

*Tobak Zalán<sup>1</sup>, Csendes Bálint<sup>2</sup>, Henits László<sup>3</sup>, van Leeuwen Boudewijn<sup>4</sup>, Szatmári József<sup>5</sup>, Mucsi László<sup>6</sup>*

## VÁROSI FELSZÍNEK SPEKTRÁLIS TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA LÉGIFELVÉTELEK ALAPJÁN

**Absztrakt:** Jelen kutatás hiperspektrális felvételek felhasználásával a városi térszínek spektrális karakterisztikájának vizsgálatára fókuszál. Ezen tulajdonságok ismerete nélkülözhetetlen a város anyag- és energiaszállítási folyamatainak megértéséhez. 2009 és 2010-ben készített AISA Dual hiperspektrális felvételekből reflektancia spektrumkönyvtárat készítettünk, ami a későbbi osztályozások fontos alapadatát adta. A klasszifikációt hierarchikus osztálystruktúrát felhasználva végeztük el, melynek tanítótérületeit a földrajzi és a spektrális térben jelöltük ki. A tanítók szeparabilitását statisztikai módszerekkel elemezve megállapítottuk, hogy azok nem minden esetben eredményeznek megfelelő osztályozási pontosságot. A legjellemzőbb városi felszínborításokat jól reprezentáló, 19 ha-os területen elvégzett osztályozások eredményei alapján megállapítható, hogy a multispektrális felvételeknél nagyobb spektrális információ tartalommal növelhető az automatikus objektum felismerés sikeressége. Mindemellett elmondható, hogy a városi felszínek spektrális vizsgálata még sok lehetőséget és kihívást tartogat a kutatók számára.

### BEVEZETÉS

2010-ben a Világbank felmérései alapján az Európai Unióban 73%, hazánkban pedig 68% volt városlakó (WORLD BANK 2010). Ezzel párhuzamosan a városi beépítettség a CORINE Land Cover adatbázis (2000) szerint 14 európai ország átlagában csak 4,8%, Magyarországon pedig 5,6% volt. Az arányokból is jól látható, hogy a nagyszámú népesség egy viszonylag kis területen, azt intenzíven használva él.

A városi felszínek spektrális és geometriai tulajdonságai a környezet anyag- és energiaháztartását befolyásoló fontos tényezők. Utóbbi folyamatok minél pontosabb megértéséhez szükséges e tényezők részletes ismerete. A nagy spektrális felbontású képalkotó spektrométerek által szolgáltatott adatok alapján jelen kutatás az anyagok reflektancia spektrumának vizsgálatán keresztül azok fizikai-kémiai tulajdonságaira összpontosít. A városi felszínt természetes és mesterséges anyagok változatos összetételben építik fel. A természetes közeget a városok zöld szigetei, beépítetlen talaj- (vagy kőzet-) felszínei, illetve a folyó és állóvizek jelentik. Az épületek és útburkolatok mesterséges, vízzáró felszínei mellett, hogy a víz természetes körforgásában akadályt képeznek, mikroklíma módosító hatást is kifejthetnek.

Az első légi hiperspektrális szenzorokat geológiai feladatokban alkalmazták (GÖTZ, 1984). Városi területek hiperspektrális felvételezése – HYDICE szenzorral – elsőként a tengerentúlon kezdődött meg (KALMAN ÉS BASSETT 1997). A növekvő számú kutatócsoport idővel egyre több légi szenzort (például AVIRIS, DAIS 7915, CASI, ROSIS, HyMAP, MIVIS, AISA), vont be a városi felszínek vizsgálatába. Az első európai példák Németországból (Drezda – SEGL ÉS ROESSNER 1999, Berlin – ROESSNER ET AL. 2001, SEGL ET AL. 2006, HEIDEN ET AL. 2007) és Olaszországból (Velence – BENEDIKTSSON ET AL. 2003,

---

<sup>1</sup>**Tobak Zalán:** *egyetemi tanársegéd, SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék*

E-mail: tobak@geo.u-szeged.hu

<sup>2</sup>**Csenedes Bálint:** *PhD hallgató, SZTE TFGT*

E-mail: bcsendes@geo.u-szeged.hu

<sup>3</sup>**Henits László:** *PhD hallgató, SZTE TFGT*

E-mail: henits@geo.u-szeged.hu

<sup>4</sup>**van Leeuwen Boudewijn:** *egyetemi tanársegéd, SZTE TFGT*

E-mail: leeuwen@geo.u-szeged.hu

<sup>5</sup>**Szatmári József:** *egyetemi adjunktus, SZTE TFGT*

E-mail: szatmari@geo.u-szeged.hu

<sup>6</sup>**Mucsi László:** *egyetemi docens, SZTE TFGT*

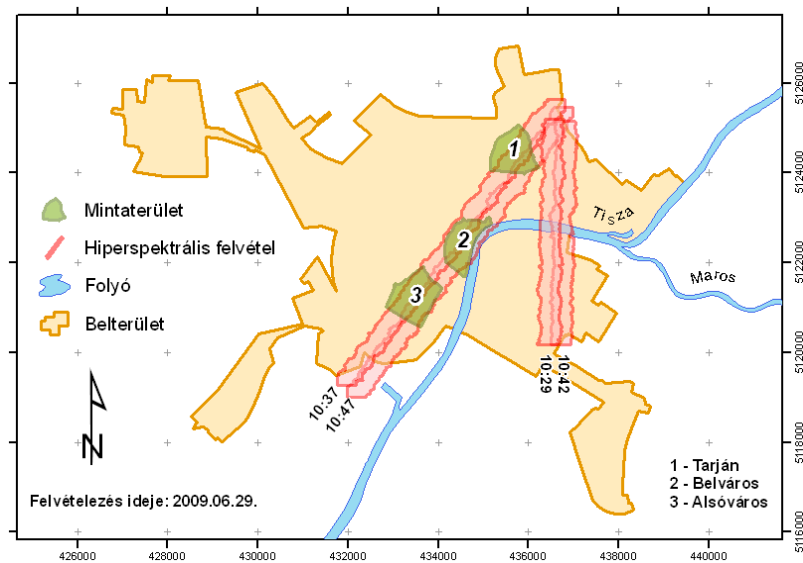
E-mail: mucsi@geo.u-szeged.hu

DELL'ACQUA ET AL. 2004) származnak. Rohamos fejlődés volt megfigyelhető a kínai tudományos központokban is, mely a műszertechnológiai fejlesztésektől a feldolgozó algoritmusokon át a konkrét alkalmazásokig minden területet lefedett (CHEN ET AL. 2003, ZHANG ÉS HUANG 2010). Jelen vizsgálódásaink kiindulópontját a város jellemző anyagainak reflektancia görbéiből – laboratóriumi vagy terepi mérések alapján – készült spektrumkönyvtárak adják. Izraelben Ben-Dor és társai (2001) DAIS 7915 felvételekből a látható és közeli infravörös spektrumon, míg Kaliforniában Herold és társai (2004) AVIRIS adatokon a teljes VIS-NIR-SWIR (350-2400 nm) tartományban vizsgálták a városi felszín reflektanciáját. Ezeket túl a nyilvános USGS AVIRIS könyvtár (400-2500 nm) és a NASA JPL ASTER könyvtár (400-15400 nm) is tartalmaz mesterséges anyagokat.

Hazánkban a 2002-es HySense projektet (HARGITAI ET AL. 2006) követően 2007-ben már saját eszközparkkal indult a hiperspektrális felvételezés (TAMÁS ET AL. 2009). A főként mezőgazdasági és geológia példák mellett az első hazai városi alkalmazás növényzeti monitoring céllal történt Gyöngyösön 2002-es DAIS 7915 adatok felhasználásával (JUNG ET AL. 2005). A mesterséges felszín spektrális térképezése csak az utóbbi években kezdődött meg (Szeged, Székesfehérvár, Sopron). 2007-ben elsőként Szegeden készültek a teljes 400-2450 nm-es tartományt lefedő hiperspektrális felvételek, amit 2009-ben és 2010-ben újabb adatgyűjtés követett, mindhárom alkalommal AISA Dual szenzorral.

## MINTATERÜLET

A távérzékelte adatokra épülő városökológiai kutatások Szegeden jelentős hagyományokkal bírnak (MEZŐSI ÉS MUCSI 1994, MUCSI 1996, MUCSI ET AL. 2007, RAKONCZAI ET AL. 2010, UNGER ET AL. 2001, UNGER ET AL. 2010). A távérzékeléssel térképezhető anyagi tulajdonságokból felszínborítási (landcover) térképek készíthetők, azokból pedig területhasználati (landuse) információk vezethetők le. Szeged város különböző beépítettségi, morfológiai típusokba sorolható kerületei a legtöbb egyedi felszínborítási kategóriára például szolgálnak. Ennek megfelelően kutatásaink során úgy jelöltünk ki mintaterületeket, hogy azokkal minél többféle városrészt lefedjünk, így az azokra jellemző felszínborítási kategóriákat spektrálisan jellemezni tudjuk. Az 1. ábrán Tarján (lakótelep), Belváros (sűrű városi beépítettség) és Alsóváros (családi házas övezet) mintaterülete, valamint a 2009-es felvételezés pásztái láthatók. Az alkalmazott módszerek tesztelése és a számítási idő optimalizálása céljából jelen értekezés csak egy szűkebb terület feldolgozását mutatja be az alsóvárosi Mátyás-tér környezetében (2. ábra).



1. ábra Mintaterületek

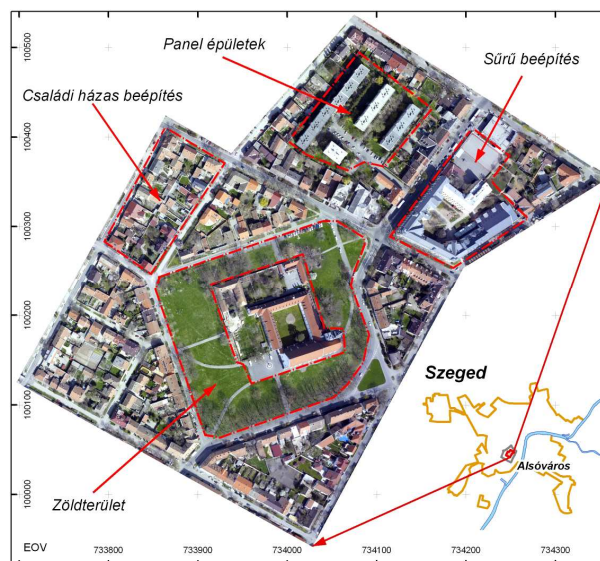
**ADATOK**

A hiperspektrális felvételek AISA Dual szenzorral készültek a spektrum 400-2450 nm-es tartományában (1. táblázat). A 359 felvételi sáv szélessége 4,5-6,8 nm, ami szinte folytonos reflektancia görbe szerkesztését teszi lehetővé a látható (NIR) és közepes infravörös (SWIR) tartományban.

1. táblázat Az AISA DUAL felvételek legfontosabb paraméterei

	2009	2010
Felvételezés időpontja	2009.06.19. 10:37/10:47	2010.09.22. 08:55/10:45
Spektrális tartomány	400 – 2450 nm	
Spektrális felbontás	359 (zajos sávok kiszűrését követően 240) sáv	
Spektrális sáv szélesség	2,3 nm (400-970 nm), illetve 5,8 nm (970-2450 nm)	
Felszíni felbontás	1,5 méter	
Geometria és radiometriai korrekció	ENVI – Caligeo	
Atmoszférikus korrekció	ATCOR modell	Empirical Line – ASD Fieldspec terepi mérések

A nyers adatok radiometriai korrekcióját követően – a felvételezés során jelentkező változó megvilágítási viszonyok kiküszöbölésére – ún. Cross Track Illumination korrekciót hajtottunk végre a felvételeken. A GPS-INS adatokra épülő georektifikáció és az atmoszférikus kalibráció után reflektancia adatokkal dolgozhattunk tovább. A légköri hatások kiszűrése az atmoszféra aktuális paramétereit modellező eljárással – például ATCOR szoftverrel (RICHTER ÉS SCHLÄPFER 2011), illetve a képi és terepi referencia spektrumok közötti kapcsolatot leíró lineáris egyenletekkel (empirical line) történt. A szenzor belső hibái és a légkör vízgőz elnyelési sávjai által létrejövő zajos hullámhossztartományokat a további vizsgálatokból kizártuk. Ezek a 930-980, 1075-1200, 1330-1470, 1790-2005, 2270-2350 és 2405-2450 nm-es tartományokat fedték le. A vizsgálatok során a felszíni referencia pontok azonosításához – a terepbejárás mellett – 10 cm térbeli felbontású, RGB légifelvételeket is felhasználtunk (2. ábra).



2. ábra A Mátyás-ter nagyfelbontású RGB légifelvétel

**MÓDSZER*****Felszínborítási kategóriák kiválasztása***

A későbbi osztályozások várt kimeneteinek megfelelően – az anyagi minőség alapján – hierarchikus osztálystruktúrát definiáltunk, mely nagyrészt követi a nemzetközi kategorizálásokat (HEROLD ET AL. 2004, FRANKE ET AL. 2009). Ezen belül különösen a mesterséges felszínek esetében definiáltunk több alosztályt (pl. tetők) (2. táblázat). Célunk, hogy a kategóriák tiszta pixeleit a földrajzi és/vagy a spektrális térben lehatároljuk, majd reflektancia görbéikből spektrumkönyvtárat készítsünk.

2. táblázat Hierarchikus osztálystruktúra

KATEGÓRIA	KATEGÓRIA
<b><i>Beépített területek</i></b>	<b><i>Beépített területek</i></b>
<i>Épületek (tetők)</i>	<i>Egyéb (sport)</i>
Cserép (színek)	Salak
Lapos (CH)	Műanyag
Műanyag (fólia)	<b><i>Növényzet</i></b>
Üveg	<i>Zöld vegetáció</i>
Fém	<i>Száraz vegetáció</i>
Növényi	<b><i>Talajfelszínek</i></b>
<b><i>Közlekedés területei</i></b>	<b><i>Vízfelületek</i></b>
Aszfalt	<i>Természetes</i>
Beton	<i>Mesterséges</i>
Díszburkolat	
Vasút (bazalt)	

A különböző anyagok spektrális tulajdonságainak vizsgálata ún. spektrumkönyvtárakon alapul. Reflektancia spektrumok laboratóriumi és terepi spektrométerrel egyaránt rögzíthetők, illetve a hiperspektrális felvételekből is levezethetők. Ez utóbbi – képi információkon alapuló – görbék azonban - a kisebb térbeli felbontásból adódó kevert pixelek miatt - jóval zajosabbak, nem reprezentálják pontosan egy adott anyag tiszta spektrumát. Az elemző algoritmusok összevetik a vizsgált képelem spektrumát – annak egészét vagy kiugró jellegzetességeit – a könyvtárban rögzített referencia görbékkel, és statisztikailag jellemzik a hasonlóságot.

***Jellemző pixelek lehatárolása a földrajzi és a spektrális térben***

Az egyes felszínborítási kategóriák jellemző spektrumainak legyűjtése a felvételekről – földrajzi pozíciójuk alapján – poligon és pont mintákat felhasználva történt. Ehhez nagyfelbontású RGB légifelvételt használtunk fel, amit terepbejárással tovább pontosítottunk. Az egyes osztályokba felvett képelemekből alapstatisztikákat számoltunk (sávonkénti minimum, maximum, átlag és szórás), a sávonkénti átlagos reflektanciák alapján spektrumkönyvtárat építettünk. A mintapontok 15-20%-át az osztályozás ellenőrzéséhez referenciaként (ground reference) használtunk fel.

A spektrális térben történő leválogatáshoz első lépésben az adathalmaz spektrális dimenzióját csökkentettük. Ezt egyrészt a – szenzor hibáiból vagy a légköri hatásokra megjelenő - zajos sávok manuális eltávolításával, másrészt spektrális térbeli koordináta-transzformációs eljárásokkal végeztük el. A zajos sávok (Bad bands) levágását követően az eredeti 359 sávból 240-et tartottunk meg (BURAI ET AL. 2010). A felvételekre ezt követően lefutattuk a főkomponens analízist (PCA) (DAVIS 1986), illetve az előzetes zajszűrést is alkalmazó MNF (Minimum Noise Fraction) transzformációt (GREEN ET AL. 1988), majd vizsgáltuk a földrajzi térben rögzített pontok spektrális térbeli helyzetét. Fontos hangsúlyozni, hogy a transzformált tengelyek iránya és a pontfelhők alakja a bemeneti adatok – az aktuális

képkivágot – függvényében változik. Ennek következtében az egyes kategóriákhoz tartozó pixelek abszolút spektrális helyzete nem általánosítható, az osztályok közötti távolságok (szeparabilitás) azonban megmutatják a könnyebben (jól elkülönülő) és nehezebben osztályozható (átfedő) kategóriákat.

### ***A definiált osztályok szeparabilitásának vizsgálata***

Az egyes osztályok átlagspektrumait Spectral Analyst eszközzel vetettük össze, ami a köztük lévő spektrális hasonlóságot különböző módszerekkel – Spectral Angle Mapper (SAM), Spectral Feature Fitting (SFF), Binary Encoding (BE) – értékeli. Ezek közül a spektrális térben az osztályközepeket kijelölő n-dimenziós vektorok szögeltérését (SAM) vettük figyelembe. A kisebb eltérések nagy hasonlóságot, a nagyobb differenciák, nagy szeparabilitást jelentenek.

### ***Felszínborítás osztályozása***

A kijelölt mintaterületen 9 fontosabb felszínborítási osztályt különítettünk el. A klasszifikáció SAM módszerrel történt, ami a minden egyes pixelre meghatározza az egyes osztályközepektől mért szögeltérést, majd a pixelt a legkisebb szöggel rendelkező osztályba sorolja. Az előre megadott küszöbértéknél nagyobb eltérések esetén a pixel osztályozatlan marad.

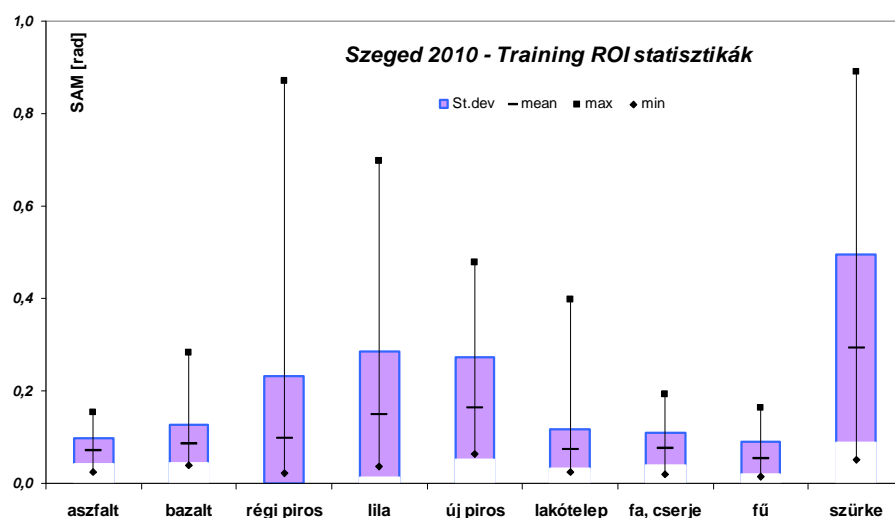
### ***Ellenőrzés***

A tanulóterületek arányainak megfelelő számban minden egyes osztályhoz ellenőrző pontokat is gyűjtöttünk terepi bejárás és referencia légifelvételek alapján. Ezeket az osztályozás eredményének ellenőrzésére, konfúziós mátrix számítására használtuk fel.

## **EREDMÉNYEK**

### ***A tanulóterületek statisztikai értékelése***

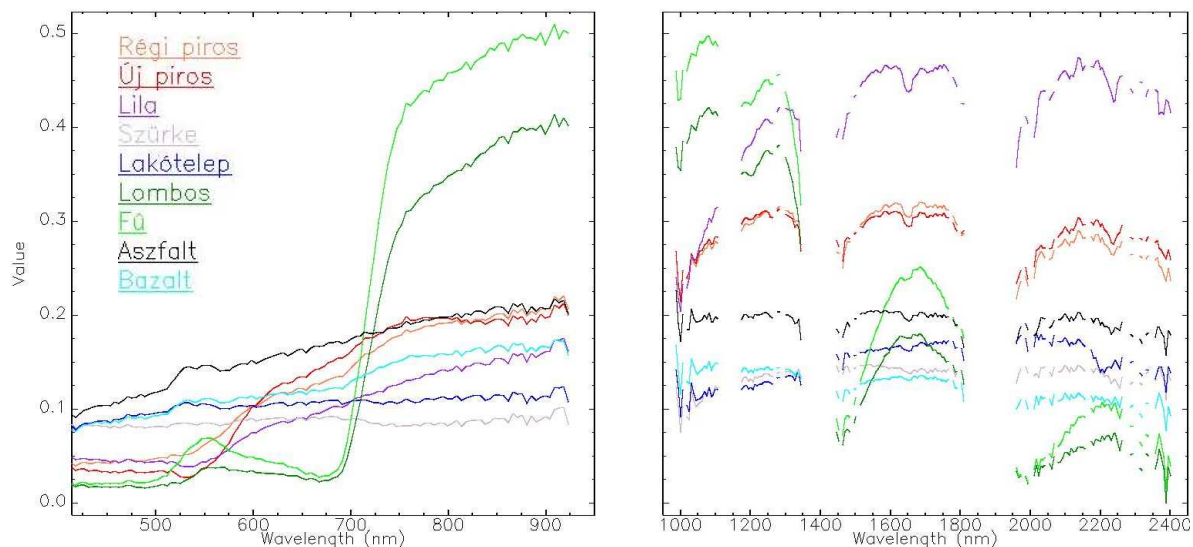
Az osztályonként kijelölt tanulóterületek pixelstatisztikáiból átlagspektrumokat számítottunk, melyek a spektrumkönyvtár egyes elemeit adták. A tanulóterület képelemeinek a saját osztályközepekhez viszonyított spektrális térbeli helyzete jól mutatja az adott tanulóterület egységességét (3. ábra). Minél nagyobb az adott az osztályközéptől mért átlagos szögeltérés, annál változatosabb, kevésbé „tisztá” a tanulóterület (pl. szürke cserép), ami osztályozási hibákhoz vezet. Az alacsony átlagos eltéréssel és kicsi szórással jellemezhető tanítók (pl. fű) jól definiáltak, így nagy osztályozási pontosságot biztosítanak.



3. ábra A tanulóterületek pixeleinek és osztályközépének spektrális szögeltérése

### A spektrumok jellemzői

A legjellemzőbb városi felszínborító anyagok spektrumgörbéit (4. ábra) vizsgálva az alábbi, általános megállapításokat tehetjük. (1) A *zöld vegetáció* jellegzetes görbében 550 nm környékén reflektancia csúcs, 750 nm-nél vörös él (red edge), a 980, 1200, 1400 és 1900 nm-es tartományokban pedig abszorpciós minimumok mutatkoznak. (2) A különböző *tetőborítások* közül a hazánkban legelterjedtebb vörös – és egyéb színű – cserepek a közeli infravörös (NIR) és rövidhullámú infravörös (SWIR) tartományok felé szintén növekvő reflektanciát mutatnak. A látható (VIS) és NIR tartományban jellegzetes vas-oxid elnyelést figyelhetünk meg 520 és 870 nm környékén. A régi és új piros cserepek között a VIS tartományban látható jelentősebb eltérés, amit az anyag öregedése során fellépő színváltozás magyaráz. Ezeketől – az SWIR régióban – jelentősen eltér a lila cserepek magasabb reflektanciája. (3) A *lakótelepi tömbházak* tetejének záró burkolata színéből adódóan (VIS tartomány) a szürke cserepekkel, anyagi tulajdonságai alapján az aszfalt útburkolattal mutat hasonlóságot. (4) Az *útburkolatok* közül, elsősorban az alacsony reflektanciával rendelkező anyagokból álló aszfalt burkolatok esetében, a spektrumgörbén csak minimális méretű spektrális jellegzetességek figyelhetők meg (RASHED ÉS JÜRGENS 2010).



4. ábra A vizsgált felszínborítások reflektanciája a látható és közeli-infravörös (VIS-NIR) (balra) valamint a rövidhullámú infravörös (SWIR) spektrumon (jobbra) a zajos sávok nélkül

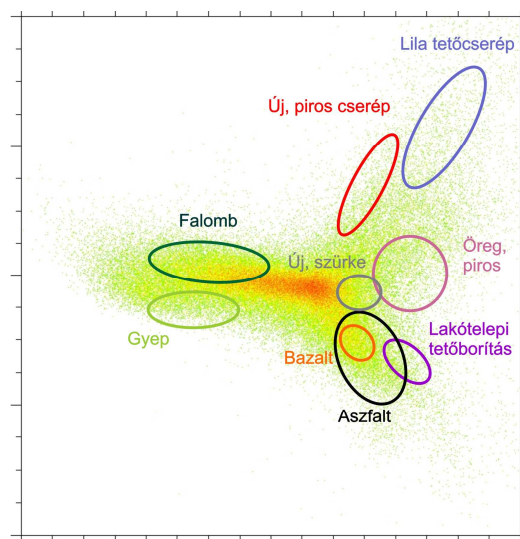
### A spektrumkönyvtár elemeinek szeparabilitása

A létrehozott spektrumkönyvtár elemeinek egymáshoz viszonyított eltérését, szeparabilitását szintén a spektrális szögeltérések felhasználásával vizsgáltuk meg. A 3. táblázatban szereplő értékek relatív skálán jelzik az egyes kategóriák hasonlóságát. A nagyobb számok kis spektrális eltérést – azaz nagy hasonlóságot – jelentenek például a két növényzeti típus, az aszfalt és bazalt osztály vagy a régi és új piros cserepek között. A klasszifikáció során épp ezekben az esetekben jelentkeznek a leggyakrabban félreosztályozások. A nagy szögeltérést – a táblázatban alacsony értéket – mutató kategóriák között előforduló hibás osztályozás nem a spektrális hasonlóságra, hanem egyéb – pl. a térbeli pozícióra, szomszédságra, kitarakásra - lesz visszavezethető.

3. táblázat A spektrumkönyvtár elemeinek szeparabilitása (0-1 relatív skála)

SAM	régi piros	lila	új szürke	új piros	lakótelep	fa, cserje	fű	aszfalt	bazalt díszkő	2010
régi piros	1	0,708	0,701	0,935	0,677	0,142	0,17	0,64	0,519	régi piros
lila	0,708	1	0,564	0,715	0,53	0	0	0,397	0,258	lila
új szürke	0,701	0,564	1	0,681	0,89	0,013	0,046	0,756	0,623	új szürke
új piros	0,935	0,715	0,681	1	0,655	0,122	0,149	0,624	0,5	új piros
lakótelep	0,677	0,53	0,89	0,655	1	0,018	0,052	0,786	0,653	lakótelep
fa, cserje	0,142	0	0,013	0,122	0,018	1	0,925	0,181	0,264	fa, cserje
fű	0,17	0	0,046	0,149	0,052	0,925	1	0,22	0,304	fű
aszfalt	0,64	0,397	0,756	0,624	0,786	0,181	0,22	1	0,845	aszfalt
bazalt díszkő	0,519	0,258	0,623	0,5	0,653	0,264	0,304	0,845	1	bazalt díszkő
VIS-SWIR	régi piros	lila	új szürke	új piros	lakótelep	fa, cserje	fű	aszfalt	bazalt díszkő	SAM

A 3. táblázatban látott hasonlósági viszonyokat a PCA transzformált adattér egy kiválasztott síkjára vetítve grafikusán is ábrázolhatjuk. Ha a földrajzi térben kijelölt osztályokat ebben a transzformált spektrális térben vizsgáljuk, a pontfelhők között sokszor átfedéseket, illetve csak mérsékelt távolságokat (nagyobb spektrális hasonlóságot, szeparabilitást) észleltünk (5 ábra).



5. ábra Néhány fontosabb anyag pixelei a PCA transzformált spektrális térben (PCA 1-2)

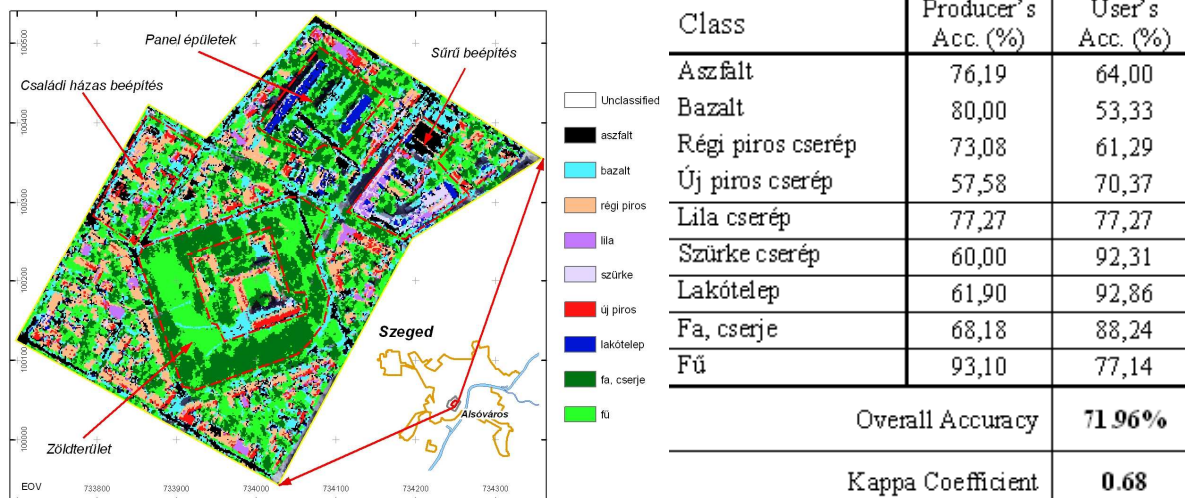
Jól elhatárolhatók egymástól az alacsony reflektanciájú (víz vagy árnyék pixelek a diagram közepén), a növényzet (bal oldali „szárny”) és a mesterséges anyagok (tetők – jobb felső, aszfalt – jobb alsó „szárny”) pixelei.

Az elkészült spektrumkönyvtárak a reflektanciagörbék mellett fontos metaadatokat is tartalmaznak (minták száma, felszín leírása, helyszíni fotó). Megállapítható, hogy a felszínborítások sikeres elkülönítésének szükséges előfeltételei a jó minőségű spektrumkönyvtárak.

### Az osztályozás eredményei

A mintaterület felszínborításának osztályozását pixelalapon, SAM módszerrel végeztük el. Az eredményeket 214 ponton ellenőriztük vissza, ami alapján konfúziós mátrixot készítettünk. Az osztályozás teljes pontossága 72% lett, ami azonban az egyes kategóriákra

lebontva nagy változatosságot takar. Legnagyobb pontossággal a növényzet elkülönítése sikerült, míg a legtöbb gondot a régi és új piros cserepek egymás közötti félreosztályozása jelentette.



6. ábra A mintaterület SAM osztályozott térképe(balra) és a klasszifikáció összegzett értékelése (jobbra)

### KÖVETKEZTETÉSEK

A városi felszínek spektrális tulajdonságainak elemzése során sok kihívással szembesültünk, melyek tapasztalataink alapján az alábbi részfolyamatokra terjednek ki: (1) A nagy számításigényű műveletek miatt megfelelően CPU és RAM optimalizáció szükséges, amit a feldolgozó szoftver beállításai lehetővé tesznek. (2) A hiperspektrális felvételekből kinyert képi spektrumok – a kevert pixelek és a más pixelekről érkező visszaverődés miatt – sokkal zajosabbak, mint a labor vagy terepi spektrométerrel rögzítettek. Ehhez társulnak az alkalmazott atmoszférikus korrekciós modellekben hibái. (3) A földrajzi régióként előforduló egyedi városi felszínborítások (tetők, útburkolatok, növényzet) nem minden esetben teszik lehetővé a már létező városi spektrumkönyvtárak eredményes használatát. Ezért indokolt a helyi sajátosságoknak megfelelő könyvtárak kiépítése. (4) A kiválasztott kategóriák a spektrális térben vizsgálva sokszor átfedik egymást, ami az osztályok alacsony szeparabilitására utal és megnehezíti az osztályozást. A jobb elkülönítés érdekében érdemes lenne nem a teljes spektrumon, hanem annak csak egy-egy kiválasztott – szűk - metszetén összehasonlítani az anyagokat. (5) A létrehozott spektrumkönyvtár az osztályozási algoritmusok bemeneti adatát képezi. A megfelelő klasszifikációs eljárások kiválasztása során figyelmet kell fordítani az olyan megoldásokra, melyek a spektrális tulajdonságok mellett térbeli és egyéb információkat is felhasználnak az osztályozás pontosságának javításához.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- BEN-DOR, E. - N. LEVIN - H. SAARONI (2001): A spectral based recognition of the urban environment using the visible and near-infrared spectral region (0.4-1.1  $\mu\text{m}$ ). A case study over Tel-Aviv, Israel. *International Journal of Remote Sensing*, 22, pp. 2193-2218.
- BENEDIKTSSON, J.A. - M. PESARESI - K. ARNASON (2003): Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, pp. 1940-1949.



- BURAI, P. – CS. LENART – P. ENYEDI – T. TOMOR (2010): Légi szenzorok alkalmazása a vizes élőhelyek térképezésében. In: *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában*. Loki, J. – G. Demeter (Ed.) pp. 160-166. (Debrecen)
- CHEN, C. – G.F. HEPNER – R.R. FORSTER (2003). Fusion of hyperspectral and radar data using the IHS transformation to enhance urban surface features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58, pp. 19-30.
- DAVIS, J.C. (1986): *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, New York, 550 p.
- DELL'ACQUA, F. - P. GAMBA – A. FERRARI - J.A. PALMASON - J.A. BENEDIKTSSON - K. ARNASON (2004): Exploiting spectral and spatial information in hyperspectral urban data with high resolution. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1, pp. 322-326.
- FRANKE, J. - D.A. ROBERTS - K. HALLIGAN - G. MENZ (2009): Hierarchical Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA) of hyperspectral imagery for urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 113, pp. 1712-1723.
- GOETZ, A.F.H. (1984). High spectral resolution remote sensing of the land. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 475, pp. 56-68.
- GREEN, A.A. - M. BERMAN - P. SWITZER - M.D. CRAIG (1988): Transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26, pp. 65-74.
- HARGITAI, H. - P. KARDEVÁN - F. HORVÁTH (2006): Az első magyarországi képalkotó spektrométeres repülés és adatainak elemzése erdőtípusok elkülönítésére. *Geodézia és Kartográfia*, LVIII/9, pp. 21-33.
- HEIDEN, U. - K. SEGL - S. ROESSNER - H. KAUFMANN (2007): Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 111, pp. 537-552.
- HEROLD, M. - D.A. ROBERTS - M.E. GARDNER - P.E. DENNISON (2004): Spectrometry for urban area remote sensing - Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. *Remote Sensing of Environment*, 91, pp. 304-319.
- JUNG, A. - P. KARDEVÁN - L. TOKEI (2005): Detection of urban effect on vegetation in a less built-up Hungarian city by hyperspectral remote sensing. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30, pp. 255-259.
- KALMAN, L.S. - E.M. BASSETT III (1997): Classification and material identification in an urban environment using HYDICE hyperspectral data. In *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, pp. 57-68.
- MEZŐSI, G. – L. MUCSI (1994): Urban density and expansion study using GIS and RS methods. *EGIS94 Paris Proceedings Vol. II*. pp. 1354-1363.
- MUCSI, L. (1996): Urban land use investigation with GIS and RS methods. *Acta Geogr. Szeg. Tom. XXV*. pp. 111-119.
- MUCSI, L. - F. KOVÁCS - L. HENITS - Z. TOBAK - B. VAN LEEUWEN - J. SZATMÁRI - M. MÉSZÁROS (2007): Városi területhasználat és felszínborítás vizsgálata távérzékeléses módszerekkel In *Városökológia, Földrajzi Tanulmányok, Vol.1*. G. Mezősi (Ed.), pp. 19-42 (Szeged: JatePress, 2007).
- RAKONCZAI, J. – J. UNGER – L. MUCSI – J. SZATMÁRI – Z. TOBAK – B. VAN LEEUWEN (2009). A napfény városa naplemente után - Légi távérzékeléses módszerrel támogatott hősziget-térképezés Szegeden. *Földrajzi Közlemények*, 133. 4., pp. 367-383.
- RASHED, T. - C. JÜRGENS (Eds.) (2010): *Remote sensing of urban and suburban areas*. pp. 47-65 (Heidelberg: Springer).
- RICHTER, R. – D. SCHLÄPFER (2011): Atmospheric / Topographic Correction for Airborne Imagery. DLR report DLR-IB 565-02/11, Wessling, Germany, pp 194.

- ROESSNER, S. - K. SEGL - U. HEIDEN - H. KAUFMANN (2001): Automated differentiation of urban surfaces based on airborne hyperspectral imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39, pp. 1525-1532.
- SEGL, K. - S.R.M. BOCHUW - H. KAUFMANN - U. HEIDEN (2006): Feature-based identification of urban endmember spectra using hyperspectral HYMAP data. In *1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing*, Berlin
- SEGL, K. - S. ROESSNER (1999): Pixeloriented selection of endmember combinations for linear stochastic spectral unmixing applied to urban environments. In *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, pp. 327-338.
- TAMÁS, J.- Cs. LÉNÁRT - P. BURAI (2009): Evaluation of applicability of airborne AISA DUAL hyperspectral imaging system to map environmental conditions in orchards. In *Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems*, Rosario, Argentina.
- UNGER, J. - T. GÁL - J. RAKONCZAI - L. MUCSI - J. SZATMÁRI - Z. TOBAK - B. VAN LEEUWEN (2010): Modeling of the urban heat island pattern based on the relationship between surface and air temperature. *Időjárás*, 114, 4, pp. 287-302.
- UNGER, J. - Z. SÜMEGHY - J. ZOBOKI (2001): Temperature cross-section features in an urban area. *Atmospheric Research*, 58, pp. 117-127.
- WORLD BANK (2010): *The little green data book 2010*. World Bank Publications
- ZHANG, L. – X. HUANG (2010). Object-oriented subspace analysis for airborne hyperspectral remote sensing imagery. *Neurocomputing*, 73, pp. 927-936.