

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETI FÖLDRAJZI ÉS GEOINFORMATIKAI TANSZÉK**

**HIPERSPEKTRÁLIS FELVÉTELEK ÉS LABORATÓRIUMI
MÉRÉSEK ALKALMAZÁSA VÁROSI FELSZÍNEK NAGY
MÉRETARÁNYÚ TÉRKÉPEZÉSÉRE**

TDK DOLGOZAT

**Liska Csilla Mariann
Geográfus MSc I.**

Témavezető: Dr. Mucsi László, egyetemi docens

**2014
SZEGED**

TARTALOMJEGYZÉK

Absztrakt	2
1. Bevezetés.....	3
1.1 A városok vizsgálata, a felszínborítás és a területhasználat térképezése	3
1.2. A hiperspektrális technológia és alkalmazási lehetőségei.....	5
2. Célkitűzés, problémafelvetés	7
2.1. A térbeli probléma.....	7
2.2 Geoinformatikai problémák, célkitűzések.....	8
3. Mintaterület	10
4. Adatok	12
4.1. Térbeli és spektrális felbontások hatása a városi felszínek térképezésére	12
4.2 A hiperspektrális légi felvételezés és adatgyűjtés	13
4.3 Laboratóriumi mérések.....	14
5. Módszerek	16
5.1. Spektrumkönyvtár létrehozása	16
5.2. Spektrumgörbék meghatározása a laboratóriumban, beállítási lehetőségek	18
5.3. Osztályozási módszerek	18
6. Eredmények.....	20
6.1. A megfelelő beállítások a spektrumkönyvtár létrehozásához	20
6.2. A hiperspektrális felvétel és a labormérés közötti számszerűsített kapcsolat, a megfelelő tartományok kiválasztása	22
6.3 A beépítettségi térkép és annak pontossága	27
6.4 A beépítettségi térkép kiértékelése és az építési előírások összehasonlítása	29
6.5. Az osztályozás működésének megvizsgálása másik mintaterületen.....	33
6.6. A spektrumkönyvtár és az osztályok bővítési lehetősége	34
7. Összefoglalás.....	36
8. Irodalom	37
9. Függelék.....	40

Absztrakt

A természet és a társadalom konfliktusait jól szemléltetik a városok. A nagy népséget tömörítő, a környezet erőforrásait fokozottan igénybevevő települések városökológiai elemzésének egyik alapfeladata a felszínborítás térképezése, a változások térbeli-időbeli értékelése. Kulcsszerepet kapnak a távérzékeléses módszerek, pl. a nagy méretarányú térképezést segítő nagy térbeli felbontású, ill. a hiperspektrális adatrögzítő rendszerek. A távérzékeléses adatok kalibrációját, a képelemek azonosítását a földi spektrometriai mérések segítik. Vizsgálataim során célul tűztem ki a hiperspektrális és a laboratóriumi spektrális adatok kapcsolatának numerikus elemzését, valamint a kapott összefüggések alapján a hiperspektrális felvételek nagy pontosságú osztályozását városi környezetben. Mintaterületként Szeged ritkább beépítésű alsóvárosi körzetéből választottam egy két háztömbnyi egységet.

A hiperspektrális képek részletes információt szolgáltatnak a felszínt borító anyagokról, azonban a több száz sáv kezelése mellett a szükséges referenciaadatok előállítása is nehézségeket okoz. A kutatás során a referenciaadatokat az általam végzett laboratóriumi spektrométeres mérések reflektanciagörbéi nyújtották. A mérések adataiból sikeresen létrehoztam egy spektrumkönyvtárat, amely segítségével a főbb felszínborítási típusokat, így a beépítettségi és zöldfelületi kategóriákat megbízhatóan elkülönítettem. A laboratóriumi és a képi spektrumok kapcsolatának elemzésével meghatároztam az osztályozáshoz szükséges sávokat. A spektrális szögeltérés vizsgálat segítségével a laboratóriumi és képi reflektanciagörbék hasonlósága alapján jelöltem ki az egyes tanulókat, majd maximum likelihood osztályozással nagy pontosságú (94%) felszínborítási térképet állítottam elő, amely alkalmasnak bizonyult telekszintű elemzésekre.

Megállapítottam, hogy nagyobb egységekben (tömb, városrész) az építési szabályzatnak közel megfelelő zöldfelületi arányok érvényesültek, de építési telek szinten nagy eltérések jelentkeztek a mintaterületen belül. Az általam előállított térkép segítségével kijelölhetők azok a területek, ahol a beépítettség aránya meghaladja az előírt értéket, és negatív környezeti hatások fokozottabban jelentkezhetnek.

A spektrumkönyvtár bővítésével a hiperspektrális felvételek alkalmazása kiterjeszthető más városokra, városrészekre is, egyéb adatok (például nagy pontosságú terepmodell) felhasználásával a térkép további felszínborítási kategóriákat, akár területhasználatot is szemléltethet.

1. Bevezetés

1.1 A városok vizsgálata, a felszínborítás és a területhasználat térképezése

A földrajz alapvető vizsgálati tárgya minden esetben az ember és környezetének térben és időben dinamikusan változó kapcsolata. A városok, mint ennek a viszonyrendszernek elemei meghatározó szerepet játszanak, hiszen ma már a Föld népességének 54%-a (World Urbanization Prospects, 2014) él városokban és mind számuk, mind arányuk folyamatosan növekvő tendenciát mutat. Az urbanizáció fokozódása, ezen belül is nem csak a városodás, vagyis a városlakó népesség, a városok számának növekedése, hanem a városiasodás, a funkciók átalakulása is egyre erőteljesebb.

A változásokat indukáló, kis területen tömörülő népesség fokozottan veszi igénybe környezetét. Ennek következtében nagymértékű a környezet károsítása is, szemben a rurális térségekkel, ahol jellemzően harmonikusabb ez a viszony. A városok a megnövekedett energiahasználattal, hőkibocsátó hatásukkal, a közlekedés, a hulladéktermelés okozta terheléssel globális szinten is fontos tényezők, jelentős környezetmódosító hatásuk miatt vizsgálatuk rendkívül indokolt (Small, C. 2003).

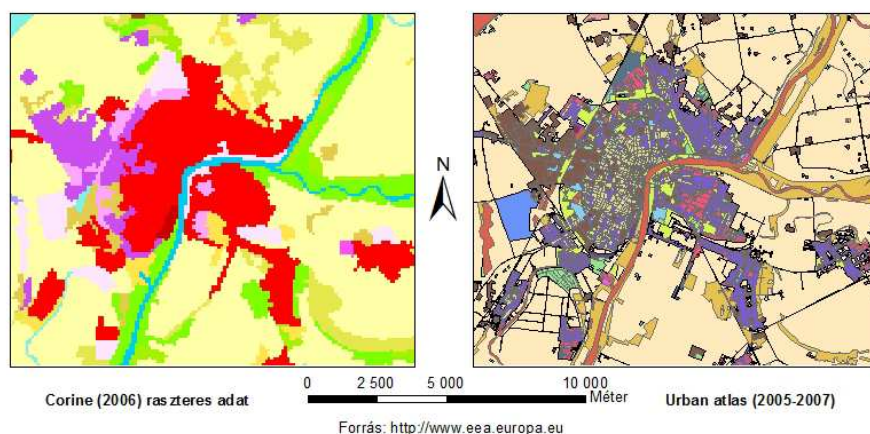
A települések nemcsak népességszámuk szerint növekednek, hanem térben is terjeszkednek. Sok esetben anélkül, hogy a környező területek állapota vizsgálat alá kerülne, olyan mértékben használják az erőforrásokat, hogy az nem tartható fenn hosszú távon (Netzband, M.-Jürgens, C. 2010). Mivel a beépítettség a városi térségekben egyre nő, fontos dokumentálni a nyílt- és zöldterületek mennyiségét, mind lokális, mind globális skálán, hiszen ide koncentrálnak a városi ökoszisztéma szolgáltatások.

A zöldfelületek és a beépítés aránya olyan mutató, amely a települések élhetőségét, mikroklimáját, folyamatait döntően befolyásolja, és arculatukra is kihat. A városok komplex rendszerével, az ember-környezet kapcsolatával foglalkozó, így természetföldrajzot és társadalomföldrajzot szintetizáló terület a városökológia (Mucsi L. 2006). A kifejezés atyja Park volt, az ő korában kezdték el a városokat, a biológia eszköztárát is felhasználva vizsgálni. A városok térbeli elrendeződésében egyre több szabályosságot figyeltek meg, bár inkább szociológiai oldalról történtek ezek az első elemzések. Azóta a jelenségeket sokoldalúbban, a gazdaság, a társadalom és a környezet egymásra hatásának szempontjából is mélyebben vizsgálják. Egyre fontosabb szerepet kap a fenntarthatóság a várostervezésben, figyelembe véve a környezeti konfliktusokat is (Nagy I. 2006).

A dinamikus kapcsolat feltárásához a városok vizsgálatán keresztül, a térstruktúrák megismerésén, a különböző felszínek egymásra hatásának megfigyelésén keresztül jutunk. Vizsgálataink során érdemes elkülöníteni két fogalmat: a felszínborítást (land cover) és a területhasználatot (land use). A mesterséges felszínek, a növényzet és a talaj kategóriák a felszínborításhoz tartoznak. Ha a területhasználati kategóriát határozzuk meg (Behling et al 2015), akkor például az azonos anyagú cseréptető és egy cseréptörmelékes út különböző osztályba kerül, mivel funkciójuk különböző. Mivel a távérzékelés elsősorban a felszínt borító anyagot felvételezi, a területhasználati kategóriákat csak egyéb tényezők számba vételével tudunk megállapítani. Ilyen esetekben segíthet a mintázat a terepmodellek, vagy egyéb logikai modellek, pl. VIS-modell bevonása (Heiden et al 2012).

Városi alkalmazásainkhoz a felszínborításról vagy a területhasználatról két ismert adatbázis áll rendelkezésre, mindkettő elérhető az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) honlapján. A Corine adatbázis térben kiterjedtebb, 1985-től Európai Unió program keretében készült, 1: 100 000-es méretarányban szolgáltat információt és 44 különböző felszínborítási kategóriát határoz meg. Az EEA egységes koncepció keretében, összehasonlítható adatokon alapuló rendszerbe fogta össze az ismereteket, az adatbázist azóta többször is frissítették (Henits L. 2013, Büttner-Mari 2004). Ez esetben olyan funkciókat is elkülönítettek, mint például a repülőtér, kikötő. A térképek Magyarország területéről is rendelkezésre állnak (Mari L. 2010).

Ugyanakkor az Urban Atlas projekt, amely 1:10 000-es méretarányban szolgáltat felszínborítási és területhasználati információt, csak a 695 legnépesebb európai várost tartalmazza, 17 osztályt jelenít meg a városokon belül (Mapping Guide for a European Urban Atlas, 2012). Szemléltetésképpen a kétféle adatbázis kivágatai szerepelnek az 1. ábrán Szeged területéről. Az ábrákon is látszik, hogy ezen térképek nem alkalmasak részletes, háztömb vagy telek szintű elemzésekre.



1. ábra A Corine és az Urban Atlas kivágata Szeged környékéről

A felszínborítás térképezése a távérzékelte, különösen a multi- és a hiperspektrális rendszerek által gyűjtött adatok révén azonban hatékonyan megvalósítható. A rendelkezésre álló felvételek egyre nagyobb területeket fednek le, és napjainkra már hosszabb távra vonatkozó (idősoros) adatokat elemezhetünk (Herold et al, 2005). A légi- vagy űrfelvételek feldolgozásakor, az egyre jobb képfeldolgozó módszerek mellett is, szükség van földi referenciaadatokra.

1.2. A hiperspektrális technológia és alkalmazási lehetőségei

A képképző spektrometriát és a kötődő módszertant már több mint 30 éve alkalmazzák a kutatásokban, ugrásszerű fejlődésen ment keresztül az elmúlt 10-20 évben. Az 1980-as években a NASA laboratóriumában kifejlesztették az Airborne Imaging Spectrometer-t (AIS), amit ma AVIRIS néven ismerünk. A technika fejlődésével, a rendszerek (AISA, DAIS, HyMap) ma már 400-tól 2500 nanométerig 1-10 nanométeres felbontásban tudják lefedni az elektromágneses spektrumot (Plaza et al. 2009). A nagyon sok sáv, a redundancia, a multispektrális képektől eltérő szemlélet számos kihívás elé állította a kutatókat, de ezek megoldása után a hiperspektrális adatokból számos új információ nyerhető ki, ezek széleskörűen alkalmazhatók.

A hiperspektrális technológia, szemben a multispektrális képekkel, részletes adatot biztosít a felszínről, emiatt egyre szélesebb körű az alkalmazása is. Az ásványok térképezésén (Kruse, F. A. 2012), a hó és a jég, a fafajok (Goetz, A. F. H. 2009) vizsgálatán kívül számos kutatás irányult a talajfelszínekre is (Leone, A. P. – Sommer, S. 2000, Lagarichie et al. 2012). Hiperspektrális felvételeket alkalmaztak a vízmélység, a víz összetételének megállapítására is (Jay, S. – Guillaume, L. 2014).

Az 1990-es évektől számos kutatás irányult a különböző városi felszínborítások elkülönítésére (Ben-Dor, E. 2001; Small, C. 2003; Segl et al. 2003; Herold et al. 2005; Goetz, A. F. H. 2009; Heiden et al. 2012; Forzieri et al. 2013). A leggyakrabban kutatott területek: a talajfelszínnek megszűnése, a városi hősziget fokozódása, a növényzet elterjedésének változásai. Az említett jelenségek nemcsak a környezetre, hanem az emberi élet minőségére is hatással vannak (Unger J. 2011, Ben-Dor, E. 2001), de a humánökológiai megfigyeléseken túl új módszertani eljárásokat, algoritmusokat is fejlesztettek (Mazer et al. 1988, Kruse et al. 1993).

A városi alkalmazások közül érdemes megemlíteni Bassani és társai (2007) kutatását, akik azbesztet tartalmazó tetőket térképeztek romlási állapotuk szerint Olaszországban. Az azbeszt anyagi tulajdonságai a hiperspektrális képen vizsgálhatóak. Labor és terepi mérés segítségével a döntéshozók számára is hasznos eredményeket kaptak, hiszen az azbeszt terjedése a levegőben kapcsolatba hozható a tüdőrákkal.

Segl és társai (2003) különböző mesterséges anyagokat különítették el, mind laboratóriumi, mind terepi méréseket felhasználva. Kiemelték, hogy a zöld területek térképezése az ökológiai várostervezés szempontjából fontos, és a hiperspektrális felvételek alkalmazási lehetőségei, szemben az időigényes terepi validációval készült légifotókkal, ígéretesek a német városfejlesztés számára.

További hasznos módszertani fejlesztések is történtek. A hiperspektrális felvételeket magassági információval kiegészítő térképezés során Behling és társai (2015) ökológiai indikátorokat számszerűsítettek, infrastruktúra monitoringot valósítottak meg a fenntartható városfejlesztés támogatására. Ezen adatokat korábban munkaigényes terepi felvételezésekkel és légi fotók interpretálásával állították elő. A cél egy automatizált módszertan kialakítása volt a költségek csökkentése érdekében. A hiperspektrális felvételek felhasználásával olyan részletességű adatokkal dolgozhattak, amelyek nem nyerhetők ki multispektrális képekből. Hasonlóan Heiden és társai (2012) is magassági információk segítségével vizsgáltak indikátorokat. Automatikus módszert fejlesztettek a felszínborítási kategóriák elkülönítésére, majd ebből vezették le a szükséges információt.

A módszertani ismeretek bővítéséhez járul hozzá például Van der Linden és Hostert kutatása (2009) is, akik a Hymap szenzorral készült képeken a beépített és beépítetlen területek elkülönítésének problémájával foglalkoztak. Vizsgálták az épületek kidőlésének és a felvételezés szögének kapcsolatát, valamint az osztályozást terhelő hibákat. Megállapították, hogy a növényzet kitakaró hatása miatt, akár az utak több mint 30%-a osztályozódhat a növényzet osztályába. Fontos tényező, hogy ez az arány függ attól is, mennyire zöld az adott város. A növényzet okozta hatások kiküszöbölhetőek, ha a vegetációs időszak különböző időpontjaiban készülnek felvételezések, így pl. a lomboszat nélküli felvételek segítségével tudjuk korrigálni az eredményt.

A fenti példákat látva világossá válik a hiperspektrális eszközök sokoldalúsága és a városi felszínek esetében az olykor nagyon speciális alkalmazások lehetősége is. ***Az eredmények és módszertani fejlesztések alátámasztják, hogy a városi vizsgálatokban, a várostervezésben a hiperspektrális légi felvételek egyedülálló részletességük folytán alkalmasak nagy pontosságú, nagy méretarányú felszínborítási térképek készítésére.***

2. Célkitűzés, problémafelvetés

2.1. A térbeli probléma

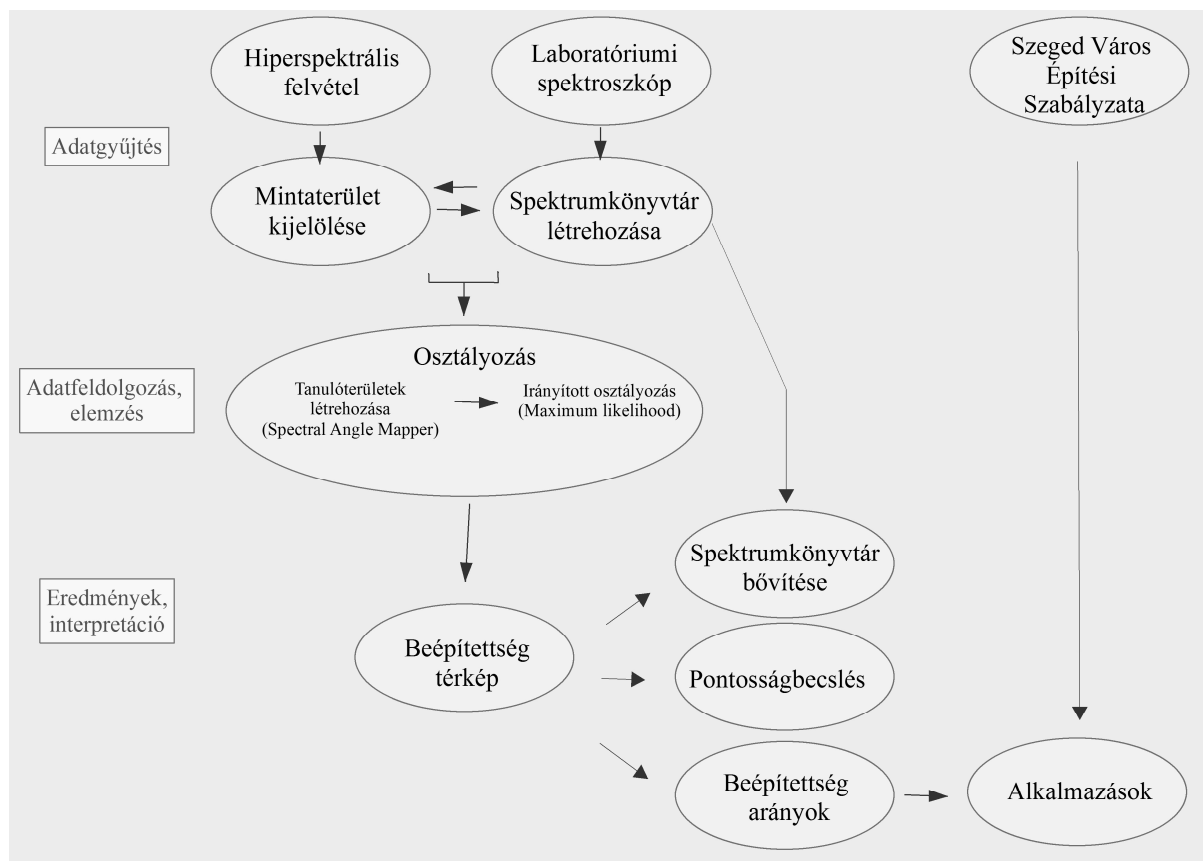
A városi felszínek változásai a környezetre különböző mértékű hatásokkal bírnak, ezért érdemes megvizsgálni, hogyan működnek ezek a folyamatok. A mérhető, megfigyelhető tényezők alakulásából, a térbeli kapcsolatok elemzéséből tudunk következtetni a hatásmechanizmusokra. Ezen tényezők közül a felszínborítottság a környezeti modellek egyik legfontosabb paramétere. A felszínborítás nem statikus paraméter, hanem a társadalmi-gazdasági folyamatok hatására dinamikusan változik, ezért az adatbázis frissítésére folyamatosan szükség van.

A felszínt borító anyagok, azon belül a beépítettség szerepe vitathatatlan a környezeti folyamatokban, de ez kölcsönös visszaható kapcsolat, hiszen a mesterséges felszínek elterjedése komplex természeti-társadalmi-gazdasági folyamatok eredője (Kovács F. 2011). A beépítettség mértéke befolyásolja például az albedót, a lefolyásviszonyokat, a hősziget létét, erősségét, a szárazságot, és a szélmozgást is (Unger J. 2011). Az említettekkel összefüggésben a zöldfelület-ellátottság hat hasonlóan, de ellenkező irányban, esetenként tompító hatásával mérsékelheti is a negatív folyamatokat. A zöldfelületek kiterjedésének módosításával, a beépítettség más jellegű tagolásával a mesterséges felszínek negatív befolyása enyhíthető (Unger J. 2011), amennyiben a kutatások eredményeit a várostervezés felhasználja. Magyarországon a városlakók aránya 70% (2012, World Bank), vagyis hazánkban is fontos és érdemes megvizsgálni a városi beépítettség változásának környezeti hatásait, különösen a nagyvárosok esetén.

A felszínborításról részletes térképek azonban hazánkban nincsenek, a Corine és az Urban Atlas levezetett adatokat tartalmaz, és nem is elég részletes a városrész szintű elemzésekhez. Az épületeket a Nemzeti Kataszteri Program évente megjelenő adatbázisából ugyan kinyerhetjük, de pl. a belső udvarokon lévő mesterséges felületek, üvegházak, úszómedencék stb. nincsenek nyilvántartva. Az alkalmazások során sokszor nem csak a tetőfelszínekre, hanem a teljes beépítettség arányára is szükség van, amelyet a nagyon költséges és nehezen kivitelezhető helyszíni felvételezésnél a távérzékelési módszerekkel gyorsabban és olcsóbban elő tudunk állítani. ***Így tehát kutatásom fő célkitűzése az volt, hogy elkészüljön egy olyan beépítettségi térkép, amely többféle saját további, illetve más kutatások alapdataként is felhasználható.***

2.2 Geoinformatikai problémák, célkitűzések

Az előző alfejezetben bemutatott térbeli probléma megoldásához a megfelelő geoinformatikai eszközöket kell alkalmazni, annak érdekében, hogy az eredmény minél pontosabb, részletesebb legyen. Egyes fejletlen országokban, ahol nincsenek rendszeres terepi felvételezések, a távérzékelés az egyetlen adatforrás, amely megfelelő adatokat tud biztosítani a városok szerkezetéről, fizikai jellemzőiről (Benussi et al. 2010). A döntéshozók számára fontos feltétel az is, hogy könnyen értelmezhető legyen az így kapott eredmény. ***A vizsgálatok során célul tűztem ki, hogy a kiválasztott városi mintaterületre hiperspektrális felvétel és laboratóriumi mérések alapján nagy pontosságú beépítettség térképet készítsék.*** A folyamatosan fejlődő módszerek számos probléma felmerüléséhez vezettek, amelyeket megoldási folyamatát a folyamatábra alapján (2. ábra) az egyes lépéseknek megfelelő sorrendben szeretnék bemutatni.



2. ábra A kutatás folyamata

(1) A beépítettségi térképet nagy térbeli felbontású légi hiperspektrális felvétel alapján állítottam elő. Minden elemzés során szükség van azonban földi referencia adatok gyűjtésére, amely tartalmazza a terepbejárást, független adatbázisok felhasználását. A kutatásom során lehetőség adódott labormérések elvégzésére és a felszíni anyagok spektrumainak meghatározására. **A terepen begyűjtött minták laborban történő feldolgozásához szükséges módszer kidolgozása, a megvalósítás során felmerülő problémák megoldása a vizsgálat fő célkitűzései közé tartoztak.**

(2) Mindemellett összehasonlító elemzéseket kívántam végezni a laboratóriumi spektrumok és a hiperspektrális kép spektrumgörbéi között. Kérdés, hogy **a két különböző adatforrás között milyen kapcsolat állapítható meg, mely sávokban, sávtartományokban a legnagyobb a korreláció, és az objektumok felismerésére alkalmazható-e a labormérés?**

(3) Magyarországról, a mesterséges felszínek spektrális tulajdonságairól kevés adat található meg a hazai szakirodalomban. Nem állnak rendelkezésre részletes leírások a felvételezési módjairól, ezért fontosnak tartottam, **hogy a laboratóriumi körülmények között mért adatokkal bővítésre kerüljön az adatbázis. A spektrumok felvételével, elemzésével új információkat kívántam kinyerni.**

(4) A folyamat utolsó lépése az osztályozás, amelynek célja a hiperspektrális felvételtől felszínborítási térkép előállítása. A hiperspektrális kép és a referenciaadat összekapcsolásakor és osztályozásakor **a legmegfelelőbb osztályozási metódus alkalmazása a sok lehetséges módszer közül újabb kérdésként fogalmazódott meg.**

(5) A területre jellemző spektrumgörbék megismerésén túl lényegesnek tartottam, **hogy a görbék alkalmazhatóságát azonos szenzorral, de más területen és időpontban készült felvételen is teszteljem, továbbá a spektrumkönyvtár bővítési lehetőségére példát mutassak.**

3. Mintaterület

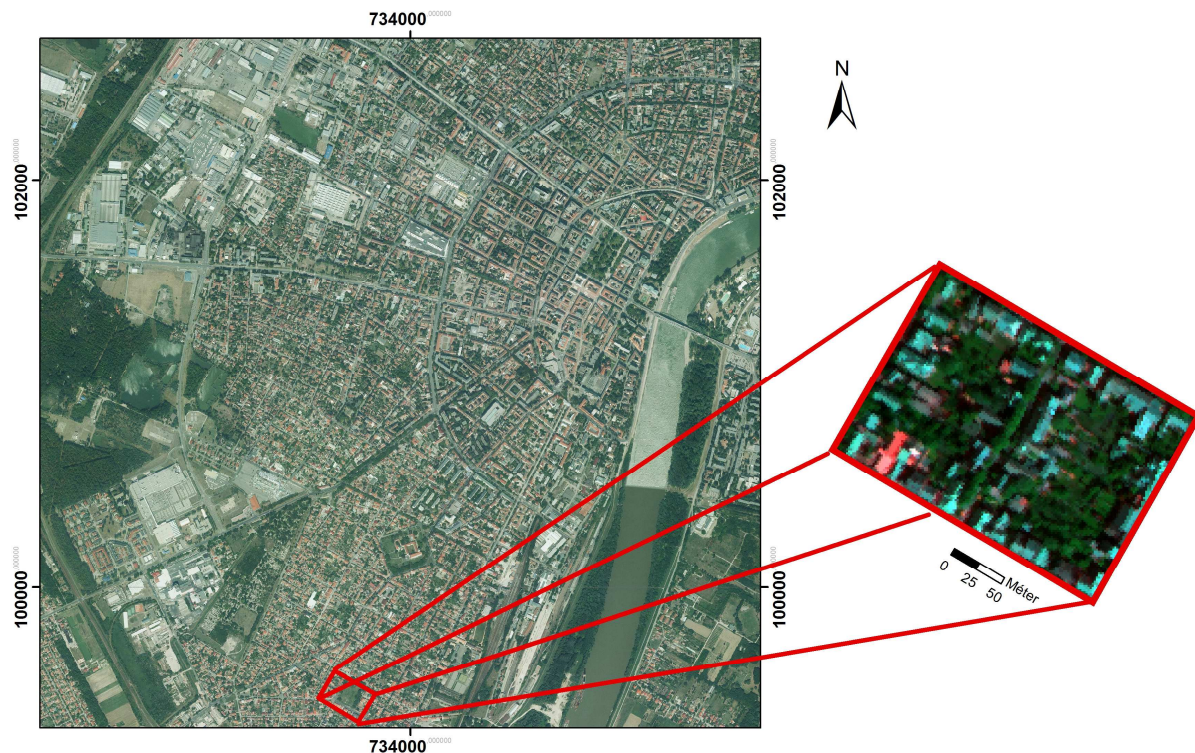
Magyarországon belül Szeged városa nemcsak nagy népessége (161837 fő, 2013, KSH), hanem a beépítettsége szempontjából is különleges, mivel az 1879-es árvíz után egy új, körutas, sugárutas szerkezet épült ki (Lechner L. 1891). A katasztrófa hatására a területet teljesen átalakították, szintjét megmagasították, töltéssel vették körül. Az adományoknak és erőfeszítéseknek köszönhetően mindehhez egy komplex várostervezési koncepció kapcsolódott Lechner Lajos tervei alapján. A kialakított sugaras-gyűrűs (radio-koncentrikus) városkép az elmúlt 135 évben alapjában véve megmaradt (3. ábra).

Szeged beépítettségére jellemző, hogy széles skálát vonultat fel a sűrűn beépített területektől (Belváros) a kertvárosias lakóházas beépítésen át (Alsóváros) a lakótelepekig (Tarján), és az ipari területekig, zöldfelületekkel, parkokkal tarkítva (Mucsi L., 1996). Ahogyan más településeken, itt is felmerül a beépíttség további növelésének igénye. Például a kiskertek, melyek évtizedekkel ezelőtt hobbikertként üzemeltek, egyre inkább a szuburbán letelepedés célpontjaivá válnak. Ezzel ellentétben Szegeden a zöldfelületek monitoringja és arányának növelése is egyre fontosabb cél, mind az Európai Unió biodiverzitási stratégiája, mind a Nemzeti Biodiverzitási Stratégia hangsúlyt fektet erre (Szeged Megyei Jogú Város Településfejlesztési Koncepciójának és Integrált Városfejlesztési Stratégiájának megalapozó vizsgálata 2014).

A kutatásban célszerű volt egy olyan funkcionális egységet kiválasztani, amely más kis- és középvárosban is megtalálható, így kutatásom eredményei kiterjeszthetők a későbbiekben ezekre a településekre is. A fenti szempontokat figyelembe véve mintaterületemet Szeged Alsóváros nevű részében jelöltem ki (3. ábra). A városrész az árvíz előtt szabálytalan utcahálózattal rendelkezett, később az újjáépítéskor viszont szabályos, sakktáblás szerkezetet kapott (Lechner L. 1891., Blazovich L. 2007). Szervező eleme a Mátyás-tér. A városrészben lakófunkció dominál, az épületek az utcavonalon helyezkednek el. Mivel a beépítés rendkívül sűrű, családi és társasházak jellemzik, a beépítetlen felszínnek területe viszonylag kicsi. Jellemzően a lebontott lakóházak helyére épül új, miközben a beépítés intenzitása folyamatosan nő (Mucsi L. 2011).

Csak néhány telken található meg az eredeti, elöntés után épült lakóház (ú.n. napsugaras ház). Akkoriban a várostervezés szempontjából az egységesség nagyon fontos szereppel bírt, ezért 12 krajcárért árulták a mintaterveket, 22 krajcárért pedig az építéshez szükséges folyamodványt, amelyben meghatározták a házak alaprajzát, a felhasználandó

anyagok típusait. „Ezeknél jobbat mindenkinek, de egyszerűbbet senkinek sem volt szabad építeni.” (Lechner L. 1891). Az alsóvárosi napsugaras házak ma is őrzik az eredeti kialakítást, az ott élő agrár népesség munkájának nyomát a körzetben (Blazovich L. 2007). Az a szabványos beépítés azóta sokat változott.



3. ábra Mintaterület (bal: multispektrális felvétel, jobb: hiperspektrális felvétel R:5, G:235, B:299)

A Dobó utca – Pálffy utca – Szabad Sajtó utca – Váradi utca által lehatárolt két háztömbnyi terület alkalmasnak bizonyult a vizsgálatokra. A terepbejárás és a referencia adatok gyűjtése során megállapítottam, hogy a kiválasztott tömbök jól reprezentálják az kertvárosias beépítési típusokat (Szeged Város Építési Szabályzata 2011).

4. Adatok

4.1. Térbeli és spektrális felbontások hatása a városi felszínek térképezésére

A pankromatikus képek után a multispektrális felvételek, majd ehhez képest a hiperspektrális rendszerek hoztak áttörést a távérzékelésben. A légi hiperspektrális képalkotó rendszerek és a laboratóriumi spektrométerek számos egymást követő keskeny sávban felvételeznek, amely lehetővé teszi, hogy az adott felvételezési területre vagy a mintára vonatkoztatva egy-egy folytonosnak tekinthető reflektanciagörbe készüljön. Ezeket a reflektancia adatokat összehasonlítva meghatározható milyen felszínborító anyagról készült a hiperspektrális felvétel (van der Meer et al. 2001). A hiperspektrális felvételek feldolgozása eltér a hagyományosnak tekinthető multispektrális képek feldolgozásától, pl. spektrális szögeltérés (spectral angle mapper), MNF transzformáció, stb. A feldolgozást nehezíti a hosszabb feldolgozási idő és a redundancia megnövekedése, hiszen a szomszédos sávok nem mindig hordoznak jelentős információ többletet (Weng, Q. 2012).

A városi beépített felszínek komplexek, nem csak geometriailag, hanem az őket felépítő anyagok is különbözőek lehetnek. A képalkotó spektrometria alapvető feladata a jellegzetes felszínborítási típusok elkülönítése. A vizsgálatok során hasonló anyagi felépítésű, mégis különböző funkciójú anyagok kerülhetnek egy csoportba, amelyek későbbi elkülönítése, területhasználati kategóriaként való értelmezése más megközelítést és adatot is igényel. Sok esetben domborzatmodellel különböztetik meg pl. a panellakások tetejét az utaktól, parkolóktól (Tobak Z. 2013, Weng, Q. 2012). Ilyen esetekben még a nagyobb spektrális felbontás sem elegendő önmagában, hiszen a kémiai összetétel ismerete nem elegendő az elhatároláshoz.

A növekvő spektrális felbontás mellett a térbeli felbontás a másik számottevő tényező (Ben-Dor, E. 2001). Ez esetben a legkisebb vizsgálandó objektum mérete az irányadó, amely minden kontinens, térség vagy ország városaira, városrészeire egyedi lehet (Benussi et al. 2010). A települések sok apró objektumból, diszkrét mintákból állnak, amelyek nem elkülöníthetőek kis felbontás esetén, mivel túl sok keverék pixelt tartalmaznak ezek a képek. Az urbánus területeken a fák, utak megfelelő elkülönítéséhez szükséges a nagy felbontás (Plaza et al. 2009). A vizsgálatok kimutatták, hogy a városi felszínek pontosabb vizsgálatához –, figyelembe véve homogenitásukat – minimum 5 méteres felbontásra van szükség (Herold et al, 2005). Jelenleg számos műhold (pl. Ikonos, Quickbird, Orbview, Worldview-3) képes

ilyen minőségű adatot szolgáltatni, azonban mindezt hiperspektrálisan és költséghatékonyabban csak a légi felvételezés tudja biztosítani (Weng, Q. 2012).

Szeged esetén a homogén felszínborítási foltokat szegmentációval és autokorrelációval vizsgálva megállapításra került, hogy az objektumok mérete javarészt 400 és 1100 m² között alakul (Henits L. 2013.), ezért minimum 20 méteres felbontás várható el, hiszen Alsóvárosban jellemzően a kisebb objektumok dominálnak. A 1,5 méteres felbontású hiperspektrális képen sok homogén pixel várható, így alkalmas az elemzésre. A rendelkezésre álló méter alatti felbontású multispektrális légifotó, habár jobb térbeli felbontású, sokkal kevesebb adatot tartalmaz három sávjában, mint a térbeli részletességet 359 sávval kompenzáló hiperspektrális felvétel. A korábban már ismertetett és a későbbi fejezetekben említett irodalomban a hiperspektrális feldolgozás széleskörű alkalmazási lehetősége és sokféle feldolgozási technikája megerősítette választásom helyességét.

4.2 A hiperspektrális légi felvételezés és adatgyűjtés

A városok vizsgálata a távérzékelés alkalmazásainak egyik olyan területe, ahol nem csak a különböző felbontású szenzorok, hanem az aktív és a passzív rendszerek is számos lehetőséget kínálnak. Alkalmazhatóak – a teljesség igénye nélkül – nagy felbontású műholdképek, légifotók, a sztereofelvételezések, LIDAR képek és hiperspektrális felvételek is. Ma már a hiperspektrális felvételek térbeli felbontása a légi felvételező rendszerek fejlődésével sokat javult, emiatt alkalmasak lettek nagy méretarányú (telek szintű) városi felszínborítási térképek készítésére.

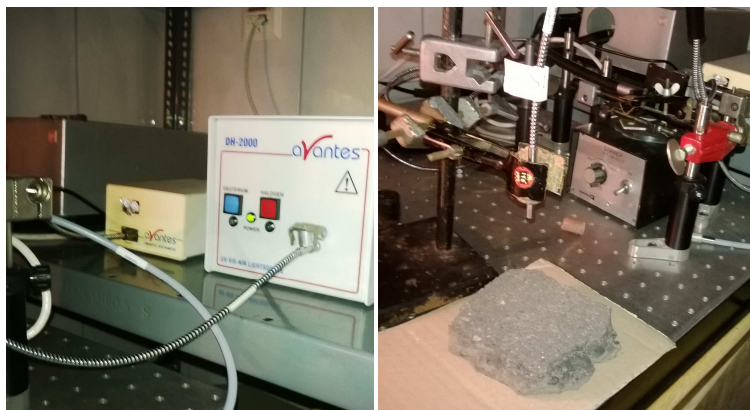
„Az FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet és a Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék 2006-ban a Gazdasági Versenyképesség Operatív Program pályázat keretében, EU-s támogatással beszerzett egy SPECIM gyártmányú AISA DUAL hiperspektrális távérzékelő rendszert.” (Tobak Z. 2013). A kisrepülőgépes felvételezések több alkalommal a műszerrel 359 sávban történtek 400 nanométer és a 2500 nanométer közötti tartományban, 2,3 és 5,8 nanométeres sáv szélességgel. A képek térbeli felbontása 1,5 méteres.

Szeged területére 3 hiperspektrális légi felvételezés történt. 2007-ben a város majdnem teljes területére, azonban 2009-ben és 2010-ben csak kisebb területekre készültek képek. Az első repülés során radiancia értékek, az utóbbi kettő esetén reflektanciagörbék is rendelkezésre álltak, azonban minimális volt az átfedő terület, így vizsgálataim során a 2010-es adatokat használtam, majd a spektrumkönyvtárat a 2009-es felvételen is teszteltem.

Miután a szenzor a látható fény tartományától a közepes infravörös tartományáig lefedi a spektrumot, így alkalmas a mesterséges felületek ill. a növényzettel fedett felszínek hatékony elkülönítésére. A kapott felvétel vetületi rendszere UTM volt, így az egységesség miatt dolgozatomban következetesen ebbe a vetületi rendszerbe transzformáltam a megjeleníteni kívánt rétegeket.

4.3 Laboratóriumi mérések

A labormérések a Szegedi Tudományegyetem Orvosi Fizikai és *Orvosi Informatikai Intézetében* AVANTES DH2000-res spektrométerrel készültek (4.ábra). A műszer két, viszonylag széles tartományban ad jól értékelhető adatot: 350-850 nm (master) és 530-1150 nm (slave) között. A sávok szélessége 0,37-0,27 nm között változik, egyre csökkenő szélességet felvételezve, a sávok száma az egyes tartományokban külön-külön 2000 sáv feletti.



4. ábra Az Avantes spektrométer és a mintavétel

A műszer száloptikája a fényforrás energiájának közvetítője (halogénlámpa) és a jelek továbbítója is egyben. E kettősségnek köszönhetően a – más intézményekben gyakran használt – külső megvilágítással felvételező műszerek esetén problémás fényforrás-minta-detektor által bezárt szög nem jelentkezik, a műszer saját fényforrásával jól reprodukálható eredményt adott. A méréseket több alkalommal azonos körülmények között végeztem el 2013. november és 2014. május között. A reflektanciagörbéket 25-25 mérés átlagaiból állítottam elő.

Kétféle száloptikát alkalmaztam, egy UV tartományban mérőt –, amely a hiperspektrális felvétel 400-2500 nanométer közötti felvételezési intervallumával csak kis átfedést biztosított – és egy 350-2500 nanométer között közvetíteni tudó száloptikát. Az

utóbbi teljesen lefedte mindkét (master és slave) tartományt, így ezen végeztem el a megfigyeléseimet.

A kiválasztott anyagokat, a labormérés menetét a 6. fejezetben ismertetem, a referenciaadat leírásánál bemutatom a mintagyűjtés helyét és a mért görbék összefüggéseit.

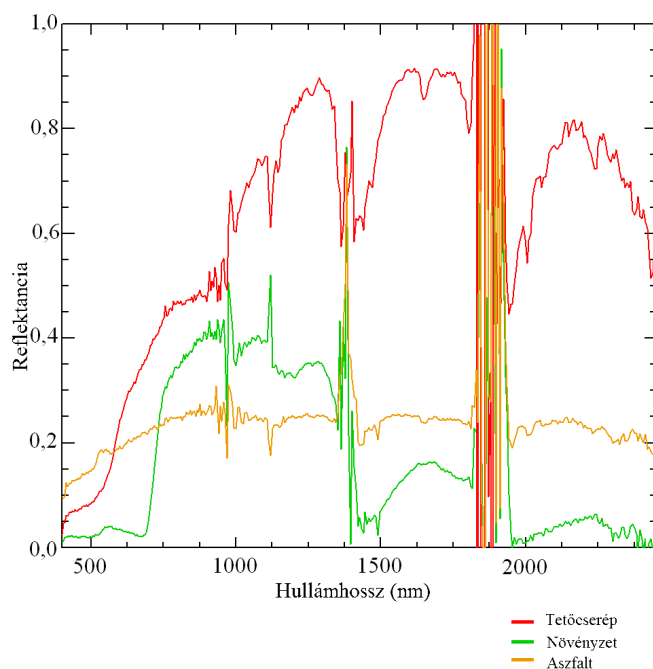
5. Módszerek

5.1. Spektrumkönyvtár létrehozása

A felvételek elemzésekhez szükség van előzetes információkra a felszínborítási típusok tulajdonságairól. Azonban viszonylag kevés városi felszínborítást tartalmazó spektrumkönyvtár áll rendelkezésre (például Kültür, N. – Türkeri, N. 2012, Bassani et al. 2007), továbbá a gyakran használt anyagok területenként is változóak (Heiden et al. 2007).

A spektrumkönyvtárak szerepe azért is fontos, mert helyi, egyedi anyagra vonatkozó információkat is tartalmazhatnak. Ezeket összehasonlítva légifelvételeink spektrumgörbéivel, következtetések vonhatóak le az adott terület anyagi minőségére vonatkozóan. A spektrumgörbék előállítása több módon történhet, így készülhetnek a hiperspektrális kép tanulójának átlagos görbéjét felhasználva, terepi mérésekkel vagy labormérésekkel is (van der Meer et al. 2001).

Amennyiben a képelemeket felhasználva kerül meghatározásra a spektrumgörbe, erőteljesen befolyásolnak a légköri és a megvilágítási hatások, mivel a különböző anyagokat tartalmazó rétegeken áthaladó fény egy része szóródik, megtörik, abszorbeálódik, mire a detektorra érkezik. Az 5. ábra zajos sávjain is megfigyelhető az 1400 és az 1900 nm körüli ún. vízelnyelési sávokban. Az évszak, a napszak, az időjárás összhatása is hat a kimeneti adatokra. A képről levett spektrum csak körültekintően alkalmazható másik időpontban vagy másik szenzorral készült kép esetén. A 5. ábrán megfigyelhető néhány anyag spektrumgörbéje.



5. ábra Példák hiperspektrális kép spektrumaira

Kevesebb fizikai hatás érvényesül a terepi mérés alkalmával. A mintákat ez esetben a légköri hatásoktól függetlenebbül vizsgáljuk, a kisebb tárgytávolság és a hosszabb felvételezési idő folytán inkább a minta dőlése, a felszín egyenetlenségei (szóródás) és a megvilágítás mértéke, szöge dominálnak. Előnye, hogy más-más időjárási körülmények között, különböző évszakokban lehet mérni. Azonban a műszer közelsége miatt kisebb területről lehetséges csak a mérés, mint a légi/műholdas felvételezés során. A vizsgált mintarészlet nem feltétlen reprezentálja a teljes mintát, például a kavicsos egy betonfelületen (Milton et al. 2009).

A távérzékelési folyamatban a külső fizikai hatások akkor érvényesülnek legkevésbé, ha alig változó környezetben, laboratóriumban mérünk. Ez esetben a terepinél tisztább spektrumokat kapunk (Heiden et al. 2007). A mérés bármikor reprodukálható, az eredmény egy általános állapotot ír le, nem időpont-specifikus. A laboratóriumi műszernek saját fényforrása van, így nem kell számolni a napsugárzás intenzitásának változásával, amely a terepen jelentkezik. A kapott eredmények többféle szenzorral, különböző időpontokban készült felvételek feldolgozásakor is alkalmazhatók.

A laboratóriumi spektrumgörbéken a jellegzetes spektrális tulajdonságok (lokális maximumok és lokális minimumok) megfigyelhetők, ugyanakkor a légifelvétel spektrumgörbéin ezek tompábban jelentkeznek. Ezáltal kizárható, hogy a felvétel adott sávjában jelentkező lokális eltérés a felvételezés hibája legyen.

A labormérések után előre jelezhető, mely tartományokban mutathatóak ki szignifikáns különbségek az egyes anyagok görbéi között. A jellegzetességek ismerete gyorsíthat az osztályozás sebességén, hiszen így csak a szükséges sáv(tartomány)okat kell figyelembe venni az osztályozás során (Herold, M. – Roberts, D. A. 2010).

A laboratóriumi mérések beállításai, a mérési módszerek nagyon sokfélék lehetnek (Jung et al. 2002). Az egyes beállítások megtalálása erőteljesen műszer-specifikus, és függ a felhasználó igényeitől. A labormérések nem csak a hiperspektrális felvétel referenciájaként hasznosak, hanem a kapcsolat fordítva is igaz, a mérések igazíthatóak a felvételekhez. Vagyis érdemes olyan tartományokat olyan beállításokkal vizsgálni a laborban, amely később hasznos lehet az általunk tervezett osztályozáshoz.

A vizsgált főbb felszínborító anyagok a következők voltak: piros agyagcserép, aszfalt és növényzet. A nagyobb spektrális felbontás nem mindig elegendő a pontos osztályozáshoz, így ha szükséges, magassági adatok felhasználásával különböztetik meg pl. a panellakások szigetelt tetejét az utaktól, parkolóktól (Tobak Z. 2013, Weng, Q. 2012).

5.2. Spektrumgörbék meghatározása a laboratóriumban, beállítási lehetőségek

A spektrométeres mérések során az eredmények legjelentősebb befolyásoló paraméterei a következők: az integrációs idő (ms), az átlagolt minták száma, a száloptika és a mérendő anyag távolsága. Az *integrációs idő* beállítására azért van szükség, hogy a detektorok elegendő mennyiségű fényt kapjanak a spektrumgörbe teljes kirajzolásához. A *minták száma* a jel/zaj arány szempontjából lényeges, minél több mérés átlagát vesszük, annál pontosabb görbéket kaphatunk. A mérési eredményeket legjelentősebben a *távolság* változása módosította. A kis átmérőjű száloptika és a jelentős szóródás miatt célszerű volt egy olyan távolságot keresni, amely többféle anyagra reprodukálható, kisebb a szóródás, de kellően nagy területről felvételez ahhoz, hogy a 1,5 m-es légifotóval összehasonlítható léptékű legyen. Tehát nem molekulaszintű adatok kinyerése volt a cél, hanem egy átlagérték megtalálása az adott –változékony – felszínborítási típusra. A választott távolságérték függvényében változó mintavételi terület átmérőben nem lehetett túl nagy sem, hiszen például a mért akác levéllel nagyságrendileg meg kellett egyeznie. Szerepet játszott a referenciakerámia mérete is, ebből adódóan 4,5 – 5 centiméterben maximalizálnom kellett a távolságot. Az egyedi anyagi sajátosságok figyelembe vétele is szükséges volt, hogy az alacsonyabb albedójú anyagok is szolgáltatassanak elég jelet az eredmények kiértékeléséhez.

5.3. Osztályozási módszerek

Az osztályozás két fő kategóriája az automatikus és az irányított osztályozás. Az előbbi referenciaadat hiányában, az osztályok utólagos beazonosításával lehet véghezvinni, és egy multispektrális felvételen szegmentációval kombinálva jó eredményt adhat. A hiperspektrális felvételen, mivel azonosítható spektrumgörbék jellemzik, célszerűbb irányított osztályozást végezni. Az irányított osztályozás első lépésében tanulók kijelölésére volt szükség. A tanulók kijelölése több módon történhet, ebből a labormérés lehetőségeit legjobban kihasználó módszert részletezem a jelen fejezetben.

A spektrális szögeltérés vizsgálat (Spectral Angle Mapper, SAM) a legalkalmasabb osztályozási módszer a labormérések bevonására, ugyanis lehetőséget ad a hiperspektrális kép spektrumainak a laborban mért görbékkel való összehasonlítására (Dennison et al. 2004, Kruse et al. 1993). A képelemek a pixelérték alapján tekinthetők egy n dimenziós tér vektorainak. Ezután a vektorok radiánban adott szögeltérésének függvényében az algoritmus

leválogatja azokat a pixeleket, amelyek az eltérési tartományon belül esnek (Kruse et al. 1993). A módszer nagy előnye, hogy a vektorirányokat veszi figyelembe, és a vektorok hossza nem befolyásoló tényező. Következésképpen, ha ugyanazon tető fényesebben látszik a képen – ,ami a bezárt szög, légköri hatások miatt gyakran előfordul –, akkor a két pixel ugyanabba az osztályba kerülhet.

A SAM hatékonysága abban áll, hogy kellően kis szögeltérést megadva a hiperspektrális képen leválogathatók azok a pixelek, amelyek adatai legjobban korrelálnak a labormérésekkel. A laborkörülményekkel szemben, a valóságban bizonyos szög alatt érkező, erősen szóródó visszaverődő fény intenzitását méri a rendszer nagy távolságból. Ezért egy tetőfelületen belüli képi pixelek varianciája sokkal nagyobb lehet, mint a laboratóriumi mérések után várnánk. A SAM-mal azonban megkereshetőek az erősen korreláló pixelek, és azokat tanulóként felhasználva egy irányított osztályozás hajtható végre. Ennek során már a statisztikai alapon kevésbé hasonló, de más osztályoktól még eltérő pixelek is jól osztályozódnak.

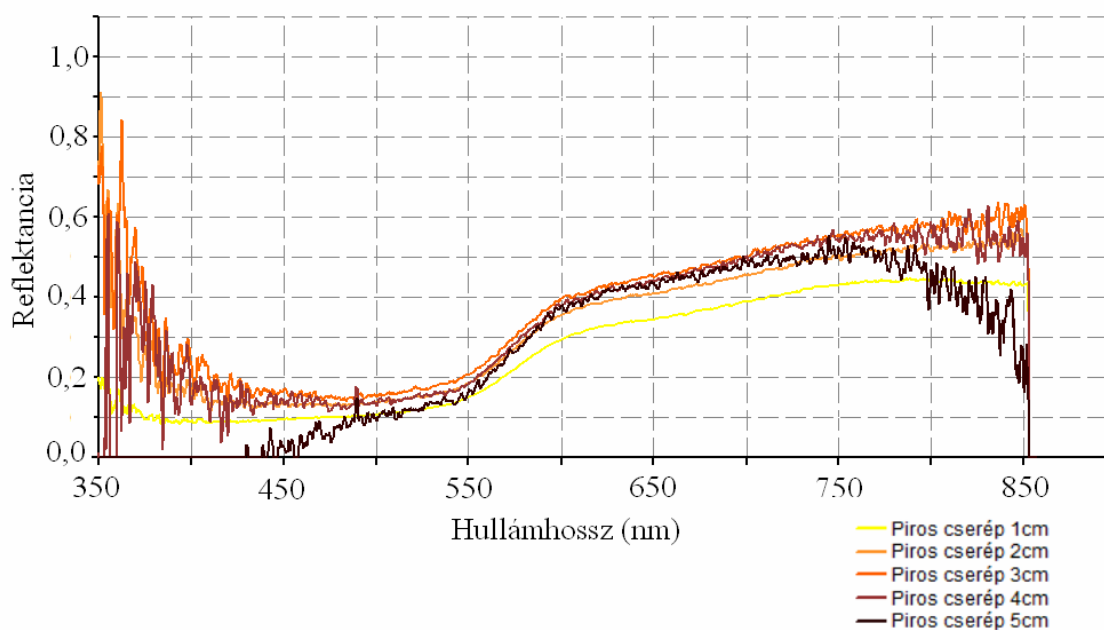
A hiperspektrális képek esetén az irányított osztályozások közül gyakran alkalmazzák a valószínűségeen alapuló maximum likelihood módszert, mivel általában a többi irányított osztályozásnál jobb eredményt ad (Tobak Z. 2013). Forzieri és társai számára (2013) is a maximum likelihood mutatkozott a legjobbnak, szemben a SAM és Spectral Information Divergence (SID) közvetlen használatával. Különösen igaznak bizonyult a megállapítás a városi mesterséges felületekre. A vizsgálatomban alkalmazásra kerülő maximum likelihood tanulóit matematikai úton, a spektrális szögeltérés módszerével alakítottam ki, így a küszöbértékek változtatásával tovább javítható az osztályozás.

6.Eredmények

6.1. A megfelelő beállítások a spektrumkönyvtár létrehozásához

A laboratóriumi mérések beállításai, a mérési módok az irodalomban is nagyon sokfélék lehetnek (Jung et al. 2002), az egyes beállítások erőteljesen műszer-specifikusak, és függenek a felhasználó igényeitől. A labormérések nem csak a hiperspektrális felvétel referenciájaként voltak hasznosak, hanem a mérések beállításai igazíthatóak voltak a felvételezési beállításokhoz. Bizonyos spektrumtartományokban az anyagok eltérő spektrális tulajdonságokkal rendelkeznek, pl. a növényzet és a mesterséges felszínek esetén, ezen jellegzetességek megjelenésére kiemelt figyelmet kell fordítani a beállítások kiválasztása során.

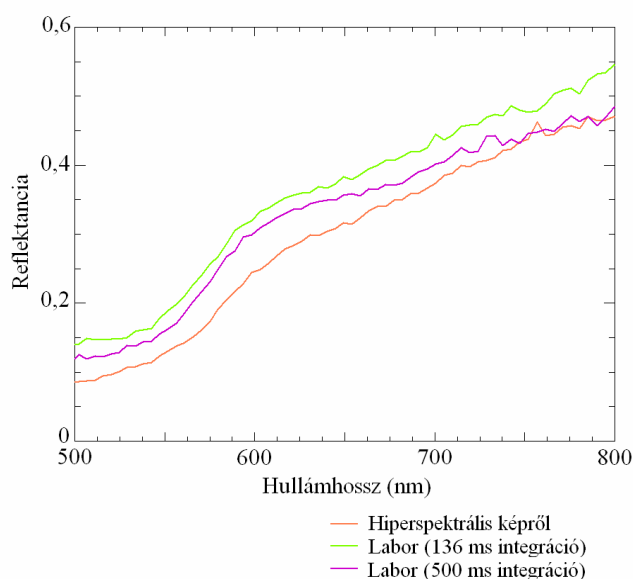
A labormérések során első lépésként megvizsgáltam, hogy a szenzor és a minta távolsága hogyan befolyásolja a mérési adatok minőségét. Megállapítható volt, hogy az 1-5 centiméteres intervallumon belül a távolság növekedésével nő az adatok szórása a rövidebb és a hosszabb hullámhosszú tartományokban. Emiatt az összes minta reflektanciájának mérésekor a 2 cm-es tárgytávolságot alkalmaztam. A 6. ábrán szemléltetem a mérési eredményeket, a különböző távolságban mért reflektanciaadatokat. Minden esetben az adott távolságra újramértem a referenciát.



6. ábra A laboratóriumi mérés görbéi a távolság függvényében

A SpecTour projekt keretében Jung és társai (2012) különböző műszereket és mérési módokat hasonlítottak össze, és ezek alapján először az elfogadott, nemzetközileg is legjobban elterjedt beállításokkal készítettem 136 ms-os integrációs idővel, 25-25 egyedi mérés átlagolását alkalmazó mérést a vizsgált anyagokról. Mivel sok a változtatási lehetőség, célszerű megfigyelni a műszerre jellemző sajátosságokat is, így a beérkező jel mennyiségéhez és a választott távolsághoz mérten állapítottam meg a felvételezési időt. Ezután, hogy a detektorokra érkező jel elegendő legyen a pontosabb görbe kirajzolásához 500 ms hosszúságú integrációs időt is alkalmaztam, ezzel megnőveltem a jelszintet, és jelentősen nőtt a pontosság. A többféle mérés célja az volt, hogy az eredményekből kiválasztható legyen, mely méréseket tudom a hiperspektrális kép elemzéséhez optimálisan felhasználni. A 7. ábrán is látható, hogy az alapbeállítások szerinti mérések (136 ms integrációs idő, 25 átlagolás) is jó közelítést adtak, de az ábrán az is látható, hogy az 500 ms integrációs idejű mérés jobban korrelál a hiperspektrális képpel. A 136-os integrációval készült görbét a hiperspektrális képpel összehasonlítva 0,958-as korrelációs együtthatót, míg az 500-as integrációjú mérésre 0,989-at kaptam.

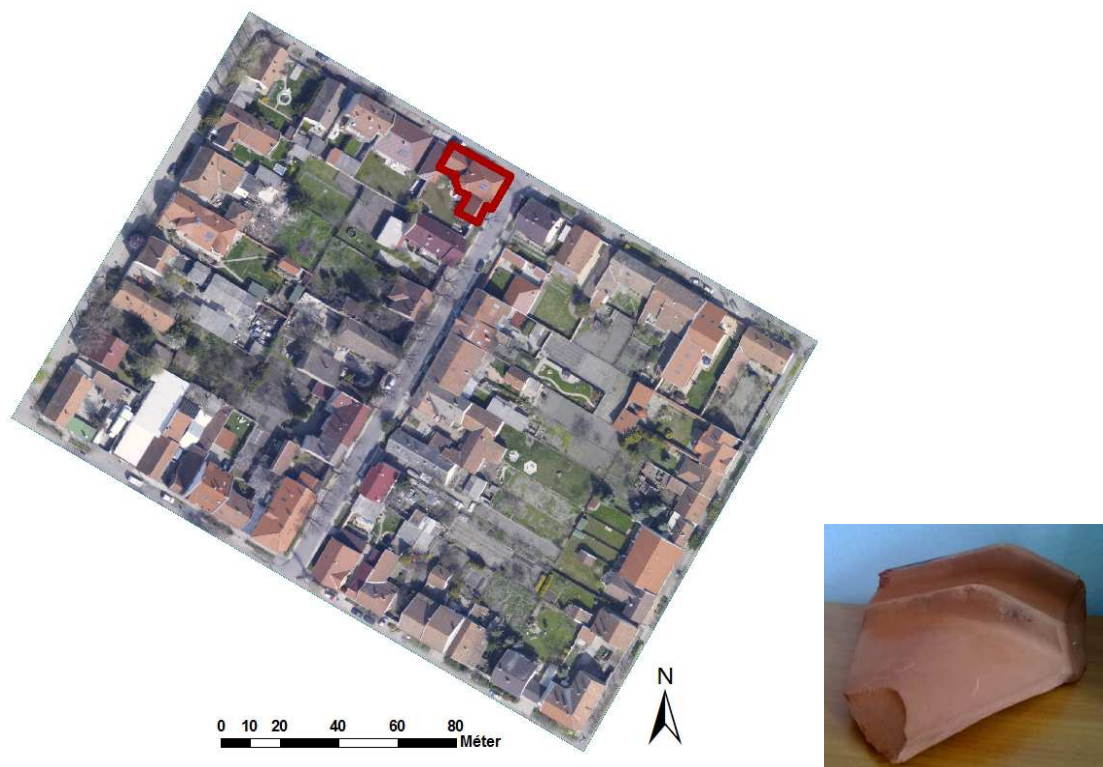
A mérések eredményét a műszerhez tartozó programba (Avasoft) beépített ASCII konverzió után .ttt kiterjesztésű fájlok képezték, amelyek több oszlopban tárolják az aktuális scope, referencia, dark és transzmisszió (reflektancia) értékeket. Excel segítségével az ENVI számára beolvasható kétoszlopos (hullámhossz, reflektancia) formátumot alakítottam ki, amely így alkalmassá vált az osztályozáshoz.



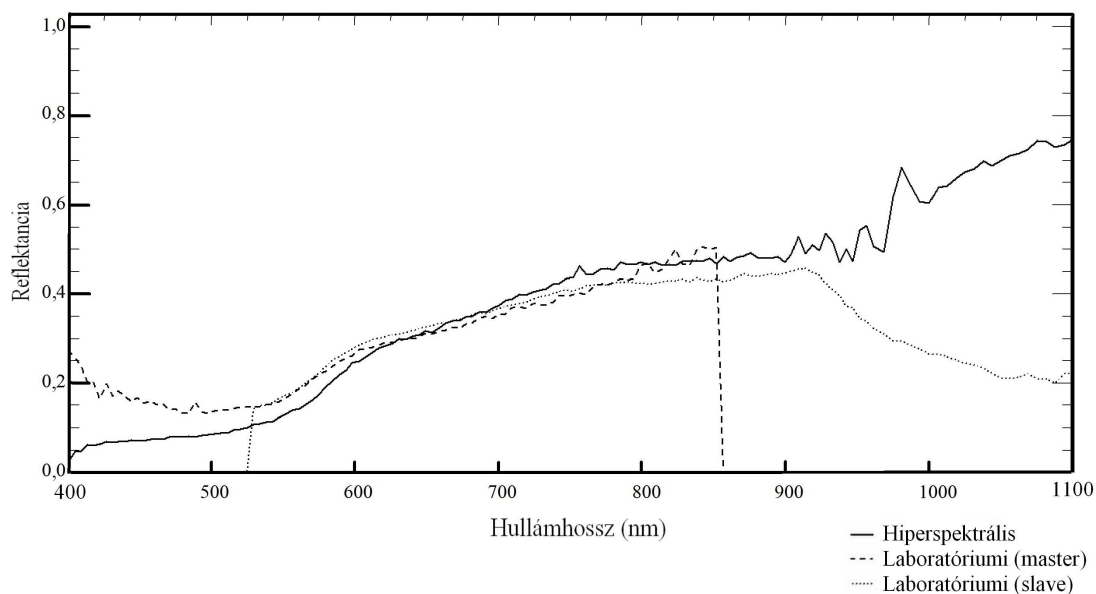
7. ábra A különböző beállításokkal készült laboratóriumi mérések és a hiperspektrális kép görbéje (tetőcserép)

6.2. A hiperspektrális felvétel és a labormérés közötti számszerűsített kapcsolat, a megfelelő tartományok kiválasztása

A mintagyűjtés szempontja az volt, hogy az adott felszínborító anyag minél nagyobb felületet fedjen a mintaterületen belül, így jellegzetes tetőfedő anyagként a kerámia cserép és hódfarkú cserép került begyűjtésre. Továbbá kétféle (kavicsosabb és kevésbé közúzalékos) aszfaltot, betoncserepet és faleveleket gyűjtöttem össze és szállítottam a laboratóriumba mérésre. Az eredeti osztályokat végül leszűkítettem a piros cserépre, az aszfaltra és a növényzetre, amelyekre az elemzéshez szükség volt, és amelyek jellegzetesek Alsóváros ezen részén. A növényzeti mintáimat a 2010-es felvételezéshez közeli időpontban, szeptemberben gyűjtöttem. A 8-9. ábra mutatja, hogy a piros cserép (a légifotón kijelölt tetőről) mint referencia is megállja a helyét, a diagramon (9. ábra) is megfigyelhető a hasonlóság.



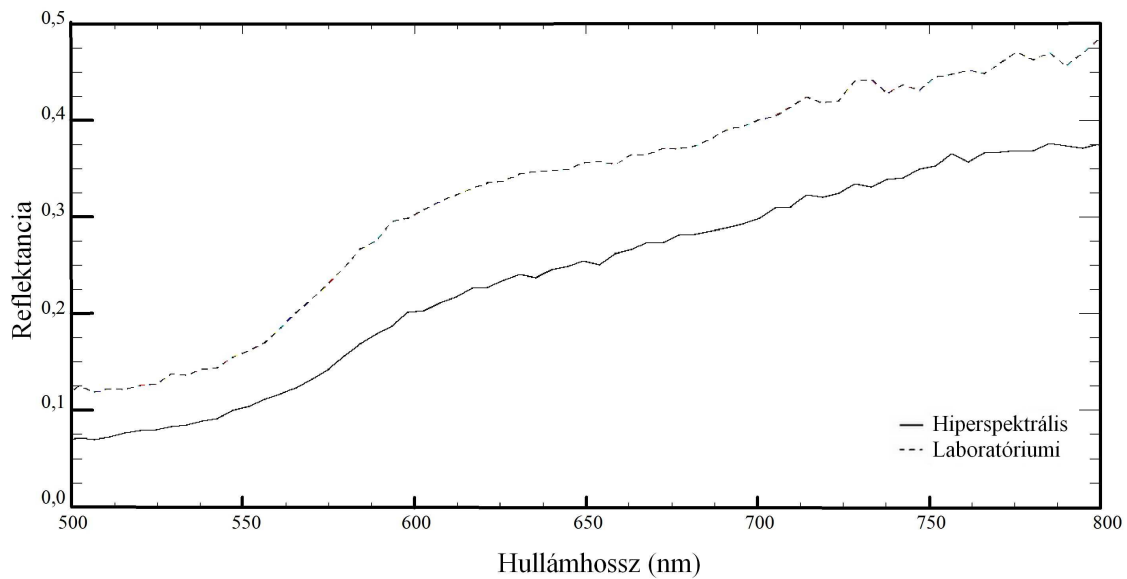
8. ábra A referenciacserép



9. ábra A hiperspektrális kép és a labormérések görbéinek menete (referenciacerép)

Minden mintáról a korábban említett két, egymást részben átfedő tartományban végeztem mérést. A két tartomány együttesen a látható fény tartományától a közepes infravörös tartományig teljes reflektanciagörbét biztosít a vizsgált tárgyra vonatkozóan. A viszonylag széles tartomány két végén azonban elég nagy volt az adatok szórása. Emellett a két csatorna beállításai eltérőek (sávszélesség), és a két csatorna közötti váltások megnehezítették a mérést. Ezért lényeges kérdés volt, mely spektrális tartomány jelölhető ki úgy az osztályozáshoz, hogy a laboradatok és a hiperspektrális adatok magas korrelációja fennmaradjon.

A terepen a minták begyűjtésekor rögzítettem a mintavételi hely földrajzi koordinátáit és ezek alapján meghatároztam a geokorrigált hiperspektrális felvétel megfelelő képelemét. Összehasonlítottam a minta reflektanciaértékeit és a megfelelő képelem pixelértékeiből számított reflektanciaértékeket és vizsgáltam, hogy spektrumtartományban a legmagasabb a korreláció a laboradatok és a hiperspektrális adatok között (1. táblázat, 10-11-12. ábra).



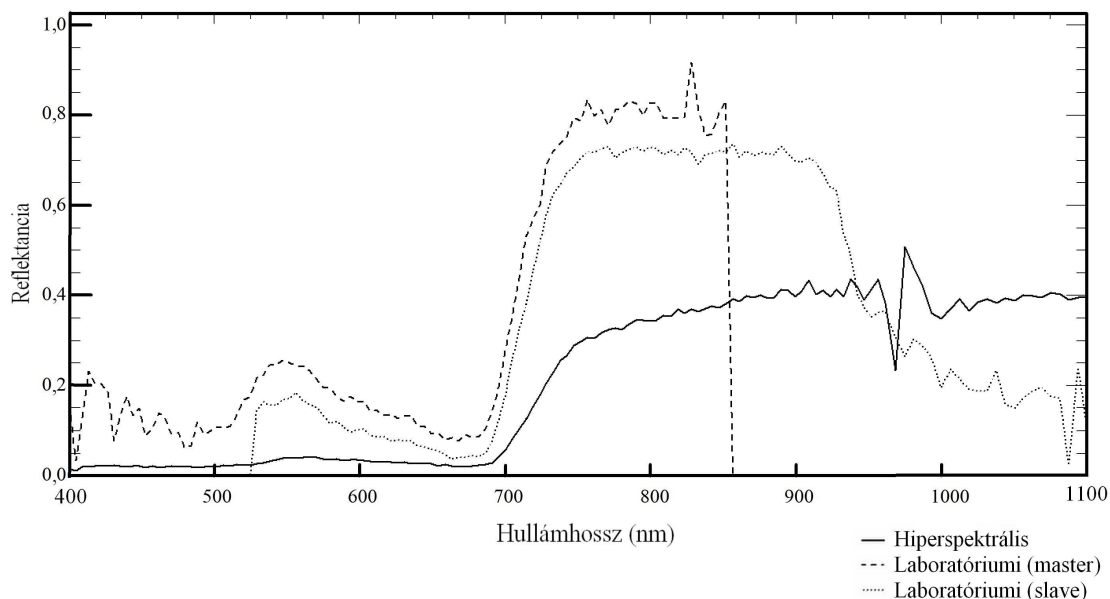
**10. ábra A referenciacerép reflektanciagörbéje
hiperspektrális kép és a labormérés alapján**

1. Táblázat A korrelációs együtthatók értékei különböző csatornáknál felvételezve

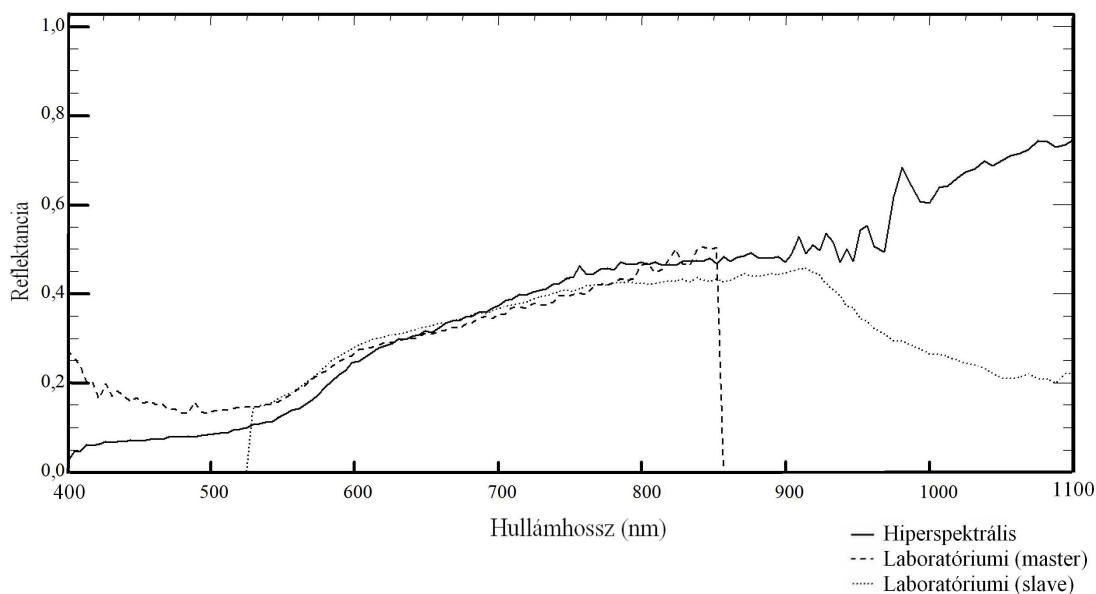
	MASTER			SLAVE	
	350-850	500-800	525-800	525-1165	525-800
piros agyagcserep	0,987	0,991	0,990	0,240	0,982
növényzet	0,983	0,988	0,988	0,642	0,993
aszfalt	0,519	0,857	0,885	0,303	0,950

A két csatorna teljes spektrumait elemezve magas korrelációs együttható csak a master csatornában (látható fény teljes spektruma és a közeli infravörös tartomány) volt kimutatható az agyagcserepre és a növényzetre ($R=0,98$), míg az aszfalt esetében a kapcsolat nem ennyire szoros ($R=0,52$). A slave csatornában mindhárom felszínborítási anyagra jóval kisebb értéket kaptam. A spektrális tartomány szűkítésével nőtt a korrelációs együtthatók értéke. Magas, szignifikáns kapcsolat adódott a master és a slave csatornák közös (átfedő), 525-800 nm-es sávjaiban mindhárom anyagra vonatkozóan. A választásom mégis a szélesebb, de az aszfaltra 0,1-del kisebb értéket adó 500-800 nm-es sávra esett, mert 525 nm-nél a három anyag reflektanciája alig különbözik egymástól. Emellett az 500-525 nm-es sávban a növényzet reflektanciája a legkisebb, és 525 nm-nél lesz nagyobb előbb a piros agyagcserep, majd az aszfalt reflektancia-értékénél. Mivel a hiperspektrális felvételen a különböző dőlésszögű, megvilágítású anyagok elkülönítését a spektrális tulajdonságok (pl. lokális minimumok,

maximumok) segítségével kívántam megvalósítani, ezért a master csatornán belüli 500-800 nm-es sávot választottam.



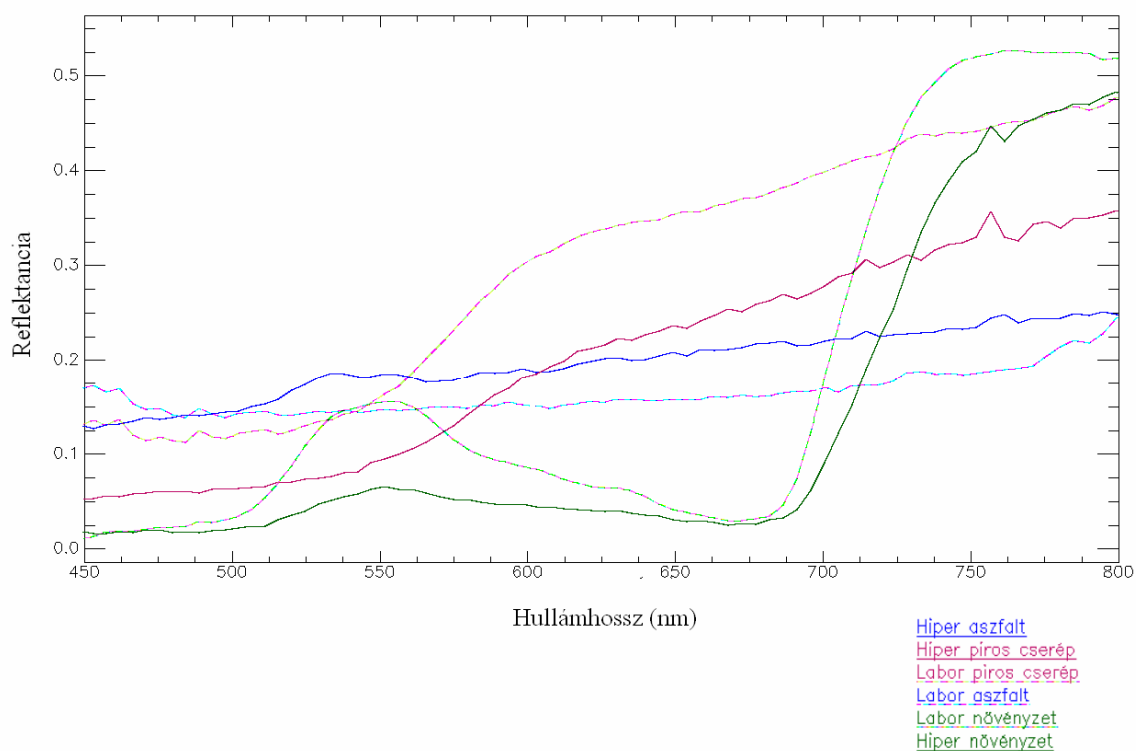
11. ábra Növényzet reflektanciagörbéje a master és slave tartományokban összehasonlítva a hiperspektrális kép reflektanciagörbéjével



12. ábra Piros agyagcserép görbéje a master és slave tartományokban összehasonlítva a hiperspektrális kép reflektanciagörbéjével

A képi és a labor spektrumok szoros korrelációja azt is biztosítja, hogy ha a minták a laboratóriumi mérések alapján jelentős spektrális eltéréseket mutatnak, akkor a hiperspektrális felvételen is megbízható osztályozási eredményt kaphatunk.

Egy-egy speciális tartományon belüli reflektanciagörbe futása fontos információkat szolgáltat az anyagok tulajdonságairól (Heiden et al. 2007). Az 500-800 nanométeres tartományban a piros cserép reflektanciagörbéje monoton növekvő (13. ábra).



13. ábra Különböző anyagok laborban mért és a hiperspektrális képből kinyert görbéi

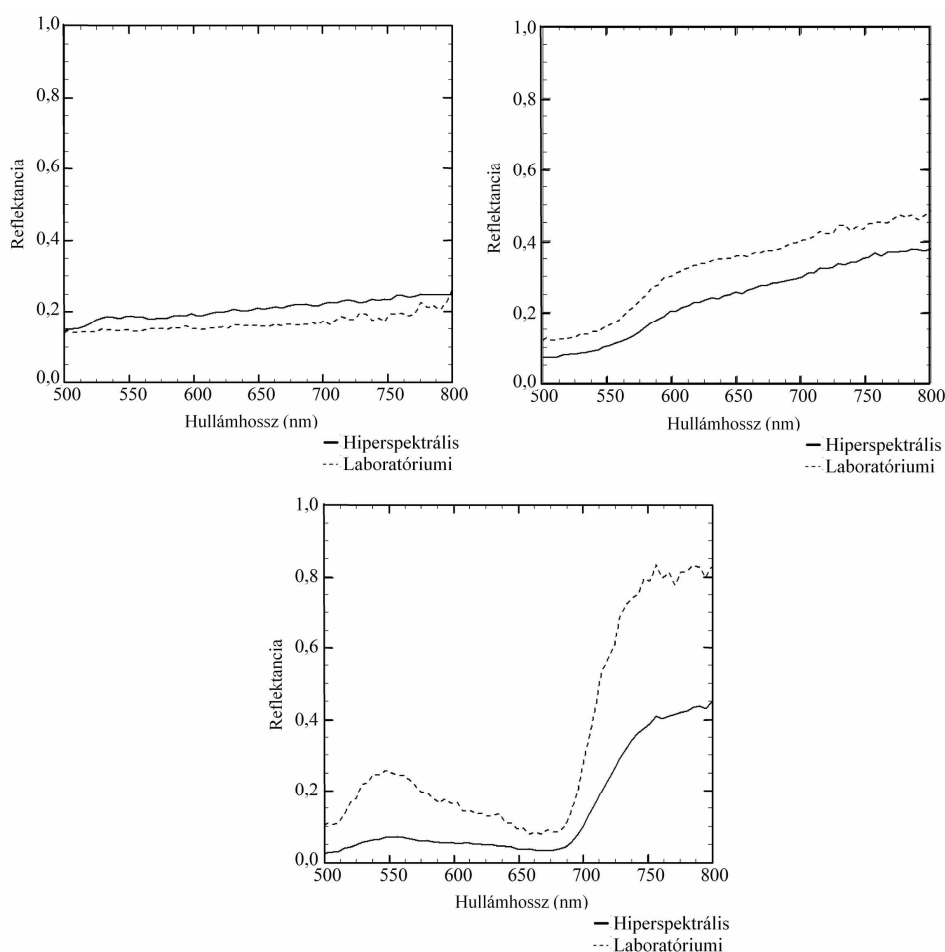
Ezzel szemben az aszfalt görbéje állandó értéket mutat. A növényzet reflektancia tulajdonsága a legváltozatosabb, 550 nm körüli értéknél mutat egy lokális maximumot (450 és 680 nanométernél a klorofill abszorpció miatt minimumok vannak), majd csökkenés után 775 nm körül jelentkezik a jellegzetes és kutatásokban sokszor vizsgált vörös él. Az inflexiós pont ismerete a különböző növényfajok elkülönítésére használható (Vane, G.–Goetz, A.F.H. 1988, Heiden et al. 2007, Kumar et al. 2001).

Az 500-800 nm-es tartományban 67 sáv található. A képfeldolgozási folyamat gyorsítható a sávok számának további csökkentésével. Ezt a csökkentést addig érdemes végezni, amíg a látható fény, illetve a közeli infravörös tartományban a mintaterület jellegzetes anyagait, a hiperspektrális képfeldolgozási módszerek megtartása mellett, ezen sávok alapján még nagy pontossággal el lehet különíteni.

Mivel a városi felszín adott területegységén belül sokféle felszínborítás található, a tetőborítások is sokfélék lehetnek, ezért természetesen a kiválasztott három kategória csak a legfőbb, leggyakoribb borításokat tartalmazza. A hagyományos, kertvárosi jellegű alsóvárosi mintaterületünk a felszínborító mesterséges anyagok tekintetében kevésbé változatos. Nagy előnyt jelent továbbá az is, hogy a felszínborítás térképezéséhez elegendő a növényzetet és a mesterséges felületeket meghatározni, ugyanis a nyáron készült képen nem figyelhetőek meg nyílt talajfelszínek. A spektrális eltérések annyira jellegzetesek a növényzet és a mesterséges

felületek között, hogy a félreosztályozás inkább a tetők és egyéb mesterséges felszínek (pl. aszfaltborítás) esetében várhatóak.

A labormérés és a felvétel spektrumai közötti szoros kapcsolatot a 13. és 14. ábra is mutatja, amelyen a labormérés szaggatottan, a felvételtől leválogatott pixelek értékei pedig azonos színnel, de folytonos vonallal jelennek meg. A labormérésnél említett trendek ugyanúgy jelentkeznek a képen is, kisebb eltolódásokkal a dolgozatban már említett egyéb hatások miatt. A növényzet maximuma 550 nm körül ugyanúgy megjelenik a képen, mint a laborban, csak tompítva, ahogyan a vörös él is megfigyelhető. A kerámia cserepekre jellemző növekvő reflektanciaérték és az aszfaltra jellemző teljes vizsgált spektrumban közel azonos reflektancia értékek a labormérések és a képi spektrumok esetén is megmutatkoznak.

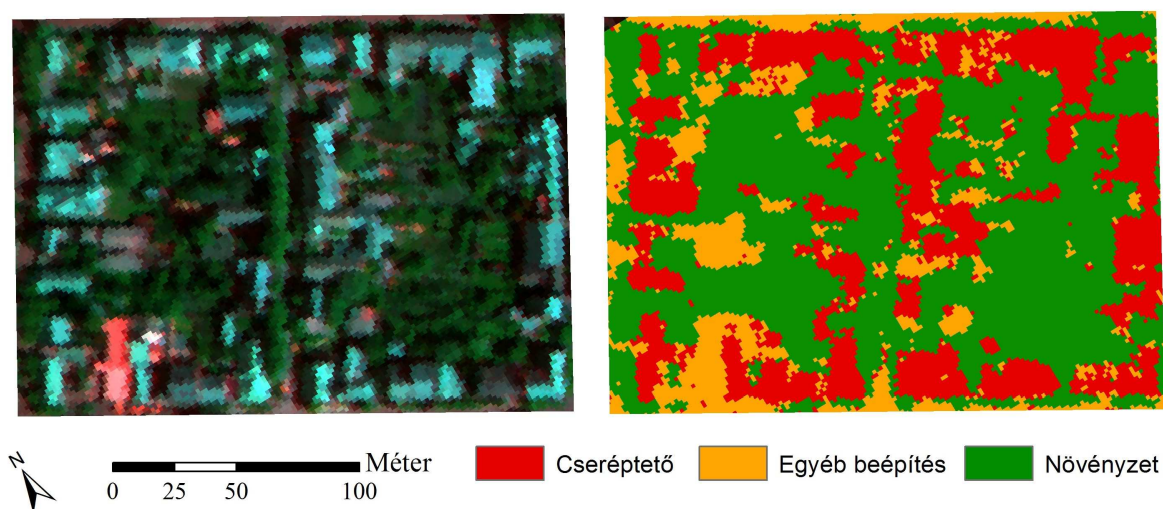


14. ábra A laborban mért reflektanciagörbék és a hiperspektrális kép görbéinek kapcsolata (aszfalt, piros agyagcserép, növényzet,)

6.3 A beépítettségi térkép és annak pontossága

A spektrális szögeltérés vizsgálat és a maximum likelihood osztályozás elvégzése után készült el a beépítettségi térkép. A 15. ábrán is látszik, hogy az épületek a nagyméretarányú

felvételezés és a többszörös belső ellenőrzésen átesett irányított osztályozási folyamat hatására jól elkülönülnek, a térkép alkalmas parcellaszintű elemzésekre.



15. ábra A hiperspektrális kép (R:5, G:235, B:299) és az eredménytérkép

A kész eredménytérkép pontossága random és kiegyenlített random módszerrel is 90% felett alakult, mind a producer mind az user accuracy 80% felettinek mutatkozott minden osztályra. A pontosságbecslés a 2011-es légifotóval történt ~100-100 pontra (2., táblázat).

2. Táblázat: Pontosságbecslés eredménye kiegyenlített random módszerrel

Kiegyenlített random

Osztály	Referencia	Osztályozott	Szám	Producers	Users
Név	Összesen	Összesen	Helyes	Accuracy	Accuracy
Piros cserép	36	37	35	97,2%	94,6%
Egyéb beépítés	35	31	31	88,6%	100%
Növényzet	30	33	29	96,7%	87,9%
Összesen	101	101	95		

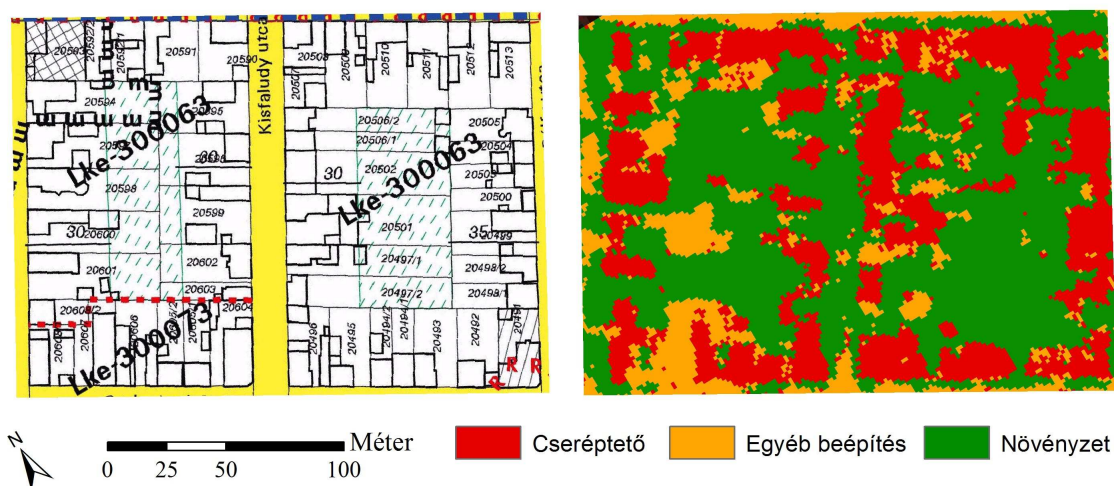
Az osztályozás teljes pontossága: 94,06%

Kappa együttható: 0,9108

Mivel a pontossági értékek kellőképpen magasak, és a növényzet esetében van alacsonyabb users accuracy (túlbecslés), így a beépítettségi arányok a lehetséges beépítettség minimális értékét adják meg.

6.4 A beépítettségi térkép kiértékelése és az építési előírások összehasonlítása

A mintaterületemen 49 telek különíthető el, amelyeket Szeged Város Építési Szabályzatának megfelelő zónatervlapjának georeferálása után vektoros formátumban digitalizáltam. A pontos határok kijelöléséhez a 2011-es légifotót is felhasználtam. Az osztályozott kép segítségével minden egyes építési telekre meghatároztam a tetők, a növényzet és az egyéb beépítés arányát, majd összevetettem az Építési Szabályzat követelményeivel.



16. ábra Mintaterületem Szeged Város Építési Szabályzatában és a beépítettségi térképen

A mintaterületen, ahogyan a 16. ábrán is látható Szeged Város Építési Szabályzata szerint két eltérő építési zóna különíthető el. Az Lke-3000063 és az Lke-3000073 jelzésűek. Az Lke a kertvárosias alacsony laksűrűségű lakózónát, a 3-as érték a kisvárosi karaktert jelenti, a következő számok a kialakultságra, beépítési módokra vonatkoznak. A 0-k azt jelentik, hogy paraméterek adottságtól függőek, a számunkra érdekes a 6-os és 7-es szám, amelyek a 17. ábrának megfelelően a beépítés maximális és a növényzeti borítottság minimális arányát határozzák meg. Ennek megfelelően a 6-os számot sorban 5. helyen tartalmazó zónában a beépítettség maximális aránya 40%, a zöldfelület arány pedig legalább 45%, míg a 7-es számú zónában ezek az arányok 50 és 35%. Vagyis a mintaterületem délnyugati részén nagyobb beépítési arányt engedélyeznek.

Ln 215465 az ötödik szám azt jelzi, hogy az építési övezetben mennyi a megengedett legnagyobb beépítettség és az előírt legkisebb zöldfelületi fedettség (II. rendű elem)

1	5%...80%
2	10%...75%
3	15%...70%
4	20%...65%
5	30%...55%
6	40%...45%
7	50%...35%
8	60%...25%
9	80%...10%
0	100%...0%

A kódszáma szerint kötelezően zárt sorú beépítési módú saroktelek esetében a beépítettség további 20%-al növelhető, de így sem haladhatja meg az OTÉK 25. paragrafusában előírt értéket.

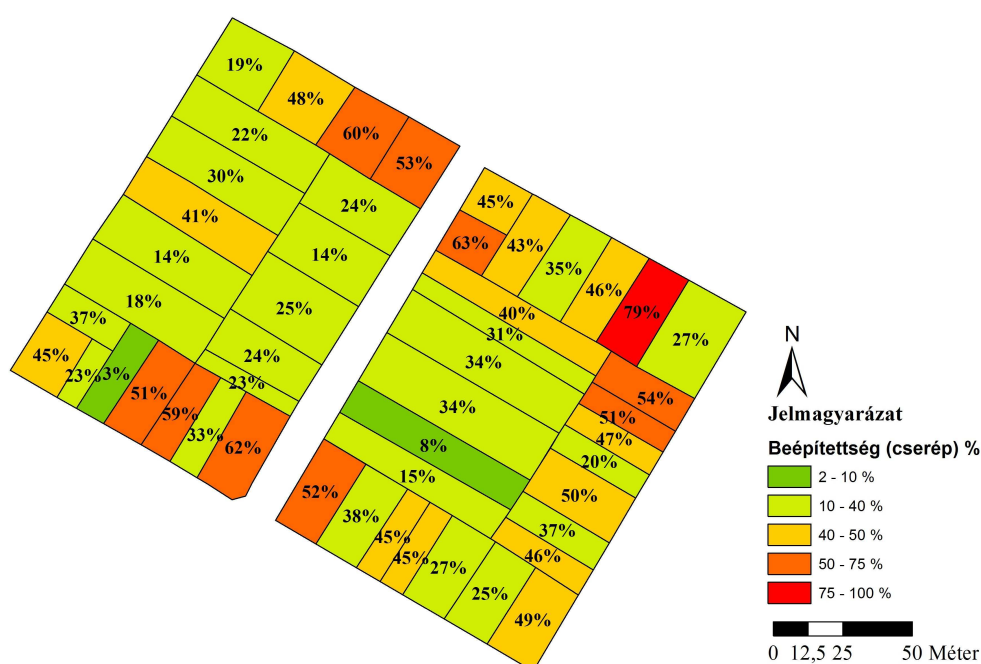
Ha a telek gazdasági zónába tartozik a zöldfelületi fedettség

5%-al csökkenthető.

Ha a kódjel zárójel között van, az előírt zöldfelületi fedettség 60%-át fásítani kell.

17. ábra Szeged Térinformatikailag Feldolgozott Szabályozási Terv Jelmagyarázata

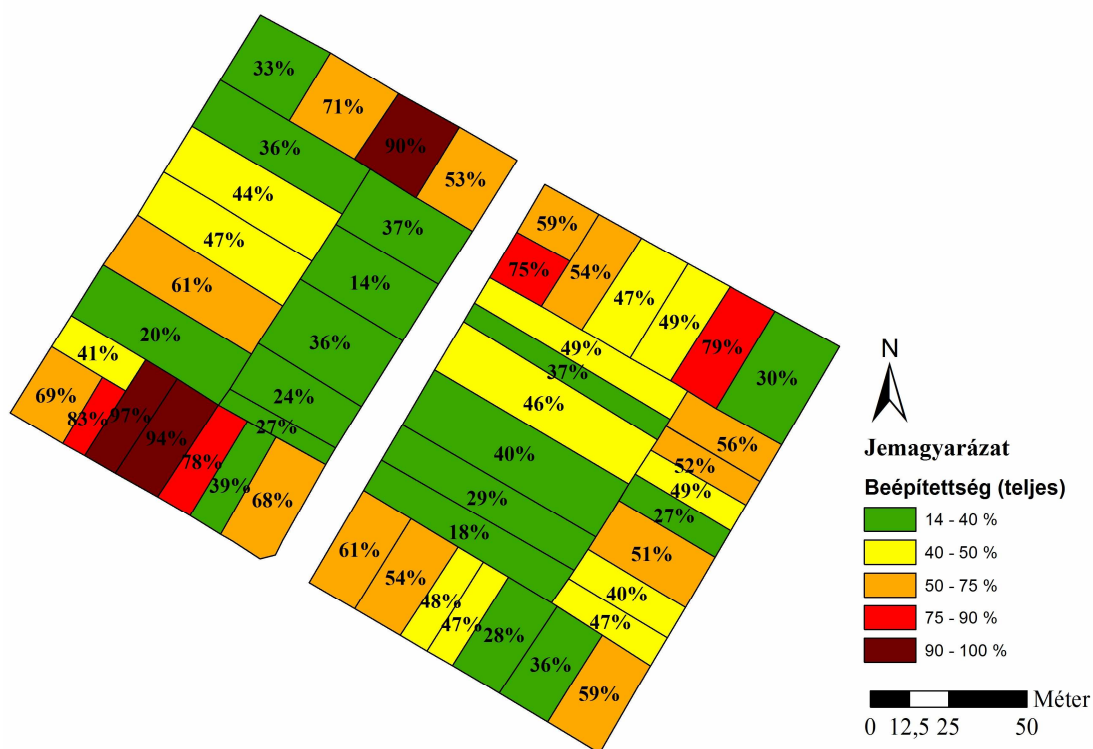
Az eredménytérképem három osztályt különít el: növényzetet, cseréptetőket (épületek) és egyéb beépítést. A területre vonatkozó szabályzatban meghatározott beépítettségi érték lehet csupán a cseréptetők aránya, de az egyéb beépítés is fontos lehet, hiszen van olyan telek, ahol nem cseréptető van. Amennyiben külön vizsgáljuk a cseréptetőket, mint épület osztályt, és hasonlítjuk össze a beépítés engedélyezett mértékével akkor is találtam olyan telkeket, ahol a beépítési arány túllépi a kapott értékeket. Ökológiai szempontból fontosabb a mesterséges felületek (impervious surfaces) arányának meghatározása. Az általam kialakított osztályok közül a cseréptető és az egyéb mesterséges felületek osztálya együttesen alkotja ezt a felszínborítási kategóriát. A zöldfelület osztálya egyértelműen meghatározható, de korábban utaltam Van der Linden és Hostert (2009) kutatására és a pontosságbecslés értékeire, amelyek azt jelzik, hogy a vegetáció sok esetben túlosztályozott. Egyrészt a vegetáció alatt lehetnek elfedett beépítések, másrészt az osztályozás folyamatában kerültek ebbe az osztályba beépített területek is.



18. ábra Telek szintű beépítettségi aránytérkép

Vizsgálataimat a teljes építési zónákban kezdtem. A teljes mintaterület többségében megjelenő 63-as beépítési zónatípusban az arányok megfelelnek az előírásoknak, a növényzet aránya 56%, a beépítettség (cseréptetők) 33%, azonban a teljes beépítés már (44%), ami túllépi a megengedett értékeket. A kisebb 73-as zónában a mesterséges felületi arányok túllépik a szabályzatban megengedett beépítési értékeket. A növényzet 10 százalékkal kevesebb az előírtnál, és bár a tetőborítás önmagában (43%) nem lépi túl a beépíthetőség határát, az összesített mesterséges felületi arány viszont jelentősen meghaladja azt (75%).

Az előzőekben megfogalmazottak szerint a 63-as zóna háztömb szinten, nagyobb léptékben megfelel a szabályzatban előírtaknak, azonban a telekszinten ez nem mindig érvényesül. A szélső értékek nagyon eltérhetnek az előírt értékektől. A 19. ábrán is látható, hogy a terület nagyobb hányadán a mesterséges felületek aránya jelentősen túllépi az engedélyezett beépítési értéket. A legkisebb mesterséges felületi arány: 8%, míg a legnagyobb: 79%. A növényzet esetén a legkisebb érték 10 %, míg a legnagyobb 86%.

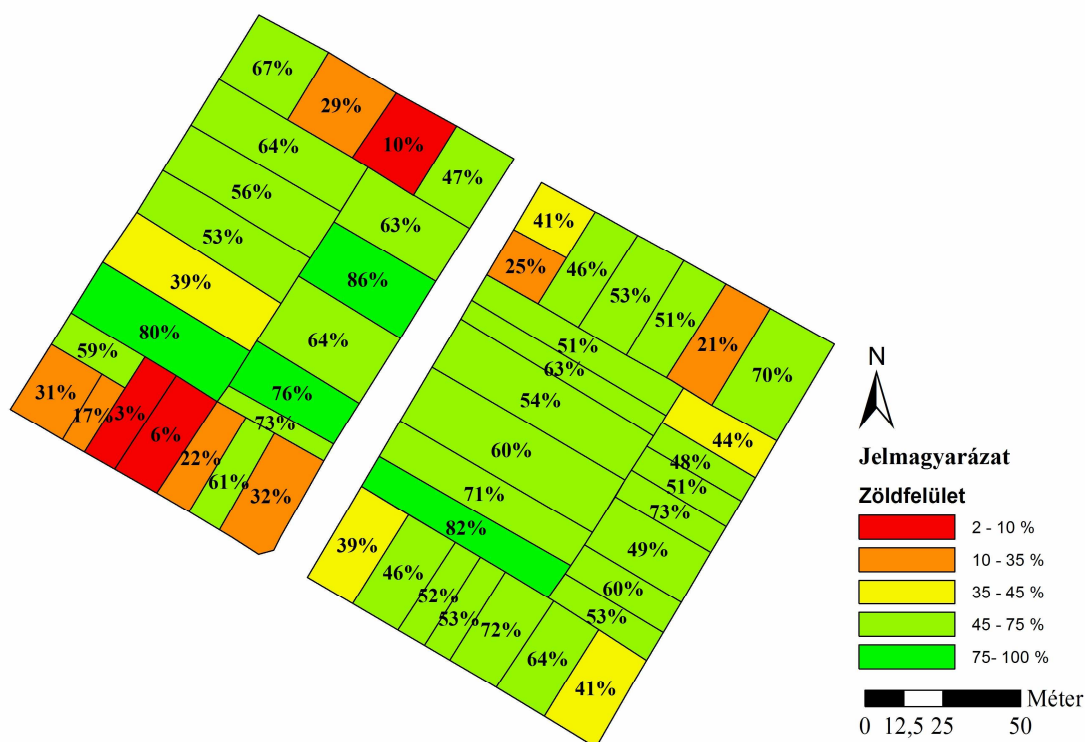


19. ábra Telek szintű mesterséges felszín aránytérkép

A 73-as zónatípus esetén is nagy eltérések figyelhetők meg (18,19,20.ábra). A tetőborítás 3 és 62 % között alakul, míg a zöldfelület is 3 és 62% között. Ezek a számok azért érdekesek, mert megállapítható, hogy függetlenül az előírásoktól a telkek szintjén nagyon

nagy a változatosság. Viszont ez nem jelent egyenletes eloszlást, a növényzeti arányok előírt minimuma 35%, ez mindössze egy esetben teljesül, a 62 egyetlen, kiugró értéknek számít!

Összességében a vizsgálatok során a 49-ből 22 telken nem voltak megfelelőek a beépítettségi paraméterek (csak a tetőket vizsgálva), míg a növényzet esetén a 42 telekből 15-ben túl alacsony a zöldfelület aránya. A mesterséges felszínek szempontjából további 5 esetben nem felel meg az előírásoknak. Vagyis a telkek több mint fele (32 telek) nem felel meg a követelményeknek. A zöldfelület szempontjából a 73-as zónában csak egy telek felelt meg a feltételeknek (20. ábra)!

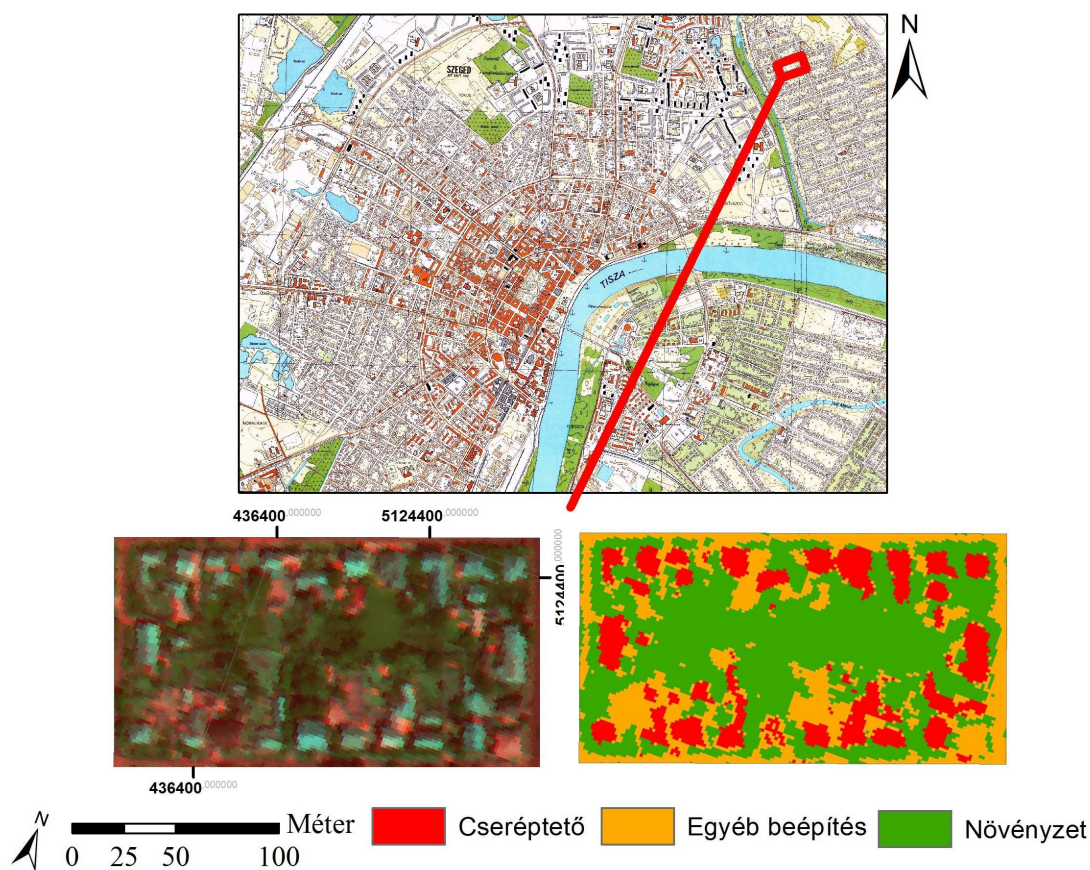


20. ábra Telek szintű zöldfelületi aránytérkép

Az eredmények az előírt határértékekhez való közelség, a térbeli felbontásból adódó pontatlanságok, a vegetáció takaró hatása miatt természetesen okozhatnak hibalehetőséget, azonban a beépítést jelentősen túllépő telkek esetén már biztosan meghaladják a szabályzatban foglalt értékeket. Ezen telkek nagy száma arra utal, hogy a telkek beépítésük nyomán követése nehezen megvalósítható, a várostervezés újabb kihívását jelenti. Figyelemfelkeltő sok esetben a növényzet hiánya, a lakosságot ösztönözni kellene a vegetáció növelésére, hiszen mind a városklíma, az általános közérzet, mind a környezet szempontjából pozitív eredményeket hozna.

6.5. Az osztályozás működésének megvizsgálása másik mintaterületen

A dolgozat egészében folyamatosan hangsúlyozásra került a módszer előnye, az összehasonlíthatóság. A rendelkezésre álló 2009-es hiperspektrális felvételezés adatai reflektanciaértékekkel –, mivel a felvételezés más időpontban volt– lehetőséget adott az összehasonlításra. Hasonló jellegű beépítéssel rendelkező területként, mint kertvárosias (alacsony laksűrűségű) lakózóna (Szeged Építési Szabályzata 2011) a Körtöltésen kívülről, Petőfitelepről készült kivágat. A kiválasztott területen a SAM használatával megtörtént a tanulók kijelölése, majd maximum likelihood osztályozás alkalmazásával elkészült a felszínborítási térkép. Mivel a beépítés módja hasonló Alsóvároséhoz, ugyanazon osztályok képezhetik az osztályozás alapját.



21. ábra Petőfitelep egy tömbje a hiperspektrális felvételen (bal R:5, G:235, B:299) és az osztályozás eredménye(jobb)

Az osztályozás az azonos kategóriák miatt gyorsan végrehajtható volt, a felvételezés idejéből adódó különbségek ellenére az eredménytérkép a nyers kép jellegzetességeit mutatja (21. ábra).

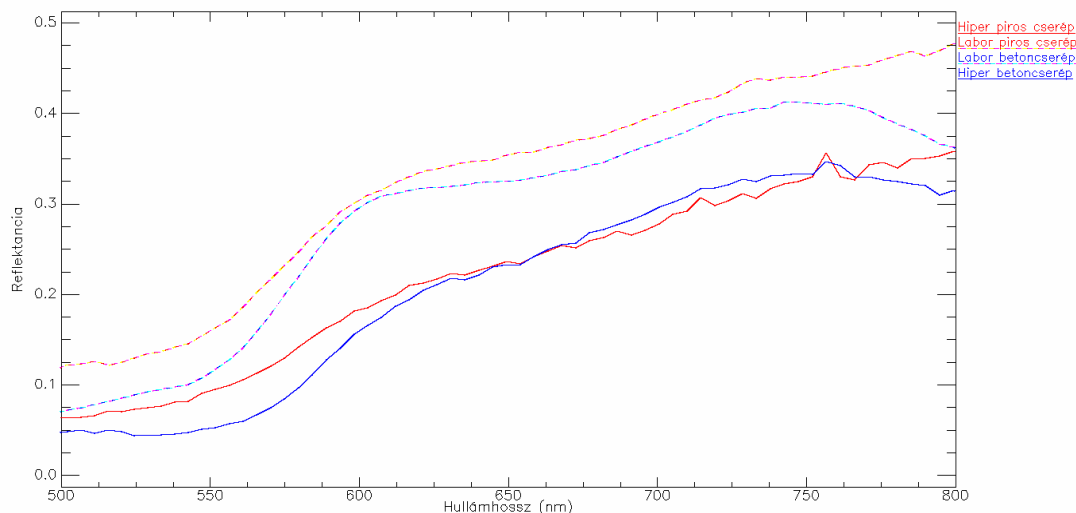
6.6. A spektrumkönyvtár és az osztályok bővítési lehetősége

Bármely specifikus alkalmazás esetén, újabb terület elemzésekor, egyes területek új anyaggal történő beépítése (például gyár települ egy kertvárosi térségbe) esetén, amikor az eddig alkalmazott spektrumkönyvtár nem elegendő, szükség lehet új anyagok bevonására. A bővíthetőségre szeretnék ebben a fejezetben egy példát mutatni, alátámasztva a dolgozatban említett állításaimat a módszer rugalmas alkalmazásáról.

Az alsóvárosi mintaterületen az elemzések során felmerült, hogy egy újabb felszínborítási osztályt lehet bevonni az osztályozási folyamatba, a betoncsereppel fedett épületeket. Az anyagot sikerült beszerezni és megmérni a spektrális tulajdonságait (22. ábra), így elő tudtam állítani a terület ezen anyaggal bővített felszínborítottság térképét. A 23. ábrán látható, hogy a betoncserepek görbéi elválnak a piros cserepekétől, mind a labormérések során, mind a képről levett spektrumok esetén másabb a futásuk.



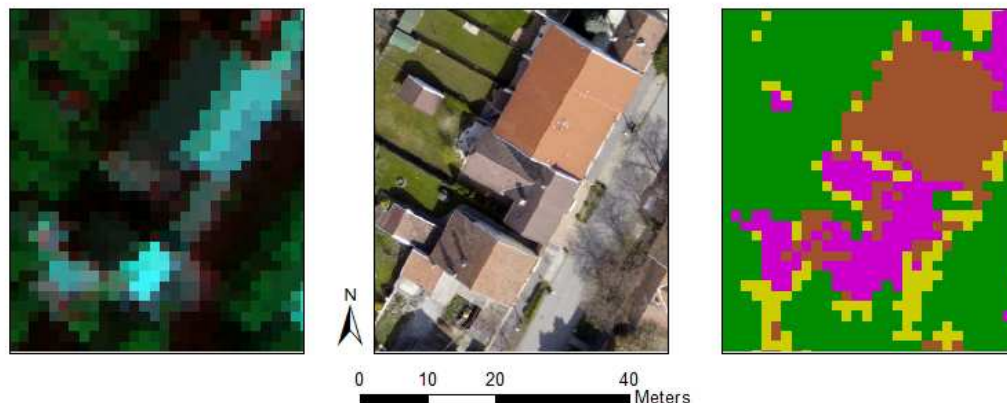
22. ábra A laboratóriumban mért betoncserep



23. ábra A betoncserep és az égetett cserép görbéi laboratóriumban és a hiperspektrális képen

Az eredménytérkép kivágatán (24. ábra) is megfigyelhető, hogy a két osztály elkülönül, viszonylag kevés a félreosztályozás, ami a beállítások igazításával kiküszöbölhető.

Ha a labormérések és a felvétel görbéit összehasonlítva megkeresem a legjobban eltérő sávokat, akkor akár specifikusan ezekre az anyagokra koncentrálva is végezhetem az elemzést, így az osztályozás pontossága a kétféle tető esetében növelhető.



24. ábra Betoncserép a hiperspektrális képen (R:5, G:235, B:299), a multispektrális légifotón és az eredménytérképen (barna :betoncserép, lila: piros agyagcserép, sárga: aszfalt, zöld: növényzet)

Így laborméréseket felhasználva a területen már kijelölt tanulók mellé a SAM tanulólehatárolásával hozzá tudtam adni egy újabb osztályt az előzőekhez hasonló pixelszámmal. A maximum likelihood módszert felhasználva gyorsan előállítható a térkép. Vagyis a spektrumkönyvtár, majd a tanulók dinamikusan bővíthetők, amennyiben új anyag kerül a spektrumkönyvtárba, illetve eddig ismeretlen anyagot fedezünk fel a mintaterületen. Ez a gyors bővíthetőség kulcskérdés lehet, amennyiben egy már elemzett területen újabb vizsgálatok során más felszínborítási kategóriákra van szükség, vagy egy új jelenséget térképezünk.

Osztályainkat alosztályokkal is bővíthetjük. Ha szükséges, később lemérhetjük a területen talált különböző fák leveleit, azokkal is részletesebbé tehetjük a spektrumkönyvtárat, összehasonlításokat végezhetünk a labormérések és a hiperspektrális képek között, így javítva elemzéseinket.

7. Összefoglalás

A hiperspektrális adatfeldolgozás a kutatásokban egyedülálló lehetőséget biztosít az anyagi minőség meghatározására. A felvételezés információtartalmát felhasználva megállapítottam a mintaterületekre a beépítettség mértékét. Kimutattam a képi spektrum és a laboratóriumi spektrum szoros korrelációját, majd ezt az osztályozás folyamatába is beépítettem. Eredménytérképem alkalmasnak bizonyult a telkek vizsgálatára.

A célkitűzéseknek megfelelően:

- Sikeresen **előállítottam a laboratóriumi spektrumgörbéket**, a megfelelő beállítások kiválasztása során mind a külföldi szakirodalom, mind a műszer jellegzetességeit figyelembe vettem. A kapott görbék alkalmasak lettek referenciaadatként.
- **Kimutattam a képi spektrum és a laboratóriumi spektrum szoros korrelációját.** A mérések adatai alapján a különböző anyagok reflektanciátulajdonságait elemezve megkerestem azt a tartományt (500-800nm), amely a legalkalmasabb az egyes anyagok elkülönítésére.
- A laboratóriumi görbékből **spektrumkönyvtárat készítettem**, amelyet felhasználtam az osztályozás folyamatában. A laboratóriumi mérések információt szolgáltatottak az anyagok spektrális tulajdonságairól, amelyeket az osztályozásban is fel tudtam használni.
- A görbék alakját figyelembe vevő SAM módszert alkalmazva tanulóterületeim homogének lettek, így a maximum likelihood **osztályozás pontossága is 90% felett alakult**. A módszer tehát a főbb felszínborítási típusok (aszfalt, kerámiacserép, növényzet) elkülönítésére alkalmas.
- **Sikerült nagy pontosságú, telek szintű beépítettségi térképet készítenem, amely több különböző jellegű alkalmazás alapadata lehet.**
- **Összehasonlítottam a mintaterületemen Szeged Város Építési Szabályzatát és a valós beépítést.** Az eredmények azt mutatták, hogy **a beépítettségi és zöldfelületi arányok nem minden esetben felelnek meg az előírásoknak.** Építési zónák, háztömbnyi egységek szintjén, tehát nagyobb léptékekben jobb eredményeket kaptam, az eltérések a telkek léptékében nagyobbak.
- **A reflektanciagörbék alkalmazását más területen (Petőfitelep) és időpontban (2009) is kipróbáltam. A spektrumkönyvtár dinamikus bővítésére az egyes cseréptípusokat hoztam példaként.**

8. Irodalom

Avantes Spectrometer Manual

- BASSANI, C. – CAVALLI, R. M. – CAVALCANTE, F. – CUOMO, V. – PALOMBO, A. – PESCUCCI, S. – PIGNATTI, S. 2007: Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data. – *Remote Sensing of Environment* 109. pp. 361-378.
- BEHLING R. – BOCHOW M. – FOERSTER S. – ROESSNER S. – KAUFMANN H. 2015: Automated GIS-based derivation of urban ecological indicators using hyperspectral remote sensing and height information. – *Remote Sensing of Environment* 48. pp. 218-234..
- BEN-DOR, E. 2001: Imaging spectrometry for urban applications. – In: van der Meer, F. – Freek, D. – Jong, S.M (szerk.): *Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 243-281.
- BESUSSI, E. – CHIN, N. – BATTY, M. – LONGLEY, P. 2010: The Structure and Form of Urban Settlements. – In: Rashed, T., Jürgens C. (szerk.): *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas, Remote Sensing and Digital Image Processing* 10. Dordrecht, Springer, pp. 13-32.
- BLAZOVICH L. 2007: Szeged rövid története. – Csongrád Megyei Levéltár, Szeged. 317 p.
- BÜTTNER GY. – MARI L. 2004 : A felszínborítás változásának fő típusai a CORINE Land Cover európai adatbázisa alapján – A magyar földrajz kurrens eredményei II. Magyar Földrajzi Konferencia, Szeged , pp. 235-246.
- DENISSON, P. E. – HALLIGAN, K. Q. – ROBERTS, D. A. 2004: A comparison of error metrics and constraints for multiple endmember spectral mixture analysis and spectral angle mapper. – *Remote Sensing of Environment* 93. pp. 359–367.
- FORZIERI, G. – TANTERI, L. – MOSER, G. – CATANI F. 2013: Mapping natural and urban environments using airborne multi-sensor ADS40–MIVIS–LiDAR synergies. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 23. pp. 313-323.
- GOETZ, A.F.H. (2009): Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: A personal view. – *Remote Sensing of Environment* 113. pp. S5-S16.
- HEIDEN, U. – HELDENS, W. – ROESSNER, S. – SEGL, K. – ESCH, T. – MUELLER, A. 2012: Urban structure type characterization using hyperspectral remote sensing and height information. – *Landscape and Urban Planning* 105. pp. 361-375.
- HEIDEN, U. – SEGL, K. – ROESSNER, S. – KAUFMANN, H. 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.
- HENITS L. 2013: Szubpixel-alapú osztályozás alkalmazása a városi felszínborítás és területhasználat elemzésében. Doktori (PhD) értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Szeged.
- HEROLD, M. – ROBERTS, D. A. 2010: The Spectral Dimension in Urban Remote Sensing. – In: Rashed, T., Jürgens C. (szerk.): *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas, Remote Sensing and Digital Image Processing* 10. Dordrecht, Springer, pp. 47-66.
- HEROLD, M. – COUCLERIS, H. – CLARKE, K. C. 2005: The role of spatial metrics in the analysis and modelling of urban land use change. – *Computers, Environment and Urban Systems* 29. pp. 369-399.
- JAY, S. – GUILLAUME, M. 2014: A novel maximum likelihood based method for mapping depth and water quality from hyperspectral remote-sensing data. – *Remote Sensing of Environment* 147. pp. 121-132.
- JUNG, A. – GÖTZE, C. – GLÄSSER, C. 2012: Overview of experimental setups in spectroscopic laboratory measurements - the SpecTour Project. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 4. pp. 433-442.
- KOVÁCS F. 2011: Az alföldi területhasználat és változásainak értékelése. – In: Rakonczai J. (szerk.): *Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba*. pp.159-166.
- KRUSE, F. A. 2012: Mapping surface mineralogy using imaging spectrometry. – *Geomorphology* 137. pp. 41-56.
- KRUSE, F.A. – LEFKOFF, A. B. – BOARDMAN, J. W. – HEIDEBRECHT, K. B. – SHAPIRO, A. T. – BARLOON, P.J. – GOETZ, A. F. H. 1993: The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. – *Remote Sensing of Environment* 44. pp. 145-163.
- KUMAR, L. – SCHNIDT, K. – DURY, S. – SKIDMORE, A. 2001: Imaging Spectrometry and Vegetation Science. In: van der Meer, F. – Freek, D. – Jong, S.M (szerk.): *Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 111-155.
- KÜLTÜR, N. – TÜRKERI, N. 2012: Assessment of long term solar reflectance performance of roof coverings measured in laboratory and in field. – *Remote Sensing of Environment* 48. pp. 164-172.

- LAGACHERIE, P. – BARET, F. – FERET, J.B. – NETTO, J. M. – ROBBEZ-MASSON, J. M. 2008: Estimation of soil clay and calcium carbonate using laboratory, field and airborne hyperspectral measurements. – *Remote Sensing of Environment* 112. pp. 825-835.
- LEONE, A. P. – SOMMER, S. 2000: Multivariate Analysis of Laboratory Spectra for the Assessment of Soil Development and Soil Degradation in the Southern Apennines (Italy). – *Remote Sensing of Environment* 72. pp. 346-359.
- LECHNER L. 1891: Szeged újjáépítése. 2000. Hasonmás kiadás
- MARI L. 2010: Tájváltozás elemzés a CORINE adatbázisok alapján - In: Szilassi P, Henits L (szerk.) Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században: tudományos konferencia és műhelymunka tanulmányai - Szeged: SZTE TTK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 2010. pp. 226-234. (Földrajzi tanulmányok; 5.)
- MATHIEU, R. – POUGET, M. – CERVELLE, B. – ESCADAFAL, R. 1998: Relationships between satellite-based radiometric indices simulated using laboratory reflectance data and typic soil color of an arid environment. – *Remote Sensing of Environment* 66. pp. 17-28.
- MAZER, A. S. – MARTIN, M. – LEE, M. – SOLOMON, J. E. 1988: Image processing software for imaging spectrometry data analysis. – *Remote Sensing of Environment* 24. pp. 201-210.
- MILTON, E. J. – SCHAEPMAN, M. E. – ANDERSON, K. – KNEUBÜHLER, M. – FOX, N. 2009: Progress in field spectroscopy. – *Remote Sensing of Environment* 113. pp. S92-S109.
- MOREIRA, R.C. – GALVÃO, L.S. 2010: Variation in spectral shape of urban materials. – *Remote Sensing Letters* 1. pp. 149-158.
- MUCSI L. 2006: A geoinformatika tudomány és a földrajz kapcsolata - In: Kiss A. - Mezösi G. - Sümeghy Z. (szerk.): Táj, környezet és társadalom (Landscape, Environment and Society). SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék - SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged. pp. 519-528.
- MUCSI L. 2011: Beépítettség és tájhasználat vizsgálata távérzékelte adatok alapján dél-alföldi példákon keresztül. – In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba pp. 167-180.
- NAGY I. 2006: A városökológia elméleti megközelítése. - In: Kiss A. - Mezösi G. - Sümeghy Z. (szerk.): Táj, környezet és társadalom (Landscape, Environment and Society). SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék - SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged. pp. 541-551.
- NETZBAND, M. – JÜRGENS, C. 2010: Urban and Suburban Areas as a Research Topic for Remote Sensing. – In: Rashed, T., Jürgens C. (szerk.): *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*, Remote Sensing and Digital Image Processing 10. Dordrecht, Springer, pp. 1-12.
- PLAZA, A. – BENEDIKTSSON, J. A. – BOARDMAN, J. W. – BRAZILE, J. – BRUZZONE, L. – CAMPS-VALLS, G. – CHANUSSOT, J. – FAUVEL, M. – GAMBA, P. – GUALTIERI, A. – MARCONCINI, M. – TILTON, J. C. – TRIANNI, G. 2009: Recent advances in techniques for hyperspectral image processing. – *Remote Sensing of Environment* 113. pp. S110-S122.
- SEGL, K. – ROESSNER, S. – HEIDEN, U. – KAUFMANN, H. 2003: Fusion of spectral and shape features for identification of urban surface cover types using reflective and thermal hyperspectral data. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58. pp. 99-112.
- SMALL, C. 2003: High spatial resolution spectral mixture analysis of urban reflectance. – *Remote Sensing of Environment* 88. pp. 170-186.
- TOBAK Z. 2013: A városi felszín vizsgálata nagy térbeli és spektrális felbontású légifelvételek felhasználásával. Doktori (PhD) értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Szeged.
- UNGER J. 2011: Városklíma – hősziget – alföldi városok. – In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba. pp.245-256.
- VAN DER LINDEN, S. – HOSTERT, P. 2009: The influence of urban structures on impervious surface maps from airborne hyperspectral data. – *Remote Sensing of Environment* 113. pp. 2298-2305. VAN DER MEER, F. – DE JONG, S. M. – BAKKER, W. 2001: Imaging Spectrometry: Basic analytical techniques. – In: van der Meer, F. – Freek, D. – Jong, S.M (szerk.): *Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 17-61.
- VANE, G. – GOETZ, A. F. H. 1988: Terrestrial imaging spectroscopy. – *Remote Sensing of Environment* 24. pp. 1-29.
- WENG, Q. 2012: Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. – *Remote Sensing of Environment* 117. pp. 34-49.
- World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352) <http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf> (letöltés ideje: 2014.09.02.). Szeged Építési Szabályzata 2011:http://www.szegedvaros.hu/szesz2011/zona/telepulesszerkezeti_terv.pdf (letöltés ideje: 2014.05.12.)

Szeged Megyei Jogú Város Településfejlesztési Koncepciójának és Integrált Városfejlesztési Stratégiájának megalapozó vizsgálata 2014:http://www.szegedvaros.hu/szolgalatas/letoltesek/doc_download/3247-szmjv-telepuelesfejlesztési-koncepciojanak-es-integralt-varosfejlesztési-strategiajanak.html (letöltés ideje 2014.11.06.)
Mapping Guide for a European Urban Atlas 2012:
http://ec.europa.eu/regional_policy/tender/pdf/2012066/annexe2.pdf (letöltés ideje 2014.11.06.)
<http://demographia.com/db-worldua.pdf> (letöltés ideje: 2014.05.10.)
http://www.ksh.hu/apps/hntr.telepules?p_lang=HU&p_id=33367 (letöltés ideje: 2014.05.10.)
<http://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> (letöltés ideje: 2014.05.10.)

9. Függelék

(1) **Fő feladatom egy városi mintaterület nagy méretarányú beépítettségi térképének előállítása volt, melyhez nagy térbeli felbontású légi hiperspektrális felvételt és saját készítésű laboratóriumi (spektroszkópiai) referenciaadatokat használtam fel.**

(2) Ezen belül elsőként a *külföldi és a hazai szakirodalom megismerése, a megfelelő mintaterület kiválasztása, a terepi mintagyűjtés* voltak az elsődleges részfeladataim, amelyet teljesítettem is.

(3) *A laboratóriumi műszer kalibrálása, a mérések elvégzése és a spektrumkönyvtár előállítása, a megfelelő GIS eszközök használata és a formátumok közötti konverzió megvalósítása* következett. Ennek során a megfelelő beállítások kiválasztásához mind a külföldi szakirodalom, mind a műszer jellegzetességeit figyelembe vettem. A kapott görbék referenciaadatként felhasználhatók lettek.

(4) Az osztályozás elvégzéséhez szükség volt a *laboratóriumi görbék és a hiperspektrális kép spektrumai közötti összehasonlító elemzések, korrelációs vizsgálatok* elvégzésére. A dolgozat készítése során kimutattam a képi spektrum és a laboratóriumi spektrum szoros korrelációját. A mérések adatai alapján a különböző anyagok reflektancia-tulajdonságait elemezve megkerestem azt a tartományt, amely legalkalmasabb volt az egyes anyagok elkülönítésére. A görbék felhasználtam az osztályozás folyamatában.

(5) A hiperspektrális kép és a referenciaadat összekapcsolásakor és a felvétel osztályozásakor *a legmegfelelőbb osztályozási módszer kiválasztása és alkalmazása* újabb feladatomként fogalmazódott meg. A görbék alakját figyelembe vevő SAM módszert alkalmazva tanulóterületeim homogének lettek, az osztályozás pontossága 90% felett alakult. Sikertelen nagy pontosságú, telek szintű beépítettségi térképet készítenem.

(6) A térkép földrajzi alkalmazásaként *Szeged Város Építési Szabályzatának és a megfigyelt beépíttségének összehasonlítását* kaptam feladatul. Miután megállapítottam a mintaterületemre a beépíttség mértékét, összehasonlítottam Szeged Város Építési Szabályzatát és a valós beépítést.

(7) A kutatások során újabb kérdésként merült fel, hogy *a módszer mennyire alkalmazható más területen, időpontban és anyagokkal*. A reflektanciagörbék alkalmazását egy petőfitelepi mintaterületen 2009-es felvételen is kipróbáltam. A spektrumkönyvtár dinamikus bővítésére az egyes cseréptípusokat hoztam példaként.