

**Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet**



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**CSAPADÉK
BEFOGADÓKÉPESSÉGÉNEK
TÉRKÉPEZÉSE TÁVÉRZÉKELÉSI
MÓDSZEREKKEL VÁROSI
KÖRNYEZETBEN**

Szerző: **Kovács Gergő**
Földmérő és földrendező mérnök
BSc. szak, III. évf.

Konzulens: **Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata**
egyetemi docens

Székesfehérvár, 2014.

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	3
2	Irodalom feldolgozás	4
2.1	Távérzékelés alapjai	4
2.2	Csapadék gyűjtési kreditrendszer ismertetése.....	11
3	Vizsgálat bemutatása és végrehajtása	13
3.1	A vizsgált terület	13
3.2	Alapadatok	14
3.3	Képkiértékelés - eCognition.....	17
3.3.1	Szegmentálás	17
3.3.2	Osztályozás	19
3.4	Csapadék térkép	23
4	Vizsgálat eredményének kiértékelése	24
4.1	Épületek hatása.....	24
4.2	Vegetáció hatása.....	26
5	Eredmények értékelése	28
5.1	Vizsgálat értékelése.....	28
5.2	Csapadék visszatartás.....	29
6	Továbbfejlesztési irányok	31
7	Köszönetnyilvánítás.....	31
8	Irodalomjegyzék	32

1 Bevezetés

Amennyiben globális felmelegedésről nem is beszélhetünk, de az időjárás megváltozásáról mindenképpen. Egyre gyakrabban szembesülünk szélsőséges, olykor igen extrém meteorológiai jelenségekkel. Váltakoznak az alacsony és a magas hőmérsékletű napok, de az aszályos és igen csapadékos időszakok is korábban nem mért intenzitással fordulnak elő. Az urbanizáció és az egyre nagyobb beépítettség pedig csak fokozza a városi csapadékvíz elvezetésének problémáit. Az akár ötven vagy száz évvel korábban tervezett városi közművek nem minden esetben alkalmasak, hogy kielégítsék a lakosság egyre növekvő igényeit, valamint megbirkózzanak a nem ritkán előforduló hirtelen felhőszakadások okozta megnövekedett terhelésekkel. Ezen csapadék események sok esetben meghaladják a rendelkezésre álló kapacitásokat. A hírekben sokszor hallhatunk aszályos időszakokban vízkorlátozások elrendeléséről, vagy éppen ellenkezőleg, a villámárvizekről melyek komoly károkat okoznak a lakosságnak. Dolgozatom e villámárvizek megelőzéséről szól, hogy miként csökkenthető a csapadék mennyiségének a szennyvíz illetve csapadék gyűjtő rendszerbe történő bejutása a zöldterületek méretének növelése arányában, valamint a lakóházak tetőfelületeinek kihasználásával ciszternarendszerek kiépítésével.

Ehhez először bemutatni kívánom amerikai példák nyomán a csapadék kreditrendszereket. Továbbá egy Székesfehérvári mintaterületen elvégeztem a példaszámításokat és ezen a példán keresztül szemléltetem azon lehetőségeket, melyek még kiaknázatlanok hazánkban. Így alkalom adódik az egységnyi fejlesztési forrásokat nem csak a közterületeken hasznosítani, hanem a lakosságot is bevonni a csapadékok hasznosítására. Ezen ismeretekkel lehetőség nyílik a csapadék elvezető hálózat illetve szennyvízhálózat, valamint az ivóvíz hálózat méretezésének optimális megválasztására. Amennyiben a lakosság aktív részt vállal a csapadék visszatartásában, valamint felhasználásában, akkor a bejövő illetve elmenő vizek is változó mértékben oszlanak meg. Így az egyes közmű ágakat esetenként nem kell feleslegesen túlméretezni, hogy a szélsőséges helyzetekkel is megbirkózzanak. Céлом, hogy az egyes földrésztletekre kimutassam az ott keletkezett és lefolyó csapadék mennyiségét valamint a különböző módszerekkel történő lehetséges visszatartás mértékét.

2 Irodalom feldolgozás

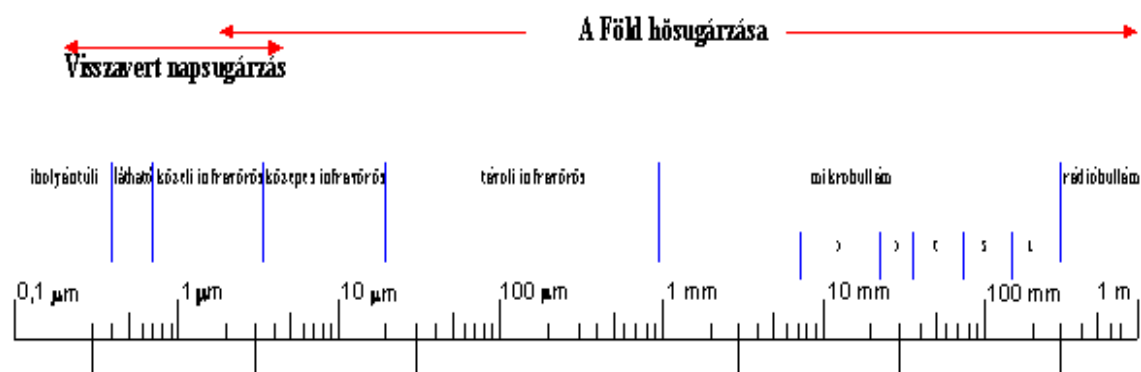
2.1 Távérzékelés alapjai

A távérzékelés ideálisan alkalmazható nagy területekről, költséghatékony információ szerzésre. Ugyanakkor a távérzékelés folyamata nem csak az elektromágneses sugárzás rögzítését foglalja magában, hanem az így nyert adatok valamilyen tematika szerinti feldolgozását is.

Először is ismerkedjünk meg a felvételek készítéséhez szükséges fizikai alapokkal és fotográfiai ismeretekkel, itt kimondottan a digitális felvételek készítésével. Majd a képek előfeldolgozásával, szegmentálásával és osztályozásával.

A távérzékelésnél jellemzően egy tárgyról visszavert, vagy pedig saját maga által kibocsájtott elektromágneses sugárzását rögzítjük. Az elektromos sugárzás forrása főleg a nap, valamint az objektum saját maga által kibocsájtott emittált energia. Azokat az eseteket, amikor a felvevő eszközbe jutó elektromágneses sugárzásokat rögzítjük passzív távérzékelésnek nevezzük. Azok az eljárások, amikor a sugár forrás szintén a hordozó eszközön található, aktív rendszereknek nevezzük. Ilyen rendszer szerint kerülnek felvételezésre a LIDAR adatok is.

Tehát a távérzékelés alapja az elektromágneses sugárzás. A fény is egy elektromágneses hullám. Azonban a teljes spektrumnak csupán egy igen keskeny szeletét jelenti.



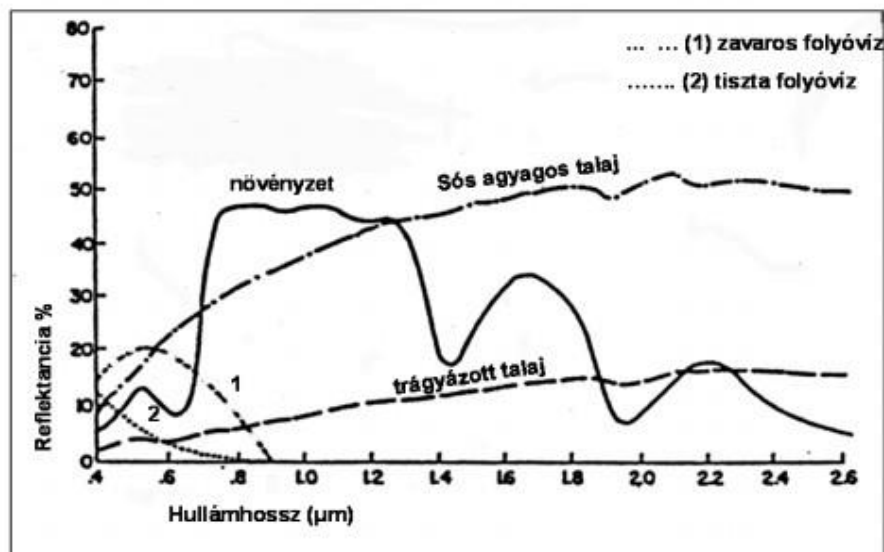
1. ábra: Az elektromágneses hullámhosszak tartományai ¹

Az elektromágneses sugárzásokat hullámhosszukkal (λ) és frekvenciájukkal jellemezzük (ν). A légkör az elektromágneses spektrumot nem teljes egészében engedi át, hanem csak bizonyos tartományait. Így nyújt védelmet például az emberre veszélyes ultraibolya

¹ <http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/csato/csato/img002.png>

sugárzásokkal szemben. A sugárzás egy része szóródik, másik részük elnyelődik (abszorpció). Azok a hullámhosszok, melyek átjutnak az atmoszférán, kölcsönhatásba kerülnek a felszíni objektumokkal és onnan visszaverődnek. Ezek a visszavert sugarak egyedi spektrális tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezekből a reflektancia adatokból vagyunk képesek utólag meghatározni a tárgyak mivoltát [6].

Példaként látható ábrán megfigyelhető a fő felszínborítások spektrális reflektancia görbéje. Ezen kirajzolódnak a felszínborítottság típusok spektrális tulajdonságai és látható, hogy jól elkülöníthetők egymástól.



2. ábra Fő felszínborítottság típusok referencia görbéje ²

Ugyanakkor fontos, hogy a kiértékelés a reflektancia görbék alapján nem lehetséges, ugyanis ezen értékeket erősen befolyásolják a technológiai korlátok és környezeti tényezők.

Napjainkban szinte kizárólag digitális felvételek készítéséről beszélhetünk. Az elkészült produktum a digitális kép. A képet képpontok vagy más néven pixelek építik fel. A képeket spektrális felbontásukkal (sávok számával) és térbeli felbontásukkal (1 pixel mekkora térbeli területet fed le) jellemezzük. A visszatérési idő a felvétel készítés időbeli gyakoriságát jelenti.

A felvevő eszközök két fő típusa a fényképező rendszerek és pásztázó letapogató rendszerek. Az előbbieken jellemzően mátrix alakban elhelyezett érzékelők találhatók,

² http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027_FOI1/images/FOI114.png

melyekre az optikán keresztül érkezik be a sugárzás. Az utóbbi esetében lineáris érzékelőkre tükör segítségével képződik le a sugárzás. A felvevő rendszeren elhelyezett érzékelők CCD (Charge Coupled Device = töltéscsatolt eszköz) vagy CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor = kiegészítő fémoxid félvezető) típusúak. A fényképező típusú rendszerek jellemzően egy adott területről egy pillanatban rögzített képet készítenek. Ezek a fényképező kamerás és digitális videó képfelvevő eszközök. A digitális pásztázó rendszerekben a felvételezés merőlegesen a repülés irányára történik és a felvétel a lineáris sávokból tevődik össze. A szenzor az érzékelőkön a fotoefektus hatására leképződő intenzitás értékeket rögzíti, minden sávét külön-külön. Így jönnek létre a képpontok, melyek dimenziószáma a felvételezett sávok számát jelenti.

A digitális képfeldolgozás alapvetően két fázisból áll. Az első az előfeldolgozás, melynek célja a felvételek olyan módú átalakítása, hogy azok gyakorlati felhasználásra alkalmasak legyenek. Ez a lépés a radiometriai és geometriai korrekciókat tartalmazza valamint a vetületi rendszerbe történő transzformációt [6]. A radiometriai korrekciót a műhold vevőállomása végzi el. Erre azért van szükség, mert a felvételezésnél a szenzor az atmoszféra befolyásoló hatása által képzajt képes rögzíteni, valamint a szenzor tökéletlenségéből fakadóan bizonyos asszinkronitás is jelentkezhet [3]. A felvevő eszköz egyenetlen mozgása, a föld görbülete és forgása valamint a szenzor egyenetlenségei miatt van szükség a geometriai korrekcióra. Ennek bizonyos mértékű korrekcióját a földi vevőállomás elvégzi. A felvételeket térképi formában szokás megjeleníteni melyhez szükség van valamilyen földi vonatkoztatási rendszerbe történő transzformációra. Ez általában illesztő pontok segítségével történik, transzformációs eljárás segítségével. A kéпкиemelés a kép részleteinek javítását jelenti, kiemelten a kontrasztfokozást, amely a tárgyak közötti kontrasztot emeli ki [3].

A második lépés a képek osztályozása, amely „*a képpontok osztályokhoz rendelésének folyamata*” [2].

Ehhez az alábbi három tényezőt vesszük figyelembe:

- az egyes képpontok (más néven pixelek) intenzitásértékének vizsgálatát. Több sáv elemzésekor multispektrális, több időpontban felvételezett képek osztályozását pedig multitemporális vizsgálatnak nevezzük.
- textúra vizsgálatát. Képek felismerése többnyire a mintázat szempontjából is fontos.
- alak vizsgálatot. Ez a kép objektumainak formavilágára utal.

A képek automatikus osztályozása a számítógépek és legfőképpen a digitális képek megjelenése óta kerültek előtérbe. Az informatika fejlődésével lehetőségünk nyílt nagy mennyiségű adat gyors feldolgozására. A képosztályozásánál ezekre a képességekre van szükségünk. Ugyanakkor az emberi fotointerpretációs képességeket a számítógépes programok még nem igazán tudják reprodukálni. Az agyunk több információt képes levezetni a textúrából, alakból, méretből és szomszédsági viszonyokból. Igaz, ehhez szükséges a kiértékelést végző személy szaktudása és tapasztalata is.

A legegyszerűbb osztályozási mód általában a két szomszédos pixel egymáshoz viszonyított intenzitás értékét vizsgálja. Ez lényegében a clusterezés vagyis spektrális adatosztályok felállítása. Az egyik legprimitívebb klasszifikációs módszer, mikor minden pixelt egyenként vizsgálunk és a spektrális feltételek által felállított osztályok valamelyikébe soroljuk. Ez a nem ellenőrzött osztályozási módba tartozik. A felügyelt osztályozási módnál, az elemző beavatkozására is szükség van. Ehhez a vizsgálathoz szükség van referencia adatokra, bizonyos tanuló területekre. A statisztikai vizsgálat feltételezi, hogy tanulóterületen lévő formák spektrális tulajdonságai hasonlítanak a vizsgált területen lévő objektumok tulajdonságaival és ennek megfelelően osztályba sorolja a képelemeket. Az alábbi felsorolás a leggyakrabban használt besorolási módszereket mutatja be:

- legközelebbi középpontú osztályozás (minimum distance módszer): lényege, hogy az ismeretlen pont az intenzitástérben meghatározott hozzá legközelebb eső csoporthoz lesz osztályozva
- box osztályozási módszer: az intenzitás térben lévő célkategóriákhoz a koordinátarendszer tengelyeivel párhuzamos téglalapokat illeszt. Ennél az osztályozásnál gyakori hiba az átfedések, ahol további beavatkozásokra van szükség
- maximum-likelihood módszer: A tanuló területekről vett értékekkel vagyunk képesek definiálni az előfordulási valószínűségét az egyes kategóriáknak, melyeknek ismeretlen a hovatartozása az intenzitási térben. A képpont abba a kategóriába lesz besorolva, ahova a tanuló területek alapján a legnagyobb valószínűséggel tartozik.

- Bayes módszer: a maximum-likelihood módszerben veszteségmátrixot készítünk az elazonosítások kimutatásához, ahol a téves osztályokhoz hibasúlyt rendelhetünk. A Bayes módszer a maximum-likelihood veszteség mátrixát figyelembevevő módszer, ahol a cél a veszteség minimalizálása.

[12]

A pixel alapú osztályozás gyakori tévedése miatt van szükségünk egy a képpontnál nagyobb, homogén objektumokra, úgynevezett szegmensekre. Ehhez először egy szegmentációs eljárást kell végrehajtani, melyet lejjebb részletezek. Miután a szegmentációval létrehoztuk az objektumainkat, úgy a pixel alapú osztályozásnál már megismert osztályozási lépéseket és így módon a szegmenseket soroljuk különböző osztályokba.

A **szegmens** alapú képkértékelés során már a pixeleknél nagyobb objektumokat keresünk, úgynevezett szegmenseket. A szegmens „a spektrálisan hasonló, szomszédos képpontok összefüggő halmaza” [7].

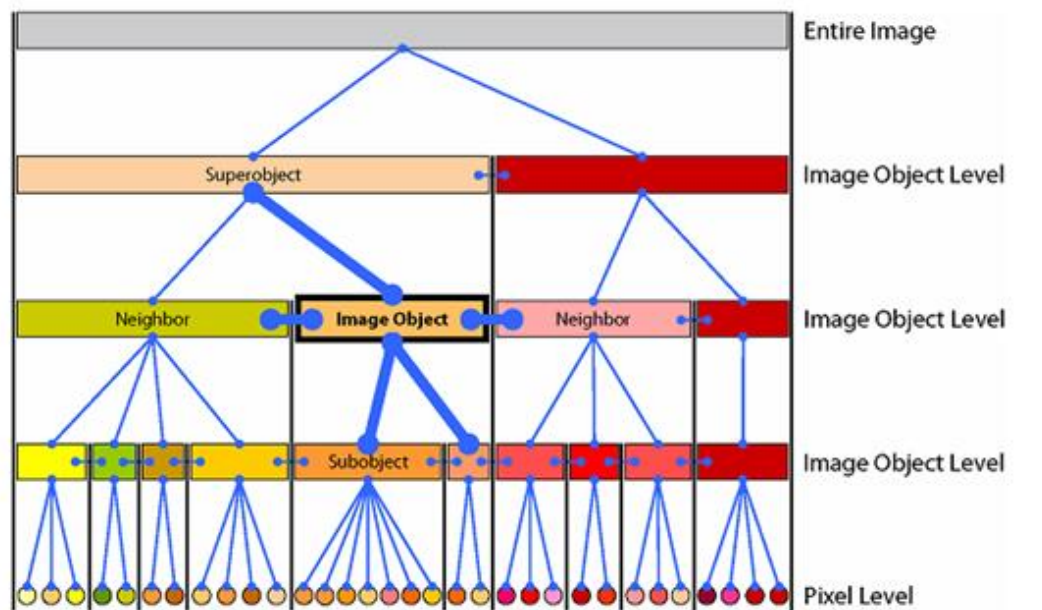


3. ábra: Digitális kép és annak szegmentálása

A szegmentálás tehát az azonos tulajdonságú pixelek összevonása (csoportosítása). Az általános szabály a szegmensekre vonatkozóan: „*legyen, olyan nagy amekkora csak lehet, de legyen elég kicsi, hogy kifejezze a vizsgált objektumot*”. Célja az emberi látás modellezésének hatékony megközelítése [2].

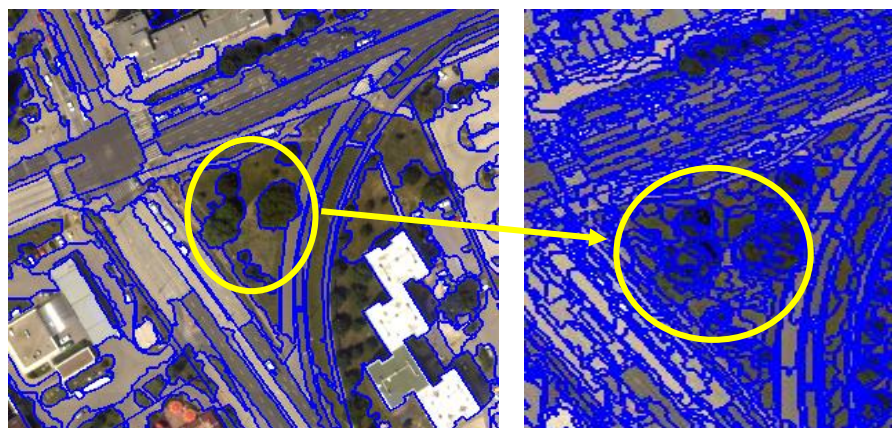
Szegmentálási paraméterek: szín/alak és méretarány tényező. A szín és alak paraméterek általában a vizsgált objektum spektrális tulajdonságaira jellemző, valamint az objektum összetettségére, éleinek simaságára. A méretarány tényező a homogenitási értékeket

jellemzi. Nagy számok esetében nagyokat, kisebbek esetén pedig egészen kis objektumokat kapunk.



4. ábra: Hierarchikus kapcsolatok³

Az objektumok egymással hierarchikus kapcsolatban állnak. Az elemzés céljának megfelelő objektumszinteket hozunk létre, melyek mindegyikének része ugyanaz az objektum. Minden szint objektumai is egy képet alkotnak. Amennyiben a vizsgálat szempontjából érdekes számunkra egy objektum azt további rész objektumokra bonthatjuk. Tehát szuper objektumokból, szubobjektumokat hozunk létre.



5. ábra: Több szinten elvégzett szegmentálás

³ http://wiki.landscapetoolbox.org/lib/exe/fetch.php/remote_sensing_methods:obia_ex4.png

Az objektum alapú képelemzéshez tehát szegmensekre (objektumokra van szükségünk). Ezek a képek szegmentálása révén keletkeznek. A képen alapértelmezetten nem találhatók meg.

Szegmentáció típusok:

- **Chessboard segmentation (sakktábla módszer):** vagyis sakktábla szegmentáció, amivel a képet a kívánt méretű négyzethálóra fedhetjük le. Értelmezhető objektumokat nem hoz létre, de a már meglévő objektumok tovább darabolhatjuk segítségével. Felhasználható továbbá nagy képeknek a feldarabolására kisebb zónákra, melyeket később más algoritmusokkal szegmentálhatunk. Paraméterezési lehetősége kimerül a kívánt négyzet oldalak méretének meghatározásánál.
- **Quadtree segmentation (négyesfa módszer):** A képet négyesfa ráccsal osztja fel, mely a sakktábla módszer összetettebb változata. Itt a méretre korlátot állíthatunk fel valamint homogenitási kritériumot is. A keletkezett szegmensek spektrálisan összefüggenek a kritériumok alkalmazása által. A paraméterezési lehetőségei a „scale” és „layer” értékek.
- **Multiresolution segmentation:** A multiresolution szegmentáció egy alulról felfele építkező, régió összevonású algoritmus. Egy pixel vizsgálatával kezd a szintet, és így vonja össze a pixeleket egyre nagyobb objektummá. Ezt a folyamatot addig végzi, míg el nem éri a definiált méretarány kritériumot.

Az algoritmus lépései:

1. minden pixel önálló objektum. Ezeket addig vonja össze, amíg a definiált homogenitási értéket el nem éri. Ezeket a lejjebb bemutatott spektrális és alak homogenitási küszöbből származtatja
2. Megkeresi a legjobban illeszkedő szomszéd objektumokat
3. ha a szomszédság nem kölcsönös, akkor továbblép a következő objektumra
4. ha a szomszédság kölcsönös, akkor összevonja azokat
5. iterációban egyszer vizsgálja
6. az iteráció leáll, ha nincs összevonás

[7]

2.2 Csapadék gyűjtési kreditrendszer ismertetése

A tengerentúlon, főleg az Egyesült Államokban igen elterjedt mód, a lakosság társadalmi szerepvállalásának ösztönzése anyagi formában. Ezt nem kifizetésekkel érik el, hanem az ingatlan tulajdonosok befizetési kötelezettségeiket csökkenthetik, ha bizonyos programokban önként részt vesznek. Egy ilyen program a csapadékok mennyiségi visszatartására és minőségének javítására tesz kísérletet. Az USA-ban sincs egységes irányelv még e rendszerek használatára, de az egyes államok saját hatáskörben elkezdték kidolgozni rendszereiket. Ezek ugyan kis mértékben eltérnek egymástól, de cél ugyanaz. Átmeneti jelleggel visszatartani a csapadék vizeket és ezzel elnyújtani a lefolyás idejét. Az általam kiválasztott rendszert a Northeast Ohio Regional Sever District dolgozta ki „Stormwater Fee” néven.

Itt először is létrehoztak egy új mértékegységet „Equivalent Residential Unit (ERU)” ez a vízzáró felületeket jellemzi. Az (1) ERU megfelel 3000 láb² ($\approx 279m^2$) olyan területnek, amelyen át a víz nem képes a talajba szivárogni. Ez után felméri az egy ingatlanra eső áthatolhatatlan felszín méretét és három kategóriába sorolják be az ingatlant ennek megfelelően. A tulajdonos e kategória szerint fizeti meg a járulékot [10].

3 ingatlan besorolási kategória:

1. szint: Kis beépítettségű ingatlan ($< 2000 \text{ láb}^2 (\approx 185,8m^2)$)
2. szint: Közepes beépítettségű ingatlan ($2000\text{láb}^2 - 3900\text{láb}^2 (362,3m^2)$)
3. szint: Nagy beépítettségű ingatlan ($> 4000\text{láb}^2 (371,6m^2)$)

A következő lépcső a lakosság ösztönzése az adó befizetése helyett saját célú felhasználásra (természetesen kontrollált feltételek mellett). Ezeket a kedvezményeket a megszerzett kreditek révén kapják meg az ingatlan tulajdonosok és akár teljes mértékű adókedvezményt is elérhetnek. Az ingatlanokat 4 kategóriába sorolják funkcionalitás, kialakítás és jellegük szempontjából. Ezek a saját tulajdonú ingatlanok, társasház célú ingatlanok, ipari telephelyek és iskolák. A lenti táblázat tartalmazza, hogy a megszerezhető kreditek milyen arányban érhetőek el.

1. táblázat: A lakosság és ipari csapadékvíz díj kredit kedvezmények megoszthatósága

	Saját tulajdon	Társas ház	Ipari telephely	Iskola
Egyéni kredit	25%*	-	-	-
Minőségi kredit	25%*	25%	25%	25%
Mennyiségi kredit	75%	75%	75%	75%
Iskola	-	-	-	25%
Összesen	100%	100%	100%	100%

**A saját tulajdonnál jogosultak az egyéni kreditekre és a minőségi kreditekre is, de nem egyszerre mindkettőre*

Az egyéni kredit értékek adhatóak kimondottan a saját tulajdonú ingatlanok esetében, ahol egy ingatlanon egy, de legfeljebb négy család lakik. Itt olyanokért adományozhatóak kreditek maximálisan 25%-ban, mint a csapadékkertek, helyi víztároló ciszternák, vízáteresztő burkolatok alkalmazása, a növénytakaró növelése, valamint a vízzáró felületek csökkentése.

Mennyiségi kreditek olyan rendszerek után adhatóak, melyek tervét előzetesen jóváhagyta az illetékes hatóság. Itt tovább osztódik a méretezési szakasz. A 75%-nyi kiosztható kreditből 50% olyan ciszternára adható, amely az elmúlt 100 év csapadékadatából levezetett 24 órás tervezett csapadék tárolására megfelel. A maradék 25% olyan bővített kapacitásra adható, ami a megelőző 2 év csapadékából levezetett 24 órás tervezett csapadéknak megfelel. E méretezési kritériumoknak kell eleget tennie a ciszterna rendszernek. Fontos szempont, hogy a karbantartást is a tulajdonosnak kell elvégezni és 1-4 nap közötti visszajuttatási idővel kell késleltetnie a korábban lehullott csapadék bejutását a városi közműhálózatba.

Minőségi kreditekre jogosultak azon résztvevők, akiknek ciszterna rendszere a mennyiségi kreditekre vonatkozó részen felül különböző szűrő és tisztító eszközökkel is el van látva. Így lehetőség nyílik a lehullott csapadék minőségi javítására.

Az iskolák számára adható kreditek kimondottan ösztönző céllal kerülnek kiosztásra [10].

3 Vizsgálat bemutatása és végrehajtása

3.1 A vizsgált terület

A mintaterület megközelítőleg 0,8 km² területű Székesfehérvár belterületi részén. Északról a Budai út, keletről a Zrínyi utca, délről a Mártírok útja – Béke tér és nyugatról a Prohászka Ottokár út határolja. A vizsgált területen megtalálhatóak a városi övezetek valamennyi fajtája. Található itt lakhatás céljára szolgáló családi, kertes házas környezet melyet jellemzően egy család lakik éppúgy, mint a számos lakással rendelkező társasházak, tömbházak. Közintézmények és oktatási intézmények valamint bevásárló és közüzemi létesítmények is jelen vannak a minta területen. Továbbá vannak önkormányzati tulajdonban lévő terek, utcák és viszonylag nagy kiterjedésű közparkok, temetők és templomok. Székesfehérváron a korábbi évek csapadékos időjárása miatt egyre sürgetőbb kérdés a csapadék víz elvezetésének kérdése. Ezzel a városi „Környezetvédelmi Konceptió” is kiemelten foglalkozik, ami kifejti, hogy a városnak igen sok az elöntés veszélyes területe. A megközelítőleg 171 km² kiterjedésű csapadékgyűjtőre ez elmúlt időszakokban 550-600 mm hullott éves átlagban, ez 94-103 millió m³ vizet eredményez, mely elvezetésének optimális megoldása még várat magára [11]. Az önkormányzat a jelen tervezett szerint a csapadékgyűjtő hálózatot kívánja fejleszteni. A csapadék kreditrendszerek azokon a területeken ahol a különböző feltételek ezt lehetővé teszik, megfelelő alternatívát kínálhatnak.

A terület hasznosítási célból igen inhomogén, ugyanis a családi házas rész alkalmas a csapadék begyűjtésére és újrahasznosítására ciszterna rendszereken keresztül (angolul: rainharvesting) vagy pedig a csapadékok megkötésére fásítással illetve füvesítéssel. Minőségi javítására csapadék kertek (angolul: raingarden) segítségével kerülhet sor. A belváros felé haladva találkozhatunk tömbházakkal, melyek úgynevezett úszó telkeken létesültek. Ez azt jelenti, hogy a földrészlet szinte pontosan akkora, mint amekkora a rajta álló ház alaprajza. Jellemzően ezeket az ingatlanokat teljes egészében közterület öleli körül. Ebben az esetben a csapadék gyűjtésről és visszatartásról szinte nem beszélhetünk szükséges helyhiány miatt. Az ipari területek, bevásárló központok nagy alapterületükkel jelentős vízgyűjtő területet jelentenek. Az egy kezelő és felhasználó jellegnek köszönhetően, valamennyi csapadék visszatartó, az eljárás kiválóan alkalmazható, hasonlóan a környéken megtalálható óvodák, iskolák és egyetemi épületek esetében is.

Ezen intézményekben is jelentős anyagi megtakarítások keletkezhetnek a víz újrahasznosítása révén.



Családi házak



Társasházak



Ipari terület



Oktatási int.

3.2 Alapadatok

A vizsgálathoz 0.5 méter felbontású ortofotót használtam fel, amely 4 sávban (vörös, zöld, kék és közeli infra) került felvételezésre. Felhasználtam továbbá egy közel 1m x 1m-es pontsűrűséggel készült LIDAR pontfelhőt, melyből egy raszter felszínmodellt készítettem, ahol a raszter pixel intenzitás értékeihez a Z magassági koordináta értékeket rendeltem. Rendelkezésemre állt egy földrészlet határokat tartalmazó vektoros (.shp) állomány, melyek a földrészlet határait tartalmazta. Ezen adatok egységesen EOVS rendszerben lettek georeferálva. Végezetül Székesfehérvár belterületén egy automata meteorológiai mérőállomás által rögzített csapadék adatok óránkénti mintavételezéssel, és ezekből az adatokból levezettem az intenzitási értéküket (mm/óra).

A vizsgálathoz felhasználtam további levezetett adatokat, melyeket a fenti adatokból készítettem el:

- Normalizált vegetációs index (NDVI): egy dimenzió nélküli mérőszám, amely megmutatja a terület vegetációs aktivitását. A végeredmény egy újabb raszter kép [4].

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

ahol:

NDVI – vegetációs index

NIR – a visszavert fény a közeli infravörös tartományban

R – red vagyis a visszavert fény a vörös tartományban

- Zöld normalizált vegetációs index (GNDVI): a zöld NDVI raszter az NDVI-hoz hasonlóan szintén egy dimenzió nélküli mérőszámot ad eredményül, amely a vegetációs aktivitást jellemzi.

$$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G}$$

ahol:

NIR – a visszavert fény a közeli infravörös tartományban

G – gree vagyis a visszavert fény a zöld tartományban

- Módosított csupaszt talaj index (Bare Soil Index (BI)): egy dimenzió nélküli mérőszámot ad eredményül, amelyet eredetileg mezőgazdasági vegetáció és a nem mezőgazdasági vegetáció közötti különbséget jellemzi. Ugyanakkor a vegetáció mentes, kopár talaj is jól kimutatható használatukkal. Az általam felhasznált index azért módosított hányados kép, mert a felhasznált közeli infravörös kép helyett úgynevezett SWIR felvételt kell alkalmazni, ám ilyen hullámtartományban felvételezett kép nem állt rendelkezésemre. A spektrális tulajdonságok vizsgálata alapján az irodalomban megadott képletet módosítottam az alábbiak szerint:

$$BI = \frac{(R + NIR) - (NIR + B)}{(R + NIR) + (NIR + B)} + 1$$

ahol:

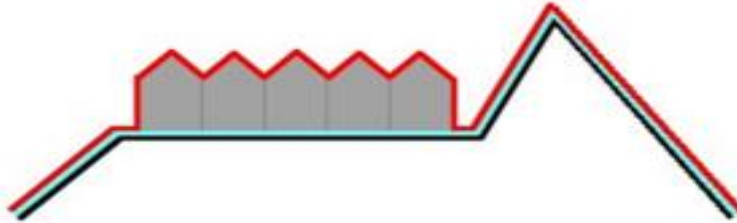
BI – a kopár talajt kifejező index

NIR – a visszavert fény a közeli infravörös tartományban

R – red vagyis a visszavert fény a vörös tartományban

B – blue vagyis a visszavert fény a kék tartományban

- Normalizált felszínmodell (különbség modell), amit a digitális domborzatmodell (DDM) és a digitális felszínmodell (DFM) különbségeként kapunk. Ehhez a DFM magassági értékeiből kivontuk a DDM értékeit és így megkaptuk a területre vonatkozó objektumok relatív magassági értékeit.



4

Erre a terület egyenetlenségei miatt volt szükség, ugyanis az abszolút magassági adatok miatt előfordult olyan terület ahol a talaj tengerszint feletti magassága megegyezett a terület más részein, a fakorona magasságával. Relatív magasságok esetében pedig csak a talajfelszíntől vett távolságot vesszük figyelembe. Sajnos ez az a módszer nem vezet tökéletes eredményhez, ugyanis a rendelkezésre álló domborzatmodell csupán 20 méteres térbeli felbontással rendelkezett, míg a felszínmodellünk közel 1 méteressel. A 20 méteren kisebb részeket interpolációval állította elő a szoftver, és így a létrejött 1m felbontású különbség modellnek a megbízhatósága is kérdéses.

- Soil-adjusted Vegetation Index

$$SAVI = \frac{NIR - R}{(NIR + R + L)} * (1 + L)$$

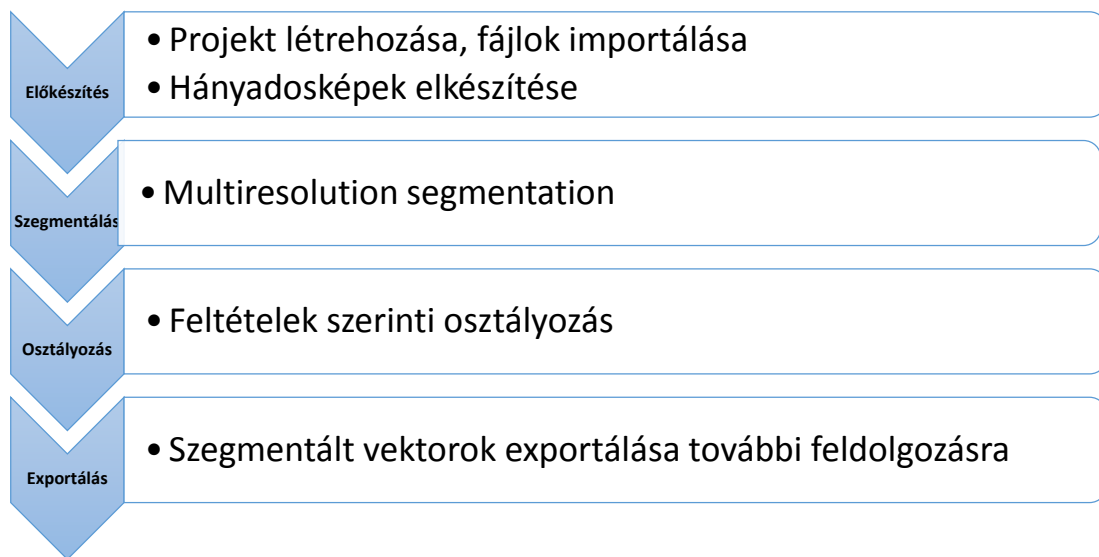
ahol: L a talaj világossági korrekciós faktor. L értéke függ a zöld vegetációs takarótól. Nagyon magas vegetációjú területen L=0, ahol a vegetáció pedig szinte nincsen ott L=1. Általánosságban az L=0.5 értéket alkalmazzuk. Amennyiben L=0 úgy a SAVI=NDVI.

⁴ Forrás: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2c/DTM_DSM.png/300px-DTM_DSM.png

3.3 Képkértékelés - eCognition

Az eCognition szoftver csomag 2000 májusában jelent meg Gerd Binning Nobel-díjas fizikus és kutató csapata fejlesztésében. 2010-ben az amerikai Trimble cég vásárolta fel. Ez a szoftver kimondottan az objektum-alapú kép kiértékelésre készült.

Mielőtt bármilyen szegmentálási és osztályozási műveletet végrehajtanánk, az eCognition szoftverben definiálnunk kell projekt állományunkat, melyben a felhasznált alapanyagokat hívjuk meg. Az előre definiált főbb osztályokat és az elemzéshez szükséges NDVI, SAVI, BI és GNDVI hányados képeket is létrehozuk.



6. ábra Képkértékelés folyamata

Lényegében két féle felület típust különböztetnek meg a kutatásunkhoz. Vízáró és vízáteresztő felületeket. A vegetációs területek valamint a növényzettel nem takart kopár talajok áthatolható, míg a beépít felületek (ide tartoznak az épületek is) áthatolhatatlan felületeket jelentenek. Ezért az eCognition szoftverben a cél a kép megfelelő szegmentálása és osztályozása.

3.3.1 Szegmentálás

A szegmentáláshoz a már fent bemutatott változó felbontású vagyis multiresolution segmentationot alkalmaztam. Ehhez több paraméter szintet teszteltem, ahol a cél a lehető legnagyobb egybefüggő objektumok előállítása volt. A szegmentálás során nem vettem be az input adatok közé a LIDAR adatokat, ugyanis ezek a magassági értékek miatt széttördelik a szegmentáció eredményét kis objektumokra. A különböző rétegeket viszont

azonos súllyal szerepeltettem. Így a legmegfelelőbb értékeket a lent bemutatott táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Szegmentálási paraméter

Név	Méret paraméter	Alak homogenitási érték	Összetettség homogenitási érték
Level50	50	0.3	0.5

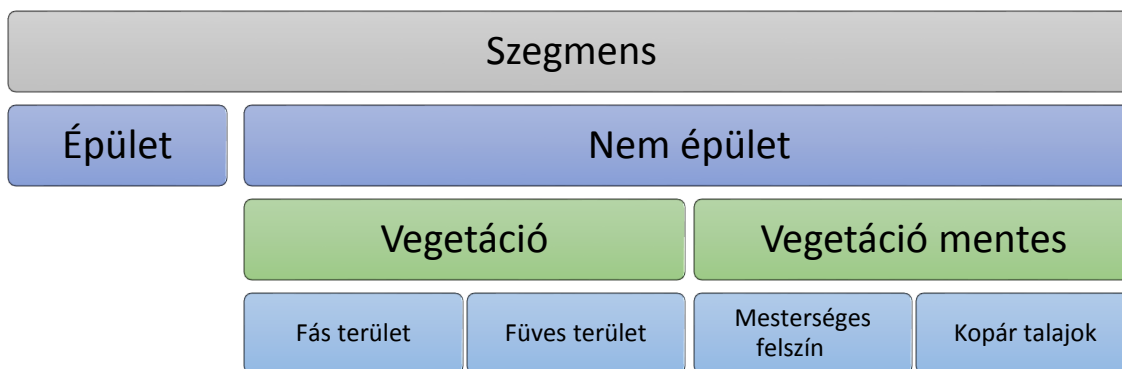
A szegmentáláshoz a katasztert, mint tematikus réteget is felhasználtam. Az így létrejött objektumoknak a földrészlet határok minden esetben határuk. Így a parcellákon belül kerültek végül is kialakításra a szegmensek. Az 50-es méretarány tényező következtében a nagy kiterjedésű objektumok, mint például a tömbházak igen jól egybefüggő, nagy szegmenseket alkotnak. A főként családi házak uralta területen, ahol az épületek, de még az ingatlanok is viszonylag kicsik nehezen tudtuk megfelelően szegmentálni. A szegmentáció tökéletlenségeiből eredő hibák kihatnak az osztályozás minőségére is. Ugyanis olyan esetekben, amikor a szegmentáció egy szegmensnek tekint egy házat a hozzá tartozó udvarral, úgy az az osztályozásnál is egy osztályt fog alkotni. Természetesen lehetőségünk van más paraméterek alkalmazására, de azzal más helyeken történnek majd elazonosítások. Ezért kijelenthető, hogy minden feltételnek maradéktalanul megfelelő szegmentálást nem tudunk készíteni.



7. ábra Szegmentálás eredménye (kivágat)

3.3.2 Osztályozás

A szegmentációt követően osztályozzuk felvételt oly módon, hogy az alább definiált osztályokat kapjuk eredményül. Ehhez felhasználjuk a hányados képeket, szomszédsági viszonyokat, spektrális tulajdonságokat és magassági értékeket. A lent látható ábra a kialakított osztályokat és azok hierarchikus viszonyait mutatja be.



8. ábra: Osztályozási szintek

Az osztályozás első lépéseként az épületek elkülönítése volt a fő cél. Ehhez az NDVI, LIDAR és BI értékeket használtam fel. Az osztályozást a szomszédsági viszonyok vizsgálatával korrigáltam. A területen következő lépésként a vegetációt különítettem el. Ehhez az NDVI indexet alkalmaztam, valamint GNDVI-t. A vegetáció és az épületek a klasszifikáció folytán hibákkal terheltek. Ez jellemzően az árnyékhatások miatt jelentkeznek. Az épületek fénytől védett oldalain, a sötét területek spektrális tulajdonságai folytán sokszor növényzetként jelentkeznek. Ezt a szomszédsági viszonyok vizsgálatával tudjuk javítani. Ezután sem feltétlen hibamentes eredményt kapunk, ugyanis e területeknek a hovatartozása csak feltételezett sok esetben. Tehát ezeket az árnyékos területeket a közeli infravörös tartomány segítségével kiszűrtem és az besorolásukat megszüntettem. A vegetációval takart területeket a magassági viszonyok alapján elkülönítettem és így kettéválaszthattuk fás (*magas*) illetve füves, bokros (*alacsony*) területekre. Végezetül a vegetációval nem takart területeket különítettük el. A nem osztályozott területek maradéka a vegetációval nem rendelkező területeket alkotja. Itt minden, ami nem az épület és vegetáció kategóriában található besorolásra került. Igen nagy problémát okozott eleinte szilárd burkolatok elkülönítése, mely probléma feloldására szintén a GNDVI értékeit alkalmaztam. Ekkor már sikerült ketté választani a vegetáció mentes kopár talajokat, valamint a vízzáró aszfaltos területeket. Sajnos itt is akadtak olyan elazonosítások, hogy alacsony épületeket sorolt be az osztályozás a

mesterséges felszínekhez. Itt forma és méret szűrők segítségével finomíthattunk a találatokon.



9. ábra Szegmentálás és osztályozás eredménye (kivágat)

Sorszám	Algoritmus	Osztály szűrés	1. feltétel	2. feltétel	Kimeneti osztály	Megjegyzés
1	assign class	nem osztályozott	NDVI $\leq 0,1$	Rectangular fit $\geq 0,9$	Temp (<i>átmeneti</i>)	
2	assign class	temp	LIDAR relative $\geq 2,5$		épület	
3	assign class	temp			nem osztályozott	temp megszüntetése
4	assign class	nem osztályozott	NDVI ≤ 0	LIDAR relative $\geq 2,5$	épület	
5	assign class	nem osztályozott	GNDVI $\geq 0,86$		vegetáció	
6	assign class	nem osztályozott	Rel border to „épület” $\geq 0,45$	Rectangular fit $\geq 0,65$	vegetáció	
7	assign class	épület, vegetáció,	NIR ≤ 85		nem osztályozott	árnyékolt területek kiszűrése
8	assign class	nem osztályozott	Rel border to „épület” = 1		épület	épület osztály finomítása
9	assign class	vegetáció	LIDAR relative ≥ 2		fák	fák elkülönítése
10	assign class	vegetáció	LIDAR relative < 2		fűves	fűvek elkülönítse
11	assign class	nem osztályozott			mesterséges	átosztályozás
12	assign class	mesterséges	BI $\geq 1,08$	Rectangular fit $\leq 0,9$	kopár talaj	
13	assign class	nem osztályozott	Rel border to „épület” = 1		épület	épületek finomítása
14	assign class	épület, vegetáció, nem vegetáció	NIR ≤ 85		nem osztályozott	árnyékolt területek kiszűrése
15	merge region	minden keletkezett objektum összevonása osztályonként				

3. táblázat Osztályozási folyamat

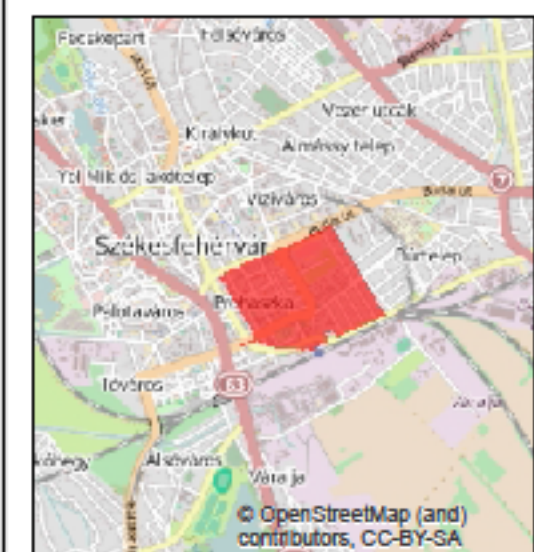
Képszegmentálás és képosztályozás



Jelkulcs

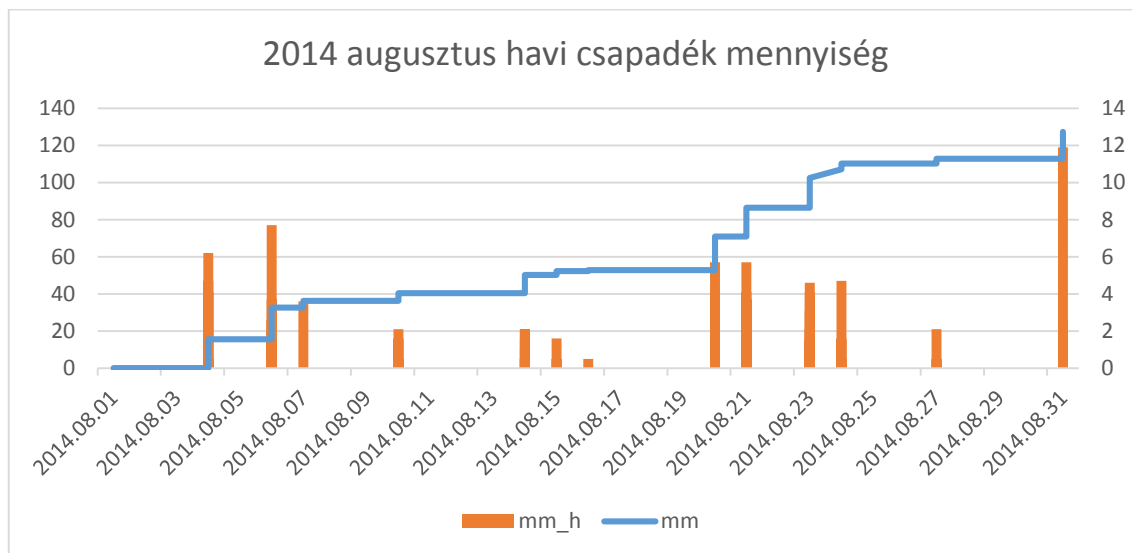
Osztályozott
kategóriák

- épületek
- fás terület
- füves, bokros terület
- csupasz talajfelszín
- mesterséges felszín
- kataszter



3.4 Csapadék térkép

A meteorológiai automata mérőállomás eredményeképpen egy óránkénti bontásban rendelkezhető adatsort kaptunk. A 2014 augusztus havi csapadék összege 127mm . Ennek megoszlását az alábbi grafikon szemlélteti.



10. ábra: Havi csapadék mennyiség és intenzitás értékek táblázata

A földrészleteket tartalmazó vektoros állományból tudjuk minden egyes ingatlan területét és ezt beszorozva a 127mm csapadékkal megkapjuk a földrészletre összesített havi mennyiséget (*literben*), melyet összegyűjthetünk maximálisan. A mintaterületen megközelítőleg 106000 m^3 csapadék hullott a vizsgált időszakban [1].

Jól elkülöníthetően, 12 darab csapadékesemény került regisztrálásra a vizsgált időtartamban.

Elkülöníthető csapadék események sorszáma	mm
1	15,5
2	17,1
3	3,6
4	4,2
5	9,8
6	0,5
7	2,1
8	17
9	9,9
10	23,8
11	2,6
12	14,4

4. táblázat Csapadék események

4 Vizsgálat eredményének kiértékelése

4.1 Épületek hatása

A szegmentált épületeket az eCognition szoftverből vektoros állományba exportáltam ki. A helyrajzi számok attribútum adatai alapján hozzárendeltem a földrészletekhez az épület poligonokat. Ekkor már képes voltam kiszámolni a beépítettségi arányokat.

Az osztályozást követően a mintaterületen megközelítőleg 200000m^2 (196847 m^2) épület alapterületet mértem fel. Ezek a teljes csapadék mennyiséggel számolva 25400m^3 csapadék visszatartást tennének lehetővé. Természetesen ez a szám valamennyi épületet tartalmazza, melyek nem mindegyike alkalmas a csapadék megtartására. A szegmentáció és osztályozás tökéletlenségeiből fakadóan akadhatnak elazonosított területek, melyek a valóságban nem biztos, hogy épületek.

Vizsgáljunk meg két típusú területet. Az egyik egy kizárólag panelházak alkotta terület, míg a másik egy kertes házak uralta terület.

	<i>Tömb házas terület</i>	<i>Családi házas terület</i>
<i>Vizsgált terület</i>	160000 m^2	214500 m^2
<i>Összes épület alapterület</i>	17700 m^2	22400 m^2
<i>Beépítettség aránya (összterület)</i>	0,11%	0,10%



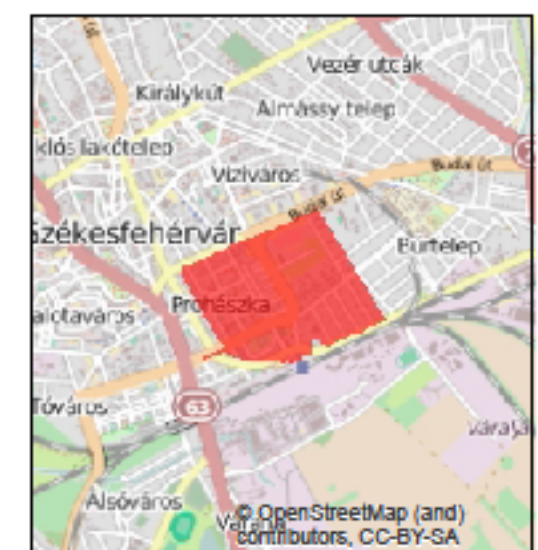
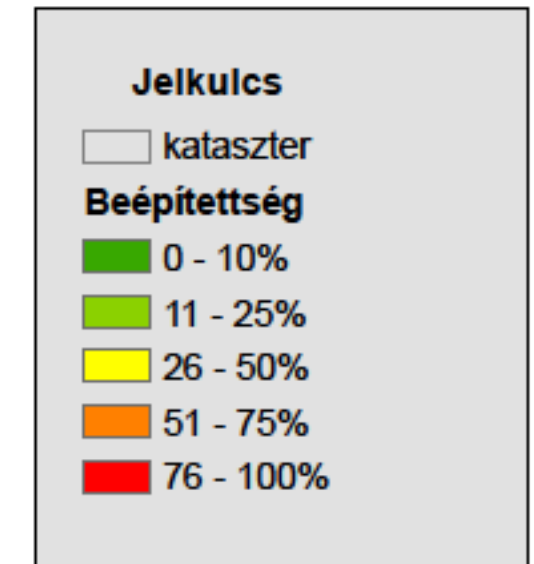
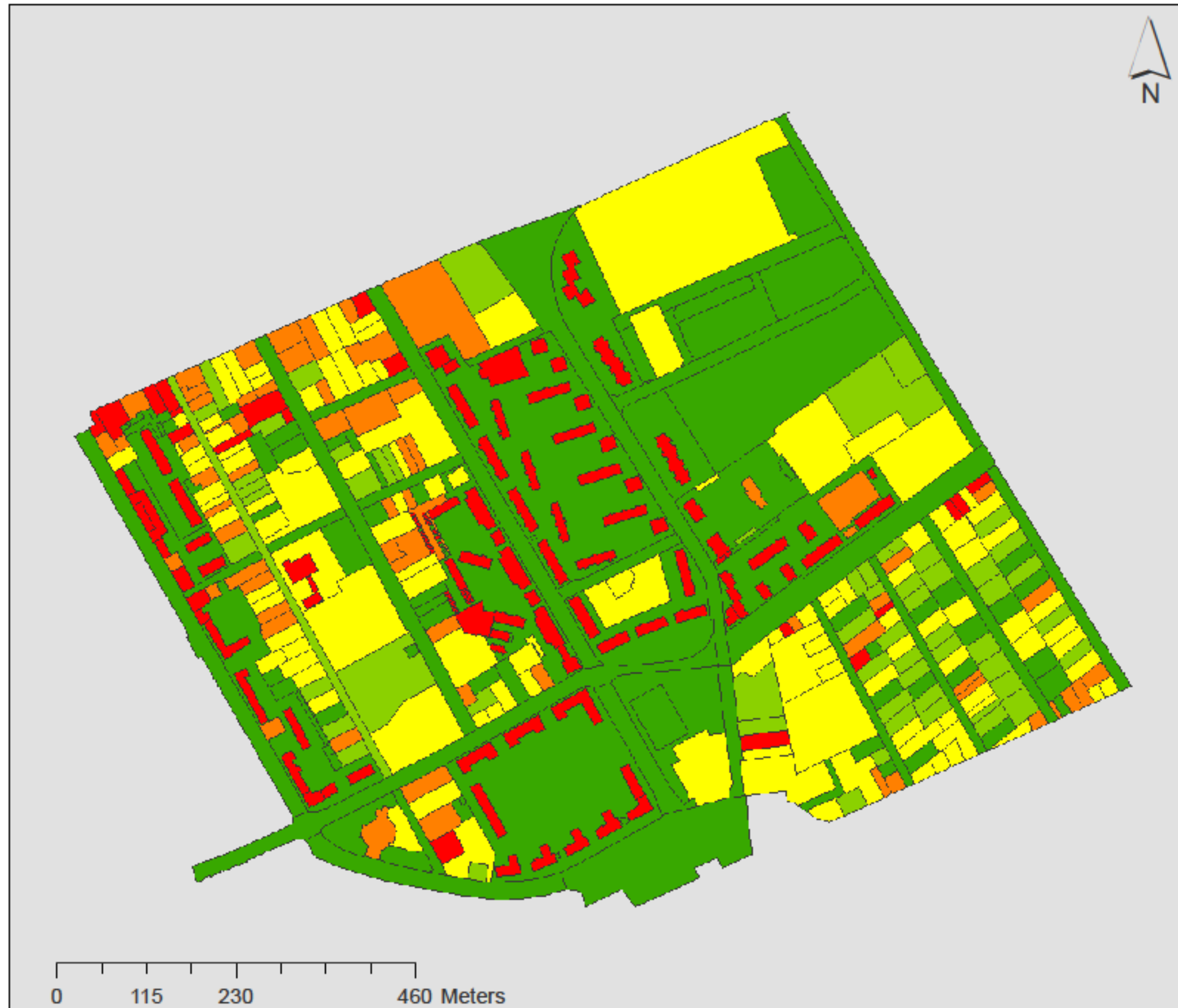
Tömb házak úszó földrészleteken



Családi házas terület

5. táblázat Terület összehasonlítás

Beépítettség

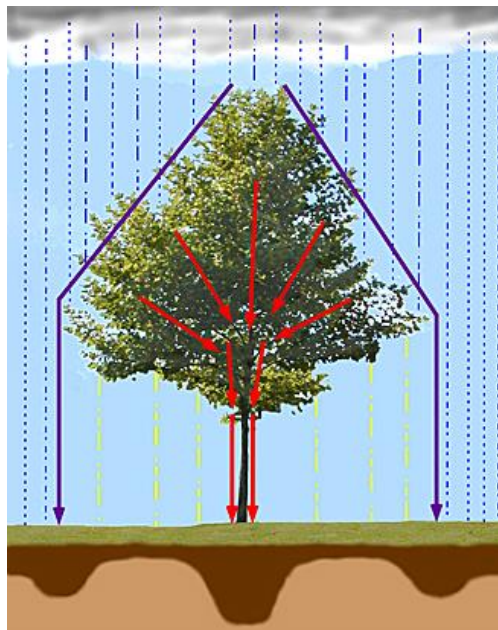


Ebből a táblázatból kivehető továbbá, hogy az egységnyi területre eső beépítettség megfelelő, közel 10 % körüli. Viszont az ingatlanon belüli beépítettség vizsgálatakor kiderül, hogy tömbházak esetében közel 100 %-os a beépítettség az úszótelek jelleg miatt.

A mintaterületen a teljes épület alapterület közel negyedét (kb. 52400 m²) tömbházak alkotják, melyeket nem tudunk csapadék visszatartásra felhasználni. Így a vizsgálatban szerepet játszó területek mértéke közel 145000 m², mely megfelelő épület gépészeti beruházással 18400 m³ csapadék visszatartását tenné lehetővé az augusztusi csapadék adatok alapján.

4.2 Vegetáció hatása

A vegetáció a vizsgálat szempontjából kettős, mert külön osztályoztuk a füves és fás területeket. A füves területek a vízmegkötés és elszívargás szempontjából a teljes csapadék mennyiségét képesek befogadni és idővel a talajba szivárogtatni.



11. ábra: Fa intercepció hatásának folyamata⁵

A csapadék visszatartásának folyamata az intercepció. A fáknál a vízmegkötés mértéke faj specifikus [9]. A különböző fa fajok eltérő mértékben képesek az abszorpció végrehajtására. Általában maximálisan 4mm csapadékkal számolhatunk, de ez csak egy irányadó érték. Ez sokban függ a fa méretétől, korától és egészségi állapotától. A fák a lombkorona szinten fejtik ki vízmegkötő hatásukat. Kezdetben a levél felületen, ahol a

⁵ Forrás: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/images/interception.jpg>

csapadék fizikai megtartása és közben a nedvesség felszívása is történik. Majd az eső időbeni elhúzódása következtében a lombkorona telítődik és a további csapadékok már áthatolnak egészen a talajig. A városi környezetben az erdős talajokkal szemben nem ismerjük a lombkorona alatti talajburkolatokat. Ezért itt nem tudjuk a csapadékokat 100%-osan visszatartani, a fa csak egy 4 mm-es csapadékcsökkentő hatást gyakorol.

A mintaterületen közel 262000 m²-i lomb borította területet mértem fel. Megvizsgáltam a havi csapadék eseményeket és kiemeltem azokat ahol 4 mm-nél kevesebb hullott. Ezeket az esőzéseket teljes egészében visszatartotta a fa lombozata, így csak az ennél nagyobb intenzitású esőzésekkel kell számolnunk, ahol az áthulló csapadék veszteségként távozik. Ez nem feltétlen igaz olyan esetekben, amikor a fa alatti felszín nem vízzáró talaj és az elszívargás biztosított. Ekkor a teljes csapadék mennyiség felfogásra kerül. Út menti fák esetében az áthatoló csapadékot a közműhálózatnak kell elvezetni.

Azon területek, melyek füves osztályba sorolást kaptak a teljes havi csapadékmennyiséget felfogják és idővel elvezetik.

Összes lehulló csapadék (m³)	105680
Havi csapadék (mm)	127
Fás Terület (m²)	262000
Füves terület (m²)	123644
Felfogott csapadék (mm)	41
Visszatartott csapadék (füves) (m³)	15703
Visszatartott csapadék (fás) (m³)	10742
Összesen visszatartott csapadék (m³)	26445
Összesen visszatartott csapadék (százalékban kifejezve)	25%

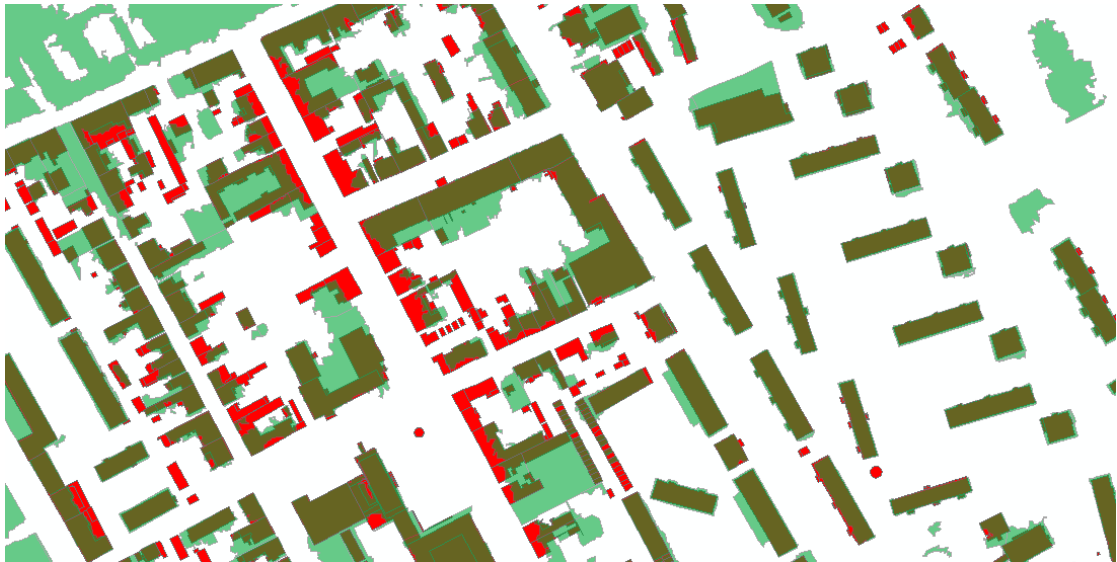
6. táblázat Vegetáció csapadék visszatartó képessége

A fenti táblázatból tehát megállapítható, hogy a vegetáció által visszatartható csapadék mértéke 26445 m³, ami a vizsgált területre lehulló csapadék 25%-a.

5 Eredmények értékelése

5.1 Vizsgálat értékelése

A kép szegmentáció és a képek osztályozásának eredménye elfogadható, de jobb minőségű (nagyobb térbeli felbontás, multispektrális felvételek alkalmazása) adatok felhasználásával a kiértékelés megbízhatósága jelentősen növelhető. A vizsgálathoz felhasznált alapanyagok kevésnek bizonyultak olyan összetettebb kérdések megválaszolására, mint a felszín szerkezete. Ez alatt azt értem, hogy sikeresen elkülönítettem például a vegetációt a vegetációval nem borított, jellemzően mesterséges felszínektől, de a mesterséges felszínek is sokféleképpen vannak jelen. A beton és aszfalt burkolatok teljes mértékben vízzáróak, míg a térkő és szemcsés anyaggal borított felszínek azok, melyek nem teljesen vízzáróak.



12. ábra Épület osztályozás elazonosítási hibáinak szemléltetése

Az osztályozás eredményeképpen nyert épület fedvény igen közeli hasonlóságot mutat az ingatlan kataszter állományában feltüntetett épületekkel. Megközelítőleg azonos terület sikerült kimutatnunk, sőt még túl is léptük a kataszterben feltüntetett épület alapterületet. Ez két ok folytán fordulhatott elő. Az egyik, hogy nem naprakész adatot használtunk fel az összehasonlításhoz és a valós beépítettség is nőtt. A másik pedig a szegmentáció tökéletlenségéből adódik. Tehát frissebb adatok és nagyobb felbontású adatok kiértékelésével javítható az osztályozás eredménye. A dolgozatomban hiperspektrális felvételek hiányában az egyes anyagok elkülönítése igen nehézkes és nem minden esetben adnak egyértelmű találatot. De a területről készültek hiperspektrális felvételek melyeket a továbbiakban szükséges felhasználni.

5.2 Csapadék visszatartás

A vizsgálatból kiderült, hogy a már meglévő növényzet szerepe a terület csapadék visszatartásában igen jelentős. A teljes csapadék 25%-át képes visszatartani. A pontos értékek meghatározását elősegítené, ha a fákat nem egységként kezelnénk, hanem önálló objektumként. Ekkor a faj specifikus tulajdonságokat is figyelembe véve meghatározható lenne egy még pontosabb mérőszám.

A mintaterület beépítettsége közel 200000 m², amelyből 145000 m² lehetne a hasznosítható tetőfelület.

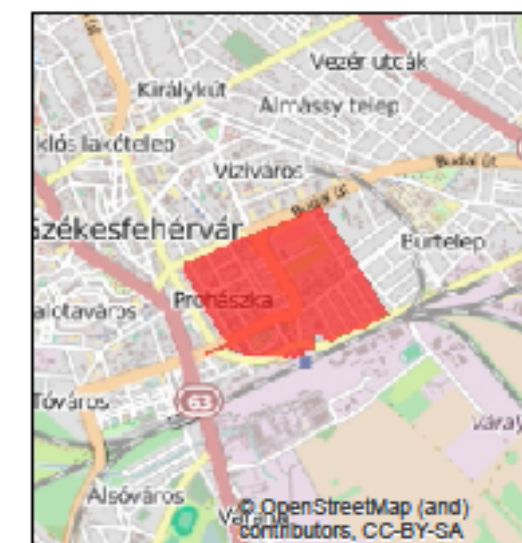
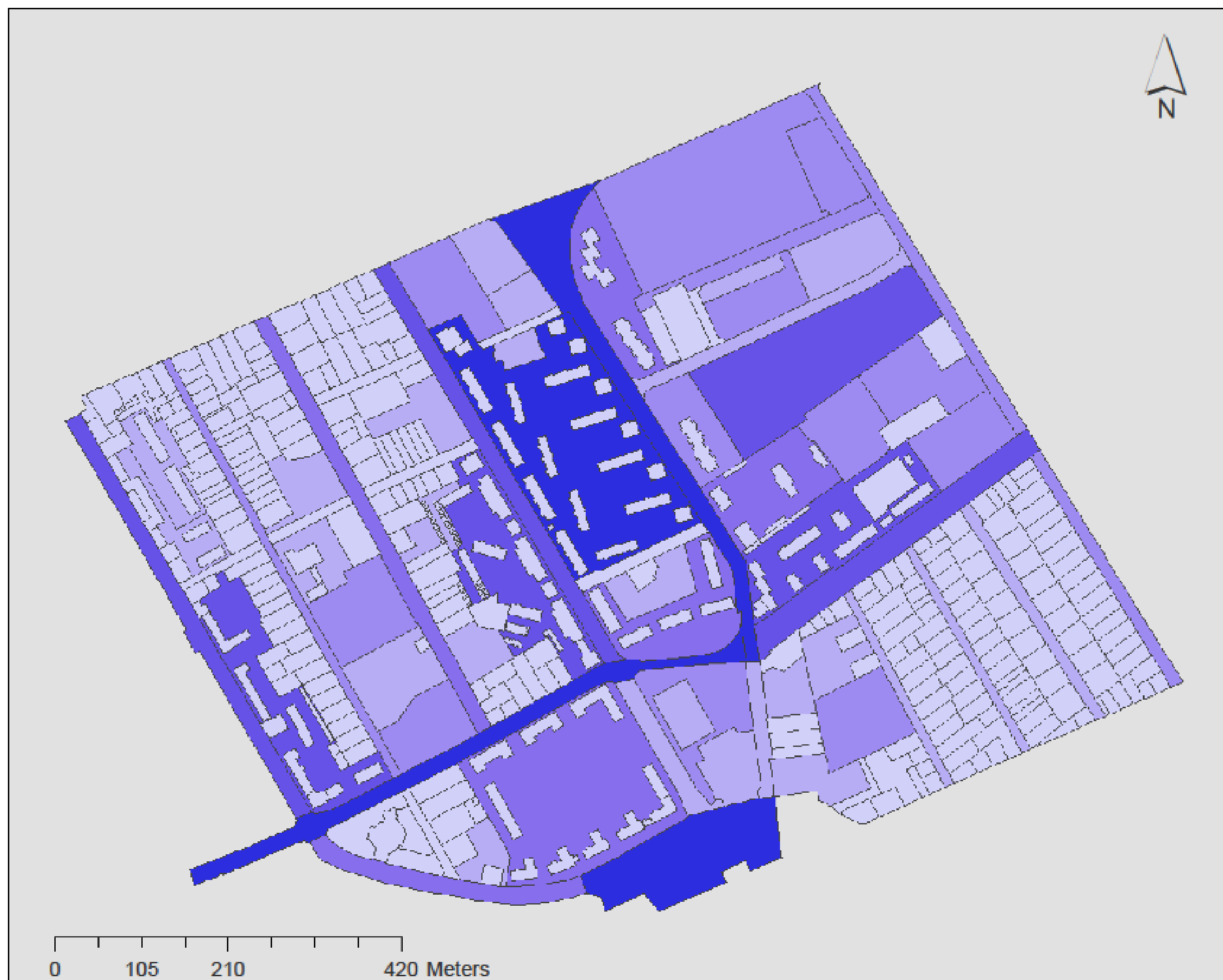
Összes begyűjthető csapadék	105680 m³	100%
Vegetáció által lehetséges visszatartás	26445 m ³	25%
Épületek által lehetséges visszatartás	18400 m ³	17%
Lefolyó vizek	60800 m ³	58%

7. táblázat Lefolyó és visszatartott vizek összesítő táblázata

A területi elosztásból tehát azt a következtetést vonhatjuk le. Megfelelő épületgépészeti átalakításokkal a területen lévő lakóházak által, közel 18400 m³ vízmennyiség köthető meg. Ezzel a mennyiséggel tehermentesíthető a közműhálózat esőzések idején. A mesterséges és burkolt felületek olyan célú megválasztása, mely vízáteresztő réteggént viselkedik, szintén jelentős lefolyáscsökkentő hatással bír.

Tehát a fejlesztések iránya úgy is meghatározható, hogy a családi házak alkotta területen célszerű a lakossági felelősségvállalást kiterjeszteni. A társas házak uralta területen, ahol nem áll lehetőség a gépészeti fejlesztésekre mindenféleképpen a közműhálózatot célszerű fejleszteni.

Csapadékból származó lefolyó vizek mennyisége



6 Továbbfejlesztési irányok

A szegmentálás és osztályozás minőségén még mindenféleképpen javítani szükséges a jobb minőségű adatok felhasználásával. A multispektrális felvételeken túl a hiperspektrális felvételeket is be kell vonni a vizsgálatba. A vizsgálat szempontjából szükség van nagy felbontású domborzat és felszín modellekre a megbízhatóbb normalizált felszín modell előállításához. Ezen felvételek segítségével akár bizonyos fa típusok is elkülöníthetők egymástól, amelyek a települési vízháztartásban fontos szerepet játszanak. Mint az ismeretes, egyes fa fajok más és más vízmegkötő tulajdonsággal rendelkeznek, így egy módszer kidolgozása, amely nem csak a vegetáció elkülönítésére képes, hanem a fák és azok paramétereinek meghatározására igen célravezető lenne. További távérzékelési felméréssel és a már említett hiperspektrális felvételek alkalmazásával a továbbiakban egy fa kataszter felállítása lenne célom, mellyel bemenő adatokat tudnék szolgáltatni az iTree nevű modellező szoftverbe. Az U.S. Department of Agriculture (röviden: USDA – Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma) finanszírozásával kifejlesztett iTree szoftvercsomagban kimondottan a fák tulajdonságait vagyunk képesek városi környezetben modellezni.

A magyarországi alkalmazáshoz és az előzetes felméréshez a Földmérési és Távérzékelési Intézet adatai lennének megfelelőek. Az 5m felbontású domborzat modell, az ingatlan kataszter valamint a Mezőgazdasági Parcella Azonosító Rendszerhez (Mepar) részére készített multispektrális ortofotókkal elegendő nyersanyag áll rendelkezésre. Kimondottan hasznos, hogy a Mepar céljaira a lombos időszakban készültek a felvételek a vegetáció felméréséhez. Az objektum alapú képkiértékeléshez viszont szinte elengedhetetlen a jó felszínmodell melyet a repülésekkel egy időben felvételezett LIDAR mérésekből nyerünk. Ez jelenleg teljes országra még nem elérhető, a jövőbeni repülésekkel kerülhet felmérésre.

7 Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Molnár László székesfehérvári amatőr meteorológiai észlelőnek, aki csapadék adatsorokkal látott el a dolgozat elkészítéséhez. Valamint Verőné Dr. Wojtaszek Małgorzata tanárnőnek a sok hasznos tanácsért.

8 Irodalomjegyzék

1. Brouwer, C., Goffeau, A., & Heibloem, M. (1985). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - CHAPTER 4 - RAINFALL AND EVAPOTRANSPIRATION.
2. Campbell, J. B. (2002). Remote Sensing (Harmadik kiadás. kiad.). New York: The Guilford Press.
3. Dr. Csató, É. (2000). Műholdadatok térképészeti alkalmazása. Budapest: ELTE.
4. Eredics, A. (2007). VEGETÁCIÓS INDEXMÉTER (NDVI). Sopron: NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM.
5. Fekete István, Dezső Balázs, László István, Ócsai Katalin. (2008). A SZEGMENTÁLÁS SZEREPE AZ ŰRFELVÉTELEK TEMATIKUS. Informatika a felsőoktatásban 2008.
6. FÖMI. TÁVÉRZÉKELÉS - OKTATÓANYAG. Letöltés dátuma: 2014. 10 24, forrás: http://www.fomi.hu/taverzekeles_oktatoanyag
7. Gera, D. Á. (2011). Diplomamunka -- Szegmentáló algoritmusok légi- és űrfelvételek osztályozásában. Budapest: ELTE.
8. Karakış, S. M. ANALYSIS OF SEGMENTATION PARAMETERS IN ECOGNITION SOFTWARE. Törökország: Department of Geodesy and Photogrammetry Eng., Zonguldak Karaelmas University.
9. Pogácsás, R. (2013). Szakdolgozat - A növényzet szerepe a települési vízgazdálkodásban. SZEGED: Szegedi Tudomány Egyetem.
10. Stormwater Fee Credit Policy Manual. NORTHEAST OHIO REGIONAL SEWER DISTRICT .
11. Székesfehérvár Környezetvédelmi koncepció. Letöltés dátuma: 2014. 10 21, forrás: http://onkormanyzat.szekesfehervar.hu/index.php?pg=page_20775
12. Verőné Wojtaszek, M. (2010). Tankönyvtár.hu - Fotointerpretáció és távérzékelés 5., Távérzékeléssel szerzett adatok számítógépes kiértékelése. Letöltés dátuma: 2014. 11. 07, forrás: http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027_FOI5/ch01s02.html