

Fásítási lehetőségek modellezése

¹Bozsik Éva – ¹Riczú Péter – ¹Gálya Bernadett – ¹Tamás János – ²Charles Burriel – ³Herman Helilmeier

¹Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Víz-és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen

²AGROSUP, Dijon, France

³TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften Freiberg, Germany
eva.bozsik@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A fás társulások már hosszú idő óta szerves részét képezik az Európai Unió mezőgazdaságilag művelt, illetve legeltetett parcelláin folytatott hagyományos földhasználatnak, ugyanakkor a mezőgazdasági területek növekedésével számtalan tradicionális európai agrárerdészeti rendszert számoltak fel a 20. század folyamán, jelentősen csökkentve ezzel a természetes erdőállományok méretét. Ez a jelenség komoly érdekellentétet váltott ki a mezőgazdasági és erdőgazdálkodási ágazat szakemberei között. Ez a többfunkciós természeti és/vagy állattartási környezet mind a gazdálkodók, döntéshozók, hatóságok, kutatóintézetek, mind a természet- és környezetvédők számára optimális megoldást jelenhet a célok integrálásában. A megmaradt, maradvány fás vegetációk, valamint az új agroerdészeti telepítések egyik problémája lehet a köztük lévő ökológiai hálózati funkció hiánya, így a telepítések során elsősorban törekedni szükséges ezek egymással való összeköttetésére, mely ökológiai zöld folyosóként is funkcionál. Az ökológiai probléma mellett jelentős gondot okoz(hat) az agroerdészeti támogatási kifizetések ellenőrizhetősége, a természet haszonnövények és fás vegetációk monitorozása.

A távérzékelési módszereket jelenleg is eredményesen használják az Európai Unió által nyújtott támogatási kifizetések ellenőrzésére. Napjainkban az űrfelvételek használata mellett egyre inkább terjednek és elérhetővé válnak a légi hiperspektrális és légi lézerekkel (LiDAR – Light Detection And Ranging) távérzékelési technológiák a természet- és környezetvédelem, erdőészt, mezőgazdasági területein és hatékony eszköznek bizonyul a biomassza termelés monitorozására.

Kutatásunk célja egy olyan térbeli döntéstámogatási modell készítése, amelynek segítségével meg tudjuk határozni azoknak a potenciális területeknek a nagyságát, amelyek agroerdészeti rendszerek kialakítására alkalmasak lehetnek. A helyszínek kiválasztás modell felépítése során figyelembe kell venni az ökológiai zöld folyosók folyamatosságának biztosítását, illetve a helyi viszonyokhoz illeszkedő tájhasználat fenntartását. A vizsgálat eszközeként a széles körben elterjedt légi hiperspektrális és lég LiDAR távérzékelési felvételeket használtuk, melyekkel lehetővé válik a megfelelő adatgyűjtés és adatfeldolgozás, ami egy helyszínek kiválasztó, térbeli döntéstámogatási rendszer felépítéséhez szükséges.

Kulcsszavak: biomassza, környezetvédelem, szén-dioxid, megújuló energia, bio-üzemanyag

SUMMARY

Agroforestry systems are part of the history of the European Union rural landscapes, but the regional increase of size of agricultural parcels had a significant effect on European land use in the 20th century, thereby it has radically reduced the coverage of natural forest. However, this cause conflicts between interest of agricultural and forestry sectors. The agroforestry land uses could be a solution of this conflict management. One real – ecological – problem with the remnant forests and new forest plantation is the partly missing of network function without connecting ecological green corridors, the other problem is verifiability for the agroforestry payment system, monitoring the arable lands and plantations.

Remote sensing methods are currently used to supervise European Union payments. Nowadays, next to use satellite imagery the airborne hyperspectral and LiDAR (Light Detection And Ranging) remote sensing technologies are becoming more widespread use for nature, environmental, forest, agriculture protection, conservation and monitoring and it is an effective tool for monitoring biomass production.

In this Hungarian case study we made a Spatial Decision Support System (SDSS) to create agroforestry site selection model. The aim of model building was to ensure the continuity of ecological green corridors, maintain the appropriate land use of regional endowments. The investigation tool was the more widely used hyperspectral and airborne LiDAR remote sensing technologies which can provide appropriate data acquisition and data processing tools to build a decision support system.

Keywords: remote sensing, agroforestry, site selection, spatial decision support system

BEVEZETÉS

A fás társulások már hosszú idő óta szerves részét képezik az Európai Unió mezőgazdaságilag művelt, illetve legeltetett parcelláin folytatott hagyományos földhasználatnak, akár tudatosan, akár csak természetesen igazodva a helyi természeti adottságokhoz, igényekhez (pl. olivafák együttes termesztése gabonafélékkel, Görögország). A manapság használatos „agroerdészeti”, vagy „agroforestry” kifejezésnek számos definíciója létezik, mely összefoglalóan egy ökológiailag

többfunkciós földhasználatként értelmezhető. A gyakorlatban egyazon területen tudatosan kombinálják a fás vegetációt (fák, bokrok) mezőgazdasági haszonnövény kultúrákkal és/vagy állattartással. Az így nyert agroerdészeti rendszerben az elemek egymásra gyakorolt kedvező hatásaiból eredően mind ökológiai, mind gazdasági vonatkozásban fenntarthatóbb gazdálkodás valósulhat meg (Lundgren és Raintree, 1982; Net1).

Az agroerdészeti rendszerek alacsony szén-dioxid kibocsátásukkal és magas biomassza-termelésükkel nagymértékben hozzájárulnak a természeti erőforrások

megőrzéséhez és védelméhez. Emellett olyan fontos ökoszisztéma-szolgáltatásokat nyújtanak úgy, mint a karbonmegkötés, víz- és talajerózió elleni védelem, klimatikus stresszhatások csökkentése, biológiai sokféleség megőrzése, növeli a növények kártevőkkel, betegségekkel szembeni ellenállóképességét, hozzájárul a tájkép védelméhez, illetve rekreációs lehetőségeket is nyújthat. Egy ilyen komplex, megfelelően működő agroerdészeti termelési rendszer létrehozása, fenntartása – igazodva a helyi környezeti feltételekhez – komoly szakértelmet igényel (Net1, Net2). Világviszonylatban az általánosan elterjedt agroerdészeti rendszerek közé tartoznak a szélfogók, mezővédő erdősávok (windbreaks); mezőgazdasági haszonnövények hosszú vágásfordulójú fafajokkal való termesztése (alley cropping); part menti erdősávok (forest riparian buffer strips); legeltéssel hasznosított erdők (silvopasture).

Számtalan tradicionális európai agrárerdészeti rendszert számtalok fel a 20. század folyamán, jelentősen csökkentve ezzel a természetes erdőállományok méretét: egyrészt a mezőgazdaság intenzifikációja, a gépesítés voltak a leginkább ösztönző hatással arra nézve, hogy a fás növényzetet eltávolítsák a művelt területről. Másrészt a közös európai agrárpolitika (CAP) volt a másik oka a fák agrár-gazdálkodási rendszerből történő kiiktatásának az elmúlt 30 év folyamán. Jellemzően a szántóföldi fás vegetáció nem lett figyelembe véve a növénytermesztési rendszerekben, mivel a koronafelületek kiterjedése levonásra került a támogatható területek köréből. A CAP agrártámogatási rendszere határozottan ignorálja a fák erdőterületeken kívüli létezését. A területalapú támogatásokat csak a fátlan területekre vonatkoztatva nyújthatták be, mindez nagymértékben elősegítette a faegyedek eltávolítását. Ez a következmény ugyan nem tartozott a CAP céljai közé, de mint negatív mellékhatás jelentkezett. Negatív hatásai: a gazdálkodók tudásbázisának beszűkülése, a tájak tájkarakterek jellegtelenné válása, talajerózió, szignifikáns karbondeficit a biomasszában, növekvő víz- és talajerózió, vízszennyezés növekedése, a növényi kártevők természetes élőhelyeinek eltűnése, biodiverzitás csökkenés, természetes erdőállományok radikális csökkenése (Lawson et al., 2005). Ez a jelenség komoly érdekellentétet váltott ki a mezőgazdasági és erdőgazdálkodási ágazat szakemberei között. Ez a többfunkciós termelési és/vagy állattartási környezet mind a gazdálkodók, döntéshozók, hatóságok, kutatóintézetek, mind a természet- és környezetvédők számára optimális megoldást jelenthet a célok integrálásában.

2000 után a CAP vidékfejlesztési támogatás politikája egyre inkább az agorerdészeti rendszerek kiépítése felé irányult és jellemzően erősödik. A tagországoként eltérő támogatási politika kialakítása során már lehetőség van az agroerdészeti rendszereknek a tagországok jellemzőihez illeszkedő agroerdészeti rendszer adaptálására (Net2). Magyarországon a 2007–2013-as programozási időszakban körülbelül 1160 hektár agroerdészeti rendszer került kialakításra, vissza nem térítendő, területalapú támogatás segítségével. Hazánk célja, hogy a következő (2014–2020) programozási időszakban további agroerdészeti területeket alakítson ki, számos Uniók tagállamhoz hasonlóan.

A megmaradt, maradványfás vegetációk, valamint az új agroerdészeti telepítések egyik problémája lehet a köztük lévő ökológiai hálózati funkció folyamatoságának hiánya, így a telepítések során elsősorban törekedni szükséges ezek egymással való összeköttetésére, mely ökológiai zöld folyosóként is funkcionál. Az ökológiai probléma mellett jelentős gondot okoz(hat) az agroerdészeti támogatási kifizetések ellenőrizhetősége, a természet haszonnövények és fás vegetációk monitorozása.

Egy agroerdészeti rendszer esetén az ellenőrzés általában nagy területre kiterjedő, több száz, vagy akár több ezer hektár felügyeletének ellátása szükséges. Az ellenőrzés egyik módszere a különböző távérzékelési technológiák alkalmazása. E módszerek segítségével könnyen számlálhatóvá válnak és elkülöníthetőek a faegyedek, fa- és bokorcsoportok, cserjések, meghatározható a területhasználat módja, a felszínborítás mértéke, a várható termés, az esetlegesen keletkezett károk felmérése stb. (Lawson et al., 2005). Az Európai Unió számos országában (pl. Olaszország, Spanyolország, Franciaország, Görögország, Portugália) évek óta eredményesen alkalmazzák a különböző távérzékelési módszereket szőlő- és olívbogyó ültetvények agroerdészeti rendszer létesítésére felvett támogatásainak ellenőrzésére. Napjainkban az űrfelvétel használat mellett egyre inkább terjednek és elérhetővé válnak a légi hiperspektrális és légi lézerszkenneres (LiDAR – Light Detection And Ranging) távérzékelési technológiák a természet- és környezetvédelem, erdészet, mezőgazdaság területein (Curran, 1981; Kale et al., 2002).

Kutatásunk célja egy olyan térbeli döntéstámogatási modell készítése, amelynek segítségével meg tudjuk határozni azoknak a potenciális területek nagyságát, amelyek agroerdészeti rendszerek kialakítására alkalmasak lehetnek. A helyszínekiválasztás modell felépítése során figyelembe kell venni az ökológiai zöldfolyosók folyamatosságának biztosítását, illetve a helyi viszonyokhoz illeszkedő tájhasználat fenntartását. A vizsgálat eszközeként a széles körben elterjedt légi hiperspektrális és lég LiDAR távérzékelési felvételeket használtuk, melyekkel lehetővé válik a megfelelő adatgyűjtés és adatfeldolgozás, ami egy helyszínekiválasztó, térbeli döntéstámogatási rendszer felépítéséhez szükséges.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatási mintaterület Nyugat-Magyarországon, Sopron városa mellett, a Keleti-Alpok lábánál került kijelölésre, mintegy 2350 hektár kiterjedésben. A mintaterület a Soproni-hegység, illetve a Natura2000 élőhelyvédelmi hálózat része. A CORINE Landcover (CLC2006) és a magyarországi topológiai térképek (DTA50) adatbázisai alapján meghatároztuk a mintaterületen előforduló főbb területhasználati módokat, melyek a szántó, gyepek, erdő, belterület, mezőgazdasági épület, vízfolyások, csatornák, föld- és műutak voltak.

A mintaterületről készült légi hiperspektrális és légi LiDAR felmérések a ChangeHabitats2 nemzetközi projekt keretében készültek. E projekt fő célja, egy olyan légi lézerszkenelésen és légi hiperspektrális táv-

érzékelési technológián alapuló monitoring rendszer kidolgozása, mely lehetőséget ad a Natura2000 területek élőhelyeinek, fajainak vizsgálatára, állapot felmérésére és térképezésére.

A légi hiperspektrális felmérés

A hiperspektrális távérzékelő szenzorok több száz, szűk spektrumú csatornán keresztül gyűjtik össze a felszínről nyert adatokat. Az így készült felvételeken az egyes, eltérő tulajdonságokkal rendelkező felszíneket, objektumokat azok anyagi minősége alapján lehet meghatározni, például növényfajok egymástól történő elkülönítése (Smith, 2006). Az adatgyűjtés az AISA Dual rendszerű hiperspektrális szenzorral, 2011 augusztusában készült. Az AISA Dual ikerszenzor két, hiperspektrális kamerát egyesít – AISA Eagle és Hawk –, melyek egy házba történő összeépítésével valósul meg a VNIR (visible wavelengths; near infrared) és SWIR (short-wave infrared) spektrális tartományokból az összehangolt adatgyűjtés. Az Eagle a látható fény (400–700 nm) és a közeli infravörös tartomány (700–1300 nm), a Hawk a közepes infravörös tartomány (1300–2500 nm) sugarait érzékeli.

Bizonyos elektromágneses hullámhosszokon mért reflektancia értékekből különböző vegetációs indexek állíthatók elő, amelyek segítségével következtethetünk a biomaszra változásáról (Silleos et al., 2006). Számos vegetációs index használatos, melyek közül a legismertebb az Normalizált Vegetációs Index (NDVI), amely egy adott terület vegetációs aktivitását fejezi ki. Az értéke a növényzet által a közeli infravörös (NIR 760–900 nm) és a látható vörös (VIS 630–690 nm) tartományokban visszavert sugárzási értékek összefüggésében adható meg az alábbiak szerint:

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

Ennek az aktivitás indexnek köszönhetően – melynek értéke -1 és 1 között változhat – egyszerűen el tudjuk különíteni egymástól a sűrű vegetációt a vegetáció nélküli, vagy kevésbé fedett területektől. A kutatás során az ENVI 5.0 szoftverkörnyezetben a Vegetation Delineation modul segítségével készítettük el a mintaterület NDVI térképét. Az NDVI értékek, melyekkel dolgoztunk (0–0,25; 0,25–0,5; 0,5–0,7; 0,7–1) a modul automatikusan beállított értékei voltak.

A légi LiDAR felmérés

Az légi LiDAR szkennerek egy aktív távérzékelési technológia, mely adott szögben, egy bizonyos frekvenciájú lézert fényt bocsát ki, majd méri a felszínről visszaverődő hullámok visszatérési idejét és az egyes visszaverődések szögét a teljes hullámformáról. A felmérés eredménye egy több millió pontot tartalmazó pontfelhő, minden egyes pontnak a magassági értékével. Ezzel az adatgyűjtéssel a felszín geometriai információinak rögzítése 3D módon válik lehetővé, melyet – számos felhasználási terület mellett – a vegetáció-térképezésben, erdészeti alkalmazásokban széleskörűen használnak elegyarány becslésre, famagasság-, faterfogat-, koronaméret számításra, termőhelyi tényezők

(kitettség, lefolyásviszonyok) vizsgálatára (Wagner, 2007; Belényesi et al., 2008). A mintaterületen és környékén az összes lézerszkenelt terület kb. 90 km², amit 22 repülési sávban, több mint 530 millió lézerponttal és 9,83 pont/m²-es átlagos pontsűrűséggel rögzítettek. A kutatás során hét visszatérési időből és négy magassági osztály (osztályozatlan, talaj menti-, közepes-, és magas vegetáció) került meghatározásra. A felmérés 2012 áprilisában készült. A LiDAR felvétel kiértékelését GlobalMapper 15.0 és ArcGIS 10.2 szoftverekkel végeztük.

A térbeli döntéstámogató rendszer (Spatial Decision Supporting System – SDSS)

Az alkalmazott térbeli döntéstámogató rendszerek két fajta kritériumot használnak: korlátok és tényezők. A korlátok azok a logikai kritériumok, amelyek limitálják a vizsgálatunkat, azaz 1 vagy 0 Boolean logikai értéket adhatunk minden egyes vizsgálatdöntési tényezőnek. A kutatásunkban 1-es vagy 0-ás logikai értékkel illetjük az egyes földhasználati típusokat, annak függvényében, hogy az alkalmas vagy sem fásításra. A tényezők olyan döntési kritériumok, amelyek adott földrajzi régióra vonatkoztatva bizonyos fokú alkalmasságot határoznak meg, esetünkben a domborzati- és lefolyásviszonyokat, valamint a talajtípust, amelyek a legfontosabb logikai tényezők.

A vizsgálat során 0 értékkel jelölt korlátok közé soroltuk: az erdőket, belterületet, mezőgazdasági épületet, vízfolyásokat, csatornákat, föld- és műutakat. Ezek a felszínek közvetlenül nem fásíthatók, ugyanakkor a közvetlen környezetük igen – feltéve, ha nincs egyéb limitáló tényező – így egy 10 méteres puffer zónát illesztettünk egységesen köréjük. Ezeket összevontuk egy „Korlátok” rétegben, majd térben kivettük a mintaterületből, és egyben kivontuk a potenciálisan fásításra alkalmas területek köréből. További korlátnak tekinthetőek azok a sűrű vegetációk – fasorok, fa-bokorcsoportok, cserjések –, melyek nem sorolhatóak az erdő kategóriába, mégis potenciálisan alkalmatlanok a fásításra. 1-es logikai értékkel jelöltük a gyepeket, legelőket, mezőgazdasági területeket, hiszen ezek alkalmasak lehetnek fásításra. Az egyes területek modellbe építése az 1. ábrán látható.

EREDMÉNYEK

A légi hiperspektrális felvétel kiértékelésének eredménye

A vizsgálat során az ENVI 5.0 Vegetation Delineation modul segítségével elkészítettük a mintaterület NDVI térképét (2. ábra).

Négy alapvető osztályozási kategóriát használtunk: vegetáció nélküli terület (0 értékkel), ritka, gyér vegetáció (0,25 értékkel), mérsékelt, közepes vegetáció (0,5 értékkel), sűrű vegetáció (0,1 értékkel). Jellemzően a vegetáció nélküli területhez tartozott a föld- és műút, az épületek és a fedetlen talajfelszín. A ritka, gyér, valamint a mérsékelt vegetációba kerültek a gyomos területek és a gyepek. A sűrű vegetációt az erdőterületek, a fasorok, fa- és bokorcsoportok, cserjések, illetve a vett területek képviselik.

1. ábra: A helyszínekiválasztás SDSS modellje

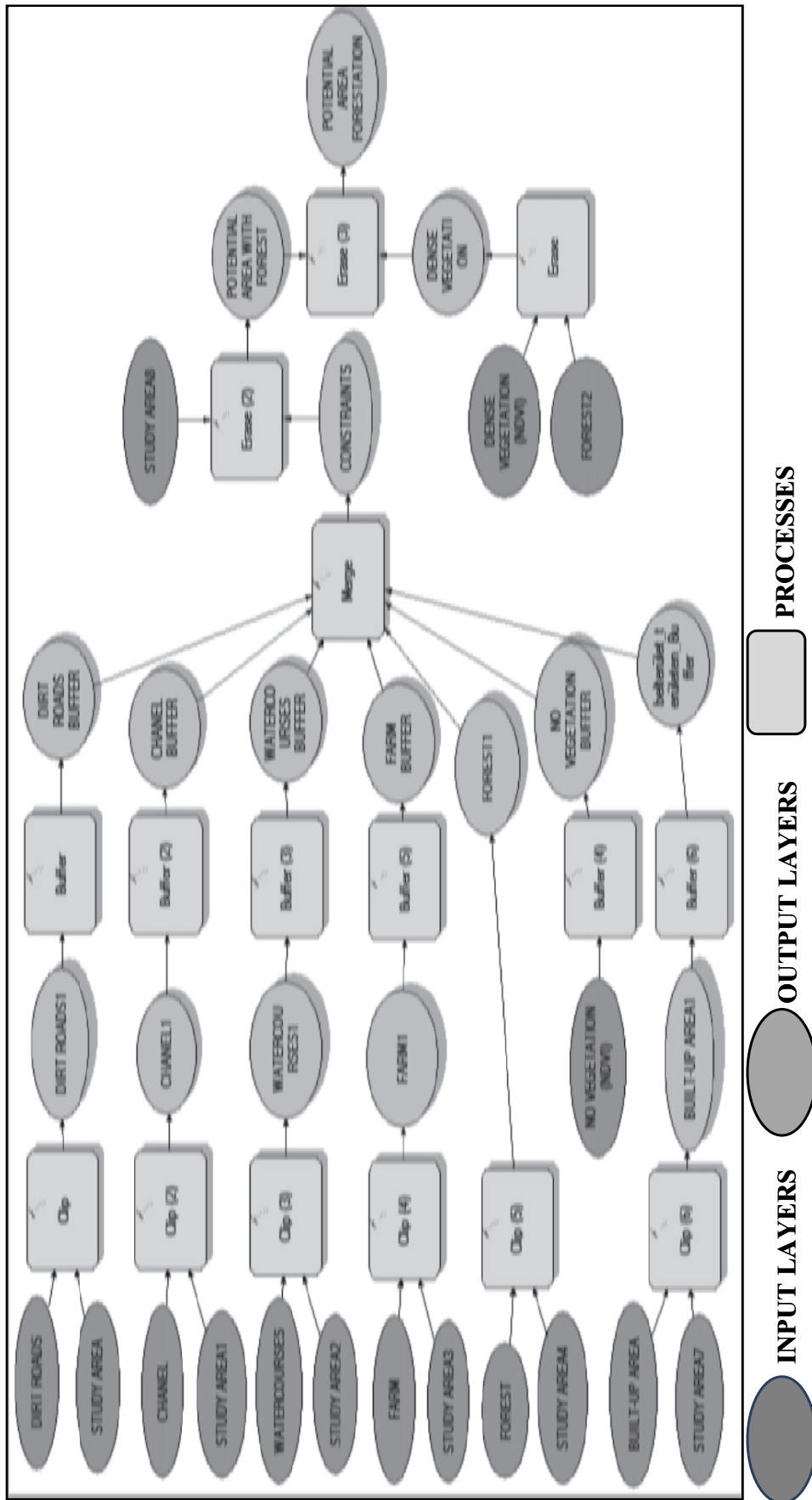


Figure 1: SDSS model of the site selection

2. ábra: A mintaterület NDVI térképe

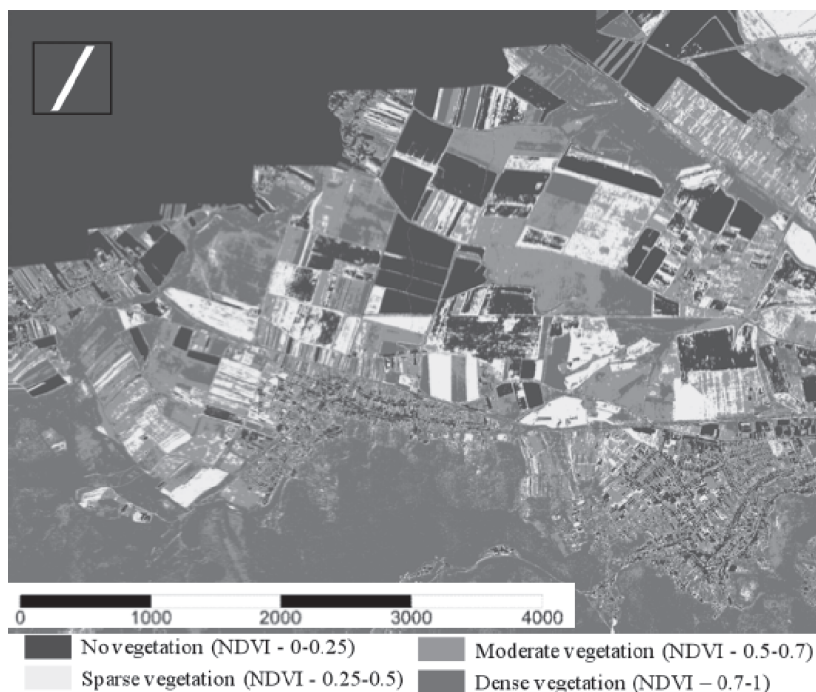


Figure 2: NDVI image of the study area

A légi LiDAR felmérés eredménye

A kutatási mintaterületről a LiDAR felvétel alapján DEM-et (Digital Elevation Model) készítettünk, mivel minden egyes lézer pontban rendelkezésre álltak a terület magassági értékei (3. ábra). Azért nagy a jelen-

tősége ennek a típusú távérzékelési technológiának, mert a felszínek, objektumok fizikai méreteinek, kiterjedésének mérését segíti elő, ami lehetőséget ad a lefolyási viszonyok nagy területre való meghatározására, a famagasságok, korona átmérők lekérdezésére, biomassza becslésére.

3. ábra: a.) DEM; b.) c.) mintaterület részlet-kivágatok a LiDAR felvétel alapján

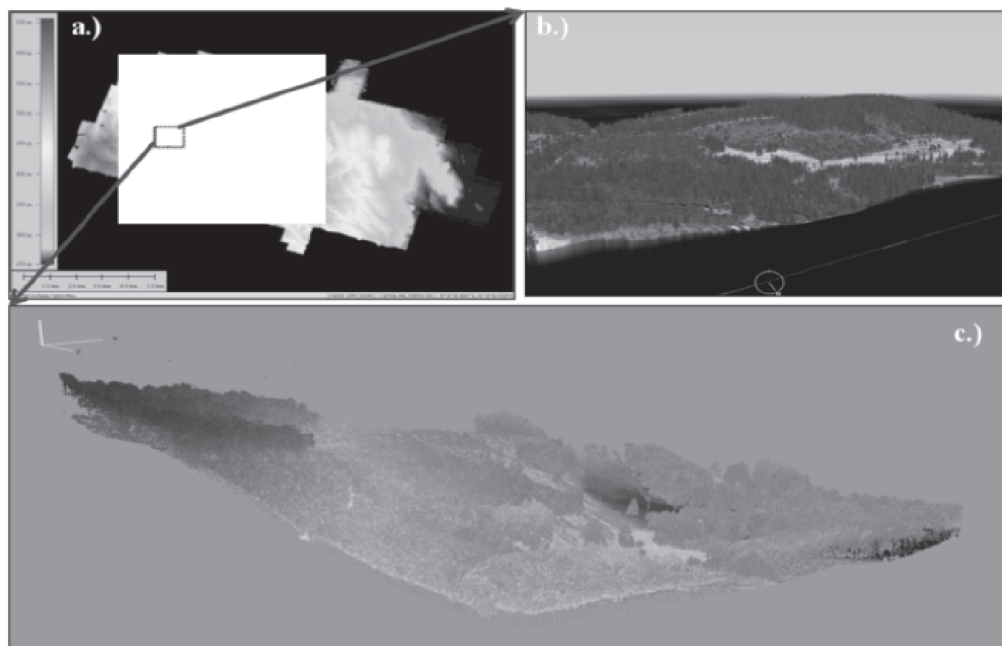


Figure 3: a.) DEM; b.) and c.) 3D slice of the study area based on LiDAR image

A térbeli döntéstámogatási rendszer eredménye (SDSS)

A korlátok és tényezők meghatározása után összeállítottuk a helyszín kiválasztási térbeli döntéstámogatási modellt, melynek lefutását követően megkaptuk a potenciálisan fásításra alkalmas területek elhelyezkedését és nagyságát (4. ábra).

A potenciálisan fásításra alkalmas területek jelentős része az alacsonyabb térszínen helyezkedik el (250–400 Bfsz), beletartoznak a szántók, a legelők és az utak. A potenciális területek kisebb része található magasabb térszínen (400–550 Bfsz), a hegység egyes részein. A fásításra alkalmasnak ítélt területek nagyságát – hektárban – az 1. táblázatban foglaltuk össze.

4. ábra: A helyszín kiválasztási modell eredménye

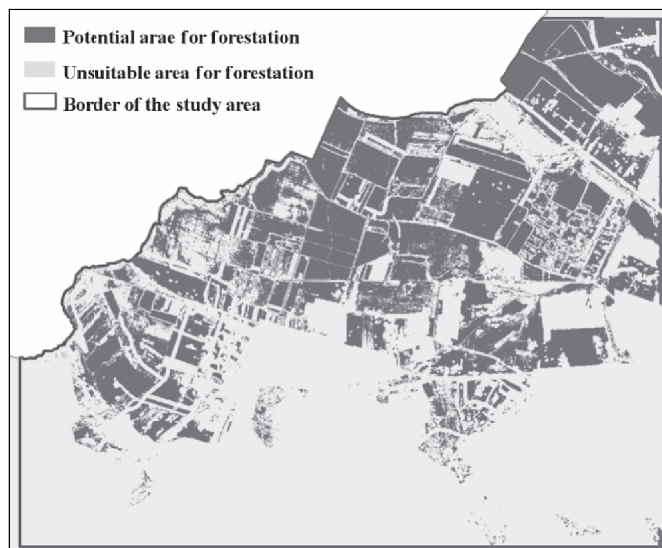


Figure 4: Result of the site selection model

1. táblázat

A földhasználati kategóriák teljes és az abból potenciálisan fásítható területek mérete a mintaterületen

Földhasználati kategóriái(1)	Terület (ha)(2)	Potenciálisan fásítható (ha)(3)
Erdő(4)	755	12
Szántó(5)	797	797
Legelő(6)	343	219
Belterület(7)	412	0
Mezőgazdasági épület(8)	20	0
Összesen(9)	2327	1028

Table 1: Currently and potential forestation areas in the study area Landuse category(1), Area(2), Potentially can be forested(3), Forest(4), Arable land(5), Pasture(6), Built-up area(7), Agricultural building(8), Total(9)

KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a távérzékelés technológiája egyértelműen integrálható az agroerdészeti tervezés folyamatába, és hatékonyan,

eredményesen használható a támogatási kifizetések ellenőrzéséhez.

A helyszínkiválasztást követően a döntéstámogatási rendszer következő lépése adott fafajokkal megtervezni a fásítási lehetőségeket a talajtani adottságok, a természetközeli mezőgazdasági kultúrák, a legeltetés, a tájba való illeszkedés függvényében. Fásítás során törekednünk kell az őshonos fafajokkal történő telepítésre, valamint figyelem kell venni a nemzeti „Első agrárerdészeti rendszer bevezetése” elnevezésű támogatási jogcím kritériumait, miszerint nem vagyunk jogosultak a támogatási alap igénybe vételére, ha célunk karácsonyfa ültetvény, fás szárú energiaültetvény telepítése, valamint több mint 50%-os mértékű állami tulajdonban lévő terület esetén. Tervezzük továbbá kutatások elvégzését is a jelenlegi és várható fatömeg becslésére vonatkozóan.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az EU Leonardo-AgroFE és EU FP7 Marie Curie Changehabitats2 projektek támogatták.

IRODALOM

Belényesi M.–Kristóf D.–Skutai J. (2008): Térinformatika Elméleti Jegyzet. Egyetemi jegyzet. Szent István Egyetem Mezőgazdaság és Környezettudományi Kar Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet. Gödöllő.

Curran, P. J. (1981): Multispectral remote sensing for estimation of biomass and productivity. [In: Smith, H. (ed.) Plants and the Daylight Spectrum.] New York Academic Press. New York, USA. 65–69.

- Kale, M. P.–Singh, S.–Roy, P. S. (2002): Biomass and productivity estimation using aerospace data and Geographic Information System. *Tropical Ecology*. 43. 1: 123–136.
- Lawson, G.–Dupraz, C.–Liagre, F.–Moreno, G.–Paris, P.–Papanastasis, V. (2005): Options for Agroforestry Policy in the European Union. Quality of Life and Management of Living Resources, Silvoarable Agroforestry For Europea (SAFE). European Research. Contract QLK5-CT-2001-00560, www1.montpellier.inra.fr/safe/
- Lundgren, B. O.–Raintree, J. B. (1982): Sustained agroforestry. [In: Nestel, B. (ed.) *Agricultural Research for Development: Potentials and Challenges in Asia.*] ISNAR. The Hague. 37–49.
- Net1: Magyar Agroerdészeti Fórum Fajszon (2014): <http://erdo-mezo.hu/2014/08/12/i-magyar-agroerdeszeti-forum-fajszon/>
- Net2: European Agroforestry Federation (EURAF). <http://www.agroforestry.eu/node/287>
- Silleos, N. G.–Alexandridis, T. K.–Gitas, I. Z.–Perakis, K. (2006): Vegetation indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto International*. 21. 4: 21–28.
- Smith, R. B. (2006): Introduction to Hyperspectral imaging with TNTmips®. MicroImages Tutorial. Lincoln, Nebraska. 24.
- Wagner, W.–Roncat, A.–Melzer, T.–Ullrich, A. (2007): Waveform analysis techniques in airborne laser scanning. *IAPRS*. 36. 3/W52: 413–417.

