

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
INFORMATIKAI KAR
TÉRKÉPTUDOMÁNYI ÉS GEOINFORMATIKAI TANSZÉK

A lokális klímazónák változása az átépítések hatására a belső budai területeken

DIPLOMAMUNKA

Balázs Éva

térképész szakos hallgató

TÉMAVEZETŐ:

Dr. Albert Gáspár

adjunktus



Budapest, 2017

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. A lokális klímazónák (Local Climate Zones, LCZs)	4
2.1. Az LCZ-osztályozás kialakulása	4
2.2. A lokális klímazónák rendszere	7
2.3. Térinformatikai módszerek LCZ-térképek készítésére	13
2.3.1. Raszteres módszerek.....	13
2.3.3. Vektoros módszerek	14
3. A mintaterület.....	17
4. A munkafolyamat	18
4.1. Alapanyagok, felhasznált szoftverek.....	19
4.2. Alapanyagok elkészítése	20
4.2.1. Épületek alaprajza.....	20
4.2.2. Épületek magassága.....	20
4.2.3. Vízáteresztő területek	21
4.2.4. Fák lombkoronájának kiterjedése és magassága	22
4.3. A paraméterek meghatározása	24
4.3.1. A telekpoligonok létrehozása	24
4.3.2. A paraméterek kiszámítása	25
4.4. Az LCZ-típusok meghatározása.....	28
5. Az eredmények értelmezése	31
6. Térképek készítése	34
Összefoglalás.....	36
Irodalomjegyzék.....	38
Köszönetnyilvánítás	
Melléklet	
Nyilatkozat	

1. Bevezetés

A városokban az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatása koncentráltan érvényesül. Az épületek és mesterséges felszínek a korábbi természetes környezettől eltérő geometriai, sugárzási és hőtani tulajdonságai, valamint az emberi tevékenység során kibocsátott szennyezőanyagok, víz és többletenergia hatására a beépített területeken kialakul az úgynevezett **városklíma** (BOTTYÁN 2009). A WMO definíciója (1983) szerint a városklíma olyan helyi éghajlat, mely a beépített terület és a regionális éghajlat kölcsönhatásának eredményeként jön létre.

A városklíma egyik legszembevetőbb sajátossága az, hogy a beépített területek hőmérséklete (rendszerint) magasabb a környezetükénél. Ez a jelenség a **városi hősziget** (Urban Heat Island, UHI). Hosszú időn keresztül elfogadott és széles körben alkalmazott módszer volt a hősziget intenzitásának jellemzésére egy városi és egy a városhoz közeli, beépítetlen vidéki hely hőmérsékletkülönbségének megadása.

A **városi és vidéki fogalmak** azonban nincsenek megfelelően definiálva, ráadásul egy nagyobb városi területen belül is jelentős hőmérsékletkülönbségek alakulhatnak ki. Így bár sok mérési eredmény áll rendelkezésre, a mérések környezetét megfelelően leíró metaadatok híján ezek kevésbé használhatók tudományos kutatásra.

STEWART (2011) áttekintette a városi hőszigettel kapcsolatos nemzetközi irodalmat, majd 190 darab, 1950 és 2007 között megjelent cikket választott ki további elemzésre. A vizsgált publikációk 88%-a nem adott kvantitatív leírást a mérőhelyek környezetéről, egyharmaduk pedig – a városi vagy vidéki jelzőtől eltekintve – sem kvantitatív, sem kvalitatív információt nem közölt a mérés helyéről.

A megfelelő metaadatok szolgáltatására I. D. STEWART és T. R. OKE többéves kutatás eredményeként 2012-ben megalkotta a **lokális klímazónák (Local Climate Zones, LCZs) rendszerét**. Ez a felszín azon fizikai jellemzőit veszi figyelembe, melyek fontosak az adott terület termikus reakciói szempontjából. Az egyes LCZ-típusok elkülönítése e tulajdonságok számszerűen kifejezhető értékei alapján történik. A zónák horizontálisan néhány száz métertől néhány kilométerig terjedő, többnyire homogén területeket alkotnak. Az LCZ-típussal könnyen, egységes módon jellemezhető a mérési pont környezete, mely nagyban megkönnyíti a tudományos kommunikációt.

A kezdeti cél – a mérőhelyek környezetének megfelelő leírása – mellett az osztályozási rendszernek számos egyéb felhasználási módja alakult ki. Ilyen többek között az egyes városok vagy városrészek **lokális klímazónáinak térképen történő**

lehatárolása, mellyel egységes hőmérsékleti jellemzőkkel rendelkező területeket különíthetünk el. (LELOVICS ET AL. 2014b)

Napjainkban a Föld népességének jelentős része él városokban, melyek egyre növekednek, a környezetmódosítás egyre jelentősebb. A kialakuló városi éghajlat az ott élők közérzetére és egészségére is hatással van. Többek között ezért is igen fontos a jelenség tanulmányozása, mely segíthet abban is, hogy a jövőben úgy tervezzék a településeket, a felújítandó városi területeket, hogy azok minél élhetőbbek legyenek, kevésbé borítsák fel a terület természetes egyensúlyát.

Jelen dolgozat célja a lokális klímazónák kialakításához használt paraméterek, valamint az ezek alapján legmegfelelőbb LCZ-típusok meghatározása geoinformatikai módszerekkel a Széll Kálmán tér és a Széna tér, valamint az ezeket körülvevő épülettömbök területére. A város ezen része az utóbbi néhány évben jelentős átalakításon esett át. 2014–2015-ben lebontották a Margit körút és a Millenáris park közti magas irodaépületet és az elhagyott ipari épületeket¹. 2015 és 2016 során felújították a Széll Kálmán teret², jelenleg pedig az egykori Postapalotánál folyik építkezés³. Ezek az átépítések a városrész zölddebbé és levegővel jobban átjárttá tételét is célozták a felújítás mellett. A változások klimatikus hatásának térképi szemléltetésére és számszerűsítésére alkalmas a lokális klímazónák módszere.

Ennek megfelelően a diplomamunkámban kiszámítom a területre az LCZ-k paramétereit, majd ezek alapján meghatározom a területen előforduló klímazóna-típusokat az átépítés előtti és a jelenlegi állapotra is. Az eredményeket térképeken mutatom be.

¹ Bővebben: <http://szellkapu.hu>

² Bővebben: http://www.bkk.hu/kotottpalyas/szell_kalman

³ Bővebben: <http://magyarepitok.hu/aktualis/2016/08/a-magyar-epito-kivitelezeseben-irodahazkent-szuletik-ujja-a-buda-palota>

2. A lokális klímazónák (Local Climate Zones, LCZs)

Ebben a fejezetben a STEWART és OKE (2012) által kidolgozott lokális klímazónák rendszerét mutatom be. Először egy áttekintést adok a megalkotásához alapul szolgáló korábbi kutatásokról, klimatikus osztályozásokról. Ezt követően a végleges LCZ-rendszert mutatom be. Az LCZ-osztályozásnak az eredeti célja mellett számos egyéb felhasználási területe is van. Ezek közül az egyik legfontosabb az LCZ-térképek készítése, mely szerepel a diplomamunkám céljai közt is. Az utolsó alfejezetben különböző térinformatikai módszereket ismertetek, melyek segítségével városi területeket soroltak be klímazónákba automatikusan vagy félautomatikus eljárással.

2.1. Az LCZ-osztályozás kialakulása

Ebben az alfejezetben a Stewart és Oke által kidolgozott LCZ-rendszer alapjául szolgáló korábbi kutatások, klimatikus osztályozások legfontosabbjait ismertetem.

HOWARD volt az első, aki felismerte és leírta a városi környezet klímamódosító hatását 1833-ban, London példáján. Már ő is szükségesnek tartotta a meteorológusok körében egy közös fogalomrendszer megalkotását, valamint a mérések és megfigyelések standardizálását a hatékony kutatás érdekében.

Az ő példáját követve sokan foglalkoztak a városklíma jelenségével. A városi hősziget intenzitásának jellemzésére még a 2000-es években is általánosan elfogadott és széles körben alkalmazott eljárás volt a Howard tanulmányából megismert módszer, miszerint a városi hősziget intenzitása a városi és a közeli vidéki mérőhely hőmérsékletkülönbségével jellemezhető (STEWART & OKE 2006). A mérési és megfigyelési helyek városi illetve vidéki jelzővel történő leírása azonban nem bizonyult elég pontosnak ahhoz, hogy a különböző helyeken folytatott kutatások összehasonlíthatók legyenek.

Valószínűleg **CHANDLER** (1965) volt az első a városi hőszigetet kutatók körében, aki éghajlattani szempontból osztályozta egy város területét. Négy nagy klimatikus régióra osztotta Londont időjárási megfigyelések, fiziográfiai viszonyok és a beépítettség alapján.

Chandler munkásságát követve **AUER** (1987) egy általánosabb osztályozási rendszert dolgozott ki. Korrelációt keresett a földhasználat és felszínborítottság, és a meteorológiai anomáliák között. A mintaterület egy amerikai metropolisz, St. Louis volt,

melyre egy tizenkét kategóriából álló, felszínborításon alapuló osztályozást alkalmazott. A fő kategóriákat funkció alapján alakította ki, ezen belül a konkrét típust a beépítettség és a növényzet alapján határozta meg (ipari: I1–2, kereskedelmi: C1, lakó: R1–4 és természetközeli területek: A1–5). Az osztályokat a következő szempontok alapján hozta létre: épületszintek száma, tetők típusa, épületek egymástól való távolsága, utak sűrűsége, növényzettel borított terület aránya, a növényzet jellege, valamint külön kategóriát kaptak a vízfelületek.

ELLEFSSEN (1990/91) az épületeket vizsgálta tíz amerikai nagyvárosban, elsődleges célja a külső burkolat anyagának meghatározása volt. Ennek érdekében ő is létrehozott egy, az Aueréhez hasonló osztályozást (Urban Terrain Zones). Először légifotók alapján osztotta fel a városok területét, majd további adatgyűjtés következett a terepen. Három fő kategóriát alakított ki az épületek egymástól való távolsága alapján: egybeépített (A1–5); különálló, de egymáshoz közeli (Dc1–6); illetve különálló, egymástól távoli épületek (Do1–6). Ezeken belül összesen 17 zónát határozott meg, melyek definiálásának főbb szempontjai a városon belüli elhelyezkedés és funkció, az épületek típusa, alapterülete, magassága, egymáshoz viszonyított elhelyezkedése, az utcahálózat szerkezete és az építkezés fő időszaka.

DAVENPORT ET AL. (2000) egy aerodinamikai felszínérdességi osztályozást készített, melyet Oke és Stewart felhasználtak az LCZ-típusba való besorolás egyik kritériumaként. Davenport és társai a szakirodalomban előforduló mérési adatokat és azok környezetét tanulmányozva a felszíni elemek magassága és egymástól való távolsága alapján nyolc osztályt hoztak létre. Ezekhez megadták az érdességi paraméterek jellemző értékét. Egy terület légifotók vagy felszínborítási térkép alapján besorolható a kategóriák egyikébe.

A WMO (World Meteorological Organization) egyik fontos célja, hogy a meteorológiai mérések és észlelések elvégzését szabványosítsa, e célból időről időre kiadják a *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* című útmutatóikat. Ezt 2004-ben Oke egy új fejezettel egészítette ki, mely a városi környezetben végzett méréseket és észleléseket szabályozza. Ebben bemutatott egy új kategorizálási rendszert (Urban Climate Zones), mely segítséget nyújt a meteorológiai mérőhelyek kiválasztásához, illetve a mérések és megfigyelések környezetének standard leírásához (OKE 2004, 2008). A rendszer a korábban említett osztályozásokon alapul. A következő szempontokat használja fel: városszerkezet (épületek méretei és köztük lévő távolság, utcaszerkezet), felszínborítás (beépített, burkolt, növényzettel fedett, csupasz

földfelszín vagy vízfelület), építőanyagok (mesterséges építőanyagok és természetes anyagok) és az emberi tevékenység hatása (hő, víz és szennyezőanyagok kibocsátása). A négy szempont alapján hét, városi környezetben jellemzően előforduló osztályt alkotott meg, melyekhez leírást és sematikus ábrát készített. Továbbá megadta három paraméternek az egyes kategóriákra jellemző számszerű értékét: az effektív érdességi osztályt (DAVENPORT ET AL. 2000) a magasság/szélesség arányt (a fő érdességi elemek, azaz az épületek és fák átlagos magassága, elosztva a köztük lévő átlagos távolsággal), és a burkolt területek arányát. A hét kategóriát a klímamódosító hatásuk mértéke szerint csökkenő sorrendbe rendezte.

Ezeken túl a lokális klímazónák rendszerének megalkotásához Stewart és Oke vizsgált még többek között **felszínhasználati és felszínborítási** (például az USA National Land Cover Dataset adatbázisát), és **klimatóp osztályozásokat**. A klimatóp osztályok kialakításának főbb szempontjai a városi terület légmozgása, hőmérséklete, felszínhasználata, az épületek geometriája, a domborzat és a népsűrűség. (STEWART & OKE 2012)

A városi hőszigetkutatásokhoz kapcsolódó mérések és megfigyelések környezetéről megfelelő metaadatokat adó osztályozás kidolgozásával **Stewart és Oke** több publikációban is foglalkozott. 2009-ben egy cikkben bemutatták a rendszer közvetlen elődjét, a termális klímazónákat (Thermal Climate Zones) (STEWART & OKE 2009a), mely lényegében megegyezett a későbbi, végleges verzióval. A rendszer alkalmazását a japán Nagano város mérőhelyeinek klímazónákba sorolásával mutatták be (STEWART & OKE 2009b).

Az új osztályozási rendszer szükségességét és alkalmasságát empirikusan és numerikus modellezéssel is alátámasztották. Három, a világ különböző pontján lévő város – a svéd Uppsala, a japán Nagano és a kanadai Vancouver – példáján mért adatokkal bizonyították, hogy a különböző klímazónák termikus reakciói eltérőek (STEWART & OKE 2010). Ugyanezt sikerült numerikus modellezésekkel is megmutatniuk (KRAYENHOFF ET AL. 2009, STEWART ET AL. 2014).

2.2. A lokális klímazónák rendszere

Ebben a fejezetben a STEWART és OKE által megalkotott lokális klímazónák (Local Climate Zones, LCZs) osztályozási rendszerét mutatom be a 2012-es cikkük alapján. Az LCZ-rendszer leírásakor UNGER ET AL. (2014a) által használt magyar elnevezéseket alkalmaztam a típusok, és az ezek kialakításához használt paraméterek nevénél.

A szerzők célja a felszín egy olyan klímaalapú osztályozásának létrehozása volt, mely univerzálisan alkalmazható (időtől, helytől és kultúrától függetlenül), objektív és viszonylag egyszerű. Alapját a felszín azon fizikai tulajdonságai képezik, melyek fontosak az adott terület termikus reakciói szempontjából. Az egyes LCZ-típusok elkülönítése jellemzők számszerű értékei segítségével történik.

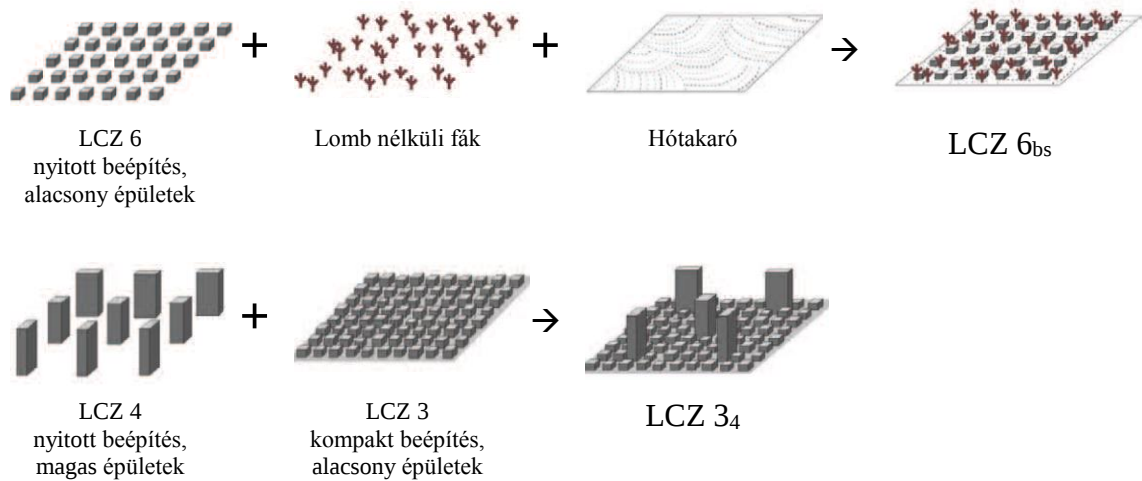
A lokális klímazónák „horizontálisan néhány száz métertől néhány kilométerig terjedő területek, melyek felszínborítás, szerkezet, anyagtípusok és emberi tevékenység szempontjából egységesek. Minden LCZ-típusra jellemző egy jellegzetes hőmérsékleti menet, mely leginkább viszonylag sík és száraz felszín felett, nyugodt, tiszta éjszakákon figyelhető meg” (STEWART & OKE 2012).

Tíz beépítési típust (LCZ 1–10) és hét felszínborítási típust (LCZ A–G) különítettek el. Az osztályoknak a kialakításukkor figyelembe vett legfőbb jellemzők alapján rövid, beszédes nevet adtak (például LCZ 3: kompakt beépítés, alacsony épületek; LCZ A: fák, sűrű elhelyezkedés) (1. táblázat).

A fent említett osztályokból létrehozhatunk **altípusokat** is. Ezek jelölése az LCZ X_{yj} séma szerint történik, ahol X az elsődleges, y a másodlagos, kevésbé domináns típus jele, j pedig, amennyiben releváns, az időleges felszínborítás jellegére utal. Például egy olyan terület, ahol sűrűn elhelyezkedő, alacsony épületek vannak (LCZ 3), de köztük található szétszórtan néhány magas épület is (LCZ 4), jellemezhető LCZ 3₄-ként (1. ábra). Az altípusokat azonban csak indokolt esetben érdemes alkalmazni, vagyis csak akkor, ha a másodlagos (vagy harmadlagos) jelleg valóban befolyásolja az adott területen kialakuló klímát, illetve ha a másodlagos típus kiemelése valamilyen okból fontos a kutatás szempontjából.

Rövidebb időszakokra (napok, hetek, néhány hónap) vonatkozó klimatikus vizsgálatok esetén a kategóriákat érdemes tovább finomítani a **felszínborítás évszakos vagy ideiglenes tulajdonságai** alapján (lomb nélküli fák, hóborította vagy nedves/száraz felszín). Például egy nyitott beépítésű, alacsony épületekkel rendelkező területet (LCZ 6),

ahol a fák lombtalanok, és hó borítja a talajt, LCZ 6_{bs}-ként írhatunk le (1. ábra). Hosszabb időtartamú kutatások esetén ennek nincs jelentősége.



1. ábra LCZ-altípusok és jelölésük (STEWART & OKE 2012 nyomán).

Az egyes LCZ-típusok mérhető fizikai **paraméterek** alapján különíthetők el. Ezek a tulajdonságok főként a felszín geometriájára és borítottságára vonatkoznak, de vannak a felszín termikus, sugárzási tulajdonságait, illetve az emberi tevékenység okozta energetikai hatásokat jellemző paraméterek is:

- **Égboltláthatóság (Sky View Factor, SVF):** a „látható” égbolt (az égbolt azon része, melyet az adott felszíni pontból szemlélve nem fednek ki akadályok) és a teljes félgömb felületének aránya egy adott felszíni pontból nézve. Értéke 0 és 1 közötti lehet.
- **Magasság/szélesség aránya (Aspect Ratio, AR):** Az utcakanyonok közepes magasság-szélesség aránya (LCZ 1–7), épületek (LCZ 8–10) vagy a fák (LCZ A–G) magasságának és átlagos távolságának aránya.
- **Épület-alapterület aránya (Building Surface Fraction, BSF):** Egy területen belül az épületek alapterületének a teljes területhez viszonyított aránya. Értéke 0 és 100% közötti lehet.
- **Vízáteresztő felszínek aránya (Pervious Surface Fraction, PSF):** Egy területen belül a vízáteresztő felszínek (talaj, növényzettel fedett terület, vízfelület) aránya a teljes területhez képest. Értéke 0 és 100% közötti lehet.

- **Vízzáró felszínek aránya (Impervious Surface Fraction, ISF):** Egy területen belül a vízzáró felszíneknek (burkolt, sziklás) a teljes területhez viszonyított aránya. Értéke 0 és 100% közötti lehet.
- **Érdességi elemek magassága (Height of Roughness Elements, HRE):** Érdességi elemek (épületek, növényzet) átlagos magassága méterben kifejezve.
- **Terepi érdességi osztály (Terrain Roughness Class, TRC):** DAVENPORT ET AL. (2000) felszínérdességi osztályozása alapján.
- **Felszíni hőátadási tényező (Surface Admittance, SAd):** A felszín hőelnyelő/hőkibocsátó képessége $\left(\frac{J}{m^2\sqrt{sK}}\right)$. Függ a talaj nedvességétől és az anyagsűrűségétől.
- **Felszíni albedó (Surface Albedo, SA):** A felszínről visszaverődő napsugárzás aránya a teljes beérkező napsugárzáshoz képest. Függ a felszín színétől, nedvességétől és érdességétől. 0 és 1 közötti értéket vehet fel.
- **Antropogén hőkibocsátás (Anthropogenic Heat Output, AHO):** Az emberi tevékenységből származó évi átlagos hőáramsűrűség $\left(\frac{W}{m^2}\right)$ (szállítás, hűtés/fűtés, ipari termelés, emberi anyagsere). Jelentősen függ a földrajzi szélességtől, az évszaktól és a népsűrűségtől.

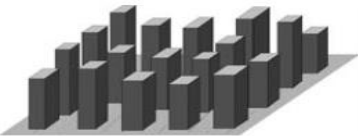
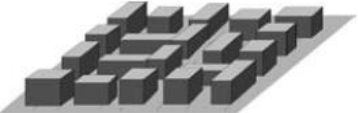
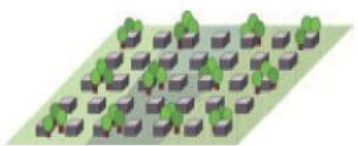
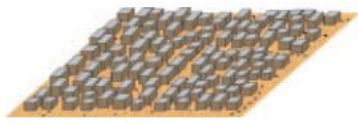
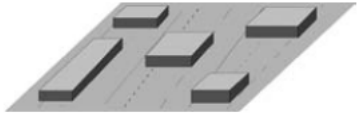
A témával foglalkozó szakirodalomból gyűjtött adatok alapján határozták meg paraméterek egyes osztályokra jellemző értéktartományát.

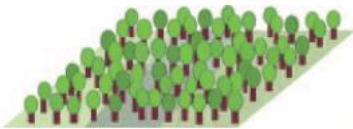
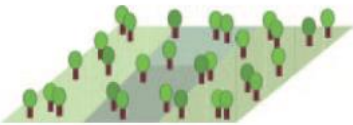
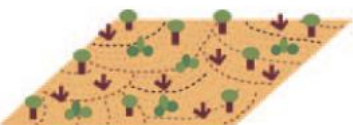
A kezdetben logikai úton kialakított LCZ-osztályok rendszerét mért és numerikus modellezéssel előállított adatokkal támasztották alá. Ezek szerint a geometriailag és felszínborításban jelentősen különböző osztályok közti hőmérsékletkülönbség kedvező körülmények közt (nyugodt, tiszta éjszakákon) gyakran meghaladja az 5°C-ot is, míg egymáshoz hasonló osztályok esetén 2°C alatti is lehet. Ezt módosítja a felszín nedvessége, a domborzat, a faborítás, a hótakaró és az emberi hőkibocsátás.

A feláramló légmozgás, ami ahhoz szükséges, hogy a felszínközeli (hőmérőház szintjén lévő) levegő teljes mértékben alkalmazkodjon az alatta lévő felszínhez, tipikusan 200–500 méter. Ebből következően minden lokális klímazónának legalább 400–1000 méter átmérőjűnek kell lennie.

Ennek az új felszínosztályozási rendszer felhasználásával **a városi hősziget jellemezhető** két különböző LCZ-típus közötti hőmérsékletkülönbséggel. Ez egyrészt lehetőséget nyújt városon belüli területek összehasonlítására, másrészt a világ különböző pontjain, és akár más korokban mért értékek is összevethetővé válnak, ha ilyen módon jellemezzük a mérések lokális környezetét.

Az egyes LCZ-osztályokról az alkalmazásukat megkönnyítő adatlapokat tették közzé. Az adatlap tartalmazza az adott osztály kódját, rövid elnevezését, leírását, különböző régiókban készült fényképeket az osztályról, a jellegzetességeket kiemelő sematikus ábrákat és a számszerűen meghatározott fizikai tulajdonságokat.

Beépített típusok	Jellemzők
	LCZ 1 – kompakt beépítés, magas épületek (compact high-rise) Sűrű beépítettség, magas, akár több tíz emeletes épületek; kevés növényzet; főként burkolt felszín; beton, acél, kő és üveg a fő építőanyagok.
	LCZ 2 – kompakt beépítés, közepes épületek (compact midrise) Sűrű beépítettség, 3–9 emelet magas épületek; kevés növényzet; főként burkolt felszín; kő, téglá, csempe és beton a fő építőanyagok.
	LCZ 3 – kompakt beépítés, alacsony épületek (compact low-rise) Sűrű beépítettség, 1–3 emelet magas épületek; kevés növényzet; főként burkolt felszín; kő, téglá, csempe és beton a fő építőanyagok.
	LCZ 4 – nyitott beépítés, magas épületek (open high-rise) Laza beépítettség, magas, akár több tíz emeletes épületek; nagy mennyiségű burkolat nélküli terület (alacsony növények, szétszórta fák); beton, acél, kő és üveg a fő építőanyagok.
	LCZ 5 – nyitott beépítés, közepes épületek (open midrise) Laza beépítettség, 3–9 emelet magas épületek; nagy mennyiségű burkolat nélküli terület (alacsony növények, szétszórta fák); beton, acél, kő és üveg a fő építőanyagok.
	LCZ 6 – nyitott beépítés, alacsony épületek (open low-rise) Laza beépítettség, 1–3 emelet magas épületek; nagy mennyiségű burkolat nélküli terület (alacsony növények, szétszórta fák); fa, téglá, kő, csempe és beton a fő építőanyagok.
	LCZ 7 – könnyűszerkezetű, alacsony épületek (lightweight low-rise) Sűrű beépítettség, földszintes épületek; kevés növényzet; a felszínborítottság főként keményre dőngölt föld; könnyűszerkezetű épületek (pl. fa, nád, hullámpala).
	LCZ 8 – kiterjedt, alacsony épületek (large low-rise) Nyitott beépítettség, 1–3 emelet magas épületek; kevés növényzet; főként burkolt felszín; acél, beton, fém és kő a fő építőanyagok.
	LCZ 9 – alig beépített (sparsely built) Ritkán elhelyezkedő kis és közepes méretű épületek természetes környezetben; nagy mennyiségű burkolat nélküli terület (alacsony növények, szétszórta fák).
	LCZ 10 – nehézipar (heavy industry) Alacsony és középmagas ipari építmények, tornyok, tartályok, kémények; kevés növényzet; főként burkolt vagy keményre dőngölt felszín; fém, acél és beton a fő építőanyagok.

Felszínborítási típusok	Jellemzők
	LCZ A – fák, sűrű elhelyezkedés (dense trees) Sűrű, fás terület; főként burkolatlan felszín alacsony növényzettel. Természetes erdő, faültetvény vagy városi park.
	LCZ B – fák, ritka elhelyezkedés (scattered trees) Ritka fás terület; főként burkolatlan felszín alacsony növényzettel. Természetes erdő, faültetvény vagy városi park.
	LCZ C – bokros, bozótos (bush, scrub) Nyílt, bokros és alacsony fás terület, főként burkolatlan felszín (talaj vagy homok). Természetes cserjés vagy mezőgazdasági terület.
	LCZ D – alacsony növényzet (low plants) Egyhangú füves terület, legelő, szántóföld fák nélkül, vagy kevés fával. Természetes füves terület, mezőgazdasági terület vagy városi park.
	LCZ E – csupasz szikla/burkolt (bare rock or paved) Egyhangú sziklás, kőves vagy burkolt terület; kevés növényzet. Természetes kőszivattyú vagy városi közlekedési terület.
	LCZ F – csupasz talaj/homok (bare soil or sand) Egyhangú csupasz talaj vagy homokos terület; kevés növényzet. Természetes homokszivattyú vagy mezőgazdasági terület.
	LCZ G – víz (water) Nagy, nyitott (tavak, tengerek) vagy kis (folyók, víztározók, lagúnák) vízfelületek.

Változó felszínborítási tulajdonságok

Változó vagy időszakos felszínborítási tulajdonságok, melyeket az időjárás, a mezőgazdasági tevékenység és/vagy az évszakok változása okoz.

b – lombtalan fák	Kopasz lombhullató fák (például télen)
s – hótakaró	Több mint 10 centiméteres hótakaró
d – száraz talaj	Kiszáradt talaj
w – nedves talaj	Vizenyős talaj

1. táblázat LCZ-osztályok (STEWART & OKE 2012 nyomán).

2.3. Térinformatikai módszerek LCZ-térképek készítésére

Az LCZ-rendszer célja eredetileg a hőmérsékletmérések környezetének standard kategorizálása. Azonban az azonos hőmérsékleti jellemzőkkel rendelkező területek lehatárolásához is kitűnő eszközt nyújt az osztályozás (LELOVICS ET AL. 2014b, BECHTEL ET AL. 2015). Tehát elkészíthető egy terület LCZ-térképe, mely átfedés- és hiánymentesen osztja fel a teret lokális klímazónákra. Az így kapott klímazónák például bemenő adatként használhatók különböző klíma- és időjárási modellekhez (GÁL ET AL. 2015).

Az LCZ-térképek készítésére többféle (fél)automatikus térinformatikai eljárást is kifejlesztettek, melyeket GÁL ET AL. (2015) két nagy csoportra, raszteres és vektoros módszerekre bontott. Ebben a fejezetben ezek körül mutatok be néhányat.

2.3.1. Raszteres módszerek

A Stewart és Oke által fejlesztett LCZ-rendszert alapul vevő automatikus térképezést **GAMBA ET AL.** (2012) az elsők között kísérelte meg, melyhez egy objektum alapú képosztályozási megközelítést alkalmazott. Ez a tanulmány még az LCZ-rendszer nem végleges, 2009-es állapotára támaszkodik. A kínai Xuzhou, és az amerikai Atlanta települések egy részén különítettek el tömböket, melyeket besoroltak egy-egy klímazónába 2,5 illetve 0,5 méteres terepi felbontású műholdképek alapján.

BECHTEL és DANEKE ugyancsak ebben az évben egy irányított pixelalapú osztályozást készített 100 méteres felbontására mintavételezett képeken. Az LCZ-rendszernek szintén a 2009-es állapotát alkalmazták, kisebb módosításokkal és néhány új osztállyal kiegészítve. Mintaterületül Hamburg déli részét választották. Különböző távérzékelte adatok – műholdas multitemporális termális és multispektrális képek, valamint légi ISAR-felmérésből (Interferometric Synthetic Aperture Radar) származó nDSM (normalizált digitális felszínmodell), illetve ezekből származtatott tulajdonságok, – és különböző osztályozók (Support Vector Machines, neurális hálók és Random Forest) eredményeit értékelték, hasonlították össze.

A **WUDAPT** (World Urban Database and Access Portal Tools) egy nemzetközi összefogás, melynek célja, hogy információt gyűjtsenek és szolgáltatassanak a városok szerkezetéről és funkciójáról világszerte. Ennek első lépése a városok LCZ-térképeinek elkészítése. Korábbi módszerek tanulmányozásával és felhasználásával **BECHTEL ET AL.** (2015) összeállított egy munkafolyamatot, mellyel ezek a térképek speciális

térinformatikai és városklimatológiai ismeretek nélkül előállíthatók globálisan elérhető, szabadon hozzáférhető alapanyagok és szoftverek felhasználásával.

Mivel az LCZ-osztályozást úgy alkották meg, hogy globálisan alkalmazható legyen, az egyes osztályokra jellemző spektrális tulajdonságok eltérőek a világ különböző részein, sőt, akár még egy városon belül is. Ez szükségessé teszi, hogy az LCZ-osztályozás helyi tanulóterületek kijelölésével, olyan ember által történjen, aki ismeri a terület jellegzetességeit.

Egy irányított pixelalapú osztályozást (Random Forest) hoztak létre, 100–120 méteres felbontásúra mintavételezett műholdfelvételekre. Az eredmény utólag igény szerint szűrhető (Majority Filter) a kevésbé szegmentált eredmény érdekében. A munkafolyamat során először Google Earth-ben tanulóterületeket kell kijelölni az egyes osztályokhoz, majd SAGA GIS-ben az e célból fejlesztett modul segítségével végrehajtani az osztályozást. Mintaterületül három mérsékelt övezeti várost (Hamburg, Dublin és Houston) választottak, ezekre a legjobb eredményt multitemporális Landsat 8 felvételekkel, a termális és multispektrális információkat is felhasználva, érték el.

2.3.3. Vektoros módszerek

A **Szegedi Tudományegyetem kutatói** kifejlesztettek egy olyan, többnyire vektoros geoinformatikai módszereken alapuló eljárását, mellyel különböző raszteres és vektoros adatbázisok felhasználásával javarészt automatikusan meghatározható a mintaterület bármely részére a STEWART és OKE (2012) által definiált tíz paraméterből hétnek az értéke. Majd osztályokba sorolták a vizsgált területet aszerint, hogy a paraméterek értéke melyik típushoz megadott intervallumba illik bele. (UNGER ET AL. 2013, LELOVICS ET AL. 2013, UNGER ET AL. 2014a)

Korábbi kutatások során Szeged területén egy 500×500 méteres ráctávolságú hálóban hőmérsékletméréseket végeztek. Ezt követően meghatározták, hogy a mérőhelyek környezete melyik lokális klímazónába tartozik. Alapterületként a mérési pontok 250 méteres sugarát tekintették.

Ezekre a kör alaprajzú területekre hét paraméter értékét sikerült megadniuk. Az égboltiláthatóságot (SVF) egy korábban kidolgozott algoritmus segítségével, vektoros módszerrel, a 3D-s épület-adatbázis és domborzatmodell felhasználásával számították ki 5 méteres felbontással. Az épületeket lapostetősnek tekintették. Az épület-alapterület arányát (BSF) az épület-adatbázis alapján határozták meg. A vízzáró és vízáteresztő (PSF,

ISF) felszínek arányához az épület-adatbázist, az útatbázist, a Corine Land Cover felszínborítottság-adatbázist valamint a 1:25.000 méretarányú topográfiai térképet használták fel. Az érdeességi elemek magasságához (HRE) csak az épületeket vették figyelembe, melyet a 3D-s épület-adatbázisból nyertek. A terepi érdeességi osztályt (TRE) vizuálisan állapították meg az egyes területekre. A felszíni albedót (SA) RapidEye műholdképek segítségével számították ki. A paraméterek közül a magasság/szélesség arány (túlságosan elméleti jellegű, csak szabályos utcahálózat esetén értelmezhető egyértelműen), a hőátadási tényező és az antropogén hőkibocsátás (adathiány miatt) meghatározása maradt ki. Az egyes tulajdonságok értékét a kör alapterületéhez viszonyítva, illetve arra átlagolva adták meg (paramétertől függően).

Ezt követően besorolták a vizsgált területeket egy-egy klímazónába. Hét LCZ-típusra találtak példát a mintaterületen (hat beépített típus és egy városon kívüli felszínborítási típus). Mindegyikből kiválasztottak egy jellegzetest, majd megvizsgálták az egyes klímazónák termikus viselkedését a korábban mért hőmérsékleti adatok alapján. Sikertelenül igazolniuk STEWART és OKE (2012) megállapításait. Megadták a városi hősziget intenzitását a STEWART és OKE (2012) által bevezetett új definíciónak megfelelően, azaz az egyes beépített típusú klímazónák és egy városon kívüli, LCZ D típusú terület hőmérsékletének különbségeként. (UNGER ET AL. 2013, LELOVICS ET AL. 2013, UNGER ET AL. 2014a)

LELOVICS ET AL. (2014b) és UNGER ET AL. (2014b) a fent kifejtett módszerek felhasználásával elkészítették Szeged LCZ-térképét: meghatározták a korábban felsorolt hét paraméter értékét, majd lehatárolták az azonos klímazónába tartozó területeket. A mintaterület minden pontját hozzárendelték ahhoz az épülettömbhöz, amelyikhez a legközelebb van. Így az épülettömbök körül olyan poligonok jöttek létre, melyek hiány- és átfedésmentesen kitöltötték a területet. Azokból a pontokból, amelyek 100 méteres körzetében nincs épület (például parkok, vízfelületek), külön poligonokat alkottak. Az így kapott „telekpoligonokat” a paraméterek számításának elemi területeként használták. Kezdetben minden telekpoligonhoz hozzárendelték a paraméterek szerint hozzá leginkább illeszkedő két LCZ-osztályt. Ezt követően a poligonokat megadott szabályok alapján (azonos vagy hasonló osztályok, stb.) összevonták, hogy elérjék a zónáknak megfelelő minimális kiterjedést (a zóna középpontjának legalább 250 méterre kell lennie a határaitól). A folyamatot nagyrészt automatikus módszerekkel végezték, de az eredményeket a helyismeretük alapján tökéletesítették. Az elkészített LCZ-térképet

felhasználták 24 tervezett hőmérsékletet és relatív nedvességet mérő műszer helyének kiválasztásához.

LELOVICS ET AL. (2014a) és UNGER ET AL. (2015) az LCZ-térképek figyelembevételével Szegeden és Újvidéken kialakított mérőhálózat által mért értékeket vizsgálták, és arra a megállapításra jutottak, hogy a mérőállomások beépítettség szerinti elkülönítése sikeres volt, a mért értékek eloszlása a klímazónákkal szoros kapcsolatban van.

GÁL ET AL. (2015) összehasonlította a raszteres és a vektoros megközelítést. Szegedet használták mintaterületül, mivel erre a területre mindkét módszerhez szükséges alapanyagok elérhetők voltak. Kísérletet tettek egy olyan módszer megalkotására, mely egyesíti az ismertett két eljárás előnyeit. Az előzetes osztályozást a Bechtel-féle módszerrel (BECHTEL ET AL. 2015) végezték, mivel ahhoz csak néhány, globálisan elérhető bemenő adat szükséges, majd az így kapott poligonok összevonására a Lelovics–Gál-féle módszert (LELOVICS ET AL. 2014b) alkalmazták, hogy megfelelő méretű klímazónákat kapjanak.

3. A mintaterület

A vizsgált terület a Széll Kálmán tér, a hozzá kapcsolódó Széna tér és a körülöttük lévő háztömbök. A **Széll Kálmán tér** (1951 és 2011 között Moszkva tér) Budapest egyik legforgalmasabb közlekedési csomópontja. A Rózsadomb és a Várhegy közötti völgyben, a Margit körút, a Krisztina körút és a Szilágyi Erzsébet fasor találkozásánál fekszik, az I., a II. és a XII. kerület határán. A szűkebb értelemben vett tér a II. kerülethez, azon belül az Országút nevű városrészhez tartozik. A Széll Kálmán térhez északkelet felől csatlakozó **Széna tér** a Víziváros és az Országút városrészek találkozásánál található, a II. kerületben. (WIKIPÉDIA: SZÉLL KÁLMÁN TÉR, SZÉNA TÉR)

A közelmúltban mindkét terület jelentős átalakításon esett át, ami a központi elhelyezkedés, és a morfológia miatt jelentős hatást gyakorol a városrész mezo- és mikroklímájára. A mintaterületet úgy határoltam le, hogy a terek minden oldalán legalább egy háztömb beleessen. A vizsgált terület pontos határát az épülettömbök körül létrehozott telekpoligonok (lásd: 4.3.1. fejezet) jelölték ki, mely összesen 0,35 km².

4. A munkafolyamat

A dolgozat célja a Széll Kálmán tér, a Széna tér és környékük 2014–2016-os átalakítása előtti, és azt követő állapotának összehasonlítása a lokális klímazónák rendszerének segítségével. Ehhez elkészítettem a terület LCZ-térképét, melyhez a 2.3.3. fejezetben bemutatott **vektoros megközelítést választottam**.

Bár a módszer hátránya, hogy sok bemenő adatra van szükség, de mivel a mintaterület kicsi, így az adatok előállítása és beszerzése a jelen dolgozat keretei között megvalósítható volt. Előnyei közé tartozik viszont az, hogy a zónák határai a 2.3.2. fejezetben ismertetett raszteres módszerek eredményéhez képest pontosabban meghatározhatók, kisebb részletek is kirajzolódnak. Ez ebben az esetben fontos, hiszen a terület kisméretű, így csak nagy méretarányú, részletgazdag térképpel mutathatók be a különbségek az átépítés előtti és utáni állapotok közt.

A kiválasztott területet mérete alapján – a definíció szerint – egyetlen lokális klímazónába kellene sorolni, hiszen „a lokális klímazónák horizontálisan néhány száz métertől néhány kilométerig terjedő területek...” (STEWART & OKE 2012). Ez azonban a dolgozat célja szempontjából haszontalan lenne. Így az osztályozás területi alapegységeit, **a telekpoligonokat nem vontam össze az LCZ-be sorolásuk után**. A módszert igyekeztem még pontosabbá tenni azzal, hogy bizonyos paraméterek (SVF, HRE) értékeinek meghatározásakor figyelembe vettem a növényzet hatását is.

A munkafolyamatot két nagy részre bontható. Az első fázisban a számításokhoz szükséges **alapanyagokat készítettem el**, ezt a folyamatot a 4.2. fejezetben írom le. A második fázis első lépéseként **kialakítottam a telekpoligonokat**. Az előzőleg előállított adatokból a STEWART és OKE (2012) által ismertetett **tíz paraméterből ötöt tudtam meghatározni**:

- 1) az épület-alapterület arányát (Building Surface Fraction, BSF),
- 2) a vízzáró felszínek arányát (Impervious Surface Fraction, ISF),
- 3) a vízáteresztő felszínek arányát (Pervious Surface Fraction, PSF),
- 4) az érdességi elemek magasságát (Height of Roughness Elements, HRE) és
- 5) az égboltláthatóságot (Sky View Factor, SVF).

A magasság/szélesség arányt (Aspect Ratio, AR) nem vettem figyelembe, mivel túlságosan elméleti jellegű mutató, csak szabályos utcahálózat esetén értelmezhető egyértelműen. A terepi érdességi osztályok (Terrain Roughness Class, TRC) használata

pedig csak nagyobb területek esetén ad értelmezhető eredményt, az egyes telekpoligonoknál nem. A többi paraméter – a felszíni albedó (Surface Albedo, SA), a felszíni hőátadó tényező (Surface Admittance, SA_d) és az antropogén hőkibocsátás (Anthropogenic Heat Output, AHO) – értékét adathiány miatt nem tudtam meghatározni. Az öt felhasznált paraméter értékét a telekpoligonokra vonatkoztatva adtam meg, majd ezek alapján **besoroltam az egyes poligonokat a rájuk leginkább illő LCZ-típusba**. A munkafolyamat második részét a 4.3. és a 4.4. fejezetben ismertetem.

4.1. Alapanyagok, felhasznált szoftverek

A Földművelésügyi Minisztérium Földügyi Főosztálya rendelkezésemre bocsátotta az 1:4000 méretarányú EOTR földmérési alaptérképnek megfelelő vektoros **ingatlan-nyilvántartási térképi adatbázisnak** a dolgozat szempontjából releváns részét dxf formátumban (engedélyszám: FF/879/1/2016). A **Szell Kálmán tér felújításának kiviteli terveit** a FŐMTERV Zrt. biztosította számomra dwg formátumban. Ezek mellett felhasználtam a **Google Earth képeit és a felszínmodelljéből kinyerhető magassági értékeket**, továbbá segítségemre volt a **Google Street View** is. Néhány további információt **helyszíni adatgyűjtéssel** szereztem be, illetve ellenőriztem az egyéb forrásokból származó adatok helyességét.

Az LCZ-típusok meghatározásához szükséges paraméterek kiszámításához **a következő adatokat használtam fel: az épületek alaprajzát és magasságát, a vízáteresztő felszíneket, a lombkorona kiterjedését és magasságát és a domborzatot**. A földmérési alaptérkép és a felújítás kiviteli tervei kivételével az alapanyagul szolgáló információkat (épületek magassága, fák lombkoronája, domborzat) a **Google Earth Pro** segítségével állítottam elő. A szerkesztési munkákat az **ESRI ArcGIS 10.4-es** verziójában végeztem (ArcMap, ArcScene).

A fent említett alapanyagok elkészítése után azok feldolgozására és az LCZ-osztályok meghatározására egy **Python szkriptet** (lcz.py, CD mellékleten) írtam, **melyben az ArcGIS eszközeit használtam fel** az ArcPy funkciók (site package) segítségével. Az égboltláthatóságot a GÁL és UNGER (2014) által fejlesztett **SVF Mapping Tool** programmal számítottam ki.

Az eredményeket térképeken szemléltettem, melyeket az **Adobe Illustrator** programban készítettem el, a MAPublisher bővítmény felhasználásával.

4.2. Alapanyagok elkészítése

Az LCZ-osztályozáshoz használatos paraméterek kiszámításához szükségem volt az épületek alaprajzára és magasságára, a vízáteresztő felszínekre, a lombkorona kiterjedésére és magasságára, valamint a domborzatra. A vízáteresztő felületeket elég csak a mintaterületen belül elkészíteni, a többi alapanyag azonban szükséges a terület határát övező további néhány tíz méteres körzetben is, hogy mintaterület szélein is pontosan meghatározható legyen az égboltláthatóság. Az alapanyagokat a mellékletben felsorolt adatrétegekben (feature classokban), az ott megadott attribútumokkal tároltam.

4.2.1. Épületek alaprajza

A földmérési alaptérképeket dxf formátumú fájlokban kaptam meg (kerületenként külön állományban, melyek szerkezete a kisebb eltérésektől eltekintve azonos). Ezekből először az ArcGIS-geoadatbázisbeli feature classokba exportáltam a számomra hasznos rétegeket, melyek kiindulási adatokként szolgáltak a későbbiekben.

A földmérési alaptérképek megfelelő rétegein tárolt vonalláncokból **poligonokat készítettem**. Ekkor a **belső udvarokból** is épületpoligonok lettek, ezeket töröltem. Az alaptérképekben szerepelnek **egyéb épületrészek** a 'Terepszintre vetített külső falsík' nevű rétegen. Ezek felszín alatti (például mélygarázs) vagy túllógó (például földszinti árkád fölötti rész) épületrészeket jelölnek. Egyeseket egyedi elbírálás alapján belevontam az épületekbe, a többit pedig csak az érdességi elemek magasságánál (HRE) és az égboltláthatóságnál (SVF) vettem figyelembe.

Ezt követően a Google Earth és a Street View képei alapján **pontosítottam az épületek geometriáját** (töröltem a nagyon kicsi, elhanyagolható részleteket, pótoltam néhány hiányzó épületrészt, a lebontottakat töröltem). A jelenlegi állapotot a kiviteli tervek alapján készítettem el, a legfrissebb változásokat pedig helyszíneléssel szereztem be.

4.2.2. Épületek magassága

Első közelítésben a SALAMON szakdolgozatában (2015) használt eljárást alkalmaztam, azaz megszámláltam a szintek számát a Street View segítségével. (Erre kényelmes lehetőséget biztosít a QGIS go2streetview modulja, mely felhasználóbarátabb, mint az ArcGIS hasonló célú, StreetView and Birds Eye Toolbar nevű bővítménye.) A

szintek számát három méterrel szorozva szerettem volna megbecsülni az épületek magasságát. A módszer alkalmazása során azonban felmerült néhány probléma. A mintaterületen az épületszintek belmagassága különböző, több esetben az egymás mellett lévő épületeké is jelentősen eltér. Így előfordul, hogy két szomszédos épület azonos magasságú, de nem egyezik a szintek száma, vagy fordítva, azonos szintszám esetén az épületmagasság jelentősen különbözik. Másrészt gyakoriak a félemeletek, a szuterén és felszuterén szintek.

Ezért más módszert kerestem az épületek magasságának meghatározására. A **Google Earth Pro**ban lehetőség van **3D-s távolság mérésére**, ezzel a célnak megfelelő pontossággal lemérhető a magasság ott, ahol jól látszik az épület alja és teteje is (2. ábra). Szűk utcákban rendszerint nem használható megbízhatóan az eljárás, mivel az utca túloldalán lévő házak kitakarják az épületek alját. Emellett problémát okoz még a házakhoz közeli sűrű növényzet is. Azokon a helyeken, **ahol a 3D-s távolságmérés nem kivitelezhető, a szintszámok és a szomszédos épületek magassága alapján**, a Google Earth felszínmodelljét figyelembe véve, **becsültem** a magasságokat.

Az épületek átlagos magasságát vettem figyelembe. A nagyobb területű, jelentősen eltérő magasságú épületrészeket leválasztottam, és külön rendeltem értéket hozzájuk. Minden épületet lapostetősnek tekintettem, tehát az ereszmagasságot adtam meg.

A terület domborzata miatt előfordul, hogy különböző pontokban mérve más magasságot (és olykor eltérő szintszámot) kapunk ugyanarra az épületre. Ezt témavezetőm javaslatára úgy küszöböltem ki, hogy a magasságmérés helyét egy ponttal jelöltem.

4.2.3. Vízáteresztő területek

A felújítás kiviteli tervei a felszínborítást igen részletesen ábrázolják a régi és a jelenlegi állapotra is. Azonban ezek csak a **Szél Kálmán térre** álltak rendelkezésemre. A tér területére a vízáteresztő felszíneket innen vettem át, a többi részre azonban máshonnan kellett adatot szereznem.

A burkolt területek (vízzáró) és a zöldterületek (vízáteresztő) az **alaptérképen pontatlanul szerepelnek** (az utcák csak földrészlethatáráként jelennek meg, néhol a zöldterületek, néhol pedig a burkolt területek körbehatárolása hiányzik, sokszor nem egyértelmű, hogy mire vonatkoznak a vonalak). Ezért a felszínborítást a **Google Earth**

alapján rajzoltam be. Ez több esetben is okozhat pontatlanságot, főként a belső udvarok árnyékossága miatt, de az alaptérkép adatainak átvételénél pontosabb. A fontosabb kérdéses részleteket **a terepen ellenőriztem.**

Ebből fakadóan a vízáteresztő területek ábrázolása inhomogén, a tér területén részletesebb és pontosabb.

4.2.4. Fák lombkoronájának kiterjedése és magassága

A fák lombkoronájának kiterjedését és magasságát is a Google Earth segítségével határoztam meg. Egy felülettel (a felszínhez való jobb illeszkedés érdekében hálószerűen egymáshoz illeszkedő poligonokkal) fedtem le a mintaterületet. Majd **a felület magasságát a Google Earth felszínéhez képest 5, 10, 15, 20 és végül 25 méterre állítottam be.** Minden magasság szintben **körberajzoltam a fák adott felület feletti részét.** Így megkaptam a lombkoronák metszetét 5 méterenkénti magasságban (4. ábra).

A Google Earthben nehézkes a lombkorona körberajzolása, mivel nem a felszínen kell húzni a vonalat. Viszont a Google Earth Proban van lehetőség a képernyőkép nagy felbontású raszterként való mentésére, melyet utólag georeferáltam, és ArcGIS-ben digitalizáltam a lombkoronákat. E módszerrel tehát csak azokat a fákat rajzoltam körbe, amelyek magasabbak 5 méternél, és elég terjedelmesek ahhoz, hogy megjelenjenek a Google Earth modelljében.

A **kiviteli tervekben** minden tervezett és meglévő fát feltüntettek, mely jó alapul szolgált **a Széll Kálmán tér fáinak** ábrázolásához. Azonban a régi állapot több helyen hiányos, és a felújítási tervekben szereplő fák helyei sem egyeznek meg teljesen a megvalósult állapottal. Az átépítés előtti **5 méternél alacsonyabb fákat a Google képei és a Street View segítségével** rajzoltam be, a jelenlegi helyzetet pedig a **helyszín bejárásával** javítottam. Így a vízáteresztő rétegekhez hasonlóan a fák ábrázolása sem egységes a mintaterületre, annak központi részén, a Széll Kálmán téren ez is aprólékosabb.

4.2.5. Domborzat

Kezdetben az 1"-es felbontású STRM (Shuttle Radar Topography Mission) felszínmodelljét szerettem volna felhasználni, de annak sem a részletessége, sem a pontossága nem felel meg a feladathoz. A Google Earth felszínmodellje azonban igen

részletes a mintaterületen, és a topográfiai térképek magassági adataival való összehasonlítás alapján úgy ítélt meg, hogy a feladathoz megfelelően pontos.

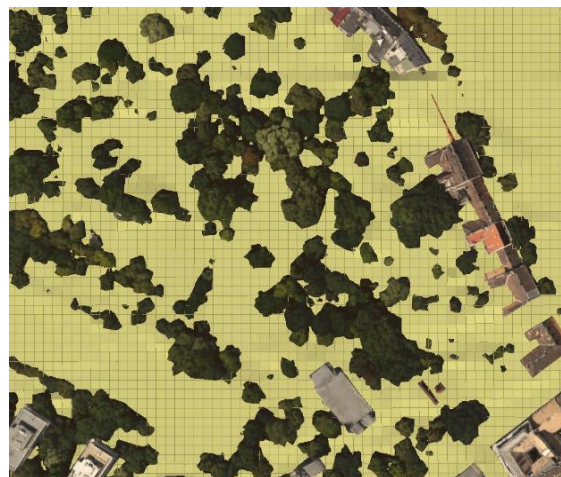
Ezek a magasságok azonban automatikusan nem nyerhetők ki, ezért a későbbiekben felhasznált domborzatmodellt én magam készítettem el a **Google Earth felszínmodellje alapján**. Ehhez a területen lévő **utcák középvonalának magasságát és a főbb idomvonalakat használtam fel**, melyeket a Google Earthben és az ArcScene-ben rajzoltam meg (3. ábra). A későbbiekben ezekből a 3D-s vonalakból egyszerű domborzatmodellt hoztam létre (triangulated irregular network, TIN).



2. ábra Épületek magasságának mérése a Google Earth Proban.



3. ábra Főbb idomvonalak berajzolása a Google Earth Proban, melyek a domborzatmodell alapját adták.



4. ábra A Városmajor részlete egy a felszíntől 5 (bal oldalt) és 10 méteres (jobb oldalt) magasságba állított felülettel. A lombkorona látható részét körberajzolva megkapjuk annak metszetét az adott magasságban.

4.3. A paraméterek meghatározása

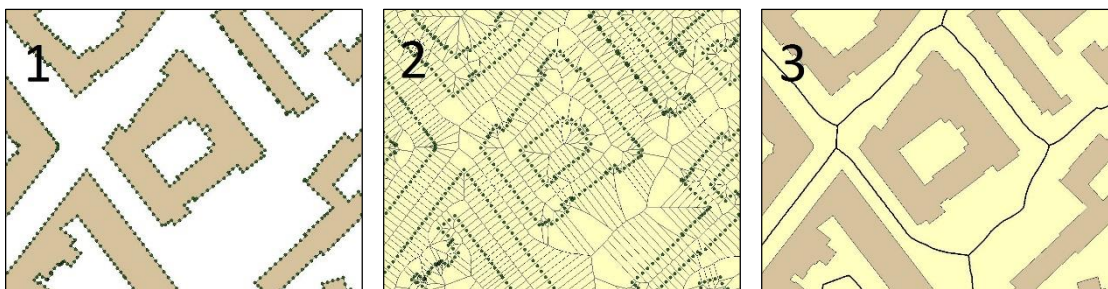
Az alapanyagok előállítása után kiszámítottam az LCZ-osztályozáshoz felhasznált paraméterek értékét. Ahogyan korábban már írtam, a következő öt paramétert tudtam megadni a rendelkezésemre álló adatokból: az épület-alapterület arányát (BSF), a vízzáró felszínek arányát (ISF), a vízáteresztő felszínek arányát (PSF), az érdeességi elemek magasságát (HRE) és az égboltláthatóságot (SVF).

Ebben a fejezetben a munkafolyamatnak azt a részét mutatom be, melyet már a Python szkript (lcz.py, CD mellékleten) segítségével végeztem el. Ez megkönnyítette és jelentősen gyorsabbá tette a művelet többszöri ismételt és korrigált adatokkal történő futtatását. Az adatok feldolgozásánál, és az LCZ-típusok meghatározásánál felhasznált ArcGIS-toolok, és azok paraméterei, illetve a számítások pontos menete megtalálható a szkriptben, melyben a lépéseket kommentekben magyarázom. A dolgozatban a munkafázisok leírásakor a szkript egyes részeire a sorok számával hivatkozom (az általam készített eljárások esetén a hívás helyének sorszámát adom meg).

4.3.1. A telekpoligonok létrehozása

A szegedi egyetem kutatóinak munkája (LELOVICS ET AL. 2014b, UNGER ET AL. 2014b), valamint SALAMON szakdolgozata (2015) alapján az egyes **épületeket tömbökbe vontam össze**, majd **elkészítettem** az épülettömbök körüli **telekpoligonokat** (lcz.py, 54–83. sor). A későbbiekben ezekre vonatkoztatva számítottam ki az LCZ-típusokat meghatározó paramétereket. Egy ilyen telekpoligon azon pontok összessége, melyek az adott épülettömbhöz esnek a legközelebb. A telekpoligonok hiány- és átfedésmentesen töltik ki a területet. Ezek mentén húztam meg a mintaterület határvonalát.

Ez a gyakorlatban úgy történt, hogy az épülettömbök mesterségesen sűrített töréspontjait pont típusú fájlba exportáltam, a pontok köré Voronoi–Thiessen-poligonokat készítettem. Ezt követően összevontam az azonos épülettömbhöz tartozó poligonokat, így megkaptam a telekpoligonokat. A megfelelő számú töréspont biztosítja a telekpoligonok pontosabb határvonalát (SALAMON 2015), ezért volt szükség az épülettömbök vertexeinek sűrítésére. (5. ábra)



5. ábra Telekpoligonok készítése: (1) épülettömbök töréspontjainak sűrítése, (2) Voronoi–Thiessen-poligonok létrehozása a töréspontok köré, (3) az azonos épülettömbhöz tartozó Voronoi–Thiessen-poligonok összevonása egy telekpoligonná.

4.3.2. A paraméterek kiszámítása

Épület-alapterület aránya (Building Surface Fraction, BSF)

Az épület-alapterület aránya a telekpoligonon belüli épületek alapterületének a telekpoligon területéhez viszonyított arányát mutatja meg. Értéke 0 és 100% közötti lehet. Az előző lépések során már elkészítettem az épülettömböket (melyek nem tartalmazzák a túlnyúló, felszínnel nem érintkező épületrészeket) (lcz.py, 57–63. sor). A paraméter kiszámításához minden telekpoligonhoz hozzárendeltem a központi épülettömb területét (lcz.py, 187–189., 211–215. sor). A BSF paraméter értékét az épülettömbök területének és a telekpoligonok területének hányadosa adja (lcz.py, 241–261. sor).

Vízáteresztő felszínek aránya (Pervious Surface Fraction, PSF)

A vízáteresztő felszínek aránya a telekpoligon vízáteresztő felszíneinek (talaj, növényzettel fedett terület, vízfelület) aránya a teljes területéhez képest. 0 és 100% közötti értéket vehet fel.

A paraméter meghatározásához először elvágtam a vízáteresztő területek poligonjait a telekpoligonokkal, majd attribútumban tároltam a vágott vízáteresztő felszíndarabok területét (lcz.py, 171–176. sor). Ezt követően hozzárendeltem a telekpoligonokhoz a területükre eső vízáteresztő felszínek összterületét (lcz.py, 217–221. sor), melyet a telekpoligonok területével osztva, a PSF paraméter értékét kaptam eredményül (lcz.py, 241–261. sor).

Vízzáró felszínek aránya (Impervious Surface Fraction, ISF)

A vízzáró felszínek aránya a telekpoligon vízzáró (burkolt, sziklás) felszíneinek a teljes területéhez viszonyított arányát jelenti. Értéke 0 és 100% közötti lehet. A paraméter kiszámítható az előzőleg meghatározott épület-alapterület arányából és a vízáteresztő felszínek arányából: $ISF = 100 - (BSF + PSF)$ (lcz.py, 241–261. sor).

Érdességi elemek magassága (Height of Roughness Elements, HRE)

Az érdességi elemek magassága a telekpoligon területén lévő érdességi elemek, azaz az épületek és a növényzet alapterülettel súlyozott átlagos magassága méterben kifejezve. Ennek kiszámításához az épülettömbök és a lombkorona telekpoligonokra eső alapterületével súlyozott felszíntől mért átlagos magasságára volt szükségem.

A domborzatból adódóan több olyan épület is található a mintaterületen, amit különböző helyeken mérve más magasságot kapunk. A számítás során az épületek átlagos magasságát vettem figyelembe. Ennek meghatározásához első lépésben a magasságértékeket tartalmazó pontokhoz hozzárendeltem a felszín magasságát. Ezt a terep jellegzetes 3D-s vonalaiból készített domborzatmodellből nyertem. A két magassági érték összege adja az épület abszolút magasságát (lcz.py, 89–99. sor). Az átlagos relatív magasság kiszámítása pedig úgy történt, hogy az abszolút magasságból kivontam a domborzatmodell épület alatti részének átlagos magasságát (lcz.py, 101–105. sor). A fák esetében már eleve a relatív magasságok álltak a rendelkezésemre.

Az épületeknél a túlnyúló épületrészeket figyelembe vettem, a lombbal fedett részeket viszont töröltem (lcz.py, 107–100. sor), hogy ezek a területek ne vegyenek részt kétszer a számításban. Majd elvágтам az épületeket és a lombkoronát a telekpoligonok határával, és attribútumban eltároltam a darabok területét, valamint az alapterületnek a felszíntől mért magassággal való szorzatát (lcz.py, 162–169., 178–185. sor). A telekpoligonokhoz hozzárendeltem a területükre eső épület-, illetve lombkoronadarabokra kiszámított szorzatok összegét, valamint az alapterületek összegét (lcz.py, 223–232. sor). Osztottam a két mennyiséget egymással, így megkaptam az épületek és a lombkorona alapterülettel súlyozott magasságát (lcz.py, 241–261. sor):

$$\Sigma(\text{alapterület} * \text{magasság}) / \Sigma \text{alapterület}.$$

Égboltláthatóság (Sky View Factor, SVF)

Az égboltláthatóság a „látható” égbolt (azaz az égbolt azon része, melyet az adott felszíni pontból szemlélve nem fednek ki akadályok) és a teljes félgömb felületének arányát jelenti egy adott felszíni pontból nézve. Értéke 0 és 1 közötti lehet.

Mivel az ArcGIS-en belül nem találtam egyszerű lehetőséget arra, hogy kiszámítsam az égboltláthatóságot, a GÁL és UNGER (2014) által fejlesztett, vektoros alapú SVF Mapping Tool⁴ nevű programot használtam erre a célra.

A számításhoz bemenő adatként a szoftver .shp fájlokat vár: egy poligon típusút, mely az épületek alaprajzát tartalmazza, és egy pont típusút, melyben azok a helyek szerepelnek, ahová szeretnénk, hogy a program kiszámítsa az égboltláthatóságot. Opcionálisan megadhatunk még egy poligon típusú fájlt, melyben a fák lombkoronája van, ezzel pontosabbá tehetjük a számított paraméter értékét. A magasságot mindhárom fájl esetén egy attribútumban kell tárolnunk, használhatunk relatív magasságot (ekkor minden álláspont magasságának nullát kell megadnunk) vagy abszolút magasságot. A módszerrel a terület domborzatát olyan módon vehetjük figyelembe, hogy a bemenő adatok abszolút magasságát használjuk. A domborzatmodell azon területeit tehát nem veszi figyelembe a program, amelyek a bemenő adatok között helyezkednek el (pl. álláspont és épület között). Mivel a mintaterületen nincsenek olyan jelentős domborzati akadályok, amelyek kitakarják az égboltot bármelyik álláspontból (pl. sziklafal, letörés, mélyút, stb.) ez nem okoz számottevő hibát jelen esetben.

Mivel szerettem volna, hogy a domborzat is reprezentálva legyen a számításokban, az abszolút magasságokat adtam meg a bemenő adatoknál. Ez az épületekre már rendelkezésemre állt. A számítási pontok magasságát a korábban elkészített domborzatmodellből vettem (lcz.py, 138–139. sor). A fák esetében azonban a lombkorona felszíntől mért magassága volt adott, ebből ki kellett számítanom az abszolút magasságokat. Ehhez felosztottam a poligonokat egy 5×5 méteres rácsávolságú hálóval, majd a lombrészeket magasságához hozzáadtam az alattuk lévő felszín átlagos magasságát, melyet szintén a domborzatmodellből nyertem (lcz.py, 112 – 130. sor). Ahhoz, hogy a mintaterület szélén is megfelelő égboltláthatóság-értékeket kapjak, egy bővebb terület épületeit és fáit kellett tartalmaznia a bemenő fájloknak. A program készítői egy 50 méteres sávban adták meg ezeket az adatokat. Én a terület határai mentén egy-egy épületet és a környező fákat vettem figyelembe. Abban az esetben, ha a

⁴ Elérhetőség: <http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/OTKA100352e.htm>

mintaterület határához közel nem volt sem épület, sem magas fa, akkor 100 méteres távolságig kerestem akadályt.

GÁL és UNGER (2014) tanulmányához hasonlóan egy 5×5 méteres rácshálóra számítottam ki az égboltláthatóságot, mely nem tartalmazta az épületek területét (lcz.py, 113–117., 132–137. sor). A szerzők által javasolt paraméterértékeket használtam, azaz a számításokat 1°-onkénti irányokban végeztem, az akadályokat 200 méteres távolságig vettem figyelembe, a fák átláthatósági paramétereként pedig 0,863591-et adtam meg, mely egy tapasztalati úton meghatározott konstans érték (UNGER 2009, GÁL & UNGER 2014). A számítás ekkora méretű bemenő adatokkal és ezekkel a paraméterekkel több óráig tartott. Az eredményül kapott értékeket átlagoltam a telekpoligonok területére (lcz.py, 234–238. sor).

4.4. Az LCZ-típusok meghatározása

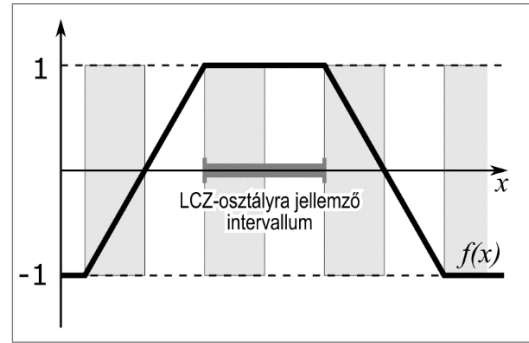
Az előző fejezetben ismertetett módon meghatározott paraméterek alapján elvégezhető az egyes telekpoligonok LCZ-osztályokba sorolása.

STEWART és OKE (2012) az LCZ-rendszer leírásakor megjegyzi, hogy egy területnek nem feltétlenül fog minden fizikai paramétere egy LCZ-re megadott intervallumba esni. Ebben az esetben ajánlásuk szerint a pont jellemezhető a hozzá paraméterekben legközelebb álló klímazónával, a jelentős eltéréseket kiemelve. Az altípusok használatát nem javasolják, hacsak a másodlagos vagy harmadlagos jelleg nem bír különös jelentőséggel a kutatás szempontjából. Ezért én sem használtam altípusokat.

LELOVICS ET AL. (2014b) és UNGER ET AL. (2014b) módszere alapján **egy függvény segítségével (6. ábra) telekpoligononként minden LCZ-osztályhoz öt pontszámot rendeltem hozzá aszerint, hogy az adott paraméternek a poligonra vonatkozó értéke mennyire illik az adott osztályra** STEWART és OKE (2012) által meghatározott intervallumba (2. táblázat). Majd ezeket a pontokat összegeztem, és kiválasztottam lehetséges eredményként a két legmagasabb összpontszámú osztályt. Abban az esetben, ha a legnagyobb összpontszámú LCZ-osztály elért egy bizonyos értéket, hozzárendeltem azt a telekpoligonhoz. Néhány poligon esetén nem volt olyan LCZ-típus, amelyik elérte ezt a küszöbértéket, így ezeket osztályozatlanul hagytam (lcz.py, 303–407. sor).

A pontokat kiszámító függvény (6. ábra) 1-et rendel a paraméterhez, ha annak a vizsgált telekpoligonra meghatározott értéke beleesik az adott klímazónára jellemző

intervallumba (2. táblázat), -1 -et, ha a zónára jellemző minimális/maximális értéknél az intervallum hosszánál nagyobb értékkel tér el negatív/pozitív irányban. A köztes értékekhez lineáris függvény rendel -1 és 1 közti számot (lcz.py, 272–293. sor). Így a pontok összegzése után egy LCZ-osztály maximum 5 , minimum -5 pontot



6. ábra A pontokat kiszámító függvény.

kaphat. A mintaterületre kapott eredmények alapján 1 -et határoztam meg küszöbértékként, aminél alacsonyabb maximális összpontszámok alatt már osztályozatlanul hagytam a telekpolygonokat.

2. táblázat A lokális klímazónák jellemző, STEWART és OKE (2012) által meghatározott paraméterértékei. A táblázatban csak annak az öt paraméternek az értékét tüntettem fel, amelyeket meghatároztam a mintaterületen.

Lokális klímazóna (LCZ)	Épület-alapterület aránya (BSF)	Vízáteresztő felszínek aránya (PSF)	Vízzáró felszínek aránya (ISF)	Érdességi elemek magassága (HRE)	Égbolt-láthatóság (SVF)
LCZ 1 kompakt magas	40–60	< 10	40–60	> 25	0,2–0,4
LCZ 2 kompakt közepes	40–70	< 20	30–50	10–25	0,3–0,6
LCZ 3 kompakt alacsony	40–70	< 30	20–50	3–10	0,2–0,6
LCZ 4 nyitott magas	20–40	30–40	30–40	> 25	0,5–0,7
LCZ 5 nyitott közepes	20–40	20–40	30–50	10–25	0,5–0,8
LCZ 6 nyitott alacsony	20–40	30–60	20–50	3–10	0,6–0,9
LCZ 7 könnyűszerkezetű alacsony	60–90	< 30	< 20	2–4	0,2–0,5
LCZ 8 kiterjedt alacsony	30–50	< 20	40–50	3–10	> 0,7
LCZ 9 alig beépített	10–20	60–80	< 20	3–10	> 0,8
LCZ 10 nehézipar	20–30	40–50	20–40	5–15	0,6–0,9
LCZ A sűrű fás	< 10	> 90	< 10	3–30	< 0,4
LCZ B ritka fás	< 10	> 90	< 10	3–15	0,5–0,8
LCZ C bokros	< 10	> 90	< 10	< 2	0,7–0,9
LCZ D alacsony növényzet	< 10	> 90	< 10	< 1	> 0,9
LCZ E csupasz szikla/burkolt	< 10	< 10	> 90	< 0,25	> 0,9
LCZ F csupasz talaj/homok	< 10	> 90	< 10	< 0,25	> 0,9
LCZ G víz	< 10	>90	< 10	–	> 0,9

5. Az eredmények értelmezése

A mintaterületen a felújítás előtti állapotban 50 telekpoligont, míg a felújítás után – főként a Széll Kálmán téren megszüntetett „gombák”, és a Millenáris parknál történt épületbontások miatt – 41-et hozott létre az algoritmus. Ezek területe átlagosan 7287 m², illetve 8539 m². A korábbi állapotban 11, a jelenlegiben pedig 10 olyan poligon van, amelyeknek 1000 m² alatti a területe. Ezek rendszerint egy-egy kis magasságú és alapterületű épület (például garázs) körül keletkeztek, és felük egy-egy másik, jelentősen nagyobb telekpoligonon belül helyezkedik el.

Az előző fejezetben ismertetett módszerrel és a pontszámra megszabott osztályozási küszöbértékkel mindkét állapotban 2 kisméretű poligon maradt osztályozatlanul (mindkettő területe 130 m² alatti). A többi telekpoligont sikerült valamilyen LCZ-típusba besorolni az elért pontszámok alapján. A 2014-es állapotban 50 telekpoligonból 7 kapta a maximálisan elérhető 5 pontot, azaz ezekre minden általam vizsgált paraméter értéke beleesett a STEWART és OKE (2012) által az adott osztályra meghatározott intervallumba. További 14 kapott 4 feletti pontszámot, ami szintén igen jó illeszkedést jelent. A 2017-es állapotban is hasonló a helyzet, 41 poligonból 7 ért el 5 pontot, 12 pedig 4 és 5 közöttit. Megfigyelhető, hogy főleg a tereken lévő telekpoligonok és a kisméretűek értek el alacsony pontszámot mindkét vizsgált időpontban.

Kiszámítottam minden telekpoligon esetén a két legmagasabb pontszám különbségét. Ez az érték a korábbi állapotban az 50 poligonból 7-nél, míg a mostani állapotban 41-ből 8-nál 0,1 alatti, ami a pontszámok lehetséges intervallumának 1%-a, azaz igen kis különbséget jelent. Ez a szám 2014-ben 11 esetben, 2017-ben pedig 6 esetben éri el a 10%-ot, míg 26, illetve 14 esetben az 5%-ot. Meglepő módon több olyan eset is előfordul, amikor az adott telekpoligon mindkét legjobban illeszkedő osztálya magas pontszámot kapott. 2014-ben 3 olyan poligon van, amelyre kettő darab 4 pont feletti és kevesebb, mint 0,1 különbségű LCZ-típust talált az algoritmus, 2017-ben pedig 4 darab 3,5 pont feletti ilyen poligon van. Ezeknél az LCZ 5 (nyitott közepes) és az LCZ 2 (kompakt közepes), valamint egy-egy esetben az LCZ 5 (nyitott közepes) és LCZ 3 (kompakt alacsony), valamint az LCZ 3 (kompakt alacsony) és LCZ 2 (kompakt közepes) párok értek el nagyon hasonló, magas pontszámot. Mindkét évben előfordult egy-egy olyan poligon, amelyek esetén ugyanannyi, 1 pontot szerzett a két legjobban illeszkedő LCZ-osztály, az LCZ B (ritka fás) és az LCZ 8 (kiterjedt alacsony). Mindkettő

telekpoligon a Széll Kálmán téren helyezkedik el. A paraméterértékek figyelembevételével ezekben az esetekben az LCZ 8 osztályt választottam.

Többségében az egyes telekpoligonok jellegét jól írja le a hozzájuk rendelt LCZ-osztály. Mindkét vizsgált időpontban előfordulnak a következő típusok a területen: LCZ 2 (kompakt közepes), LCZ 3 (kompakt alacsony), LCZ 5 (nyitott közepes), LCZ 6 (nyitott alacsony), LCZ 8 (kiterjedt alacsony), LCZ 9 (alig beépített), LCZ A (sűrű fás) és LCZ E (csupasz burkolt). Ezeken kívül a 2014-es állapotban volt még LCZ B (ritka fás) típus is.

A 2017-ben a Széll Kálmán tér nagyobb része került a környező épülettömbök telekpoligonjaiba. Ennek köszönhetően hatással volt azok paraméterértékeire, mely néhány esetben a terület LCZ-típusának megváltozásával is járt. A Millenáris park és a Margit körút közti épületbontások hatására itt is átrendeződtek a poligonhatárok, és a markáns változás természetesen érezteti hatását a terület lokális klímájában is. A két időpontban a létrehozott telekpoligonok, és az általuk kialakított területhatárok nem azonosak, a továbbiakban csak a közös részt vizsgálom, ami megegyezik a 2017-es állapot területével.

Első ránézésre is megállapítható, hogy a beépített típusok vannak túlsúlyban. A terület nagy része az átépítések előtt és után is az LCZ 2 (kompakt közepes) és az LCZ 5 (nyitott közepes) típusba tartozik. Míg az **LCZ 2** osztály 2014-ben a vizsgált terület több mint felét (62,66%) tette ki, 2017-re ez az arány a korábbinak kevesebb, mint 60%-ára csökkent (37,31%). Az **LCZ 3** (kompakt alacsony) bár hozzávetőlegesen hatod akkora területet foglalt el, mint az LCZ 2, a csökkenés itt is jelentős, alig maradt terület, ami ebbe a kategóriába tartozik. A Széll Kálmán tér átépítésének hatására 2017-ben kisebb rész tartozik az **LCZ E** (csupasz burkolt) típusba is. A korábbi állapotban a Széll Kálmán térről a VárfoK utcára vezető lépcső környéke az **LCZ B** (ritka fás) kategóriába tartozott, mostanra viszont eltűnt ez az osztály a mintaterületről. Ez azonban nem mondható számottevő változásnak, hiszen az összterület kevesebb, mint 0,5%-át tette ki. A fenti kategóriák főként az **LCZ 5** (nyitott közepes) rovására zsugorodtak, jelenleg a vizsgált terület majdnem fele ebbe a klímazónatípusba tartozik. Emellett az **LCZ 6** (nyitott alacsony) és **LCZ 8** (kiterjedt alacsony) osztályok területe nagyjából megduplázódott. Az **LCZ 9** (alig beépített), **LCZ A** (sűrű fás) és az **osztályozatlanul** maradt poligonok területe nem változott, összesen 0,14%-át teszik ki a vizsgált területnek. (3. táblázat)

UNGER ET AL. (2014a) korábbi terepi mérések adatait vizsgálta a Szegeden előforduló klímazónákra. Egy kedvező időjárású napon az összes mért értékhez képesti eltérés alapján csökkenő sorba rendezve a klímazónákat a következőt kapjuk: LCZ 2,

LCZ 3, LCZ 5, LCZ 8, LCZ 6, LCZ 9 és LCZ D. Ez megerősíti, hogy az átépítések hatására az általam vizsgált terület lokális klímáján kevésbé érződik a városi hősziget melegítő hatása, mivel éppen a legnagyobb hőtöbblettel jellemezhető osztályok területe csökkent jelentős mértékben.

A **Szell Kálmán térre külön** is elvégeztem a felújítás előtti (2014) és utáni állapot (2017) összehasonlítását (4. táblázat). Ebben az esetben paraméterek számításának vonatkozási területének az átalakítás által érintett részt tekintettem. Az épület-alapterület aránya (BSF) minimálisan, a vízáteresztő felszínek aránya (PSF) jelentősebben, majdnem 7%-kal nőtt. Ennek megfelelően a vízzáró felszínek aránya (ISF) csökkent. Az érdességi elemek magassága alig, míg az égboltláthatóság egyáltalán nem változott. Tehát az átépítés hatása a tér területére számított paraméterekben kevésbé érződik, a zöldterületek növekedését leszámítva. Ennek megfelelően, ha LCZ-osztályba kellene sorolni a területet, akkor a két állapotban ugyanazok az osztályok illenének a leginkább hozzá, az LCZ 8 (kiterjedt alacsony) vagy az LCZ B (ritka fás).

A néhány esetben elért alacsony pontszámból, vagy a két leginkább illeszkedő klímazonatípus hasonló pontszámából fakadóan előfordulhat, hogy az egyes területek nem a megfelelően lettek besorolva. Véleményem szerint ez többek között abból fakad, hogy a STEWART és OKE (2012) által meghatározott tíz paraméterből csak ötöt tudtam az osztályozáshoz felhasználni. Másrészt szerepet játszhat az is, hogy a telekpoligonokat külön-külön soroltam osztályba. Elképzelhető, hogy nagyobb területegységekhez biztosabban lehetne hozzárendelni egy-egy LCZ-típust. A diplomamunkámnak azonban ennek vizsgálata nem célja.

Összességében elmondható, hogy az átépítések kedvezően befolyásolták a mintaterület lokális klímáját a vizgálathoz alkalmazott módszer szerint.

3. táblázat Az egyes LCZ-osztályok összterülete és ennek aránya a teljes vizsgált területhez (a 2014-re és a 2017-re meghatározott mintaterület közös részéhez) képest. Az utolsó oszlop a két állapot közti különbséget mutatja a teljes terület arányában.

Lokális klímazóna (LCZ)	2014		2017		Változás (%)
	Terület (m ²)	Arány (%)	Terület (m ²)	Arány (%)	
LCZ 2 kompakt közepes	219 362	62,66	130 624	37,31	-25,35
LCZ 3 kompakt alacsony	36 271	10,36	1 191	0,34	-10,02
LCZ 5 nyitott közepes	64 866	18,53	172 553	49,29	30,76
LCZ 6 nyitott alacsony	6 472	1,85	13 299	3,80	1,95
LCZ 8 kiterjedt alacsony	12 286	3,51	26 825	7,66	4,15
LCZ 9 alig beépített	48	0,01	48	0,01	0,00
LCZ A sűrű fás	198	0,06	198	0,06	0,00
LCZ B ritka fás	1 653	0,47	0	0,00	-0,47
LCZ E csupasz burkolt	8 710	2,49	5 127	1,46	-1,03
osztályozatlan	230	0,07	230	0,07	0,00

4. táblázat Az LCZ-osztályozás Széll Kálmán tér területére kiszámított paraméterei a 2014-es és 2017-es állapotra. Az utolsó oszlop a felújítás okozta változást mutatja.

Paraméter	2014	2017	Változás
BSF épület-alapterület aránya (%)	5,37	5,73	0,36
PSF vízáteresztő felszínek aránya (%)	16,03	23,02	6,99
ISF vízzáró felszínek aránya (%)	78,60	71,25	-7,35
HRE érdességi elemek magassága (m)	9,75	10,08	0,33
SVF égboltnálthatóság	0,71	0,71	0,00

6. Térképek készítése

A mintaterület telekpoligonjainak LCZ-típusát, és az osztályozáshoz felhasznált paraméterek értékeit a mellékletben lévő térképeken mutatom be. A térképeket az Adobe Illustrator programban, a MAPublisher bővítmény felhasználásával szerkesztettem 1:7200 méretarányban, EOVI vetületben. Tájékoztatásul feltüntettem az épületeket és az utcákat, tereket nevükkel együtt.

Az elkészített térképek:

- Épület-alapterület aránya – Building Surface Fraction, BSF (2014, 2017)
- Vízáteresztő felszínek aránya – Pervious Surface Fraction, PSF (2014, 2017)
- Vízszigetelő felszínek aránya – Impervious Surface Fraction, ISF (2014, 2017)
- Érdességi elemek magassága – Height of Roughness Elements, HRE (2014, 2017)
- Égboltnézet – Sky View Factor, SVF (2014, 2017)
- LCZ-típusok – Local Climate Zones, LCZs (2014, 2017)

Összefoglalás

A diplomamunkám célja a Széll Kálmán tér és a Széna tér, valamint az ezek körül elhelyezkedő épülettömbök területén az utóbbi években (2014–2017) történt átépítések klimatikus hatásának kimutatása. Ehhez a STEWART és OKE (2012) által kialakított lokális klímazónák rendszerét (Local Climate Zones, LCZs) használtam fel. Az osztályozási rendszer elsősorban a mérőhelyek környezetének standard jellemzésére szolgál, azonban felhasználható egy terület azonos klimatikus jellemzőkkel bíró részeinek lehatárolására, és térképen történő ábrázolására is (LELOVICS ET AL. 2014b).

A dolgozat első részében bemutattam a lokális klímazónák rendszerét, az újfajta osztályozás kidolgozásának szükségességét, és áttekintettem a rendszer alapjául szolgáló korábbi kutatásokat. Ezt követően ismertettem a főbb raszteres és vektoros geoinformatikai módszereket, melyekkel automatikus vagy félautomatikus módon előállítható egy terület LCZ-térképe.

A bemutatott eljárások közül én a Lelovics–Gál-féle (LELOVICS ET AL. 2014b) vektoros eljárást alkalmaztam, mellyel kiszámítottam a mintaterületre a STEWART és OKE (2012) által meghatározott, LCZ-osztályba soroláshoz szükséges tíz paraméter közül ötöt. Ezek az épület-alapterület aránya (Building Surface Fraction, BSF), a vízzáró felszínek aránya (Impervious Surface Fraction, ISF), a vízáteresztő felszínek aránya (Pervious Surface Fraction, PSF), az érdességi elemek magassága (Height of Roughness Elements, HRE), valamint az égboltláthatóság (Sky View Factor, SVF). A számítás alapegységeként az úgynevezett telekpoligonokat használtam. A paraméterek alapján a poligonokhoz hozzárendeltem a leginkább rájuk illő LCZ-típust. Ezt elvégeztem az átépítések előtti (2014) és utáni állapotra (2017) is.

A vizsgált terület kis mérete miatt az egyes poligonokat nem vontam össze, hogy elérjem a klímazónák kialakításához szükséges, néhány száz métertől néhány kilométerig terjedő területet, hanem külön vizsgáltam őket. A kapott eredményeket térképeken jelenítettem meg.

A mintaterületen túlsúlyban vannak a beépített típusok, köztük mindkét évben az LCZ 2 (kompakt közepes) és az LCZ 5 (nyitott közepes) típusnak a legnagyobb a kiterjedése. Az eredmények alapján megfogalmazható, hogy a terület átalakítása pozitívan befolyásolta a lokális klímát. Visszaszorult a zárt beépítettségű zónák jelentősége (LCZ 2 – kompakt közepes, LCZ 3 – kompakt alacsony), a korábbi 70% feletti területarány kevesebb, mint 40%-ra csökkent. Több lett a nyitottabb, jobban

szellőző terület (LCZ 5 – nyitott közepes, LCZ 6 – nyitott alacsony, LCZ 8 – kiterjedt alacsony). Emellett zsugorodott, a klimatikus szempontból szintén negatív, növényzet nélküli burkolt területek aránya is.

Ezt követően külön megvizsgáltam a Széll Kálmán tér felújításának hatását is. Ekkor a paramétereket a tér területére vonatkoztatva számítottam ki a két állapotra. Az öt paraméter közül jelentősen csak a vízáteresztő (PSF) és a vízzáró felszín aránya (ISF) módosult, ezekben hozzávetőlegesen 7%-os változás történt a megnövekedett zöldterületeknek köszönhetően.

Jelen dolgozat folytatását képezheti a klímazónák meghatározásának hőmérsékleti adatokkal való alátámasztása, és a terület felújításának humánkomfortra gyakorolt hatásának vizsgálata. A jelenlegi eredmények felhasználhatók a terület klimatóp térképének elkészítéséhez is.

Irodalomjegyzék

- AUER A. H. (1979): Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. *Journal of Applied Meteorology* 17(5), pp. 636–643.
- BECHTEL B., DANEKE C. (2012): Classification of local Climate Zones based on multiple Earth Observation Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 5(4), pp. 1191–1202.
- BECHTEL B., ALEXANDER P. J., BÖHNER J., CHING J., CONRAD O., FEDDEMA J., MILLS G., SEE L., STEWART I. D. (2015): Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4, pp. 199–219.
- BOTTYÁN ZS. (2009): A városi hősziget, mint a települések lokális klímájának markáns sajátossága. *Hadmérnök* 4(2), pp. 144–156.
- CHANDLER T. J. (1965): *The Climate of London*. London: Hutchinson, 292 p.
- DAVENPORT A. G., GRIMMOND C. S. B., OKE T. R., WIERINGA J. (2000): Estimating the roughness of cities and sheltered country. Preprints, 12th Conference on Applied Climatology, Asheville, USA, American Meteorological Society, pp. 96–99.
- ELLEFSSEN R. (1990/91): Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. *Energy and Buildings* 15–16, pp. 1025–1049.
- GAMBA P., LISINI G., LIU P., DU P. J., LIN H. (2012): Urban Climate Zone detection and discrimination using object-based analysis of VHR scenes. *Proceedings, 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazilia*, pp. 70–74.
- GÁL T., BECHTEL B., UNGER J. (2015): Comparison of two different Local Climate Zone mapping methods. *ICUC9 9th International Conference on Urban Climate and 12th Symposium on the Urban Environment*, Toulouse, Franciaország.
- GÁL T., UNGER J., (2014): A new software tool for SVF calculations using building and tree-crown databases. *Urban Climate* 10(3), pp. 594–606.
- HOWARD L. (1833): *The Climate of London Deduced from Meteorological Observations*, 2th ed., 3 vol., London: Harvey & Darton, 441 p.
- KRAYENHOFF E. S., STEWART I. D., OKE T. R. (2009): Estimating thermal responsiveness of local-scale climate ‘zones’ with a numerical modeling approach. *Extended Abstracts, T. R. Oke Symposium and 8th Symposium on Urban Environment*, Phoenix, USA, American Meteorological Society, J12.5.

- LELOVICS E., GÁL T., UNGER J., (2013): Mapping Local Climate Zones with a vector-based GIS method. *Air and Water Components of the Environment*, pp. 423-430.
- Lelovics E., Gál T., Unger J. (2014a): A városi beépítettség felszínközeli légrétegre gyakorolt hatásának elemzése Szeged térségében. *HUNGEO 2014 Magyar Földtudományi szakemberek XII. találkozója: Magyar felfedezők és kutatók a természeti erőforrások hasznosításáért*, Debrecen, Magyarország, pp. 271–275.
- LELOVICS E., UNGER J., GÁL T. (2014b): Design of an urban monitoring network based on Local Climate Zone mapping and temperature pattern modelling. *Climate Research* 61(1), pp. 51–62.
- OKE T.R. (2004): Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report 81, WMO/TD No. 1250, 47 p.
- OKE T.R. (2008): Urban observations. In: WMO No. 8: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 7th ed., Geneva, Part II Observing Systems, II-11-1–II-11-25.
- SALAMON J. (2015): Városi klimatóp térkép. BSc szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem Informatikai Kar, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Budapest, 52 p.
- STEWART I. D. (2011): A systematic and scientific critique of methodology on modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology* 31(2), pp. 200–217.
- STEWART I. D., OKE T. R., KRAYENHOFF E. S. (2014): Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal of Climatology* 34(4), pp. 1062–1080.
- STEWART I. D., OKE T. R. (2006): Methodological concerns surrounding the classification of urban and rural climate stations to define urban heat island magnitude. *Proceedings, 6th International Conference on Urban Climate*, Goteborg, Svédország, International Association for Urban Climate, pp. 431–444.
- STEWART I. D., OKE T. R. (2009a): A newly developed „thermal climate zones” for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer. *Proceedings, T. R. Oke Symposium and 8th Symposium on Urban Environment*, Phoenix, USA, American Meteorological Society, J8.2A.
- STEWART I. D., OKE, T. R. (2009b): Classifying urban climate field sties by „Local Climate Zones”: the case of Nagaro, Japan. *Extended Abstracts, 7th International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan.

- STEWART I. D., OKE T. R. (2010): Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. Extended Abstracts, 9th Symposium on Urban Environment, Keystone, USA, American Meteorological Society, 1.1.
- STEWART I. D., OKE T. R. (2012): Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(12), pp. 1879–1900.
- UNGER J. (2009): Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *International Journal of Environment and Pollution* 36(1–3), pp. 59–80.
- UNGER J., LELOVICS E., GÁL T. (2013): A vector-based GIS method for mapping of Local Climate Zones and its application in a Central-European city. *Proceedings, Two hundred years of urban meteorology in the heart of Florence: International Conference on Urban Climate and History of Meteorology*, pp. 244–253.
- UNGER J., LELOVICS E., GÁL T., MUCSI L. (2014a): A városi hősziget fogalom finomítása a Lokális Klímazónák koncepciójának felhasználásával – példák Szegedről. *Földrajzi Közlemények* 138(1), pp. 50–63.
- UNGER J., LELOVICS E., GÁL T. (2014b): Local Climate Zone mapping using GIS methods in Szeged. *Hungarian Geographical Bulletin* 63(1), pp. 29–41.
- UNGER J., SAVIĆ S., GÁL T., MILOŠEVIĆ D., MARKOVIĆ V., GULYÁS Á., ARSENOVIĆ D. (2015): Urban climate monitoring networks based on LCZ concept. ICUC9 9th International Conference on Urban Climate and 12th Symposium on the Urban Environment, Toulouse, Franciaország.
- Wikipédia: Széll Kálmán tér. https://hu.wikipedia.org/wiki/Széll_Kálmán_tér. Utolsó elérés: 2017. június 09.
- Wikipédia: Széna tér (Budapest). [https://hu.wikipedia.org/wiki/Széna_tér_\(Budapest\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Széna_tér_(Budapest)). Utolsó elérés: 2017. június 11.
- WMO (1983): Abridged final report, 8th session. Geneva, Commission for Climatology and Applications of Meteorology, WMO, No. 600, 72 p.

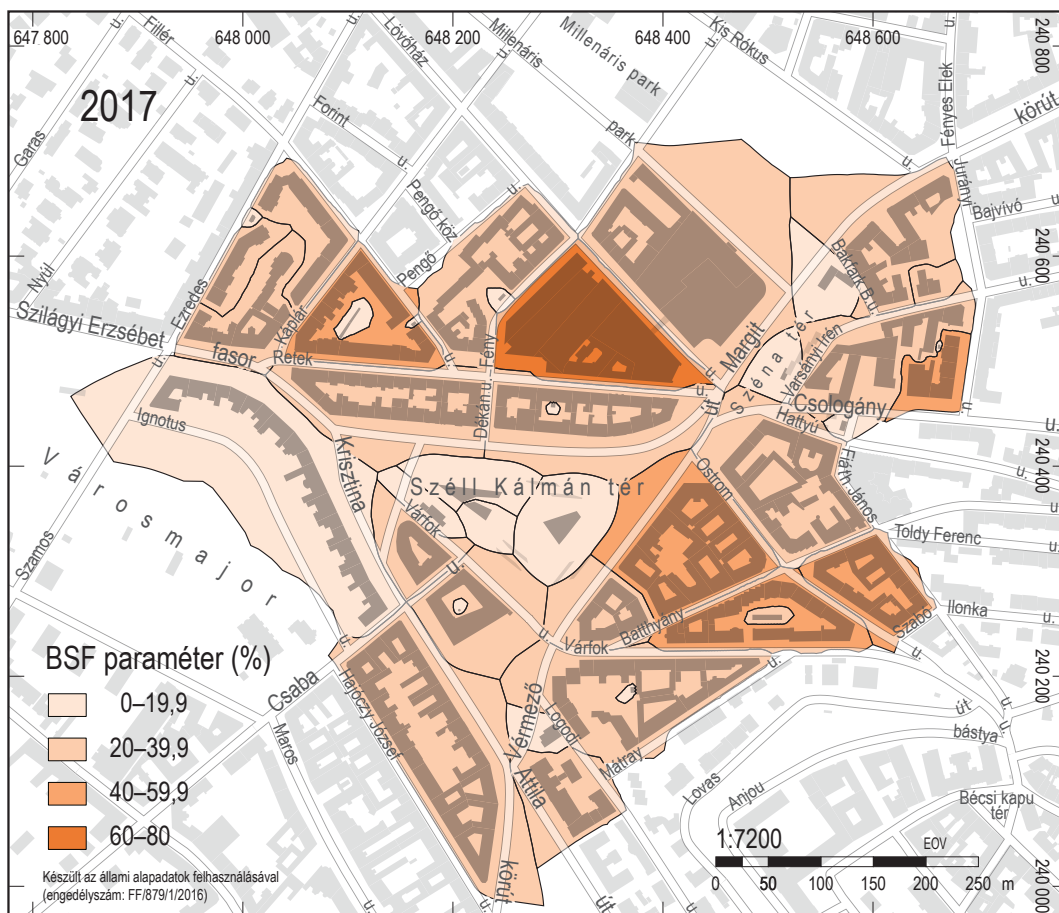
Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Albert Gáspárnak a téma kiválasztásában nyújtott segítségéért, a dolgozat készítése során felmerülő problémák megoldásában való iránymutatásaiért, valamint a szöveg javításáért.

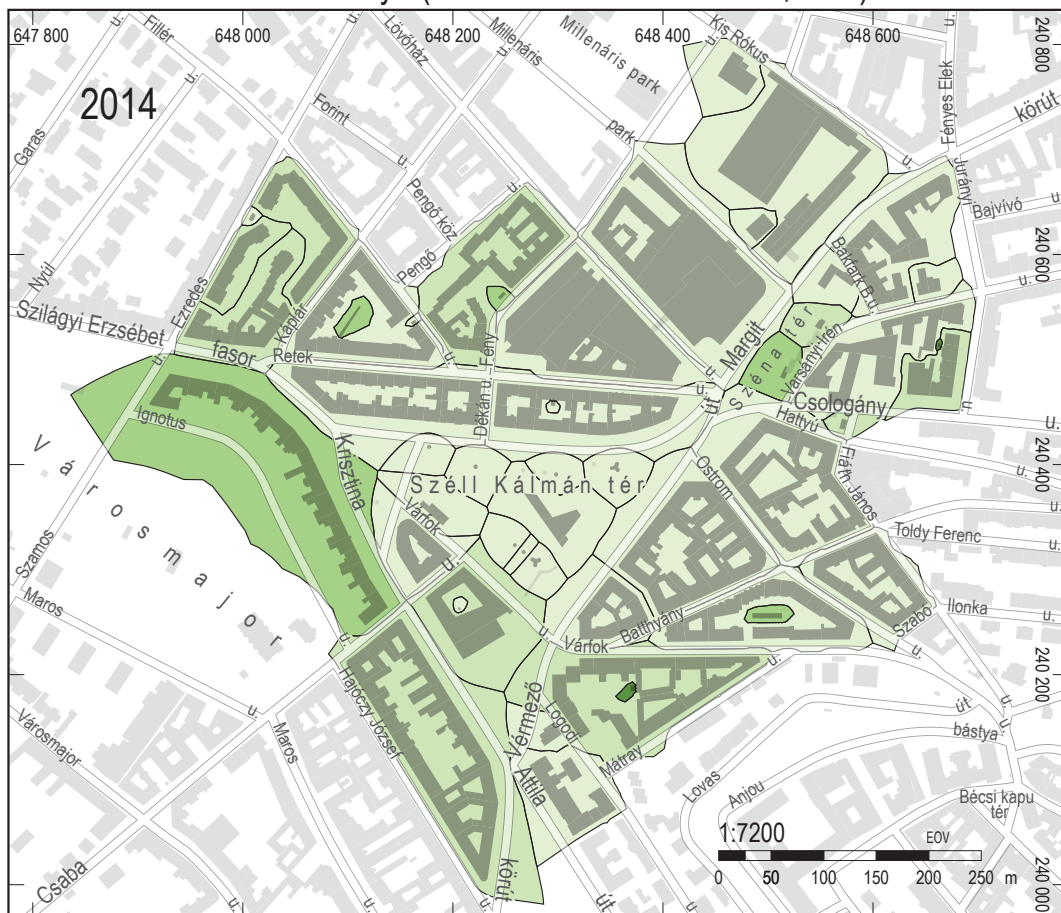
Továbbá köszönöm a Földművelésügyi Minisztérium Földügyi Főosztályának, hogy rendelkezésemre bocsátották a kataszteri térképet, valamint a FŐMTERV Zrt. munkatársainak a Széll Kálmán tér kiviteli terveit.

Melléklet

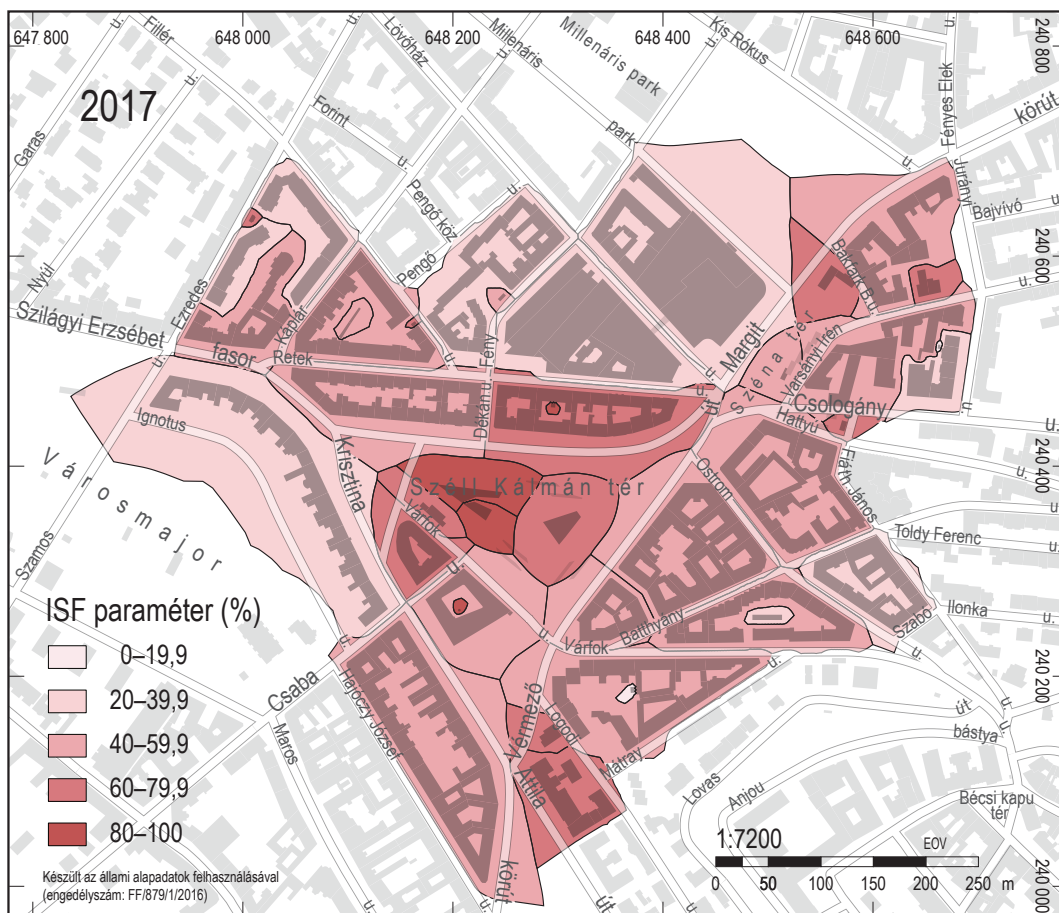
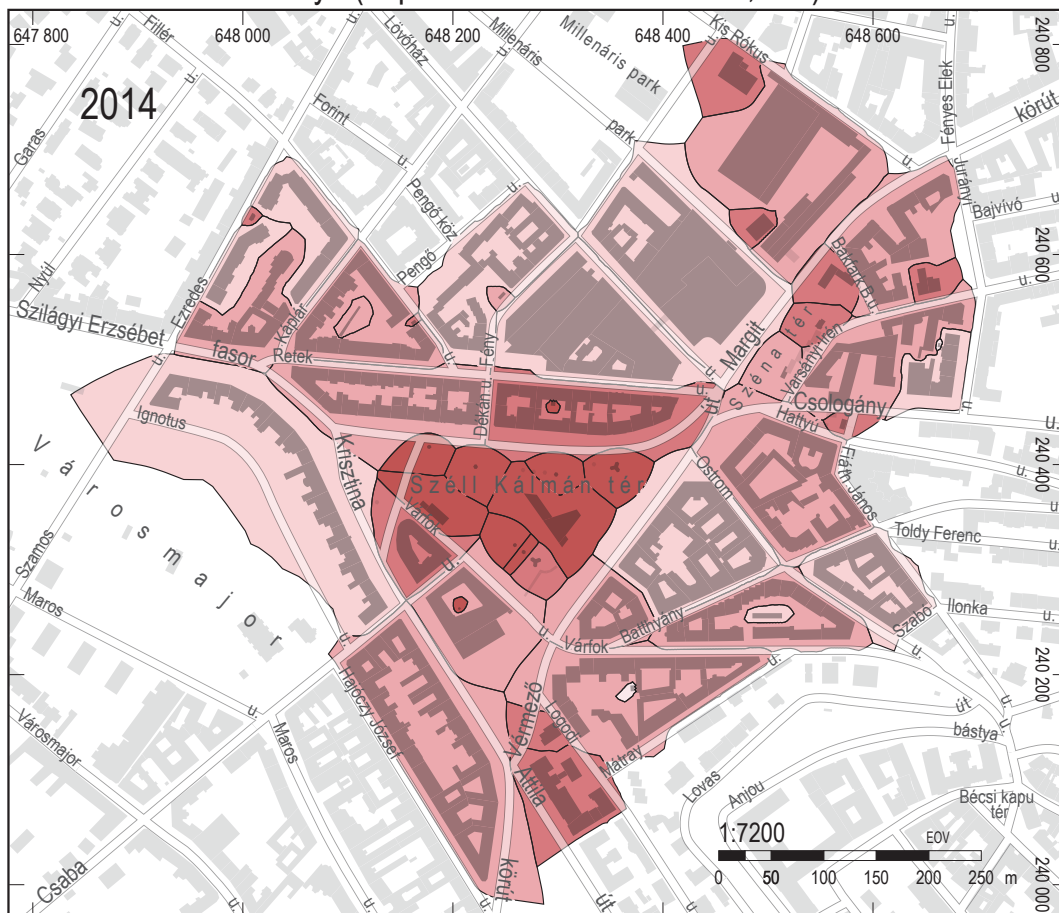
- 1) A mintaterület telekpoligonjaira kiszámított paramétereket, és a paraméterek alapján legjobban illeszkedő LCZ-típust ábrázoló térképek
- 2) Az lcz.py Python szkript bemenő adatainak és az eredményül létrehozott shapefájl leírása
- 3) CD mellékleten:
 - a. Jelen dolgozat PDF formátumban
 - b. lcz.py Python szkript
 - c. A szkript bemenő adatai és az eredményként létrehozott .shp fájl a 2014-es és a 2017-es állapotra
 - d. A Széll Kálmán tér vizsgálatának eredménye .shp formátumban a 2014-es és a 2017-es állapotra

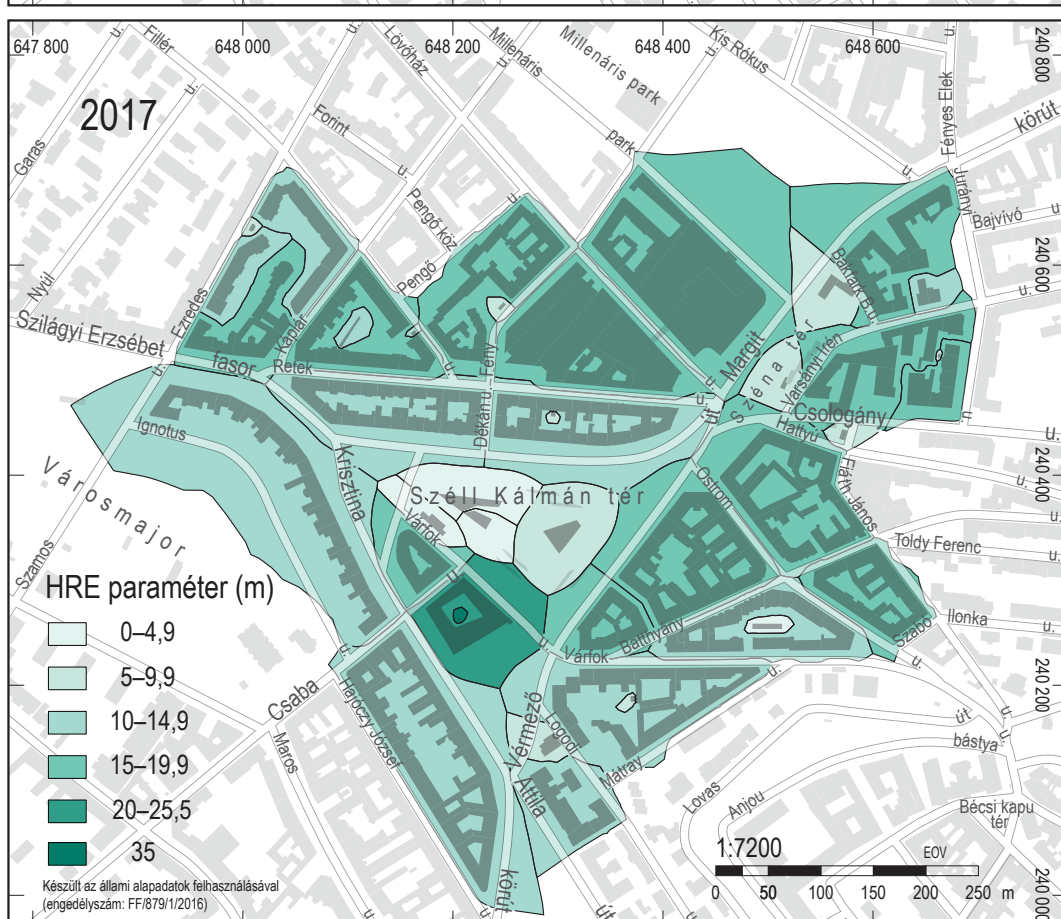


Vízáteresztő felszínek aránya (Pervious Surface Fraction, PSF)

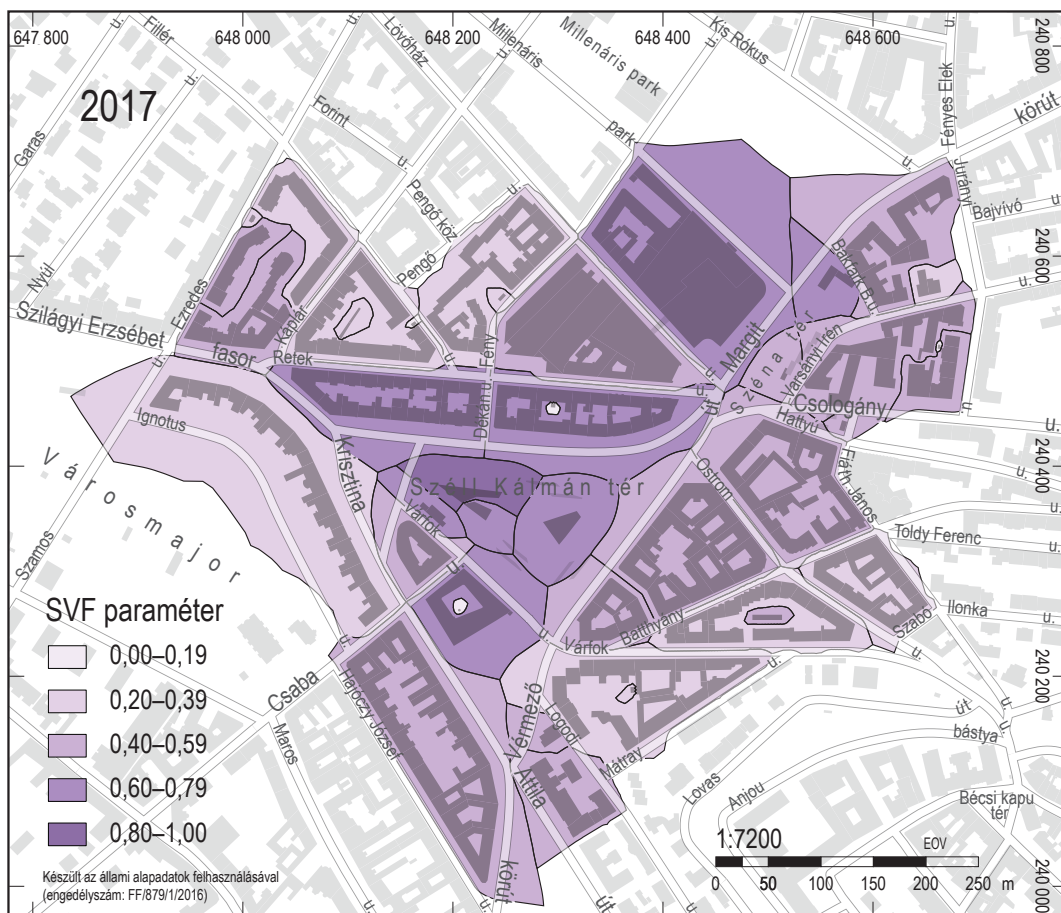
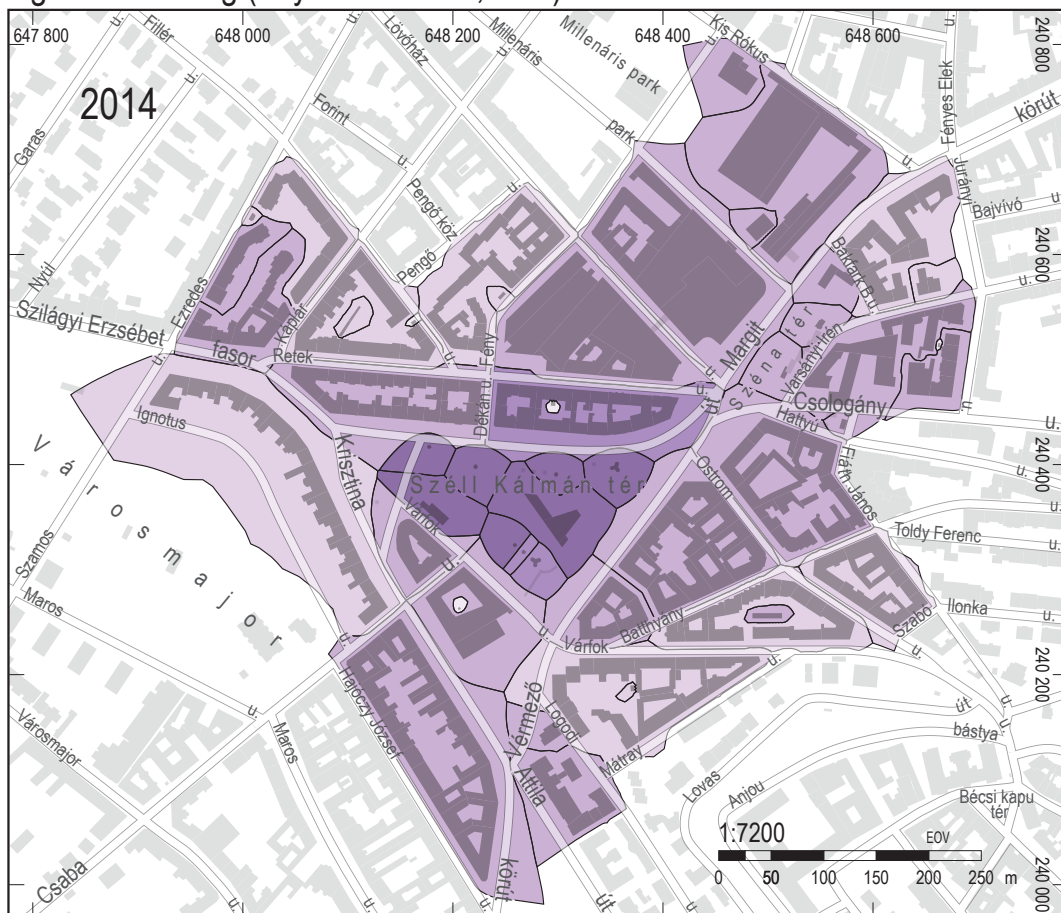


Vízzáró felszínek aránya (Impervious Surface Fraction, ISF)

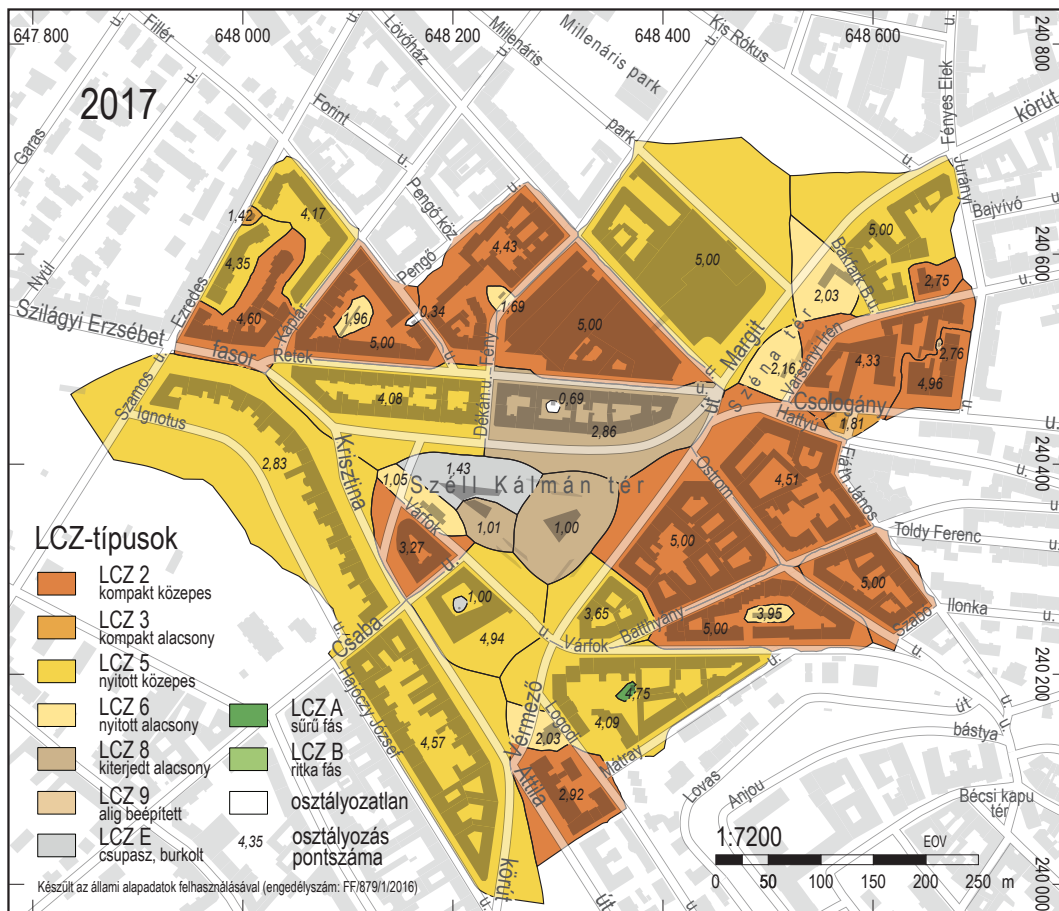
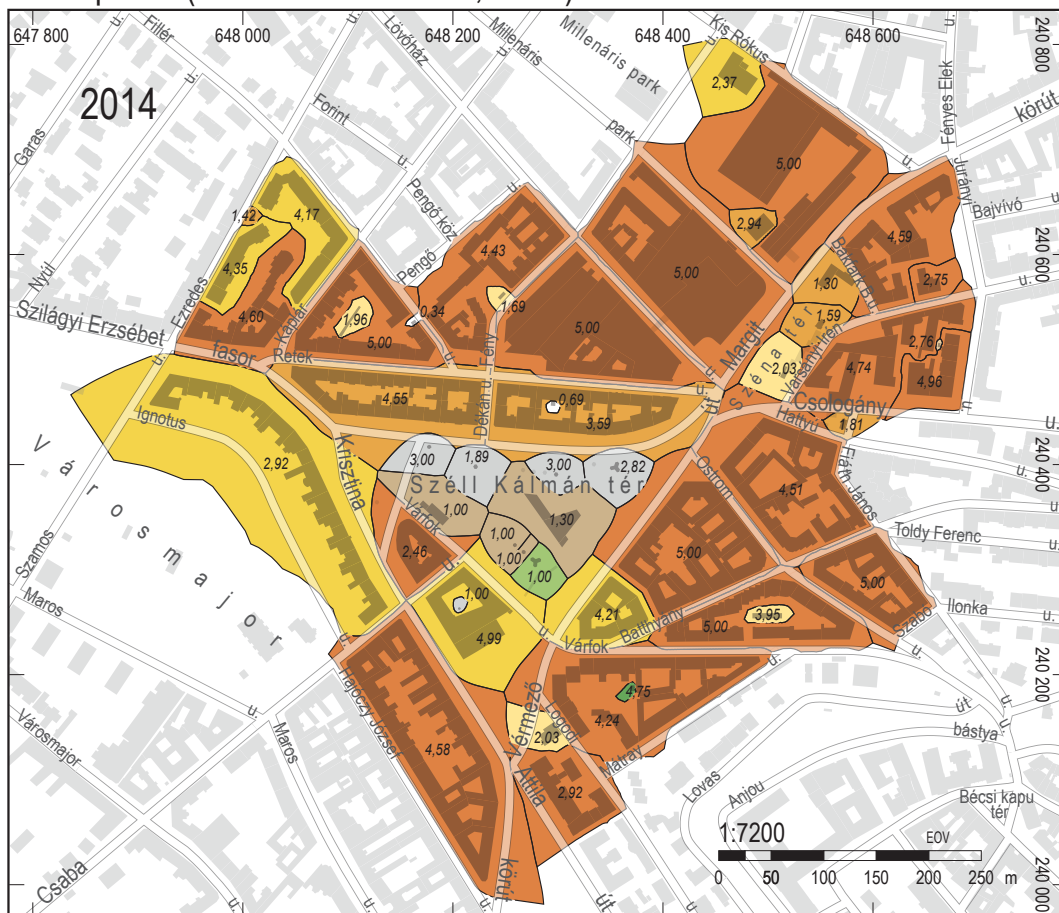




Égboltláthatóság (Sky View Factor, SVF)



LCZ-típusok (Local Climate Zones, LCZs)



Az lcz.py Python szkript bemenő adatai és eredménye

Bemenő adatok

Fájl neve	Geometriatípus	Dimenzió	Tartalom
building	poligon	2D	Épületek alaprajza
building_h	pont	2D	Épületek adott pontban mért magassága
tree	poligon	2D	Fák lombkoronájának kiterjedése
pervious_surface	poligon	2D	Vízáteresztő felszínek
dtm_lines	vonal	3D	A terep főbb idomvonalai
AOI	poligon	2D	A mintaterület vázlatos határa

A bemenő adatok attribútumai

building

Attribútum	Típus	Felvehető értékek	Jelentés
SVF_HRE	Short	-1, 0, 1	Túllógó épületrész: -1: ismeretlen 0: nem 1: igen

building_h

Attribútum	Típus	Felvehető értékek	Jelentés
H_B	Short	[0..∞)	Épület felszíntől mért ereszmagassága méterben
H_B_SRC	Short	1, 2, 3	A magassági adat forrása: 1 – Google Earth Proban mért érték 2 – Google Earth Pro segítségével becsült érték 3 – terepi becslés

tree

Attribútum	Típus	Felvehető értékek	Jelentés
H_T	Short	[0..∞)	Lombkorona felszíntől mért magassága méterben

A bemenő adatokra vonatkozó topológiai szabályok:

- building: feature classon belül nem lehet átfedés
- tree: feature classon belül nem lehet átfedés
- pervious_surface: feature classon belül nem lehet átfedés
- building, pervious_surface: nem lehet köztük átfedés
- building_h: minden building_h pont a building egy poligonjába kell, hogy essen

Az AOI-n belül minden attribútumnak kitöltöttnek kell lennie, ismeretlen értékű nem maradhat.

Eredmény**LCZ.shp**

Attribútum	Típus	Felvehető értékek	Jelentés
Shape_Area	Double	[0..∞)	Telekpoligon területe négyzetméterben
BSF	Double	[0..100]	Épület-alapterület aránya (%)
PSF	Double	[0..100]	Vízáteresztő felszínek aránya (%)
ISF	Double	[0..100]	Vízzáró felszínek aránya (%)
HRE	Double	[0.. ∞)	Érdességi elemek magassága (méter)
SVF	Double	[0..1]	Égboltláthatóság (-)
LCZ1 – LCZ G	Double	[-5..+5]	Lokális klímazóna típusa
LCZ_1	Text	[LCZ1..LCZG]	A telekpoligonra leginkább illő LCZ-típus
LCZ_1_score	Double	[-5..+5]	Az 'LCZ_1' pontszáma
LCZ_2	Text	[LCZ1..LCZG]	A telekpoligonra második leginkább illő LCZ-típus
LCZ_2_score	Double	[-5..+5]	Az 'LCZ_2' pontszáma

NYILATKOZAT

Alulírott **Balázs Éva** (Neptun-kód: **DM3ETZ**), *A lokális klímazónák változása az átépítések hatására a belső budai területeken* című diplomamunka szerzője, fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

A témavezető által elfogadott és elbírált diplomamunka elektronikus közzétételéhez (PDF formátumban a tanszéki honlapon)

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2017. 06. 12.

a hallgató aláírása

Hozzájárulok a diplomamunka benyújtásához:

Budapest,

a témavezető aláírása