

**A FELSZÍNBORÍTÁS VÁLTOZÁSAINAK VIZSGÁLATA A
BÜKK-FENNSÍKON LÉGI-, ÉS MŰHOLDFELVÉTELEK
FELHASZNÁLÁSÁVAL¹**

ZBORAY ZOLTÁN – KEVEINÉ BÁRÁNY ILONA

SZTE, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u.2.
zzboray@geo.u-szeged.hu, keveibar@earth.geo.u-szeged.hu

Abstract: We present a study about the changes of the land cover in the Bükk-fennsík (Bükk-Plateau) from 1965 to 2004. Investigations of the karst landscape supported by many remote sensing and image processing applications, which co-operate with orthorectified aerial-, and satellite images and stereo-photogrammetry technics. The time-series (ortho)image is one of the best way to detect changes in the land cover. Beyond the visual interpretations, our change detection investigations focus on changes of the land use compositions and locations based on supervised classification of the RGB (natural color) and Landsat satellite imagery, and also the changes of the sky view factor at the dolines area derived from digital surface models where the microclimate influences growth.

Bevezetés

A Bükk-hegység fennsíki területein a domborzat megjelenéséhez hasonlóan a felszínborításban is nagy változatosságot tapasztalhatunk. A nagyrészt erdős területen a felszínborítás jelen állapota az elmúlt évszázadok erdőhasználatára és erdőgazdálkodására következtében alakult ki. A legutóbbi évtizedekben a Bükki Nemzeti Park megalakulásával előtérbe kerültek az ökológiai szempontok, melynek kiemelt célja az eredetihez közel álló természeti táj fenntartása, a sérült részeken az eredeti vagy a kívánt állapot helyreállítása, valamint az erdőgazdálkodás és a természetvédelem közös feladatainak összehangolása (JÁRÁSI 2002).

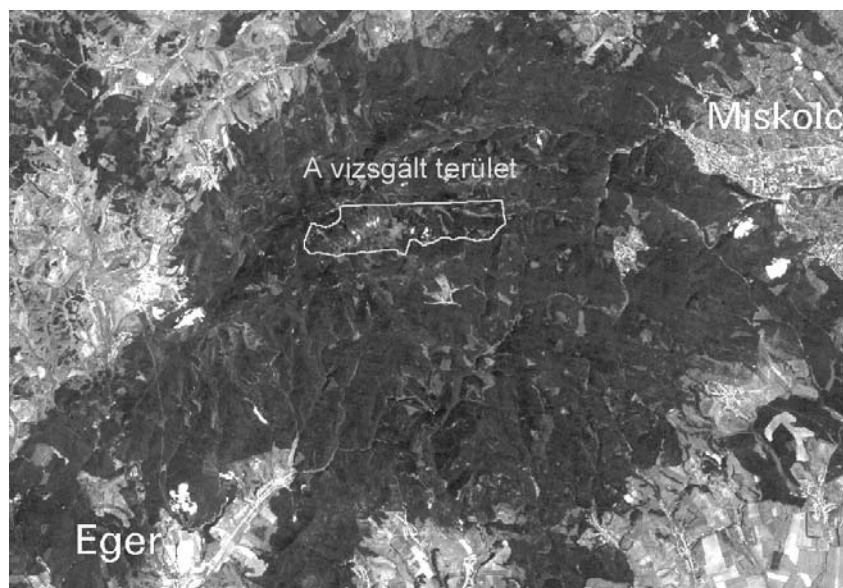
Felszínborítás alatt a Föld felszínének időben 1 évnél hosszabb periódussal változó, megfigyelhető fizikai jellemzőit értjük (BÜTTNER 2004). A karsztos területeken a felszínborítás változásai kiemelt figyelmet érdemelnek, mert e folyamatok szoros összefüggésben vannak a terület vízháztartásával, az ökológia viszonyokkal, a talaj állapotával, összességében a karsztökológiai rendszerrel, melyben – a rendszer érzékenysége miatt – bárhol bekövetkező változások a rendszer egészére lesznek hatással (KEVEINÉ BÁRÁNY 2004).

A változások jól nyomon követhetők térinformatikai eszközök alkalmazásával, melyre magyarországi karsztokon – az Aggteleki Nemzeti

¹ Készült a T048356 sz. OTKA támogatásával.

Park területére – *MARI* (2002) mutatott be példát. Nagy kiterjedésű, egész Európára kiterjedő felszínborítás vizsgálatok a CORINE program keretében zajlanak, az ezzel kapcsolatos elemzések leginkább a területhasznosítás változásaira koncentrálnak (*BÜTTNER* 2004). Időben hosszabb távra visszatekintve katonai felmérések alapján már a XVIII. századtól kezdve rendelkezésre állnak térképi információk, ez alapján *NAGY* (2004) szintén az Aggteleki Nemzeti Park területére vizsgálta a területhasznosítás változásait, melyben a szántók, szőlők és gyümölcsösök visszaszorulására, ezzel párhuzamosan viszont a száraz gyepek, a cserjések, és a lombos erdők területének számottevő növekedésére következtetett. Jelen munkában a Bükk-fennsík karsztos területén vizsgáltuk a felszínborítás változásait az elmúlt közel fél évszázad távlatában légi-, és műholdfelvételek felhasználásával.

A vizsgált terület felszínborításának jellemzése



1. ábra: A vizsgált terület elhelyezkedése LANDSAT műholdfelvételen
Fig.1: Location of the investigation area on the LANDSAT satellite imagery

A mintaterület kiválasztásánál fontos szempont volt a Bükk-fennsík területére már korábban bemutatott térinformatikai adatbázis, mely a Lusta-völgy – Nagymező – Fekete-sár-rét vonalát követi, és mintegy 1500 hektáros területet ölel fel (*1. ábra*). A terület igen nagy dolinasűrűséggel jellemezhető, 1500 hektáros területen 275 dolina található (*ZBORAY – KEVEINÉ BÁRÁNY* 2004).

A 700-950 m magas Nagy-fennsíkon az ország legnagyobb, legszebben fejlett hegyi (montán) bükkösei élnek. A világosszürke, sima törzsű bükk tiszta állományába csak ritkán elegyedik egy-egy magas kőris vagy hegyi juhar.

A bükkösök irtása a XVIII. század második felében kezdődött. A Nagymezőn egy-egy magányosan álló idős faóriás ennek az egykori erdőnek az emlékét őrzi (*1. kép*). Az irtások nyomán alakultak ki a hegyi rétek, melyek nagy területeken egybeesnek a dolinákkal. Itt a derült, szélcsendes éjszakákon még a meleg nyári napok után sem ritka a fagypont körüli hőmérséklet, alkonyat táján a fagy. A szélsőséges mikroklíma, valamint a dolinák területén jelentkező igen élénk relief megnehezíti, vagy sok esetben nem is teszi lehetővé a fás növényzet újbóli megtelepedését (*KEVEINÉ BÁRÁNY* 1981).



1. kép: Idős faóriások a Nagymezőn, háttérben a telepített fenyvesek (a szerző felvétele)
Picture 1: Old trees on the Nagymező (Bükk-Plateau), and spruce plantation in the upstage

A nyár elején színpompás hegyi kaszálórét, szőrfüves gyepek – melyeket több-kevesebb rendszerességgel kaszáltak és legeltettek – számos növényritkaságnak adnak otthont. A rétek egy része lehetséges, hogy természetes eredetű, ez magyarázhatja hidegkedvelő maradványfajokban való gazdagságukat (*NÉMETH – SEREGÉLYES* 1981). A ritkaságok közt említ-

hető a Nagy-mező egyik töbrében meghúzódó, kárpáti jellegű északi pofóka vagy sárkányfű, amely hazánkban csak itt él.

A Bükk hegységben a boróka és a tiszafa kivételével az összes fenyőfa mesterségesen telepített. Többségükkel a Nagy-fennsík irtásait kísérelték meg újra fásítani. A nagyobb területekre kiterjedő fenyvesítés programja az 1950-es évek elején fogalmazódott meg, amikor is szállóige lett az erdőben és fában való szegénységünk (JÁRÁSI 2002).

A fenyő a Bükk-fennsíkon tájidegen, telepítése ökológiai szempontokból is igen káros. Mivel szerkezete, anyag-, és energiaforgalma gyökeresen különbözik a megelőző lomboserdőtől, az eredeti növény-, és állatvilág teljesen elszegényedik, túlnyomó része kipusztul. A rengeteg lehulló tűlomb nem képes elbomlani, mert hiányzik az ehhez szükséges baktériumflóra és gerinctelen fauna, vagy legalább is nem elég hatékony ezen a klímán, így megakad a talaj tápanyag-visszapótlása. A fenyőerdőben – a megváltozott aljnövényzet és a savanyú humuszanyagok következtében – megnő a talajok kilúgozódása, ami negatív hatással van a karszt fejlődésére (KEVEINÉ BÁRÁNY 2003).

A Bükki Nemzeti Park törekszik a tájidegen fenyők (elsősorban lucfenyő) visszaszorítására, a fenyvesek átalakítására, a gazdasági és természetvédelmi szempontból is célszerűbb ősi bükkösök visszatelepítésére.

Módszerek

A vizsgálathoz a katonai térképészeti archívumában található légifelvételeket használtuk (*I. táblázat*). A légifelvételek fotogrammetriai feldolgozása során korrigáltuk a centrális vetítés és a domborzat okozta torzításokat, ezzel a térképek geometriájával teljesen megegyező digitális adatokat, ortofotókat állítottunk elő. Az ortofotók lehetőséget adnak arra, hogy az egyes időpontok felvételeit azonos nagyságú ablakokban, azonos méretarányban és felbontásban elemezhessük, a felvételek képi tartalmát közvetlenül összehasonlíthassuk (ZBORAY 2006).

A vizuális interpretáción túl az 1992-es lombtalan színes felvételeken alkalmaztuk a felügyelt osztályozást, ami lehetőséget adott a főbb felszínborítási kategóriák területarányainak meghatározására, ismert felszínborítási területek – tanulóterületek – kijelölése alapján. E módszer segítségével elemeztük a területről rendelkezésre álló LANDSAT műholdfelvételeket is.

A felszínborítás vertikális kiterjedésének változásait az égboltláthatósággal vizsgáltuk, amihez digitális felületmodelleket használtunk. A felületmodellekből származtatott adatoknak legfőbb előnye, hogy grafikusan

ábrázolja a vizsgált területen az erdőmagasságot, ami átlagos famagasság vizsgálatokhoz, statisztikai elemzésekhez jól használható (TANÁCS 2006).

1.táblázat

Table I.

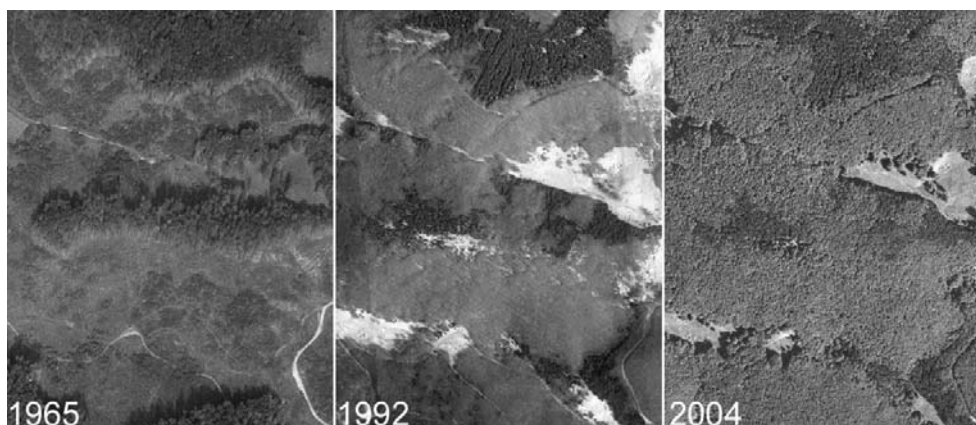
Az idősoros vizsgálat légifelvételeinek jellemzői

Descriptions of the time-series aerial images (date, scale, resolution, canopy, colour depth)

<i>A légifelmérés ideje</i>	<i>Méretarány</i>	<i>Felbontás</i>	<i>Lombkorona</i>	<i>Színmélység</i>
1965. június 7.	1:20000	0,25 m	lombos	fekete-fehér, 8 bit
1992. április 2.	1:5000	0,1 m	lombtalan	színes, 24 bit
2004. július 14.	1:30000	0,5 m	lombos	színes, 24 bit

A felszínborítás változásainak bemutatása archív és jelenkori légifelvételek összehasonlításával

Időrendi sorrendben a legrégebbi az 1965 nyarán készült légifelvétel sorozat. Ebben az időszakban az alacsonyan megállapított vágásérettségi kor, valamint az évszázadokon keresztül legeltetett és a nagyobb fűtermés érdekében többször felgyújtott, vadkárosított erdőrészek faanyagának gyenge minősége miatt nagy területeken írtak elő véghasználatot (JÁRÁSI 2002), ami a fennsíki területeket is érintette (2. ábra).



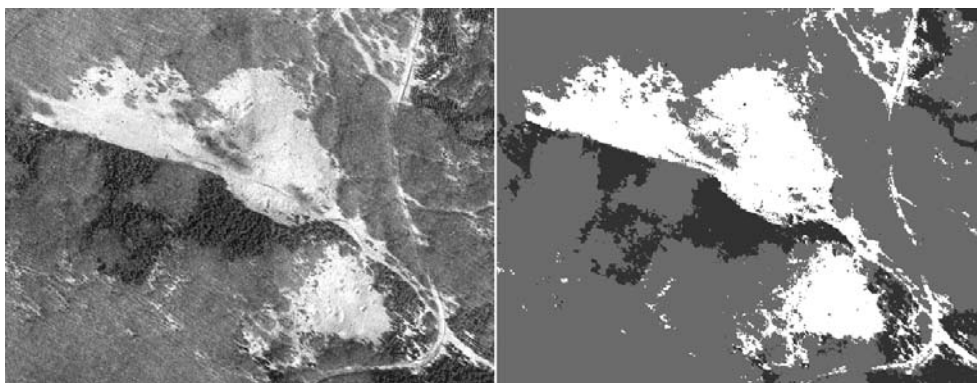
2. ábra: Az idősoros vizsgálat légifelvételei (ortofotók), azonos területen

Fig.2: Time-series aerial (ortho)images of the same area

A rendelkezés végrehajtását az 1965-ös felvételek folyamatában rögzítették. A felvételeken látható, hogy az idős bükkösök egy részét (a gerincekről) még nem vágták ki, a körülötte lévő területekről (a hegyoldalakon, és a völgyben) azonban már igen. A kivágott fák helyén az újulat foltokban

már látható. Később a megmaradt idős fákat is kivágták, majd nagy területeken – a korábban már vázolt okok miatt – fenyvesítés kezdődött.

Az 1992-es légifelvétel sorozaton különböztethető meg legjobban a felszínborítás három fő típusa, a fenyő, a lombhullató erdő, és az erdőborítás nélküli nyílt területek. Színes megjelenítésben a különbségek még szembe-tűnőbbek. Mivel lombtalan időszakban készültek a felvételek, a zöld szín a fenyő (vörös-, és lucfenyő), a barna árnyalatai a lombhullató erdők, míg a fehérhez közeli színek a nyílt területekre utalnak. A színbeli elkülönülés igen markáns, ami lehetővé teszi a felszínborítási kategóriák osztályozását tanulóterületek segítségével (3. ábra).



3. ábra: Felügyelt osztályozás nagyméretarányú lombtalan légifelvételeken a fenyő, lombhullató erdő, és a nyílt területek esetén (sorrendben fekete, szürke, fehér színnel)

Fig. 3: Supervised classification of the large scale aerial images, class names: pine trees (with black color), deciduous trees (with grey color), open area (with white color)

Az osztályozáshoz a LEICA ERDAS IMAGINE 9.1 képfeldolgozó szoftvert használtuk. Az egyes kategóriákon belül – ahol biztosak lehettünk a felszínborítás típusában – tanulóterületeket jelöltünk ki. A szoftver minden egyes pixelhez megkeresi a tanulóterületekhez legközelebb eső kategóriát, és ez alapján létrehozza az osztályozott képet. A térinformatikai feldolgozás előnye, hogy a pixelszámokhoz területnagyság rendelhető, így meghatározható a három fő felszínborítási kategória megközelítő területaránya. Megjegyzendő, hogy az osztályozáshoz hasonlóan sokszor a valóságban is keverednek a felszínborítási kategóriák, ezért nem lehet éles határt húzni – és pontos területarányokat megadni – az egyes osztályok között.

Az osztályozás eredményeképpen a mintaterületen a fenyő területaránya 16 %. A Nemzeti Park tervei szerint a fenyő előfordulási arányát – mely a Nemzeti Park egészére nézve 6-8 % – kívánatos lenne – elsősorban a

tervezett 'A' zónákra és a fokozottan védett területeken végzett szerkezetátalakítások után – legalább a felére csökkenteni (CSIKOS 2005).

A nyílt terület nagysága – mely a hegyi rétek és gyepterületek mellett a faállománnyal nem borított tisztásokat, az erdősítések záródáshiányát, a nyiladékokat, valamint az erdei utakat is magában foglalja – együttesen 20 %.

A felszínborítás jelenkori állapotát a 2004-es légifelvétel sorozat mutatja. A Nemzeti Park törekvései a fenyő visszaszorítására az ortofotók összehasonlítása alapján a mintaterületen is követhető. Több területen, mintegy 20 hektárral (16 %-ról 14,5 %-ra) csökkent a fenyő területaránya a mintaterület egészéhez képest. Különösen a turisztikailag igen frekvenciált Nagymező környéki fenyvesekben történtek komolyabb változtatások (4. ábra).

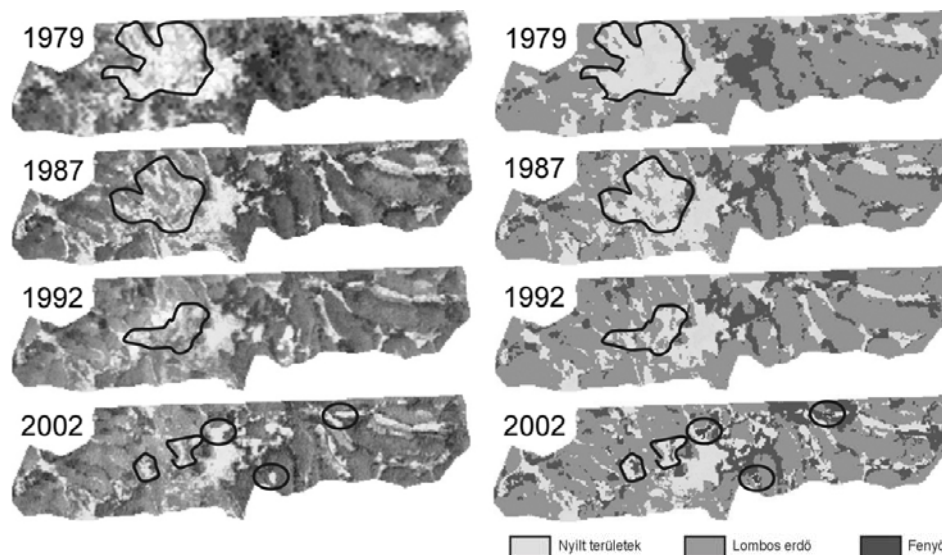


4. ábra: A tájidegen fenyvesek visszaszorítása a Nagymező É-i részén
Fig. 4: Suppressing of the spruce trees in the northing of the Nagymező

LANDSAT műholdfelvételek idősoros vizsgálata

A felszínborítás vizsgálataihoz – különösen nagyobb területek esetén – műholdfelvételeket használnak (BÜTTNER 2004). Bükk-fennsíki mintaterületünk ebben a léptékben mérve igen kicsi, a LANDSAT műholdképek terepi felbontása (25 m) meg sem közelíti a légifelvételekét. Az egyes felszínborítási típusok – a műholdfelvétel pixelein belüli – nagyfokú keveredése miatt statisztikai összevetésük a légifelvételekből interpretált adatokkal megkérdőjelezhető, az irányított osztályozás hibás eredményre vezethet. Mégis úgy ítéltük meg, hogy érdemes bemutatni egy ilyen idősort is, mert a felszínborítás típusainak területarányai – ha közelítőleg is – jól látszanak, a felvételek összevetésével az arányok változásai elemezhetők. A LANDSAT felvételek előnyös tulajdonsága, hogy infra – továbbá termális – sávokat is tartalmaz,

ami a felszínborítás típusainak jobb elkülönítésében segítséget jelenthet (5. ábra).



5. ábra: A mintaterület LANDSAT műholdfelvételeinek idősorai, és osztályozásuk.
Fig. 5: Time-series LANDSAT satellite imagery and classification of the study area

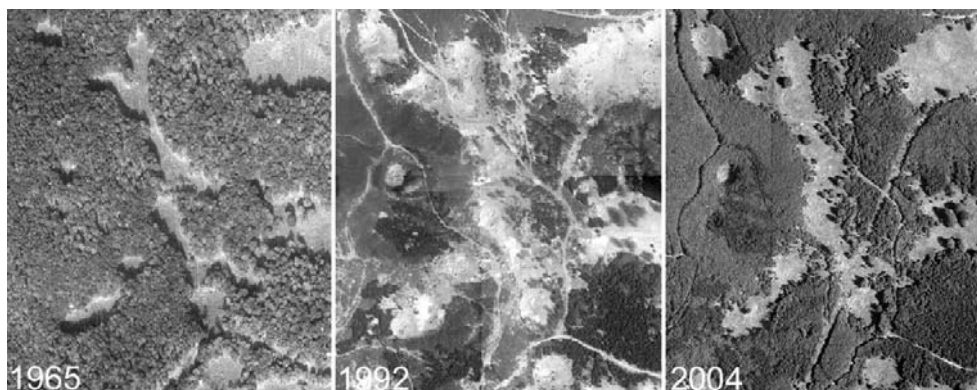
A műholdfelvételek alapján a mintaterület fokozatos visszaerdősülésére következtethetünk. Az 1979-es felvétel jelölt területén – a Nagymezőtől nyugatra – több száz hektáros összefüggő terület erdőborítás nélküli volt, ami az évek során fokozatosan zsugorodott, egyre kisebb területet érintett, míg végül már csak foltokban maradt fenn. A 2002-es állapot alapján következtethetünk arra, hogy a 60-as években nagy területekről kivágott bükkösök felújultak, a terület felszínborításában az erdős területek ismét dominánsak lettek. A 2002-es felvételeken látható a fenyő visszaszorítására tett kísérlet, a három bekarikázott terület a hamis színes felvételen is látszik, de a lényeges eltérés a műholdfelvétel sávokat elemezve jelentkezik. Az osztályozott képen sötét foltként látható, de minden más terület spektrális képétől jelentősen eltér, így könnyen azonosítható, mint kivágott fenyves.

A felszínborítás és a dolinaterületek kapcsolata, égboltláthatósági paraméterek meghatározása digitális felületmodellek alapján

A légifelvételek felhasználásának és fotogrammetriai úton történő feldolgozásának előnye, hogy a képi tartalomból – a sztereó átfedés megléte esetén – lehetőség van a térkiértékelésre, további elsődleges magassági információk

meghatározására. A méréseknek történhetnek manuális, vagy automatikus üzemmódban. A terület felszínére vonatkozó magassági adatok előállítása – mely erdős területen a fák magasságát is tartalmazza – automatikus eljárásokkal készült a BAE SYSTEMS SOCET SET munkaállomásokon (ZBORAY 2007). A felületmodellek formátuma – a digitális domborzatmodellekhez hasonlóan – szabályos rács. A felületmodelleket lombos légifelvételek felhasználásával lehet előállítani, ezt a követelményt az 1965 és 2004. évi légifelvételek teljesítették, az 1992-es sorozat lombtalan felvételein az automatikus mérés a földfelszín magasságát méri a lombkoronaszint helyett. Az égboltláthatóság vizsgálatához a felületmodelleket alapadatként használtuk fel.

A Veres-sár-völgyben lévő dolinasor jól példázza a dolinaterületek és a felszínborítás kapcsolatát (6. ábra). A völgyben lévő dolinák területén a peremektől a dolina mélyebb részei felé haladva – a már említett fagyhatás következtében – erdőborítás nélküli területeket találunk.



6. ábra: A mikroklima következtében erdőborítás nélküli területek a Veres-sár-völgy dolináiban
Fig. 6: Dolines without forest through by microclimate in the Veres-sár-valley

A felszínborítás változásainak megítélésében ezért a dolinaterületek környezetét viszonyítási alapnak tekintettük:

1. Amennyiben egy dolina környezetében nagymagasságú, idős bükkösök helyezkednek el, akkor a dolina területéről nézve az égboltláthatóság korlátozott.
2. A környező fák kivágása esetén a megszűnik az árnyékoló hatás, ennek következtében az égboltláthatóság nagyobb lesz.

Az égbolt láthatóságát a Sky View Factor (SVF, értéke: 0 és 1 között lehet) adja meg. Maximális (100 %) az égboltláthatóság abban az esetben, ha a félgömbnek megfelelően a teljes égbolt látható. Ez hegyvidéki területe-

ken sosem fordul elő, a Bükk-fennsíki Nagymező kivételnek számít, bizonyos pontjaiban az égboltláthatóság 94-95 %.

A dolinaterületeken belül a domborzat már önmagában árnyékoló hatással van a környező hegyvonulatok miatt (például egy völgyben lévő dolina esetén), ezen kívül a dolina alakja – mélységi viszonyai, amit a felszín/terület hányadossal lehet jól kifejezni (ZBORAY – KEVEINÉ BÁRÁNY 2005) – is nagyban meghatározza az égbolt láthatóságát.

Az égboltláthatóságot a felületmodelleken számoltuk az ERDAS IMAGINE 9.1 ATCOR modul alkalmazásával.

Az átlagos égboltláthatósági adatokat a dolinaterületekre számítottuk, és az adatokat Excel táblázatba rendeztük (II. táblázat). A dolinaterületeken belül a SVF értékek szintén a mérések átlagai, így az esetleges mérési hiba már a dolinaterületeken belül sem lesz meghatározó (feltételezve, hogy a helyes mérések vannak túlsúlyban), ami a 275 dolina átlagánál már bizonyosan nem lesz számottevő. A jövőben az égboltláthatóság értékeire tervezünk ellenőrző méréseket – halszemobjektívvel felszerelt digitális kamerával (UNGER *et al.* 2006) –, ez a jelen munka időbeni keretei között nem volt megvalósítható.

II. táblázat
Table II.

Az égboltláthatóság értéke 275 dolina átlaga alapján
Sky view factor (SVF) of the study area based on 275 dolines average SVF

	A Sky View Faktor (SVF) értéke		
	Domborzat esetén	Felületmodellek esetén	
		1965. évben	2004. évben
Átlag	0,84	0,77	0,75
Szórás	0,03	0,08	0,07
Minimum	0,74	0,56	0,50
Maximum	0,95	0,92	0,94

Az előzetes elgondolást igazolják a táblázat számai, a felszínborítás csökkenti a dolinák területén az égboltláthatóságot. Az SVF értékek alapján a felszínborítás közel változatlan állapotára következtethetnénk. Munkánkban bemutattuk, hogy az időszak kezdetén és utána a felszínborítás tekintetében komoly beavatkozások történtek, amit szakirodalmi hivatkozások, műholdfelvételek és a köztes időpont légifelvételeinek tanulmányozása is alátámaszt. Így valószínűsíthető, hogy a 2004. évre a mintaterületen az erdőborítás a dolinák környezetében közel hasonló – vagy azt kissé meghaladó – mértékűre növekedett, mint az 1965. évben volt. Bízunk benne, hogy a

jövőben végrehajtott légifelmérések és műholdfelvételek adatait jelen vizsgálatunkkal összehasonlítva további növekedésről adhatunk majd számot.

Összefoglalás

A felszínborítás változásainak vizsgálatára a légifelvétel idősorok jól használhatók. Amennyiben a légifelvételekből ortofotókat állítunk elő, a képek egymással összevethetők, a változások térinformatikai adatbázisok meglévő adataival együtt vizsgálhatók. A képi információkon túl, számszerűsíthetjük a változások nagyságrendjét, területi elhelyezkedését. Felügyelt osztályozással, tanulóterületek segítségével vizsgáltuk a felszínborítás főbb típusait, azok arányait összehasonlítottuk a Nemzeti Park területére vonatkozó adatokkal. Különösen a fenyő területi elhelyezkedését elemeztük, mivel a fenyvesek jelenléte ökológiailag tájidegen, területarányának csökkentése indokolt. Az eredmények alapján ezek a folyamatok kedvező irányba mozdultak el. Sztereo-fotogrammetriai módszerrel – a térkiértékelés lehetőségeit kihasználva – vertikális változások is kimutathatók, a mért adatokat felületmodellek tárolják. A felületmodelleket alapadatként használtuk a dolinaterületeken bekövetkezett égboltláthatóság változásainak vizsgálatához. Az égboltláthatóság korlátozott mértéke utal azokra a területekre, ahol a mikroklíma következtében nem lehetséges a fásítás. A vizsgálat alapján a kiinduló és jelen állapot felszínborítása hasonló mértékű. Figyelembe véve a köztes időkben történt nagymértékű beavatkozásokat, a jelen folyamatokban az erdőterületek növekedését, a természetvédelmi szempontokat szem előtt tartó, pozitív irányú tendenciák kibontakozását látjuk.

IRODALOM

- BÜTTNER GY.* (2004): Környezetállapot értékelés távérzékelés segítségével, informatikai vonatkozások. – Környezetállapot értékelés Program Munkacsoport tanulmányok 2003-2004, Kézirat, p. 7-13.
- CSIKOS V.* (2005): A Bükk Nemzeti Park erdeinek jellemzése. – A Bükk Nemzeti Park hivatalos weboldala, www.bnpi.hu
- JÁRÁSI L.* (2002): Kincstári és uradalmi erdőgazdálkodás. – In: *BARÁZ Cs.* (szerk.): A Bükk Nemzeti Park – Bükk Nemzeti Park Igazgatósága, Eger, p. 455-466.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (1981): A dolinák fejlődésének ökológiai szabályozottsága. – Kandidátusi értekezés, Kézirat, p. 47-52.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2003): Tájszerkezet és tájváltozás vizsgálatok karsztos mintaterületen. – Tájökológiai Lapok 1 (2), p. 145-151.

- KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2004): A karsztökológiai rendszer szerkezete és működése. – Karsztfejlődés IX. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 65-76.
- MARI L.* (2003): Felszínborítás-változás vizsgálata térinformatikai módszerekkel az Aggteleki Nemzeti Park területén. – Karsztfejlődés VIII. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 231-243.
- NAGY D.* (2004): A történeti tájhasználat és felszínborítás rekonstrukciójának lehetőségei archív térképek feldolgozásával. – Környezetállapot értékelés Program Pályázati tanulmányok, Kézirat, p. 22-36.
- NÉMETH F. – SEREGÉLYES T.* (1981): Ne bánts a virágot - Néhány ritkaság a hazai növényvilágból. – Országos Környezet-, és Természetvédelmi Hivatal, Budapest, 35. p.
- TANÁCS E.* (2006): Terepmodellből származtatott famagasság térkép felhasználhatóságának vizsgálata karsztos területen. – Tájökológiai Lapok 4 (2), p. 291-300.
- UNGER J. – GÁL T. – BALÁZS B. – SÜMEGHY Z.* (2006): A városi felszíngeometria és a hőmérséklet területi eloszlása közötti kapcsolat Szegeden. – Táj, környezet és társadalom, SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged, p. 735-746.
- ZBORAY Z. – KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2004): Domborzatértékelés a Bükk-fennsíkon légifelvételek felhasználásával. – Karsztfejlődés IX. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 207-213.
- ZBORAY Z. – KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2005): A dolinák korróziós felszínének meghatározása digitális domborzatmodell alapján. – Karsztfejlődés X. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 221-228.
- ZBORAY Z.* (2006): A fotogrammetria alkalmazásának lehetőségei a karsztok domborzatának vizsgálatában. – Táj, környezet és társadalom, SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged, p. 767-773.