

Kertész Péter

**SOPRONI ZÖLDFELÜLETEK ELEMZÉSE
HIPERSPEKTRÁLIS FELMÉRÉS ALAPJÁN**

Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar
Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet
Földmérési és Távérzékelési Tanszék

Konzulens:

Dr. Király Géza

egyetemi docens

Sopron

2012

Tartalomjegyzék

1. Problémafelvetés.....	1
2. Zöldfelületek.....	3
2.1. Fogalmak	3
2.2. A zöldfelületek jelentősége.....	4
2.3. Soproni zöldterületek.....	6
3. A növényzet spektrális tulajdonsága.....	7
4. Technológiai háttér	11
4.1. A szenzor	11
4.2. A felvételek.....	11
4.3. Software.....	12
5. Az osztályozások elméleti alapjai.....	13
5.1. Az ENVI beépített osztályozó rendszerei	13
5.1.1. Osztályozás a teljes területen tanítóterületekkel.....	13
5.1.2. Maszkok létrehozása	14
5.1.3. Tanítóterületek nélküli osztályozás a beépített területeken.....	14
5.1.4. Zöldfelületek külön kezelt osztályozása.....	16
5.1.5. Fák–cserjék elkülönítése (lézeres letapogatás alapján)	18
5.2. A növényi stressz térképezése	18
5.2.1. Vegetációs indexek.....	18
5.2.2. Vegetációs indexek az ENVI-ben	19
5.2.2.1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....	20
5.2.2.2. Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index.....	20
5.2.2.3. Modified Red Edge Simple Ratio Index	21
5.2.2.4. Városi fák felvétele	21
6. A stressz-térképezés gyakorlati megvalósítása	23
6.1.1. Maszkok elkészítése	23
6.1.2. Fák stressz-szintjének meghatározása.....	26
6.1.2.1. Vegetációs indexek összehasonlítása.....	26
6.1.2.2. Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index.....	27
6.1.2.3. Modified Red Edge Simple Ratio Index	28

6.1.2.4. Egyéb vegetációs indexek	29
6.1.2.5. mNDVI ₇₀₅ és mSR ₇₀₅ eredményének egyeztetése.....	29
6.1.2.6. Eredmények ellenőrzése.....	32
7. Összefoglalás	36
8. További lehetőségek	38
Táblázat- és ábrajegyzék.....	39
Irodalomjegyzék	41
MELLÉKLETEK.....	43
1. melléklet: Átnézeti térkép (Sopron és környéke).....	II
2. melléklet: Az mNDVI ₇₀₅ alakulása a Sopron környéki mintaterületen	III

1. Problémafelvetés

A „*Szellemi, szervezeti és K+F infrastruktúra-fejlesztés a Nyugat-magyarországi Egyetemen*” című projekt „*A városi öko-környezet komplex vizsgálata a nyugat-dunántúli régióban*” című (TÁMOP 4.2.1/B-09/KONV-2010-0006.) alprojektjének keretein belül készült el Sopron, Szombathely és Székesfehérvár területének hiperspektrális légifelmérése 2011. augusztus 26-án.

- *Az alprojekt célja:*

„A városok elhelyezkedését és kialakulását alapvetően befolyásolták a környezeti tényezők. Ugyanakkor a kapcsolat kétoldalú, mivel nemcsak a környezet hat a városra, hanem a város is hat a környezetre. A város és a környezete között folyamatos az anyag-, az energia-, valamint az információáramlás. Bár külön-külön a két tényezőt már sokan vizsgálták, ezek egymásra gyakorolt hatásáról, különösen az ökológiai vonatkozásokról, viszonylag kevés ismeretünk van. Kutatásunk fő célkitűzése ezen kölcsönhatások mélyebb, tudományos igényű megismerése. Mivel az egyes városok eltérő környezeti körülmények között alakultak ki, a környezetnek a városra gyakorolt hatása is eltérő, ahogy a városnak a környezetre való „visszahatása” is változó. Ennek megfelelően különböző környezeti feltételek között kialakult városokban kívánjuk tanulmányozni a környezet és a város kölcsönhatásait.”

- *Az alprojektben belül a térinformatikai részprojekt célkitűzése:*

„A területekre vonatkozó adatok (ürfelvételek, légi felvételek, multi- és hiperspektrális felvételek, 3D modellek, térképek, meteorológiai, gazdaságföldrajzi, ökológiai, szociológiai és egyéb leíró adatok) összegyűjtésével, kiértékelésével és feldolgozásával a Nyugat-magyarországi Régió területén vizsgálni fogjuk Sopron, Szombathely és Székesfehérvár és környezetük kölcsönhatásait. Távérzékelési adatforrásokat is felhasználva meghatározzuk az adott városra jellemző felszínborítás-mintázat típusok térbeli szerkezetét. Ennek a térbeli szerkezetnek környezeti szempontból különösen fontos elemei a zöldfelületek, valamint a burkolt, vízszigetelő területek és a talaj (V-I-S Modell). A beépített területek esetében a beépítettség térbeli struktúrája is meghatározó.

A mintavételi pontokon végzett mérési adatokat térinformatikai módszerekkel feldolgozzuk, és összevetjük a távérzékeléssel nyert adatokkal. Integrált térbeli elemzé-

sekkel meghatározzuk az egyes paraméterek közötti összefüggéseket, amelyek alapján különböző modelleket alakítunk ki. A kialakított modellek alkalmasak lesznek az egyes paraméterek időbeni változásainak nyomon követésére, sőt előrejelzésekre, ezáltal hasznos támpontokat nyújthatnak a különböző városfejlesztésekhez kapcsolódó tervezésekhez.

A városok és környezetük jellemző felszínborítás-mintázat típusaira vonatkozóan (pl. sűrűn beépített településközpontok, nyílt beépítésű lakóterületek, városperemi ipari és szolgáltató-övezetek, városkörnyéki erdők, vízfelszínekkel átszőtt rekreációs területek stb.) terepi mérések és mintavételezés alapján részletes környezeti információs adatbázist építünk ki a kölcsönhatások feltárásához és a jövőbeli várható tendenciák modellezéséhez”.

(Forrás: Az alprojekt honlapja: <http://www.geo.info.hu/tamop421b/>)

Munkám során a TÁMOP projekthez kapcsolódóan a zöldfelületek mennyiségi és minőségi elemzésére törekedtem, valamint ezen elemzés automatizálására a hiperspektrális felmérések alapján.

Ennek a vizsgálatnak a szükségességét fogalmazza meg a város 2010–2015 közötti környezetvédelmi programja is, amely azonnal megvalósítandó célként tűzte ki a zöldterületek nyilvántartásba vételét. A városok életterét leginkább a zöldfelületek határozzák meg. Ezeknek a területeknek a számbavétele, egészségügyi állapotának figyelemmel kísérése hazánkban gyerekcipőben jár, Sopronban pedig teljesen hiányoznak ezek az adatok. (Sopron Megyei Jogú Város Környezetvédelmi programja, 2010–2015)

A Sopronban és környékén található növényzet egészségi állapotának felmérésére az alapvető felszínborítás-típusok elhelyezkedésének és méretének meghatározásán túl kísérletet tettem egy stressztérkép létrehozására is. A cél egy olyan osztályozófolyamat kidolgozása volt, amely alkalmas a városi öko-környezet egészségének gyors és egységes felmérésére.

2. Zöldfelületek

2.1. Fogalmak

A környezettervezés tudománya három fogalmat használ a városon belüli, növényzettel fedett területekre: zöldfelület, zöldterület és zöldtér.

Mindhárom fogalomra több definíció létezik. Konkolyiné Gyuró Éva a következő definíciót adja Környezettervezés című könyvében: „Zöldfelület minden tartósan vagy időszakosan növényzettel fedett felszín, amely magába foglalja a kerteket és parkokat és minden más zöldfelületi létesítményt, az erdőket, a mezőgazdasági természetfélételeket és a mezsgyéket is. Egy település, táj vagy régió zöldfelülete tehát tágabb értelemben az adott térség növényzettel borított összfelületét jelenti, amely lehet természetes, természetközeli, vagy mesterségesen létrehozott. A zöldfelület biológiailag aktív felszín, azaz környezetére nem csak fizikai, de fiziológiai folyamatok által is hat. Biológiailag aktívak a szabad vízfelületek is, amelyek a növényzet bioklimatikus hatását felerősítik, és a növények létfeltételeit számottevően javítják, így a zöldfelület-rendezés lényeges elemei.” (KONKOLYNÉ GYURÓ, 2003)

A zöldterület nem szinonimája a zöldfelületnek, hanem annak részét képezi. Az 1990-ben kiadott Magyar értelmező kéziszótár meghatározása szerint a zöldterület „Növényzettel borított városi területet” jelent. A KSH definíciója ennél részletesebb: „Városi zöldterület a település mikroklímájának javítására, szerkezetének tagolására szolgáló, nagyjából növényzettel borított, korlátozás nélkül, nyilvánosan látogatható terület”. A fentebb említett Környezettervezés című könyv pedig a következő definíciót adja: „A zöldterület a területhasználati szabályozás által megkülönböztetett térség, olyan zöldfelület, amely kiterjedésénél és szerepénél fogva kiemelt jelentőségű. Az Országos Településrendezési és Építési Követelmények (OTÉK) 27. § (1) bek. szerint *zöld terület az állandóan növényzettel fedett közterület (közkert, közpark)*. A zöldterület tehát a településrendezés jogi, területhasználati kategóriája, egyfajta zöldfelület, amely a település belterületének beépítésre nem szánt térségében helyezkedik el.”

A harmadik fogalom a zöldtér, melynek meghatározását szintén Konkolyiné Gyuró Éva könyvében találjuk meg. Ez a kifejezés elsősorban a nemzetközi fogalomhasználatban terjedt el. Használata a zöldfelület helyett indokolt lenne, mivel utal a növényzet térbeli

megjelenésére, ugyanis előfordul, hogy a légifelvételek alapján zöld növényzettel fedett terület a földfelszínen, a lombok alatt tulajdonképpen burkolt (fásított) tér, asszimiláló zöldfelület pedig csak fölötte jelentkezik. Így a síkban értelmezett „felület” kifejezés félreértésekhez vezethet. (KONKOLYNÉ GYURÓ, 2003)

Ezek alapján megállapítható, hogy távérzékelési eszközökkel a városi zöldfelületek (vagy zöldterek) mérhetők fel, zöldterület térképezése pedig csak további adatok (terület-használati, telekkönyvi adatok) felhasználásával lehetséges.

2.2. A zöldfelületek jelentősége

Napjaink növekvő városaiban, ahol egyre kevesebb a nem beépített terület, sajátos energia-áramlások jönnek létre. Ez helyi szinten felmelegedéshez, szélsőségesebb klíma kialakulásához, tehát az ökológiai viszonyok megváltozásához vezet. Számos publikáció részletezi a városi klíma változását, annak befolyásoló tényezőit és következményeit egyaránt. A páratartalom, a légáramlási viszonyok, a légszennyező anyagok koncentrációja, a vízháztartás, a talajviszonyok, a tápanyag-körforgalom, a növényzet aránya és tömege, az állatvilág fajszáma mind olyan tényezők, amelyeket a város drasztikusan megváltoztat.

Ezek nagy része az ún. városklíma kialakulására vezethető vissza. Ez a klímavariáns melegebb, árnyékoltabb, kevésbé szeles, fagyzugosabb, szennyezettebb és gyakran csapadékosabb, mint a regionális klíma, de ezen tényezők közül talán a legfontosabb a város hőmérséklete, hősziget jellege.

A városok hőmérsékletének emelkedése több tényezőre vezethető vissza. A napsugárzás elnyelése a burkolt és beépített felületeken sokkal alacsonyabb, mint a növényborított térségekben, így a felszínközeli légrétegekben az érzékelhető hő lényegesen magasabb a városokban, mint a környező térségekben. A különböző felületek fényvisszaverő képessége (reflektanciája, lásd 3. fejezet) az alábbiak szerint alakul.

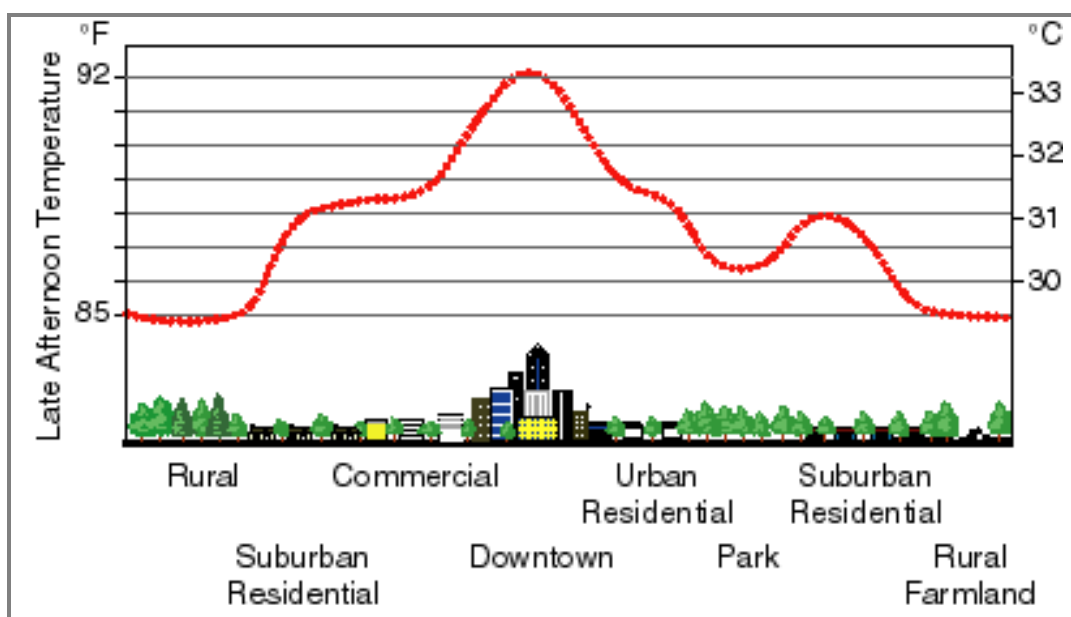
1. táblázat: Felszínborítások reflektanciája

Felszínborítás	Reflektancia
<i>Friss hó</i>	80%
<i>Beton</i>	36%
<i>Füves terület</i>	6%
<i>Erdő</i>	3%
<i>Aszfalt</i>	2%

Forrás: BÁCSATYAI, 2001

A másik fontos tényező az autók működtetése, a fűtés és a légkondicionálás révén keletkező mesterséges energiainport, valamint a kipufogógázok és egyéb légszennyezések által okozott alacsonyabb légköri hőveszteség. Az így keletkező többlethőt pedig az alacsonyabb sebességű szél sem tudja cserélni.

A térbeli hőeloszlás gyakran koncentrikus a városmag körül, ezáltal ún. hősziget alakul ki a tájban, amelynek nagysága a településmérettől és az általános klímaviszonyoktól függ. (KONKOLYNÉ GYURÓ, 2003)



1. ábra: Városi hősziget

Forrás: Max Planck Institute for Chemistry Atmospheric Chemistry Department
(<http://www.atmosphere.mpg.de>)

A városklíma kedvezőtlen hatásai nem csak a komfortérzet romlásán mutatkoznak meg. A lakosság egészségi állapotától a növényzet károsításán át az építmények pusztításáig mindenhol érződik ez a hatás. A városok rendezési terveinek készítésénél a legnagyobb kihívás, hogy megtalálják az egyensúlyt a város létéhez szükséges gazdasági–termelési funkciók megteremtése és a lakosság jólétéhez szükséges egészséges környezet kialakítása között.

A zöldfelületek létesítése révén több olyan cél is megvalósítható, amely a városklíma miatt merül fel:

- hőmérséklet-csökkentés a burkolt felületek arányának korlátozásával;
- a besugárzás korlátozása a kritikus felszínek árnyékolásával;
- a felszín-közelbeli légáramlás növelése a szennyezett levegő gyors távozása érdekében;
- a szennyezőanyag-kibocsátás visszaszorítása és az elnyelés, a szűrés növelése.

A zöldfelületeknek ezeken kívül is számos környezetállapotot befolyásoló hatása van:

- a levegő páratartalmának növelése,
- zaj- és rezgésvédelem,
- a vízháztartás és a talajtulajdonságok javítása,
- erózióvédelem.

A zöldfelületeknek nemcsak a város ökológiájára gyakorolt hatása fontos, hanem a társadalmi szerepük is. Ennek kapcsán a sport és rekreációs lehetőségeket, a játszótereket, az oktatásban betöltött szerepet, a turisztikai vonzerőt lehet említeni, valamint a város esztétikájában betöltött szerepet. (KONKOLYNÉ GYURÓ, 2003)

2.3. Soproni zöldterületek

A városi zöldterületek szükségességét először a reneszánszban fogalmazták meg, de tervszerű városi kertépítés gyakorlatilag csak a XIX. század második felében jelent meg.

Sopron városa ez alól némileg kivételnek tekinthető Lackner Kristóf egykori polgármesternek köszönhetően, aki a XVII. század elején saját kertjében létesített füzest, amelyet később a városra hagyott, így létrehozva Sopron első díszkertjét. Példáját mások is követték, a várofal mellett egymás után létesültek az újabb kertek. A század közepén letelepedő jezsuiták továbbfejlesztették a kertkultúrát, halastavakat, teknősbéka-telepeket hoztak létre. A fejlődés innentől kezdve gyakorlatilag folyamatos. Az 1770-es községi jegyzőkönyvben már a város alkalmazásában álló plantázskertészt és útépítőt említene. (BORONKAI, 1969)

Magyarországon az első közkert a budai Városmajor volt, amelyet 1785-ben nyitottak meg, és ekkor kezdődött el a mai városliget mocsaras, nádas mezejének fásítása is. A városligetet később, 1817-ben kezdték közparkká alakítani. Megemlítendő még, hogy ekkor kezdtek létrejönni a nagy zöldfelülettel rendelkező köztemetők is, amelyek szintén jelentős növénytömeggel járulnak hozzá a városok kellemesebb klímájának kialakításához.

A XX. században ismét változás következett be a zöldfelületekhez való viszonyban: a környezet szerepe felértékelődött a polgári villák és a nagy tömegeket befogadó lakóépületek tervezésénél is. (KONKOLYNÉ GYURÓ, 2003)

3. A növényzet spektrális tulajdonsága

A hiperspektrális felmérés adatainak feldolgozása során az egyik legfontosabb feladat a növényzet spektrális tulajdonságainak megfelelő értékelése.

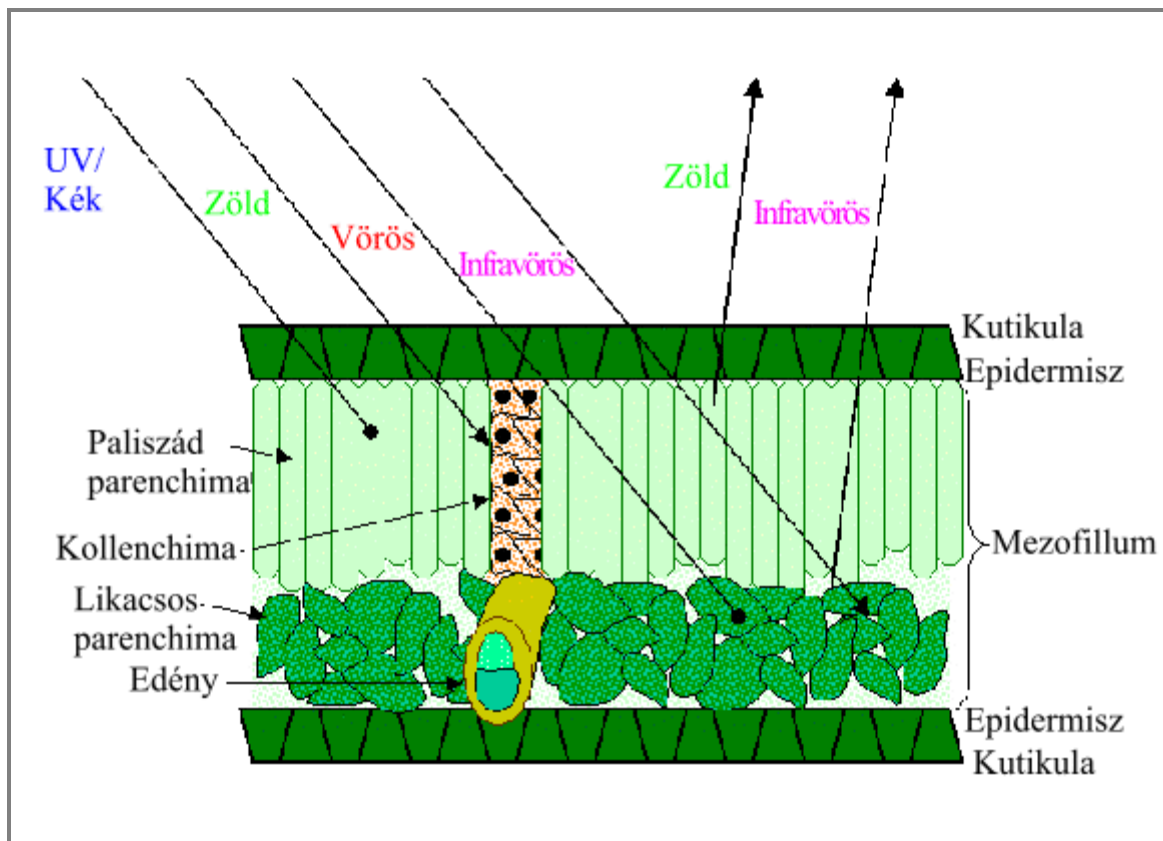
„Ahhoz, hogy a vizsgált objektumokról információt tudjunk gyűjteni az elektromágneses hullámok segítségével, az szükséges, hogy a vizsgált objektum és a hozzá eljutott sugárzás kölcsönhatásba lépjen egymással. A kölcsönhatás különböző fajtái közül (visszaverődés, elnyelés, hőmérsékletnövekedés, kisugárzás) a legfontosabb a visszaverődés (reflexió), valamint a kibocsátás (emisszió). A spektrális visszaverődés, vagy reflektancia egy viszonyszám, amelyet az alábbi képlet mutat be

$$R(\lambda) = \frac{I_v(\lambda)}{I_b(\lambda)}$$

ahol: R spektrális visszaverődés
 I_v visszavert fényáram
 I_b beeső fényáram

A tárgyak spektrális visszaverése tárgy- és állapotspecifikus, ez teszi egyáltalán lehetővé a távérzékelést. ...

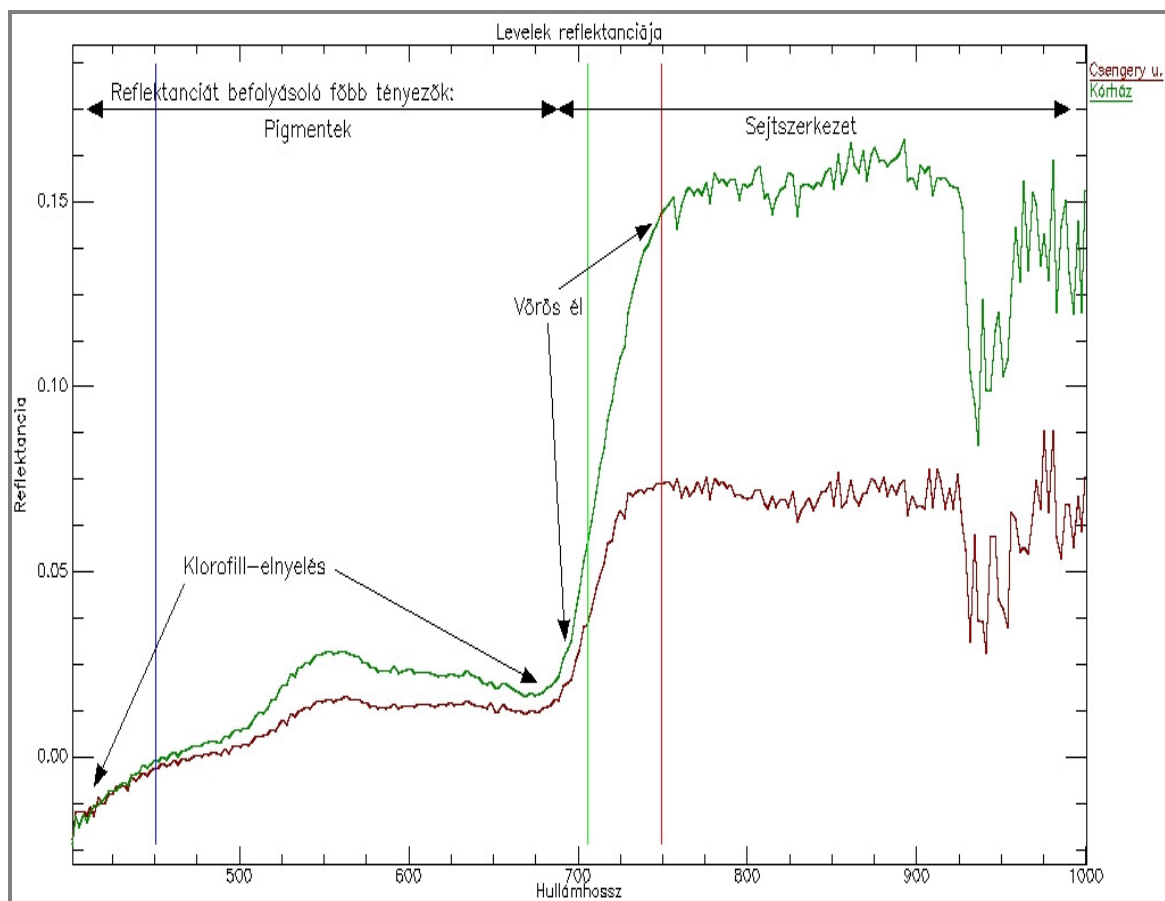
Az erőforrás-kutató műholdak szempontjából nagyon fontos a növénytakaró megfigyelése. Mivel ez az értekezés szempontjából is egy fontos témakör, ezért egy teljes alfejezetet szentelek neki. Az elektromágneses sugárzás és a növényzet kapcsolatát szemlélteti a 2. ábra ” (KIRÁLY, 2007)



2. ábra: Az elektromágneses hullámok és a növényzet kölcsönhatásai
[landsat.usgs.gov alapján]

Forrás: Király, 2007

A ráeső sugárzás egy kisebb része verődik csak vissza a kutikuláris viaszról, a nagyobb része a levél belsejébe jut. Az epidermisz és a paliszád parenchima között, majd a szivacsos mezofillumban szóródik, majd egy része a sejtbeli összetevők által közvetlenül visszavert sugárzással együtt visszaverődik. A megmaradó sugárzás áthalad a levélen, ahol már átalakult sugárzásnak kell felfogni. Ennek értelmében a növényzet reflektancia-görbéje a 3. ábra szerint alakul.



3. ábra: Zöld növény reflektanciája

Forrás: Saját szerkesztés BÁCSATYAI [2001] alapján

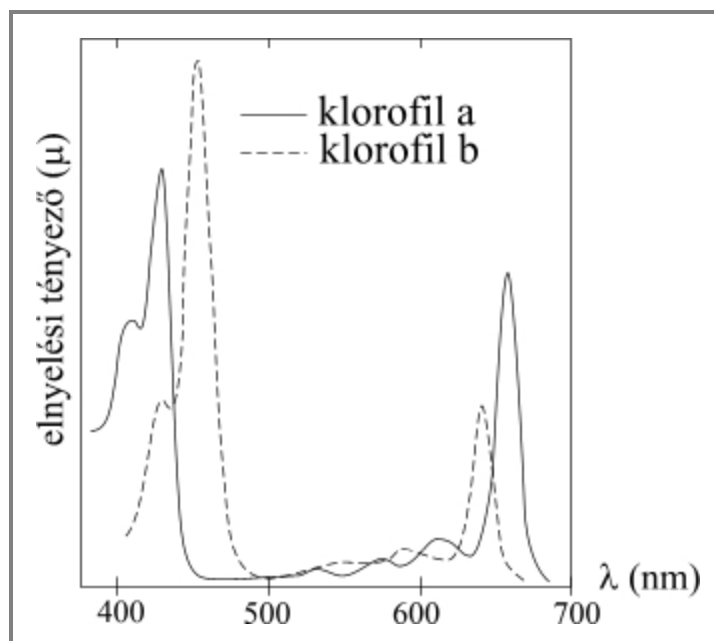
A pigmentmolekulák (klorofill, karotin, xantofil) a beérkező sugárzásból közvetlenül energiát nyelnek el, melynek fő spektrumtartománya a kék és a vörös (2. táblázat).

2. táblázat: A pigmenttípusok abszorpció maximumai

Pigmenttípus	Abszorpció maximum
Klorofill a	420, 490, 660
Klorofill b	435, 643
β – Karotin	425, 450, 480
α – Karotin	420, 440, 470
Xantofill	425, 450, 475

Forrás: BÁCSATYAI, 2001

A legfontosabb szintestek, a klorofil a és klorofil b elnyelését mutatja a 4. ábra.



4. ábra: A klorofil *a* és *b* elnyelési görbéi

Forrás: KIRÁLY, 2007

„Az ábrából látható, hogy amíg a klorofil *a* elnyelési maximuma az ibolya tartományban, addig a klorofil *b* elnyelési maximuma a kék tartományban van. Ugyanakkor mindkettő rendelkezik egy másik jelentős elnyelési hullámhosszal, ami a látható vörös tartományban van. Ennek folytán a fotoszintetizáló növények a látható tartományban nem elnyelt zöld színt verik vissza. Másik jellegzetessége a növényeknek a sejtszerkezet következtében a nagyon erős reflektanciaérték a közeli infravörös tartományban. Ez általában a likacsos parenchima határfelületeiről történő visszaverődés következménye (2. ábra). Ezen folyamatok következtében a fotoszintetizáló növények jellegzetes spektrális reflektancia-görbével rendelkeznek.” (KIRÁLY, 2007)

Jellegzetes – és a távérzékelés szempontjából döntő jelentőségű – a magasabb rendű növények klorofilltól eredő fluoreszcenciája, a klorofill-effektus. A klorofill nem tudja hasznosítani a klorofill-antennák által elnyelt sugárzás egészét, így egy részét fluoreszcencia útján kisugározza. Erre a sugárzásra érvényes a Stokes-féle szabály: az emittált fotonok energiája kisebb a gerjesztő fotonok energiájánál, azaz a lumineszcencia fény hullámhossza nagyobb a gerjesztő fény hullámhosszánál. A klorofillmolekula az elnyelt fénynek a fotoszintézisben nem hasznosított részét közeli infravörös sugárzás formájában sugározza ki. Ennek következtében a közeli infravörös tartomány vizsgálatával nyomon tudjuk követni a növény asszimilációjának fokát, ezáltal a levelek egészségi állapotát, évszakonkénti változását, faji jellegzetességeket. (BÁCSATYAI, 2001)

4. Technológiai háttér

4.1. A szenzor

A felvételek a Specim cég AISA Eagle II SN110014 típusú szenzorával készültek, melyet egy Piper Aztec típusú kétmotoros repülőgépbe szereltek be. Ez a szenzor 400 nm-től 1000 nm-ig mér 253 spektrális sávon valamivel több, mint 2 nm-es (2,38) sávszélességgel. Ez a sávszélesség kellően keskeny ahhoz, hogy a különböző anyagokra jellemző elnyelési minimumokat és maximumokat kellő részletességgel érzékelje. Ennek köszönhetően a technológia megfelel a növények által visszavert sugárzás részletes elemzéséhez.



5. ábra: Az alkalmazott Piper Aztec (HA-YCG) típusú repülőgép, és a beépített érzékelő

Forrás: KIRÁLY Géza

4.2. A felvételek

Az Envirosense Hungary Kft. által végzett légi hiperspektrális adatfelvételezés 2011. augusztus 26-án 09:15-től 13:20-ig (UTC) tartott, aminek során 37 sávot repültek le ~1024 m-es sávszélességgel és 35% sávok közötti átfedéssel. A repülési sávok É–D irányúak voltak, egymással párhuzamosak, de készült egy K–Ny irányú sáv is. A felmérés területe Sopron közigazgatási határa volt, amit kiterjesztettek Ágfalva és Fertőrákos települések közigazgatási területeivel. A nyers felvételek előfeldolgozását az ENVI-be beépülő CaliGeo 4.9-es verziójával végezték.



6. ábra: Sopron és környéke légi hiperspektrális adatfelvételezése (2011.08.26.)

Forrás: Király Géza: Szellemi, szervezeti és K+F infrastruktúrafejlesztés a Nyugat-magyarországi Egyetemen
(<http://geo.emk.nyme.hu/index.php?id=21898&L=1&id=21898>)

Jelen dolgozatban a keletkezett sávok közül kettőn végeztem vizsgálataimat:

- a Sopron belvárosát is magában foglaló 0826-1136_atmcorr_EOV_1-6010 és
- a 0826-1029_atmcorr_EOV nevű adatállományt elemeztem.

A két sáv és a később használt mintaterületek elhelyezkedését az *1. melléklet* mutatja.

4.3. Software

Az egyetem a „Városok öko-környezetének komplex vizsgálata a Nyugat-dunántúli Régióban (EMK 2)” kutatási program során az ENVI (the Enviroment for Visualizing Images) software 4.8-es verzióját szerezte be. A program IDL programozási környezettel együtt dolgozva szabadon fejleszthető, programozható. Az ENVI elsődleges funkciója távérzékelési adatok feldolgozása. Ismeri a legtöbb ma használatos fájltypust, műholdak adatait, a fontosabb légifénykép-rendszerek adatait, kezeli a RADAR és LiDAR adatokat, domborzatmodelleket.

Jelen feladathoz elsősorban a hiperspektrális képek kiértékelésére, osztályozására, valamint az osztályozás értékelésére használtam.

5. Az osztályozások elméleti alapjai

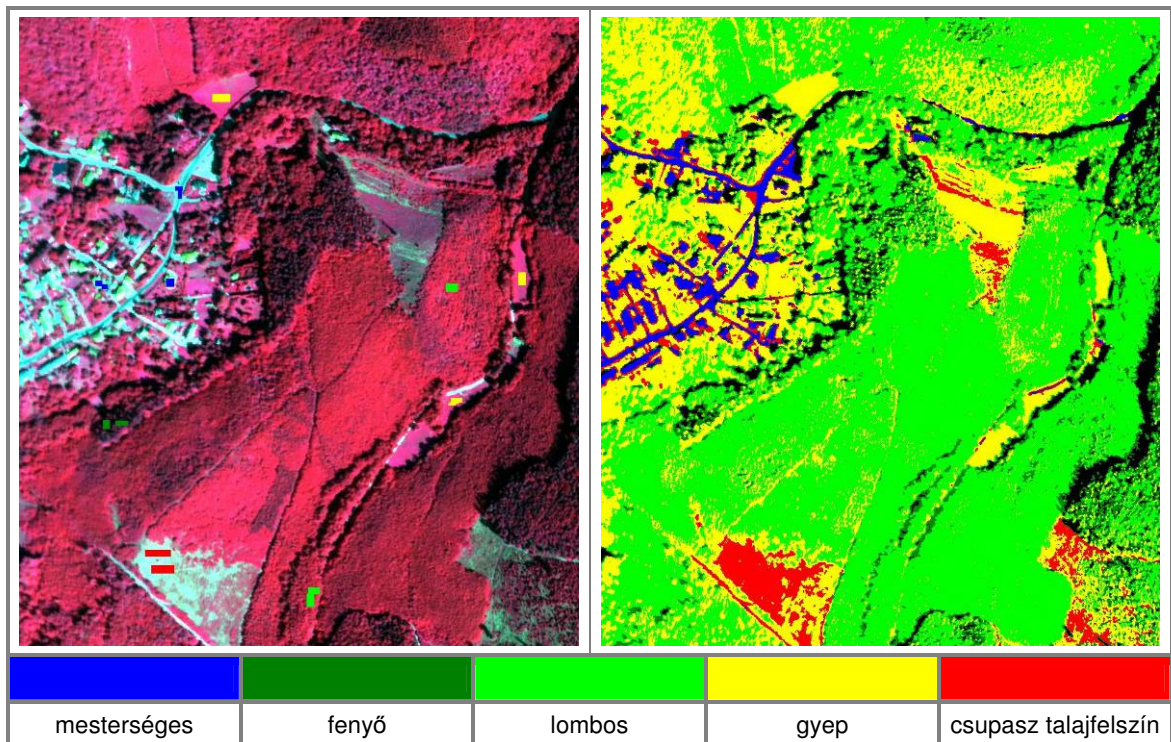
5.1. Az ENVI beépített osztályozó rendszerei

5.1.1. Osztályozás a teljes területen tanítóterületekkel

Az ENVI által nyújtott osztályozási eljárások közül elsőként a tanítóterületekkel történő (felügyelt) osztályozást alkalmaztam Görbehalom környékének vizsgálatára. A 7 felügyelt osztályozó közül az átlagtól való legkisebb távolság (Minimum Distance to mean) osztályozást használtam legtöbbször, mert gyors és jó eredményt ad. (KERTÉSZ, 2011)

Az eljárás kiszámítja minden osztályra az átlagvektort, majd az ismeretlen pixeleket összeveti vele. Minden pixelt a legközelebbi átlagvektorral rendelkező osztályba sorol. (ENVI Help)

Ötféle felügyelt osztályt hoztam létre: mesterséges, fenyő, lombos, gyep, csupasz talajfelszín.



7. ábra: A felügyelt osztályozás eredménye (Görbehalom)

Forrás: Saját szerkesztés

Az eredményben a fenyőket nem ismerte fel a program, aminek oka valószínűleg az, hogy a fenyő tanítótérület északi kitétséggű oldalon található, ezért árnyékosabb, mint a déli kitétséggű lombos tanítótérület.

A teljes terület felügyelt osztályozása ott alkalmazható megfelelő megbízhatósággal, ahol a mesterséges felületek nem túl változatosak vagy nem nagy kiterjedésűek. Sopron területén belül ennek köszönhetően ezzel az eljárással nem lehet kielégítő pontosságú eredményeket kapni.

5.1.2. Maszkok létrehozása

Az ENVI-ben maszkok segítségével lehetőség nyílik az osztályozandó terület csökkentésére. Ezáltal lehetővé válik a főbb felszínborítások külön kezelt osztályozása és így pontosabbá tehető az elemzés megvalósítása.

Első lépésként szétválasztottam a zöldfelületeket a mesterséges felszínektől, ami normalizált különbségű vegetációs index (NDVI) használatával volt megoldható (az eredmény ellenőrizhető a multispektrális műholdkép alapján készült hasonló osztályozás eredményével); majd az árnyékok maszkolása (kitakarása) után próbáltam tovább osztályozni a fákat. (Itt megjegyzendő, hogy a vízfelszíneket nem zöldfelületként kezeltem, annak ellenére, hogy a vizek is biológiailag aktív felszínek, tehát a definíció szerint a zöldfelületek közé tartoznak.)

A zöldfelületek elválasztása döntési fával (Decision Tree) volt megoldható, míg az árnyékokat Minimum Distance osztályozással határoztam meg.

A döntési fa lényege, hogy bináris döntések sorozatával osztályozzuk a képet, tehát minden lépésben két osztályra bontjuk az eddigi egy osztályt. Az osztályozási fa utólag is szabadon módosítható, elmenthető és más fájlokra is alkalmazható később. (ENVI Help)

5.1.3. Tanítótérületek nélküli osztályozás a beépített területeken

Az ENVI két tanítótérületek nélküli (nem felügyelt) osztályozási eljárást ismer: k-means és isodata osztályozás.

Mindkét eljárás osztályonkénti átlagokat mér egyenletesen elosztva az adattérben, majd a legkisebb távolság szerint osztja be a további pixeleket. Az újabb és újabb osztályozott pixelekkal újraszámolja az átlagokat és újraosztályozza a pixeleket. (ENVI Help)

A mesterséges felszíneken belül négy kategóriát szerettem volna elkülöníteni: vizek, csupasz talajok, beton, háztető.



8. ábra: Beépített területek k-means osztályozása (Sopron, Belváros)

Forrás: Saját szerkesztés

Az elsőként lefuttatott k-means osztályozás 7 iterációval 5 osztályt hozott létre.

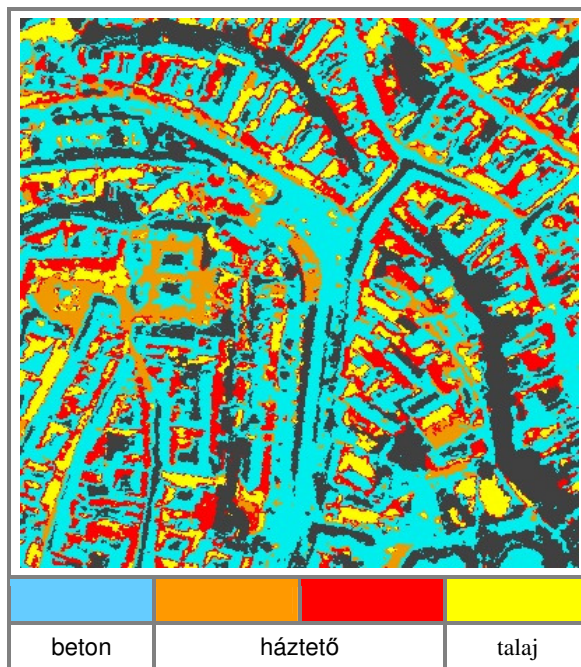
A nem felügyelt osztályozásból kiderül, hogy az osztályozás során a háztetők különböző kitettségű oldalai, valamint maguk a különböző háztetők is spektrálisan igen eltérőek lehetnek, így a tetők egy része ugyanabba az osztályba kerül, mint a beton.

A tanítóterületekkel történő osztályozás során ez a probléma továbbra is fennállt. Ennek során a következő kategóriákat használtam: beton, háztető, talaj.

Az eredmény nem javult, továbbra is keveri a kategóriákat, érdekes módon a talaj kategória is megjelenik a háztetőkön.

Ezek után próbáltam szűkíteni az osztályozás spektrumtartományán, de ez a megoldás sem hozott megfelelő eredményt.

Összegzésként elmondható, hogy a csupasz talaj, a beton és a víz jól elkülöníthető, de a háztetők – igen változatos spektrális tulajdonságai miatt – megzavarják az osztályozást.

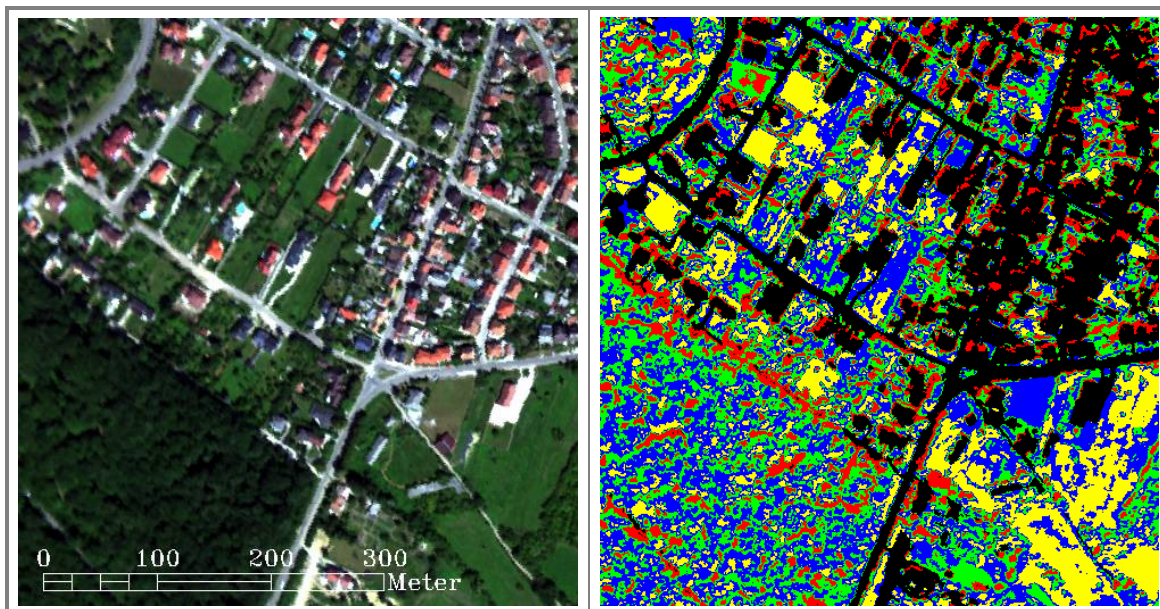


9. ábra: Felügyelt osztályozás (Sopron, Belváros)

Forrás: Saját szerkesztés

5.1.4. Zöldfelületek külön kezelt osztályozása

A zöldfelületek osztályozását is tanítóterületek nélküli osztályozással kezdtem, majd ezek alapján készítettem a megfelelő tanítóterületeket.

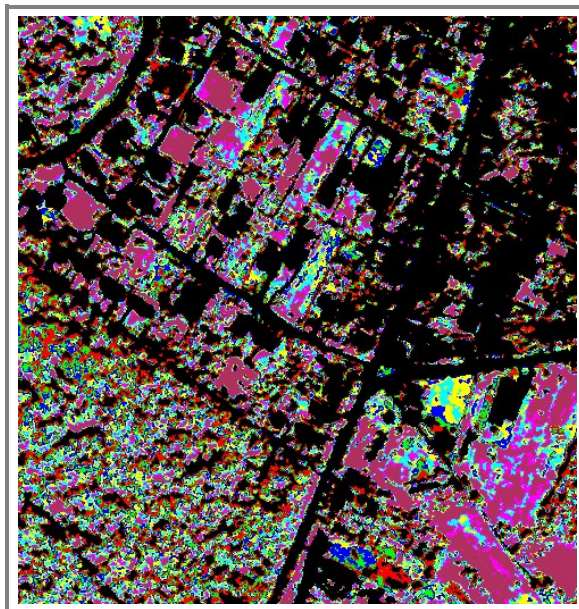


10. ábra: A zöldfelületek isodata osztályozása (Sopron, Ózon kemping)

Forrás: Saját szerkesztés

A beépített területek kitakarásával készült képek (fekete színnel a maszkolt képrészek) még mindig nem hozták a megfelelő eredményt. A nem felügyelt isodata osztályozás eredménye jól szemlélteti, hogy a gyepek, bokrok, fák sokkal kevésbé különülnek el spektrális tulajdonságaik alapján, mint a más szempontból (pl. egészségi állapot) különböző pixelek, így ez a maszk önmagában nem javít sokat az eredményen. Szembetűnő viszont, hogy mennyire jól elkülönülnek az árnyékos területek.

Ezért készítettem egy újabb maszkot, ami a mesterséges felületek mellett az árnyékos területeket is kizárja az osztályozásból.

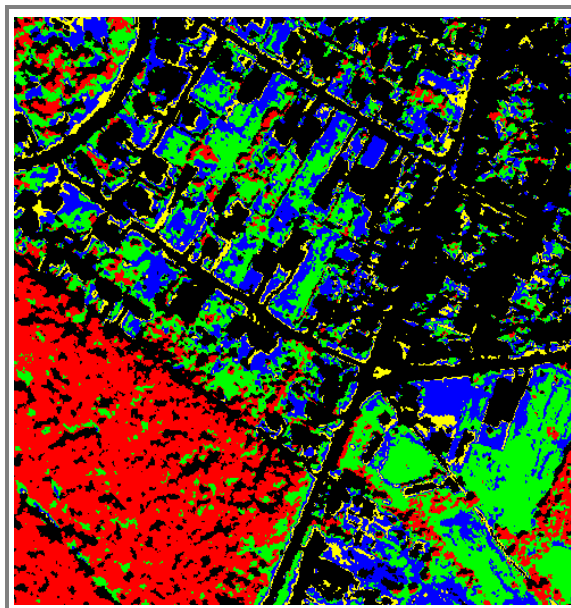


11. ábra: A zöldfelületek isodata osztályozása árnyékos pixelek nélkül (Sopron, Ózon kemping)

Forrás: Saját szerkesztés

Ez a kép már lényegesen változatosabb mintázatot mutat, de a tanítóterületek nélküli osztályok nem kapcsolhatók borítási típushoz.

További lehetőség az osztályozás eredményességének növelésére, ha nem az egész spektrumon végezzük az osztályozást. Növényzet esetén az optimális tartománynak az alacsony hullámhosszú (20–50. sáv: 443 nm-től 512 nm-ig) sugárzás bizonyult. (Ezt a tartományt kísérletezéssel sikerült meghatározni, de helyességét indokolják a pigment-molekulák elnyelési maximumai is.) Ezen az osztályozáson már sokkal jobban elkülönülnek a különböző típusú zöldfelületek (k-means osztályozás 4 iterációval).



12. ábra: Osztályozás a 20–50. sávon

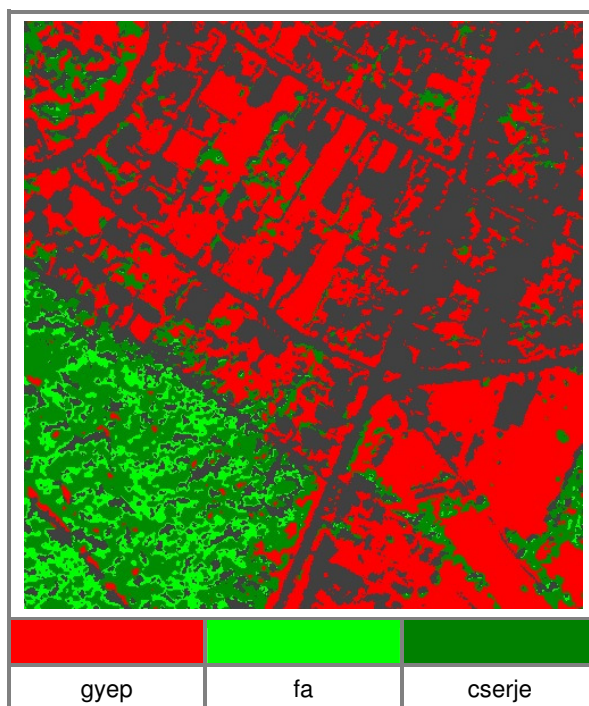
Forrás: Saját szerkesztés

Ezek után készítettem el a felügyelt osztályozást ezekkel a beállításokkal: mesterséges felületek és árnyékok kitakarva, 20–50. sávon.

A Minimum Distance osztályozáshoz háromféle tanítóterületet hoztam létre: gyepek, fák, cserjék.

Az eredmény jónak mondható, két hibája van: a cserjék nem válnak el a fáktól, általában minden fás szárú növény lombkoronájának szélét cserjének, középső magasabb részét fának értékeli. Másik hibája, hogy a városban belül, házak közelében a fákat nem ismeri fel kellő megbízhatósággal, azokat gyepek osztályba sorolja.

Más osztályozó eljárásokkal (Spectral Angle Mapper, Maximum Likelihood) a második hiba, a városi fák felismerése javul, viszont városban kívül sokkal többet téveszt, keveri a gyepeket a fás területekkel.



13. ábra: Felügyelt osztályozás a 20–50. sávon

Forrás: Saját szerkesztés

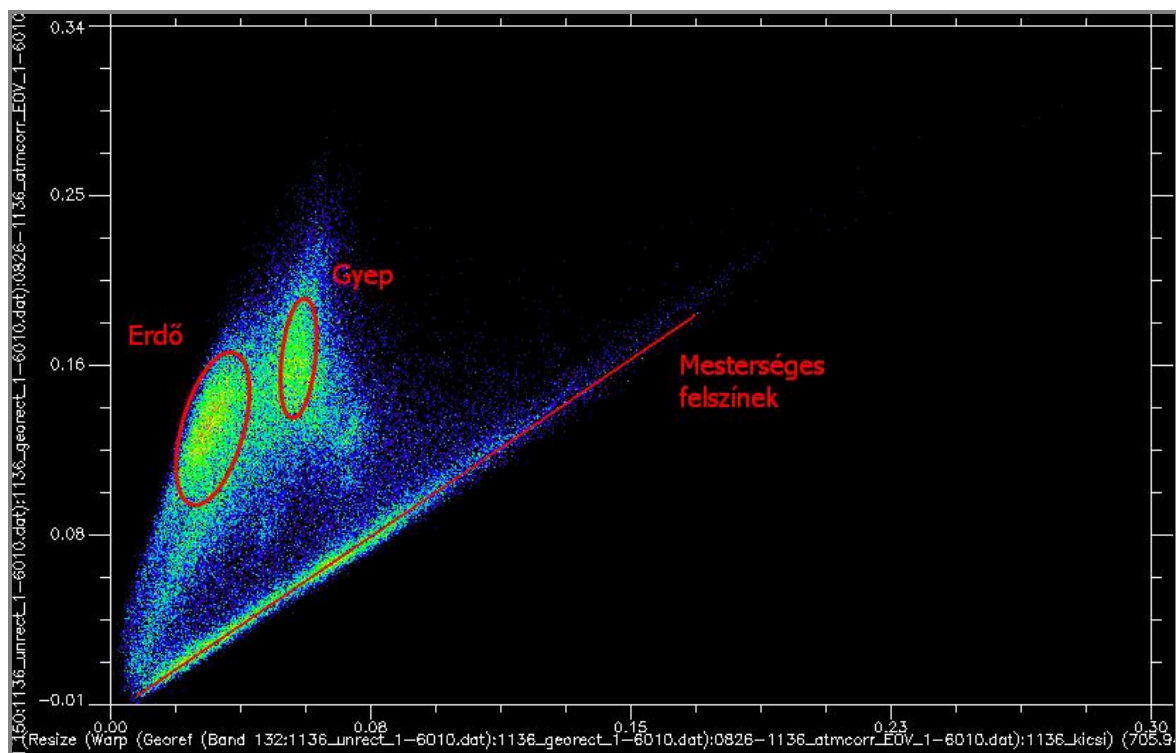
5.1.5. Fák–cserjék elkülönítése (lézeres letapogatás alapján)

A fák és cserjék elkülönítése a lézeres letapogatásból adódó magasságok alapján lenne lehetséges. A lefolyásmodellek segítségével előállított koronák legmagasabb pontjához köthető a méret alapján történő osztályozás. (KIRÁLY et. al., 2012)

5.2. A növényi stressz térképezése

5.2.1. Vegetációs indexek

A növényzet spektrális tulajdonságaiból következően (ld.: 3. fejezet) a vörös és az infravörös fény felszíni visszaverődése erősen függ a növényzet egészségi állapotától és fejlődési stádiumától. A visszavert vörös sugárzás energiája a növényzet fejlődésével csökken (a klorofill fényelnyelése miatt), az infravörös sugárzás pedig nő (a különböző szórási folyamatok és a klorofill-effektus miatt). A különböző zavaró hatások miatt azonban ezen sugárzások intenzitása közvetlenül nem használható arra, hogy a vegetáció biofizikai paramétereit számszerűsítsük, ezért két vagy több csatorna adatait felhasználva ún. vegetációs indexeket kell létrehozni. A vegetációs indexek dimenzió nélküli mérőszámok, amelyek elsősorban egy terület vegetációs aktivitásának kifejezését szolgálják. (EREDICS, 2007)



14. ábra: A 705 nm és a 750 nm hullámhosszú sugárzás szóródási diagrammja

Forrás: Saját szerkesztés

Példaként látható a 705 nm (x-tengely) és a 750 nm (y-tengely) hullámhosszú sugárzás szóródási diagrammja egy soproni mintaterületen. A diagrammból is kitűnik, hogy a különböző felszínek hatékonyan elkülöníthetők két sáv felhasználásával létrehozott vegetációs indexszel.

5.2.2. *Vegetációs indexek az ENVI-ben*

A nemzetközi szakirodalomban már több, mint 150 vegetációs indexet publikáltak más-más tulajdonságok megjelenítésére. Az ENVI 4.8 ezek közül 27 indexet ismer, amelyek 400 nm és 2500 nm közötti hullámhosszú sávokat használnak, kiválasztásuk a tudományos megalapozottság és a felhasználhatóság alapján történt.

Az ENVI 27 indexe alapvetően 2 csoportba osztható. Az első csoportba a széles sávú indexek (Broadband Greenness) tartoznak (50-100 nm szélesség), amelyek multispektrális felvételek elemzésénél használhatók jó eredménnyel (Pl. Landsat TM, WorldView-2. felvételek).

A másik csoportot a keskeny sávú indexek (Narrowband Greenness) alkotják, ahol 1-2 nm szélességű sávok értékeiből állítja elő a program a megfelelő indexet, így ezek alkalmazhatók a hiperspektrális távérzékelés adatainak elemzésekor. A vegetáció közvetlen elemzéséhez – a keskenysávú indexek mérésére – léteznek különböző műszerek is. (ENVI Help)

Első szűrésként 14 vegetációs indexet választottam ki, részben a spektrális tartomány alapján (400 nm és 1000 nm között), részben a stressz vizsgálatára való alkalmasság alapján, amit az ENVI Helpjének idevágó fejezete alapján tudtam kiválasztani.

A kiválasztott indexek:

- normalizált különbségű vegetációs index (Normalized Differenced Vegetation Index, NDVI),
- módosított vörös él NDVI (Modified Red Edge Normalized Differenced Vegetation Index, mNDVI₇₀₅),
- módosított vörös él egyszerű arány index (Modified Red Edge Simple Ratio index, mSR₇₀₅),
- vörös él pozíció (Red Edge Position Index – REP),
- fotokémiai reflektancia index (Photochemical Reflectance Index – PRI),
- szerkezeti pigment index (Structure Insensitive Pigment Index – SIPI),
- vörös–zöld arány (Red Green Ratio Index – RG Ratio),
- növények öregedési reflektanciája (Plant Senescence Reflectance Index – PSRI).

Az ENVI beépített „Vegetation Index Calculator” funkciójának eredményében nagyon sok a hiba (valószínűleg helytelen adattípus okozta túlsordulásról lehet szó), ezért a „Band Math” funkció segítségével végeztem az indexek előállítását.

Az így előállított képeket osztályozó fa (Decision Tree) segítségével osztályoztam, ahol első lépésként a hibás és a maszkolt pixelek kiválasztása történik, amit a korábban elkészült maszkok és a füves területeket osztályozó kép segítségével tudtam megtenni.

A stressz hatását három különböző, a későbbiekben fontosnak bizonyuló indexen vizsgáltam, így ezeket az indexeket ismertetem részletesen.

5.2.2.1. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

A normalizált különbségű vegetációs index (NDVI) az egyik legismertebb és legtöbbet használt vegetációs index. Meghatározása a következő képlettel történik:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

NIR: Reflektancia a közeli infravörös tartományban
Red: Reflektancia a vörös tartományban

Infravörös sávként a későbbi osztályozók által is használt 750 nm-es sávot használtam, vörösként pedig a 680 nm-es sáv szolgált.

A képletből adódik, hogy az NDVI értéke -1 és +1 közé esik, zöld növényzet esetén 0,4 és 0,9 közötti értéket vesz fel; élő, fotoszintetikusán aktív növények esetén 0,7-nél nagyobb.

5.2.2.2. *Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index*

A módosított vörös él módosított különbségű vegetációs index (modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index, $mNDVI_{750}$) a szélessávú NDVI-n alapszik. Nevében a „vörös él” kifejezés arra utal, hogy vörös sávként a növényekre jellemző vörös él alsó harmadán található 705 nm-es és a vörös él fölötti 750 nm-es sávot használja az index kiszámításához, amit a levél tükröződésszerű reflektanciájával korrigál a 445 nm-es sáv segítségével. Képlete:

$$mNDVI_{750} = \frac{P_{750} - P_{705}}{P_{750} + P_{705} - 2 * P_{445}}$$

Legfontosabb felhasználása a precíziós mezőgazdaság, erdőfelmérés és a vegetációs stressz felmérés. Értéke -1 és 1 között változik, zöld növényzet esetén 0,2 és 0,7 közé esik.

5.2.2.3. Modified Red Edge Simple Ratio Index

A módosított vörös él egyszerű arány index (Modified Red Edge Simple Ratio Index, mSR₇₀₅) – hasonlóan az előzőhöz – egy szélessávú index módosított változata. A Simple Ratio index nem más, mint az infravörös és a vörös sugárzás aránya. A Modified Simple Ratio Index pedig ezt bővíti a 445 nm-es sávval, szintén a 705 nm-es sávot használva.

Képlete a következő:

$$mSR_{705} = \frac{P_{750} - P_{445}}{P_{705} - P_{445}}$$

Felhasználási területe azonos az előző indexszel. Értéke 0 és 30 között változhat, zöld növényzet esetén 2 és 8 közötti. (ENVI Help)

5.2.2.4. Városi fák felvétele

A stressz hatását a vegetációs indexekre két, városban gyakran előforduló fafajon keresztül mutatom be. Olyan fákat kerestem, amelyek különböző stresszhatás alatt állnak (elsősorban közúti forgalom szempontjából) és a légi felvételeken jól azonosíthatók.

A mezei juhar (*Acer platanoides*) és a nagylevelű hárs (*Tilia platyphyllos*) mindenhol előforduló, gyakori városi és erdei fafaj. A Csengery utcán erős stressz alatt, valamint a kórház területén, erős forgalomtól távolabbi helyen vizsgáltam spektrális tulajdonságaikat.

3. táblázat: Városi mintafák

Erős stresszhatás	
Korai juhar (<i>Acer platanoides</i>) Csengery u. – Király Jenő u. NDVI = 0,803 mNDVI ₇₀₅ = 0,433760 mSR ₇₀₅ = 2,532072	
Folytatás a következő oldalon!	

<i>Erős stresszhatás</i>	
Nagylevelű hárs (Tilia platyphyllos) Csengery u. – Kőszegi u. NDVI = 0,731 mNDVI₇₀₅ = 0,365620 mSR₇₀₅ = 2,152686	
Gyenge stresszhatás	
Korai juhar (Acer platanoides) Kórház területén NDVI = 0,908 mNDVI₇₀₅ = 0,549447 mSR₇₀₅ = 3,438990	
Nagylevelű hárs (Tilia platyphyllos) Kórház területén NDVI = 0,864 mNDVI₇₀₅ = 0,439491 mSR₇₀₅ = 2,568183	

6. A stressz-térképezés gyakorlati megvalósítása

6.1.1. Maszkok elkészítése

Az első maszk a zöldfelületek leválogatását szolgálja: $NDVI > 0,4$ alapján. A második maszk a zöldterületekről leválasztja az árnyékos pixeleket, aminek előállítása felügyelt osztályozással könnyen megvalósítható. A maszk ellenőrizhető a lézeres letapogatás adatai alapján: a hiperspektrális felmérés készítésének időpontjából kiszámítható a nap sugárzásának beesési szöge, aminek segítségével a program meg tudja határozni az árnyékos pixeleket.

The screenshot shows the 'Solar Calculator 2.2' web application. At the top, there's a Google Map of a location in Hungary, with a yellow line indicating the sun's path. Below the map, the application displays various input fields and calculated data. The 'Sun Data' tab is selected, showing predictions for Friday, August 26, 2011, at 09:40 AM. The data includes the sun's azimuth (150.63°) and elevation (49.54°) at the current time, as well as sunrise and sunset times. A red error message indicates that the timezone could not be automatically detected and has defaulted to UTC.

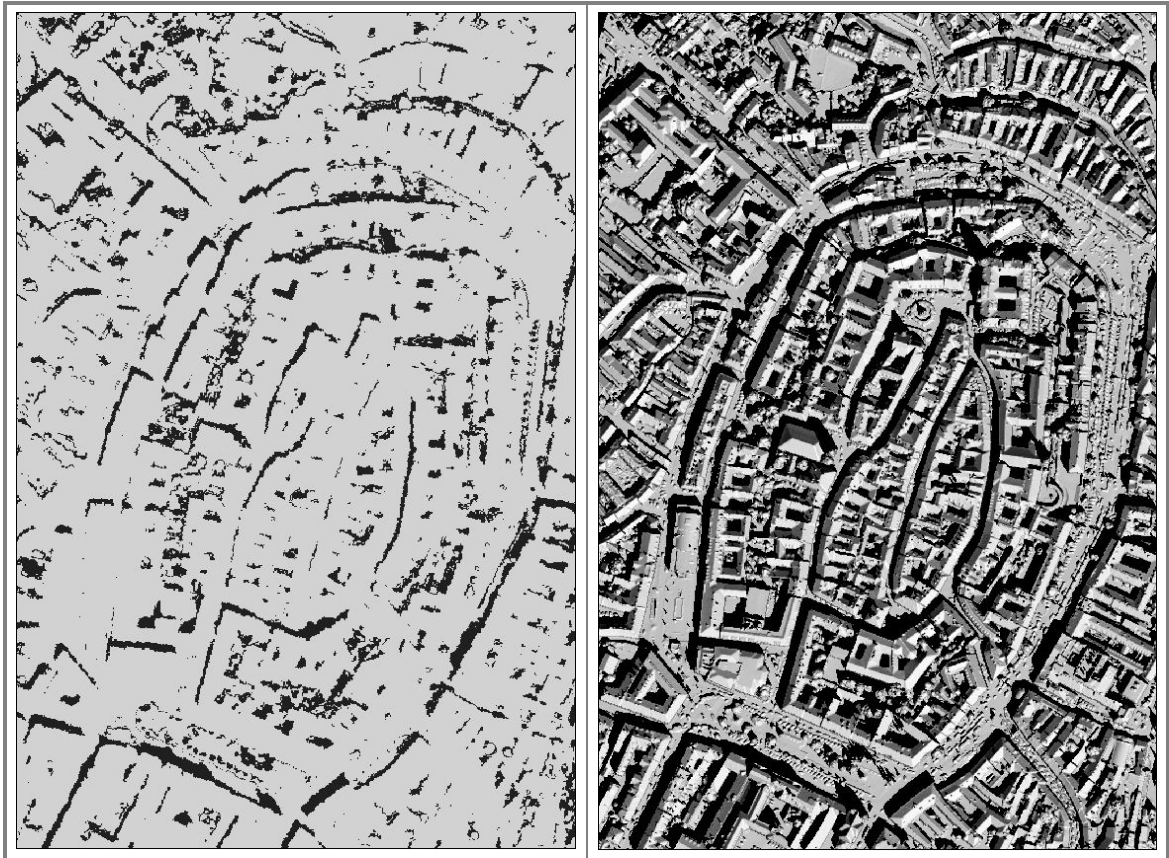
Field	Value
Latitude	47.685139284090326
Longitude	16.590747052001916
Local Date & Time	26-08-2011 09:40
Timezone (autodetected UTC/UTC+0000)	Autodetect
Magnetic Declination Adjustment	3.42 Disabled

Timezone: Unable to autodetect timezone for this location. Please manually select a timezone. Timezone: Invalid timezone supplied, falling back to UTC.

Field	Value
Previous Sunrise	73.59° at 26-08-2011 04:05 UTC
Current Sun Azimuth	150.63° at elevation 49.54°
Next Sunset	286.11° at 26-08-2011 17:45 UTC

15. ábra: A Nap állásszögének kiszámolása

Forrás: Solar Calculator 2.2
(<http://www.iesmith.net/tools/solarcalc.html>)



16. ábra: Árnyékos pixelek felügyelt osztályozással és lézeres letapogatás alapján (ALS)

*Forrás: Király Géza: Megvilágítás a lézeres letapogatás adatai alapján – Sopron, 2007
(als.nyme.hu)*

A 14. ábrán látható on-line program szolgálta a napsugárzás beesési szögeinek kiszámítását. Ehhez a következő adatokra van szükség:

- földrajzi szélesség: 47,69;
- földrajzi hosszúság: 16,59;
- helyi dátum és idő: 08-26-2011 9:40;
- időzóna: UTC.

A vizsgálat során 150,63 fokos irányszögből (Sun Azimuth) és 49,54 fokos magassági szögből (Sun Elevation) világítottuk meg a borított felszínmodellt (Digital Surface Model).



17. ábra: A két árnyékréteg metszete

Forrás: Dr. Király Géza szerkesztése

4. táblázat: A 16. ábra területi megoszlása

		Felügyelt osztályozás		
		Árnyék	Nem	Összesen
ALS	Árny	8,55%	20,87%	29,43%
	Nem	4,84%	65,73%	70,57%
	Össz.	13,40%	86,60%	100,00%

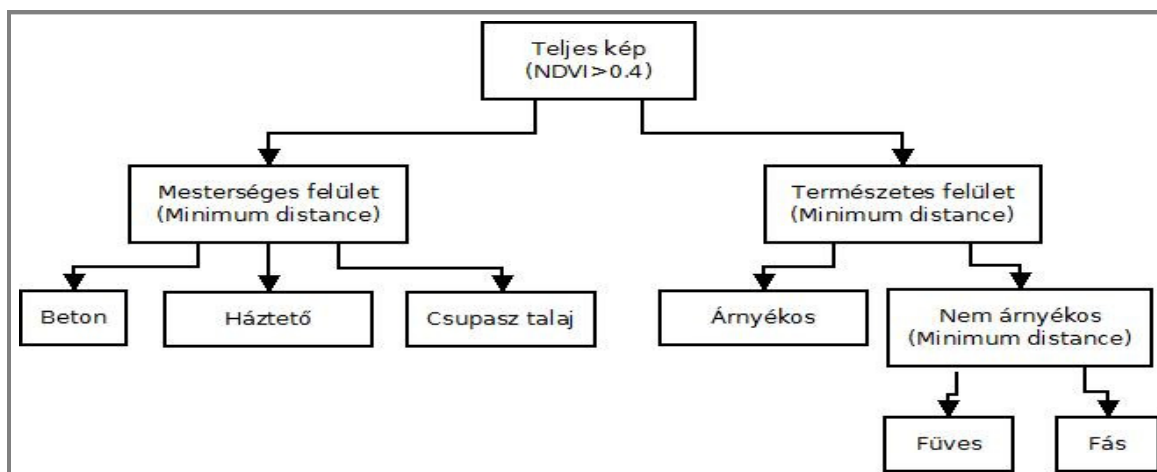
ALS árnyék	Felügyelt osztályozás árnyék	Árnyék	Nem árnyék

A két különböző módon elkészített árnyékréteg egymásra illesztéséből megállapítható, hogy az árnyékok többsége nem egyezik meg a két rétegen, viszont a magasabb épületek nagy felületű árnyékai megegyeznek. Az eltérés több okra vezethető vissza, így az eltérő felvételi időpont, a terepi felbontás, a technológiai különbségek és a geometriai különbségek okozhatják. Alapvetően tehát megbízhatónak mondható a felügyelt osztályozás alkalmazása.

Egyetlen megoldandó probléma van az árnyékok osztályozásánál: a vizeket is árnyéknak tekinti az osztályozó algoritmus, ami további osztályozással elkülöníthető.

A stressz-térképezés során problémát okoz, hogy a vegetációs indexet nemcsak a stressz befolyásolja, hanem mértéke nagyban függ a növény méretétől és fotoszintetikus aktivitásától is, ami fajfüggő is lehet. Ennek elkerülése érdekében külön kell kezelni a különböző zöldterületeket (fás és füves területek), amit az előzőekben ismertetett (ld. 5. fejezet) osztályozás eredménye lehetővé tesz. A maszkolás 3. lépése tehát a gyepek kitakarása.

Így elértük azt, hogy csak a fás szárú növényzettel tudunk foglalkozni, az NDVI érték tehát elsősorban az adott egyed egészségi állapotától fog függni (kisebb mértékben a fajtától).



18. ábra: A maszkok létrehozásának folyamatábrája

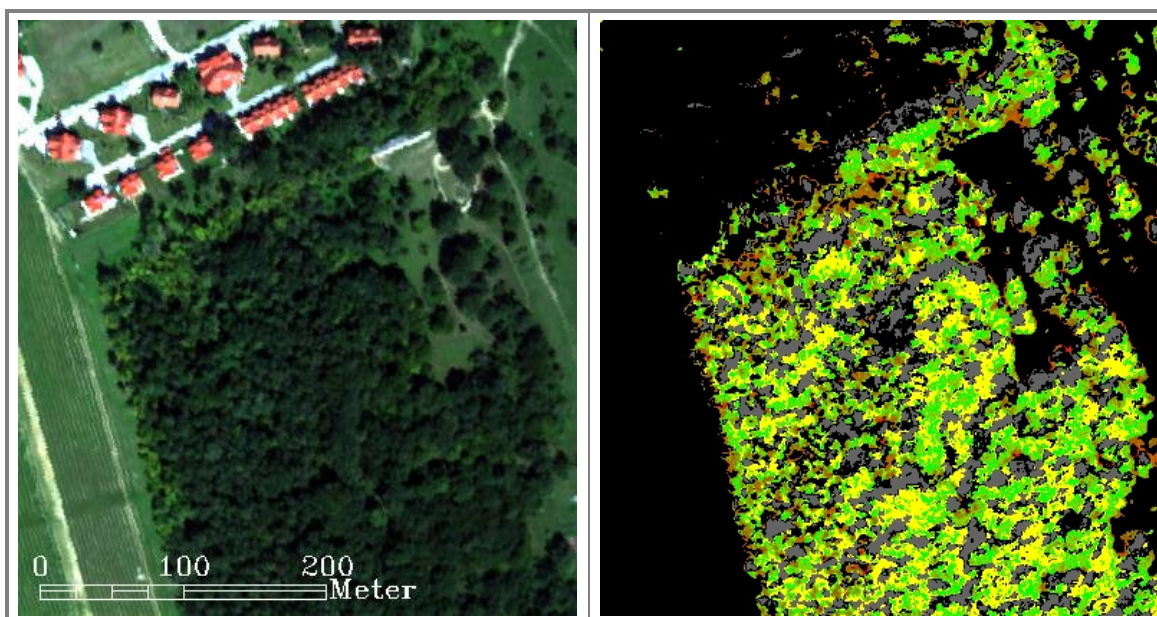
Forrás: Saját szerkesztés

6.1.2. Fák stressz-szintjének meghatározása

A stressz-térképezéséhez a vegetációs indexeket döntési fa segítségével osztályoztam. Először minden indexet próbáltam önálló kategóriarendszerrel osztályozni és ez alapján megállapítani, hogy melyik lesz leginkább alkalmas a stressz lehető legrészletesebb térképezésére. Ezután a két legjobbnak talált indexet újra osztályoztam azonos kategóriák és szempontok alapján.

6.1.2.1. Vegetációs indexek összehasonlítása

Az összehasonlíthatóság végett elvégeztem az osztályozást a szélessávú Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adatai alapján is.



19. ábra: Az NDVI osztályozott képe (Sopron, Brand-major)

Forrás: Saját szerkesztés

6.1.2.2. Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index

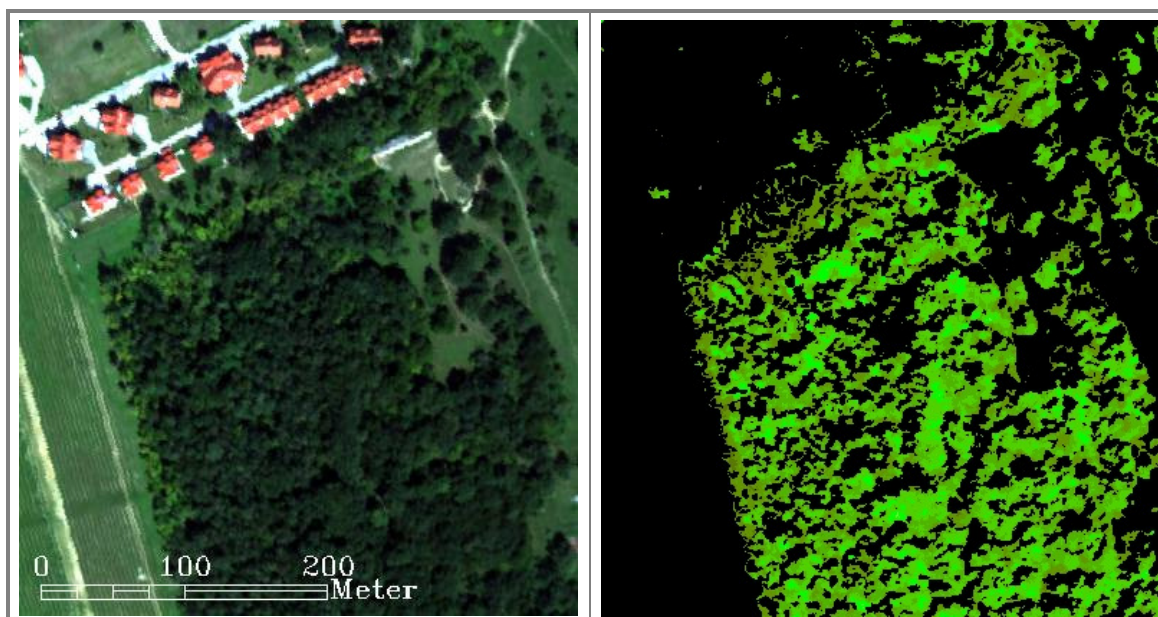
Az osztályozó fa 10 osztályt hozott létre az index alapján és további 2 osztályt a hibás, illetve maszkolt pixeleknél. Az osztályhatárok a következőképpen alakulnak (kiemeléssel feltüntetve a kategóriák térképi színei):

5. táblázat: Az mNDVI₇₀₅ osztályozás eredménye

	Határok	Maszkolt pixelekkel		Maszk nélkül
1.	mNDVI ₇₀₅ < 0	0 pont	0,00%	0,00%
2.	mNDVI ₇₀₅ < 0,2	20 pont	0,00%	0,00%
3.	mNDVI ₇₀₅ < 0,3	1 147 pont	0,010%	0,18%
4.	mNDVI ₇₀₅ < 0,4	28 626 pont	0,242%	4,55%
5.	mNDVI ₇₀₅ < 0,5	218 332 pont	1,846%	34,71%
6.	mNDVI ₇₀₅ < 0,55	209 105 pont	1,768%	33,25%
7.	mNDVI ₇₀₅ < 0,6	145 506 pont	1,230%	23,13%
8.	mNDVI ₇₀₅ < 0,65	26 236 pont	0,222%	4,17%
9.	mNDVI ₇₀₅ < 0,7	1 000 pont	0,008%	0,00%
10.	mNDVI ₇₀₅ > 0,7	2 pont	0,00%	0,00%
11.	Maszk (0)	11 192 318 pont	94,629%	-
12.	mNDVI ₇₀₅ < -1	5 329 pont	0,045%	-
	Összes terület:	11 827 621 pont	Maszk nélkül:	629 974 pont

Forrás: Saját szerkesztés

Az eredményben nincs negatív érték (kivételek képeznek a hibás, -1 alatti értékek) és elhanyagolható (2 pixel) a 0,7 feletti érték.



20. ábra: Az mNDVI₇₀₅ osztályozott képe (Sopron, Brand-major)

Forrás: Saját szerkesztés

6.1.2.3. Modified Red Edge Simple Ratio Index

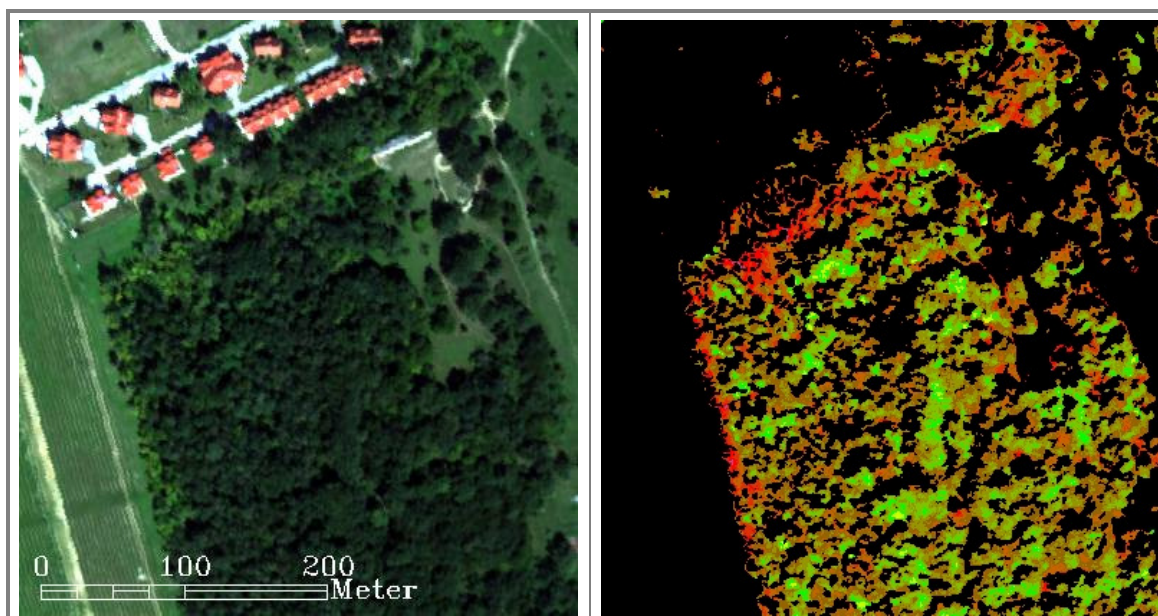
Ebben az esetben 12 osztályt hoztam létre és további 2 osztályt a hibás, illetve maszkolt pixeleknél. Az osztályhatárok a következőképpen alakulnak.

6. táblázat: Az mSR₇₀₅ osztályozás eredménye

	Határok	Maszkolt pixelekkel		Maszk nélkül
1.	mSR ₇₀₅ < 1	0 pont	0,000%	0,00%
2.	mSR ₇₀₅ < 2	3413 pont	0,029%	0,54%
3.	mSR ₇₀₅ < 2,33	25 857 pont	0,219%	4,10%
4.	mSR ₇₀₅ < 2,66	82 244 pont	0,695%	13,06%
5.	mSR ₇₀₅ < 3	136 611 pont	1,155%	21,69%
6.	mSR ₇₀₅ < 3,33	158 215 pont	1,338%	25,11%
7.	mSR ₇₀₅ < 3,66	129 109 pont	1,09%	20,49%
8.	mSR ₇₀₅ < 4	67 287 pont	0,569%	10,68%
9.	mSR ₇₀₅ < 4,33	20 904 pont	0,177%	3,32%
10.	mSR ₇₀₅ < 5	6119 pont	0,052%	0,97%
11.	mSR ₇₀₅ < 8	215 pont	0,002%	0,03%
12.	mSR ₇₀₅ > 8	0 pont	0,00%	0,00%
13.	maszk	11 197 414 pont	94,629%	-
14.	mSR ₇₀₅ < -1	5 329 pont	0,045%	-
	Összes terület:	11 827 621 pont	Maszk nélkül:	629 974 pont

Forrás: Saját szerkesztés

Az eredményben nincs 8-nál nagyobb érték, 2 alatti viszont előfordul növényzetre is.



21. ábra: Az mSR₇₀₅ osztályozott képe (Sopron, Brand-major)

Forrás: Saját szerkesztés

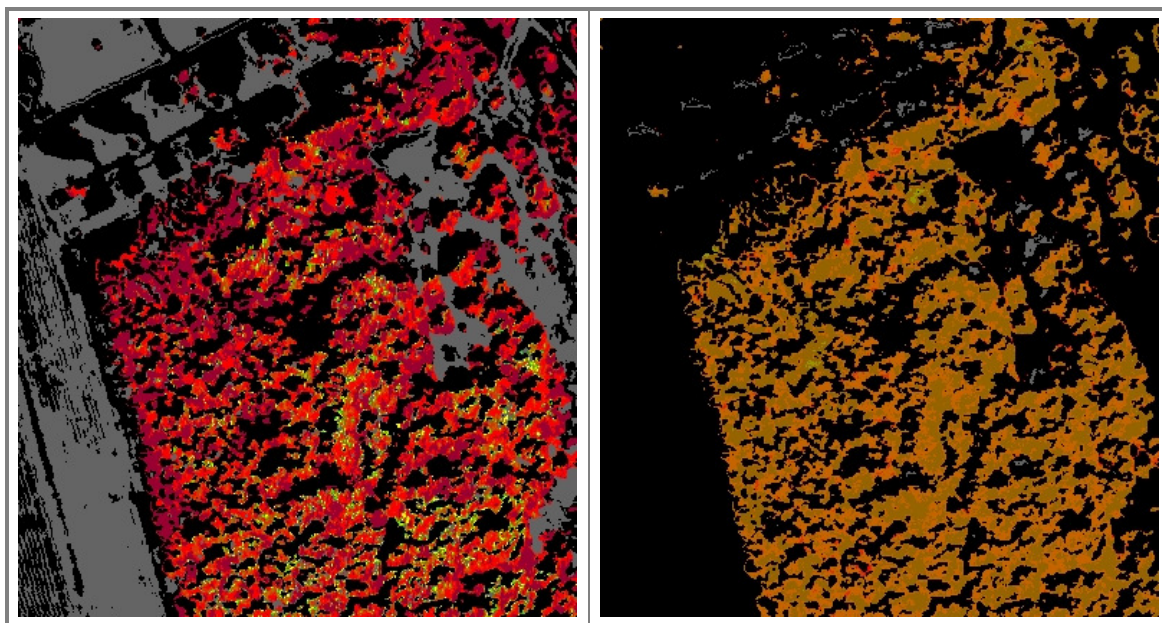
6.1.2.4. Egyéb vegetációs indexek

A Red Edge Position Index (REP) nem hozott eredményt, az értékek látszólag véletlenszerűen változnak pixelről pixelre.

A Photochemical Reflectance Index (PRI) és a Structure Insensitive Pigment Index (SIPI) eredménye pedig a vegetációra meghatározott tartományt nem tölti ki, hanem azon belül egy szűk tartományban mozog, így nem rendelkezik kellő érzékenységgel az egészségi állapottal szemben.

A Red Green Ratio (RGR) értékének 0,7 és 3 között kellene változnia, ezzel szemben az osztályozott pixelek 70%-a 0,7 és 1,2 közötti értéket vesz fel.

Hasonló okokból nem használható a Plant Senescence Reflectance Index (PSRI) sem.



22. ábra: Az RGR és a PSRI osztályozásának eredménye (Sopron, Brand-major)

Forrás: Saját szerkesztés

6.1.2.5. $mNDVI_{705}$ és mSR_{705} eredményének egyeztetése

A különböző osztályok százalékos megoszlása és az irodalomban talált értékek alapján a két legjobb eredményt adó indexre kidolgoztam egy egyszerű kategória-rendszert a különböző mértékű stresszhatásokra. Ebben segítségemre voltak a két városi fafaj esetén tapasztalt értékek is (ld. 5.2.1.4 fejezet), amik ezekre az indexekre az alábbiak szerint alakultak.

7. táblázat: A vegetációs indexek értékei

		NDVI	mNDVI ₇₀₅	mSR ₇₀₅
<i>Acer platanoides</i>	Erős stressz	0,803	0,433760	2,532072
	Gyenge stressz	0,908	0,549447	3,438990
<i>Tilia platyphyllos</i>	Erős stressz	0,731	0,365620	2,152686
	Gyenge stressz	0,864	0,439491	2,568183

Forrás: Saját szerkesztés

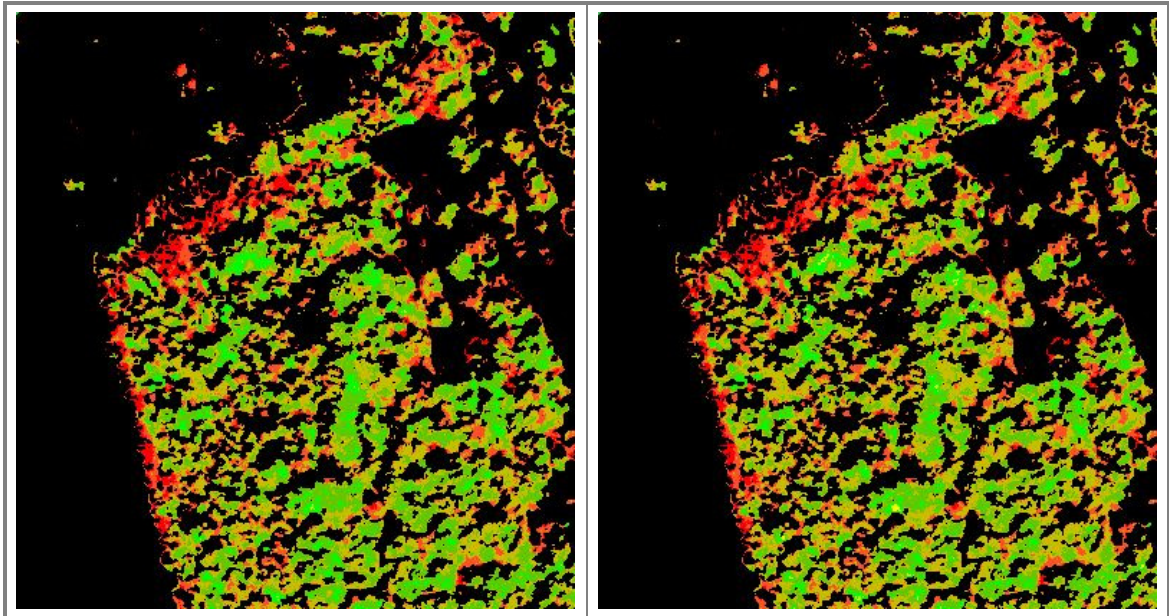
A kategóriarendszer határainak meghatározásakor az index elméleti határai, a növényzetre megadott határok, valamint az indexek első osztályozásánál használt kategóriarendszerben a legtöbb pixelt magába foglaló értéktartományok voltak mérvadóak.

8. táblázat: Az mNDVI₇₀₅ és az mSR₇₀₅ átdolgozott kategóriahatárai

	mNDVI ₇₀₅	mSR ₇₀₅	kategóriaszám
maszk			1
elméleti alsó határ	< -1	< 0	2
elméleti felső határ	> 1	> 30	11
alsó határ	< 0	< 1	3
gyakorlati alsó határ	< 0,4	< 2	4
gyakorlati felső határ	> 0,65	> 4,5	10
felső határ	> 0,7	> 8	
tényleges tartomány	0,4–0,65	2–4,5	
legtöbb pixel	0,5–0,55	3–3,3	
erős stressz határ	< 0,4350	< 2,5	5
közepes stressz határ	< 0,5	< 3	6
gyenge stressz	< 0,55	< 3,5	7
stresszmentes	< 0,6	< 4	8
egészséges	< 0,65	< 4,5	9

Forrás: Saját szerkesztés

Az mNDVI₇₀₅ osztályozás eredményét a hiperspektrális felvételre vetítve a 2. melléklet tartalmazza.



23. ábra: Az mNDVI₇₀₅ és az mSR₇₀₅ átdolgozott osztályozott képe (Sopron, Brand-major)

Forrás: Saját szerkesztés

Ennek az osztályozásnak előnye, hogy a 2 különböző index adatai összehasonlíthatók. (Az összehasonlítást a kitakart pixelek nélkül adom meg.)

9. táblázat: Az mNDVI₇₀₅ és az mSR₇₀₅ osztályozásának eredménye

Kat. szám	mNDVI ₇₀₅		mSR ₇₀₅	
	Terület (m ²)	Arány (%)	Terület(m ²)	Arány (%)
4.	29793	4,69	3413	0,54
5.	44784	7,05	60958	9,67
6.	173548	27,32	183754	29,16
7.	209105	32,91	231804	36,78
8.	145506	22,90	122807	19,49
9.	26236	4,13	24300	3,86
10.	1002	0,16	2938	0,47
11.	5329	0,84	233	0,04
	Terület:	635 303 pont	Terület:	630 207 pont

Forrás: Saját szerkesztés

A képek és a számok egyaránt azt támasztják alá, hogy nincs érdemi különbség a két index között, ami megegyezik az ENVI Helpben található adatokkal is, miszerint a két index felhasználási területe megegyezik és azonos hullámhosszú adatokból dolgozik. (Ezért az eredmények ellenőrzését csak az mNDVI₇₀₅ adataival végzem.)

6.1.2.6. Eredmények ellenőrzése

A projekt során – a hiperspektrális felméréssel egy időben – a Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar Kémiai Intézetének munkatársai klorofilltartalom- és szárazanyag-tartalom-vizsgálatokat végeztek a referenciafákról gyűjtött levélmintákon. Ezekkel az eredményekkel végeztem a felvételek alapján számolt indexek ellenőrzését.



24. ábra: Referenciapontok a WorldView-2 űrfelvételen (Sopron, Belváros)

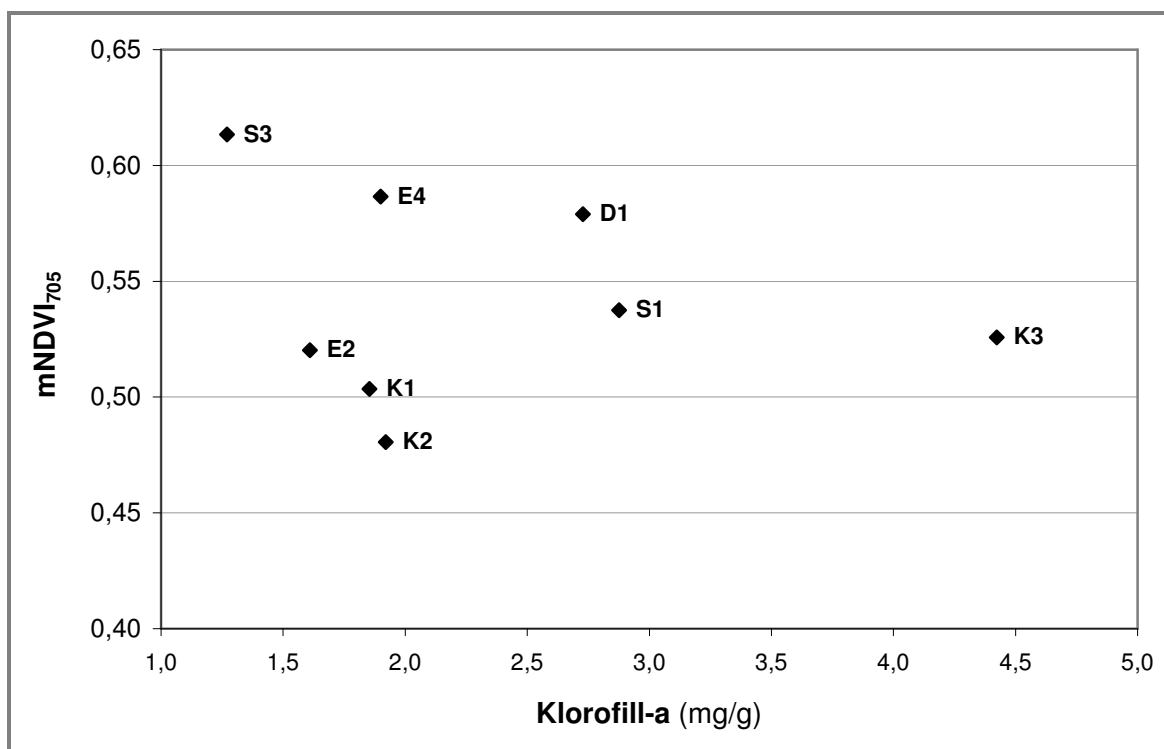
Forrás: Saját szerkesztés

Az ellenőrzés során a klorofill-a, a klorofill-b, valamint a szárazanyag-tartalmat vettem össze a vegetációs indexszel 8 fa, illetve cserje egyeden. (Tekintettel a feladat statisztikai részének egyszerűségére az összevetést Microsoft Excel programmal végeztem.)

10. táblázat: A referenciafák adatai

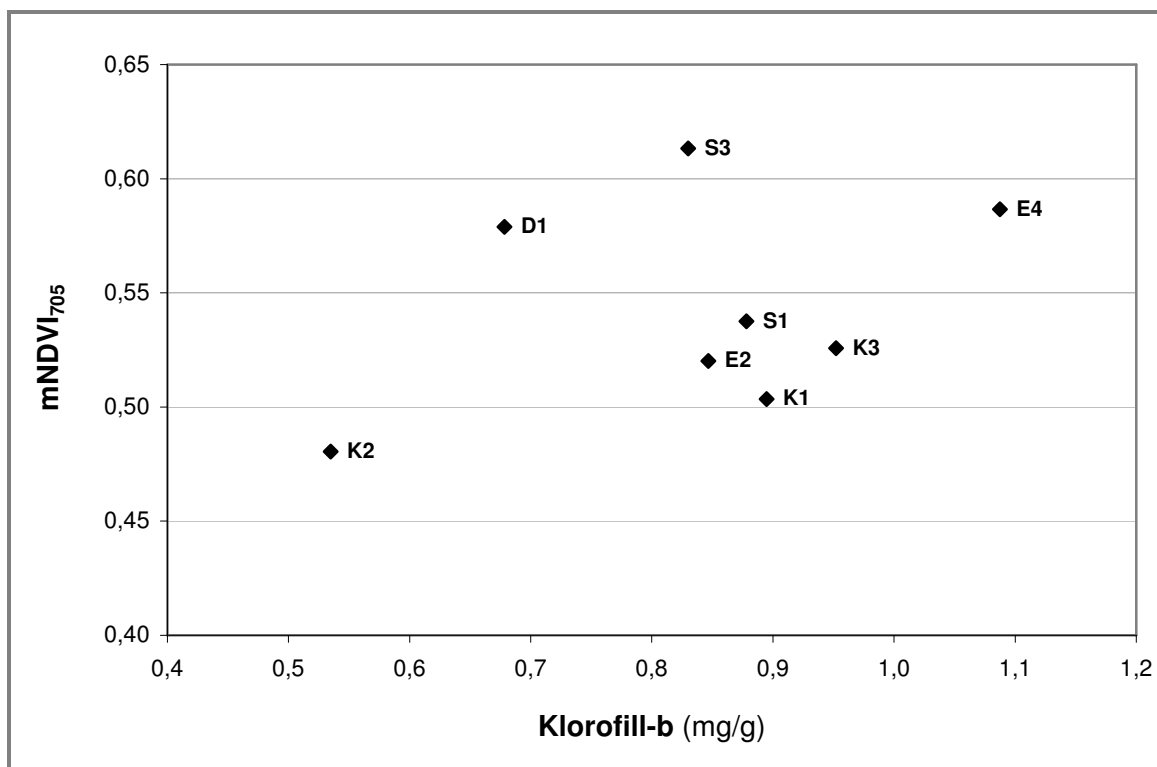
ID	Magyar név	Latin név	klorofill-b	klorofill-a	Sza	mNDVI ₇₀₅
			mg/g		%	
S1	Korai juhar	<i>Acer campestre</i>	0,8781	2,8760	45,64	0,5375
S3	Közönséges aranycserje	<i>Forsythia x intermedia</i>	0,8300	1,2705	44,31	0,6133
D1	Veresgyűrű som	<i>Cornus sanguinea</i>	0,6782	2,7281	37,24	0,5789
E2	Tulipánfa	<i>Liriodendron tulipifera</i>	0,8466	1,6102	40,66	0,5202
E4	Illatos jezsámen	<i>Philadelphus coronaria</i>	1,0875	1,8988	52,48	0,5866
K1	Mezei juhar	<i>Acer campestre</i>	0,8948	1,8541	75,65	0,5035
K2	Mezei juhar	<i>Acer campestre</i>	0,5347	1,9203	64,98	0,4805
K3	Mezei juhar	<i>Acer campestre</i>	0,9520	4,4227	66,90	0,5300

Forrás: Saját szerkesztés



25. ábra: Klorofill-a tartalom és az mNDVI₇₀₅ összefüggése

Forrás: Saját szerkesztés



26. ábra: Klorofill-b tartalom és az mNDVI₇₀₅ összefüggése

Forrás: Saját szerkesztés



27. ábra: Szárazanyag-tartalom és az mNDVI₇₀₅ összefüggése

Forrás: Saját szerkesztés

A kapott eredmények alapján nem sikerült kimutatni kapcsolatot a levelekben mért klorofill- és szárazanyag-tartalom és a vegetációs indexek között. Ennek több oka is lehet.

A mintaként szolgáló fa- és cserjefajok sok tekintetben erősen eltérőek. Nehezen hasonlítható össze például a dél-európai elterjedésű, szárazságot is jól viselő, kistermetű (2-4 m) jezsámen a főleg hegyvidéki, nagytermetű (30 m) korai juharral. Eltérő lehet a vegetációs index értéke a fény- és az árnyékkoronában is, hiszen sokszor a levelek még morfológiailag is eltérőek az eltérő megvilágítás miatt. A fajok pontos azonosítása is nehéz feladatnak bizonyult az 1 méteres terepi felbontáson, és szintén a felbontás miatt nagy a valószínűsége, hogy kevert pixelekkkel is dolgoztam. Ezen hibalehetőségeken kívül megemlítendő még, hogy a laborban végzett mérések eredményeinek is igen nagy a szórása, azok is lehetnek hibákkal terheltek.

Mindezek tükrében megállapítható, hogy a továbbiakban a vegetációs indexek alkalmazhatóságának ellenőrzéséhez további mérésekre lesz szükség, méghozzá kevés faj sok egyedéről vett mintával.

7. Összefoglalás

A dolgozat készítése során sikerült a hiperspektrális felvételek alapján meghatározni a zöldfelületek elhelyezkedését és méretét Sopronban és környékén. Ezeket a mennyiségi adatokat is felhasználva elvégeztem a zöldfelületek egészségügyi vizsgálatát különböző vegetációs indexek felhasználásával, ám ezen adatok összefüggését a növények egészségére jellemző klorofill- és szárazanyag-mennyiségekkel nem sikerült statisztikai úton alátámasztani.



28. ábra: Belvárosi és külvárosi mintaterület

Forrás: Saját szerkesztés

A kapott eredményekkel könnyen meghatározhatóvá válnak a városi zöldfelületekre jellemző mennyiségi tényezők, melyek közül néhányat az alábbi táblázat tartalmaz:

11. táblázat: Szemléltető adatok

Belvárosi mintaterület		Külvárosi mintaterület	
Zöldfelület mérete:	2 158 m ²	Zöldfelület mérete:	170 474 m ²
Mesterséges felület mérete:	449 414 m ²	Mesterséges felület mérete:	84 382 m ²
Zöldfelület-arány:	0,005%	Zöldfelület-arány:	2,02%
Zöldfelület az összes területhez képest:	0,05%	Zöldfelület az összes területhez képest:	0,66%

Forrás: Saját szerkesztés

A zöldfelületek minőségi elemzésére a mNDVI705 szolgált. Fás szárú növényzet efészségi állapotát jól tükrözi osztályozott képe, melyet a Soprontól D-re fekvő mintaterületen mutat be a 2. *melléklet*.

8. További lehetőségek

Ezen eredményekkel lehetőség nyílik a növényi stressz nagy területű, egységes vizsgálatára, ami eddig csak egy-egy ponton volt megvalósítható. Kapcsolódva a TÁMOP projekt célkitűzéséhez, a kapott adatok alkalmasak lehetnek a várostervezés, városi zöldfelület-kezelés támogatására.

További feladat lehet a létrehozott 5 stressz-kategória további finomítása, különválasztva a lakott területeken belüli és kívüli fákat. Érdekes lehet a vegetációs indexek fajok szerinti változását is vizsgálni, mert már a két városi teszt-fafajnál is (korai juhar és nagylevelű hársliget) jelentős eltérések mutatkoztak. Ha ezek az eltérések szignifikánsan jelentkeznek több fafaj vagy fafaj-csoport esetén, akkor ezek az indexek nagy segítséget nyújthatnak a hiperspektrális felvételek alapján történő fafaj-meghatározásban.

Célszerű lenne egy olyan módszer kidolgozása, amivel a lehető legegyszerűbben lehet ezt az osztályozást elvégezni. Az ENVI-ben lehetőség van saját eljárások létrehozására IDL programnyelvben, így a megfelelő program megírásával ez megvalósítható, ugyanis saját IDL eljárás nélkül a döntési fába nem építhető be más osztályozás.

Táblázat- és ábrajegyzék

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Felszínborítások reflektanciája.....	4
2. táblázat: A pigmenttípusok abszorpció maximumai	9
3. táblázat: Városi mintafák	21
4. táblázat: A 16. ábra területi megoszlása	25
5. táblázat: Az mNDVI ₇₀₅ osztályozás eredménye	27
6. táblázat: Az mSR ₇₀₅ osztályozás eredménye	28
7. táblázat: A vegetációs indexek értékei.....	30
8. táblázat: Az mNDVI ₇₀₅ és az mSR ₇₀₅ átdolgozott kategóriahatárai.....	30
9. táblázat: Az mNDVI ₇₀₅ és az mSR ₇₀₅ osztályozásának eredménye.....	31
10. táblázat: A referenciafák adatai.....	33
11. táblázat: Szemléltető adatok	36

Ábrajegyzék

1. ábra: Városi hősziget	5
2. ábra: Az elektromágneses hullámok és a növényzet kölcsönhatásai [landsat.usgs.gov alapján].....	8
3. ábra: Zöld növény reflektanciája	9
4. ábra: A klorofil <i>a</i> és <i>b</i> elnyelési görbéi.....	10
5. ábra: Az alkalmazott Piper Aztec (HA-YCG) típusú repülőgép, és a beépített érzékelő.....	11
6. ábra: Sopron és környéke légi hiperspektrális adatfelvételezése (2011.08.26.)	12
7. ábra: A felügyelt osztályozás eredménye (Görbehalom)	13
8. ábra: Beépített területek k-means osztályozása (Sopron, Belváros).....	15
9. ábra: Felügyelt osztályozás (Sopron, Belváros).....	15
10. ábra: A zöldfelületek isodata osztályozása (Sopron, Ózon kemping)	16
11. ábra: A zöldfelületek isodata osztályozása árnyékos pixelek nélkül (Sopron, Ózon kemping)	16
12. ábra: Osztályozás a 20–50. sávon	17
13. ábra: Felügyelt osztályozás a 20–50. sávon	17

14. ábra: A 705 nm és a 750 nm hullámhosszú sugárzás szóródási diagrammja	18
15. ábra: A Nap állásszögének kiszámolása	23
16. ábra: Árnyékos pixelek felügyelt osztályozással és lézeres letapogatás alapján (ALS)	24
17. ábra: A két árnyékréteg metszete	25
18. ábra: A maszkok létrehozásának folyamatábrája.....	26
19. ábra: Az NDVI osztályozott képe (Sopron, Brand-major)	26
20. ábra: Az mNDVI ₇₀₅ osztályozott képe (Sopron, Brand-major)	27
21. ábra: Az mSR ₇₀₅ osztályozott képe (Sopron, Brand-major)	28
22. ábra: Az RGR és a PSRI osztályozásának eredménye (Sopron, Brand-major)	29
23. ábra: Az mNDVI ₇₀₅ és az mSR ₇₀₅ átdolgozott osztályozott képe (Sopron, Brand- major).....	31
24. ábra: Referenciapontok a WorldView-2 űrfelvételen (Sopron, Belváros)	32
25. ábra: Klorofill-a tartalom és az mNDVI ₇₀₅ összefüggése	33
26. ábra: Klorofill-b tartalom és az mNDVI ₇₀₅ összefüggése.....	34
27. ábra: Szárazanyag-tartalom és az mNDVI ₇₀₅ összefüggése.....	34
28. ábra: Belvárosi és külvárosi mintaterület	36

Irodalomjegyzék

- BÁCSATYAI László – MÁRKUS István (2001): Fotogrammetria és Távérzékelés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- BORONKAI Pál (1969): Sopron parkosításának története. Soproni Szemle 1969. XXIII. Évfolyam 2. szám, pp. 42–58.
- CSORBA Ádám (2011): A hiperspektrális technológia bemutatása és a szolgáltatott adatok megbízhatósága. XVI. Fiatal műszakiak tudományos ülészsaka, Kolozsvár
- ENVIROSENSE HUNGARY Kft. (2011): Hiperspektrális légi repülés, Projekt részjelentés. Sopron
- EREDICS Attila (2007): Vegetációs indexméter (NDVI) tervezése és fejlesztése. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- KERN Anikó (2011): NDVI vegetációs index előállítása távérzékelt AVHRR és MODIS adatok alapján. Doktori értekezés, Budapest, ELTE-TTK, 2011
- KERTÉSZ Péter (2011): Városi és város-közel zöldfelületek mennyiségi és minőségi jellemzése hiperspektrális felvételek alapján. TDK dolgozat, Sopron, NYME – EMK, 2011
- KIRÁLY Géza (2007): A távérzékelés erdészeti alkalmazása. Doktori (PhD) értekezés. Sopron, NYME – EMK, 2007.
- KIRÁLY, Géza – BROLLY, Gábor – BURAI, Péter (2012): Tree Height and Species Estimation Methods for Airborne Laser Scanning in a Forest Reserve. In: Full Proceedings of SilvLaser 2012; 12th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems, Vancouver, BC, Canada, 2012.09.16-19. pp 260-270.
- KONKOLYNÉ GYURÓ Éva (2003): Környezettervezés. Mezőgazda kiadó, 2003
- SOPRON MEGYEI JOGÚ VÁROS KÖRNYEZETVÉDELMI Programja 2010–2015. Nyugat-magyarországi Egyetem Kooperációs Kutatási Központ Nonprofit Kft.
- THENKABAIL, Prasad S. – ENCLONAB, Eden A. – ASHTONB, Mark S. – VAN DER MEER, Bauke (2004): Accuracy assessments of hyperspectral waveband performance for vegetation analysis applications
- THENKABAIL, Prasad S. – SMITH, Ronald B. – De PAUW, Eddy (2000): Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. Remote Sens. Environ., New York
- TOLNER Imre Tibor (2011): Hazai esettanulmányok az Aisa Dual hiperspektrális légi rendszer alkalmazásához. XVI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár

Online források:

BUSCHMANN, Claus: Seeing what happens inside plants, BIOPRO Baden-Württemberg GmbH
[www.bio-pro.de/magazin/] Letöltés: 2013. 01. 02.

ENVI help

ENVI Tutorials (ITT)

ENVI User's Guide (2004)

[http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/biblio_sr/ENVI_userguid.pdf] Letöltés: 2011. 07. 21.

IESMITH.NET PHOTOGRAPHY honlapja

[<http://www.iesmith.net/tools/solarcalc.html>] Letöltés: 2012. 10. 14.

KIRÁLY Géza: Megvilágítás a lézeres letapogatás adatai alapján – Sopron, 2007

[<http://als.nyme.hu>] Letöltés: 2012. 11. 14.

KIRÁLY Géza: Szellemi, szervezeti és K+F infrastruktúrafejlesztés a Nyugat-magyarországi Egye-
temen

[<http://geo.emk.nyme.hu/index.php?id=21898&L=1&id=21898>] Letöltés: 2012. 10. 5.

MAX PLANCK INSTITUTE FOR CHEMISTRY ATMOSPHERIC CHEMISTRY DEPARTMENT honlapja

[<http://www.atmosphere.mpg.de>] Letöltés: 2013. 01. 02.

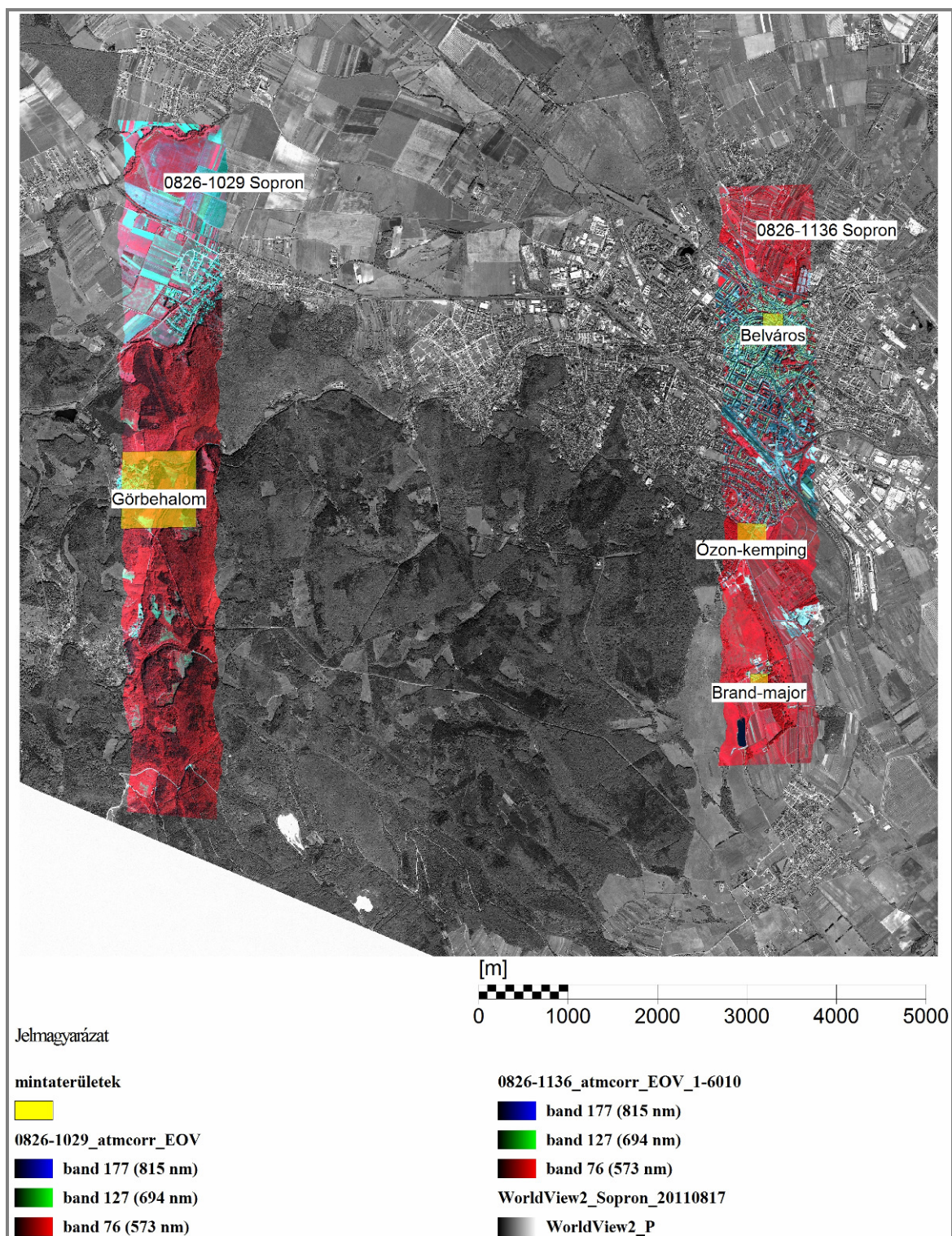
NYÍREGYHÁZI KÖRNYEZETVÉDELMI INFORMÁCIÓS RENDSZER (2011): Zöldterületek.

[www.nyirkir.hu/zold.htm] letöltés: 2011. 10. 20.

TÁMOP 4.2.1. B projekt honlapja [<http://www.geo.info.hu/tamop421b/>] Letöltés: 2012.10.18.

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Átnézeti térkép (Sopron és környéke)



Forrás: Saját szerkesztés

2. melléklet: Az mNDVI₇₀₅ alakulása a Sopron környéki mintaterületen

Az osztályok magyarázatát lásd a 8. táblázatban. A megjelenített osztályok: 2–11. osztály (Class 2 – Class 11).



Forrás: Saját szerkesztés