintavételi hely specifikus”, ami azt jelenti, hogy ettől eltérő, ám szintén véletlenszerűen kiválasztott mintapont hálózat esetében sem kapnánk lényegesen eltérő eredményt. Továbbá hozzátesszük, hogy a 22 független minta eredménye, még nem elegendő a végleges statisztika elkészítéséhez, hiszen abból két pont eltérése már csaknem 10%-ot jelent. Várható, hogy a mintaszám emelkedésével a nagyobb eltéréseket mutató oszlopok aránya csökkenni fog.

12. ábra

A termőréteg vastagság modelljének hibaeloszlása a modell létrehozására felhasznált 74 mintapont esetében

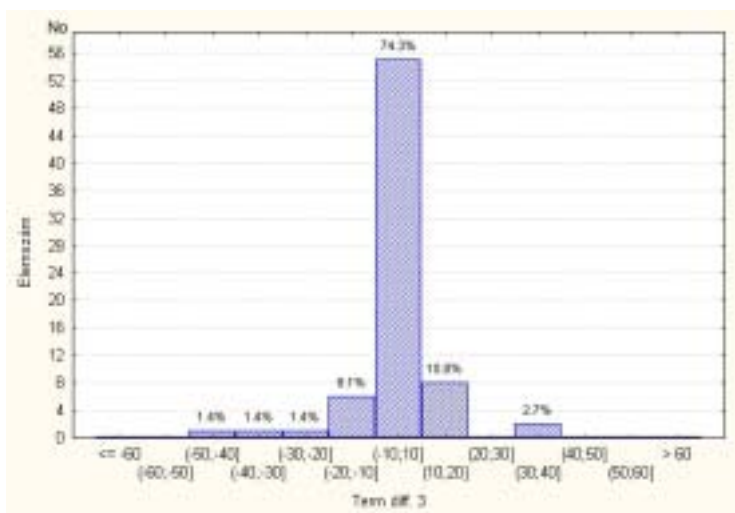


Figure 12: Error distribution of the rootable depth for the 74 cases included in model building

3. táblázat

Az egyes termőhelyi tényezőkre számolt hiba statisztikai adatai, a modellhez felhasznált pontok esetében

	Elem- szám (1)	Átlag (2)	-95% (3)	+95% (4)	Összeg (5)	Minimum (6)	Maximum (7)	Szórás (8)
			Átl. konf. intervallum					
Termőréteg (9)	74	-0,7	-3,3	2,0	-49,0	-40,4	34,3	11,5
Tőzegréteg (10)	74	-0,5	-5,7	4,6	-39,5	-115,5	85,0	22,3
CaCO ₃ tart. (11)	74	-0,5	-3,6	2,6	-37,6	-28,0	46,2	13,4

Table 3: Error statistics of soil properties for the sample plots included in the model

Number of observations(1), Mean(2), -95% Confidence limits(3), +95% Confidence limits(4), Sum(5), Minimum(6), Maximum(7), St. Dev.(8), Rootable depth(9), Peat layer(10), CaCO₃ content(11)

13. ábra

A tőzegréteg vastagság modelljének hibaeloszlása a modell létrehozására felhasznált 74 mintapont esetében

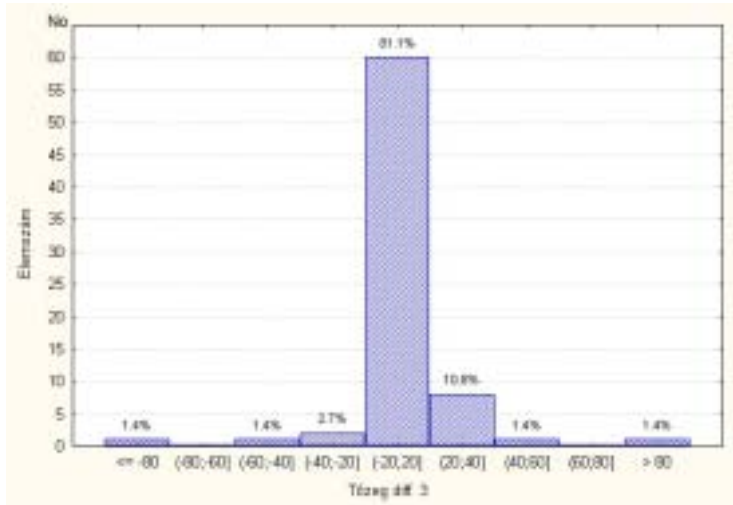


Figure 13: Error distribution of the peat layer thickness for the 74 cases included in model building

14. ábra

A termőréteg mésztartalmi modelljének hibaeloszlása a modell létrehozására felhasznált 74 mintapont esetében

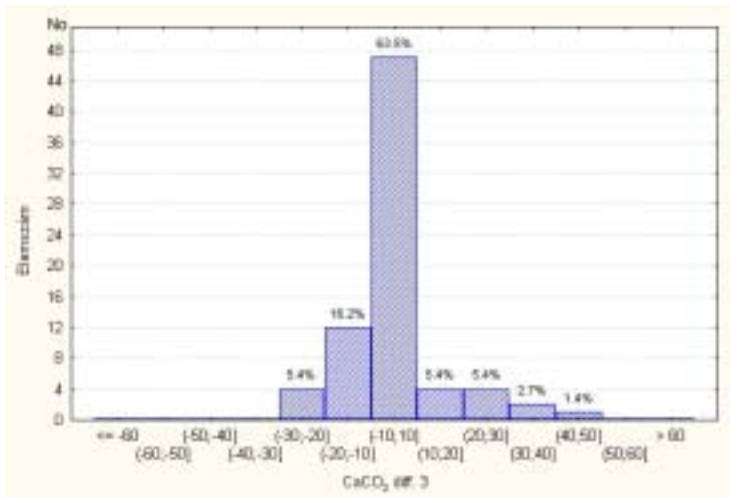


Figure 14: Error distribution of the CaCO_3 content for the 74 cases included in model building

15. ábra

A termőrég vastagság modelljének hibaeloszlása a modell létrehozására fel nem használt 22 mintapont esetében

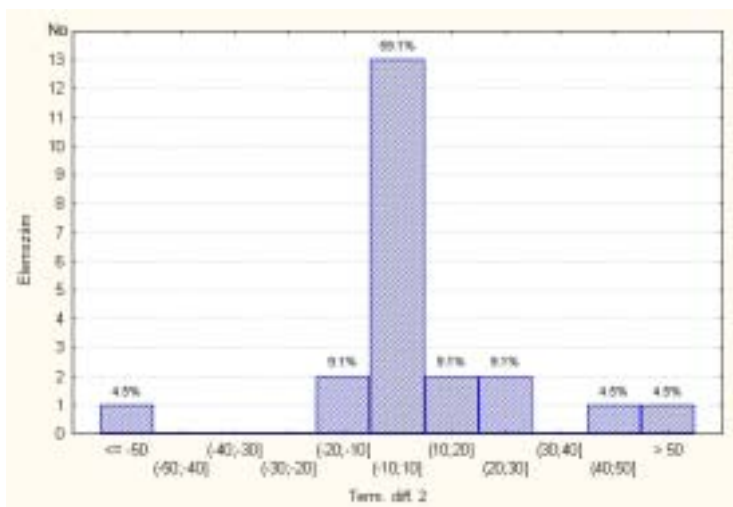


Figure 15: Error distribution of the rootable depth for the 22 cases not included in model building

16. ábra

A tőzegrég vastagság modelljének hibaeloszlása a modell létrehozására fel nem használt 22 mintapont esetében

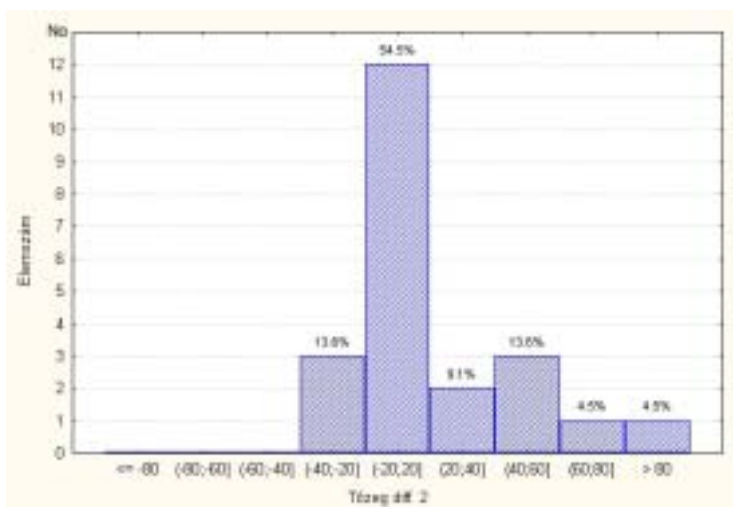


Figure 16: Error distribution of the peat layer thickness for the 22 cases not included in model building

17. ábra

A termőréteg mésztartalmi modelljének hibaeloszlása a modell létrehozására fel nem használt 22 mintapont esetében

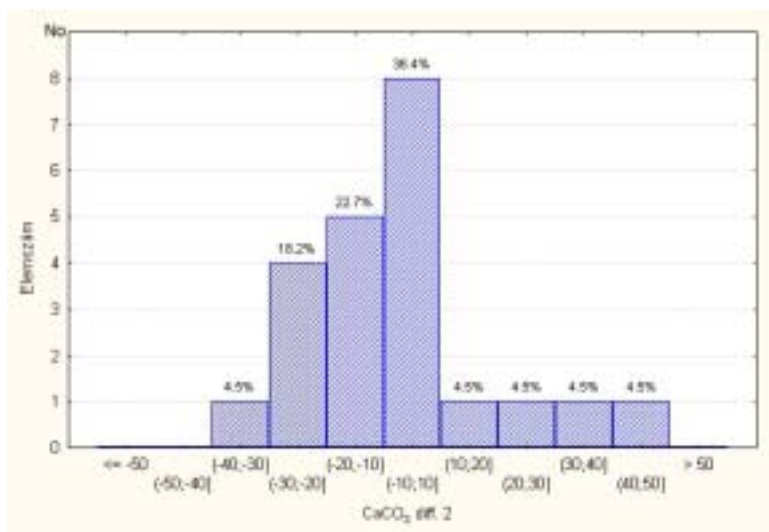


Figure 17: Error distribution of the CaCO_3 content for the 22 cases not included in model building

4. táblázat

Az egyes termőhelyi tényezőkre számolt hiba statisztikai adatai, a modellhez fel nem használt pontok esetében

	Elem- szám (1)	Átlag (2)	-95% (3)	+95% (4)	Összeg (5)	Minimum (6)	Maximum (7)	Szórás (8)
			Átl. konf. intervallum					
Termőréteg (9)	22	5,3	-4,1	14,8	117,2	-50,4	54,0	21,3
Tőzegréteg (10)	22	16,3	0,9	31,8	359,6	-38,9	120,0	34,8
CaCO ₃ tart. (11)	22	-4.3	-13.0	4.4	-94.7	-38.7	45.4	19.6

Table 4: Error statistics of soil properties for the sample plots not included in the model

See table 3

Végül bemutatjuk az összesített statisztikát, amelyhez felhasználtuk mind a 96 szelvény adatát, vagyis mind a 74 modellalkotásba bevont szelvényt és a 22 modellalkotásba be nem vett szelvényt egyaránt (18.-20. ábra és 5. táblázat).

18. ábra

A termőréteg vastagság modelljének hibaeloszlása az összes (96) mintapont esetében

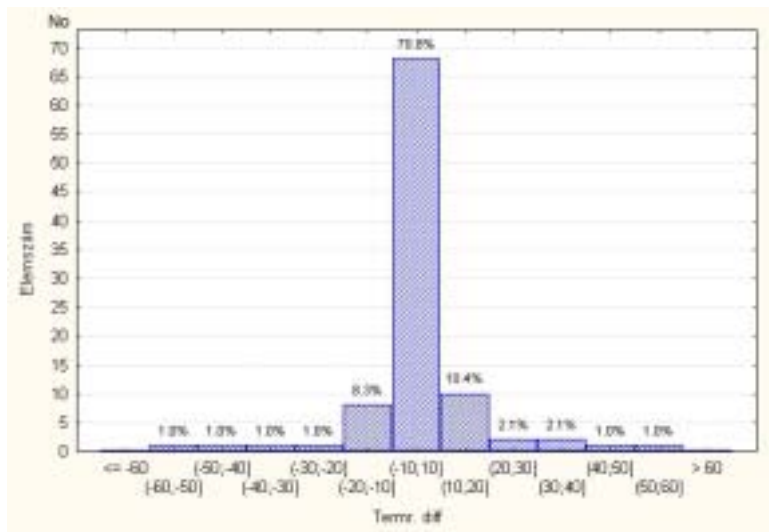


Figure 18: Error distribution of the rootable depth for all the 96 cases

19. ábra

A tőzegréteg vastagság modelljének hibaeloszlása az összes (96) mintapont esetében

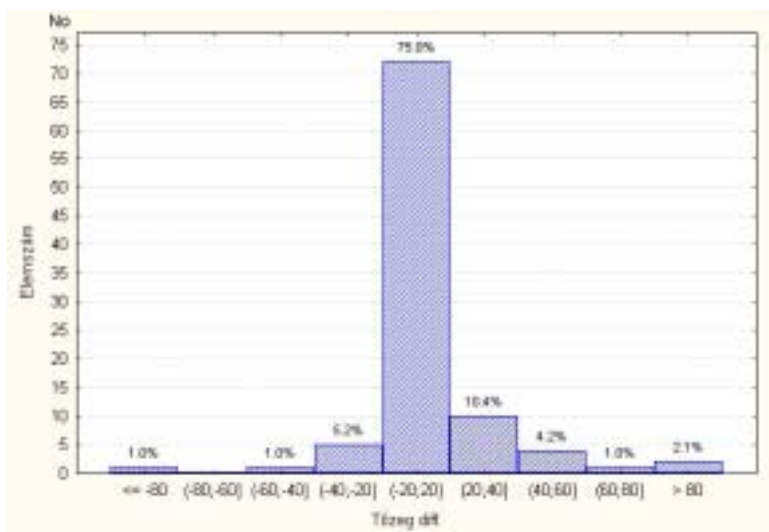
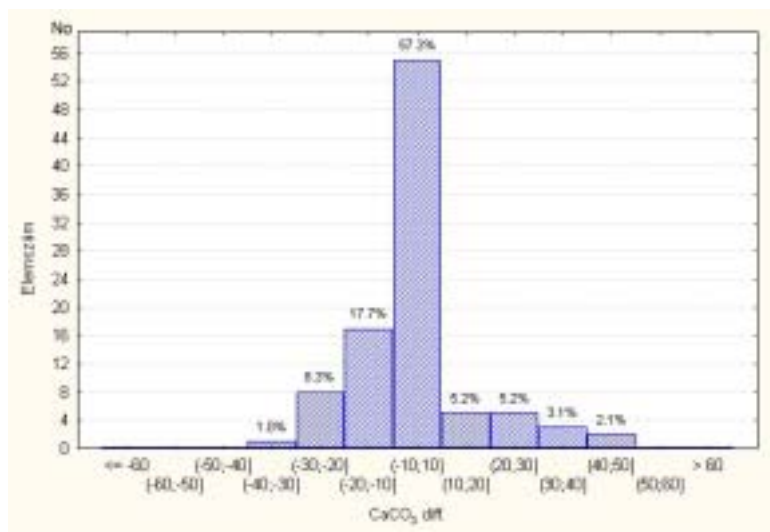


Figure 19: Error distribution of the peat layer thickness for all the 96 cases

20. ábra

A termőréteg mésztartalmi modelljének hibaeloszlása az összes (96) mintapont esetében

Figure 20: Error distribution of the CaCO₃ content for all the 96 cases

5. táblázat

Az egyes termőhelyi tényezőkre számolt hiba statisztikai adatai, az összes pont esetében

	Elem- szám (1)	Átlag (2)	-95% (3)	+95% (4)	Összeg (5)	Minimum (6)	Maximum (7)	Szórás (8)
			Átl. konf. intervallum					
Termőréteg (9)	96	0,7	-2,2	3,6	68,1	-50,4	54,0	14,4
Tőzegréteg (10)	96	3,3	-2,0	8,7	320,1	-115,5	120,0	26,5
CaCO ₃ tart. (11)	96	-1,4	-4,4	1,7	-132,3	-38,7	46,2	15,0

Table 5: Error statistics of soil properties for all the cases

See table 3

A táblázatok (3.-5. táblázat) adataiból és az ábrákból látszik, hogy a modell értékei zömében ott helyezkednek el, ahol az elvárható, nevezetesen a valóságos értékek viszonylag szűk környezetében.

Zárszóként elmondható, hogy a kutatás eddigi, részben itt bemutatott eredményeit igen biztatónak találjuk. Amennyiben a módszer a későbbi tesztek során is eredményesnek mutatkozik, úgy kínálkozik a lehetősége egy olyan viszonylag kevés, ám reprezentatív

módon kiválasztott mintaterület hálózattal jellemzett, és térinformatikai eszközökkel támogatott talajtérképezési eljárásnak, amely bármilyen területen képes lesz a gyakorlat számára az eddigieknél sokkal részletesebb és megbízhatóbb talajtérképek előállítására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat elsősorban a Kisalföldi Erdőgazdaság Rt., Észak-hansági Erdészetének sokrétű szakmai segítsége; a Fertő-Hanság Nemzeti Park támogatása – a védett és fokozottan védett területeket is fel tudtuk keresni –; az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság és a Magyar Állami Földtani Intézet adatszolgáltatása segítette. Kutatásainkhoz az anyagi támogatást a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, valamint az OTKA iroda nyújtotta, melyekért ezúton is köszönetünket fejezzük ki.

IRODALOM

- McBratney, A.B., Odeh, I.O.A. (1997). Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma*, 77. 85-113.
- Podani, J. (1997). Bevezetés a többváltozós biológia adatfeltárás rejtelmeibe. 126-131.
- Scharek, P. (1991). (szerk.): A Kisalföld földtani térképsorozata. Mosonmagyaróvár, Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI).
- Zadeh, L. (1965). *Fuzzy set theory and its Applications*. Kluwer-Nijhoff, Boston.
- Zhu, A-X. (1997). A similarity model for representing soil spatial information. *Geoderma*, 77. 217-242.
- Zhu, A-X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., Simonson, D. (2001). Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65.1463-1472.
- Zhu, A-X., Band, L.E., Dutton, B., Nimlos, T.J. (1996). Automated soil inference under fuzzy logic. *Ecological Modelling* 90. 123-145.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Illés Gábor

Erdészeti Tudományos Intézet

1023 Budapest, Frankel Leó u.42-44.

Forest Research Institute

H-1023 Budapest, Frankel Leó u.42-44.

Tel.: +36-1-438-5866, Fax: +36-1-326-1639

e-mail: ill7770@ella.hu.