

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Meteorológiai Tanszék

A városi zöldfelületek hatása a város klímájára

szakdolgozat



SZABÓ BEÁTA

Földtudományi alapszak

Meteorológus szakirány

Témavezető:

dr. MÉSZÁROS RÓBERT

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

BUDAPEST, 2015

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés:.....	3
2. A zöldfelület fogalma.....	5
3. A városklíma fogalma	8
3.1 A növényzet szerepe a városban	13
3.1.1. A növényzet hatása a városi szélre.....	15
3.1.2. A növényzet hatása a hőmérsékletre és a páratartalomra	19
3.1.3. A növényzet hatása a város légszennyezettségére	24
3.2. A vegetáció városi környezetnek való kitettsége	28
4. Módszerek a városklíma javítására zöldfelületek által.....	31
5. Összefoglalás	35
Köszönetnyilvánítás	36
Irodalomjegyzék	37
Internetes források:.....	43

1. Bevezetés:

Az urbanizáció térhódításából és a technológia fejlődéséből adódóan napjainkban jelentősen bővült a városok - és lakosságuk száma. A városi antropogén általános, gazdasági és ipari tevékenységek hatására a nagyobb települések területén lényegesen megnőtt a burkolt felszínnek részaránya, míg ezzel párhuzamosan a természetes zöldfelületek száma és mérete is csökkent. A városokban a módosult sugárzási viszonyok, vízháztartás, napfénytartam, légáramlatok és hőmérséklet következtében létrejövő klíma negatív hatással van közérzetünkre, környezetünkre, és akár változást kelthet a helyi vegetáció tulajdonságaiban is. Ennek ellenére még így is a megmaradt növényzet borította területek alakítják a legnagyobb mértékben a város sajátos éghajlatát, jótékonyan hatnak a környezetük hőmérsékletére, illetve javítják a humán komfortot, a légszennyezettség mértékét és a légkör állapotát.

Szakdolgozatomban szakirodalmi áttekintést készítettem, hazai és nemzetközi viszonylatban a városi zöldfelületek városklíma-alakító hatásáról, a város vegetáció állapotát károsító elemeiről, illetve a települések városklíma-javítás érdekében létrehozott zöldfelületi rendszerének szerepéről. Összefoglaltam és elemeztem mindazokat a változó meteorológiai elemeket, melyeket a zöldfelületek alakítanak, még ha nem is teljes mértékben, de kompenzálva ezzel az antropogén tevékenységek káros hatásait.

A dolgozat célja, hogy bemutassa, milyen klimatikus változásokat képes létrehozni a városi vegetáció; különösképp a nagyobb zöldterületek hogyan módosítják a város szélviszonyait, hőmérsékletét, páratartalmát, légszennyezettségét, illetve ezekkel hogyan lehet befolyásolni a városklíma mértékét az urbanizált környezetben.

Az áttekintés első részében (második fejezet) bemutatom a városi zöldfelület és zöldterület fogalma közti különbséget. Részletesen tárgyalom a zöldfelületi rendszerek elemeinek funkciójuk szerinti csoportosítását, ismertetek az ezekre vonatkozó előírások közül néhány példát, és vázolom e tekintetben a magyarországi nagyvárosok helyzetét.

Ezt követően a harmadik fejezet a városklíma fogalmát írja le, kifejtve a városi határréteg, városi tetőszint réteg és városi hősziget jelenségeket és kialakulásait, hangsúlyt fektetve a városi beépítettség által befolyásolt (környező területeknél magasabb) hőmérsékletre. Az alfejezetekben a zöldfelületek városklíma alakító pozitív hatását, ökológiai

tényezőit mutatom be, kiemelve a növényzet szélrendszerre, hőmérsékletre, páratartalomra és a légszennyezettség állapotára gyakorolt szerepét. Szemléltetem, hogy ezen elemekre hogyan hatnak a kisebb-nagyobb növénytársulások, illetve hogyan befolyásolja hatásukat a növényállomány típusa, tulajdonságai. Szerepel az alfejezetekben az éghajlati elemeken létrehozott változások mértéke, oka, létrejöttének feltételei és módja is. A fejezet utolsó részében a zöldfelületek városi környezetnek való kitettségét tárgyalom. Átfogóan ismertetem a városklíma vegetációt károsító jellemzőit, a probléma súlyosságát, illetve az egyes légszennyező anyagok növényzettroncsoló hatásait.

A következő, negyedik fejezetben néhány létező, városklíma-javítás céljából létrehozott és alkalmazott, zöldfelületek általi módszert részletezek. Azok közül is főként a mesterségesen kialakított, épületeken található zöldtetők és zöldhomlokzatok hatását fejtem ki. Felsorolom továbbá, hogy milyen zöldfelületi rendszerrel kapcsolatos intézkedéseket célszerű bevezetni, azokat javítani, vagy gyarapítani a hősziget-intenzitás csökkentése és a városklíma-hatás mérséklése érdekében.

2. A zöldfelület fogalma

A városi zöldfelület és zöldterület megkülönböztetendő fogalmak. A zöldfelület tágabb fogalom, amely a települések növényfelületének összességét jelenti. Ezzel szemben a zöldterületek olyan zöldfelületek, melyek közterületen találhatóak, például parkok, közkertek, út- és térfásítások, illetve a közcélú erdők (OTÉK, 1997).

Egy-egy település zöldfelületi rendszerét hazánkban megfelelően szabályozzák. Az épített környezet alakításáról és védelméről a Kormány országos településrendezési és építési követelményeket (OTÉK) alkot és rendel el. A helyi, kedvező éghajlati viszonyok megőrzése és a város klímájának esetleges javítása érdekében gondoskodni kell egységes, összefüggő növényzettel fedett területek kialakításáról. A városi területeket a városon belüli funkciójuk alapján osztályozzák, azok zöldfelületi ellátottságára pedig külön-külön rendelet vonatkozik. Az alábbi (2.1.) táblázat az erre vonatkozó rendeletről származó – minimális zöldfelületi és maximális beépítettségi arányhoz kapcsolódó – adatokat tartalmazza.

2.1. táblázat: Építési övezetek legnagyobb megengedett beépítési – és legkisebb zöldfelületi mértéke Magyarországon (%) (KVSZ, 2006)

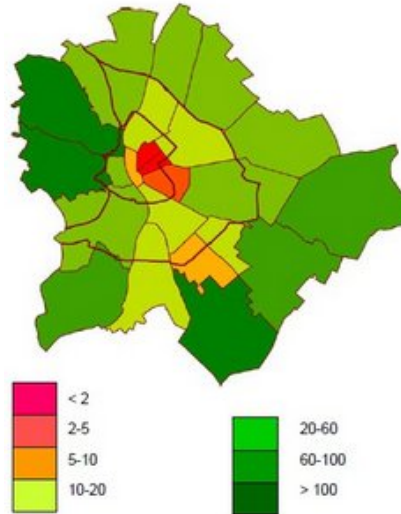
Építési övezet típusa	Legnagyobb megengedett beépítettség (%)	Legkisebb zöldfelület (%)
Településközpont	80	10
Nagyvárosias beépítésű lakóterület	80	15
Városias beépítésű lakóterület	75	20
Ipari terület	50	25
Kertváros	30	50
Közkert	3	60
Közpark	3	70
Fásított köztér	5	20
Burkolt köztér	5	-

A zöldfelületeket eltérő csoportosítási szempontok alapján különböztetjük meg. Termesztési célú zöldfelületet az, ami alatt olyan, legfőképpen gazdasági célú ültetvényeket értünk, amiket mező-, kert-, vagy erdőgazdasági technikával gondoznak. Ezek a területeken

a közvetlen vagy közvetett gazdasági hasznosítás az elsődleges. Ezen kívül létezik kondicionáló célú zöldfelület, ami az olyan növénytakaróval borított területek, telepített kertek együttese, amelyek célja a humán komfort fenntartása a városi lakosság részére (Jámbor, 2002). Ezeket a kondicionáló célú zöldfelületeket további kisebb csoportokba tudjuk bontani aszerint, hogy melyik a hangsúlyos a közjóléti (ökológiai, rekreációs, esztétikai) funkcióik közül:

A rekreációs, ökológiai és klimatikus célú kondicionáló zöldfelületek kategóriájába tartozik például az összes városi kirándulóerdő, pihenőerdő, parkerdő, környezetvédelmi célt szolgáló véderdő. A városi zöldterületek (közparkok, közkertek) is jelentős rekreációs és ökológiai funkcióval rendelkeznek. Az esztétikai-településszerkezeti funkciójú zöldfelületek pedig például az utcafásítások, fasorok, illetve az agglomeráció területén a tájképvédelmi rendeltetésű takarófásítások. Ezek is rendelkeznek környezeti, klimatikus hatással, azonban a létesítésük célja elsődlegesen a város látványelemeinek élénkítésére szolgál. Ezen szerepkörök sokszor egyszerre jelentkeznek, ezért nem mindig lehet őket egyértelműen megkülönböztetni egymástól (Jámbor, 2002).

Egyéb csoportosítási szempontok is léteznek, mint a használat jellege szerinti besorolás közcélú és magántulajdonú csoportokba, vagy térbeli elrendezés szerinti rendszerezés szigetszerű, gyűrűs, sugaras, sugaras-gyűrűs és sávós zöldfelületi rendszer típusokba. Az utóbbi felosztás legtöbbször domborzati és vízrajzi adottságok révén alakul ki, de közrejátszhatnak a biológiailag inaktív felületek elrendezései is, például közlekedési pályák mentén telepített fasorok (Jámbor, 2002). Létezik még besorolás jogi szempontok alapján (korlátlan közhasználatú, korlátozott közhasználatú, közhasználat elől elzárt zöldterületek), rendeltetés szerint, vagy fajtársulások telepítettség szerint (Perényi, 1972). Mindezekon kívül vizsgálhatjuk a város zöldfelületi rendszerét a zöldfelület-ellátottság szempontjából is. Ez az értékelés megmutatja az egy főre, vagy egyes városrészekre a növényzet által borított területek átlagos (zöldterületek és erdőborítottság) méretét (Pro Verde, 2006). Az 2.1. ábrán ezen érték Budapestre vonatkoztatott arányait látjuk.



2.1. ábra: Budapest egyes kerületeinek 1 főre jutó zöldterületi és erdőborítottsági ellátottsága (m²/fő) (Pro Verde, 2006 alapján szerk. Szilassi, 2012)

A teljes fővárosra vonatkoztatott zöldterület ellátottsági érték 14,4 m²/fő. Ez az érték a hazai városokhoz viszonyítva rendkívül alacsony (2.2 táblázat).

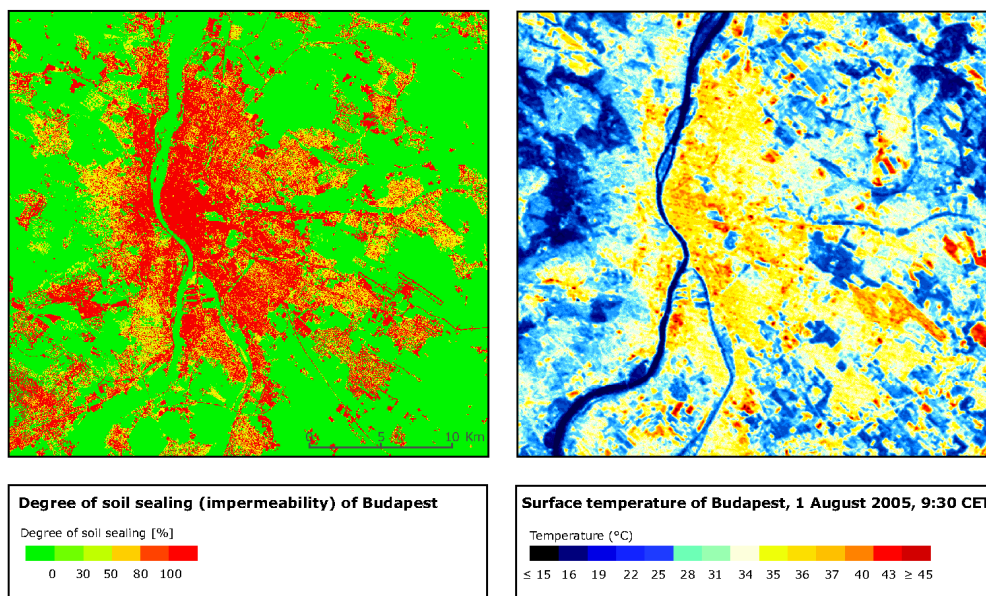
2.2. táblázat: Magyar városok 1 főre jutó zöldterülete (m²), Védjegyet, KSH, 2006. alapján

Város	m ² /fő	Város	m ² /fő
Szolnok	118	Szeged	25
Pécs	78	Kaposvár	24
Zalaegerszeg	73	Salgótarján	22
Győr	63	Szekszárd	21
Nyíregyháza	51	Szombathely	19
Székesfehérvár	44	Debrecen	18
Tatabánya	43	Kecskemét	15
Miskolc	41	Veszprém	14
Eger	35	Budapest	14
Békéscsaba	33		

3. A városklíma fogalma

Az elmúlt időszakban Magyarországon a városok mérete és népességszáma egyaránt gyarapodott. A 2011-es népszámlálás időpontjában a magyar népesség 17,4 százaléka Budapesten, 52,1 százaléka pedig egyéb városokban élt. Napjainkban a városi lakosság részaránya kétszeresére nőtt a XX. század eleji viszonyokhoz képest. (Központi Statisztikai Hivatal, 2011)

A lakosság városokba koncentrálódása közvetlenül kapcsolódik a helyi meteorológiai állapotokhoz, azaz a sajátos városklíma létrejöttéhez. A környező területektől való klimatikus megkülönböztetés lényege, hogy a nagyobb települések a beépítettség és az antropogén hatások következtében jelentősen módosítják a helyi éghajlatot. A mesterséges tényezők által egyaránt változik a hőmérséklet (3.1. ábra), a sugárzás háztartás mértéke, a szélviszonyok, a szennyezőanyagok mennyisége és a vízgyenleg (Oke, 1982). A felszínborítottság szerinti hőmérséklet-eloszlást jól szemlélteti a műholdas mérések alapján készült 3.1. ábra, melyen könnyen észrevehető, hogy a burkolatlan, vagy kevésbé burkolt városi területek (bal oldali ábrán a zöld részek) hűvösebbek, a náluk jobban beépített, aszfalttal fedett felszíneknél.



3.1. ábra: A város talajborítottságának mértéke (%) (balra) és a felszíni hőmérséklet (°C-ban a 2005. augusztus 1-én, 9.30-kor készített műholdkép alapján) (jobbra) összehasonlítása Budapesten (Gábor, 2008; Ongjerth et al., 2007)

A városklíma kialakulását befolyásolja a város nagyobb éghajlati zónán belüli elhelyezkedése, valamint a település szerkezete, mérete, domborzata, gazdasági jellemzői (Zöld, 1999). Az eltérő klíma létrejöttének okai, hogy a természetes felszín részaránya alacsony, és annak helyét átveszik az uralkodóan aszfalttal borított, burkolt utcák és épületek. Az ezen burkolatokat jellemző fizikai tulajdonságok, mint az intenzív hővezetés, alacsony albedó, illetve magas hőkapacitás megváltoztatják a sugárzási viszonyokat, így módosítva a város klímáját. A gazdasági, ipari tevékenységek és az antropogén hőkibocsátás nemcsak a meteorológiai elemekre vannak hatással, hanem a levegő összetételét és szennyezettségi állapotát is rontják. A mesterségesen kialakított felszín gyorsabb vízelvezetést, csökkenő vegetációt, ezáltal pedig gyengébb evapotranszpirációt eredményez. A felület érdekessége miatt csökkenő szélesebbesség, illetve a sugárzási egyenleg komponenseinek változása miatt jellemzően emelkedik a hőmérséklet a külterületekhez képest. A hőtermelő folyamatok, mint például a fűtés, valamint a városi közlekedés és az ipari munkálatok miatti kialakuló magasabb mértékű légszennyezés szintén hőtöbbletet hoznak létre a város területén (Probáld, 1965).

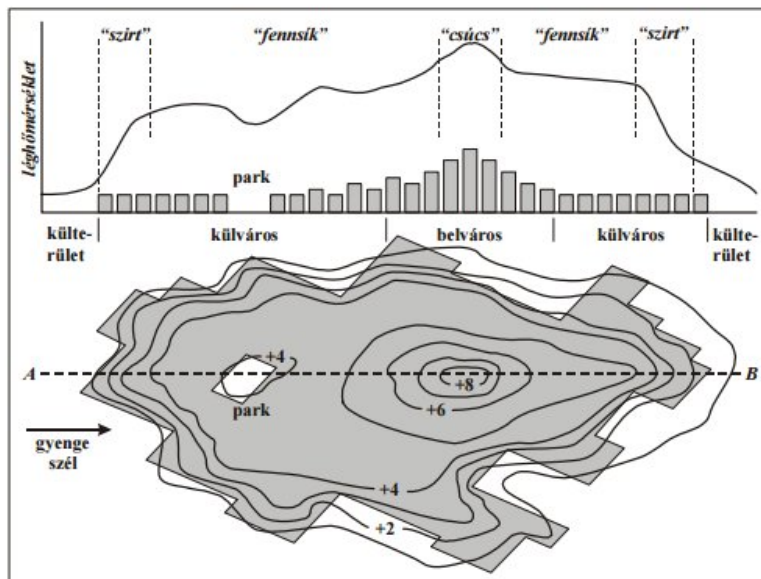
Ezt a hőmérsékletkülönbséget a város és annak természetes környezete között városi hőszigetnek nevezzük (Urban Heat Island – UHI) (Landsberg, 1981). A hősziget intenzitását befolyásoló tényezők a következők: A város felszínét borító beton és aszfalt felületek és ezek geometriája nagymértékben megnövelik a Napból érkező rövidhullámú sugárzás elnyelésének arányát. Az égbolt felől visszavert hosszuhullámú sugárzás szintén megnövekszik a város feletti levegőben nagyobb koncentrációban jelen lévő szennyezőanyagoknak köszönhetően. A felszínről induló hosszuhullámú sugárzási veszteség viszont mérséklődik az égboltláthatóság csökkenésével arányosan (Oke, 1982). Ezzel együtt a függőleges falfelületek akadályozzák a levegő szabad áramlását, ami csökkenthetné a megemelkedett hőmérsékletet.

A hősziget intenzitása kifejezhető a ΔT városi és vidéki hőmérsékletkülönbséggel (Probáld, 1974), melynek értéke időben és térben különbözhet a város határain belül, azonban szélsőséges esetekben elérheti a 10–12°C-t is (Park, 1987; Klyzik and Fortuniak, 1999). A ΔT hőmérsékleti érték a teljes területre vonatkoztatott átlagot mutatja, hiszen a hősziget egy gócpontja, és egy hűvösebb fásított városrész, vagy vízfelület feletti levegő között napszaktól függően a különbség akár a 30°C-ot is meghaladhatja (Ongjerth et al., 2011). Az átlagos intenzitás tehát függ a város meghatározó gazdasági tevékenységétől, a beépítettségtől

(Szegedi és Baros, 2006) de legfőképpen a település méretétől. Az európai beépítési szerkezet mellett 5000 fős lélekszám már képes hőszigetet létrehozni (Landsberg, 1981). A legnagyobb különbség milliós lakosságú nagyvárosokban jön létre, és gyakran 10°C fölötti. Budapesten az átlagos eltérés a külterületi értékhez képest 3–6°C (Lelovics et al., 2012). Az említett kutatás az intenzitást egyaránt műholdas és felszíni (2 méteres magasságban mért) mérések alapján határozta meg.

A hősziget intenzitásának meghatározására különböző mérési módszerek léteznek. Leggyakoribbak az általános felszíni állomási hőmérséklet mérések 2 méterre a talajszinttől, a gépkocsis és repülőgépes adatgyűjtés, illetve a felszínhőmérséklet műholdas mérése. Ezekből a hőmérsékleti adatokból számolnak intenzitást a bel- és külvárosi különbségek alapján. Ezen vizsgálatok azonban térben és időben más-más eredményt hozhatnak az eltérő módszerektől függően (Voogt and Oke, 2003; Bartholy et al., 2009). A felszín- és léghőmérsékleti értékek közül a hősziget-intenzitás mértéke műholdas mérések alapján nappal a legnagyobb, míg az állomási mérések szerint napnyugta után. Ennek oka, hogy a talajfelszín és a légkör eltérő ütemben melegszik és hűl le (Lelovics et al., 2012). A Budapesten folyó városklíma kutatások esetén összehasonlítva a műholdas és állomási adatokat, a hősziget intenzitás mértéke (2001–2010-es adatokat vizsgálva) az előbbi, azaz a felszínhőmérsékleti értékek alapján az alacsonyabb, mint ahogy azt hagyományos léghőmérsékleti mérések eredményei mutatják (Lelovics et al., 2011) Ettől függetlenül mindkét mérési módszer eredményein jelentősen elkülönülnek az eltérő felszíni elemek: zöldterületek, vízfelszínek, ipari területek (Soósné, 2009).

A városi hősziget tipikus szerkezete a 3.2. ábrán látható (Unger és Sümeghy, 2000).

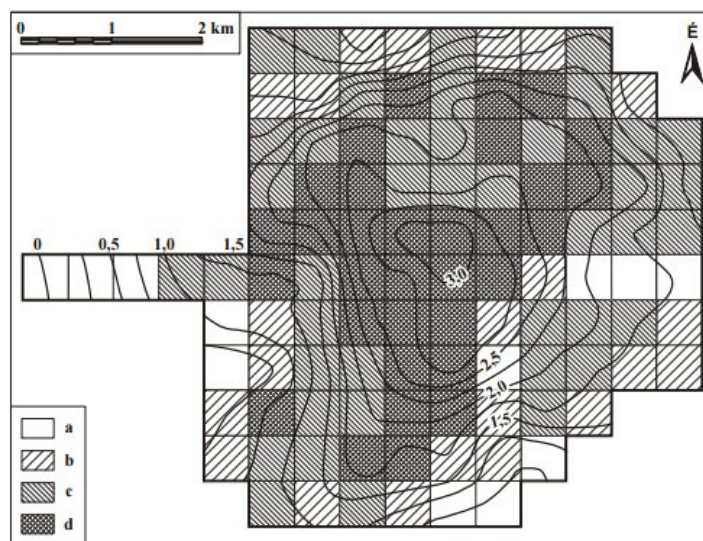


3.2. ábra: Példa a városi hősziget jelenségre. Az értékek a hőmérséklet eltérését jelzik a külterülethez viszonyítva (Unger és Sümeghy, 2000).

Megfigyelhető, hogy a külterületek felől a városközpont felé haladva egyre nagyobb a hőmérsékletkülönbség, ezt a város alakjától függő egyenletes növekedést azonban megzavarhatja a szélirány, vagy egy-egy nagyobb zöldterület (vagy akár egy kisebb park) is.

Két másik, a városklímát jellemző kifejezés az úgynevezett városi határréteg (urban boundary layer – UBL), és a városi tetőszint réteg (urban canopy layer – UCL), melyek a városi hőszigettel ellentétben a város vertikális klímamódosító hatását írják le. Mindkettőnek az alapja, hogy a levegő rétegződése a város területén, a különböző felszínborítottság és az ott zajló emberi tevékenységek hatására eltér a természetestől. A felszín közeli városi tetőréteg egy mikroskálájú jelenség, melynek alapja a felszín, felső határa pedig az épületek tetőszintjének átlagos magasságáig terjed (Oke, 1982). Jellemző erre a rétegre, hogy az egyenletlen geometria miatt a többszörösen visszavert rövidhullámú sugárzás nagyobb felületen képes elnyelődni. A szennyezőanyagok magasabb koncentrációja és a magas házak miatti csökkent égboltláthatóságnak köszönhetően pedig növekszik a lefelé irányuló hosszuhullámú sugárzás mértéke (Oke, 1981). Az antropogén hőkibocsátás jelentősen növeli a réteg hőmérsékletét, amit a burkolt felszín tovább megtart, mint a természetes felszínek (Harnos et al., 2008).

Kiterjedtebb jelenség a városi határréteg, amelyben lokális, vagy mezo skálájú folyamatok játszódnak le. E réteg a tetőszinttől kezdődően felfelé, mint egy kupola veszi körül a várost, melynek magasságát a felszín érdessége határozza meg. A város felett változik a turbulencia, a levegő minősége, és magasabb lesz a hőmérséklet. Ezt a környezetétől különböző légréteget az uralkodó szél a város határain kívülre sodorja, módosítva ezzel a külterületek légrétegeinek állapotát is. Felső határa időben változó, nap- és évszakfüggő aszerint, hogy meddig befolyásolja a légmozgást a városi felszín sajátossága. Ez a vastagság meghaladja a szomszédos vidéki határréteg (Rural Boundary Layer – RBL) kiterjedtségét. Felső határa télen 2–300 m (Oke, 1976), nyáron, a városklímának kedvező szélsőséges körülmények között akár 1800 m-ig is terjedhet (Rotach et al., 2005).



3.3. ábra: A városi hősziget intenzitás mértéke (°C) a beépítettség függvényében 1999. március – 2000. februárig tartó mérések alapján, Szeged példáján. A beépítettség mértéke: a: 0–25%, b: 25–50%, c: 50–75%, d: 75–100%. (Unger, 2010)

Ahogy a 3.3. ábrán is látszik, a beépítettebb területek felé eltolódnak a magasabb hőmérsékleti értéket képviselő izoterma vonalak. Ezeken a területeken erősebb a városklíma-hatás, a beépített részek jobban felmelegsznek, mint környezetük. Megfigyelhető, hogy a városi hősziget jelenség hőmérsékleti diagramja szoros kapcsolatban áll a felszint alkotó elemekkel, azaz a tetőszint réteget létrehozó különféle borítottságú területekkel, mint például egy-egy épületcsoport, vízfelszín, parkok, terek. Alacsonyabb a hőmérséklet a növényzet borította felszín felett, ahogy ez a 3.2. ábrán is látható. Fontos tehát a növényzet szerepéről beszélni egy város klímájának említése kapcsán, hiszen településökológiai szempontból

jóhatást gyakorol, befolyásolja a hőmérséklet a páratartalom, a szél, a légszennyezettség mértékét, ezáltal kihat a humán komfortra.

A felszín jellegtől, a növényborítottságtól függő adottságok a fővárosban is szembevetődnek. A budapesti hősziget a nappali adatokat vizsgálva a pesti oldalon erősebb intenzitású. Júniustól augusztusig terjedő időszakban átlagosan 3–4°C, de akár 4–6°C-kal is meghaladhatja a városkörnyéki hőmérsékletet. A budai oldalon azonban a nagyobb zöldfelületek aránya és a domborzat miatt ez az érték mindössze 1–2°C, vagy gyakran el sem tér a városon kívül eső területek hőmérsékletétől (Pongrácz et al., 2013). Ez a tulajdonság kisebb léptékben is észrevehető, egy park, vagy kert is érzékelhetően csökkentheti a lokális hőmérsékletet. A környezettől való eltérés mértéke azonos vízháztartási viszonyok és talajadottságok mellett az aktív felszínnek, valamint a holt, burkolt, beépített felületek arányától, a növényzet tömegétől, fajtaösszetételétől, állományszerkezetétől, illetve a térbeli elrendezettségétől egyaránt függ (Bartha 2004).

3.1 A növényzet szerepe a városban

A burkolt és a beépített területek közötti kisebb méretű zöld területeken a lokális klíma nem tér el túl nagy mértékben a városi klímától. Viszont a parkok, erdők és egyéb kiterjedtebb zöldfelületek esetében az energiaegyensúly és vízháztartás inkább hasonlít a környező természetes felszínnek ezen tulajdonságaira. A növényzettel borított felszíneken a párolgás lassabban megy végbe, és a lefolyás mértéke is kisebb, mint aszfalt esetén. A csapadéknak nagyobb hányada szivárog a talajba, és képes eltárolódni hosszabb ideig. Ez fás területeken annak is köszönhető, hogy az eső nem közvetlenül a felszínre érkezik, hanem a lombkoronák felfogják azt, a légkörből kihulló víz fokozatosan éri el a talajt, kitolva ezzel a vízutánpótlás idejét. Ezáltal hosszabb ideig képes párologni, növelve a levegő nedvességtartalmát. Ezek a tulajdonságok közvetlen hatást gyakorolnak az adott területre. Nem véletlen tehát, hogy a városi zöldfelület a legfontosabb hősziget-intenzitást csökkentő faktor (Szuróczki és Tőkei, 1988). A környező területekhez képest ugyanis létrejön egy gyengébb hősziget-hatás a városi hőszigeten belül, ez az úgynevezett hűvös sziget, amire inkább a természetes, beépítetlen területek klímája jellemző. A hűvös sziget intenzitását a város központjának és a vizsgált zöldfelület hőmérsékletének a különbsége jellemzi (Ongjerth et al., 2011).

A kiterjedtebb hűtő hatás létrejöttéhez a parkosított terület vízszintes kiterjedése meg kell, hogy haladja a 60–80 métert. Azon parkoknak, amelyeknek mérete meghaladja ezt az értéket, a belsejében lehűlt levegő a park szélei felé, illetve annak határain kívülre áramlik parki szellő formájában. A megfelelően kialakított, nagyobb, fásított zöldfelületek körülbelül a saját szélességükkel azonos méretű területen hűtik a környezetüket maguk körül (Ongjerth et al., 2011).

A városi zöldfelületek fontos alakítói a környezetnek, számos kondicionáló hatásuk van a város ökológiáját tekintve (Radó, 2001):

- A városban telepített növényzet kedvező hatással van a városok környezeti állapotára és a humán komfortra;
- A város zöld területei élőhelyet teremtenek az állatvilág számára, növelve ezzel a település biodiverzitását;
- A növényzet felszínen elterülő felülete hatást gyakorol a besugárzás mennyiségére. A növénytakarós helyek által csökken a felszíni direkt sugárzás, és megnő a diffúz sugárzás aránya;
- A fás szárúak leveleinek felületén jelentős mennyiségű por ülepedik le (McDonald et al., 2007);
- A városi növényzet, legfőképpen a tűlevelű növények, erős zajszűrő tulajdonsággal rendelkeznek;
- Egyes fajok gyökérzete a mérgező mikorelemeket felvéve a talajszennyezésre gyakorol kedvező hatást;
- A zöldfelületek párologtatással növelik, javítják a városi levegő páratartalmát;
- Jellemző a csapadék megtartása, az ideálisabb vízháztartás és a magasabb nedvességtartalom;
- Lokális viszonylatban csökken a hőmérséklet, hiszen a párologás endoterm folyamat, azaz a párologtatás hőelvonással jár. Ezáltal csökken a városi hősziget jelenség intenzitása is (Fórián és Hagymássy, 2009).
- A zöldterületek felett kialakuló magasabb nyomású levegő a melegebb beépített területek felé áramlik, így szintén csökkenti a hősziget-hatást;
- A növényzet befolyással van a szélre is, ugyanis mérsékli a magas házak közötti áramlás erősségét;

- A kiterjedtebb zöldterületek mérséklő hatása eléri az azokat körülvevő nem-vegetatív városrészeket is (Oke 1989; Eliasson and Upmanis 2000);
- A legfontosabb hatás az üvegházhatás mérséklése az oxigéntermelésnek, valamint a CO₂ elnyelésnek köszönhetően (Jámbor, 2002, Nagy, 2008).

Mindezek alapján megállapítható, hogy a települések klímájában döntő szerepet játszik a vegetáció. Egy-egy urbanizált környezetet vizsgálva, nem tekinthetünk el annak növényborítottságától. Az alábbiakban a különböző meteorológiai állapothatározókra gyakorolt hatások szerepelnek alfejezetekre bontva.

3.1.1. A növényzet hatása a városi szélre

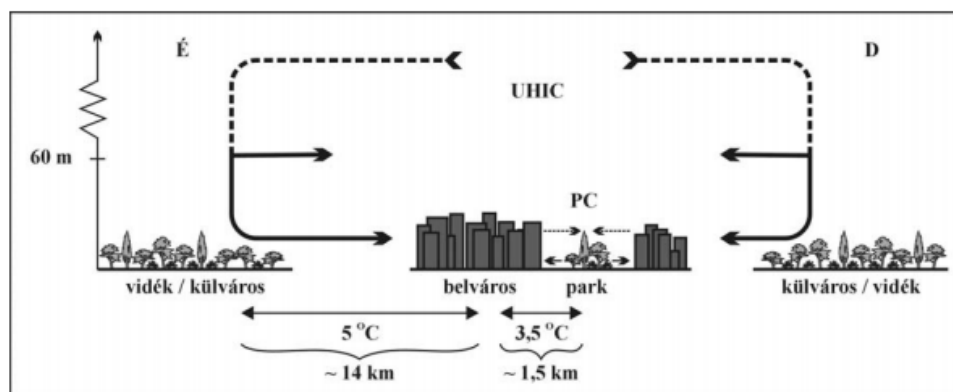
A város határain belül nemcsak a klíma módosul, hanem a természetes szélrendszerek is. Különböző lokális légáramlási rendszerek alakulnak ki a település sajátosságaitól függően. Csökken a kisebb erejű, felszín közeli áramlatok sebessége, illetve a maximális széllelkések nagysága, egyúttal megnő a szélcsendes napok száma. A szélesebségen kívül a beépítettség is szerepet játszik a szél mérséklésében: a magas épületek és a szorosán épült házak között az eredeti szélirány az utca hossz tengelyével párhuzamosra fordul, a szélerősség pedig magasabban már növekszik a csatorna-hatás következtében. Minél kisebb szöglet zár be az utca és az eredeti szélirány, ez a csatorna-hatás annál erőteljesebb (Géczi, 1999).

A város központja nagymértékben felmelegszik a különféle hatásoknak köszönhetően. Ez a felmelegedés derült, anticiklonális időben a legerőteljesebb. Ilyenkor a meleg levegő feláramlik, alacsonyabb légnyomást létrehozva a város felett, míg a városperemen ehhez képest magasabb marad a légnyomás. Így a levegő kívülről a város belseje felé áramlik, az alacsonyabb légnyomású terület felé. Ez a létrejövő áramlás, illetve a kialakuló alacsony légnyomás a kora esti órákban jelentkezik a leginkább. A jelenség neve „vidéki szellő” (county breeze – CB) vagy városi szél, a városklíma hatására kialakuló, és a város peremei felől a városközpont felé fújó szél. Az összeáramlás közepén, a város belsejében a meleg levegő felemelkedik és magasabban szétáramlik, vissza a külső területek irányába (Gál, 2009). A teljes jelenséget (a felszíni áramlást, és a magasabb, ellentétes irányú visszaáramló levegőt) városi hősziget cirkulációnak nevezzük.

A városi szél inhomogenitását az épületek elhelyezkedése, a városi zöldfelületek kiterjedése, és térbeli helyzete egyaránt befolyásolja. Az aszfalt, burkolt felszín, épületek

ugyanis hajlamosak a gyorsabb, nagyobb fokú felmelegedésre, mint a környező nem-vegetatív területek (Ahrens, 2006). A különböző hőmérsékletű aktív vegetatív városrészek és a burkolt felszín között ezáltal az eltérő felmelegedésnek köszönhetően, a városi szél, azaz a városi hősziget cirkuláció (UHIC) mechanizmusához hasonlóan, létrejön egy lokális áramlás, az úgynevezett park cirkuláció (park circulation – PC), vagy a felszín közeli módosulást tekintve, a park szellő. A zöldfelületek fölött nappal a növények evapotranszpirációja következtében, éjjel pedig a növényfelület kisebb hőmegetartó tulajdonsága következtében a lehűlt levegő szétáramlik a melegebb (fokozottabban felmelegedő) város irányába (Spronken-Smith and Oke, 1999).

A légáramlás hatása függ az aktuális széliránytól, és a park méretétől is. Egyes esetekben a park szellő által végbemenő lehűlés még a parktól 1–2 km-es távolságban is érzékelhető. A 3.1.1. ábra a fenti két jelenséget ábrázolja. A gyengébb, mégis fontos szerepet betöltő park szellő gyengíti az ellentétes irányú városi szelet, ezzel is befolyásolva, mérsékelve a városklímát (Unger et al., 2012). Az elhasználdott, szennyezett városi levegő felfrissül, kicserélődik a parki jelenség következtében, továbbá a kialakuló hűvös légáramlat javítja az emberek hőérzetét, illetve a humán komfortot.



3.1.1. ábra: A városi hősziget cirkuláció és a park cirkuláció példája szemléltetve, göteborgi (Svédország) adatok alapján (Unger et al (2012), Eliasson and Upmanis (2000) alapján)

A városi hősziget által kialakuló cirkuláció jó hatással van az urbanizált környezet klímájára. Azok a tényezők tehát, melyek a kedvezőtlen hősziget jelenséget generálják, csökkennek a szintén maguk által indukált városi szél által. Így létrejön egy hullámzó folyamat: A városklíma által létrehozott, nyomáskiegyenlítésre törekvő, a városközpont felé áramló szél mérsékli a belső területek hőmérsékletét, ezáltal pedig gyengül a

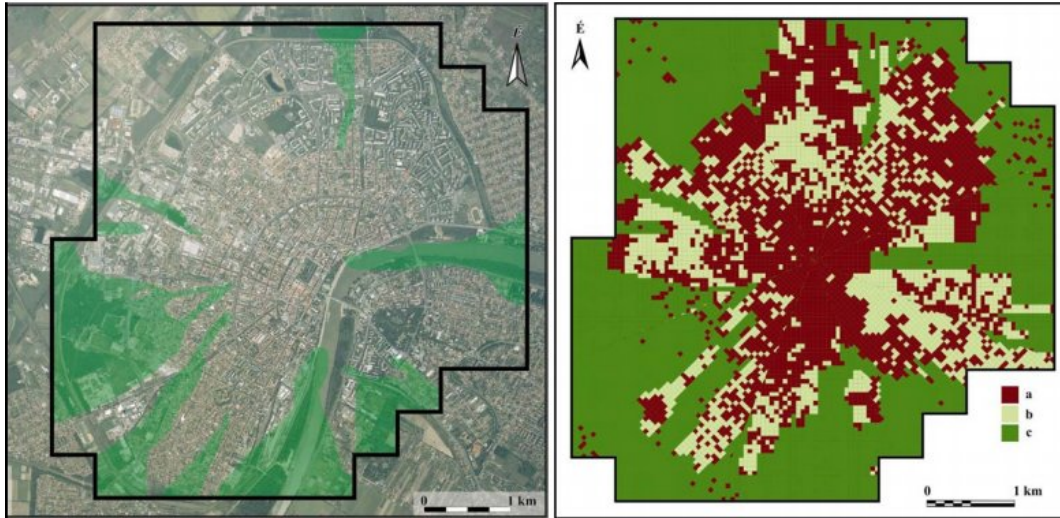
hőmérsékletkülönbség miatt fennálló cirkuláció. Egy idő után a légáramlás és ezáltal annak hűtő hatása megszűnik, újra a belterületeken újra emelkedik a hőmérséklet, majd az egész folyamat indul előlről a cirkuláció létrejöttével.

A városi cirkuláció fenntartásának elősegítésére több feltétel kell, hogy egy időben teljesüljön. A kialakuláshoz szükség van a központ irányába hosszan elhúzódó, kiterjedtebb vegetatív területekre, úgynevezett átszellőzési vagy ventilációs folyosókra. Ezeknek ugyanis (legyenek akár folyópartok, parkok, vagy széles utak) kisebb az érdességük a beépített területekhez képest, így kevésbé akadályozzák a beáramlást (Unger, 2010). Az ilyen zöldfolyosók, ha a városban sugáriránynak megfelelően helyezkednek el, könnyedén, rövid idő alatt kitisztíthatják, átszellőztethetik a fedett területet (Fórián és Hagymássy, 2009).

Az áramlási folyosóknak, a kedvező hatás érdekében meg kell felelniük bizonyos feltételeknek:

- A szél és az épületek, objektumok közti súrlódást befolyásoló átlagos, ún. érdességi magasság nem haladhatja meg a 0,5–1 méteres szintet, alacsonyan tartva ezzel a felszín érdességét (a zárt épülettömbök, sűrű fásítások tehát kerülendők);
- A folyosónak legalább 1 km hosszan kell húzódnia, a városközpont felé irányulva,
- szélessége minimálisan 50 m, illetve többszörösen meg kell, hogy haladja a szomszédos objektumok magasságát;
- Szélei határozottak, csak kis mértékben lehetnek tagoltak;
- A tereptárgyak szélessége a folyosóéénak maximum 10%-át teheti ki, és hosszabbik oldaluk párhuzamos a folyosóval;
- Az elemek magasság-szélesség aránya növényzet esetén legfeljebb 0,2 lehet;
- A beáramlási területek borítottsága lehetőleg valamilyen növényzet, vegetatív, kevésbé szennyezett terület legyen, hűtő hatással rendelkezzen (Barlag and Kuttler, 1990; Metzerekis and Mayer, 1992).

Az áramlási folyosók szoros kapcsolatban állnak felszín érdességével, ezáltal a városi tetőszint réteggel is. A következő (3.1.2) ábrán a folyosók elhelyezkedése (bal oldal) összehasonlítható a felszíni érdességgel (jobb oldal). A kialakított folyosók átszellőzést elősegítő pozíciói fontosak a levegőkörnyezet védelem és így a városrendezés szempontjából is (Gál és Unger, 2008; Gál et al. 2008).



3.1.2. ábra: Bal oldalon zölddel az áramlási folyosók, jobb oldalon pedig a ventilációs folyosók kritériuma alapján készült kompozit kép látható, ahol a területek a színeknek megfelelően: a.) nem felelnek meg a feltételeknek, b.) érdességi magasságuk megfelelő, c.) érdességi magasság és kiterjedtség is megfelelő (Gál, 2009 alapján).

Nem csak a nagyobb zöldterületek módosítják a szélirányt a városon belül, hanem akár egy-egy utcai növénytársulás is. Ezek a vegetációs szigetek, vagy kisebb bokor- és facsoportok szintén befolyásolják az áramlás irányát, akadályt képezve a szél útjába. Elterítik és megszűrik a levegőt, annak minőségét is javítva ezzel, függően a szóban forgó növényzet geometriájától, magasságától, a lombzat átteresztő képességétől és sűrűségétől (Scudo, 2002). Léteznek kifejezetten széltörés céljából telepített növényállományok, melyek hatékonyabbak, mint a szélvédő falak, és kedvezőtlen hatásuk sincs a környezetükre. Falak és épületek esetében ugyanis a megtört áramlás az akadály túlsó oldalán intenzív turbulenciát hoz létre, amely erodáló, szívó hatást eredményez, roncsolva az ottani közeget. Ezzel szemben egy fásor nem zárja el teljesen az áramlás útját, mindössze megszűri azt, így nem alakul ki örvénylés az átellenes oldalon. Nem mellesleg hatékonyabb a széltörő képessége, akár magasságának 5–10-szeres távolságában is képes lelassítani, megtörni a szelet (Fórián és Hagymássi, 2009).

A kiterjedtebb zöldfelületek transzspirációjukkal hűtik maguk felett a légréteget, ami aztán helyet cserél a melegebb levegővel. A létrejövő vertikális légmozgás kitisztítja, átszellőzteti a területen a levegőt. A megfelelő átszellőzés a zöldfelület és a város méretétől is függ. Egy Budapest méretű településen 9 km/h szélsősebesség esetén már kicserélődik a város levegője, de a kitisztuláshoz minimum 5 hektár zöldfelület szükséges (Ongjerth et al., 2011). Lényeges tehát, hogy tekintve a város szélviszonyait, azok kedvező módosítására a

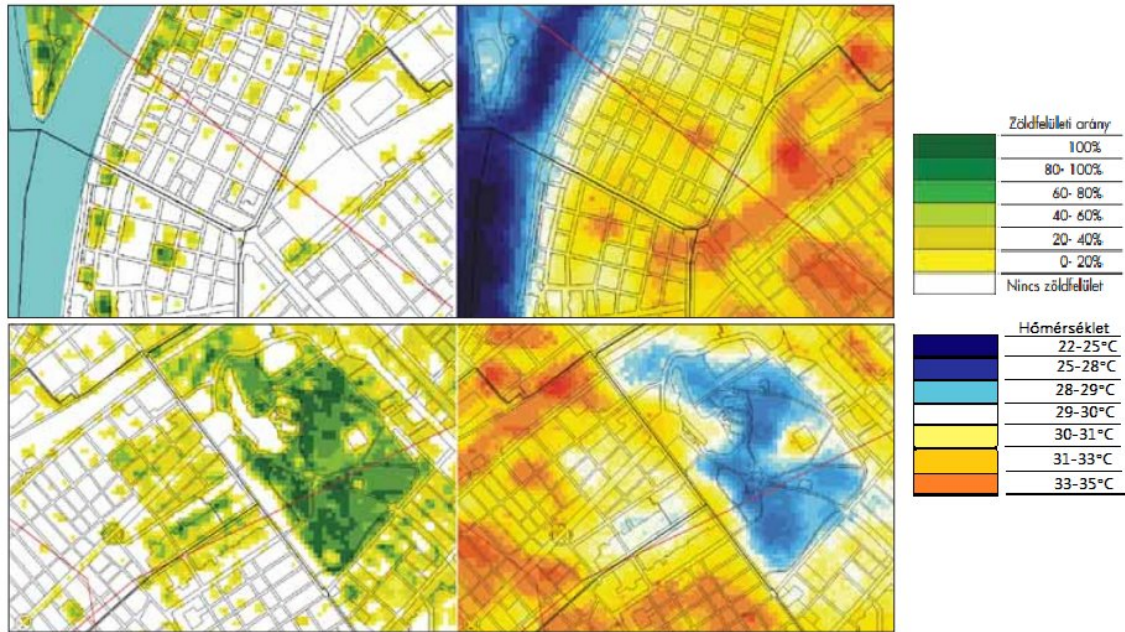
zöldfelületi rendszer rendezetten legyen kialakítva, annak nagyobb zöldterületei össze legyenek kapcsolva mind a vizsgált település határaival, mind annak határain belül egymással is.

3.1.2. A növényzet hatása a hőmérsékletre és a páratartalomra

A városklíma legjellegzetesebb, könnyen érzékelhető eleme a városi hőmérséklet többlet, amely függ a szinoptikus helyzettől, az évszaktól, a napszaktól, illetve szabályozható a beépítettség mértékével és a felszín borítottságával (Oke, 1982). Ezért a zöldfelületek városok hőháztartására gyakorolt hatása elsődleges szerepet játszik a negatív hatások ellensúlyozásában, a városi hősziget alakításában (Konkolyné, 2003). A telepített növényzet különféleképpen csökkentheti a hőmérsékletet (Oláh, 2010):

- A fotoszintézis során a növények a beérkező sugárzási energiát kémiai energiává alakítják, ezáltal mérséklik a hőtermelődési arányt a lefedett területen;
- A növények a párologtatásukhoz szükséges energiát elvonják a környezetüktől, ami egyrészt hűtő hatást, kellemesebb klímát, másrészt páratartalom növekedést idéz elő;
- A fák lombozata árnyékolást szolgáltat a közvetlen napsugárzás ellen és korlátozza a besugárzást.

A növényzet hőmérséklet-csökkentő hatását jól szemlélteti a 3.1.3. ábra, melyen szembevetőd a városi zöldfelület arány és a hőmérséklet közti összefüggés. A legzöldebb területek (ahol a zöldfelületi arány meghaladja a 80%-ot) a leghűvösebbek, 12–14 °C-kal alacsonyabbak a vegetáció nélküli területeknél.



3.1.3. ábra: Zöldfelületi arány (bal oldali ábrák) és felszínhőmérsékleti értékek (jobb oldali ábrák) kapcsolata Budapesten (Gábor és Jombach (2008) alapján)

A ΔT hősziget intenzitás a nagyobb zöldterületeken lecsökken a szomszédos burkolt felszínű területekhez képest. Itt a felszínborítottsággal együtt a hőmérsékleti értékek is jobban hasonlítanak a természeteshez. Ahogy a beépített területeket összehasonlítottuk a külterületekkel, úgy megtehetjük ezt a városon belüli vegetatív és nem-vegetatív szektorok összevetésével is. Kivonva ezen térségek léghőmérsékleti értékét egymásból, az így kapott különbség megadja az úgynevezett parki hideg sziget (Park Cool Island – PCI) intenzitásának mértékét (Spronken–Smith and Oke, 1998, Bacci et al., 2000).

A vegetatív terület hősziget mérséklő hatása a következő tényezőktől függ:

- (1) *A hősziget intenzitása.* Erősebb hősziget-intenzitás esetén a parki hideg sziget hatás is fokozottabb lesz. Ebben főleg a város mérete és beépítettségi rátája játszik szerepet. Egy magyarországi nagyvárosban megfelelő méretű zöldfelület és kedvező időjárási feltételek mellett – például egy derült, nyári nap alkalmával – 4,5°C-os hősziget-intenzitás idején a parki hideg sziget erősségének mértéke 3,5°C volt, jóval megközelítve a városon kívüli klimatikus viszonyokat. Ugyanezen hőmérsékleti elemek éves átlagos maximális értékei rendre 2,3°C és 1,9°C-ot mutatnak, amiből egyenletes évi eloszlásra lehet következtetni, azaz az intenzitások különbsége nem függ az adott évszaktól (Szegedi, 2009).

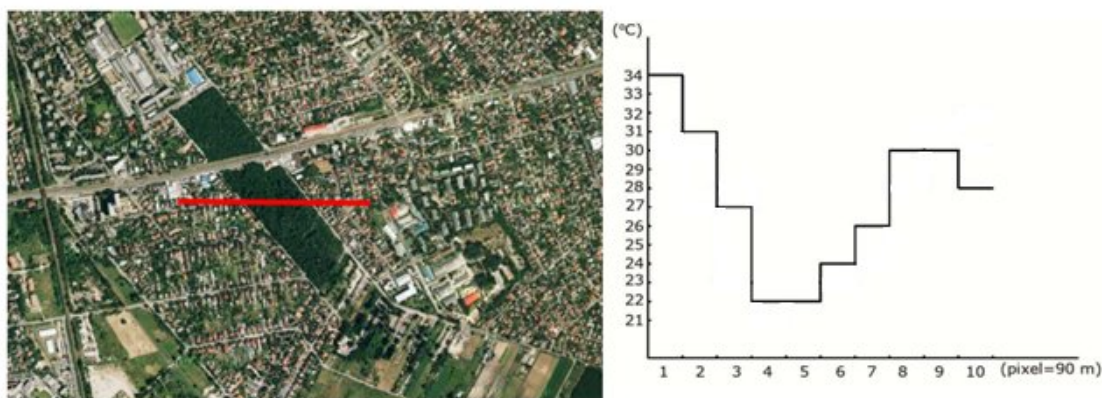
- (2) *A vegetáció szerkezete.* Az összefüggő, kiterjedtebb és sűrűbben ültetett zöldfelületek hűtő hatása erőteljesebb, mint a gyéren telepített kisebb növényállományoké (Mathey et al., 2010). A hőmérséklet-csökkenés eltérő, függően attól, hogy egy park uralkodóan fákkal ültetett, vagy gyeppel borított. A füves parkokban a nagy égboltláthatósági index (Sky View Factor – SVF) miatt nappal gyors melegedés, éjszaka gyors lehűlés figyelhető meg. A fás parkok égboltláthatóságának mértéke ezzel ellentétben nagyon kicsi, ami nappal a besugárzást gátolva hideg sziget kialakulását eredményezi, az éjjeli lassabb lehűlés pedig gyengíti a jelenséget (Jószainé, 2007). A fásított ligetek körülbelül a park szélességével megegyező távolságban érzékeltetik klíma-mérséklő hatásukat (Spronken–Smith and Oke, 1998). A léghőmérséklet egy parkban erősen függ a növényzet sűrűségétől is (Yu and Hien, 2006). A park azon részei a leghűvösebbek, ahol széles lombkoronával rendelkező, magasabb fák, illetve a nagyobb fa és bokor lefedettség a jellemző (Potchter et al., 2006).
- (3) *A vegetáció mérete* (Jonsson 2004; Chow et al. 2011; Shashua-Bar et al., 2011; Cohen et al., 2012). A hűtő hatás létrejöttéhez a park átmérőjének elegendő mindössze átlagosan 60–80 méter nagyságúnak lennie (Ongjerth et al., 2011). 2 km² vegetatív felület már 4,5–5°C-kal is mérsékelheti a térség léghőmérsékletét. Ez az összefüggés azonban logaritmikus léptékű, 1 km²-ig a zöldfelület méretével nagymértékben nő a parki hideg sziget intenzitása, 2 km²-nél nagyobb terület esetén viszont már alig változik (3.1.1. táblázat). Mivel a zöldterület hőmérséklete akár 15–20°C-kal is alacsonyabb lehet, mint a környező városi területé, ez kihat pár száz – pár ezer méter távolságban a szomszédos területekre (3.1.1. táblázat). Egy növényzet borította terület határain túl, de annak közvetlen környezetében a levegő akár 2–8°C-kal is hűvösebb lehet (Taha et al., 1988; Saito, 1990–91). A park határain túl terjedő mérséklő hatás nemcsak a park méretétől, hanem a parki hideg sziget indukálta parki szellő intenzitásától, illetve a városi beépítettség struktúrájától is függ (Fórián és Hagymássy, 2009). Ha egy város területén a burkolt felületek kiteszik, vagy meghaladják az 50%-ot, a parki hűvös sziget nem képes kifejteni hatását a park környezetére (Chang et al., 2007).

3.1.1. táblázat: Néhány számszerű példa a parkok méretének és hőmérséklet-csökkentő hatásuknak kapcsolatára (Ca et al., (1998); Givoni, (1998); Jauregui (1990–91); Saito, (1990–91) alapján)

A park területe (ha)	Átlagos hűtő hatás mértéke (°C)	Hatástávolság
500	2	~2 km
60	1,5	~1 km
0,5	1,5	150 m
0,24	1–2	20 m

(4) *Az aktuális időjárási helyzet.* A parki hideg sziget általi városi hősziget-intenzitás mérséklése nem jöhet létre nagyfokú besugárzás nélkül (Anda és Dunkel, 2000). Napos időben számottevő mindkét jelenség hőmérséklet-különbségi értéke, de felhőzet esetén lecsökken a hideg sziget befolyása.

A parki hideg sziget jelenség a 3.1.4. ábrán figyelhető meg. A diagramon látható, hogy az erdősült szakasz hőmérséklete nagy mértékben eltér a környező – diagram széleire eső – beépített, ám még mindig csak kertvárosi egységektől.



3.1.4. ábra: Egy budapesti, XVI. kerületi zöldterületre jellemző hőmérsékleti metszet (Oláh (2013) alapján)

A különböző növényfajok eltérő mértékű hűtő hatással rendelkeznek. Fajonként változó a lombkorona mérete, struktúrája, a lombzat sűrűsége, melyek mind befolyásolják a mérséklődést. Általánosságban elmondható, hogy minél alacsonyabb a lombhőmérséklet, annál nagyobb mértékű a hűtés. A levél hőmérséklete pedig függ a felépítésétől (levéltömeg, méret, alak, elhelyezkedés), az aktuális időjárástól (beérkező energia, levegő hőmérséklete, szél), a fiziológiai tulajdonságától (reflektancia, párologtatás, sztómakonduktancia) és a

vízellátottságtól (Monteith and Unsworth, 1990). Az egyes fafajok eltérően reagálnak a szélsőséges hőmérsékletekre. Túlnyomóan a kis levelű fajok (pl fehér akác, erdeifenyő) azok, melyek könnyebben tartják alacsonyan a lombkorona hőmérsékletét (Leuzinger et al., 2010). A terebélyesebb, nagylombú fák viszont több árnyékot biztosítanak, előnyösebb a csapadékvíz felhasználásuk és nagyobb biodiverzitással rendelkeznek, mint a kisebb fafajták. A hűtő hatás, a környezetvédelem és a humán komfort szempontjából azonban a felsorolt tulajdonságok mind kulcsfontosságúak, tehát szükség van a többféle, eltérő pozitív hatású fajok telepítésére. Az optimális klímamódosító hatás érdekében egy zöldfelület létrehozásakor a fatípusok kiválasztásához az alább felsoroltakat kell tekintetbe venni:

- Fontos a jó hőtűrő képesség, különösen a szélsőséges hőmérsékletre hajlamos területeken. Nem feltétlenül azok a fajok viselik el a forróságot, amelyek a legnagyobb mértékben hűtik környezetüket, illetve nem biztos, hogy az a faj a legjobb mérséklő hatású 35°C-on, amelyik 25°C-on volt az (Leuzinger et al., 2010).
- Egyes fajokon belül, alfajonként is változhat a szárazságtűrés, a hely- és a vízigény (Niinemets and Valladares, 2006; Urban, 2008)).
- Eltérő, hogy egy-egy faj mennyire hajlamos kártevők vonzására, betegségekre és hogy melyik mennyire viseli a légkör szennyezőanyagait (Mattson and Haack, 1987).

Lényeges megemlíteni, hogy a zöldfelületek klimatikus hatása elsősorban párologtatás és párolgás útján jön létre. A fák a környezet energiáját felhasználva párologtatásukkal illetve evaporációjukkal – a hőmérsékletet mérsékelve és a légnedvességet növelve – javítják a környékük klímaviszonyait. A relatív nedvesség egy fás terület felett 5–6%-kal is növekedhet a növényzet párologtatása által (Radó, 2001). A beépített városrészek páratartalma jóval alacsonyabb, mint a külvárosé, vagy a zöldterületeké, de a termikus különbségek indukálta légáramlatok kielegyítően hatnak az eltérésekre (Nagy, 2008).

Az evapotranszspiráció folyamata, a növényzet hőmérséklet-mérséklő hatásához hasonlatosan, szintén faj-specifikus. A magyarországi városokban előforduló fafajok közül, a párologtatást vizsgálva, erősebb transzspirációs tulajdonsággal rendelkeznek a tölgy-, platán- és hársfélék, míg a juhar, díszcseresznye, kőris és ostorfa nemzetségekbe tartozó fajok kevesebb – esetenként csak fele annyi – vizet párologtatnak el a vegetációs időszak egy hónapja alatt (Hrotkó, 2013).

A nagyobb beépítettségű városokban könnyebben melegszik a légkör, mivel a burkolt felületek a csapadékvíz lefolyásából adódóan hamar elveszítik nedvességüket, így kevesebb a lehetőség a hűtő hatású párologtatásra (Nagy, 2008). A növényzet borította felületek és azok megfelelő hányada tehát fontos összetevői a város felépítésének. A környező légterek páratartalmára való befolyásukkal egészségesebb mikroklímát teremtenek a város lakosainak számára.

3.1.3. A növényzet hatása a város légszennyezettségére

Számos antropogén tevékenység következtében káros hatású anyagok kerülnek a légkörbe, mint a különböző gázok, égéstermékek, füst, por stb. A szennyezett levegő pedig károsítja az élő szervezeteket és negatív hatással van a város klímájára. Európában a népesség 80%-a a WHO által megszabott határértékeket meghaladó légszennyezettségnek van kitéve (WHO, 2013), és ezen uralkodó rossz légminőségi állapotok alól Magyarország sem képez kivételt.

A légszennyezettség mértékét szennyezőanyagokként mérik, melyek koncentrációjára külön-külön szabnak határértéket. A méréseket mérőhálózatokon végzik, általában népesebb, szennyezettebb városokban, ahol több mérőpontot is elhelyeznek a bizonytalanság elkerülésére, illetve a pontosabb, részletesebb kiértékelés, összehasonlíthatóság érdekében. Budapesten 11 ilyen kihelyezett ponton figyelik az értékeket automatikus, néhol pedig kézi méréseket végezve (www.levegominoseg.hu). Nagyvárosok esetén az eredményekben szabályos napi menet figyelhető meg, ami a nappali közlekedésből adódó szennyezőanyag kibocsátásnak köszönhető (l. pl. Tóthiván, 2011). A magasabb szennyezettségi értéknek kitett településeken légszennyezés előrejelzéseket is készítenek szennyezőanyag terjedési modellek segítségével. Ezek az előrejelzések néhány napra terjednek ki és a szennyezőanyag kibocsátások mértékén és időbeli változékonyságán valamint az aktuális és előrejelzett meteorológiai helyzeten alapulnak (Ongjerth, 2011).

Több vizsgálat kimutatta, hogy a városi fák pozitív hatással lehetnek a levegő minőségének javítására, telepítésükkor nem csak a jól ismert esztétikai és rekreációs szerepük szempont, hanem a klímajavító és légszennyezettség csökkentő hatásuk is. Ez a csökkentés történhet közvetlenül, a száraz ülepedéssel a növények felületén, és indirekt módon, a városi hősziget- intenzitás mérséklésével, a lombkorona párologtatása és árnyékolása által. A fák a

leveleken keresztül történő párologtatásukkal jelentősen csökkentik a helyi levegő hőmérsékletét (1. 3.1.2. fejezet). Az alacsonyabb léghőmérséklet egyben szennyezőanyag koncentráció csökkenéshez is vezet, mivel a károsanyag-kibocsátás gyakran összefügg a levegő hőmérsékletével (evaporáció, illékony szerves vegyületek). A termikus viszonyok változásával módosul a város energia felhasználása is, hiszen az árnyékoló hatás következtében, egyes kedvező fekvésű épületekben kevésbé igényelt a légkondicionáló berendezések üzemeltetése. Ez a csökkent energiafelhasználás közvetetten ugyancsak csökkenti a szennyezettséget, az épületek hűtésének céljából termelt károsanyag-kibocsátást (Akbari et al., 1992). A zöldfelületek által hűtött levegő a légkör ózontartalmára is pozitív hatással van, mivel az ózonképződés folyamata a hőmérséklettel arányosan növekszik. Az ózonkoncentráció csökkentése ezen kívül történhet közvetlen módon, ülepedéssel, növények gázcserenyílásain történő felvétel útján is (Musselmann and Massman, 1999). A növényzet szélesebbségre és szélirányra gyakorolt befolyása szintén szabályozza a szennyezőanyagok koncentrációját, ez azonban az adott felszín geometriájától függően pozitív, vagy negatív hatással is lehet a levegő minőségére (Nowak and Heisler, 2010).

A fák a légszennyező anyagokat elsősorban leveleiken keresztül veszik fel, bár a legtöbb részecske a növény felületén marad, ahonnan újra bekerülhet a légkörbe lemosódással, gally- és levélhullással. A vegetációs időszak alatt a terebélyesebb, egészséges, 77 cm-nél nagyobb törzsátmérőjű fák körülbelül 70-szer több szennyezést távolítottak el évente, mint a kisebb (törzsátmérő < 8 cm) fajtársaik. A szennyezőanyagok megkötése (por, ózon, kén-dioxid, nitrogén-dioxid, szén-monoxid) arányos a növény felületével (Nowak, 2002), ami azt eredményezi, hogy minél nagyobb egy zöldfelület, annál nagyobb mértékben javítja a levegő minőségét, hiszen egy kiterjedtebb ütközőfelület a létrejövő turbulencia révén több kihulló részecskét tud felfogni, jobban tisztítja a levegőt (Jámborné, 1988).

A légszennyezés elemei közül a troposzférikus ózon (O_3) és a szállópor (particulate matter – PM) a legjelentősebbek, melyek a legtöbb európai városban aggodalomra adnak okot. Nowak és munkatársai által végzett becslések szerint a városi növényzet az Egyesült Államokban 1 év alatt átlagosan 214.900 tonna szállópor szennyezést és 305.100 tonna ózont távolított el a nagyvárosok légköréből (Nowak et al., 2006). A porülepedés a sűrűbben ültetett, kiterjedtebb facsoportok, illetve a fenyőfélék, tűlevelűek esetében a legnagyobb

hatásfokú. Fás szárú növényzet telepítése akár a negyedére (7–26%-kal) is képes csökkenteni az antropogén eredetű szállópor szennyezést (McDonald et al., 2007).

Különösen fontos tisztító folyamat a városi növényzet illékony szerves vegyület (Volatile Organic Compound – VOC) felvevő képessége, mivel ezek az antropogén kibocsátású anyagok az oxigénnel reakcióba lépve apró légköri részecskék formájában részt vesznek a városi hősziget fokozásában, az üvegházhatás növelésében és az ózontermelődésben (Manes et al., 2008). Illékony szerves anyagokat nem csak felvesznek a vegetatív felszínnek, de növényi működés melléktermékeiként ki is bocsátják azokat (Noe et al., 2008). A megkötés hatása azonban meghaladja a kibocsátását, ezáltal összességében kedvez a légszennyezettség alakításában. Az illékony szerves vegyületek kibocsátására hajlamos növénycsoportok ezenfelül erősen reaktívak a légköri ózonnal, nitrogén-oxidokkal, és egyéb légszennyező részecskékkel (Fuentes et al., 2000; Di Carlo et al., 2004), melyeket képesek semlegesíteni a szennyezett levegőből.

A szennyezettség szorosan összefügg a város méretével, és annak zöldfelületi hányadával. Ahogy az a 3.1.2. táblázatban megfigyelhető, nagyobb városok zöldterületei – az eddigiekben említett módok együttes eredményeképpen – jelentős mennyiségű (több száz – több ezer tonna) káros anyagot vonnak el a környezetüktől (Murray et al., 1994). A felsorolt egyesült államokbeli városok közül New York rendelkezik a legnagyobb arányú beépítettséggel, zöldfelületi rendszere mindössze 16,6%-át teszi ki a város teljes területének. Itt a fák által eltávolított ózommennyiség átlagosan 0,4%-a a helyi levegő teljes ózontartalmának, míg a szénmonoxid, nitrogén-dioxid, kén-dioxid és szállópor szennyezés növényzet általi mérséklése rendre 0,001; 0,3; 0,4; 0,5 százalékkal javítja a levegő minőségét. Ezek az értékek a vegetatív területek növekedésével arányosan emelkednek. Washington zöldfelületi hányada már 31,1%-os, ami 0,6% ózon, 0,002% szénmonoxid, 0,4% nitrogén-dioxid, 0,6% kén dioxid, illetve 0,7% szállópor csökkenést eredményez. Portland 42%-nyi telepített növényzeti rátája esetén 0,8 (O_3); 0,003 (CO); 0,6 (NO_2); 0,7 (SO_2) és 1 százalékpont (PM₁₀) a javulás mértéke (Lovett, 1994).

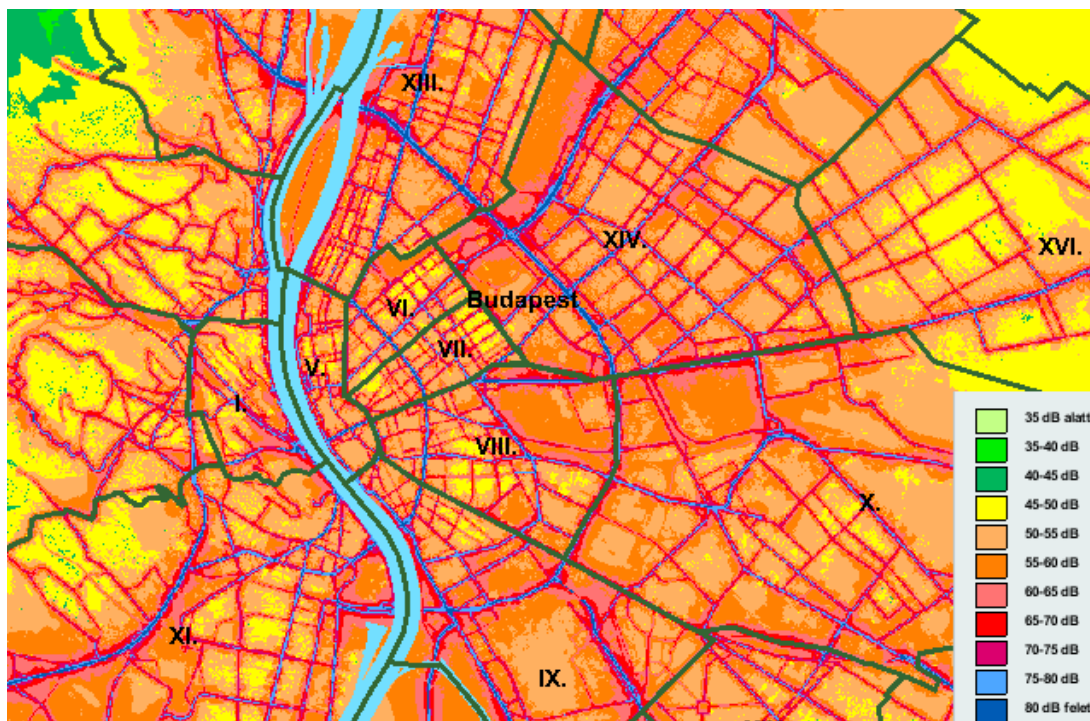
3.1.2. táblázat: A városi növényzet által eltávolított szennyezőanyagok átlagos évi mennyisége (t/év) néhány amerikai nagyvárosban (Nowak et al. (2006) alapján)

Város	Terület (ezer km ²)	O ₃ (t)	PM ₁₀ (t)	NO ₂ (t)	SO ₂ (t)	CO (t)	Összesen (t)
Los Angeles	1214	1260	1470	1150	105	228	4213
New York	784	491	493	478	232	97	1791
Philadelphia	347	289	417	152	152	26	1036
Portland	346	406	449	203	132	87	1277
Baltimore	210	158	148	107	50	13	476
Washington	158	192	161	100	81	24	558
Boston	125	101	75	57	30	9	272
San Francisco	121	80	107	63	12	15	277
Miami	93	104	88	33	7	10	242

A növényzet környezetjavító hatása a szennyezőanyagok mennyiségének mérséklésén kívül a fény- és zajszűrésben, a rezgésvédelemben és a városban kialakuló esetleges szaghatások enyhítésében is szerepet játszik. A telepített biológiailag aktív felszín hatékony zajcsökkentő hatással rendelkezik, hiszen a levelek rugalmasságából eredő zajvisszaverő tulajdonsága, és a köztük lévő légréteg szigetelő hatása következtében a lombzat alkalmas megszűrni, vagy tompítani a kibocsátott hangokat (Sain, 2014). Mérések igazolják, hogy a zajcsökkentő hatás fákkal beültetett környezetben nagyobb mértékben érvényesül, mint az erre a célra kihelyezett zajvédő falak esetén. Zajszennyezésről 65 dB felett beszélünk. Hazánkban Budapest képviseli a legmagasabb értékeket, mellyel a harmadik legzajosabb város a kontinensen. A főváros nappali zajszennyezettségét a 3.1.5. ábra szemlélteti. Jól látható, hogy a külvárosi, kevésbé beépített területeken, illetve a nagyobb közparkok területén kisebb a környezeti zaj mértéke. Már egy szimpla fasor, vagy (betont helyettesítő) gyepszőnyeg is képes elnyelni a zaj egy részét.

A vegetáció rezgéscsökkentő hatása a burkolt felszín megszakító, gyökérzet számára szükséges talaj jelenlétével jön létre, ami a burkolattal együtt a rezgéseket is felfüggeszti. Ez a jelenség abban is megmutatkozik, hogy a zöldfelületekkel tarkított, zöldszigetekkel tagolt utak kevésbé repedezettek, jobb állapotban vannak, mint az egybefüggő aszfalttal borított szakaszok (Radó, 2001).

A környezetet terhelő rezgésekhez, hanghatásokhoz és szennyezettségi szinthez egyre több intézkedési terv kapcsolódik, melyekhez az Európai Parlament és a Tanács hoz irányelveket, értékelésükre és kezelésükre pedig kormányrendelet vonatkozik (Budapest Főváros Önkormányzata, 2007).



3.1.5. ábra: Budapest nappali zajterhelése (terkep.budapest.hu, 2007)

3.2. A vegetáció városi környezetnek való kitettsége

A városok saját éghajlatukat alakítják. A lokális klímától való eltérést létrehozó legfontosabb tényezők a természetes felszín helyettesítő burkolat és mesterséges anyagok. Ezek változásokat eredményeznek a bioszférában (a nagyobb beépítettség kevesebb biológiailag aktív felszín jelent), a sugárzási egyenlegben, a szélviszonyokban, a páratartalomban és a hőmérsékletben. A városi fák és erdők elkerülhetetlenül ki vannak téve ezen elemeknek, valamint szerepet játszanak a szabályozásukban is mind lokális, mind regionális szinten. Minden egyes fa egyenként befolyásolja a városi mikroklímát, módosítja az energiaegyenleget. Ezért annak érdekében, hogy fenntartható legyen a zöldfelületek pozitív hatása, fontos odafigyelni (egyes esetekben korrigálni), hogy a városklíma milyen mértékben veszélyezteti a vegetatív felszín (Konijnendijk et al, 2005).

Az emberi tevékenység nagyrészt közvetetten ugyan, de hatást gyakorol a vegetációban bekövetkező változásokra. A helyi éghajlattól függ ugyanis a növényzet szezonális fejlődése, fenológiai, fenometriai jellemzői, társulási módosulásai, amelyet az antropogén tényezők jelentősen befolyásolnak. Hazánkban, illetve a hasonló klímájú közepes földrajzi szélességeken a vegetációs időszakot és ezáltal a növényfejlődést leginkább módosító tényező a hőmérséklet, melynek alakulása egyre hajlamosabb a szélsőségekre (Sykes, 2009).

A városklíma létrejöttével a téli hónapok lerövidülnek, ezáltal kitolódik a vegetációs időszak hossza. Európai nagyvárosokban akár 10–20 nappal is tovább tarthat a növények éves aktív fejlődési periódusa, fenológiai tulajdonságaik pedig idővel nagymértékben megváltozhatnak (Sukopp and Wurzel, 2003). Műholdas mérésekkel bizonyított, hogy Budapesten a XX. század vége óta folyamatosan csökken a zöldfelületek mennyisége és ezzel egy időben minőségük szintén romlik (Gabor és Jombach, 2009). A megemelkedett városi hőmérséklet káros hatásai közül a legdrasztikusabb, hogy egyes hazánkban is megtalálható fajok úgy védekeznek a kiszáradás ellen, hogy lelassítják életfunkciójukat. Gyakori, hogy ezek a fajok csak 35°C-ig folytatnak fotoszintézist, a felett mérséklék, vagy leállítják azt. Ennek a veszélye fővárosunkban akár két teljes hónapig is fennállhat az év során. Azok a növények azonban, amelyek túrik az ilyesfajta forróságot, legtöbbször egynyáriak, így nem jellemző a városi telepítésük. (Bocz, 1992). Ugyanezen körülményekből kifolyólag viszont a hősziget-hatás megkönnyíti a melegebb éghajlatról származó, fagyérzékeny fajok honosítását. Ez azonban nem jelent megoldást, ha az eredetileg őshonos növényzet egyidejűleg eltűnik a városból.

A vegetációs időszak alatt, legfőképpen nyáron, megjelenik a zöldfelületek módosuló vízháztartásának problémája is. A forróság és a közeli burkolt felszínről érkező sugárzás hatására fokozódik a növények párologtatási kényszere, kellő nedvességtartalmukat hamar elveszítik. Még jobban rontja a helyzetet, hogy a városi körülmények következtében, azaz a beépítettségéből eredően a talajvíz szintje métereket süllyedhet, lehetlenné téve a felvételét. A nagymértékű aszfalt borítottság hatására a csapadék nagy hányada pedig elvezetődik csatornákon, el sem jut a növényzetig, amely azonban a megnövekedett párologtatás miatt már vízutánpótlásra szorulna (Foster et al., 1998).

Egy másik, a városi növényzetet károsító elem a légköri szennyezőanyagok jelenléte. Egyik növényfaj sem áll ellen teljes mértékben a szennyezésnek, tűrőképességük függ az

adott szennyezőanyagtól, az egyed fejlettségi szintjétől, a vegetációs/lombtalan időszak adott szakaszától, illetve a helyszíntől. A káros anyagok, mint az ózon, kén-dioxid, nitrogén-oxidok, illékony szerves anyagok és szállópor különféle növénybetegségekért felelősek. A kén-dioxid és a nitrogén-oxidok láthatóan sárgítják, roncsolják a leveleket, savanyosodást okoznak a talajban. A szállópor lerakódásával a sztómák eltömítődnek, működésük leáll, csökken a növényzetre eső napsugárzás, ezekből adódóan pedig lelassul a növényfejlődés. A kiugróan magas ózon koncentráció értékek levélelhaláshoz, míg a hosszabb ideig fennálló magas ózon koncentráció a vegetációs időszak elhúzódásához és anyagcserezavarhoz vezethet. A legyengült növényi szervezet érzékenyebb a növényi kórokozókkal és a parazitákkal szemben is. Különböző tulajdonságok alapján léteznek besorolások (Sieghardt et al., 2005) például arra, hogy melyik fafaj vesz fel több szennyezőanyagot, melyik használ több szén-dioxidot vagy melyik visel el magasabb légköri ózontartalmat. Habár a vizsgálatokat fiatal egyedeken végezték, mégis egy összehasonlítható képet kapunk a fajok ilyen jellegű jellemzőiről (Benjamin and Winer, 1998), és segítségükkel ki lehet választani, melyek a legideálisabbak a városi telepítéshez.

A városi hősziget, és egyéb környezeti növényzetkárosító hatások elkerüléséhez vagy mérsékléséhez, illetve a városi zöldfelületek humán komfort javító hatásának fokozásához az alább felsoroltakra van szükség (Bartha, 2004):

- szárazságtűrő és a szennyezettségre kevésbé érzékeny fajok telepítése,
- fatörzsek körül tágasabb természetes felület meghagyása,
- rendszeres öntözés és tápanyag biztosítás, nagyobb zöldterületeken locsolórendszer kiépítése,
- állományokba csoportosítás összefüggő területre (azaz kerülendő az egyesével ültetés),
- közterületeken növényvédelmi intézkedések bevezetése, azok gyakoribb alkalmazása,
- téli útsózások csökkentése, esetleges helyettesítése más anyagokkal.

4. Módszerek a városklíma javítására zöldfelületek által

Várostervezéskor és egy város beépítettségi rendszerének kialakításánál fontos szerepet játszanak a klimatikus szempontok. Vizsgálatra szorul, hogy a már kiépített városok használata hogyan befolyásolja a helyi éghajlati, időjárási viszonyokat, illetve hogyan lehetséges a kedvezőtlen városklíma és antropogén hatások mérséklése, megszüntetése vagy kiküszöbölése. Ezek eléréséhez több megoldás is szóba jöhet, de a klímával, humán komforttal kapcsolatos kérdésekre legtöbbször a városi zöldfelületek telepítése adja meg a választ.

A növényzet, hűtő hatásánál fogva, elsődleges eszköz a városi hősziget-hatás csökkentésére. Újszerű mérések kimutatták, hogy a kiterjedtebb és relatíve magasabb facsoportok fejtik ki a legnagyobb mértékű hűtő hatást a környezetükben. Az idősebb, fejlettebb, magasabb faállományok párologtató felülete is nagyobb az újonnan, ritkábban ültetettekhez képest. Terebélyesebb gyökérzetük a talaj mélyebb szintjeiről is képes vizet felvenni, mely meghatározó a hűtést elősegítő transzspiráció mértékében. Mivel a zöldfelület nagysága és hűtő hatása logaritmikus, a humán komfort javításához optimálisan minimum 300 méretenként valamilyen növényállományt kellene létrehozni (Honjo and Takakura, 1990–91).

Másik fontos hűtő hatással is rendelkező tulajdonság a fák árnyékolása. A legoptimálisabb kondicionáló jellegű eredmény eléréséhez javasolt a minél sűrűbb fásítás, ezzel együtt a nagyobb arányú lombkorona borítottság létrehozása legfőképpen a zártan beépített utcákon, a többsávú utak mentén, és a tágasabb belső udvarokon (Oláh, 2012). Közparkokban és zöldterületeken a komfort érzet szempontjából ideális hektáronkénti fák darabszáma 110–130 példány, melyek teljes kifejlődés esetén az adott terület egység 60–65%-ára vetnek árnyékot (ParkÁsz, 2006).

Szintén alapvető szempont az egyes növényfajok telepítésénél, hogy az eltérő fajták különböző tulajdonságaik miatt más-más módon és mértékben hatnak a város klímájára, illetve légkörére. Urbanizált környezetben jellemzően a nagy tűrőképességgel bíró, de minél hatékonyabb kondicionáló és párologtató jellemvonással rendelkező vegetáció a fellelhető, hiszen ezek oda-vissza elviselik, és pozitív hatást gyakorolnak a módosult éghajlati

viszonyokra. Egy adott városban a legellenállóbb növények az eredetileg is őshonos fajokból állnak, mint Budapesten a nyár, tölgy, kőris, szil és fűz nemzetségek fajai (Oláh, 2012).

A nagyobb európai városokban már intenzíven foglalkoznak az utóbbi évtizedekben degradálódott növényzet visszatelepítésének kérdésével, illetve a városi zöldfelületek arányának növelésével. Egyre több épület oldalát futtatják be, vagy tetejüket ültetik be növényekkel, mely nem csak ökológiai szempontból hasznos, hanem a szerkezetre, az épület energetikájára is jó hatással lehet. Az inaktív tetőfelületek zöldfelületté történő átalakításával növelhető a zöldterületek aránya, melyekkel új életterek jelennek meg a város beton- és aszfaltsivatagában.

A zöldtetők (3.2.1. ábra) alkalmazása mérsékelt hősziget-intenzitást jelent a szóban forgó épület számára. A növényzet többféleképpen csökkentheti az épület felszíni hőmérsékletét. Többek közt a vegetáció transzspirációjával jelentős mennyiségű vizet párologtatva gátolja az erős nappali felmelegedést. A zöldtető rétegei szerkezetükből adódóan visszatartják a csapadékvizet, növelve a tető hőkapacitását, melynek következtében szintén kevésbé melegszik fel az épület a nap folyamán, és kevésbé hűl le az éjjel. A tető lemezei közti és az egyes rétegek által tartalmazott levegő növeli a ház felszínének hőszigetelő képességét (Oláh, 2010) illetve zajszigetelőként is működik. A zöldtető növényzetének zajvisszaverő és zajszűrő tulajdonsága a lemezes szerkezetének köszönhető. A hangrezgések egy részét tompítja, a másik részét pedig visszaveri. A zajvédelem mértéke függ a növény fajtájától, a lombzat méretétől és az évszaktól is. Mérések szerint átlagosan 5 dB körüli zajtompításra képes egy zöldtető vagy zöldhomlokzat (Nagy, 1996). A város általános zajterhelése is csökken, hiszen a növény borította tetők és falak kevésbé verik vissza a hanghullámokat, mint a simább felszínnek (Pál, 2015). A hőszigetelés és a fokozódott hőkapacitás nyáron és télen is javítja az épület hőháztartását, csökkenti a környezettel való hőátadás mennyiségét (Gerzson és Oláh, 2012).

Megkülönböztetünk extenzív és intenzív típusú zöldtetőket (3.2.1. ábra), melyeknek struktúrája eltérő, a klíma szempontjából azonban ugyanazt a funkciót töltik be. Az extenzív zöldtető 5–15 cm talajvastagságú, emberi tartózkodásra rendszerint nem alkalmas, általában öntözés nélküli tetőbeépítés, melyet a klimatikus viszonyok alapján szükségszerűen létesítenek. Ezzel szemben az intenzív zöldtetők úgy viselkednek, mint egy kert, gondozást és ápolást igényelnek, a nagyobb növények gyökérzetének elegendő térre és megfelelő

tápanyag utánpótlásra van szüksége. Mindkét esetben a telepítendő növényeknek nagyrészt meg kell felelniük néhány követelménynek, mint viszonylag jó szárazság- és sugárzástűrés, fagyállóság, ellenállás a szennyezőanyagokkal szemben, szélstabilitás, rövid gyökérzet, valamint élhetési, megújulási és a terjeszkedő képesség.



3.2.1. ábra: Egy épület tetején kialakított extenzív és intenzív tetőkert (Kecskemét, Kisfaludy ház)

A zöldhomlokzatok esetén a telepített növény az épület falán fut, és azon vagy képes megkapaszkodni, vagy támrendszer segítségével rögzül. A tetőkhöz hasonlóan a nyári hónapokban a napsugárzás elleni védelem a cél. A befutatott faltól a növényzet a beeső napsugárzás 80%-át is távol tarthatja, így annak felszíni hőmérséklete növénytelen falaknál akár 30°C-kal is alacsonyabb lehet. A zöldszetők és zöldfalak alkalmazásával az épületen belül 3–7°C-os hőmérséklet-csökkenés is elérhető, így kevésbé van szükség a klímaberendezések használatára (Pál, 2015). Télen ellenben az a kedvező, ha a falak minél kevésbé hűlnek le. A fal hőmérséklete a növényzet hőszigetelő hatására átlagosan 2°C-kal magasabb is lehet, aminek következtében akár 5–35%-kal csökkenthető a fűtési energia felhasználás (Finke and Osterhoff, 2002).

Gyakori, hogy a városokat zöldgyűrűvel veszik körül, mely segít a városi hősziget-hatás mérséklésében. Léteznek még a klímajavítás érdekében létesített zöld utak is, melyekre a mesterséges burkolatok alacsony aránya jellemző. Az úthálózat szélén fásításokat, gyepesítést alkalmaznak. Ezek olyan természeti folyosók, útvonalak, melyeket ökológiai funkciójukon túlmenően használhatunk sportra, turizmusra és mindennapi (nem-motoros) közlekedésre (Sallay, 2011).

A városklíma javítása érdekében a következő területhasználati, tervezési irányelveket érdemes figyelembe venni (Nagy, 2008):

- Szükséges a burkolt felületek arányának csökkentése illetve a vízfelületek és növényzettel borított felületek kiterjedésének növelése is;
- A besugárzás mértékét árnyékolással, burkolattípusok albedójának változtatásával érdemes szabályozni;
- A felszínközeli légáramlás növényzet általi növelésével és megfelelő városi geometria kialakításával elérhető az állott levegő kiszellőzése, a szennyezőanyagok koncentrációjának mérséklése;
- A levegőt szűrő zöldfelületek kiépítésével csökkenthető a levegő szennyezettsége.

5. Összefoglalás

Szaktervezésben a városklíma és a városi zöldfelületek kapcsolatának részletes szakirodalmi áttekintését végeztem el. Munkám során bemutattam a városklíma jelenségét, azon belül pedig a városi zöldfelületek szerepét, ami napjainkban minden egyes várost érintő kérdés. Részleteztem hatásukat, azok számszerű mértékét, létrejöttét, kedvező klimatikus következményeit, s emellett kitértem az egyes meteorológiai elemek zöldfelületek általi változásaira is. Próbáltam ezzel is felhívni a figyelmet a városi vegetáció jelenlétének fontosságára. Ami pedig a városklíma eredményezte pusztulásukat illeti, hangsúlyoztam, hogy súlyosbítja a vegetációt érintő problémát, hogy a városban módosult klímaelemek káros hatással vannak a biodiverzitásukra, eltolódhat a vegetációs periódusuk, veszélyeztetettek az életfunkcióik. A dolgozat végén ezen problémák megoldására hoztam példákat, összefoglaltam az irányelveket, amelyekkel javíthatunk a fennálló helyzeteken.

Számos szakirodalom áttekintése után megállapítottam, hogy a zöldfelületeknek van a városklímára gyakorolt legerősebb mérséklő hatása. Ez a környezet állapotára és humán komfortra is érvényes jótékony befolyás számos különféle tulajdonságaiknak köszönhető:

- A zöldfelületek eltérő felmelegedésük révén elősegítik a város átszellőzését, máshol pedig az érdesség csökkentésével, és a vertikális inhomogenitásukkal mérséklik az épületek irányította áramlás erősségét;
- A fák árnyékolásukkal csökkentik a besugárzás mértékét, illetve jellegzetes felületük által a növényzet borította felszínen csökken a felszíni direkt sugárzás, és megnő a diffúz sugárzás aránya;
- A növények szennyezőanyag-felvétele csökkenti a légszennyezettséget, a lomboszatok felületén jelentős mennyiségű a porülepedés, valamint egyes fajok a talajszennyezettséget is javítják;
- A csapadék megtartása, a módosított vízháztartás és a párologtatás magasabb nedvességtartalomhoz vezet, ami kedvezően hat a hőmérsékletre, így csökkentve a városi hősziget intenzitását;
- Végül a zöldfelületek a hőmérséklet mérséklésével, illetve az asszimiláció során végbemenő oxigéntermeléssel és CO₂-elnyeléssel mérséklik az üvegházhatást is.

A fent felsorolt tulajdonságok következményeiről, szükségességéről számolok be bővebben a dolgozat fejezeteiben.

A bemutatott szakirodalmi áttekintés városklimatológiai, illetve a városi növényzettel kapcsolatos kutatásokhoz jelenthet nagy segítséget.

Köszönetnyilvánítás

Nagyon nagy köszönettel tartozom témavezetőmnek, egyben tanszéki konzulensemnek, Dr. Mészáros Róbertnek, egyrészt amiért rengeteg segítséget nyújtott a dolgozat elkészítésében illetve a felmerült problémák megoldásában, másrészt pedig azért, mert szaktudásával és lelkes, segítőkész hozzáállásával az első perctől kezdve nyomon követte munkámat. Köszönöm türelmét és segítségét, amivel lehetővé tette a dolgozat eredményes elkészültét.

Hálával tartozom Dr. Pongrácz Ritának, aki a rendelkezésemre bocsátott hasznos cikkekkkel segítette munkámat.

Tiszta szívvel köszönöm továbbá a szüleimnek, és mindazoknak, akik felajánlották segítségüket vagy biztattak a dolgozat elkészítése során.

Köszönöm mindenkinek!

Irodalomjegyzék

- Ahrens, C. D. (2006), *Meteorology today: An introduction to weather, climate, and the environment*. Eighth edition. Florence, Ky.: Brooks/Cole.
- Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J., and Winnett, S. (1992), *Cooling Our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfaces*. US EPA PM-221. 217 p.
- Anda A., Dunkel Z. (2000), *Agrometeorológia*. Egyetemi jegyzet, VE-GMK, Keszthely
- Bacci L., Morabito M., Rapi B., Battista P. (2000), Analysis of urban heat island in the Florentine area (Italy) and application of different biometeorological indexes. 3rd European Conference on Applied Climatology – Tools for the environment and man of the year 2000, 5 p.
- Barlag A. B., Kuttler W. (1990), The significance of country breezes for urban planning. *Energy and Buildings* 15–16, 291–297 p.
- Bartha I. (2004), Nyíregyháza megyei jogú város közgyűlésének 2/2004. (I.28.) számú határozata Nyíregyháza Megyei Jogú város középtávú zöldfelületi programjának elfogadásáról
- Bartholy J., Pongrácz R., Lelovics E., Dezső Zs. (2009), Comparison of urban heat island effect using ground-based and satellite measurements. *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis* 42–43: 7–15 p.
- Belügyminisztérium - VÁTI Nonprofit Kft. (2011), *Klímaparát városok - Kézikönyv az európai városok klímaváltozással kapcsolatos feladatairól és lehetőségeiről*. Belügyminisztérium - VÁTI, Budapest, 139 p.
- Benjamin M. T., Winer A. M. (1998), Estimating the ozone-forming potential of urban trees and shrubs, *Athmospheric Environment* 32 (1), 53–68 p.
- Bocz Ernő szerk. (1992), *Szántóföldi növénytermesztés*. Mezőgazda Kiadó. Budapest, 423–426 p.
- Ca V.T., Asaeda T., Abu E. (1998), Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings* 29, 83–92 p.
- Chang C.-R., Li, M.-H., Chang, S.-D. (2007), A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning* 80, 386–395 p.
- Chow W. T. L., Pope R. L., Martin C. A., Brazel A. J. (2011), Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. *Theor. Appl. Climatol.* 103, 197–211 p.
- Cohen P., Potchter O., Matzarakis A. (2012), Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. *Build. Environ.* 51, 285–295 p.
- Di Carlo P., Brune W. H., Martinez M., Harder H., Leshner R., Ren X. et al. (2004), Missing OH reactivity in a forest: Evidence for unknown reactive biogenic VOCs. *Science* 304: 722–725 p.
- Eliasson I, Upmanis H (2000), Nocturnal airflow from urban parks-implications for city ventilation. *Theor Appl Climatol* 66, 95–107 p.

- Finke C., Osterhoff J. (2002), Zöld homlokzatok. Budapest, CSER kiadó, 100 p.
- Foster S. D. S., Lawrence A., Morris B. (1998), Groundwater in urban development: assessing management needs and formulating policy strategies. World Bank Publications, 1998. 55 p
- Fórián S., Hagymássy Z. (2009), Zöldfelületek szerepe az urbanizált környezetben. Debreceni Műszaki Közlemények 2009/1–2, Debrecen, 43–52 p.
- Fuentes D., Lerdau M., Atkinson R., Baldocci D., Bottenheim J. W., Ciccioli P. et al. (2000), Biogenic hydrocarbons in the atmospheric boundary layer. Bull Amer Meteorol Soc; 81: 1537–1575 p.
- Gábor P., Jombach S. (2008) A zöldfelület intenzitás és a városi hősziget jelenségének összefüggései Budapesten. Falu-Város-Régió folyóirat, 2008 / 1., VÁTI Kht, Budapest
- Gabor P., Jombach S. (2009), The Relation between the Biological Activity and the Land Surface Temperature in Budapest. Applied Ecology and Environmental Research, Vol. 7(3), 2009, Budapest, 241–251 p.
- Gábor, P., Jombach, S., Ongjerth, R. (2008). The relation between the biological activity and the land surface temperature in Budapest. URBIO 2008 Proceedings, Budapest
- Gál T. (2009), Az összetett városi felszín geometriáját leíró paraméterek számítása és városklimatológiai alkalmazása. PhD értekezés, SZTE TTIK Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged (kézirat) 102. p.
- Gál T., Unger J. (2008), Lehetséges ventillációs folyosók feltérképezése érdességi paraméterek alapján egy városi területen. Léghő 53/3, 2-7 p.
- Gál T., Unger J., Benkó D. (2008), Roughness mapping process in an urban study area. Klimat Bioklimat Miast, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 501–512 p.
- Gerzson L., Oláh A. B. (2012), A zöld építészet tájépítészeti vonatkozásai, eszközrendszere 4D Tájépítészeti és Kertművészeti folyóirat Különszám, 245–257 p.
- Géczi R. (1999), Városökológiai kutatások néhány időszerű kérdése Kolozsváron. PhD Disszertáció, József Attila Tudományegyetem, Szeged, 116. p.
- Givoni B. (1998), Impact of green areas on site and urban climates (Chapter 9). In: B. Givoni ed. Climate considerations in building and urban design. J. Wiley & Sons, New York. pp. 303–330 p.
- Harnos Zs., Gaál M., Hufnagel L. (2008), Klímaváltozásról mindenkinek. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest
- Honjo T., Takakura T. (1990–91), Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. Energy and Buildings 15, 443–446 p.
- Hrotkó K. (2013), Városi fák környezeti hasznának vizsgálata, Növényvédelmi konferencia, Sárospatak
- Jauregui E. (1990–91), Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. Energy and Buildings 15, 457–63 p.

- Jámbor I. (2002), A települések zöldfelülete (Kézirat) Budapesti Corvinus Egyetem Tájépítészeti Kar Kert- és Településépítészeti Tanszék.
- Jámborné B. E. (1988), Ipari területek. In: Schmidt G.: A kert élő díszei, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 161–169 p.
- Jonsson P. (2004), Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *Int. J. Climatol* 24, 1307–1322 p.
- Jószainé P. I. (2007), Zöldfelület-gazdálkodás, parkfenntartás, Kertművészeti és Kerttechnikai Tanszék, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 361 p.
- Klysik K, Fortuniak K, (1999), Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland. *Atmos. Environ.* 33, , 3885–3895 p.
- Konijnendijk C. C., Nilsson K., Randrup T. B., Schipperijn J. (2005), Urban forests and trees: A Reference Book, Chapter 11, Sieghard M. et al.: The abiotic urban environment: Impact of urban growing conditions on urban vegetation, Springer, New York, 281–292 p.
- Konkolyné Gy. É. et. al. (2003), Környezettervezés, Mezőgazda Kiadó, Budapest
- KSH (2011), Népességeloszlás településenként
- KSH Védegylet (2006), Magyar városok 1 főre jutó zöldterülete
- KVSZ (2006), XVII. kerület Városrendezési és Építési Szabályzatáról és Budapest Főváros XVII. kerület Önkormányzatának 3/2006. (III. 2.) rendelete 27–37§, KVSZ, Budapest
- Landsberg H. E. (1981), The urban climate. Academic Press, New York-London-Toronto-Sydney-San Francisco. 83–126. p.
- Landsberg, H. E. (1981), The Urban Climate. Academic Press, 275 p.
- Lelovics E., Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2011), Budapesti városi hősziget elemzése: műholdas és felszíni mérések összehasonlítása. *Léggör* 56: 55–59 p.
- Lelovics E., Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2012), A Budapesti városi hősziget hatás elemzése műholdas és felszíni mérések alapján. VI. Magyar Földrajzi Konferencia, Budapest, 530–537 p.
- Leuzinger S., Vogt R., Körner C. (2010), Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 150, 56–62 p.
- Lovett G. M. (1994), Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications* 4, 629-650 p.
- Manes F., Salvatori E., La Torre G., Villari P., Vitale M., Biscontinini D., Incerti G. (2008), Urban green and its relation with air pollution: ecological studies in the Metropolitan area of Rome. *Italian Journal of Public Health* 5/4/2008, Róma, 279–283 p.
- Mathey J., Rößler S., Wende W. (2010), Role of Urban Green Spaces for Cities under Climate Change Aspects of Planning and Implementation, UNECE, Prague

- Mattason W.J., Haack R.A. (1987), The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *BioScience* 37, 110–118 p.
- McDonald, A. G. et al. (2007), Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations. *Atmospheric Environment*. 41(38), 8455–8467 p.
- Monteith J. and Unsworth M. (1990), *Principles of environmental physics*. Academic Press (Elsevier), London
- Mrekvicskáné Németh A., Ongjerth R, Radnóczy P., (2006), Pro Verde Budapest zöldfelületi-rendszerének fejlesztési koncepciója és programja 10,62–63/102. p.
- Murray F. J., Marsh L., Bradford P. A. (1994), *New York State Energy Plan, vol. II.: Issue Reports*, New York State Energy Office, Albany, NY
- Musselmann R. C., Massman W. J. (1999), Ozone flux to vegetation and its relationship to plant response and ambient air quality standards. *Atmospheric Environ.*; 33: 65–73 p.
- Nagy I. (2008), *Városökológia*. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 336 p.
- Nagy Gy. (1996), *Zöld homlokzatok*. Ybl Miklós Műszaki Főiskola, Budapest, főiskolai jegyzet 32p.
- Niinemets U., Valladares F. (2006), Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs* 76, 521–547 p.
- Noe S. M., Penuelas J., Niinemets U. (2008), Monoterpene emissions from ornamental trees in urban areas: a case study of Barcelona, Spain. *Plant Biology*; 10: 163–169 p.
- Nowak D. J. (2002), *The effects of urban trees on air quality*, USDA Forest Service, Syracuse, NY, 5 p.
- Nowak D. J., Crane D. E., Stevens J. C. (2006), Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 2006; 4: 115–123 p.
- Nowak D. J., Heisler G. M. (2010), *Air Quality Effects of Urban Trees and Parks*. National Recreation and Park Association, Research Series, Ashburn, 45 p.
- Oke T. R. (1976), The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere* 14, 268-277 p.
- Oke T. R. (1981), Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology* 1, 237–254 p.
- Oke T. R. (1982), The energetic basis of the urban heat island. *Q J Roy Meteorol Soc* 108, 1–24 p.
- Oke T. R. (1989), The micrometeorology of the urban forest. *Phil. Trans. Royal Soc., London*, B 324, 335–349 p.
- Oláh A. B. (2010), *Bioklimatikus városrehabilitáció és városi hőszigetek elkerülése. Épített örökség és korszerű energiahatékonyság építési kultúra és CO2-kibocsátás*. Építész szakmai konferencia, 2010. április 15.

- Oláh A. B.(2012), A Városi beépítettség és a felszintípusok hatása a kisugárzási hőmérsékletre. Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Kert- és Szabadtervezési Tanszék, Budapest, 146 p.
- Oláh A. B. (2013), A városklíma kutatások és a településszervezés, a városi tájépítészet összefüggései, Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti kar
- Ongjerth R., Gábor P., Jobbach S. (2007), A városi hősziget és a zöldfelületi intenzitás kapcsolata, Studio Metropolitana, Budapest
- Ongjerth R., Baranka Gy., Bartholy J., Berbekár É., Bozsó B., Gál T., Gulyás Á., Kántor N., Kohán Z., Kristóf G., Lohász C., Makra L., Mika J., Péti M., Pongrácz R., Rideg A., Szegedi S., Szilágyi K., Unger J., Zöld A.(2011), Városklíma Kalauz. Döntéshozóknak és döntés-előkészítőknak. Magyar Urbanisztikai Társaság, Budapest, 28 p.
- OTÉK (1997) 253/1997 (XII.20.) Kormányrendelet, OTÉK 27.§ (1), 16/58 p.
- Pál J. (2015), Zöldtetők és zöldhomlokzatok, Lélegzet Alapítvány - Levegő Munkacsoport, 17 p.
- Park H. S. (1987), Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments. Environmental Research Center Papers 11, The University of Tsukuba, Ibaraki, Japan, 79 p.
- Perényi I. (1972) Településtervezés; Tankönyvkiadó, Budapest
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs., Gelybó gy., Kern A., Radics K. (2013), Alkalmazott és városklimatológia, ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék, Budapest, 174 p.
- Potchter O., Cohen P., Bitan A. (2006). Climatic behaviour of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. International Journal of Climatology 26, 1695–1711 p.
- Probáld, F. (1965), A nagyváros éghajlati sajátosságai. Doktori értekezés, 118 p.
- Probáld F. (1974), Budapest városklímája, Akadémiai Kiadó, Budapest, 127 p.
- Radó D. (2001), A növényzet szerepe a környezetvédelemben, Zöld Érdek Alapítvány - Levegő Munkacsoport, Budapest, 141/ 20–40, 90–117 p.
- Rotach et al. (2005), BUBBLE - an Urban Boundary Layer Meteorology Project. Theor. Appl. Climatol. 81, 231–261 p.
- Saito I. (1990–91), Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. Energy and Buildings 15, 493–498 p.
- Sain M. (2014), Városi zöldfelületek rendszere. Tanulmány a Promontorium Polgári Casino „Közösségi tervezés Budafokon” című, az EGT/Norvég Civil Támogatási Alap által támogatott projektjéhez, Budapest, 27 p.
- Sallai Á. (2011), Greenways = Zöldutak in.: Filepné Kovács K. et al.: Tájtervezés és Területfejlesztés, Egyetemi jegyzet Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest ,193–204. p.

- Scudo G. (2002), Green Structures and Urban Planning. Thermal Comfort in Greenspace, Proceeding of COST II, Malian
- Shashua-Bar L., Pearlmutter D., Erell E. (2011), The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *Int. J. Climatol.* 31, 1498–1506 p.
- Sieghard M., Mursch-Radlgruber E., Paoletti E., Couenberg E., Dimitrakopoulos A., Rego F., Hatzistathis A., Randrup T. B. (2005), The abiotic urban environment: Impact of urban growing conditions on urban vegetation, In : Konijnendijk et al.: Urban forests and trees: A reference book, Springer, New York, 281–292 p.
- Soósné D. Zs. (2009), A magyarországi és közép-európai nagyvárosokban kialakuló városi hősziget vizsgálata finom felbontású műholdképek. Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK, Meteorológiai tanszék, Budapest
- Spronken-Smith R. A., Oke T. R. (1998), The thermal regime of urban park sin two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing* Vol.19, Issue 11, 2085–2104 p.
- Spronken-Smith R.A., Oke T.R. (1999), Scale modeling of nocturnal cooling in urban parks. *Boundary-Layer Meteorology.* Vol. 93, No. 2: 287–312. p.
- Sukopp H., Wurzel A. (2003), The Effects of Climate Change on the Vegetation of Central European Cities, Urban Habitats, Germany
- Sykes, M. T. (2009), Climate Change Impacts: Vegetation. eLS. Lund University, Sölvegatan 12, Lund, Sweden
- Szegedi S. (2009), Településökológia – Települési környezetminőség in: Települési Környezet (Szabó V., Fazekas I.): A Nagyerdő hatása a városi hősziget térszerkezetére Debrecenben. Debreceni Egyetem, Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék, 122–127 p.
- Szegedi S., Baros Z. (2006), A hősziget kifejlődése és a település méret közötti kapcsolatok vizsgálata hajdúsági településeken, Szeged, 657–665 p.
- Szuróczi Z., Tőkei L. (1988), Táj- és kertépítészeti meteorológia, Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Házinyomdája, Budapest
- Taha H.G., Akbari H., Rosenfield A. (1988), Vegetation canopy micro-climate: A field project in Davis, California. Lawrence Berkeley Laboratory Report No. 24593. Lawrence Berkeley, Davis, California, USA
- Tóthiván, B. (2011), Városi légszennyezés vizsgálata a Péczely-féle makroszinoptikus osztályozás segítségével. Diplomamunka, ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék, Budapest
- Unger J. (2010), A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa. MTA Doktori Értekezés, SZTE, Szeged, 107 p.
- Unger J., Sümeghy Z. (2002), Környezeti klimatológia, SZTE-TTK, Szeged, 132–197 p.
- Unger J, Sümeghy Z, Kántor N, Gulyás Á (2012), Kisléptékű környezeti klimatológia. JATEPress, Szeged, 221 p.

Urban J. (2008), Up by roots: healthy soils and trees in the built environment. International Society of Arboriculture, University of Wisconsin, Madison, USA

Voogt J. A., Oke T. R. (2003), Thermal remote sensing of urban climate. Remote Sensing of Environment 86: 370–384 p.

WHO Levegőminőségi Ajánlásai (2013), Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project, WHO/Europe

Yu C., Hien W.N. (2006), Thermal benefits of city parks. Energy and Buildings 38, 105–20 p.

Zöld A. (1999), Energiatudatos építészet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 214 p.

Internetes források:

<http://users.atw.hu/parkasz2006-2/>

ParkÁsz (2006), Környezetvédelem, Zöldfelület gazdálkodás 2006-2

<http://www.geo.u-szeged.hu/~toto/V%20E1ros%20F6kol%20F3gia%20tananyag%20jav/ch07s05.html>

Szilassi P. (2012), A zöldfelület tervezés alapjai, 7. fejezet - A települések zöldfelületi rendszere. A zöldfelület tervezés ökológiai alapjai

<http://www.levegominoseg.hu>

Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat, Földművelésügyi Minisztérium

http://terkep.budapest.hu/website/zajterkep_html/zaj_index.htm

Budapest és vonzásokörzete egyszerűsített interaktív stratégiai zajtérkép térinformatikai rendszer, 2007