

Nyárültetvények őszi lombszínűeződésének vizsgálata három MODIS-színcsatorna alapján

Bede-Fazekas Ákos ^{1,*}, Trásy Krisztina ², Csóka Györgyi ³

¹ Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Kert- és Szabadtértervezési Tanszék, Budapest;

bfakos@gmail.com

² Ústav zahradní a krajinářské architektury (Kert- és Tájépítészeti Tanszék), Mendelova univerzita v Brně

(Brünni Mendel Egyetem), Lednice, Csehország; xtrasy@node.mendelu.cz

³ Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Kert- és Szabadtértervezési Tanszék, Budapest;

gyorgyi.csoka@gmail.com

Abstract— The paper summarizes a study of fall coloring of a poplar plantation that aims to prepare for building a phenological model on the changing visual value of ornamental plants due to the changing climate of the 21st century. It briefly describes the selection method of the taxon to be studied, that is *Populus × canadensis*, and some aspects of the study area, that is situated in Tiszaroff, Hungary. Then the available sensors and indices of leaf color are studied. Some new formulas for evaluation of leaf coloring based on three color bands of MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sensor are provided and compared to each other from the point of view of their possibility of being used for predicting the phenological shift and alteration of fall coloring in the future.

Index Terms: fall foliage, ornamental plant, satellite image, passive multispectral remote sensing, phenological model

Összefoglaló— A cikkben egy nemesnyárültetvény őszi lombszínűeződésének kutatását összegezzük, mellyel előkészítjük egy – a 21. században várható éghajlatváltozás hatására bekövetkező lombszínűeződés-változást elemző – fenológiai modell építését. Bemutatjuk a kutatásba vont taxon (*Populus × canadensis*) kiválasztásának szempontjait, valamint a vizsgálati helyszín (Tiszaroff) kijelölésének fontosabb ismérveit. Áttekintjük a szabadon hozzáférhető adatokat szolgáltató szenzorokat és a lombszínűre vonatkozó, korábban publikált, különböző mérőszámokat. A MODIS-szenzor három kiválasztott színcsatornájára építve újabb lombszínűeződési mérőszámokat alkotunk, és ezeket kiértékeljük abból a szempontból, hogy várhatóan mennyire alkalmazhatóak az őszi lombszínűeződés jövőbeli fenológiai eltolódásának és megváltozásának modellezése során.

Kulcsszavak: őszi lombszínű, dísznövény, műholdfelvétel, passzív multispektrális távérzékelés, fenológiai modell

1. Bevezetés

A fenológiai modellek a klíma és a különböző fenofázisok, vagyis az élőlények éves életritmusában tapasztalható állapotok/szakaszok közti kapcsoltnak az algoritmikus megvalósításai, egyik céljuk, hogy a fenofázisok kezdetére és végére predikciót adjanak (Chuine et al. 2003, Cleland et al. 2007, Zhao et al. 2013). A fenológiai modellek jellemzően gazdasági jelentőséggel bíró növényfajok kihajtását, virágzását vagy termésérését vizsgálják, kutatásunk témája ezért kissé szokatlan: dendrológiai szempontból jelentős, ősszel díszítő taxonok őszi lombszínűeződésének elemzését mutatjuk be erdészeti nemesnyárfaj (*Populus × canadensis*) példáján keresztül. A kertépítészeti dendrológia szempontjából nagy jelentősége van azon fás dísznövénytaxonoknak, melyek ősszel – jellemzően sárga vagy vörös – intenzív színük által a kerti és szabadtéri kiültetések karakteres elemévé válnak. Mivel az őszi lombszínűeződés és lombvesztés kezdetének és végének időpontját leginkább az időjárás határozza meg, így a jövőben e téren változásra számíthatunk, melyet fenológiai modellel kívánunk elemezni. Ehhez azonban szükség van olyan idősorosan mérhető vagy idősoros adatokból származható értékre (függő változó), melyet a modell az időjárási adatok (független változók, prediktorok) alapján megjósol, és melyet elméletben megfeleltethetünk az őszi lombszínűeződés mértékének. Ezért jelen kutatásunk célja, hogy lombszínűeződési mérőszámok megalkotásával megalapozzon egy olyan lombszínűeződési fenológiai modellt, amely alkalmas lehet a 21. századi klímaváltozás hatásának vizsgálatára, s így a kertépítészeti dendrológia számára predikciót szolgáltatson az őszi lombdísz intenzitásának, kezdeti időpontjának és időtartamának jövőben várható megváltozásáról. E mérőszámokat a közelmúlt adatsorai alapján dolgozzuk ki, és a tervezett fenológiai modellek a predikciós időszakra vonatkozóan a mérőszám értékét jelezhetik előre, mely által következtethetünk a lombszínűeződés jövőbeli alakulására.

Napjainkban számos ökológiai vonatkozású kutatás foglalkozik a globális klímaváltozás okaival, folyamatával, valamint az őshonos és termesztett növényfajok fenológiájára, az őshonos és invazív fajok elterjedésére, illetve az ökoszisztéma-szolgáltatásokra és a közösségek összetételére való hatásaival (bővebben lásd Cramer et al. (2014) és Hughes (2000) munkáját). Ugyanakkor igen kevés figyelem irányul a klímaváltozás dísznövényekre kifejtett várható hatására (Bede-Fazekas 2011), beleértve a dísznövénytaxonok vitalitását, díszértékét és potenciális telepíthetőségi területét érintő kérdéseket egyaránt. A tájépítészeti kutatások számos olyan kérdést vetnek fel és próbálnak megválaszolni, melyek a klímaváltozás és tájépítészet

kétirányú kapcsolatát tárják fel (Bede-Fazekas 2010), beleértve a mérséklés (mitigáció) és alkalmazkodás (adaptáció) kerti, szabadtéri, települési és térségi léptékű eszközkészletét, köztük a változó éghajlatra reflektáló dísznövény-alkalmazási megoldásokat. E kérdéskörből a szerzőket jelenleg főként az foglalkoztatja, hogy szabadon hozzáférhető távérzékelési adatokra alapozva miként lehet modellezni dísznövények őszi lombszínűződésének jövőbeli változását. Legjobb tudásunk szerint ilyen irányú kutatásokat mindeztől házában nem publikáltak (publikálatlan projekt a témában az 81979 azonosítójú OTKA-kutatás (OTKA 2015)). Mivel a lombszínűződés hosszának és intenzitásának nincs érzékelhető mértékű gazdasági jelentősége (ha a lombvesztés városökológiai hatását nem számítjuk), a növényfenológiai modellek szinte kivétel nélkül az erdészeti és kertészeti taxonok – beleértve a szőlőt és egyéb gyümölcsstermő növényeket – rügyfakadását, virágzását és termésérését vizsgálják.

Mivel az időjárás – több más tényezővel együtt – befolyásolja a növények fejlődését, a klímaváltozás várhatóan jelentős hatást fog kifejteni a növényfajok fenológiájára (Cleland et al. 2007). Az éghajlat megváltozása emellett előidézheti a fajok genetikai állományának és elterjedésének (horizontális és magassági) megváltozását, valamint a természetes életközösségek felbomlását és az ökoszisztéma-szolgáltatások csökkenését is (Hughes 2000, Kovács-Láng et al. 2008, Czúcz 2010, Peñuelas et al. 2013). Ugyanakkor mindezek közül kiemelkedik a fenológiai változás, mely a klímaváltozás egyik leghatékonyabb indikátora (Parry et al. 2007).

Számos kutatás megerősítette az éghajlatváltozás levélfenológiára és a vegetációs időszak hosszára kifejtett hatását (Menzel és Fabian 1999, Chmielewski és Rötzer 2001, Linderholm 2006), továbbá számos fenológiai modellt építettek az elmúlt évtizedben (többek között Vitasse et al. 2009, Delpierre et al. 2009, Vitasse et al. 2011, Zhang és Goldberg 2011). Meg kell jegyezni ugyanakkor, hogy a levelek színeződésének és öregedésének modellezése maig nagy kihívást jelent (Delpierre et al. 2009). A kutatások sokkal több figyelmet fordítanak a vegetációs időszak várható megnyúlására, mint a növekedés leállítására és az őszi lombvesztésre (Hänninen és Tanino 2011). A téma részletes áttekintéséhez többek között lásd Cleland et al. (2007) munkáját.

2. Módszertan

2.1. Műholdfelvételek

A kutatás előkészítése során számba vettük a legjelentősebb szabadon elérhető szenzorokat, amelyeket az 1. táblázatban sorolunk fel és jellemzünk a fontosabb – felbontással és rendelkezésre állással kapcsolatos – szempontok szerint.

szenzor neve	szenzor teljes neve	térbeli felbontás	időbeli felbontás	felvételek ideje
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer	15–60 m	16 nap	2000–
EO-1 ALI	Advanced Land Imager	30 m	16 nap	2001–
EO-1 Hyperion	~Hyperspectral Imager	30 m	16 nap	2000–
LANDSAT MSS	Multispectral Scanner	80 m	16–18 nap	1972–1983, 1982–1992, 2012–2013

LANDSAT TM	Thematic Mapper	28,5 m	16 nap	2011.11.–2013.05.
LANDSAT ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus	30 m	16 nap	1999–
LANDSAT OLI	Operational Land Imager	100 m	16 nap	2013.04.–
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer	250–1000 m	1–16 nap	2000–

1.táblázat A kutatás előkészítése során számba vett legfontosabb szenzorok neve, a rövidített nevek jelentése, a szenzorok térbeli és időbeli felbontása, és a felvételi időszakok (USGS 2015)

A megfelelő felvételek kiválasztása során fontos szerepet játszott azok időbeli és térbeli felbontása. Az időbeli felbontást tekintve meghatározó az az intervallum, amely a levelek sárgulásának kezdetétől a lombvesztésig tart. Mivel ez néhány hét (hónap), ezért minél nagyobb az időbeli felbontás, annál pontosabban lehet meghatározni a lombszínűződés ütemét. A térbeli felbontás tekintetében is természetesen a minél nagyobb felbontású képeket érdemes beszerezni, hiszen minél kisebb a felbontás, annál nehezebb az avval összemérhető kiterjedésű, vizsgálatba vonható területet találni. A mért tartományok közül a vizsgálat szempontjából leginkább szükségesek a látható színtartományba eső csatornák. A fenti megállapítások alapján a MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, közepes felbontású képalkotó spektrométer) szenzor "Surface Reflectance Daily L2G Global" termékét (rövidítése: "MOD09GA") választottuk ki. Hasonló vizsgálatokhoz a MODIS más termékeit is alkalmazták már, pl. Zhang et al. (2012). A MODIS egy olyan műszer, melyet a Terra (EOS AM) és Aqua (EOS PM) műholdakra is felhelyeztek (MODIS 2014). A MOD09GA termék 500 méter térbeli és egy napos időbeli felbontással érhető el – többek között az Earthexplorer (2014) felületéről –, hét spektrális tartománya közül a vizsgálat szempontjából a következő három színcsatorna tartalmaz használható információt: 1-es csatorna (620–670 nm, narancssárga-élénkpiros, továbbiakban "R", mint red), 3-as csatorna (459–479 nm, kék-türkiz, továbbiakban "B", mint blue) és 4-es csatorna (545–565 nm, élénkzöld-sárgászöld, továbbiakban "G", mint green) (MOD09GA 2014). A MOD09GA termék a visszaverődési együtthatót (reflectance) adja meg (illetve annak 10000-szeresét), mely mértékegység nélküli – a visszaverődés és a besugárzás viszonyát kifejező – arányszám, jellemzően 0 és 1 közé (0 és 10000 közé) esik (MOD09 2015).

2.2. Vizsgálati terület kiválasztásának szempontjai

A vizsgálati területtel szemben számos kritériumot támasztottunk, többek között megfelelő taxonból álló, kellő homogenitású, ideális életkorú és megfelelően nagy kiterjedésű ültetvénynek kellett lennie. A következőkben ezeket a szempontokat járjuk körbe.

Mivel kutatásunk a lombszínűződésre elsősorban mint tájépítészeti és dísznövény-alkalmazási szempontból jelentős folyamatra tekint, így a megfelelő taxon kiválasztása során a honos és/vagy erdészeti fajok népes csoportja helyett a hazánkban telepíthető, fatermetű dísznövények – így is meglehetősen tág – halmazát szűkítettük aszerint, hogy mely taxonok hajlamosak őszi intenzív színeződni (Galántai és Tóth (2001) alapján). A cserjéket a kutatásba nem vontuk be,

hiszen állományuk jellemzően takart. A dísnövények telepítésére jellemző szoliter, sorban álló vagy kisebb csoportot képző kiültetések a szabadon hozzáférhető, kutatásunkba vonható távérzékelt adatok alapján kis kiterjedésük miatt nem elemezhetőek. Mindebből következik, hogy csak nagyobb, összefüggő felületek vizsgálatára nyílik lehetőség, melyet erdészeti telepítések között kereshetünk. Az ősszel színeződő dísnövények csoportját összemetsztük azon, erdészek által hazánkban gyakorta telepített taxonok listájával, melyekből nagyobb, homogén ültetvények (is) találhatók Magyarországon. A homogenitás (beleértve a taxon és az életkor homogenitását) a vizsgálati adatok könnyebb elemzése és tisztább eredmények megállapítása céljából szükséges. A legtöbb taxon jellemzően egyes természetes állományokat képez, vagy elegyesen telepítik, így nem használhatók megfelelő kutatási alanyként (Badeck et al. 2004). Bede-Fazekas et al. (2015) közlik a kutatás kezdetén összegyűjtött lehetséges fajok listáját, melyek közül csak néhány felelt meg az előbb sorolt feltételek mindegyikének. Ezek a közönséges bükk (*Fagus sylvatica*), a nyár (*Populus*) hibridek és fajták, a vörös tölgy (*Quercus rubra*) és a fehér akác (*Robinia pseudoacacia*), melyek közül végül a nemenyárrakra esett a választásunk.

A vizsgálandó növényzet optimális kora a kiválasztott taxon életciklusától függően eltérő lehet, de a leginkább kíváncsi a középkorú állomány, így egy több éves időszakot érintő fenológiai adatsor elemzése során várhatóan nem az életkor, hanem a klíma változásának nyomait mérhetjük. Kutatásunkban így a 20 és 40 év közötti nemesnyár-telepítéseket vontunk vizsgálat alá. Nem szerencsés a nagyon fiatal állomány kiválasztása, mivel az egyedek lombkoronája még nem fejlődött ki teljesen, így az alatta lévő aljnövényzet is szerepet játszik a felülnézeti képeken, ami módosíthatja az eredményt a színeződés idejének és intenzitásának meghatározásakor. Az idős állomány vizsgálata szintén nem ad releváns képet, hiszen az idősebb egyedek koronája ritkásabb, egészségi állapota kérdéses. Mindemellát a homogén nyárültetvényeket jellemzően rövid vágásfordulóval termelik, így idős, homogén, nagy kiterjedésű ültetvények valószínűleg nem is találhatók hazánkban. A vizsgálati terület kiválasztásakor természetesen figyelembe kell venni, hogy az állomány milyen életkorú volt a korábbi elérhető felvételek készítésének időpontjában.

2.3. Adatok feldolgozása

A kutatás két fő lépése az adatok összerendezése és előkészítése, majd pedig az adatelemzés során a megfelelő mérőszám előállítás. Előbbi a következő szakaszokra oszthatott. (1) Az ismertetett szempontoknak megfelelően a nyárasokat vontuk be a kutatásba, így az OEA (2014) adatbázisából leválogatott nyárasokból indultunk ki (NÉBIH 2014), (2) azok közül kiemelve a középkorú, nagyobb területű ültetvényeket. Az alkalmasnak tűnő területekről (3) látható tartományba eső műholdképet (Google 2014) és (4) erdészeti adatokat (taxonok, elegyarányok, erdőrészetek határa) szereztünk (OEA 2014), (5) melyeket egymásra vetítettünk ESRI ArcGIS térinformatikai környezetben. A rendelkezésre álló információk alapján kiválasztottuk (6) a vizsgálati területet és (7) a vizsgálati időszakot, (8) majd letöltöttük az Earthexplorer (2014) felületéről a MOD09GA termékét a kiválasztott vizsgálati időszakra (2011.08.01.–2011.11.30., indoklását lásd a 3.1. fejezetben). (9) Emellett beszereztük ugyanezen időszakra vonatkozó, napi felbontású minőségi információkat (quality state, QS), melyek 1 km-es felbontásban fedte le a vizsgálati területet. A minőségi információk tartalmazták azokat az adatokat, amely az adott területre eső műholdképek felhasználhatóságára hatással lehetnek, mint amilyen a felhőzettség, a tűz jelenléte, a légköri aeroszolmennyiség, valamint a felszín hó- vagy jégborítottsága és jellege (vízfelület/szárazföld). (10) Mindkét adatsort feldolgoztuk az ESRI ArcGIS térinformatikai szoftver Data Management, Conversion, Analysis és Spatial Analyst eszközkészleteinek Extract Subdataset, Clip, Raster to Point és Extract Multi Values to Point függvényeivel, így a letöltött adatsorokból az 2. táblázatban

szereplő rétegeket nyertük ki napi felbontásban arra a kiválasztott pontra, mely a vizsgálati területünkre esett.

réteg neve	tartalom	formátum	felbontás
sur_refl_b01	1. színcsatorna (620-670 nm), "R"	16 bites, előjeles egész (-100-16000)	500 m
sur_refl_b03	3. színcsatorna (459-479 nm), "B"	16 bites, előjeles egész (-100-16000)	500 m
sur_refl_b04	4. színcsatorna (545-565 nm), "G"	16 bites, előjeles egész (-100-16000)	500 m
State_1km	minőségi információk	16 bites pozitív egész (bitsor, LSB 0)	1 km

2.táblázat A kutatás során a MOD09GA termékből felhasznált réteg neve, tartalma, formátuma és horizontális felbontása

A következő lépésben (11) létrehoztuk az idősoros adattáblázatot, mely a vizsgálati időszak minden napjára vonatkozóan (sorok/rekordok) tartalmazta a három színcsatorna értékét és a minőségi információkat. (12) Az adatsort a továbbiakban Microsoft Office Excel táblázatkezelő szoftverrel dolgoztuk fel, melynek során kinyertük a minőségi információkból a "cloud state" nevű kétbites és a "internal cloud algorithm flag" nevű egybites paramétereket. (13) A színcsatornákból származó adatok elemzésekor figyelmen kívül hagytuk azokat a napokat, amikor a "cloud state" paraméter értéke "cloudy" /01/ vagy "mixed" /10/, vagy az "internal cloud algorithm flag" paraméter értéke "cloud" /1/ volt, hogy ne kerüljön feldolgozásra a felhőzetről visszavert sugárzás. (14) Elhagytunk továbbá az adatsorból három olyan napot (2011.09.12., 2011.11.08. és 2011.11.17.), melyek kiugró értékeket tartalmaztak. (15) A színcsatornák értékeit a [0;1] intervallumba konvertáltuk az 1. egyenlet szerint, ahol A az eredeti [-100;16000] intervallumba eső érték, A' a konvertált érték.

$$A' = \frac{A+100}{16100}$$

1. egyenlet

2.4. Lombszíneződési mérőszám

Számos olyan, fenológiai elemzésekhez is jól használható mérőszám áll rendelkezésünkre, amelyeket távérzékelt adatokból képezhetünk (Cleland et al. 2007), és többségük alkalmas a vegetációs időszak, kihajtás és a levelek hullásának vizsgálatára, ugyanakkor ezen mérőszámok nem igazán alkalmasak a levelek színeződésének elemzésére. A zöldesség mérésére széles körben használt mérték az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Az EVI (Enhanced Vegetation Index) a megfigyelt vegetáció alatt lévő talajfelszínből, valamint a levegő részecskéi által visszavert fényből származó torzítást javítja (MOD13 2014), és így az NDVI-nél alkalmasabb a takaratlan talajfelszín és a vegetáció elkülönítésében (Zhang et al. 2003). Míg a LAI (Leaf Area Index) az egységnyi felületet takaró levélfelületet méri, a FAPAR/fPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation) a fotoszintézis számára hasznos hullámhossztartományban megfigyelt, a vegetáció által elnyelt sugárzást számszerűsíti (MOD15 2014). Megemlíthetjük továbbá az ExGw (Excess Green Index) nevű mérőszámot, melyet a mezőgazdaságban hasznosítanak mint az RGB-színcsatornák alapján a fedetlen talajfelszín a vegetációtól elkülöníteni képes mutatót. E mérőszám az erdészeti fenológiai vizsgálatokban is alkalmazható (Richardson et al. 2009). Számos előnyük ellenére a felsorolt mérőszámok helyes interpretálása máig kihívást jelent (Cleland et al. 2007), főként, ha őszi lombszíneződés vizsgálatára kívánjuk használni azokat. A felsorolt mérőszámok mindegyike a

klorofillal összefüggésbe hozható zöld szín megkülönböztetésére lett kifejlesztve, és így igen kevésbé alkalmasak az őszi sárga (vörös, bíbor, barna) színek detektálására.

Az elmondottak alapján szükségét láttuk, hogy kidolgozzunk egy vagy több olyan mérőszámot, mely a zöld szín jelenléte/változása helyett célzottan a sárga szín mennyiségét, idősoros adatokon pedig a sárga szín mennyiségének változását képes megjeleníteni, így alkalmas lehet a későbbi, lombszínűződést vizsgáló fenológiai modellek függő változóját szolgáltatni. A mérőszám kialakítása szempontjából a kihívást az jelentette, hogy a sárga szín hullámhossztartományát a MODIS szenzora nem detektálja, így csak a környező hullámhosszok – a korábban bemutatott három színcsatorna – alapján nyílt lehetőség a lombszínűződésre következtetni. A mérőszámok kialakítása során három, egymástól eltérő módszert alkalmaztunk: (1) elméleti (matematikai), (2) gyakorlati (szemrevételezési) és (3) közelítési megoldás. Az elméleti megközelítés során támaszkodtunk Bede-Fazekas et al. (2015) munkájára, amely geometriai levezetéssel jutott el a 2. egyenletben látható, Leaf Coloring Index (LCI) nevű mérőszámhoz. Az R, G és B az egyes színcsatornákat jelentik, részletesen lásd a 2. táblázatban.

$$LCI = 0,5 - 0,5 * B + 0,25 * (R + G) \quad 2. \text{ egyenlet}$$

Az egyenlet jobb oldalának lineáris algebrai műveletekkel történő alakításával jutunk a 3. egyenletben bemutatott mérőszámhoz, így e két mérőszám egymásnak megfeleltethető. A gyakorlati megközelítés során számos, általunk potenciálisan megkelő mérőszámnak tartott képletet dolgoztunk ki és vetítettünk grafikonra (iteratív módon, az idősoros adatokra vetített grafikon alapján folyamatosan fejlesztve a képleteket), az Eredmények fejezetben bemutatásra érdemes mérőszámokat pedig szemrevételezéssel választottuk ki. A közelítő megoldás során a Microsoft Office Excel Solver bővítményével illesztettünk mérőszámot egy általunk előzetesen kialakított optimális görbéhez, mely 10.24–11.10. időszakban 1 értéket vett fel, az időszak előtt és után 0,1-es lépésközökben lineárisan jutott el a 0 értékhez (10.14-ig és 11.20-tól konstans 0). E görbe természetesen adott év és vizsgálati taxon függvényében – megfigyeléseken alapuló – további pontosítást igényel, jelen célunk a módszer tesztelése és bemutatása volt. A Solver bementi paraméterek értékének előre megadott korlátok közötti változtatásával megtalálta az optimális megoldást azáltal, hogy a modell hibáját minimalizálta, vagyis minden napra kiszámítva a várt és a modellezett érték közti eltérésnégyzeteket, azok összegét mind jobban közelíti 0-hoz. A bővítmény számos alternatív optimalizációs lehetősége közül kutatásunk során a Generalized Reduced Gradient nemlineáris optimalizációs eljárást alkalmaztuk (Fylstra et al. 1998).

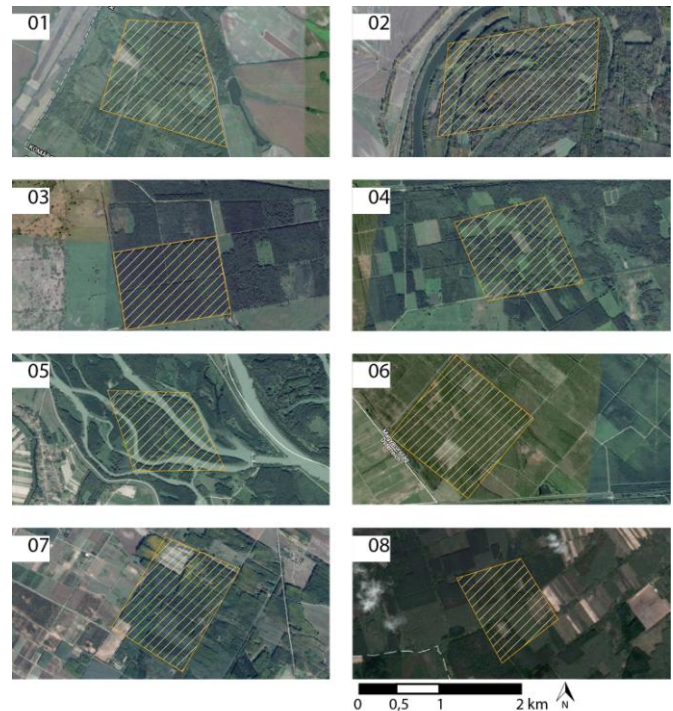
3. Eredmények

3.1. A vizsgálati terület és időszak kiválasztása

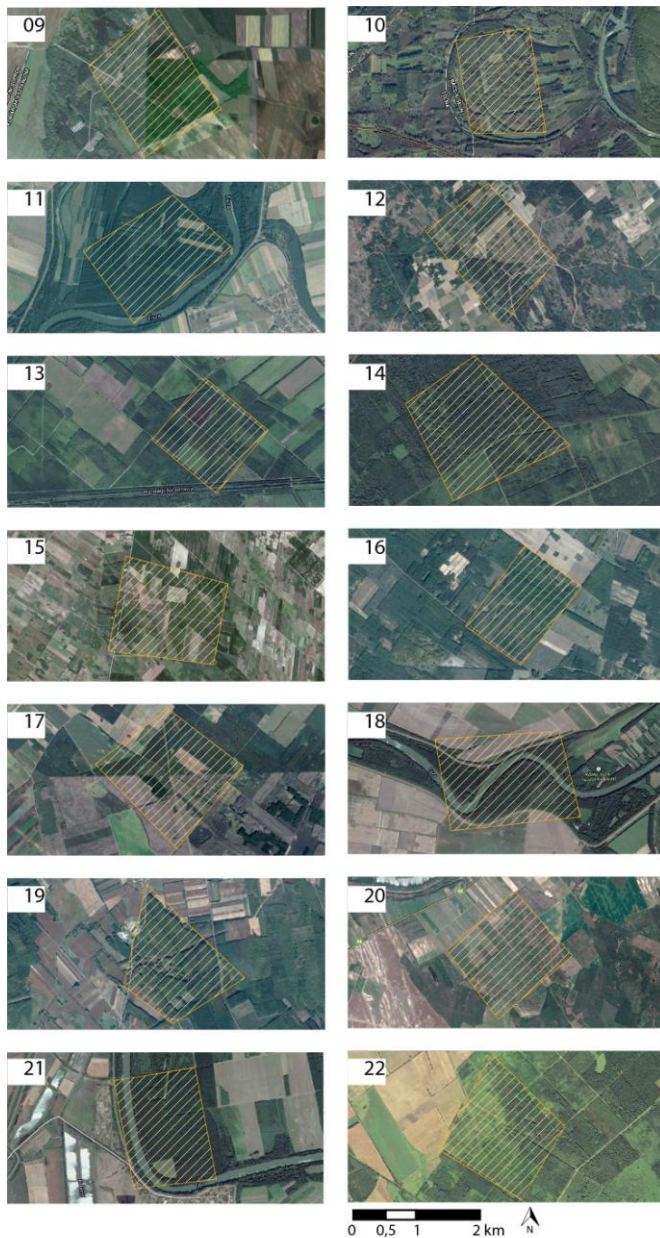
A kutatás során 24 darab, a módszertanban ismertetett szempontoknak megfelelő területet sikerült kijelölnünk Magyarország határain belül, melyeket – lépték szerint csoportosítva – az 1a., 1b. és 1c. ábrákon mutatunk be. A lehetséges vizsgálati helyszínek közül a homogenitás, életkor, kiterjedés és a műholdfelvétel raszterközéppontjainak rendszere alapján az 1b. ábrán 21-es sorszámmal feltüntetett területet választottuk ki, mely Jász-Nagykun-Szolnok megyében, a Tisza partján, Tiszaroff közigazgatási területén található. A vizsgálati területre a 750 912,325 m K és 229 521,654 m É EOV-koordináták által meghatározott középpontú cellából nyertük a színcsatornák adatait, és a 750 727,117 m K és 229 753,164 m É EOV-koordináták által meghatározott középpontú cellából nyertük a felhőzettségre vonatkozó információkat (2. ábra). A színcsatornák adatai döntően a 23-as, kisebb részben pedig a 22-es erdőtagot fedik le, melyekben található erdőrészek zömében

100%-os (elegyetlen) Pannónia-nyár (*Populus × canadensis* 'Pannonia' syn. *Populus × canadensis* 'H 490-3'), illetve kisebb részt olasz nyár (*Populus × canadensis* 'I 214') alkotta ültetvények. A Pannónia-nyár hazánkban jelenleg a legnagyobb termesztési területtel bíró taxon (Borovics 2014). Az olasz nyárhoz hasonlóan fiatal korban erőteljesen növekszik és nőivarú (Tóth 2012, Borovics 2014). Míg az olasz nyár későn hulló lombja alig színeződik (Tóth 2012), addig a Pannónia-nyár középkésőn (október második fele) hulló levélzete zöldes-aranysárga (ERTI 2015). Mindkét fajta nagy alkalmazkodóképességű a termőhely tekintetében (Tóth 2012, Borovics 2014, ERTI 2015).

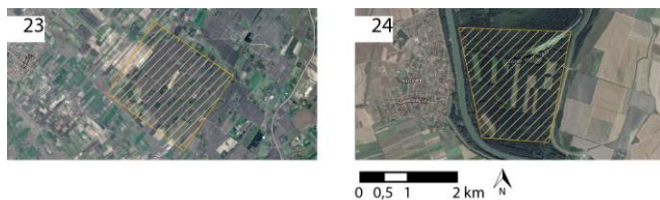
A vizsgálati területen található erdők elsődlegesen gazdasági rendeltetésűek és állami tulajdonúak (OEA 2014), természetvédelmi oltalom alatt nem állnak, de Natura2000-es védettségi övezetbe tartoznak (OEA 2014, TIR 2015).



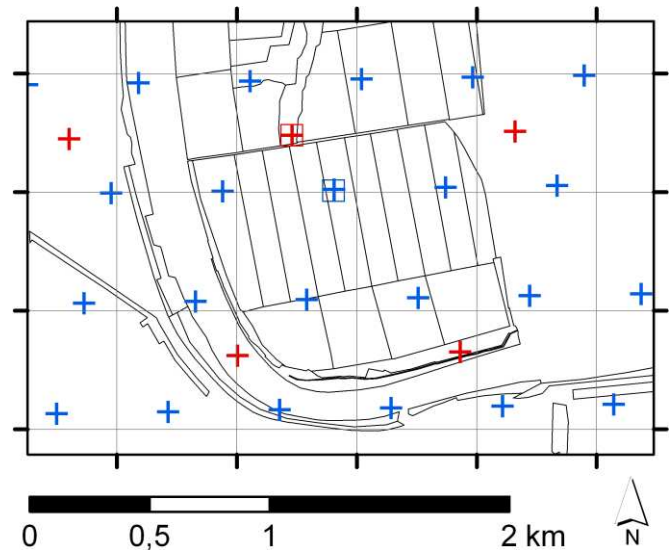
1a. ábra A kutatásba vonható területek (sárga sraff) és környezetük a látható tartományba eső műholdfelvételen (Google 2014). Az állományok a következő települések közigazgatási területére esnek: 01 – Bábolna, 02 – Bata, 03 – Csorna, 04 – Csorna, 05 – Dunasziget, 06 – Jánossomorja, 07 – Mikebuda, 08 – Nyírlugos. A más léptékben ábrázolt helyszínek az 1b. és 1c. ábrán láthatóak.



1b.ábra A kutatásba vonható területek (sárga sraff) és környezetük a látható tartományba eső műholdfelvételen (Google 2014). Az állományok a következő települések közigazgatási területére esnek: 09 – Bábolna, 10 – Baja, 11 – Besenyszög, 12 – Bócsa, 13 – Jánossomorja, 14 – Kimle, 15 – Kiskunmajsa, 16 – Mikebuda, 17 – Nagykőrös, 18 – Nagykőrű, 19 – Petneháza, 20 – Sükösd, 21 – Tiszaroff, 22 - Újrónafő.



1c.ábra A kutatásba vonható területek (sárga sraff) és környezetük a látható tartományba eső műholdfelvételen (Google 2014). Az állományok a következő települések közigazgatási területére esnek: 23 – Kiskunmajsa, 24 – Tiszabő.

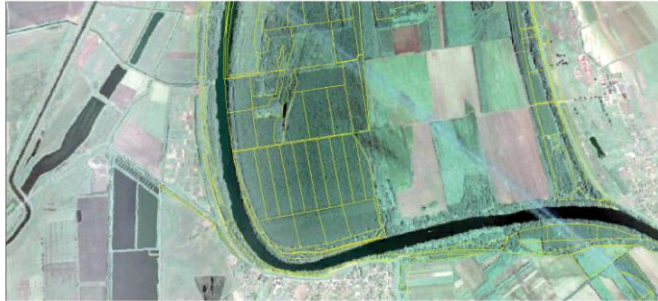


2.ábra A tiszaroffi vizsgálati terület erdőrészeleteinek határa (fekete), az 500 m-es felbontású műholdkép (kék kereszt), valamint az 1 km-es felbontású minőségi információkat tartalmazó raszter (piros kereszt) celláinak középpontja. Az elemzéshez kiválasztott cellák középpontját keretezéssel emeltük ki. A segédrács 500 méteres osztásközű.

A 3. ábra szemlélteti a vizsgálati terület látható szintartományba eső műholdfelvételeit négy eltérő időszakban. A képek alapján megállapítható, hogy a nyárültetvény 2013-ra – mesterséges vagy természetes folyamatok miatt – ritkulásnak indult, több helyen a lombkoronák alatti alsóbb szintek (gyepszint és talajfelszín) látszanak, mely a kutatásunk szempontjából kedvezőtlen. Így a vizsgálati időszakot az utolsó, még bizonyosan szépen záródott lombkoronájú állapot évében, 2011-ben jelöltük ki, így 2011.08.01.–2011.11.30. közötti időszakot elemeztük. Az állomány ekkor 25 éves volt, mely megfelelt feltételeinknek.



2002



2009



2011



2013



3.ábra A tiszaroffi vizsgálati terület és annak tágabb környezete látható tartományba eső műholdfelvételen (Google 2014), és az erdőrészletek határa. A felvételek 2002.08.15-én, 2009.05.21-én, 2011.05.21-én és 2013.08.05-én készültek.

3.2. Lombszíneződési mérőszám

A módszertan ismertetésekor bemutatott három megközelítés öt olyan mérőszámot eredményezett, melyeket bemutatásra és összevetésre érdemesnek tartunk. A Bede-Fazekas et al. (2015) által bemutatott, koordináta-geometriai levezetéssel nyert LCI nevű lombszíneződési mérőszámból lineáris transzformációkkal képeztük a 3. egyenletben bemutatott, I_1 nevű mérőszámot. A 3–7. egyenletekben az R , G és B az egyes színcsatornákat jelentik, részletesen lásd a 2. táblázatban.

$$I_1 = \frac{R+G}{2} - B \quad 3. \text{ egyenlet}$$

Gyakorlati megközelítéssel képeztük a 4., 5. és 6. egyenletben bemutatott, I_2 , I_3 és I_4 névvel jelölt mérőszámot. Az I_3 képletében található "c" szorzó az I_2 és I_3 könnyebb összevethetőségét szolgálja, $c = 10$ esetén a két görbe egymáshoz közeli értékeket vesz fel.

$$I_2 = 0,5 - \frac{|R-G|}{R+G+B} \quad 4. \text{ egyenlet}$$

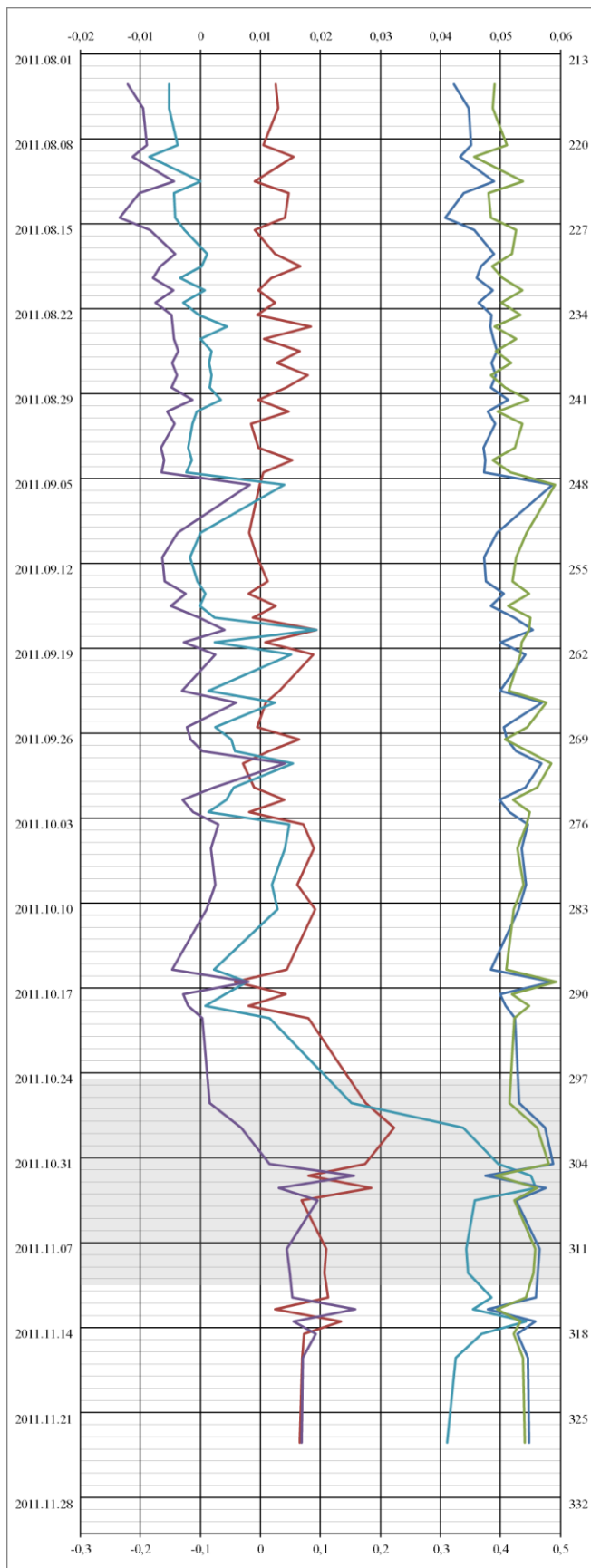
$$I_3 = 0,5 - c * |R - G|, \quad c := 10 \quad 5. \text{ egyenlet}$$

$$I_4 = \frac{R-B}{R+B} \quad 6. \text{ egyenlet}$$

Közelítéssel megoldással állt elő az I_5 nevű, a 7. egyenletben bemutatott mérőszám. Kialakítása során az $(R-G)$, $(R-B)$ és $(G-B)$ különbségek együtthatóit optimalizálta a Solver úgy, hogy a különbségek lineáris kombinációja a lehető legjobban közelítse az általunk várt, 2011.10.24 és 2011.11.10. között tetőző görbét. Az optimalizációs algoritmus a $(G-B)$ koefficiensét 0-nak találta.

$$I_5 = 1,5448 * (R - G) + 1,6405 * (R - B) \quad 7. \text{ egyenlet}$$

Az öt mérőszám vizsgálati időszakunkra vonatkozó görbéjét a 4. ábrán mutatjuk be.



4. ábra Az öt mérőszám (I_1 : vörös, I_2 : kék, I_3 : zöld, I_4 : lila, I_5 : türkiz) értékének alakulása a vizsgálati időszakban (2011.08.01.–2011.11.30.). A jobb oldali skála a napok éven belüli sorszámát

jelenti, a felső, dimenzió nélküli tengely az I_1 és I_5 , míg az alsó, szintén dimenzió nélküli tengely az I_2 , I_3 és I_4 értékeinek skálája. Elsősorban a szürkével kiemelt lombszínűződési időszakban (10.24–11.10) várjuk a görbék kiugró értékét.

4. Következtetések és összegzés

A bemutatott mérőszámok némelyike alkalmas lehet a későbbiekben dísznövények őszi lombszínűződését elemző fenológiai modell építésére. Fellelhetők olyan különbségek az egyes mérőszámok között, melyek mind közül kiemelik az I_1 jelűt. Alkalmazása mellett szól, hogy matematikailag levezetett módon, a rendelkezésre álló három színcsatorna adataiból a lehető legjobban közelíti a sárga szint, és az értékek október végi emelkedése mellett azok novemberi csökkenése is megfigyelhető (I_5 -höz hasonlóan), mely feltétlen szükséges olyan modellek építésekor, melyek nem csupán a sárgulás kezdetét, hanem végét/időtartamát is vizsgálni szeretnék. Előnye továbbá, hogy a vizsgálatba vont összes színcsatornából származó információt felhasználja, ellentétben az I_3 és I_4 mérőszámmal, melyek a B, illetve a G csatornát nem veszik figyelembe. Az I_5 nevű mérőszám jól látható kiugrást mutat az intenzív lombszínűződés időszakában, ugyanakkor előállítási módjából következően nehezen értelmezhető és alátámasztható a képlete. Az I_2 és I_3 görbéje igen hasonló módon alakult a vizsgálati időszakban, közülük az I_2 jelű mérőszám alkalmasabbnak tűnik a sárgulás elemzésére, hiszen a B csatornát is felhasználja és határozottabban megkülönbözteti a vizsgálati időszak két felét egymástól. Az egyes mérőszámok tulajdonságait a könnyebb összevethetőség érdekében a 3. táblázatban összegezzük.

mérőszám neve	előállítás módja	felhasznált csatornák	sárgulás végét mutatja	alkalmazása javasolt
I_1	elméleti	R, G, B	igen	igen
I_2	gyakorlati	R, G, B	nem	nem
I_3	gyakorlati	R, G	nem	nem
I_4	gyakorlati	R, B	nem	korlátozottan a G színcsatorna hiánya miatt
I_5	közelítéses	R, G, B	igen	korlátozottan, pontosabb kalibráció esetén igen

3. táblázat A kutatás során alkotott mérőszámok összevetése az előállítás módja és a felhasznált színcsatorna alapján, mérlegelve, hogy a vizsgálati időszakban képes volt-e kimutatni a sárgulás végét, és hogy összességében alkalmas-e későbbi fenológiai modellekbe való beépítésre

A 4. ábrán látható, hogy a különböző mérőszámok különböző időszakra vetítik a sárgulás maximumát. A három gyakorlati megközelítéssel megalkotott képlet (I_2 , I_3 és I_4) az intenzív sárgulást későbbi időszakban ábrázolja, mint az I_1 . Ismerve a vizsgálati területen álló taxonok őszi lombszínűződésének jellemző időpontját elmondhatjuk, hogy az I_1 realisabb eredményt mutat, mint a többi mérőszám. Az I_5 előállítása során lehetőség adódott a csúcs időpontját optimalizálni azáltal, hogy a közelítendő görbét miként határoztuk meg. Fontos kiemelni, hogy ez a megközelítés megteremti a lehetőségét annak, hogy az összül különböző színárnyalatba hajló taxonokra különböző mérőszámokat optimalizáljunk.

A szerzők szeretnék felhívni a figyelmet, hogy bár vizsgálatukat mind térben, mind időben erősen behatárolták, a módszertan és az eredmények így is méltók a bemutatásra és elemzésre. Olyan mérőszámokat képeztünk, melyeket később a dísznövények őszi

lombszíneződését vizsgáló fenológiai modellek építéskor függő változóként felhasználhatunk. Fontos ugyanakkor hangsúlyozni, hogy a fenológiai modell építése előtt a kiválasztott mérőszám további tesztelése lehet szükséges. A mérőszám értékét a predikciós időszakra kiszámító fenológiai modellek futtatásával alkalmunk nyílik megvizsgálni, hogy a 21. századi éghajlatváltozás milyen hatást fejt majd ki a lomb sárgulásának ütemére (kezdetére, hosszára) és intenzitására, és a predikciók alapján a tájépítészeti dísznövény-alkalmazás egyes elemeinek megváltoztatására adhatunk javaslatot.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0005 projekt támogatta. A szerzők ezúton szeretnék őszinte köszönetüket kifejezni Magyar Zsoltnak (Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Erdészeti Igazgatóság) a gyors és segítőkész adatszolgáltatásért és Zdeněk Martináseknek az önzetlen segítségért.

Irodalomjegyzék

Badeck F.-W., Bondeau A., Böttcher K., Doktor D., Lucht W., Schaber J., Sitch S. (2004): Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 162, 295–309.

Bede-Fazekas, Á. (2010): Correlations between garden design plant applications and climate change. In: Palocz-Andresen, M., Németh, R. Szalay, D. (szerk.): TÁMOP-Humboldt College for Environmental and Climate Protection. Sopron: University of West Hungary Press. pp. 78–85.

Bede-Fazekas, Á. (2011): Impression of the global climate change on the ornamental plant usage in Hungary. *Acta Universitatis Sapientiae Agriculture and Environment*, 3, 210–220.

Bede-Fazekas Á., Trásy K., Csóka Gy. (2015): Changing visual value of deciduous species in the climate change. In: Wolf, J., Nečasová, J., Nečas, T. (szerk.): Proceedings of the international conference "Horticulture in quality and culture of life". Faculty of Horticulture in Lednice, Lednice, Csehország. pp. 381–390.

Borovics A. (2014): Energiaültetvények szerepe a klímaváltozásban. In: Bidló A., Király A., Mátyás Cs. (szerk.): Agrárklíma: Az előrejelített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron. pp. 144–152.

Chmielewski F.-M., Rötzer T. (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 101–112.

Chuine I., Kramer K., Hänninen H. (2003): Plant Development Models. In: Mark D. Schwartz (szerk.): Phenology: An Integrative Environmental Science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Hollandia. pp. 217–235.

Cleland E. E., Chuine I., Menzel A., Mooney H. A., Schwartz M. D. (2007): Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 357–365.

Cramer W., Yohe G. W., Auffhammer M., Huggel C., Molau U., da Silva Dias M. A. F., Solow A., Stone D. A., Tibig L. (2014): Detection and attribution of observed impacts. In: Field C. B.,

Barros V. R., Dokken D. J., Mach K. J., Mastrandrea M. D., Bilir T. E., Chatterjee M., Ebi K. L., Estrada Y. O., Genova R. C., Girma B., Kissel E. S., Levy A. N., MacCracken S., Mastrandrea P. R., White L. L. (szerk.): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Nagy-Britannia és New York, USA. pp. 979–1037.

Czúcz B. (2010): Az éghajlatváltozás hazai természetközeli élőhelyekre gyakorolt hatásainak modellezése. Doktori disszertáció. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest.

Delpierre N., Dufrêne E., Soudani K., Ulrich E., Cecchini S., Boé J., François C. (2009): Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 938–948.

Earthexplorer (2014): Térinformatikai adatközpont. URL: earthexplorer.usgs.gov. Utolsó hozzáférés dátuma: 2014.11.30.

ERTI (2015): Populus × euramericana cv. Pannónia. URL: www.erti.hu/hu/szolg%C3%A1ltat%C3%A1sok/ny%C3%A1r-fajtav%C3%A1laszt%C3%B3/pann%C3%B3nia. Utolsó hozzáférés dátuma: 2015.03.22.

Fylstra D., Lasdon L., Watson J., Waren A. (1998): Design and Use of the Microsoft Excel Solver. *Interfaces*, 28, 29–55.

Galántai M., Tóth I. (2001): Dísznövény zsebkönyv. Hová, mit ültessünk? Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Google 2014. Látható tartományba eső műholdképek Magyarország területéről. Képek tulajdonosa: DigitalGlobe és CNES/Astrium. URL: www.earth.google.com. Utolsó hozzáférés dátuma: 2014.11.30.

Hänninen H., Tanino K. (2011): Tree seasonality in a warming climate. *Trends in Plant Science*, 16, 412–416.

Hughes L. (2000): Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 56–61.

Kovács-Láng E., Kröel-Dulay Gy., Czúcz B. (2008): Az éghajlatváltozás hatásai a természetes élővilágra és teendőink a megőrzés és kutatás területén. *Természetvédelmi Közlemények*, 14, 5–39.

Linderholm H. W. (2006): Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137, 1–14.

Menzel A., Fabian P. (1999): Growing season extended in Europe. *Nature*, 397, 659.

MOD09 (2015): MODIS Surface Reflectance User's Guide. URL: modis-sr.ltdri.org/guide/MOD09_UserGuide_v1_3.pdf. Utolsó hozzáférés dátuma: 2015.03.31.

MOD09GA (2014): Surface Reflectance Daily L2G Global 1km and 500m. URL: lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mod09ga. Utolsó hozzáférés dátuma: 2014.07.01.

MOD13 (2014): MODIS Data Product Non-Technical Description - MOD 13. URL: modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/nontech/MOD13.php. Utolsó hozzáférés dátuma: 2014.07.01.

MOD15 (2014): MODIS Data Product Non-Technical Description - MOD 15. URL: modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/nontech/MOD15.php. Utolsó hozzáférés dátuma: 2014.07.01.

MODIS (2014): About MODIS. URL: modis.gsfc.nasa.gov/about. Utolsó hozzáférés dátuma: 2014.07.01.

NÉBIH (2014): Hazai és nemesnyáras faállománytípusú erdőrésztetek Magyarországon. Nem publikált elektronikus adat. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Erdészeti Igazgatóság.

OEA (2014): Országos Erdőállomány Adattár. URL: www.kormanyhivatal.hu/hu/ugytipusok/erdo-es-mezogazdasaggal-noveny-es-talajvedelemmel-kapcsolatos-ugyek/erdeszeti-ugyek/erdo-nyilvantartasba-vetelevel-orzagos-erdoallomany-adattaral-kapcsolatos-ugyek/adatszolgaltatas-az-orzagos-erdoallomany-adattarbol-es-a-nyilvantarto-terkeprol. Utolsó hozzáférés dátuma: 2014.10.01.

OTKA (2015): Műholdas fenológiai megfigyelések módszertani megalapozása ökológiai rendszer globális változásra adott reakciójának detektálására. URL: nyilvanos.otka-palyazat.hu/index.php?menuid=930&lang=HU&num=81979. Utolsó hozzáférés dátuma: 2015.03.31.

Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., Hanson C. E. (szerk.) (2007): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Egyesült Királyság.

Peñuelas J., Sardans J., Estiarte M., Ogaya R., Carnicer J., Coll M., Barbeta A., Rivas-Ubach A., Llusà J., Garbalsky M., Filella I., Jump A. S. (2013): Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere. *Global Change Biology*, 19, 2303–2338.

Richardson A. D., Braswell B. H., Hollinger D. Y., Jenkins J. P., Ollinger S. V. (2009): Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenology. *Ecological Applications*, 19, 1417–1428.

TIR (2015): Természetvédelmi Információs Rendszer. URL: geo.kvvm.hu/tir. Utolsó hozzáférés dátuma: 2015.03.25.

Tóth I. (2012): *Lomblevelű díszfák, díszcserjék kézikönyve*. Tarkavirág Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., Budapest.

USGS (2015): USGS Global Visualization Viewer: About Browse Image. URL: glovis.usgs.gov/AboutBrowse.shtml. Utolsó hozzáférés dátuma: 2015.03.31.

Vitasse Y., Delzon S., Dufrêne E., Pontailier J.-Y., Louvet J.-M., Kremer A., Michalet R. (2009): Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within-species populations exhibit similar responses? *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 735–744.

Vitasse Y., François C., Delpierre N., Dufrêne E., Kremer A., Chuine I., Delzon S. (2011): Assessing the effects of climate

change on the phenology of European temperate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 969–980.

Zhang X., Friedl M. A., Schaaf C. B., Strahler A. H., Hodges J. C. F., Gao F., Reed B. C., Huete A. (2003): Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84, 471–475.

Zhang X., Goldberg M. D. (2011): Monitoring fall foliage coloration dynamics using time-series satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 115, 382–391.

Zhang X., Goldberg M. D., Yu Y. (2012): Prototype for monitoring and forecasting fall foliage coloration in real time from satellite data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 158–159, 21–29.

Zhao M., Peng C., Xiang W., Deng X., Tian D., Zhou X., Yu G., He H., Zhao Z. (2013): Plant phenological modeling and its application in global climate change research: overview and future challenges. *Environmental Reviews*, 21, 1–14.

© 2015 by the authors; licensee RS&GIS, Hungary.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

A Mátra vegyi szennyezésekre való érzékenységének térbeli modellezése

Diós Nikolett^{1,*}

¹ Tanuló, Szent István Egyetem, Gödöllő: nikolett.dios@gmail.com

Abstract— Napjainkban előtérbe kerül a megelőzés, a természeti és gazdasági valamint lakott területek szennyezésre való érzékenységének kérdése, a prediktív modellezés. A kutatási témám fő célja az volt, hogy felhívjam a figyelmet a tájadaltsággal történő tervezés fontosságára. A beruházások tájba illesztése előtt érdemes megismerni a munkaterület, esetünkben a Mátra vegyi szennyezésekre való érzékenységét. Igazolni próbáltam, hogy nem szabad előzetes kockázatfelmérés nélkül új beruházásokat kezdeményezni a Mátra-hegységben, mert ennek súlyos következményei lehetnek.

A munka során elkészítettem a hegység lejtőkategória térképét, csapadék összegyűlekezési modelljét, elemeztem a terület erózióveszélyeztetettségét és összevettem az érzékeny talajtípussal, meredekséggel bíró, degradált, valamint árvíz által veszélyeztetett területeket a potenciális szennyező források elhelyezkedésével. Vizsgálom az árhullámmal veszélyeztetett települések; külszíni fejtések, feltalaj nélküli felszínek; erdőpusztulás, szennyezett külterületi rész; erózióveszélyeztetett felületek és turisztikai célokból túlhasznált területeket. Összevetem a területek számát, kiterjedésüket és a veszélyes anyagok előfordulását. Értékelem ezek egymásra hatását, mérlegelem a környezetbe illő tervezés lehetőségeit.

Megállapítottam, hogy nagyon lényeges a természeti területek megóvása érdekében az új ipari létesítmények kevésbé értékes és kisebb kockázatú területekre történő telepítése, valamint a szórakoztató és turisztikai komplexumok védett területektől távoli elhelyezése, kockázatos, vízzáró réteg nélküli területektől való távoltartása, a bányák rekultiválása és az átgondolt, hosszú távú fenntarthatóságot, az ökoszisztéma szolgáltatások megóvását elősegítő településtervezés.

Index Terms: Matra, chemical pollution, slope map, erosion.

Kulcsszavak: Mátra, vegyi szennyezés, lejtőkategória térkép, erózió.

1. Bevezetés

A Mátrában nagyon sok új beruházás van folyamatban, régi szállodákat bontanak le, új üdülő komplexumok, kalandparkok létesülnek. Gyárak, logisztikai parkok területi változásait és egyéb nagy beruházásokat készítenek elő. A tájba illeszkedő tervezéshez először érdemes megismerni a Mátra vegyi szennyezésekre való érzékenységét. Ehhez nagy segítséget nyújt számunkra a térbeli modellezés.

A különféle szennyezőanyagok, köztük a nehézfémek nagymértékben károsíthatják az élővilágot és a szennyezőanyagok természetesen az emberiséget sem kímélve bekerülhetnek a táplálékláncba, megbetegedéseket idézhetnek elő (Boros 2001). Ezekre a szennyeződésekre a modern korban egyre nagyobb figyelmet kell szentelnünk.

A második világháború óta a környezetszennyezés üteme jobban felgyorsult az új anyagok és az új gyártástechnológiák bevezetésének köszönhetően. Jelen korunkban a környezetszennyezés fő okozói az élelmiszeripar, a mezőgazdaság, a megfelelően határfokú és biztonsági szintű gyártástechnológia, a közlekedés, a növekvő hulladékmennyiség és szennyvíztermelés. A szennyezőanyagok egy része a levegőbe kerül, majd por formájában leülepszik, így a talajt, valamint a felszíni és felszín alatti vizeket szennyezi (Kádár 1995). Ezen kívül jelentősek a vizekbe, talajvizekbe jutó, ott szétterjedő, híguló vagy éppen akkumulálódó szennyezések is.

Innen is látszik, hogy a szennyeződések igen nagy utat járhatnak be, ezért célszerű az adott területeken a veszélyforrások feltárása, a környezetbe kerülő és korábban kikerült anyagok felmérése. Ennek okán célszerű megvizsgálni azokat a nehézfémeket, amelyek a Mátra térségében bizonyos közlekedési és ipari folyamatok következtében előfordulhatnak és terhelést jelentenek.

1.1. Fejlesztések és beruházások veszélyei

A Felső-Mátrában, Galyatetőtől 6 km-re található a Mátraszentistváni Sípark. A Szeptén-réti parkolótól indul, és a Rubonya-hegytől (821 m tf.) a Hutahelyi-patak völgyéig (676 m tf.) terjed ki. A hat sípálya hossza összesen 3900 méter, és több mint 9 hektáros hegyi kaszálókon terül el (http1).

A sípark építésénél nem foglalkoztak azzal, hogy mi lesz a területen élő növény- és állatvilággal. Az osztrák tárnicska hatalmas mennyiségben élt a területen, és ráadásul fokozottan védett faj. Egynyári növény, így ha nem sikerül magot hullajtania, eltűnik a területéről. A palástfű és a szártalan bábakalács fokozottan védett növények, szintén eltűntek a területről.

A Mátrában található kőbányák nagy részét felhagyták. A tanulmányozott 51 felhagyott bányaterületen, 8-nál történt bezárás utáni tájrendezés, viszont 43 bányaterületen nem tettek lépéseket a tájszépítési, rekultiválási érdekében, a tájrendezésre kevés figyelmet fordítottak (Dávid 2001).

Tájképi szempontból különösen problémásak a Gyöngyös környékén található bányák. Ilyen például a Kis-hegy déli oldala. Említeni lehet még a Sár-hegy nyugati lejtőjét, a Farkasmály környékén található kőbányákat és a szurdokpüspöki kovaföld bányát. Elsősorban a felhasználási hely közelsége játszott szerepet ezek létesítésekor, a tájrendezésre nem fordítottak kellő figyelmet.

A feltalajt vesztett külszíni fejtések albedója, párolgási, vízvesztésválgási viszonyai merőben eltérnek a természetes, növénytakaróval és talajjal borított felszínénél. A szennyezések egyenes utat találnak maguknak (http2).

Dávid (2001) szerint a veszélyt leginkább az jelenti, ha a bányát illegális tevékenységre használják. Ilyen például az előkészítés és engedélyeztetés nélküli hulladéklerakás. A körülbelül 3.200 magyarországi település közvetlen közelében mintegy 2.700 lerakó van. A hulladékot sok esetben az elhagyott bányákba rakják le. Ez nagy veszélyt jelent a vizekre, talajra és az élővilágra is.

Az állítás példákkal igazolható. Az Abasár-Pálosvörösmart melletti kőbánya udvarában tartályokban tárolták az olajat, amely beszennyezte a bányaudvart. A gyöngyössolymosi Kis-hegy bányaudvarában pedig gumiabroncsokat égettek és egyéb szennyező anyagokat tároltak.

A mátrászentimrei darázs-hegyi bányában 1999-ig illegális hulladéklerakást tapasztaltunk, de ez jellemző az időszakra más bányák esetében is. Sok esetben legális kommunális szemétkerakót alakítanak ki hulladékok felhalmozása céljából. Ezekből a hulladékokból a bányák környezete is szennyezetté válik. Ilyen a Rónya-kőfejtő, ami Abasár-Pálosvörösmart mellett fekszik.

A Múlató-hegy kőbánya udvara értékes fajoknak adott otthont (unka, kecskebeka, barna varangy, rézsikló, imádkozó sáska). Az 1990-es években az illegális kábelvezetés miatt, a műanyag égéstermékek a talajt elszennyezték és fémmaradékok halmozódtak fel a területen (Dávid 2001), a vizek szennyeződése károsan érintette a kételtű és hüllő faunát.

A Gyöngyösorsoszi ércbányászat felhagyása kapcsán, a bányaudvar térségében élő emberek felemelték a szavukat a rekultivációs beavatkozások környezeti hatásai miatt. Ellenézték a bányaudvarok tömedékelését veszélyes anyagokkal, tömedékelő anyag közúti szállítását, a bányaudvarok szellőztetésének környezeti veszélyére hívták fel a figyelmet, zaj, por, rezonancia terhelésre panaszkodtak (Tóth 2011).

A sportlétesítmények tájba illő tervezésével is komoly problémák mutatkoznak a térségben. Egerszalókon golfpályákat építenek közel 170 hektáros területen. A nemzetközi versenyekhez kialakított területen kívül edzőpályák és apartmanok is helyet kapnak. A golfpálya építése előtt az egeri Életfa Környezetvédelő Szövetség elmondta milyen védett és fokozottan védett növényfajok találhatók a területen, amelyet először felszántottak, majd a védett fajok eltűnését okozták. Egy év alatt eltűnt kb. 15 millió forint eszmei értékű növény. Bóna Péter, az ECHarris projektszervező cég szakértője 2013. június 24.-én azt nyilatkozta, hogy a területen biológiai vizsgálat szükséges, ami csaknem egy évet vesz igénybe. Tőgyi Gábor a munkahelyteremtést hangsúlyozta a golfpályával kapcsolatban. Közben a beruházó leszögezte, hogy a természetes környezet védelme a beruházás érdeke (http3).

A Sás-tó közelében található kőbányát a II. világháború előtt nyitották meg, egykor a legnagyobb kapacitású kőfejtő volt. Egy 1966-os rendelet megtiltotta az ipari tevékenységet a rekreációs övezetekben, mivel a kőbánya a mátrai (sástói) üdülőövezetben fekszik, és a munkálatok zavarták az üdülőövezetet. 1980-ban leállították a kitermelést, majd a bányát 1982-ben véglegesen felhagyták. A bányaudvar túlmélyített részein főleg csapadékvízről származó, kisméretű sekély tó alakult ki. A bánya bezárását követően több utóhasználati javaslat is felmerült. Amphiteátrum alakja miatt kiváló akusztikai lehetőséget kínált több zenei rendezvénynek. Mivel a bányaművelést éppen az

idegenforgalomra való hivatkozással szüntették meg, ezért a bányaterületet valamiképpen az üdülőkörtség vérkeringésébe kellett bekapcsolni. 1993-tól 2000-ig számos javaslat született az újraháznosításra vonatkozóan. A bányában végül egy kalandpark létesült, és üzemel 2006 óta, számos szabadidős lehetőséget biztosítva az érdeklődőknek (Izsó 2011).

Az Oxygen Adrenalin Park 145.000 m²-nyi területen fekszik. Első eleme volt a téli-nyári bob pálya (http4). A pálya 930 m hosszú, ebből a lecsúszó rész 607 méter. Az országban ez a leghosszabbban működő pálya. Kétszáz autó befogadására alkalmas parkolót is kialakítottak (http4). Mindeközben, 2000-ben megkésve a területet helyi jelentőségű védett természeti területté nyilvánították, de a beruházás okozta zavarás jóval eltolta a mátrai rengeteg, védelemre érdemes terület határait.

2. Anyag és módszer

2.1. Az ortofotó-térkép és modell készítés menete

A terület légi felmérésére 2011 őszén került sor Cessna 182 típusú, fotogrammetriai célokra kialakított repülőgépről. A felmérést az Interspect kutatócsoport végezte IS 4 digitális multispektrális mérőkamera alkalmazásával. A személyzet tagjai Bakó Gábor mérnök, mérőkamera operátor, Molnár Zsolt műszaki vezető és Arday András pilóta voltak. A digitális légifelvételek feldolgozásában és kiértékelésében nyári gyakorlat keretein belül, az Interspect központi laboratóriumában vettem részt. A függőleges kameratengelyű légi fényképekből háromdimenziós felületmodellt állítottunk elő, ortorektifikációs eljárással erre a modellre ráhúztuk a légifelvételeket. Az így előállított térképszelvények elemzésével jól vizsgálható a növénytakaró összetétele (vegetáció térképezés) és ökológiai állapota, egészsége, valamint következtethetünk a területet ért antropogén hatásokra, szennyezésekre és egyéb folyamatokra. Jól megismerhetők az állapotok a terület ipartörténetének ismeretében. Az öt centiméter terepi részletességű digitális állomány előállítása után kezdetét vehette a kiértékelés.

2.2. Az állományok kiértékelése

Az ortofotó-térkép kiértékelése vizuális elemzésként ment végbe. A külszíni bányák, beépített területek és szennyezett területek, növénypusztulással érintett részek térképi lokalizálása az ortofotó-térképen történt. A háromdimenziós modell elemzését Global Mapper 13.2 szoftvercsomag segítségével végeztem el. A munkámat az Interspect Kutatócsoport munkatársai segítették.

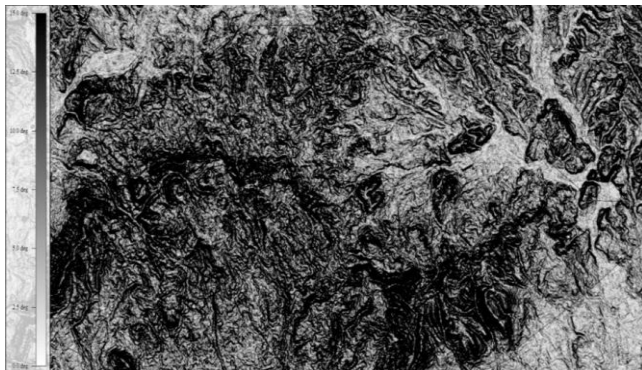
Először a lejtőkategória térképet generáltam le, a szoftver Generate Contours moduljával. 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-50°-os lejtőkategóriákat különítettem el, és ezeket a kétdimenziós térben ábrázoltam izovonalas, vektorgrafikus térkép fedvény létrehozásával.

A következő lépésben a munkaterület vízgyűjtő analízise, a csapadék összegyűlekezési modell készült el. A nagy lejtésű területek vízelvezetésére, és a villámárvíz-veszélyeztetettségére voltunk kíváncsiak. Ezután készítettem el a mátrai beépített területeket, külszíni fejtéseket, degradált felszíneket és szennyezett foltokat ábrázoló, szintén vektorgrafikus térkép fedvény.

3. Eredmények és értékelésük

A lejtők meredekségükkel, hosszúságukkal, alakjukkal és kiterjedésükkel befolyásolják az eróziót. Minél meredekebb a lejtő, annál nagyobb a felületen lefolyó víz energiája.

A Mátra lejtőkategória térképét a háromdimenziós terepmodell és a Global Mapper szoftvercsomag segítségével generáltuk le, ez látható a 1. ábrán.



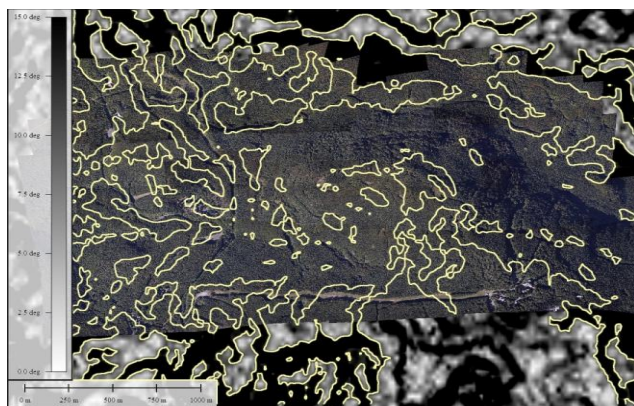
1. ábra: Mátra lejtőkategória térképe

A terület lejtőkategória térképének háromdimenziós megjelenítésén jól megfigyelhetők a sötétben jelölt meredek részek, ezeket láthatjuk a 1. és 2. ábrán.



2. ábra: Háromdimenziós lejtőkategória térkép

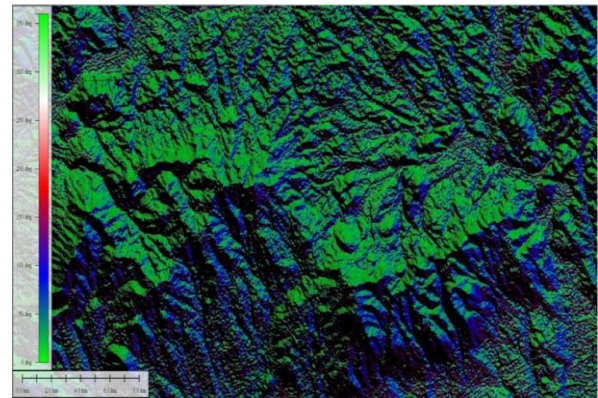
15°-os és annál meredekebb lejtők láthatók a Kékes-tetőn a 3. ábra alapján.



3. ábra: 15°-os és annál meredekebb lejtők

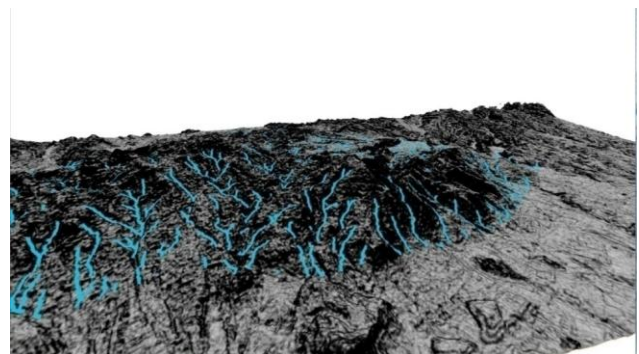
A lejtők hosszúsága is nagyon fontos, mivel a lefolyó víz tömege a lejtő hosszával arányosan növekszik. A talajpusztulásra hat még a lejtők alakja, így megkülönböztetünk egyenes, domború, homorú és összetett lejtőalakzatokat. A kitettség azt jelenti, hogy a lejtő vagy lejtőszakasz milyen égtáj felé néz. A talajpusztulás mértéke különböző lehet az eltérő kitettségű lejtőkön még ugyanazon kőzet- és talajviszonyok esetében, azonos lejtőszög, hossz és alak mellett is, a jellemző

széljárás tekintetében. További munkával az egyes völgyek irányát is feldolgoztuk az adatbázis számára, így következtethetünk azok vegetációborításának, morfológiájának létrejöttének körülményeire, kitettségére. Ez látható a 4. ábrán.



4. ábra: Völgyek iránya

Ezután elkészítettük a lefolyó csapadékvíz gyülekezési modelljét, hiszen ez megszabja az esetleges szennyezések terjedésének irányvektorait (5. ábra).



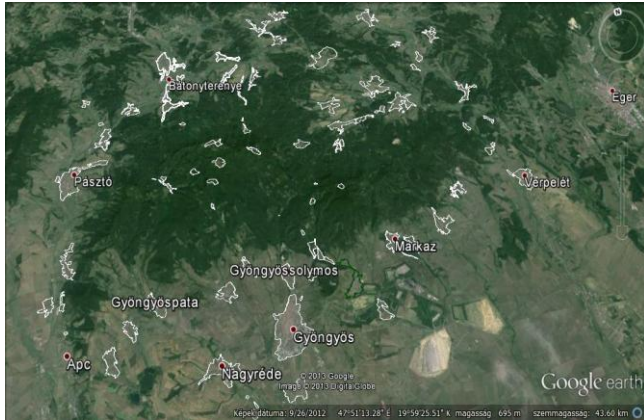
5. ábra: Lefolyó csapadékvíz gyülekezési modellje

A felszínre jutó csapadék talajba történő beszivárgás intenzitása csökken a talaj fokozatos telítődésével, a lehulló csapadék egy részét a talaj nem képes befogadni. A visszamaradó csapadék mindinkább kitölti a kisebb-nagyobb felszíni mélyedéseket, amelyek környezetében a vízborítások egyre nagyobb foltokban jelennek meg (Vermes 1997).

Erdős területeken a csapadék felszín közeli visszatartásában és tározásában szerepe van a felszíni avartakarónak. A szivacsoszerűen hasonlóan a csapadékot gyűjti és visszatartja, majd a telítődést követően, fokozatosan és egyenletesen adja le a vizet (Satterland & Adams 1992). A lefolyás megindulását kisebb-nagyobb mértékben késlelteti a felszíni csapadék tározódása. A késleltetés mértéke függ a terepadottságoktól, a lejtéstől, a felszín érdességétől, erdőkben az avartakaró vastagságától és a növényzettől. Akár napokig, sőt hetekig is eltarthat az avartakaró vízleadása. A felszínre érő csapadéknak a beszivárgással és a lefolyás megindulása előtt bekövetkező párolgással csökkentett hányada a lefolyásképző csapadék (Vermes 1997). Amikor a felszín mikromélységei megtelnek, megindul a csapadék terep esését követő, lepelszerű mozgása. A víz terepi, lejtő oldali mozgása addig tart, amíg valamilyen kifejezett, állandó vízmozgásba vagy vízfolyásmederbe nem kerül. Ezután a víz a mederben mozog (V. Nagy 1991).

A talajvízig felszín alatt eljutó csapadék képezi a felszín alatti lefolyást. A felszín közelében a talajok felső rétegében is megindulhat a beszivárgó, de a talajvízig el nem jutó csapadék, lejtő irányú mozgása. Ezt a lefolyást nevezzük hipodermikus lefolyásnak vagy interflow-nak (Vermes 1997).

Vermes (1997) szerint „a lefolyás összegyűlekezésének nevezzük azt a folyamatot, amelynek során egy adott térségben lehulló csapadék egy része a terep felszínén és a felszín alatt mozogva eljut a vízfolyásmederbe és abban koncentrállódva mozog tovább”. A lefolyás összegyűlekezése egy vízgyűjtőbeli és egy mederbeli összetevőre bontható, az előbbin belül megkülönböztethető a felszíni és felszín alatti összegyűlekezés. A felszíni összegyűlekezésnél az árhullám levonulása a kiváltó csapadék megszűntét követően viszonylag rövid idő múlva befejeződik. Ezzel szemben a felszín alatti összegyűlekezés lassúbb folyamat, amely a kiváltó csapadék megszűntét követően még hosszú ideig eltart. Ennek az oka, hogy a talajban a víz mozgása lassúbb, mint a nyílt terepen.



6. ábra: Mátrai települések (háttérkép forrása: Google earth)

A munkaterületen belül 78 beépített terület található (6. ábra), összesen 69.437.314 m² területfedéssel. Az itt megtalálható 15 db külszíni fejtés 12.308.561 m² területet hasít ki magának a természetből, megváltoztatva a mikroklimát és vízgazdálkodást (1. táblázat). A legkisebb 3.274 m², a legnagyobb pedig 7.874.245 m².

1. táblázat: Külszíni fejtések, feltalaj nélküli felszínek

Bányák helye	Tájseb	Terület (m ²)
Apc	1	37063
Bátorterenye	1	25779
Bátorterenye	1	3274
Bátorterenye	1	14638
Bükkszék	1	4337
Detk	1	7874245
Detk	1	3191960
Gyöngyös	1	110741
Gyöngyösoroszi	1	126233
Gyöngyöspata	1	39877
Gyöngyössolymos	1	62712
Gyöngyössolymos	1	162254
Gyöngyöstarján	1	87166
Kisnána	1	303768
Recsk	1	264514
	15	12308561

A Mátrán 15.303.77 m² területen találkozhatunk depónia és tájseb problémával (2. táblázat). A legnagyobb ilyen kiterjedés 297.700 m² Visontánál, a legkisebb pedig 6.783 m² pedig Parádhuta közelében található.

2. táblázat: Depóniák és tájsebek a területen

Depónia, tájseb	Tájseb	Terület (m ²)
Visonta	1	297700
Parádhuta	1	6783
Parádhuta	1	11108
Markaz	1	553627
Markaz	1	176684
Gyöngyösoroszi	2	291936
Parádsasvár	1	45747
Pétervására	1	29987
Recsk	1	105149
Terpes	1	11656
	11	1530377

A Mátrán 562.900 m² erdőpusztulással veszélyeztetett folt található (3. táblázat), amelyeknek többsége Bodony, Bükkszék, Károlytáró és Mátrakeresztes közelében van. A nagyjából 2.200.000.000 m² terület optimálisan 569 vízgyűjtőre osztható. Ezek közül a legkisebb 769 m², míg a legnagyobb 19.193.841 m² területű. Ezen belül a területen található 13 víztározó 3.866.064 m² területű összesen (4. táblázat).

Az erdők eltűnése és a vízgazdálkodás megváltozása összesen 50 települést veszélyeztet villámárvával, sárlavinák kialakulásával (5. táblázat). A csapadékvíz gyűlekezési és vízgyűjtő modellünk valamint az általam készített településkontúr vektor segítségével kiszámítottam, hogy 78 településből 50 db veszélyeztetett.

3. táblázat: Erdőpusztulás a Mátrában

Erdőirtás	Folt	Terület (m ²)
Bodony	1	15873
Bodony	1	10119
Bükkszék	1	12124
Károlytáró	1	377705
Károlytáró	1	68611
Mátrakeresztes	1	53790
Mátrakeresztes	1	24678
	7	562900

4. táblázat: Mátrai víztározók

Víztározók	Víztest	Terület (m ²)
Bátorterenye	1	504399
Bátorterenye	1	218128
Gyöngyös	1	365078
Gyöngyöshalász	1	211959
Gyöngyöshalász	1	52842
Hasznos	1	104150
Markaz	1	1493914
Nagyréde	1	162812
Parádsasvár	1	112346
Rózsaszentmárton	1	274638
Rózsaszentmárton	1	320205
Szurdokpüspök	1	7162
Bodony	1	38431
	13	3866064

5. táblázat: Árvízveszélyeztetett települések

Árvízveszélyeztetett települések	Belterület	Terület (m ²)
Abasár	1	1787540
Bátorterenye	1	2144687
Bátorterenye	1	458560
Bodony	1	1088577
Bükkszék	1	836991
Domoszló	1	1487761
Dorogháza	1	693625
Gyöngyös	1	8089169
Gyöngyöshalász	1	1683206
Gyöngyösoroszi	1	613880
Gyöngyöspata	1	1465691
Gyöngyössolymos	1	1432088
Gyöngyöstarján	1	1309069
Hasznos	1	610855
Károlytáró	1	75588
Kisfüzes	1	187706
Kisnána	1	697375
Lajosháza	1	4375
Mátraalmás	1	27612
Mátraballa	1	3038845
Mátraderecske	1	2399851
Mátrafüred	1	922905
Mátrakeresztes	1	26041
Mátrakeresztes	1	383915
Mátramindszent	1	679045
Mátraterenye	1	1582363
Mátraverebély	1	773504
Nagybátony	1	1484963
Nagyréde	1	2434155
Nemti	1	802041
Paraád	1	1136649
Parádfürdő	1	425064
Parádhuta	1	301530
Parádhuta	1	192985
Parászasvár	1	605693
Pásztó	1	3497489
Pétervására	1	1433894
Recsk	1	1895505
Recsk	1	277132
Rózsaszentmárton	1	1348972
Sámsonháza	1	249857
Sirok	1	998342
Szűcsi	1	966352
Szuha	1	422075
Szurdokpüspöki	1	1228345
Tar	1	1282319
Tarnaszentmária	1	463042
Terpes	1	409968
Verpelét	1	2171122
Visonta	1	930935
Összesen:	50	59459253

A Mátrán 75 db üzem található, ami összesen 5.733.127 m² területet foglal el (6. táblázat). A legtöbb Abasár, Bátorterenye, Gyöngyös és Pásztó közelében található. A legkisebb 4.820 m² Bátorterenyénél található, a legnagyobb pedig Abasáron 1.417.556 m² területtel.

9 db jelentős turisztikai célra hasznosított területről beszélhetünk a Mátrán, amely 683.297 m² összterülettel rendelkezik (7. táblázat). Ezek közül a legnagyobb a mátrászentistváni sípark 298.942 m² területtel, de jelentős a mérete az Oxygen Adrenalin Parknak is 101.489 m² területtel.

6. táblázat: Mátrai üzemek

Települések	Darab	Terület (m ²)
Mátraderecske	1	30308
Sámsonháza	1	16204
Tar	1	78399
Tar	1	93874
Abasár	1	25520
Abasár	1	80743
Abasár	1	41087
Abasár	1	1417556
Abasár	1	150626
Apc	1	48642
Apc	1	15893
Bátorterenye	1	66330
Bátorterenye	1	94589
Bátorterenye	1	108060
Bátorterenye	1	14888
Bátorterenye	1	36640
Bátorterenye	1	70010
Bátorterenye	1	35095
Bátorterenye	1	4820
Bükkszék	2	26894
Domoszló	1	42538
Falloskút	1	7014
Gyöngyös	1	27892
Gyöngyös	1	461517
Gyöngyös	1	55237
Gyöngyös	1	52707
Gyöngyös	1	51160
Gyöngyöshalász	1	49715
Gyöngyöshalász	1	177458
Gyöngyöspata	1	71344
Gyöngyössolymos	1	11559
Gyöngyössolymos	1	58820
Hasznos	1	75995
Hasznos	1	31682
Jobbágyi	1	18618
Jobbágyi	1	86977
Kisfüzes	1	50821
Kisnána	1	18920
Liszkó	1	12927
Markaz	1	27834
Mátraderecske	1	297748
Mátraháza	1	99490
Visonta	1	216182
Mátramindszent	1	59255
Mátranovák	1	212862
Mátranovák	1	23095
Mátraterenye	1	13083
Mátraterenye	1	15222
Nagyréde	1	36232
Pásztó	1	14440
Pásztó	1	10452
Pásztó	1	50804
Pásztó	1	25693
Pásztó	1	18222
Pásztó	1	71793
Pásztó	1	7030
Pásztó	1	19510
Pétervására	1	44563
Pétervására	1	16454
Recsk	1	9358
Recsk	1	7724
Rózsaszentmárton	1	42937
Rózsaszentmárton	1	24857
Sirok	1	51293
Szurdokpüspöki	2	66169
Szurdokpüspöki	1	142355
Terpes	1	32407
Terpes	1	47492
Újtelep	1	31185

Verpelét	1	39973
Verpelét	1	79867
Verpelét	1	10023
Visonta	1	48444
Összesen:	75	5733127

7. táblázat: Turisztikai célra hasznosított területek

Turisztika	Darab	Terület (m ²)
Oxygen Adrenalin Park	1	101489
Galyatető	1	23916
Gombástó üdülőtelep	1	58257
Kékestető	1	49120
Mátraszentistván sípark	1	298942
Parádsasvár Túra Camping	1	6146
Parádsasvár vendégházak	1	90362
Lifestyle Hotel Mátra	1	17766
Ózon Hotel	1	37299
	9	683297

A 8. táblázat az adatok összefoglalása.

8. táblázat: A Mátra mintaterületre elkészített térbeli elemzés statisztikai adatai

	Területek száma	Terület (m ²)	Veszélyes anyag előfordulása
Árhullámmal veszélyeztetett települések	50	59459253	Előntés következtében kimosott veszélyes anyagok
Külszíni fejtések, feltalaj nélküli felszínek	15	12308561	Nehézfémek, BTEX vegyületek
Erdőpusztulás	7	562900	ÜHG konc. növekedése, egyéb légszennyező anyagok környezetbe kerülése
Depónia, tájsebek	11	1530377	Nehézfémek
Turisztikai célokból túlhasznált területek	9	683297	Kommunális hulladékok veszélyes anyag tartalma
Üzemi területek	75	5733127	Nehézfémek, ÜHG gázok, BTEX vegyületek, PAH vegyületek

4. Következtetések és Javaslatok

A Mátra hazánk azon területei közé tartozik, mely esetében kiemelten fontos a környezetterhelő- és szennyező anyagok kockázatának ismerete.

Sok esetben növénytermesztési célokat szolgál a hulladéklerakók, szennyezett területek felülete. Célszerű talajmintavételt végezni, mélysége általában 1 m-re, azaz a gyökérjárta rétegre terjed ki, ahonnan a káros anyagok felvétele történik. Mivel a környező talajok is szennyeződhetnek szél- és vízerózió, áramló szennyezett talajvíz vagy depóniagáz által, a mintavételeket azokra is ki kell terjeszteni. A tervezett hasznosítástól függően az alábbi expozíciós utakat kéne vizsgálni:

- Élelmiszer, takarmány és vadon termő növény szennyeződése, anyagfelvétele
- Tenyésztett és vadon élő állatok szennyeződése, anyagfelvétele
- A növényi és állati terméket fogyasztó emberek anyagfelvétele

Javaslatok:

1. A Kékes-Észak Erdőrezervátumot az őserdőtömb töredékéből hozták létre és ezt ki kéne terjeszteni az egész őserdőre.
2. A bányákat be kéne fedni és kalandparkként, lerakóként történő hasznosításukat a későbbiekben kerülni kell.
3. Az erodált felszíneket rehabilitálni kéne.
4. A villámárvíz veszélyeztetett területeken az erdők helyreállítása, erdőrezervátumok kialakítása fontos feladat.
5. A víz összegyűlekezési területek szennyező forrásainak felmérése szintén fontos.
6. Nagyon lényeges a természeti területek megóvása mellett az új ipari létesítmények kevésbé értékes és kisebb kockázatú területekre történő telepítése, valamint a szórakoztató és turisztikai komplexumok védett területektől távoli elhelyezése, kockázatos, vízzáró réteg nélküli területektől való távoltartása, a bányák rekultiválása és az átgondolt, hosszú távú fenntarthatóságot, az ökoszisztéma szolgáltatások megóvását elősegítő településtervezés.

A későbbiekben a kutatást analitikai célú mintavétellel folytatom. Mintavételt végeztünk a dolgozatban kiemelt területek egy részén. A minták laboratóriumi vizsgálata folyamatban van. A kapott eredményeket össze fogjuk hasonlítani az előírt B szennyezettségi határértékekkel.

5. Összegzés

A célom az volt, hogy a beruházásokat megfogalmazó döntéshozók figyelmét felhívjam a hosszú távú és nagy területet átfogó komplex tervezés fontosságára, a tájba illesztés gazdasági, környezetvédelmi és egészségügyi vonulataira. Modellezés által próbáltam igazolni, hogy nem szabad előzetes kockázatfelmérés nélkül új beruházásokat véghezvinni a Mátrán, mert ennek súlyos következményei lehetnek. A vizsgálati terület legfontosabb veszélyforrásait ismerttettem, ami nagyban hozzájárul a vegyi anyagok terjedésének megismeréséhez, és későbbi munkánk gyors, előzetes felméréseként szolgál.

Elemeztem a területet erózióveszélyeztetettség szempontjából és összevettem az érzékeny talajtípussal, meredekséggel bíró, degradált, valamint árvíz által veszélyeztetett területeket a potenciális szennyező források elhelyezkedésével és értékeltem ezek egymásra hatását, mérlegettem a környezetbe illő tervezés lehetőségeit. Áttekintettem a Mátrában előforduló veszélyes anyagokat és javaslatokat tettem a természetbe jutásuk, mobilizálódásuk megelőzése érdekében.

Megállapítható, hogy nagyon lényeges a természeti területek megóvása mellett az új ipari létesítmények kevésbé értékes és kisebb kockázatú területekre történő telepítése, valamint a szórakoztató és turisztikai komplexumok védett területektől távoli elhelyezése, kockázatos, vízzáró réteg nélküli területektől való távoltartása, a bányák rekultiválása és az átgondolt, hosszú távú fenntarthatóságot, az ökoszisztéma szolgáltatások megóvását elősegítő településtervezés.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm az Interspect Kft közreműködését a légi felmérés megtervezésében és végrehajtásában.

Köszönettel tartozom Pásztor Lászlónak, az AGROTOPO Mátrára vonatkozó állományaiért, hogy ezzel is segítse a munkám.

IRODALOMJEGYZÉK

1. BOROS T. (2001): A remediáció kockázatelemzése, BME-OMIKK Műszaki-Gazdasági Kiadványok Osztálya, Budapest, 4-7 p.
 2. DÁVID L. (2001): Felhagyott mátrai kőbányák utóhasznosítási problémái, Földrajzi Konferencia, Szeged.
 3. IZSÓ I. (2011): A Miskolci Bányakapitányság kerületének bányai para, Közhasznú Alapítvány a Borsodi Bányász Hagyományokért Kiadó, Miskolc, 118-151 p.
 4. SATTERLAND, D. R. & ADAMS, P. W. (1992): Wildland watershed management, John Wiley and sons.
 5. TÓTH J.: A Gyöngyösorszi ércbánya veszélyesanyagtárolójával kapcsolatos kérdések és katasztrófavédelmi feladatok. <http://hhk.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/eloadasokpdf/3.csop/Toth%20Jozsef.pdf> (2011 november)
 6. V. NAGY I. (1991): Hidrológia I. (Fizikai hidrológia), Tankönyvkiadó, Budapest, 140-235 p.
 7. VERMES L. (1997): Vízgazdálkodás mezőgazdasági, kertész-, tájépítész- és erdőmérnök hallgatók részére, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 39-262 p.
 8. KÁDÁR I. (1995): A talaj- növény- állat- ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezetvédelmi és területfejlesztési Minisztérium MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest, 388 p.
- http 1** Mátraszentistván Sípark.
<http://www.sielok.hu/siterep/matraszentistvan/>
- http 2** Tájsebek, külszíni fejtések, bányatavak, depóniák és egyéb mikroklíma átalakító tényezők felmérése.
<http://www.interspect.hu/index.php/Oldalon-beluli-linkek/vizsgalatok1.html>
- http 3** Fontos lépés a szalóki golfpálya felé.
<http://www.heol.hu/heves/kozelet/fontos-lepes-a-szaloki-golfpalya-fele-503370>
- http 4** Adrenalin park, bob pálya.
http://www.matrainfo.hu/szabadido_bob.php

© 2015 by the authors; licensee RS&GIS, Hungary.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Az ortofotó-térképek, a légi fotogrammetriai felmérések bekerülési költsége 2015. évben

Mennyibe kerül Magyarországon a légi fotogrammetriai szolgáltatás

Novák Zsolt¹

¹ Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, Geográfus MSc szak
novakzs@gmail.com

Abstract— Az ortofotó szolgáltatásként emlegetett mérőkamerás vagy egyéb digitális légi fényképezési tevékenységgel, terepi geodéziai felméréssel, fotogrammetriai képfeldolgozással készülő fotótérkép régóta nélkülözhetetlen a térképészeti, térinformatikai munkák során. Az ortofotó térkép, mint termék árazásáról azonban nagyon nehéz információt szerezni az interneten. Dolgozatomban megíráshoz megkerestem a patinás ortofotó szolgáltatókat és a fiatal cégeket is, amelyek termékskáláján szerepel ez a szolgáltatás. A tanulmány célja az elemzés eredményeinek rövid, összefoglaló bemutatása és, hogy rálátást biztosítson a légi felmérésből származó termékek reális értékére.

Index Terms: orthophoto, orthophoto-map, photogrammetry, orthophoto-mosaic, prices, costs

Kulcsszavak: Ortofotó, ortofotó-térkép, ortofotó mozaik, fotogrammetria, költség, mennyibe kerül

1. A légi felmérések típusai

A felmérésem célja az volt, hogy átfogó képet kaphassak a magyarországi légi fotogrammetriai szolgáltatások áairól. Mivel viszonylag nagy területekről van szó, ezért elsősorban a merevszárnyú repülőgépes felmérés jöhet szóba, ennek ellenére a pilóta nélküli repülő eszközökkel dolgozó cégektől is kértem árajánlatot, hiszen napjainkban egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek, ugyanakkor elsősorban kisebb (<2 km²) területek felmérése végezhető el velük gazdaságosan.

A pilóta által repült eszközök közül a forgószárnyas fotogrammetriai célú légi fényképezés visszaszorult, a szolgáltatók egy vagy kétmotoros általában light aircraft¹

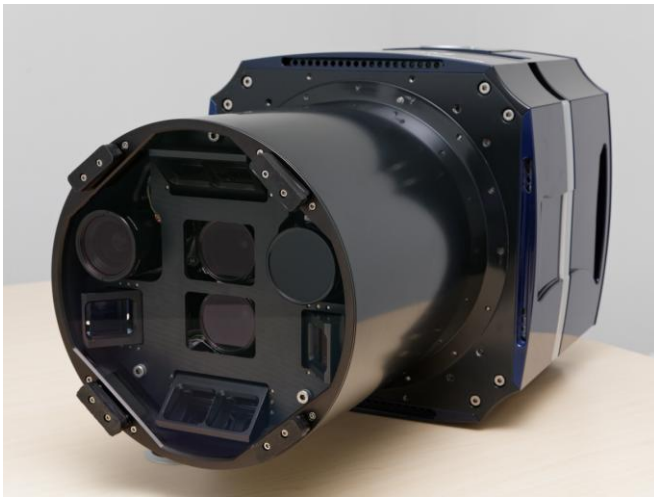
besorolású repülőgépekkel dolgoznak (1. ábra). Az érvényes jogszabályok értelmében csak saját, vagy tartósan bérelt, távérzékelési célokra alkalmas repülőgéppel rendelkező szolgáltató végezhet Magyarországon fotogrammetriai és egyéb távérzékelési légi feladatot. Így a szolgáltatók általában valamilyen légi szolgáltató cégtől bérelnek egy repülőgépet, két esetben pedig saját repülőgépparkkal rendelkeznek. Elmondásaik alapján reális, hogy ultrakönnyű, illetve kisrepülőgépekkel, vitorlázó repülőgépekkel a szolgáltatás egyszerűen lehetetlen, mert a lendületből repülő, ütemes fázisú repülés során nem lehet tartani a magasságot, az irányt és az oldalágást, elfordulást az aktív fényképezési szakaszokon. Ezen felül a mérőkamerákat (2. ábra) sem lehet a megfelelő előírások szerint elhelyezni bennük.



1. ábra Fotogrammetriai célokra használt repülőgép (Forrás: <http://www.geoair.net/inicio.html>).

Érdekes, hogy ennek ellenére a sárkányrepülővel dolgozó szolgáltatók képesek kivitelezni a lefelé tekintő légi fényképezést kézi kamerákkal, igaz csak kis területekre, és nem a könnyű repülőgépekéhez hasonló folyamatos minőséggel. Így ennek a kategóriának a létjogosultsága megmaradt a kisebb, mérőkamerás pontossági garanciát nem igénylő feladatoknál.

¹ Az angolszász light aircraft besorolás alá azok a merevszárnyú repülőgépek tartoznak, amelyek maximum bruttó felszálló tömege nem haladja meg a 12.500 fontot (5670 kg).



2. ábra Nagyformátumú mérőkamera

(Forrás: <https://ultracam.wordpress.com/2013/03/26/microsoft-announces-ultracam-osprey-obliquenadir-digital-aerial-camera/>).

Ezzel szemben a paplanernyős, ballonos és helikopteres kezdeményezések sorra elhalnak amint a speciális odafigyeléssel végzett kísérleti fázisból egy rentábilis szolgáltatásba szeretnének átlépni velük.

Az UAV távérzékelés, avagy a fedélzeten személyzet nélküli repülő eszközök térhódítása 2015 januárjától érzékelhető a magyar fotogrammetriai piacon. Korábban csupán légi fényképezésre alkalmaztak sikerrel a pilóta nélküli eszközöket, mostanra viszont megjelentek az első komoly (szaktudással, műszaki felszereltséggel és szoftveres kapacitással rendelkező) szolgáltatók. Ez az értékes referenciák létrehozásának időszaka, mivel nagyjából az első jelentős munkák előtt állnak. Bizonyítaniuk kell a potenciális megrendelők felé az UAV (3. ábra) fotogrammetria létjogosultságát a nagy repülőgépes felmérők megbízható, bevezetett termékeihez képest, de nem kétséges, hogy az előre programozott eszközök térhódítása várható (Manyoki et al. 2011). 2014 végére már több, mint 600 regisztrált gyártó állított elő pilóta nélküli repülő eszközöket világszerte (Szilágyi 2014). Magyarországon a legtöbb UAV-okat és RPAS-t alkalmazó cég a forgószárnyasok felé orientálódott ez idáig, pedig a termelékeny eljárásokat a nagy méretű merevszárnyú UAV repülőgépek teszik lehetővé. Eddig a legnagyobb megvalósult felmérés pár hektárt érint, ráadásul ez esetben a felbontás a hagyományos repülőgéppel könnyen elérhető terepi felbontási tartományban mozog (Mayr 2011). Mindennek ellenére az UAV fotogrammetria fejlődése, térhódítása várható. Az élvonalbeli fotogrammetriai, repüléstervező (4 - 5. ábrák) és egyéb szoftverek egyaránt kezelik az UAV és a klasszikus repülőgépes felméréseket. Ahogyan minden légi felvételezési tevékenységet, az UAV repüléseket engedélyeztetni kell a Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatalánál (NKH honlap 2015).



3. ábra Fotogrammetriai célokra használt professzionális UAV (Forrás: <http://www.positionpartners.asia/news/at-work/mine-surveyors-take-off-with-uas/>).

2. Minőségi elvárások

A XX. század első felében tökélyre fejlesztett analóg fotogrammetria (6. ábra) a század második felében újabb szabványosításokon, a multispektrális ortofotók tökéletesítésén keresztül újabb és újabb berendezések elterjedésén ment át. Az 1970-es években készült EOTR kataszteri térképek zöme légi fotogrammetriai eljárással készült (Gross et al. 2010). Nemzeti és nemzetközi szabályok születtek. Az ezredfordulón már csak színes, jó minőségű, egységes képi világú fotó-mozaikot fogadtak el az önkormányzatok, 2005 környékén az egymásra dőlő épületek, a 2010-es években a centrális vetítés durva hibái a kisebb mozaikolási hibák is durva elégtelenségnek számítottak. A légi fotogrammetria sík-fotogrammetriai ágazata teljesen eltűnt, hiszen térrészek eltűnését, más területek duplikálását eredményezheti.

Az ezredfordulón részben digitálissá vált eljárás napjainkra teljesen digitális, a képkészítéstől (beleértve a járulékos, pl. direkt tájékozási adatok rögzítését) a feldolgozásig. Jellemzi a piacépes európai termékeket, hogy a pontosság 4 pixelértéken belüli, a fotogrammetriai munkálatok sugárnyaláb kiegyenlítéssel mehetnek végbe, alternatív módszereket a megrendelők nem fogadnak el. A felmérési és feldolgozási módszerek is ehhez alkalmazkodtak, hatalmas fejlődésen mentek keresztül (7. ábra). A felbontásra vonatkozó igény és fizetőképes kereslet a lokális munkák esetén 3 - 20 cm, míg a nagy területeket fedő légi felméréseknél 5 - 40 cm.

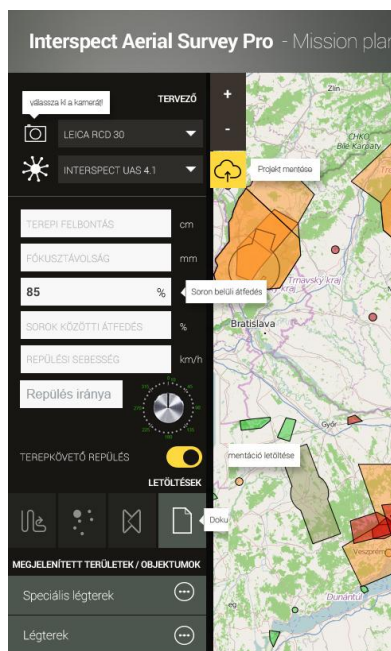
Radiometriai szempontból általában csatornánként 8 vagy 16 bites felvételek készülnek, de ezek valódi árnyalatgazdagsága a felmérő műszer és a felmérési körülmények miatt változó (Bakó et al. 2014). A megrendelők a homogén megvilágítású, nagy pontosságú és ennek következményeként hibátlanul mozaikolt, részletes ortofotó-térképeket várnak el a szolgáltatóktól. Európai tendereknél viszont az is lényeges elvárás szokott lenni, hogy a völgyalji területek részletessége ne veszítse el a célfelbontás 10 %-át.



4.ábra Népszerű, pilóta nélküli repülő eszközök repülési tervét elkészítő szoftver (Forrás: http://www.aeromao.com/aeromapper_uav).

Az árajánlatok kérésekor a minőségi követelményeim a következők voltak:

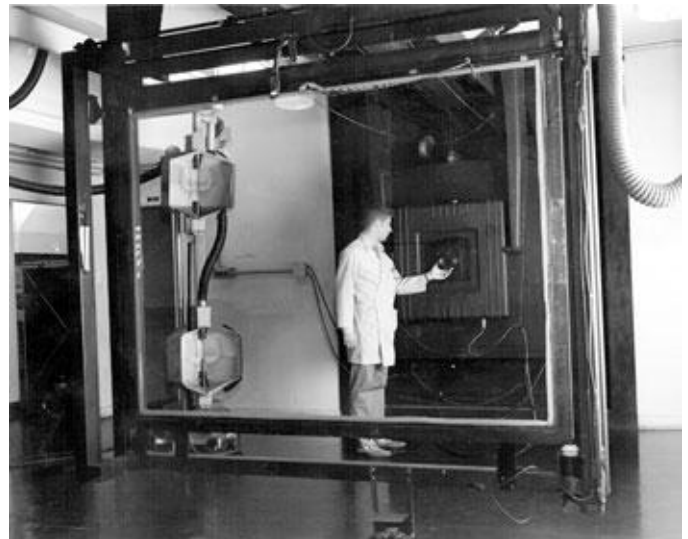
- A domborzattal rektifikált ortofotók alapjául szolgáló légifelvételek digitális kamerával, soron belül legalább 80%-os, sorok között legalább 40%-os, átfedéssel készüljenek
- A terepi felbontás domborzati eltérése maximálisan 1 cm lehet.
- A felvételeknek képvándorlás, hó borítás, illetve felhőárnyék-mentesnek kell lenniük.



5.ábra Professzionális, ember vezette és pilóta nélküli repülő eszközök repülési, illetve felmérési tervét elkészítő szoftver (Forrás: www.interspect.hu, www.uavmissions.com)

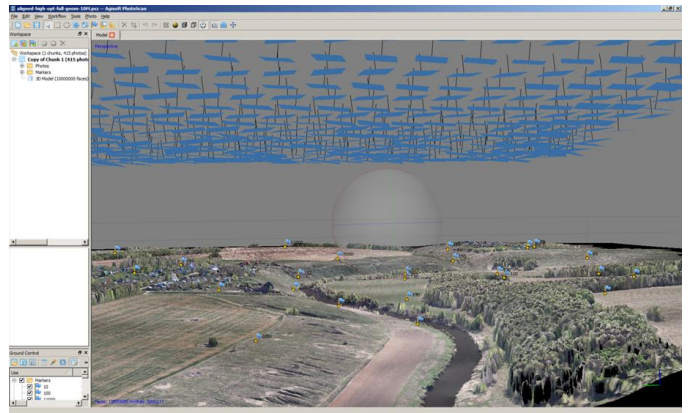
3. Az ortofotó szolgáltatás költség vonzata

A légi felmérés költségei a repülő eszköz fenntartásának (amortizációjának, tárolásának stb.), üzemeltetésének, üzemanyag költségének, az engedélyeztetés költségeinek és a terepi geodézia, valamint a labormunka költségeiből tevődnek össze. A különböző szolgáltatók különböző technológiai válaszokat adnak az adott feladat megoldására, így árak is eltérőek lehetnek.



6.ábra Képkidolgozás és fotogrammetriai termék reprodukció az 1960-as években

(Forrás: http://online.wr.usgs.gov/ngpo/doq/doq_history.html)



7.ábra Ortofotó kidolgozás sugárnyaláb kiegyenlítéssel 2015-ben

(Forrás: <http://www.geoscan.aero/en/photoscan-program>)

Egy **90 km²** területű település légi felmérése **5 cm** részletességgel **5 - 12,5 millió Ft nettó** árértékben valósítható meg.

A legfrissebb árinformációkhoz a szolgáltatók megnevezése nélkül közlötteszem az eredményt annak az esetnek, amikor 2015 májusában kértem ajánlatot egy pályázati felmérési tervezet kapcsán. Az egyik felmérendő terület mérete **280 km²**, egy alföldi nagyváros teljes közigazgatási területéről van szó. 18 szolgáltatótól kértem be ajánlatot, amelyek közül csupán öt tudott értékelhető ajánlatot tenni. Az öt ortofotó készítési ajánlat mellett - a minőségi ortofotó ajánlatoknál jellemzően fajlagosan magasabb áron - három az ajánlatkérésnek nem megfelelő árajánlat is beérkezett. Ezek közül az egyik nem képes nagytelepülés méretű területről elkészíteni a terméket (mikro UAV-val dolgoznak), egy másik olyan technológiát vázolt fel, amellyel lehetetlen minőségi terméket létrehozni (lásd minőségi elvárások fejezet), egy pedig csupán 40 cm terepi felbontású, és négy évvel korábban készült felvételre tett ajánlatot, amely a felbontást arányítva a többi szolgáltató által megadott ár felének felelne meg még négy év elmúltával is, ráadásul itt a felhasználást öt évben maximalizálják. A felhasználás korlátozására más esetben nem volt példa. Az áfa nélküli árakat az 1. táblázat tartalmazza.

Cég	Nettó ár 5 cm esetén	Nettó ár 10 cm esetén	Nettó ár 20 cm esetén
1	38 780 000 Ft	18 435 000 Ft	8 454 000 Ft
2	24 850 000 Ft	12 000 000 Ft	7 500 000 Ft
3	34 038 000 Ft	16 523 000 Ft	10 509 000 Ft
4	Nem tudják biztosítani az átfedést	5 616 800 Ft	3 650 920 Ft
5	Nem tudják biztosítani az átfedést	28 500 000 Ft	15 000 000 Ft

1.táblázat A 280 km²-es területre vonatkozó árajánlatok

A másik terület szintén az Alföldön található, a város közigazgatási területe **173 km²**. A követelmények ugyanazok voltak. Az áfa nélküli árakat a 2. táblázat tartalmazza.

Cég	Nettó ár 5 cm esetén	Nettó ár 10 cm esetén	Nettó ár 20 cm esetén
1	24 800 000 Ft	13 242 000 Ft	5 660 000 Ft
2	24 850 000 Ft	12 000 000 Ft	7 500 000 Ft
3	20 966 000 Ft	10 177 000 Ft	6 473 000 Ft
4	Nem tudják biztosítani az átfedést	3 477 800 Ft	2 265 570 Ft
5	Nem tudják biztosítani az átfedést	17 000 000 Ft	10 000 000 Ft

2.táblázat A 173 km²-es területre vonatkozó árajánlatok

Úgy tűnik minden szolgáltató felszállásonként felszámol alapdíjat, ami mintegy alapárként jelentkezik. Ez valószínűleg a repülőtéri költségekből, repülőgép, mérőkamera és a járulékos berendezések amortizációjából, engedélyeztetésből és munkadíjakból, szoftver licenszekből, működési költségekből adódik. A repülőtértől való távolság is sokat számít. 3 500 - 4 000 m tengerszint feletti magasság fölött oxigénpalackot használnak. Mindez befolyásolja a költségeket.

Nem áll rendelkezésre információ arról, hogy a szolgáltatók közül hányan vállalnak 1 km² alatti területméret esetén felmérést, de az egyértelműen látszik, hogy a repülőgépes felmérés 0,5 -1 km² felett éri meg a megrendelő számára.

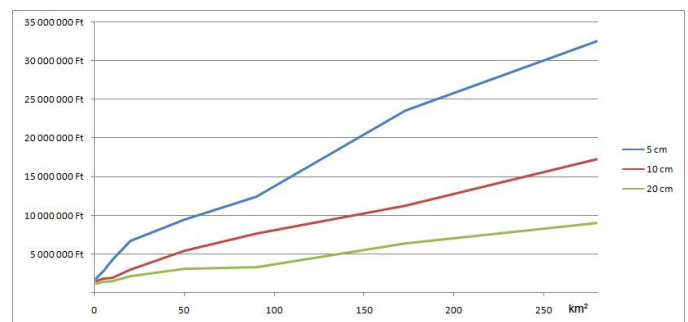
A felmérésekre általában 500 - 9 000 m terep feletti magasságból kerül sor. Minél magasabbról fényképeznek, annál kritikusabb az időjárás és a légkör állapota. Egy nap alatt akár 40 000 km² is befényképezhető.

A 3. táblázat tartalmazza a különböző területméretre vonatkozó átlagos nettó árakat.

Területméret	Nettó ár 5 cm esetén	Nettó ár 10 cm esetén	Nettó ár 20 cm esetén
280 km ²	32 556 000 Ft	17 269 000 Ft	9 023 000 Ft
173 km ²	23 538 000 Ft	11 240 000 Ft	6 356 000 Ft
90 km ²	12 480 000 Ft	7 655 000 Ft	3 345 000 Ft
50 km ²	9 491 000 Ft	5 420 000 Ft	3 083 000 Ft
20 km ²	6 655 000 Ft	2 966 000 Ft	2 118 000 Ft
10 km ²	4 303 000 Ft	1 909 000 Ft	1 470 000 Ft
5 km ²	2 786 000 Ft	1 789 000 Ft	1 370 000 Ft
1 km ²	1 870 000 Ft	1 487 000 Ft	1 200 000 Ft

3.táblázat A különböző méretű munkaterületre vonatkozó összesített nettó átlagárak

Az árak alakulását diagramon is ábrázoltam (1. diagram). Érdekes megfigyelés, hogy az UAV technológiával is elkészíthető kis területre az 5 cm terepi felbontású állományok árát már most leszorították az UAV-val dolgozó szolgáltatók.



1. diagram Az árak alakulása a területméret függvényében. Az 5 cm terepi felbontású felmérések (kékkel jelölve) árát az UAV-al berepülhető méretű felmérések esetében leszorították az ilyen technológiával dolgozó cégek ajánlatai, holott 2 - 10 km² berepülését még nem végezték el ilyen technológiával.

Az árak alakulását látva érdemesnek tartottam nagyon kis területekre (park, vadspark, temető, parcellák) árinformációt kérni a magukat UAV fotogrammetriai szolgáltatóként hirdető cégektől.

Az UAV légi fotogrammetriai szolgáltatás árazása szélsőségesen változó, ennek miertje számos internetes fórumon kérdésként merült fel (Aerial Mapping Forum 2012), így erre is megpróbálom megtalálni a választ.

Ezek a szolgáltatók nagyjából másfél km² méretű területnagyságig vállalják a felméréseket. A felméréendő terület 0,15 km² volt. A megkeresett tizenhat szolgáltatóból hatan engedélyeztetnék a felmérést, ezért a vállalási határidő viszonylag széles tartományban mozog. Akik hatósági engedéllyel végeznék a felmérést általában legalább harminc napos repülési határidőt kötnek ki, míg más szervezetek akár két napra vállalják a munkaterület lerepülését.

A 16 cég közül nyolc biztosan rendelkezik a feladat elvégzéséhez szükséges műszaki és szoftveres feltételekkel. A megkeresésekre nyolc cégtől nem érkezett válasz a megadott határidőre, a beérkezett válaszok azonban nyolc esetben felkészültséget sugallnak (4. táblázat). A **0,15 km²** terület felmérésére kapott árajánlatok átlaga **520 320 Ft + Áfa**.

Szolgáltató	Nettó ár 3 cm esetén	Termékek	Pontosság
1.	780 000 Ft	500 felvétel, ortofotó és modell	+/- 0,5 m
2.	800 000 Ft	600 felvétel, ortofotó és modell	+/- 0,2 m
3.	600 000 Ft	350 felvétel, ortofotó és modell	+/- 0,2 m
4.	655 000 Ft	50 mérőkép, ortofotó és modell	+/- 0,16 m
5.	450 000 Ft	46 mérőkép, ortofotó és modell	+/- 0,16 m
6.	100 000 Ft	650 felvétel, ortofotó és modell	?
7.	350 000 Ft	800 felvétel, ortofotó és modell	+/- 0,3 m
8.	427 561 Ft	71 felvétel, ortofotó és modell	?

4. táblázat egy 0,15 km² nagyságú nagyjából sík terület lerepülésének árai. Az ajánlatok átlaga 520 320 Ft + Áfa, egy reális felmérési költséget ad ki.

Ahogyan a 4. táblázatból is látható, az engedéllyel dolgozó, komoly műszaki felszereltséggel rendelkező, képzett munkaerőt fenntartó szolgáltatók árai jóval magasabbak az illegálisan dolgozó, változó minőséggel és rendelkezésre állással jellemezhető piaci résztvevőkénél. A legtöbb szolgáltatónál egy bizonyos területméret alatt nem csökken az ár, tehát a kiszállásnak, engedélyeztetésnek van egy minimális költsége, ami mindig beépül az árba. Ez a hatósági engedélyeztetés, a

biztosítások és az UAV, valamint a legalább háromfős biztosító személyzet helyszínre juttatásának, visszaszállításának költségeit mérlegelve nagyjából 80 000 Ft bekerülést ad ki feladatnaponként, nem számítva a légijármű amortizációját, ami gyorsabban amortizálódik a repülőgépekénél, a geodéziai eszközök amortizációját vagy bérleti díját, a munkabérek és a GNSS szolgáltatás, valamint több napi munkavégzés esetén a szállás költségeit. Érkezett 27 000 Ft bruttó árajánlat is, ami egyértelműen a jelentkező tájékozatlanságát jelzi és azt, hogy nincsen tapasztalata a munka elvégzésének bekerülési költségeit illetően. Ezzel szemben a meglepően alacsony árat megadó, ám a jelentkezés során a szakmai feltételekről megfelelően nyilatkozó szolgáltatók árstratégiája nem ismert, de feltételezhetően bevezető árakról van szó, ami azért különös és kizárólag a hazai piacra jellemző stratégia, mert egyre többen jelentkeznek hasonló szolgáltatással, és ilyen alapon mindig lesz a szolgáltatást bevezető áron produkáló, bizonytalan minőségű, de olcsó szolgáltatás. Összegzőként elmondható, hogy az UAV fotogrammetriai tevékenység témanapi önköltsége minimum 100 000 Ft, így az ilyen jellegű szolgáltatás reális ára 350 000 - 700 000 Ft / munkanap.

Irodalomjegyzék

A szövegben hivatkozott cikkek és internetes oldalak:

Aerial Mapping Forum of diydrones.com (2012): Aerial mapping - Why the price differences?, <http://diydrones.com/forum/topics/aerial-mapping-why-the-price-differences>

Bakó G., Molnár Zs., Góber E. (2014): Városi térinformatikai és döntéstámogató rendszerek raszter fedvényei - A legutóbbi időszak települési ortofotó felméréseinek tapasztalatai Magyarországon, Tájékológiai lapok 12 (2): 285-305. (2014)

Gross M., Oros L., Winkler P. (2010): Az ortofotótérképek alkalmazási lehetőségei a KÜVET/BEVET állomány minőségének ellenőrzésére és javítására, Geodézia és Kartográfia 2010/5 (62) p. 14-21

Manyoki M., Theiler P., Steudler D., Eisenbeiss H. (2011): Unmanned Aerial Vehicle in Cadastral Applications, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011 ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011 Zurich, Switzerland

Mayr W. (2011): UAV Mapping - a user report, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011 ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011 Zurich, Switzerland

NKH honlap (2015): A légügyi Hivatal honlapja: <http://www.nkh.gov.hu/web/legugyi-hivatal/pilota-nelkuli-legijarmuvek-uav/uas-uzemeltetese>

Szilágyi T. (2014): Hungarian experiences in UAS development, V4 UAS International Conference, Budapest, 2014. október 29.

A nyilatkozat: A beküldött kézirat a feltüntetett szerzők munkája, a benne szereplő, mástól átvett információk, ábrák és egyéb anyagok szerzői mindenhol meg lettek jelölve. A cikk jelen formájában nem jelent meg más folyóiratban. A cikk Távérzékelési technológiák és térinformatika szakfolyóiratban történő publikálásával minden szerző, közreműködő és támogató egyetért. A kézirat nem tartalmaz valótlan információt, a szerzőknek nincs tudomásuk összeférhetetlenségről és a kézirat feldolgozását, lektorálását, publikálását gátló tényezőről, továbbá hozzájárulnak, hogy az RS@GIS online fényképes szerzői adatbázisában szerepeljenek.

© 2015 by the authors; licensee RS&GIS, Hungary.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).