

# Település beépítettségének mérése idősoros vegetációs index alapú elemzéssel

*Henits László – Mucsi László*

## Bevezetés

Az idősoros vegetációs indexek (VI), mint például a Normalizált Vegetációs Index (NDVI), hagyományosan a kis időfelbontású műholdak szenzorai (NOAA AVHRR, MERIS, SPOT VEGETATION, MODIS stb.) által készített felvételekből állíthatók elő globális léptékben, akár naponta is. Az idősoros adatok hatékony elemzésének kidolgozása a távérzékeléses kutatások egyik legfontosabb kérdése [Bruzzone et al., 2003]. Különösen az NDVI alapú adatsorok alapvető fontosságúak a növények fenológiai vizsgálatában és a vegetációs fejlődés számszerű megfigyelésében [Tucker and Sellers, 1986, Hall-Beyer, 2003; Pettorelli et al., 2005]. Széles körben használhatók a növényzet biofizikai tulajdonságainak térbeli és időbeli monitoringjára, főként a levélborítottság (LAI), vagy a pigment tartalom mérésére [Dash and Curran, 2004; Feng et al., 2006; Tímár et al., 2006]. Az említett szenzorok nagy előnye, hogy az űrfelvételek nagyon jó időfelbontással készíthetők, ami a viszonylag kis terepi felbontás ellenére jó alapot biztosít az NDVI mérésére, számítására, ugyanakkor a hosszabb vizsgálati időperióduson belül kiküszöbölhetők a felhővel fedett időszakok. Azonban, ahol a felszínborítás táji mintázatának léptéke kisebb (<250 m) mint az említett szenzorok 250–1100 m közötti térbeli felbontása, ott a táj kisléptékű spektrális változékonysága sok spektrálisan vegyes képelemet eredményez.

Ilyen kisfelbontású képek esetében a hagyományos pixelalapú (képelem alapú) osztályozás nem ad választ arra a kérdésre, hogy az egyes képelemek értékét milyen arányban határozzák meg a fő felszínborítási típusok területi arányai és reflektancia tulajdonságai. A városi területek esetében a mesterséges felületek, vagy a növényzettel fedett felszínek pixelalapú meghatározása akkor lehetséges,

ha az alkalmazott szenzor térbeli felbontása eléri vagy megközelíti a városi reflektancia térbeli léptékének értékét. Ez az érték azonban a különböző városok vagy akár a város eltérő beépítettségű területein más-más lehet. Korábbi kutatásaink [Henits, 2007] alapján ez a lépték Szegeden 10–60 m között változik, így a közepes felbontású űrfelvételek (pl. Landsat TM, SPOT HRV) már alkalmasak lehetnek a pixelalapú NDVI értékek kiszámítására, különösen akkor, ha olyan paramétert sikerül belőlük levezetni, amely utalhat a pixelen belüli főbb felszínborítási típusok területi arányaira. A nagyfelbontású felvételek a városi környezetben ugyan kevesebb spektrálisan vegyes képelemet tartalmaznak, mint a közepes felbontású felvételek, de az idősoros elemzéshez szükséges többszöri felvételezés nagyon megrálgítja az ilyen felvételek alkalmazását.

Hazánkban az 1990-es évek elejétől a vegetációs indexeket kezdték használni a városi felszínnek vizsgálatában is [Mezősi and Mucsi, 1994; Unger et al., 2001; Mucsi et al., 2007], miután bizonyítottá vált, hogy az NDVI érték az egyik legjobb indikátora a városklímának, mivel a városi és a falusias területek NDVI értékei, valamint a minimum lég- és felszínhőmérsékleti értékek között szoros kapcsolat mutatható ki [Gallo et al., 1993]. Az NDVI értékek és a felszínhőmérséklet (LST) kapcsolata alapján származtathatók és értékelhetők egyéb paraméterek is, mint pl. a növényfedettség aránytényező vagy a talaj nedvességtartalma, melyek fontos paraméterei a városklíma modelleknek [Carlson et al., 1995; Gillies and Carlson, 1995; Gillies et al., 1997; Goward et al., 2002].

A nagyobb NDVI értékek a képelemen belül tipikusan nagyobb növényborítottságra utalnak. A növényzet az evapotranspiráció révén befolyásolja a felszín légkör felé irányuló látens hőfluxusát. Az alacsonyabb felszínhőmérséklet általában (a vízfelületek kivételével) a magasabb NDVI értékű területeken lehet mérni, és ez

az NDVI–LST közötti negatív korreláció a városklíma kutatás egyik fontos eredménye. A növényzet fejlődése azonban az NDVI értékek évszakos változását eredményezi, így annak kapcsolata a városi felszínhőmérsékletével, és ebből következően a városi hősziget kialakulásával, mértékével szintén évszakos különbséget mutat. Az NDVI és az LST értékek közötti kapcsolat nemlineáris, a nyílt talajfelszínek felett mért hőmérsékletek sokkal nagyobb változékonyságot mutatnak, mint a növényzettel sűrűn borított felszínek esetében [Price, 1990; Carlson et al., 1994; Gillies and Carlson, 1995; Owen et al., 1998]. A változékonyság és a nemlineáris kapcsolat feltételezi, hogy az NDVI értékek egyedül biztosan nem elegendők a városi hőszigetindex kvantitatív elemzéséhez. Weng és társai [2004] az NDVI értékek helyett a spektrálisan vegyes képelemek spektrális szétválasztási modelljéből (SMA) levezethető növényfedettség aránytényezőt javasolták új indikátorként használni. Azt találták, hogy ennek a tényezőnek sokkal erősebb a negatív korrelációja a felszínhőmérséklettel, mint az NDVI értéknek. Bár a növényfedettség aránytényező előállításuk különbözik az NDVI értéktől, az továbbra is egyfajta vegetációs indexnek tekinthető, melynek szoros a korrelációja az NDVI értékekkel [Carlson and Ripley, 1997; Gutman and Ignatov, 1998].

Egyetlen űrfelvétel azonban nem elegendő annak megállapítására, hogy az adott időpontban az NDVI értékek milyen kapcsolatban vannak a felszínborítással, mert a növényzet NDVI értékeit többek között a korábbi klimatikus feltételek (csapadékeloszlás, hőmérsékletjárás) vagy a növényzet kora határozzák meg. A közepes és nagyfelbontású szenzorok csak korlátozottan alkalmasak az NDVI idősoros monitoringjára. Rendelkezésre állhatnak azonban adatbázisokban olyan egy éven belüli űrfelvételek, amelyek felhőmentesek, és a városi növényzet fenológiai fázisán belül több alkalommal is mutatják a felszínborítás aktuális állapotát. Ezeket az űrfelvételeket kigyűjtve már lehetőség adódhat, hogy az egyedi NDVI térképek alapján olyan statisztikai paramétereket számoljunk, amelyek integrálják az évszakos változásból adódó különbségeket a városi térben, és vizsgálható ezen paraméterek

kapcsolata a beépítettség különböző forrásokból származó adataival, illetve a városi hősziget intenzitás értékeivel [Mucsi et al., 2010].

## Felhasznált adatok

Kutatásunk során törekedtünk arra, hogy egy éven belül minél több, minél szélesebb időintervallumot felölelő, azonos szenzorral (Landsat TM) készített űrfelvétel álljon rendelkezésünkre. A Landsat-5 műholdak egy adott területről 16 naponta biztosítanak ismételt fedést, így az egymáshoz időpontban legközelebb álló képek minimum 16 nap eltéréssel készültek. Több esetben azonban a sorrendben következő felvételt nem sikerült felhasználnunk, mivel az adott időpontban készült kép a felhőborítás miatt alkalmatlan volt a további vizsgálatokhoz.

Az űrfelvételeket az Amerikai Geológiai Szolgálat (USGS) internetes adattárából<sup>1</sup> töltöttük le. Az 1986-os évre sikerült 8 olyan Landsat-5 TM felvételt találnunk Szegedről (április 16., május 02 és 18., június 19., július 05., augusztus 22., szeptember 07., október 25.), amelyek megfeleltek az említett kritériumoknak. Mindegyik kép UTM vetületi rendszerbe volt transzformálva (WGS84 ellipszoid és 34-es zóna). A későbbi évekből ilyen nagyszámú felvétel vagy nem volt letölthető, vagy a felhőborítás miatt nem voltak alkalmasak az elemzésre. A validáció során egy 1987. július 24-i Landsat TM űrfelvételt használtunk fel.

A Landsat-5 TM intenzitásértékeit atmoszférikus korrekcióval reflektancia értékké alakítottuk át egy ERDAS IMAGINE-ban létrehozott modell segítségével [Chavez, 1996, Chander and Markham, 2003]. A kalibrált intenzitásértékeket ( $Q_{cal}$ ) radiancia értékké ( $L_{\lambda}$ ) konvertáltuk első lépésként a következő egyenlet szerint:

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max}} \right) \times Q_{cal} + LMIN_{\lambda},$$

ahol

$L_{\lambda}$ : a szenzor nyílásán mérhető spektrális sugárzás (radiancia)  $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ;

<sup>1</sup> <http://glovis.usgs.gov>

$Q_{cal}$ : a számított kalibrált pixelérték intenzitás-értéke (DN);

$Q_{calmin}$ : a számított minimális kalibrált pixelérték (DN=0);

$Q_{calmax}$ : a számított maximális kalibrált pixelérték (DN=255);

$LMIN_{\lambda}$ : a spektrális sugárzás (radiancia), amit a  $Q_{calmin}$ -hez skáláznak  $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ;

$LMAX_{\lambda}$ : spektrális sugárzás (radiancia), amit a  $Q_{calmax}$ -hoz skáláznak  $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ .

A fenti egyenlet átírható a következő alakba:

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale}, \text{ ahol}$$

$$G_{rescale} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax}} \right);$$

$$B_{rescale} = LMIN_{\lambda}.$$

A  $G_{rescale}$  és  $B_{rescale}$  sávspecifikus értékek, amiket a műholdképhez tartozó információs fájl segítségével tudunk kiszámítani.

Mindegyik sávra kiszámítottuk a sötét objektum elméleti sugárzási értékét, amiről feltételezhető, hogy a reflektancia 1%-a, [Chavez, 1996; Moran et al., 1992] és az atmoszférikus korrekciót a kiszámított sötét objektum értékével korrigáltuk

$$L_{\lambda, haze} = L_{\lambda, min} - L_{\lambda, 1\%}, \text{ ahol}$$

$L_{\lambda, haze}$ : az adott hullámhossztartományban az atmoszférikus korrekció utáni radiancia,

$L_{\lambda, min}$ : a radiancia értéke a minimum értékekkel történt korrekció után,

$L_{\lambda, 1\%}$ : a radiancia értékének 1%-a [Chavez, 1996].

Az egyesített felszíni és atmoszférikus reflektanciát az alábbi képlettel kaphatjuk meg:

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s}, \text{ ahol}$$

$\rho_p$ : mértékegység nélküli, a Földre értelmezett reflektancia,

$L_{\lambda}$ : a szenzor nyílásán lévő spektrális sugárzás (radiancia),

$d$ : Föld-Nap távolság csillagászati egységben [Markham and Barker, 1986] (1. táblázat),

$ESUN_{\lambda}$ : a Nap átlagos exoatmoszférikus besugárzása [Markham and Barker 1986] (2. táblázat),

$\theta_s$ : a Nap tetőpontjának szöge fokban (zenit).

1. táblázat

Az év napja	Távolság	Az év napja	Távolság	Az év napja	Távolság	
1	0,9832	121	1,0076	242	1,0092	
15	0,9836	135	1,0109	258	1,0057	
32	0,9853	152	1,014	274	1,0011	
46	0,9878	166	1,0158	288	0,9972	
60	0,9909	182	1,0167	305	0,9925	
74	0,9945	196	1,0165	319	0,9892	
91	0,9993	213	1,0149	335	0,986	
106	1,0033	227	1,0128	349	0,9843	
<b>Az év napja (Julianusz naptár)</b>					<b>365</b>	<b>0,9833</b>

2. táblázat

ESUN= W/(m <sup>2</sup> ·μm)		
Sávok	Landsat 4	Landsat 5
1	1957	1957
2	1825	1826
3	1557	1554
4	1033	1036
5	214,9	215
7	80,72	80,67

## Módszerek, eredmények

Az NDVI az egyik legszélesebb körben alkalmazott vegetációs index, amelynek az alkalmazhatóságát a műholdas kiértékelésekben és a globális növényborítás monitoringjában az elmúlt két évtizedben kellőképpen igazolták [Liu and Huete, 1994; Leprieur et al., 2000].

Az alábbi képlettel adható meg:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}, \text{ ahol}$$

IR a felszín infravörös reflektanciája, míg R a vörös reflektancia értéke.

Minden pixel -1 és +1 közötti értéket vesz fel, minél nagyobb ez az érték, annál dúsabb, egészségesebb a növényzet.

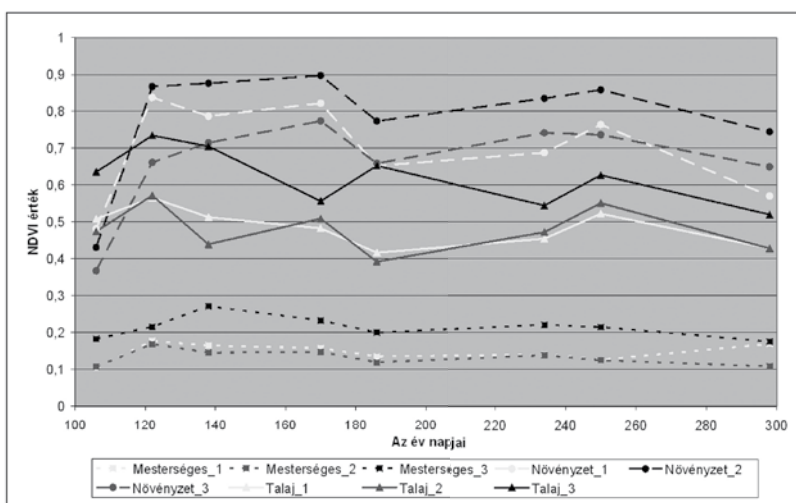
Az egyedi képek NDVI értékeinek elemzése során mindig felvetődik az a kérdés, hogy homogen növényfoltok esetében a kapott értékek a korábbi, dinamikusan változó klimatikus feltételek (csapadék, léghőmérséklet), vagy egyéb statikus (pl. talajadottságok) feltételek eredőjeként értelmezhetők-e. Spektrálisan vegyes képelemek esetében is nyilvánvaló, hogy a mesterséges felületeket

az év különböző időszakában, különböző mértékben takarhatja ki a lombkorona, illetve a növényzet fejlődése a vegetációs időszakban kihatással van a spektrálisan vegyes képelemek subpixel alapú (pl. SMA – spectral mixture analysis, spektrális szétválasztás módszere) vizsgálatának eredményére, a szélsőpontok (endmember) aránytérképeinek értékeire. Feltételeztük, hogy ha az NDVI értékek éven belüli változását megfelelő statisztikai paraméterekkel tudjuk leírni, akkor e paraméterek segítségével egyrészt feloldhatjuk az egyetlen időpontban készített NDVI térképek statikusságát, másrészt az új statisztikai paraméterek alkalmassá válhatnak a felszínborítás térképezésére városi felszínnek esetében is, ahol a közepes felbontású űrfelvétel spektrálisan vegyes képelemeket is tartalmaznak.

Az 1986. évi vegetációs időszakot szinte teljesen lefedő Landsat TM űrfelvétel elemzése (pixelenkénti összehasonlítás, különbségképzés, statisztikai vizsgálat) után megállapítottuk (1. ábra), hogy a kiválasztott, jórészt homogén mesterséges felszíneket tartalmazó képelemek esetében az NDVI értékek éven belüli változása sokkal kisebb (0,14–0,24), mint a növényzeti foltokat lefedő képelemek esetében (0,65–0,72). A vegetációs időszakban ugyan csak 8 kép alapján számolhattunk NDVI értékeket, és a grafikus ábrázolásakor nem tanácsos diszkrét időpontokhoz köthető értékeket folytonos vonallal összekötni, mégis viszonylag ritkán adódik, hogy ilyen sok mért adat (felhőmentes űrfelvétel)

alapján tudunk NDVI értékeket számolni. Később ezt a gyakorlatot igazolta az is, hogy Szeged területét szintén lefedő 186-028-as azonosítójú Landsat TM felvételek (melyek készítési időpontjai éppen a vizsgált 187-028-as TM felvételek 16 napos időfelbontási periódusait felezik), olyan NDVI értéket adtak, amelyek pontosan illeszkedtek az 1. ábrán megrajzolt grafikonra. A város növényzettel borított területei esetében az NDVI értékek áprilistól június közepéig folyamatosan nőttek. Ezután a melegebb, szárazabb időjárás következtében az értékek kissé visszaestek, majd július végén közelítették meg a június közepén mért értéket. A szeptember közepi lokális csúcs után már folyamatosan csökkentek az NDVI értékek egészen október végéig a növények fenológiai fázisának végéig, gyakorlatilag az utolsó felhőmentes őszi kép készítésének időpontjáig. Ekkorra a lombhullató fákon elkezdődött a lombkorona ritkulása, és a levelek klorofiltartalmának csökkenése jelentős mértékűvé vált.

A kiszámított NDVI értékek statisztikai elemzése során, megállapítottuk, hogy a szórásértékek (3. táblázat) jelentősen eltérnek az egyes felszínborítási típusok esetében, kapcsolatban lehetnek a beépítettség mértékével. A görbék és a táblázat alapján megállapítható, hogy a mesterséges felszínnek éven belüli szórása alacsony ( $\sigma=0,02-0,03$ ), a növényzeté viszont magas értékekkel rendelkezik ( $\sigma>0,13$ ), míg a talaj szórásértékei a városon belül a kettő közé tehetőek ( $\sigma=0,05-0,08$ ).



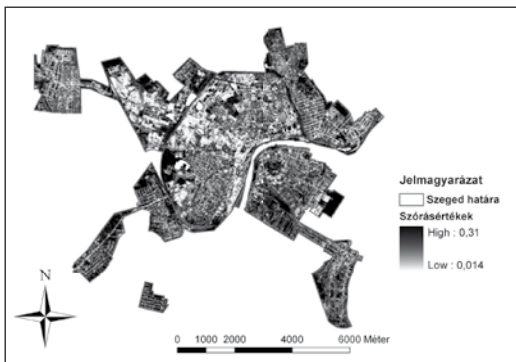
1. ábra A jellemző városi felszínborítások (mesterséges felszín, növényzet, talaj) NDVI értékeinek 1986. évi változása

3. táblázat

	mini- mum	maxi- mum	átlag	szórás
Mesterséges_1	0,03	0,18	0,13	0,03
Mesterséges_2	0,02	0,17	0,12	0,02
Mesterséges_3	0,03	0,27	0,19	0,03
Növényzet_1	0,13	0,84	0,64	0,13
Növényzet_2	0,15	0,90	0,72	0,15
Növényzet_3	0,13	0,77	0,60	0,13
Talaj_1	0,05	0,57	0,44	0,05
Talaj_2	0,06	0,57	0,43	0,06
Talaj_3	0,08	0,74	0,56	0,08

Ezért a nyolc NDVI képet bemenő adatként alkalmazva, elkészítettük a nyolc képből a település teljes belterületére az NDVI értékek szórástérképét (2. ábra), amely eredményeként minden egyes pixelre megkaptuk, hogy a vizsgált éven belül az adott képelem milyen szórásértékkel rendelkezik.

A pixelenkénti 8 NDVI értékekből számított szórásérték térbeli eloszlását térképen is ábrázoltuk. A szórásérték és a beépítettség szoros kap-



2. ábra Az 1986-os idősor 8 db NDVI képéből előálló szórástérképe

csolatát igazolta, hogy a NDVI szórástérképen – világos színnel jelölve jól felismerhetők a város belső sűrűn beépített részei, a kelet-nyugati tengelyben elhelyezkedő ipari zóna összefüggő épületegyüttese; – szürke színárnyalatúak a ritkább beépítésű, hagyományos családi- és társasházias területek a város déli, keleti és északi részén (Alsóváros, Móraváros, Rókus), és kisebb;

- sötét színű foltok jelzik a városi parkokat, temetőket, a várost védő Körteút menti erdőket, bokros füves területeket, illetve a belterület határához közeli kiskerteket, mezőgazdasági területeket.

### Pontosságbecslés

Az NDVI szórásértékek és a beépítettség közötti, a szórástérképen jól látható kapcsolatot statisztikai vizsgálattal igazoltuk. A szórástérkép validációját egy 1987. július 24-i Landsat TM úrfelvétel alapján végeztük el, amelyre a spektrális szétválasztás (SMA) módszerével előállítottuk a mesterséges felületek, a növényzet és a talajfelszínnek pixelen belüli arányait mutató térképeket. A spektrális szétválasztási vizsgálat célja, hogy meghatározzuk a pixelen belül a homogén spektrumú felszínborítási típusok az ún. szélsőpontok (*endmember*) arányát [Roberts et al., 1998]. A lineáris szétválasztási modell a következő formulával írható le

$$R_b = \sum_{i=1}^j f_i \cdot R_{i,b} + \varepsilon_b,$$

ahol

$R_b$ : a kép reflektancia értéke a b sávban,

$j$ : a szélsőpontok száma,

$f_i$ : az  $i$  szélsőpont aránytényezője,

$R_{i,b}$ : az  $i$ -edik szélsőpont reflektancia értéke a b sávban

$\varepsilon_b$ : a fennmaradó hibaérték

A szélsőpontok aránytényezőinek összege minden egyes pixel esetén 1, és  $f_i \geq 0$  is fennáll.

$$\sum_{k=1}^j f_{i,k} = 1$$

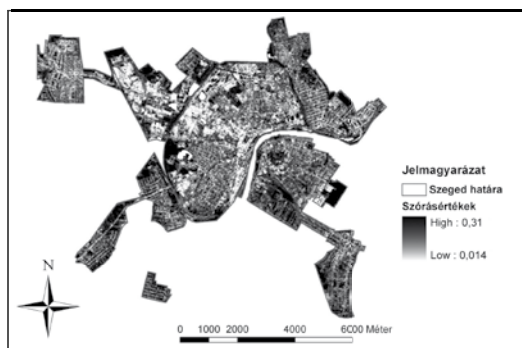
Kutatásunkban a normalizált spektrális szétválasztás (NSMA) módszerét [Wu, 2004] alkalmaztuk. Három szélsőpontot választottunk ki: a mesterséges felszín, a növényzetet és talajt.

$$\bar{R}_b = \frac{R_b}{\mu} \times 100,$$

$$\text{ahol } \mu = \frac{1}{N} \sum_{b=1}^N R_b,$$

és  $\bar{R}_b$  a sáv normalizált reflektanciája pixelenként;  $R_b$  a b sáv eredeti reflektanciája;  $\mu$  az adott pixelen a reflektancia értékek átlaga; és  $N$  a sávok száma (6 a TM képek esetében).

Az NSMA eredményei a felszínborítási típusok pixelen belüli arányait mutató térképek, amelyek az egyes felszínborítási típusok térbeli eloszlását ábrázolják. A pixelérték 0 és 1 közötti szám, 1 esetén a felszínborítási típus pixelen belüli aránya 100% (3. ábra). A művelet pixelenkénti hibaértékét is egy térkép tartalmazza.



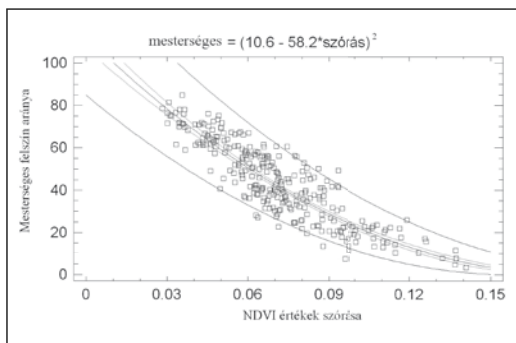
3. ábra Az 1987. július 24-i Landsat TM úrfelvételből spektrális szétválasztással kapott mesterséges felszín aránytérkép

A validáció során a normalizált spektrális szétválasztás eredményéül kapott, a mesterséges felszínek pixelen belüli arányát mutató térkép pixelértékeit hasonlítottuk össze a szórástérkép megfelelő pixeleinek értékeivel. Az ellenőrzéshez 90×90 m-es, azaz 3×3 pixeles cellákat hoztunk létre, és ezeken belül vetettük össze az adatokat. A minél pontosabb kapcsolat megállapításához 289 db ilyen cellát vizsgáltunk.

A két tulajdonság közötti törvényszerűség leírására a regresszió analízis módszerét alkalmaztuk. A regresszió előnye, hogy a független változó (x) értelmezési tartományán belül, minden x-hez becsülni tudjuk a minta alapján számított regresszióval a neki legvalószínűbb megfelelő y értéket. A 4. ábra a mesterséges felszín szórásra vonatkozó regressziós függvényének grafikonját mutatja, amelynek egyenlete:

$$y = (10,6 - 58,2 \cdot x)^2, \text{ ahol}$$

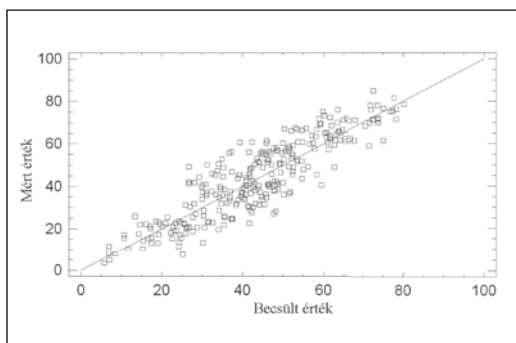
y: a mesterséges felszín százalékos aránya (0-100);  
x: az NDVI értékekből számolt szórásérték.



4. ábra Az NDVI értékek szórása és a mesterséges felszín aránya közötti kapcsolat

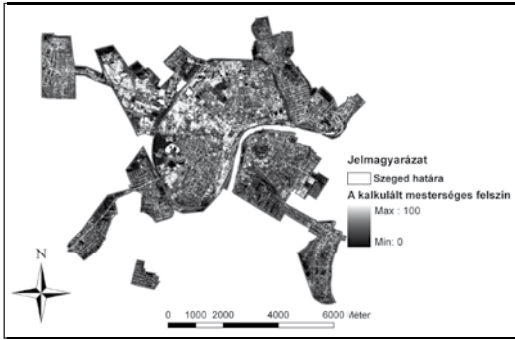
A kapcsolat erősségét jelző korrelációs együttható értéke -0,89, tehát a két tényező között szignifikáns negatív kapcsolat áll fenn, azaz nagyobb NDVI szórásértékhez kisebb mesterséges felszín arány fog tartozni.

A mesterséges felszínekhez tartozó mért (valódi) és becsült (a regresszióból származó) értékek közötti különbség (hiba vagy reziduum) értéke a minta esetében 0,69 (5. ábra).



5. ábra A regresszió hibája, a regressziós egyenlet által becsült és a mért (NSMA) mesterséges felületek kapcsolata

A mesterséges felszín és az NDVI értékek szórása közötti kapcsolat megállapítása után az előállított szórástérképből a regressziós egyenlet segítségével elkészítettük a mesterséges felszín aránytérképét (6. ábra). A szórástérkép minden egyes pixelének értékét behelyettesítettük az  $y = (10,6 - 58,2 \cdot x)^2$  egyenletbe egy egyszerű, futtatható modell segítségével.



6. ábra A szórástérképből számított mesterséges felszín aránytérképe

## Következtetések

Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a közepe felbontású űrfelvételek alkalmasak a városi felszínborítás térképezésére az NDVI értékek idősoros elemzésével abban az esetben, ha kellő gyakorisággal állnak rendelkezésre felhőmentes űrfelvételek egy adott év vegetációs időszakában. Az egyedi képek pixelenkénti intenzitás-értékeinek átalakítása reflektanciává lehetővé teszi, hogy az idősoros elemzésben az egymás utáni képek összehasonlíthatók és statisztikailag elemezhetőek legyenek. Kimutattuk, hogy a pixelenkénti NDVI értékekből számolt NDVI szórásérték szignifikáns negatív korrelációban van a mesterséges felületek pixelen belüli arányával. Az NDVI szórásértékek a regressziós egyenlet alapján átszámíthatók a mesterséges felület százalékos értékeivé, így a településen belül vizsgálhatók a beépítettség térbeli különbségei. Ezáltal az NDVI szórásérték megfelelő bemenő paraméter lehet egy városklíma modellben, a városi hősziget-intenzitás modellezésére a nem fűtési időszakban.

## IRODALOM

- Bruzzone, L.-Smits, P.C. -Tilton, J.C. (2003): Foreword special issue on analysis of multitemporal remote sensing images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41, 2419–2422.
- Carlson, T.N. -Gillies, R.R. -Perry, E.M. (1994): A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover, Remote Sensing Reviews 9, pp. 161–173.
- Carlson, T.N. -Gillies, R.R. -Schmugge, T.J. (1995): An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content and fractional vegetation cover, Agricultural and Forest Meteorology 77, pp. 191–205.
- Carlson, T.N.-Ripley, D.A. (1997): On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, Remote Sensing of Environment 62, pp. 241–252.
- Chander, G. -Markham, B.L. (2003): Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures, and Post-Calibration Dynamic Ranges, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(11), 2674–2677.
- Chavez, P.S., jr. (1996): Image-based atmospheric corrections - Revisited and Improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 62 (9), 1025-1036.
- Dash, J.- Curran, P.J. (2004): The MERIS terrestrial chlorophyll index, International Journal of Remote Sensing 25, pp. 5403–5413.
- Feng, D.-Chen, J.M.-Plummer, S.-Mingzhen, C.-Pisek, J. (2006): Algorithm for global leaf area index retrieval using satellite imagery, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 44, pp. 2219–2229.
- Gallo, K.P.-McNab, A.L.-Karl, T.R.-Brown, J.F.-Hood J.J.-Tarpley, J.D. (1993): The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect, Journal of Applied Meteorology 32 (5), pp. 899–908.
- Gillies, R.R.-Carlson, T.N. (1995): Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models, Journal of Applied Meteorology 34, pp. 745–756.
- Gillies, R.R.-Carlson, T.N. -Cui, J. Kustas, W.P.- Humes, K.S. (1997): A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature, International Journal of Remote Sensing 18, pp. 3145–3166.
- Goward, S.N.-Xue, Y.-Czajkowski, K.P. (2002): Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements: an exploration with the simplified simple biosphere model, Remote Sensing of Environment 79, pp. 225–242.
- Gutman, G.-Ignatov, A. (1998): The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models, International Journal of Remote Sensing 19 (8), pp. 1533–1543.
- Hall-Beyer M. (2003): Comparison of single-year and multiyear NDVI time series principal components in cold temperate biomes, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41, 2568–2574.
- Henits, L. (2007). Városi felszínborítás vizsgálata űrfelvételekkel, OTDK dolgozat, Szeged, kézirat, p. 55.
- Leprieux, C.-Kerr, Y.H.-Mastorchio, S.-Meunier, J.C. (2000): Monitoring vegetation cover across semi-arid regions: Comparison of remote observations from various scales. International Journal of Remote Sensing, 21, 281-300.
- Liu, H.-Huete, A.R. (1995): A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33, 457-465.
- Markham, B.L. -Barker, J.L. (1986): Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. EOSAT Technical Notes, August 1986.
- Mezősi, G. – Mucsi, L. (1994): Urban density and expansion study using GIS and RS methods EGIS94 Paris Proceedings vol.II. pp. 1354–1363.

- Moran, M.S.-Jackson R.D. -Slater P.N.-Teillet. P.M. (1992): Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment* 41, 169–184.
- Mucsi, L.-Kovács, F.-Henits, L.-Tobak, Z.- van Leeuwen, B.-Szatmári, J.-Mészáros, M. (2007): Városi területhasználat és felszínborítás vizsgálata távérzékeléses módszerekkel, *Földrajzi tanulmányok Vol. 1, Városökológia* pp:19–42, JATEPress.
- Mucsi, L. – Henits, L. – Unger, J. (2010): Analysis of the relationship between urban land use and urban heat island using RS methods XXX. EARSeL Symposium, Paris, <http://www.conferences.earsel.org/abstract/show/1935>
- Owen, T.W.-Carlson T.N.- Gillies, R.R. (1998): An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization, *International Journal of Remote Sensing* 19, pp. 1663–1681.
- Pettorelli, N. -Vik, J.O.-Mysterud, A.-Gaillard, J.M.-Tucker C.J.-Stenseth, N.C. (2005): Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change, *Trends in Ecology and Evolution* 20, 503–510.
- Price, J.C. (1990): Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 28 (1990), pp. 940–948.
- Roberts, D.A.-Gardner, M.-Church, R.-Ustin, S.-Scheer, G.-Green, R.O. (1998): Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models, *Remote Sensing of Environment* 65 pp. 267–279.
- Timár, G.-Lichtenberger, J.-Kern, A.-Molnár, G.-Székely, B.-Pásztor, Sz. (2006): MODIS-adatvétele az ELTE műholdvevő állomásán *Geodézia és Kartográfia*. (LVIII. Évf.) 11. pp. 11–15.
- Tucker, C.J.-Sellers, P.J. (1986): Satellite remote sensing of primary production, *International Journal of Remote Sensing* 7, 1395–1416.
- Unger, J.-Süsmeghy, Z.-Gulyás, Á.-Bottyán, Zs.-Mucsi, L. (2001): Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorological Applications* 8, 189–194.
- Wu, C. (2004): Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery, *Remote Sensing of Environment*, 93(4), 480–492.
- Weng, Q.-Lu, D.-Schubring, J. (2004): Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies, *Remote Sensing of Environment* 89, pp. 467–483.

spatial complexity. In this paper, beside traditional per-pixel method (annual NDVI change detection using Landsat TM images), Normalized Endmember Spectral Mixture Analysis (NSMA) was applied to map urban land cover. The TM images were acquired over the city of Szeged, Hungary from April to October in 1986. The urban land cover categories were classified according to the standard deviation (SD) of NDVI values of 8 TM images. Significant linear connection was calculated between the SD values and the sub-pixel rate of impervious surfaces of an image acquired in 1987. Impervious surface, one of the most important elements of the VIS model, has been recognized as a key indicator in assessing of the change of the urban environment.

According to the equation of regression, NDVI standard deviation values can be calculated into the percentage values of the artificial surface, so spatial differences of built-up density can be analysed inside the settlements. Hereby NDVI standard deviation value might be an appropriate input parameter in an urban climate model, for example for modelling of urban heat island intensity out of non heating season.

## Summary

### Measurement of urban land cover using time series analysis of vegetation index

Remote sensing has considerable potential for providing accurate, up-to-date information in urban areas. Urban remote sensing is complicated, however, by very high spectral and



**Henits László**  
geográfus, PhD hallgató

SZTE Földtudományok  
Doktori Iskola  
henits@geo.u-szeged.hu



**Dr. Mucsi László**  
egyetemi docens

SZTE TTIK Természeti  
Földrajzi és Geoinformatikai  
Tanszék  
mucsi@geo.u-szeged.hu