

A TELEPÍTÉSI SŰRŰSÉG ÉS A LOMBKORONA- BORÍTOTTSÁG VIZSGÁLATA BUDAPESTI SZABADTEREKEN

Esettanulmányok 1. rész – Móricz Zsigmond körtér

STUDY OF PLANTING DENSITY AND CANOPY COVER IN OPEN SPACES IN BUDAPEST

Case Studies Part 1 – Móricz Zsigmond Square

TÓTH BARNABÁS | DOMA-TARCSÁNYI JUDIT | SZABÓ KRISZTINA

ABSZTRAKT

A városi zöldfelületi rendszer fontos részét képezik a közterületen álló faegyedek, amelyeknek az urbanizáció, a klímaváltozás és az emberi tevékenység következtében egyre nehezebb körülményekhez kell alkalmazkodniuk. A zöldfelületek nagymértékben javítják a mikroklímát, segítik a biológiai sokféleség megőrzését, és esztétikai szempontból is fontos szerepet töltenek be, ezért megóvásuk és fejlesztésük szükséges. Hazánkban 2000-es évektől kezdve rengeteg tanulmány, illetve civil kezdeményezés emeli ki a zöldfelületek fontosságát, de jellemzően kvantitatív megközelítésből részletezi azokat. A kiültetések minőségének javítása azonban hasonlóan fontos feladat. Kutatásunk a budapesti szabadterek fájának lombkorona-borítottságát a telepítési sűrűség függvényében értékeli, kiemelten egyes terek és utcák fásszárú egyedeinek telepítési távolságával és az ebből adódó borítottsági értékek összehasonlításával.

Vizsgálataink során figyelembe vettük a telepítéskori és a kifejlett lombozati mennyiségi és minőségi változásait, így lehetőségünk van arra, hogy az egyes taxonok környezetét, igényeit és tulajdonságait ismerve (koronaforma, növekedési erély), ideális telepítési ajánlásokat fogalmazzunk meg. Az esettanulmányok sorában elsőként Budapest egyik legjelentősebb intermodális csomópontjának, a Móricz Zsigmond körtér, illetve a hozzá kapcsolódó Bartók Béla út fásszárú egyedeit vizsgáltuk. A körtér lombkorona-borítottsága 5-7 éven belül eléri az ideálisnak definiált minimális 25-30%-os borítottságot. A lombkorona-vetületek és a telepítési sűrűség arányát vizsgálva megállapítottuk, hogy a Móricz Zsigmond körtér fájának lombkoronái 2023-ban átlagosan 13%-ban, míg kifejlett korukban több, mint 50%-ban fednek át. Ez azt eredményezi, hogy a fakoronák mintegy fele lesz képes kifejteni az ökoszisztéma-szolgáltatás szempontjából elérhető legnagyobb hatást.

1. táblázat/Table 1: Az esettanulmányok vizsgálati helyszínei /
Case study sites

Közterület neve / Name of the public area	Elhelyezkedés / Location	Kiterjedés / Size	Zöldfelület-borítottság / Green space coverage	Fák száma / Number of trees
Móricz Zsigmond körtér / Móricz Zsigmond Square	XI. kerület / 11 th district	11 200 m ²	1380 m ²	76 db
Szent Gellért tér / Szent Gellért Square	XI. kerület / 11 th district	5300 m ²	1760 m ²	32 db
Széll Kálmán tér / Széll Kálmán Square	II., XII. kerület / 2 nd , 12 th district	21 000 m ²	3450 m ²	112 db
Olimpiai park / Olimpia park	V. kerület / 5 th district	8100 m ²	6425 m ²	44 db
Podmaniczky Frigyes tér / Podmaniczky Frigyes Square	V. kerület / 5 th district	4700 m ²	750 m ²	60 db
Fővám tér / Fővám Square	IX. kerület / 9 th district	5300 m ²	740 m ²	38 db

ABSTRACT

Trees in public open spaces are an important part of the urban green space system, which has to adapt to increasingly difficult conditions due to urbanisation, climate change and human activity. Green spaces are a major factor in improving the microclimate, helping to protect biodiversity and playing an important aesthetic role, so they need to be preserved and enhanced. In our country, since the 2000s, a large number of studies and civil initiatives have highlighted the importance of green spaces, but typically from a quantitative approach. However, improving the quality of planting is an equally important task. Our research assesses the canopy cover of trees in open spaces in Budapest in terms of planting density, with a focus on the planting distance of trees in certain squares and streets and the resulting cover values. In our studies, we have considered the quantitative and qualitative variation in crown canopy cover at the time of planting and in maturity, so we can formulate ideal planting suggestions based on the environment, requirements and characteristics (crown shape, growth vigour) of each taxa. In the series of case studies, we first studied the woody species of one of the most important intermodal nodes of Budapest, Móricz Zsigmond Square and Bartók Béla Street. The canopy cover of the square reaches the ideally defined minimum canopy cover of 25-30% in 5-7 years. Considering canopy cover and planting density, it was found that in 2023 the canopy cover of the trees in the Móricz Zsigmond square averages 13%, while at maturity it will cover more than 50%. This means that about half of the tree crowns will be able to have the highest potential impact in terms of ecosystem services.

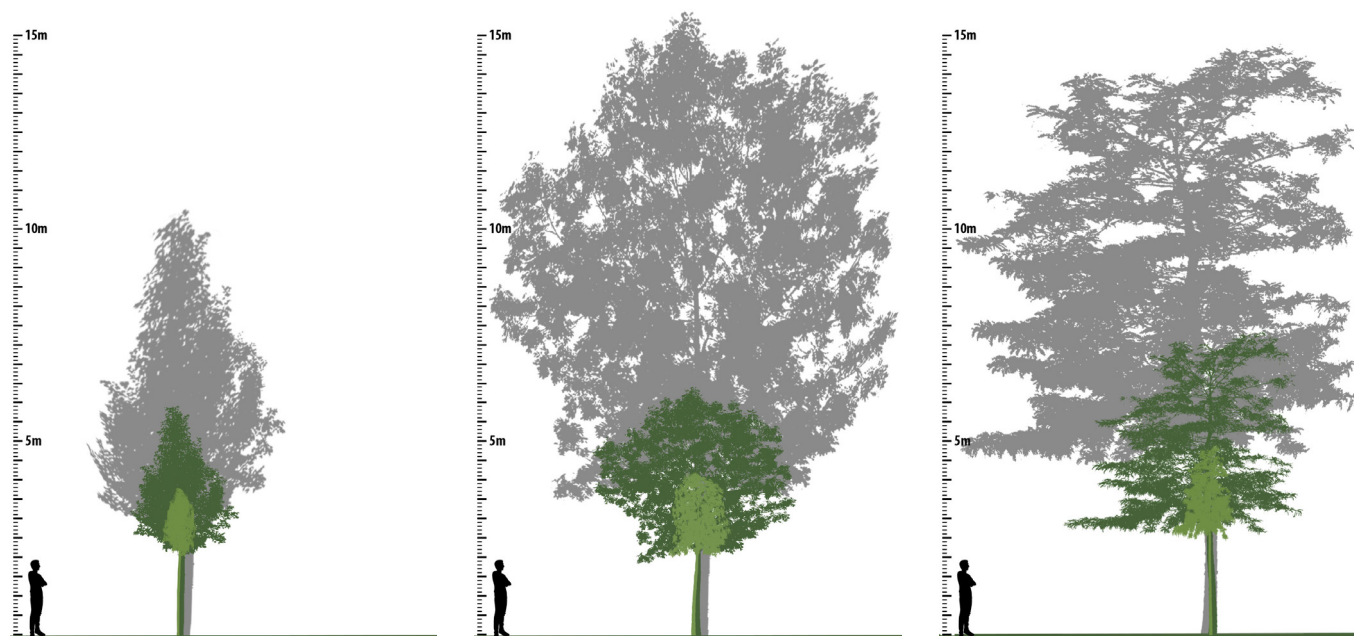
Keywords: urban forestry, allées, tree canopy cover, planting density

1. INTRODUCTION

The role of urban trees has increased significantly due to urbanisation and climate change. Trees are important in the mitigation of the urban heat island effect and in the control of the microclimate; they provide shade, cool the air by evaporation, and trap dust and other pollutants [1-3]. Their root systems improve soil structure, reduce soil erosion, limit vibrations from transport, create habitats, increase social interaction [4-7], and have decorative, recreational, cultural and historical value [7-9]. Trees are important as vital elements of the green space system at individual level, but their true impact is when they are integrated into a structure, in a population. In an urban environment, they usually grow as solitary, clumped or linear stands, linking green spaces in and out of the urban environment, creating a network of green infrastructure at multiple levels [6, 10-13].

However, as a result of human activity, urbanisation and global climate change, woody vegetation is finding it increasingly difficult to adapt to urban environments. As a result of anthropogenic impacts, green areas have undergone significant degradation in terms of quantity and quality. Urban trees are severely affected by the growth of built-up areas, large-scale soil degradation, inappropriate stormwater management, the impact of utilities on subsurface and above-ground growth, and increased vehicle traffic [1-3, 14]. Trees live much shorter lives in urban environments than in natural conditions [15-19], making the conservation and climate-adaptive enhancement of existing green spaces a priority [20-21].

The environment-forming properties of urban trees, the benefits that nature provides, are called ecosystem services [22]. According to the Millennium Ecosystem Assessment (MA), ecosystem services include the



Kulcsszavak: városfásítás, fasorok, lombkorona-borítottság, telepítési sűrűség

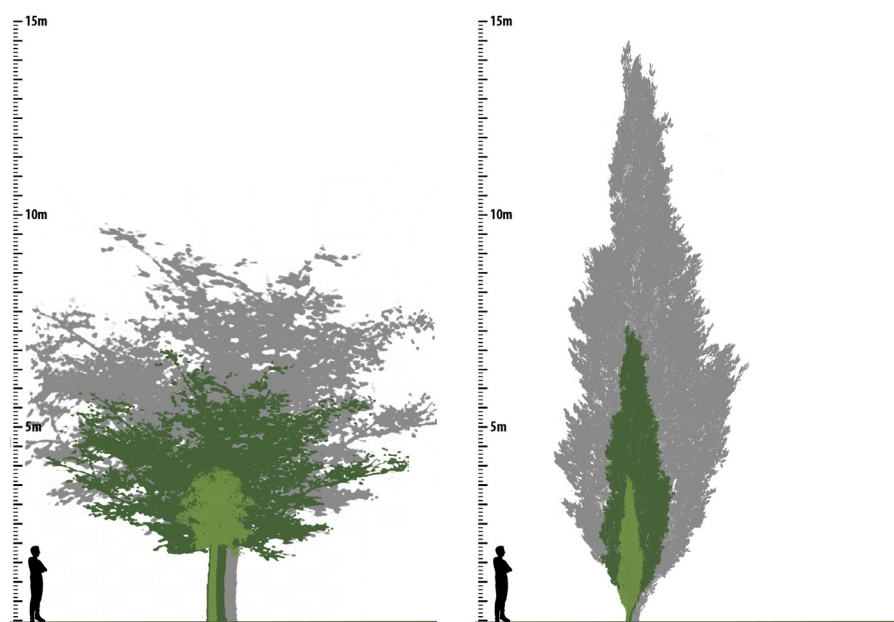
1. BEVEZETÉS

A városi fák szerepe az urbanizáció és a klímaváltozás következtében jelentősen nőtt. A fák a városi hősziget-effektus mérséklésében és a terhelt, sűrűn beépített települési szövet mikroklíma szabályozásában fontos szerepet játszanak; árnyékolnak, párolgás útján hűtik a levegőt, megkötik a port és egyéb szennyező anyagokat [1-3]. Gyökérzetükkel javítják a talaj szerkezetét, csökkentik a talajeróziót, mérséklik a közlekedési eszközök okozta rezgéseket, élőhelyeket teremtenek, növelik a társadalmi interakciót [4-7], és emellett dekorációs, rekreációs, kulturális és történelmi értékkel is rendelkeznek [7-9]. A fák a zöldfelületi rendszer létfontosságú elemeiként egyed szinten is fontos szerepet töltenek be, de igazán egy struktúrába illeszkedve, állományban képesek kifejteni hatásaikat. Városi környezetben, rendszerint szoliterként, csoportosan vagy lineárisan állnak, összekötik a bel- és külterületi zöldfelületeket és ezzel egy többszintű zöldinfrastruktúra-hálózatot hoznak létre [6, 10-13]. A fásszárú vegetáció azonban az emberi tevékenység, az urbanizáció, és a globális éghajlatváltozás következtében egyre nehezebben képes alkalmazkodni a városi környezethez. Az antropogén hatások eredményeképp jelentős a zöldfelületek mennyiségi és minőségi szempontú degradációja. A városi fákat hatványozottan érinti a beépítések növekedése, a talajfelszín nagyarányú leburkolása, a csapadékvíz

helytelen kezelése, a közművek felszín alatti és felszín feletti növekedést befolyásoló hatása, illetve a megnövekedett gépjárműforgalom [1-3, 14]. A fák városi környezetben sokkal rövidebb ideig élnek, mint természetes körülmények között [15-19], így a jelenlegi zöldfelületek megőrzése és klímaadaptív fejlesztése elsőrendű feladat [20-21].

A városi fák környezetalkító tulajdonságait, a természet nyújtotta javakat ökoszisztéma-szolgáltatásnak nevezzük [22]. A Millenium Ecosystem Assessment (MA) szerint, az ökoszisztéma-szolgáltatás magába foglalja az adott életforma 1) ellátó, 2) szabályozó, 3) támogató és 4) kulturális szolgáltatásait [22]. A szabályozó és támogató adottságok vizsgálatával, több kiemelkedő nemzetközi kutatás (USA, Kína, Ausztrália, Németország) is foglalkozik, amelyek nemcsak a növények kedvező hatásait értékelik, hanem az egyes szolgáltatások különböző léptékben történő változásait is részletesen bemutatják [23]. Az USA-ban állami léptékű lombkorona-térképezési módszerekkel [24], a Távol-Keleten városi szintű [25], míg Németországban már fasor szinten foglalkoztak a növényzet lombfelületének pozitív hatásaival [26]. A nemzetközi kutatások, a fentiekén túl, kitérnek a városi fák energia-megtakarítási képességére is. McPherson et al. [27] részletesen foglalkozik az energiahatékony tervezéssel és különböző tervezési metódusokat fogalmaz meg a tervezők számára.

Továbbá erdészeti állományban már gyakran alkalmazott allometriai egyenletek városi fákra való adaptálására is vannak példák. Ezen számítások viszont az épített



1. ábra/Fig. 1: A Móricz Zsigmond körtér egyes taxonjainak jellemző habitusa a telepítéskor, napjainkban, illetve kifejezett korban: 1) *Pyrus calleryana* 'Chanticleer', 2) *Fraxinus excelsior*, 3) *Gleditsia triacanthos* fajták, 4) *Prunus serrulata* 'Kanzan', 5) *Quercus robur* 'Fastigiata Koster' / Typical habit of some taxa of Móricz Zsigmond Square at the time of planting, at the present time and at maturity: 1) *Pyrus calleryana* 'Chanticleer', 2) *Fraxinus excelsior*, 3) *Gleditsia triacanthos*, 4) *Prunus serrulata* 'Kanzan', 5) *Quercus robur* 'Fastigiata Koster'

1) provisioning, 2) regulating, 3) supporting and 4) cultural services of a given life form [22]. Several major international studies (USA, China, Australia, Germany) have examined the regulating and supporting services, not only assessing the beneficial effects of plants, but also detailing the changes in each service at different scales [23]. The canopy has been mapped at state scale in the USA [24], at urban level in the Far East [25], while in Germany the positive effects of canopy cover have been studied at tree-lined area level [26]. In addition to the above, international research also addresses the energy-saving potential of urban trees. McPherson et al [27] discuss energy-efficient design in detail and provide different design methodologies for landscape architects.

There are also examples of the adaptation of allometric equations already commonly used in forest stands to urban trees. These calculations, however, need to be refined due to the variability of the built environment [28–32], so tree canopy volumes have been measured using alternative manual [31], aerial [33] or laser-based [34–36] methods.

By assessing tree stands in urban spaces and examining canopy cover and projected canopy surface area, our research highlights planting problems that are not beneficial from an economic or ecosystem service perspective. Our goal is to refine ideal planting distances for each taxon that will ultimately maximise the climatic, ecological, aesthetic (and economic) benefits of the canopy.

2. METHODS

Our studies were conducted at individual level in the major open spaces of Budapest and their directly connected tree-lined areas (Table 1).

Since we have no information on the exact size of the trees at the time of planting, we use the 14/16 cm round trees with a crown diameter of 50–100 cm, which are available in nurseries in Hungary. To estimate the size of the adult trees that could be assumed in urban environments, we used literature from several national [9, 37–38] and international [31, 39–41] publications and took into account the site conditions and the growth vigour of the taxa. In the tree species survey, we classified trees according to their location in green areas and in enclosures, where growth vigour may differ even at individual level [42].

Gábor Schmidt's "growth vigour" data from 2011 included several values that needed refinement, so a growth factor was calculated from the variable tree sizes (crown diameter/canopy volume) and age, and the taxa were redefined according to their growth vigour.

Based on these calculations, we identified free (green in the figures), partially overlapping (yellow) and significantly overlapping (red) crown categories for the individuals studied. For partial overlaps, the overlap of the crowns of two different individuals was recorded (yellow), while crown overlaps, possible under- or overlapping of more than two individuals, was defined as a significant overlap (red).

Taxonok / Taxa	Telepítés éve / Year of planting	Lombkorona átmérő* 2023-ban (m) / Crown diameter* in 2023 (m)	Schmidt-féle korona-forma / Crown shape according to Schmidt [38]	Schmidt-féle növekedési erély [38] / Growth potential according to Schmidt	Átlagos növekedési tényező / Average growth factor	Növekedési erély a Móricz Zsigmond körtéren / Growth vigour on the Móricz Zsigmond square
Catalpa bignonioides	2006	4,1	Tojás / Oval	Gyors / Fast	0,3	Átlagos / Average
Catalpa bignonioides 'Nana'	2006	2,9	Gömb / Round	Gyors / Fast	0,2	Lassú / Slow
Fraxinus excelsior	2006	4,2	Tojás / Oval	Átlagos / Average	0,2	Lassú / Slow
Gleditsia triacanthos 'Shademaster'	2014	7	Tojás / Oval	Átlagos / Average	0,5	Gyors / Fast
Gleditsia triacanthos 'Sunburst'	2014	7,4	Tojás / Oval	Átlagos / Average	0,5	Gyors / Fast
Pinus nigra	2014	2	Kúp / Conical	Átlagos / Average	0,3	Átlagos / Average
Platanus × hispanica	2022	1,2	Lapított gömb / Spreading	Átlagos / Average	0,5	Gyors / Fast
Prunus × eminens 'Umbraculifera'	2022	0,8	Gömb / Round	Átlagos / Average	0,3	Átlagos / Average
Prunus serrulata 'Amanogawa'	2014	2,6	Oszlopos / Columnar	Gyors / Fast	0,4	Átlagos / Average
Prunus serrulata 'Kanzan'	2006	7,3	Lapított gömb / Spreading	Gyors / Fast	0,4	Átlagos / Average
Pyrus calleryana 'Chanticleer'	2014	4	Tojás / Oval	Átlagos / Average	0,6	Gyors / Fast
Quercus robur 'Fastigiata Koster'	2014	2	Oszlopos / Columnar	Átlagos / Average	0,4	Átlagos / Average
Tilia cordata	2006	6,4	Tojás / Oval	Átlagos / Average	0,4	Átlagos / Average
Thuja occidentalis cv.	2014	1,8	Kúp / Conical	Átlagos / Average	0,2	Lassú / Slow

* a vizsgált egyedek aktuális koronaátmérő adatok átlaga alapján / based on the average of the actual crown diameter data of the studied specimens

környezet változatosságából adandóan pontosításra szorulnak [28-32], így a fák lombkorona-térfogatát alternatív kézi [31], légi [33] vagy lézeralapú [34-36] módszerrel mérték.

Kutatásunk a városi terek fás állományainak értékelésével, a lombkoronaborítottság, illetve a lombkorona-velület vizsgálatával rávilágítunk olyan telepítési problémákra, amelyek gazdasági, ökoszisztéma szolgáltatás szempontjából sem előnyösek. Célunk az egyes taxonok ideális telepítési távolságainak finomítása, amely végső soron a lombkorona nyújtotta klimatikus, ökológiai, esztétikai (és gazdasági) hatásokat maximalizálhatja.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatainkat Budapest jelentős szabadterein és a hozzájuk közvetlenül kapcsolódó fasoraiban, egyed szinten végeztük el (1. táblázat).

Mivel a faegyedek pontos telepítéskori méretéről nincs információnk, ezért a hazai faiskolákban kapható 14/16 cm körméretű, taxononként eltérő 50-100 cm koronaátmérővel számoltunk. A városi környezetben feltételezhető kifejlett méreteinek megállapításához több hazai [9, 37-38] és nemzetközi [31, 39-41] irodalom közléseit

használtuk fel, illetve figyelembe vettük a területek adottságait, valamint a taxonok növekedési erélyét. A faegyedek felmérése során az elhelyezkedés szerint megkülönböztettünk zöldfelületen és burkolatban álló fákat, amelyek növekedési erélye akár egyed szinten is eltérhet [42].

A 2011-es, Schmidt Gábor féle „Növekedési erély” adatoknál több pontosításra szoruló értéket is megállapítottunk, ezért a fák változó méreteiből (koronaátmérő/lombtér fogat) és a korból növekedési tényezőt számoltunk, ami alapján a vizsgált taxonokat növekedési erélyük szerint újradefiniáltuk.

A számítások alapján a vizsgált egyedeknél szabad (az ábrákon zöld szín) és egymással részlegesen (sárga), illetve jelentős mértékben átfedő (piros) korona kategóriákat állapítottunk meg. Az átfedő koronák esetén fontos különbség volt, hogy a részlegesen átfedőknél két különböző egyed koronájának átfedését rögzítettük (sárga), míg a kettőnél több egyed koronaátfedéseit, esetleg alá-, vagy fölérendeltséget már jelentős átfedésnek definiáltuk (piros).

Az épületek okozta aszimmetriát, koronatorzulásokat is piros színnel ábrázoltuk. Mindezek jelzik, hogy mely egyedek telepítési tótávolsága vagy épülettől való



2. táblázat/Table 2: A Mórícz Zsigmond körtér fatermetű taxonjainak vizsgálta növekedési erélyük alapján / *Analysis of the tree taxa of Mórícz Zsigmond Square according to their growth vigour*

2. ábra/Fig. 2: A Mórícz Zsigmond körtér lombkorona-borítottságának változásai a felújításkor (10%), napjainkban (17%) és a fák kifejelett korában (51%) / *Changes in canopy cover of Mórícz Zsigmond square at the time of restoration (10%), at the present time (17%) and when the trees reach maturity (51%)*

Asymmetry and crown distortions caused by buildings are also shown in red. All these indicate which individuals have a less than ideal planting distance or distance from buildings, resulting in an understory with limited development over time.

The first site of our research and the subject of this publication is Mórícz Zsigmond Square in the 11th district of Budapest, which is the most frequented inter-modal junction in South Buda. The square can be divided into two parts; the northern part, centred on the more formal St. Imre statue, and the southern, outer roundabout, whose dominant building is the Gomba, a monument of historical interest [43]. The dominance of fixed line transport and public utilities has fundamentally determined the location of the trees that can be planted. In addition to the high proportion of paved surfaces, the canopy cover of the trees plays an important role in the life of the space.

3. RESULTS

There are currently 76 tree specimens in Mórícz Zsigmond Square. In addition to the 76 specimens planted in the open ground, there are also five potted woody species.

Due to taxon selection, maintenance, mobility and different responses to environmental changes, the species are not organically related to our canopy cover studies and their long-term assessment is not relevant [44].

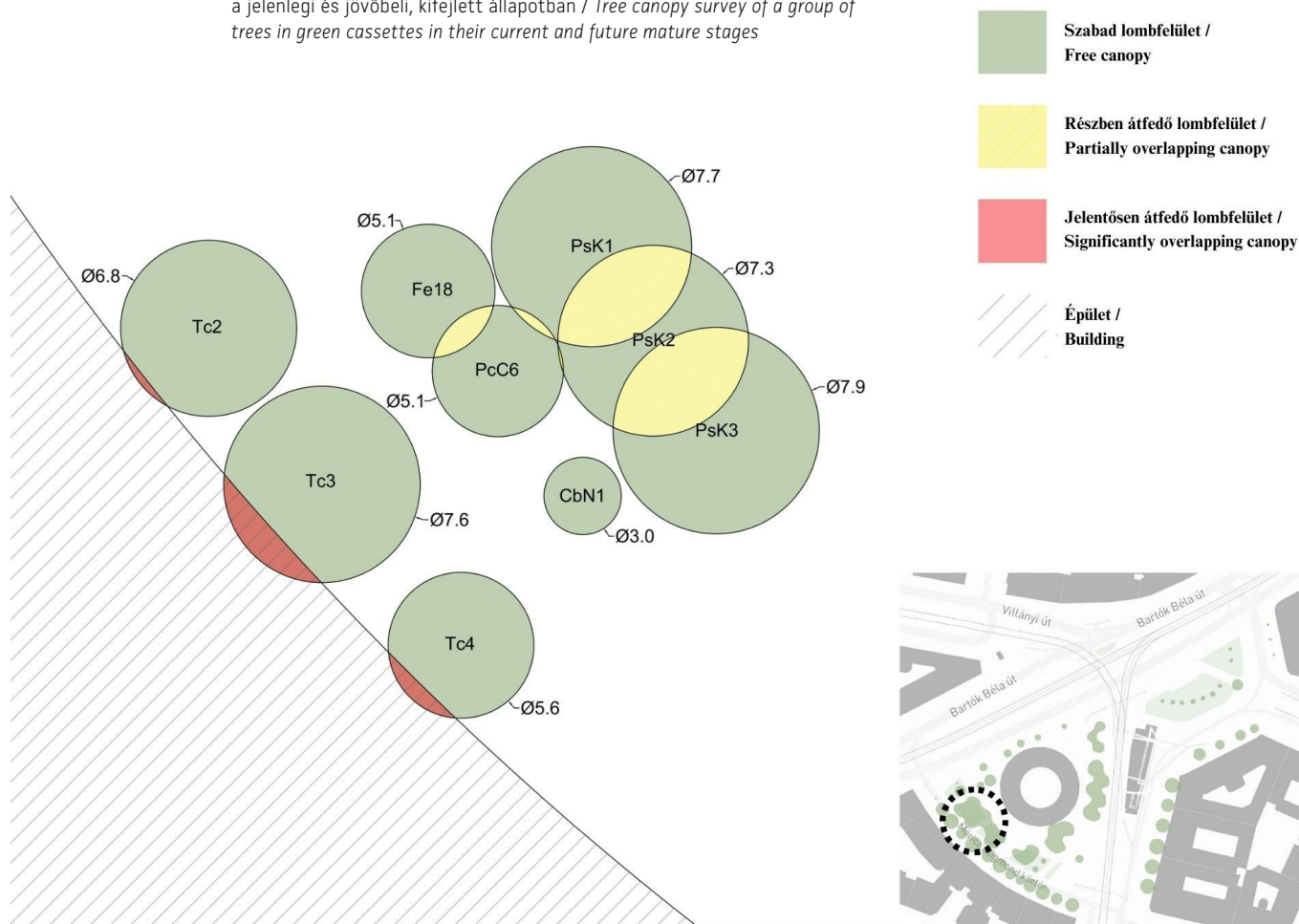
The studied tree population consists of 15 taxa, of which three taxa are found in the field in significant numbers. The very different habitats and sizes of the specimens currently dominate the spatial composition of the square (Fig. 1). 35 of the 76 specimens are in enclosures, while 41 are surrounded by green space. The older specimens in the green boxes were planted in 2006, while most of the young trees (27) were planted during the renovation of the square in 2014.

Planting distances are 6-7 m for trees in enclosed areas, trees in green spaces are spaced densely, typically 2-4 m apart, and the distance between trees and buildings is 2.5 m.

3.1. Study of canopy cover

Different methods define the expected canopy cover within a very wide range. From a design point of view, a distinction is made between the ideal canopy cover recommended for open spaces (25-30%) and for

3. ábra/Fig. 3: A zöldkazettákban lévő facsoport lombkorona-vizsgálata a jelenlegi és jövőbeli, kifejtett állapotban / Tree canopy survey of a group of trees in green cassettes in their current and future mature stages



távolsága nem ideális, azaz idővel alászorult jelleget, korlátozott fejlődést eredményez.

Kutatásaink első helyszíne és jelen publikáció témája a Budapest XI. kerületben található Móricz Zsigmond körtér, amely Dél-Buda legnagyobb forgalmú intermodális csomópontja. A tér két részre osztható; a formálisabb Szent Imre szobor központú északi, illetve a déli, külső körcikk, aminek meghatározó épülete a műemléki védettségű Gomba [43]. A kötöttpályás közlekedési eszközök és a közművek dominanciája alapjaiban meghatározta a telepíthető fák elhelyezkedését. A nagyarányú burkolt felületek mellett a fák lombkorona-borítottsága fontos szerepet játszik a tér életében.

3. EREDMÉNYEK

A Móricz Zsigmond körtéren jelenleg 76 fatermetű egyed található. A vizsgált, szabadföldbe telepített egyedek (76) mellett, 5 planténerbe ültetett fásszárú is él. Az utóbbiak azonban részben a taxonválasztás, a fenntartás, a mozgathatóságuk, valamint a környezeti változásokra adott eltérő válaszreakcióik miatt sem kapcsolódnak szervesen a lombkorona-borítottsági vizsgálatainkhoz, hosszútávú értékelésük nem releváns [44].

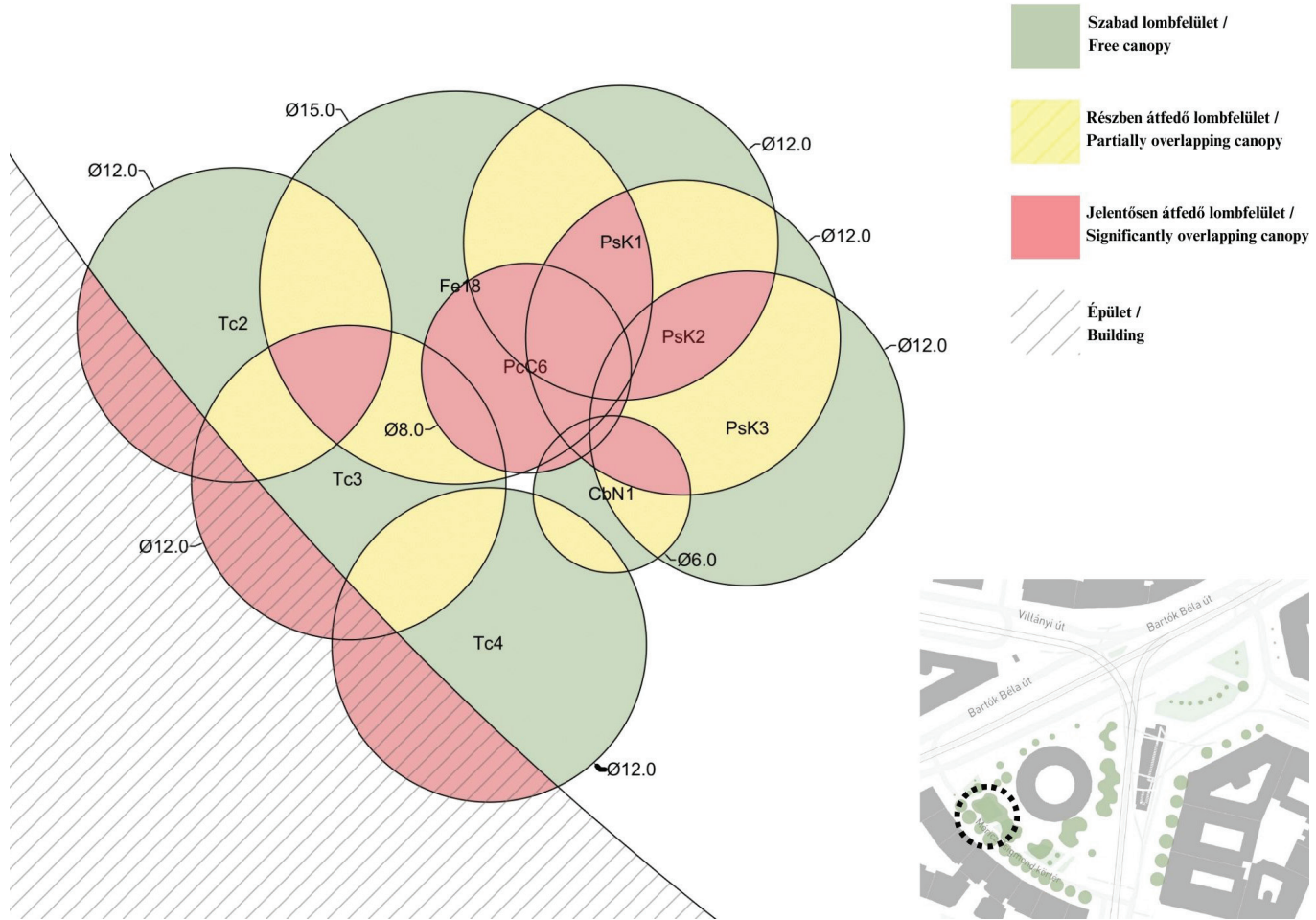
A vizsgált faállományt 15 taxon alkotja, amelyből 3 taxon jelentős egyedszámmal található a téren. Az igen eltérő habitusú és méretű egyedek térkompozíciós szempontból jelenleg is meghatározzák a tér képét (1. ábra). 76 egyedből 35 burkolatban áll, míg 41 egyedet zöldfelület vesz körül. A zöldkazettákban élő, idősebb példányokat 2006-ban, míg a fiatal fák jelentős részét (27db) a tér felújításakor, 2014-ben telepítették.

A telepítési távolságok a burkolt területen álló fák esetében 6-7 m, a zöldsávokban élők sűrűn, jellemzően 2-4 m távolságra állnak egymástól, míg az érintett fák az épületektől 2,5 m távolságra vannak.

3.1. Lombkorona-borítottság vizsgálata

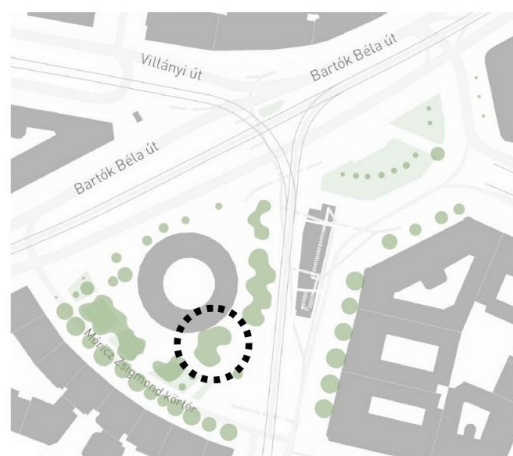
A követendő tervezési metódusok igen tág értékek között fogalmazzák meg az elvárt lombkorona-borítottságot. Tervezési szempontból megkülönböztetünk szabadterekre (25-30%) és parkokba (40-60%) javasolt ideális borítottságot [45], bár arról nincs pontos információ, hogy ez melyik időszakra értendő (feltehetően a kifejtett egyedek esetén elért ideális állapotra).

A kifejtett kori lombkorona-borítottság meghatározásához a taxonok eddigi fejlődése alapján „Növekedési



4. ábra/ Fig. 4: A zöldkazettákban lévő facsoport lombkorona-értékelése az aktuális és kifejezett állapotban / *Canopy survey of a group of trees in green cassettes in their current and mature stages*





tényezőt” vezettünk be, mely lehet lassú (0-0,2), átlagos (0,3-0,5) és gyors (0,6<). Az adott környezetre vonatkozó növekedési tényezők alapján megállapíthatjuk, hogy pl. a Schmidt [38] által 'Átlagos' növekedési erélyű lepényfa (*Gleditsia triacanthos*) a mérések alapján 'Gyors', míg a törpe szivarfa (*Catalpa bignonioides 'Nana'*) egyedei 'Lassú' fejlődésűek, a Schmidt által 'Gyors'-ként definiált értékkel szemben (2. táblázat).

A 2014-es és a 2023-as állapot között főként a viszonylag gyorsan fejlődő és széles koronát nevelő lepényfák (*Gleditsia triacanthos*) téralakító hatása érzékelhető. Az egyedek között viszont nagyarányú eltéréseket tapasztaltunk, a legnagyobb egyed közel ötször akkora, mint a legkisebb, míg a kislevelű hársak koronaátmérője és lombtérfogata egyaránt közel háromszorosára nőtt. A dél-nyugati kiemelt zöldkazettákban álló díszcseresznyék esetében hasonló eredményeket kaptunk, de mivel a

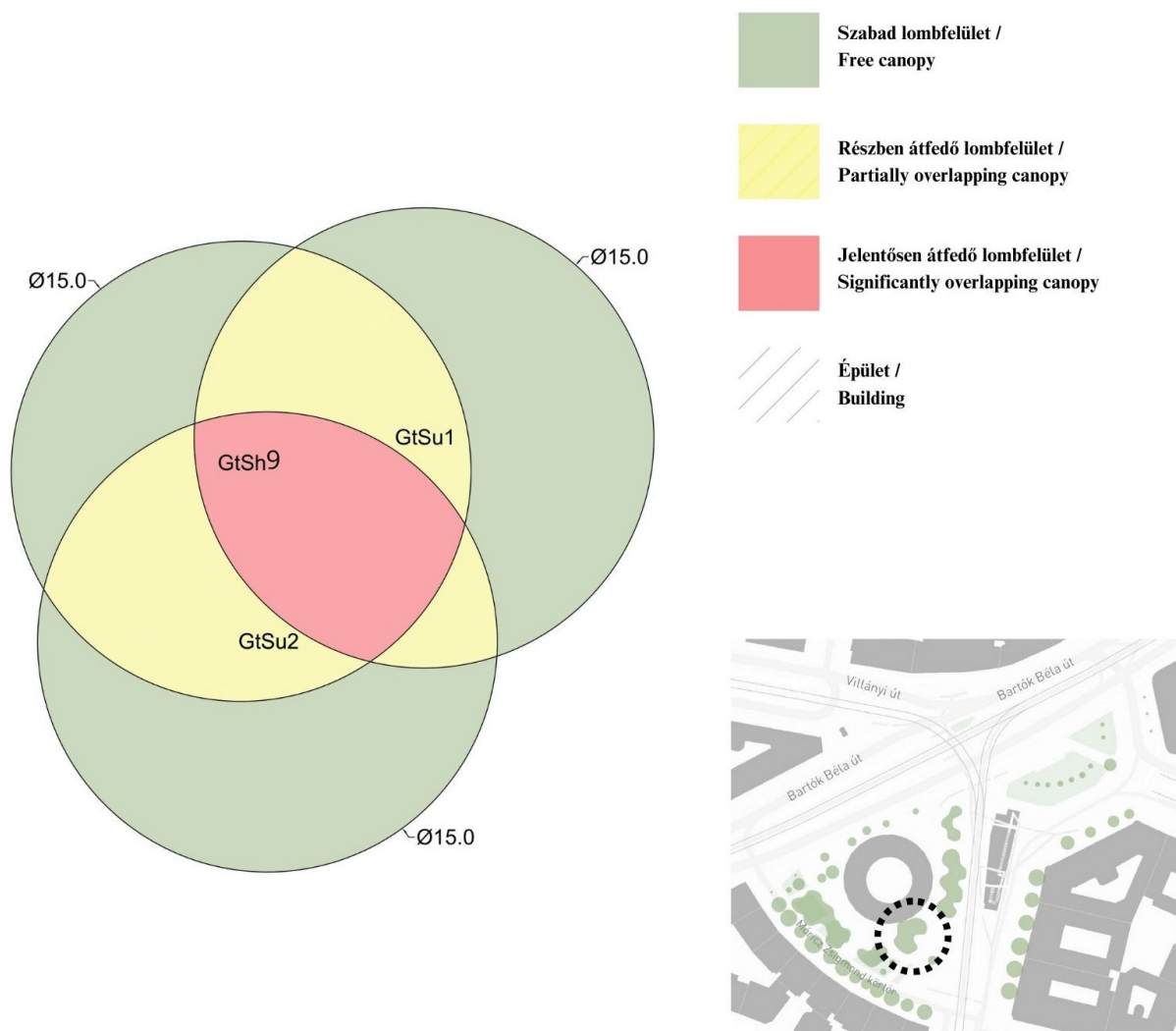
magastörzsre oltott egyedeken a nemest (*Prunus serrulata 'Kanzan'*) kezdi lenőni az alany (*Prunus avium*), ezért az eredmények csak részben tükrözik a díszcseresznye növekedését. Az ideálisan fejlődő fák mellett viszont fontos kiemelni a kevésbé jól növekedő taxonokat, mint pl. a magas kőris (*Fraxinus excelsior*).

A téren, a fák kifejlett korukban összességében elérhetik a 6000 m²-es, 51%-os borítottsági arányt (2. ábra). A Gomba és a villamosmegállók hosszanti szakaszán a lepényfák (*Gleditsia triacanthos*), míg az észak-keleti térfal előtt a platánok (*Platanus × hispanica*) lesznek a legnagyobb árnyékot adó fajok (2. ábra).

3.2. Facsoportok részletes értékelése

A részletes értékelés során négy, egymástól eltérő funkcióval és kompozíciós szereppel rendelkező facsoport egyedeit vizsgáltuk.

5. ábra/ Fig. 5: A Móricz Zsigmond szobor körüli facsoport lombkorona-vizsgálata a jelenlegi és jövőbeli, kifejezett állapotban / *Canopy survey of the group of trees around the Móricz Zsigmond statue in its current and mature stages*



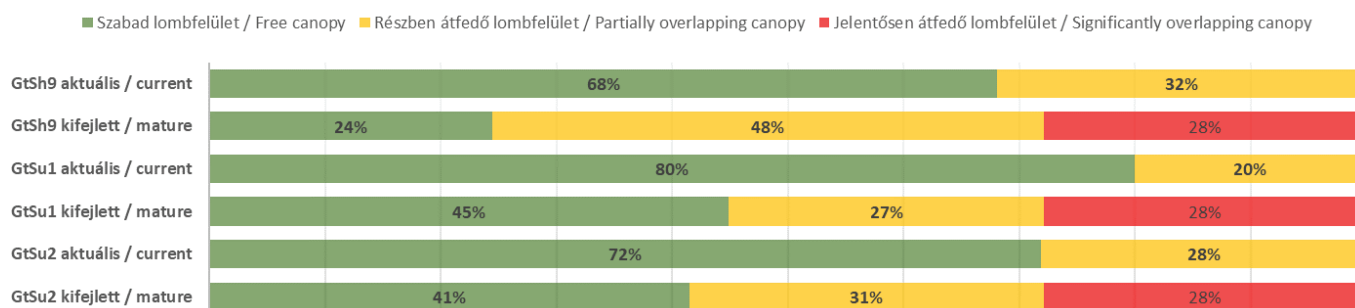
parks (40-60%) [45], although there is no precise information on the period to which this is to be applied (presumably the ideal state reached for mature individuals).

To define mature canopy cover, we introduced a growth factor based on the taxon's development to date, which can be slow (0-0.2), average (0.3-0.5) or fast (0.6<). The growth factors for a given environment can be used to determine, for example, whether a species is growing at a certain rate, e.g. the honey locust (*Gleditsia triacanthos*), defined by Schmidt [38] as "average" growth vigour, is measured as "fast", while the dwarf cigar tree (*Catalpa bignonioides*, 'Nana') is measured as "slow", compared to the value defined by Schmidt as "fast" (Table 2).

Between 2014 and 2023, the main space-forming effect is due to the relatively fast-growing and broad-crowned honey locust trees (*Gleditsia triacanthos*). However, there was a large variation between specimens, with the largest

specimen being nearly five times the size of the smallest, while the crown diameter and canopy volume of small-leaved linden trees both increased nearly threefold. Similar results were obtained for Japanese cherry trees in the south-western green cassettes, but as the variety (*Prunus serrulata* 'Kanzan') was overgrown by the rootstock (*Prunus avium*), so the results only partially reflect the growth of the Japanese cherry tree. However, in addition to trees growing in an ideal manner, it is important to highlight less well-growing taxa such as European ash (*Fraxinus excelsior*).

In the square, the trees can reach a total cover of up to 6,000 m² (51%) at maturity (Figure 2). The longitudinal section between the Gomba and the tram stops will be dominated by *Gleditsia triacanthos*, while the north-eastern wall of the square will be dominated by *Platanus × hispanica* (Figure 2).



3.2.1. A zöldkazetta és környezetében lévő facsoport vizsgálata

A tér nyugati részén lévő zöldkazettában – a Bartók Béla út felőli második kiemelt ágyásban – hat egyed található. A facsoport legnagyobb egyedei a díszcseresznye (*Prunus serrulata* 'Kanzan'), amelyek koronája ebben a zöldkazettában átlagban 7,6 m átmérőjű, míg a gömb szivarfa a legkisebb (3 m). A zöldfelület mellett három, lineárisan álló kislevelű hárs (*Tilia cordata*) egyedét is vizsgáltunk, amelyek koronaátmérője átlagban 6,7 m (3. ábra).

A facsoport jelenleg hatékonyan működik, kedvező hatásait nagy arányban képesek kifejteni. A koronák lombfelületének jelentős része még nyílt, részben átfedő koronákkal öt esetben találkoztunk. Egy díszcseresznye koronájában figyelhető meg nagyobb mértékű részben átfedés (67%-os), mindkét szomszédos fa koronájának köszönhetően. A fasori hársak egymástól 6,5 m, míg az épülettől 2,5 m távolságra helyezkednek el, így koronáformájukra erőteljes hatással van az épület homlokzata. Ebből kifolyólag a hársak koronája átlagosan 5%-ban marad el a szabályos formától.

A jövőben, az épület közelsége miatt a kislevelű hársak koronája mintegy 34%-kal maradhat el ideálishoz képest, továbbá koronájuk jelentősen átfedésben lesz a magas kőrisével (*Fraxinus excelsior*). Számításaink szerint, a részben átfedő koronák aránya 31%, a jelentősen átfedők aránya 46% lesz, sőt egy egyed – a kínai díszkörte – lombja teljes mértékben alárendelődik gyorsabban növő taxonok koronáinak (4. ábra).

3.2.2. A Móricz Zsigmond szobor körüli facsoport vizsgálata

A Móricz Zsigmond szobor köré telepített lepényfák (*Gleditsia triacanthos* cv.) az előzőekben bemutatott taxonoktól eltérnek. Nagy termetük ellenére ágrendszerük emeletekre tagolódik, kevésbé sűrű, ezért a részben átfedő és jelentős átfedő koronák kicsit másképpen értelmezendők. A facsoport 2 különböző fajta lepényfából áll, egy 'Shademaster' és két 'Sunburst' egyedből, amelyek közül a 'Shademaster' lombkoronája jelentősen nagyobb, mint társaié (5. ábra).

Gyors növekedésüknek köszönhetően, a folyamatos alakító metszések ellenére, koronáik jelenleg is részben fedik egymást. A telepítési sűrűség következtében kifejelet korona méretekkkel számolva, az egymással jelentősen átfedő lombfelület 28% lehet (6. ábra).

3.2.3. A Szent Imre szobor körüli facsoport lombkorona-vizsgálata

A harmadik facsoportnál (hét oszlopos tölgy és egy magas kőris) kaphatjuk a legkedvezőbb értékeket (5. táblázat), a telepítési sűrűségnek köszönhetően a fák képesek lehetnek kedvező hatásait teljes mértékű érvényesítésére a jövőben (7. ábra).

A jelenleg az egyedek teljes lombfelülete nyílt, szabadon álló. A tölgyek közel 10 éves növekedése egyedenként nagyon eltérő, a legkisebb fa 2,4 m³ térfogatú koronájával, jóval elmarad az átlagtól (28 m³). A facsoport körise a tér legfejlettebb példány (39,4 m³).

3.2.4. A Bartók Béla úti fasor vizsgálata

A körtérhez kapcsolódó Bartók Béla út fasori egyedei egymástól 8,5-10 m, míg az épületektől 3,5-5 m távolságra helyezkednek el. A Bartók Béla út teljes szakaszát összesen 5 taxon alkotja, melyek közül a japán akác (*Sophora japonica*), a magas kőris (*Fraxinus excelsior*), a juharlevelű platán (*Platanus × hispanica*) egyedszáma meghatározó. Az út nyugati szakaszán elvétve található fehérvirágú vadgesztenye (*Aesculus hippocastanum*) és 1-1 nagylevelű (*Tilia platyphyllos*) és ezüsthárs (*Tilia tomentosa*).

Jelenleg a japán akácok koronája átlagosan 9 m, magasságuk 10 m, koronafelületük közel 95%-ban szabadnak tekinthető. A magas kőrisek, illetve az erőteljesen visszametszett platán bár teljes mértékben nyílt, szabadon álló lombkoronával rendelkeznek, a lombhoz kapcsolható szolgáltatások és az esztétika szempontjából is jelentősen elmaradnak a japán akácoktól. Az épületek közelsége miatt, kifejelet állapotban a páratlan oldali fánál (Sj1-Fe11) a jelentős mértékben átfedő koronák aránya 10%, míg a részben átfedő koronák középértéke 42% lehet. A szabad lombfelületek aránya a jövőben kb. a felére esik vissza. A páros oldalon (Fe12-Fe14) az utca

6. ábra/Fig. 6: A Móricz Zsigmond szobor körüli fák lombkorona-értékelése az aktuális és kifejezett állapotban / *Canopy survey of the trees around the Móricz Zsigmond statue in their current and mature stages*

3.2. Detailed study of groups of trees

The detailed study focused on four groups of trees with different functions and compositional roles.

3.2.1. Study of the tree group in the green cassette and its surroundings

The green cassette in the western part of the square – in the second priority bed on Bartók Béla Street – contains six specimens. The largest trees in the group are the Japanese cherry (*Prunus serrulata* 'Kanzan'), with an average crown diameter of 7.6 m in this green cassette, while the smallest is the globe cigar tree (3 m). Three linear small-leaved linden (*Tilia cordata*) trees with an average crown diameter of 6.7 m were also examined in the green cassette (Figure 3).

The group of trees is currently functioning effectively, with a high rate of beneficial effects. A large part of the canopy is still open, with partially overlapping crowns in five cases. In the crown of one Japanese cherry tree, a higher degree of partial overlap (67%) was noted, due to the crowns of both neighbouring trees. The linden trees in the facade are 6.5 m apart and 2.5 m from the building, so their crown shape is strongly affected by the building facade. As a result, the crowns of the lime trees are on average 5% out of the regular shape.

In the future, due to their close proximity to the building, the crown of small-leaved linden trees will be about 34% below ideal, and their crown will overlap significantly with that of the European ash (*Fraxinus excelsior*). We calculate that the proportion of partially overlapping crowns will be 31%, the proportion of significantly overlapping crowns 46%, and that the crown of a single Callery pear will be completely subordinated to that of faster-growing taxa (Figure 4).

3.2.2. Study of the group of trees around the statue of Zsigmond Móricz

The honey locusts (*Gleditsia triacanthos* cv.) planted around the statue of Zsigmond Móricz differ from the previously-described taxa. Despite their large size, their branching system is structured in layers, so the partly

overlapping and significantly overlapping crowns are slightly different. The tree group is a mix of two different varieties of honey locust trees, one 'Shademaster' and two 'Sunburst', of which the canopy of the 'Shademaster' is significantly larger than that of its counterparts (Figure 5).

Thanks to their fast-growing habit, despite continuous formative pruning, their crowns are still partially overlapping. Based on mature crown sizes due to the planting density, the significantly overlapping canopy cover is estimated at 28% (Figure 6).

3.2.3. Canopy survey of the group of trees around the statue of St. Imre

The third group of trees (seven columnar oaks and one European ash) has the most favourable values (Table 5), and the planting density should allow the trees to fully exploit the beneficial effects in the future (Figure 7).

Currently the entire canopy of the specimens is open and free-standing. The growth of the oaks varies considerably between specimens, with the smallest tree having a crown volume of 2.4 m³, well below the average (28 m³). The ash tree is the specimen in the group with the best growth (39.4 m³).

3.2.4. Study of the Bartók Béla Street allée

The trees of Bartók Béla Street, which is connected to the roundabout, are 8.5–10 m apart and 3.5–5 m from the buildings. The entire section of Bartók Béla Street is dominated by five taxa, including the Japanese pagoda tree (*Sophora japonica*), European ash (*Fraxinus excelsior*) and maple sycamore (*Platanus × hispanica*). In the western part of the road, there are occasional white-flowered chestnut trees (*Aesculus hippocastanum*) one large-leaved (*Tilia platyphyllos*) and one silver lime (*Tilia tomentosa*).

Currently, the crown of Japanese pagoda trees has an average crown width of 9 m, a height of 10 m and a crown surface that is almost 95% free. European ash and heavily pruned sycamore, although with a fully open, free-standing crown, are significantly behind the Japanese pagoda in terms of canopy services and aesthetics. Due to their



tájéolásából adódó benapozottság következtében a fák ritkább koronával rendelkeznek, ezért a kevesebb lombtömeg miatt a szabad lombfelület aránya felértékelődik (9. ábra). Napjainkban a magas körisek lombjában még nem tapasztalhatunk átfedéseket, de a jövőben a lombfelület mindössze 60%-a lesz teljes értékű. A részben átfedő koronák százalékos aránya jelentősen megnő, míg a teljes átfedés 20% lehet.

4. ÉRTÉKELÉS

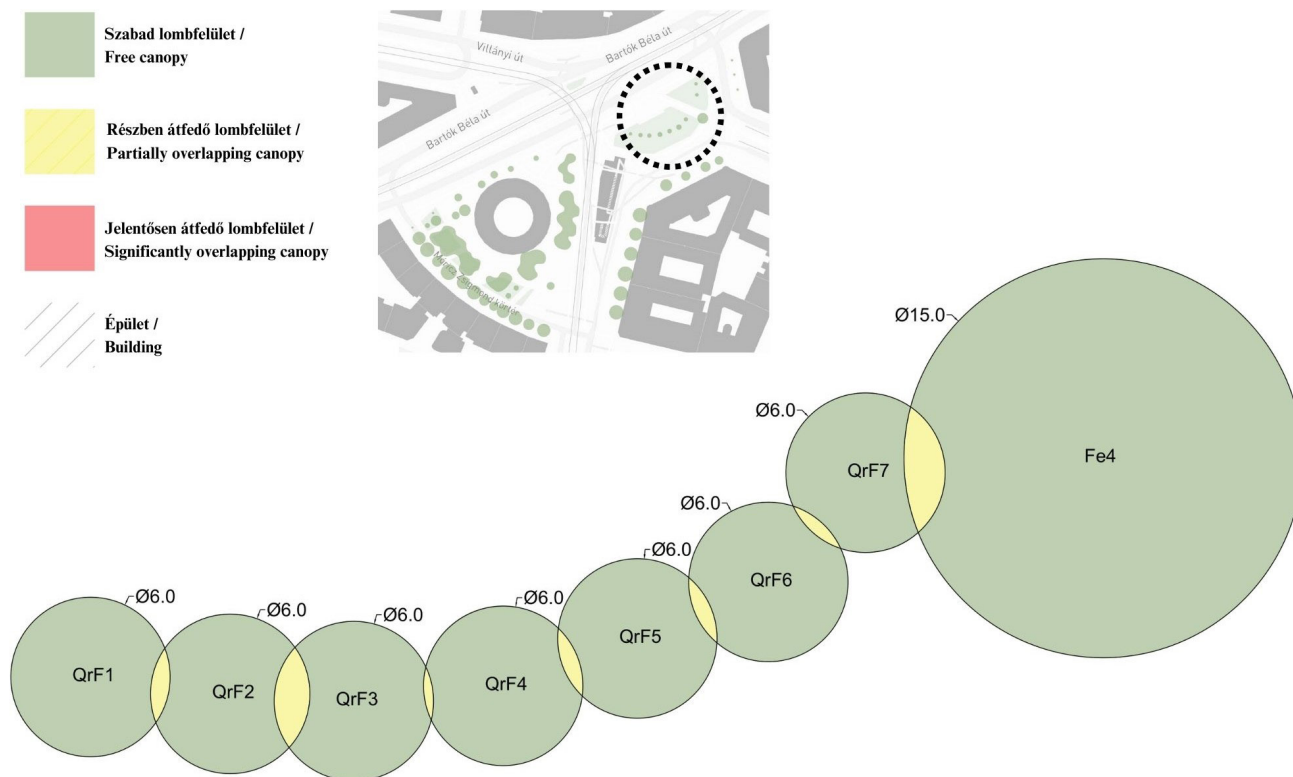
A Móricz Zsigmond körtér és a Bartók Béla út fasori egyedeinek vizsgálata során szélsőséges eredményeket kaptunk. A lombkorona-borítottság adatai alapján megállapítható, hogy a körtér kétpólusú. A dél-nyugati rész, főként a növénykazetták jelentős telepítési sűrűsége miatt már 2023-ban is meghatározó, míg a Gomba körüli és az észak-keleti teresedés jelenleg még nem rendelkezik jelentős borítottsággal. A szabadterek ideális lombkorona-borítottsága (min.25-30%) [45], a fák jelenlegi növekedési ütemét figyelembevéve, a körtér esetében kb. 5-7 éven belül következik be.

Az ökoszisztéma-szolgáltatás szempontjából a Móricz Zsigmond körtér egyedei 2023-ban átlagosan 87% szabad

lombfelülettel rendelkeznek. Ez az arány a fák növekedésével fokozatosan romlik, főként azon facsoportok esetében, amelyek a telepítési sűrűség miatt, erősen akadályozzák egymás fejlődését. A szabad lombfelület aránya az összes egyed figyelembevételével alig éri el az 50%-ot, míg a részben átfedő és a jelentősen átfedő lombkoronák százalékos aránya 25-25%. Ebből adódóan a fakoronák mintegy fele lesz képes kifejteni az ökoszisztéma szolgáltatás szempontjából elérhető legnagyobb hatást a jövőben. Az idő előrehaladtával a csoportos telepítések szélső egyedeinél a koronában nagyobb aszimmetria, míg a középső egyedeknél felgyorsult degradáció lesz megfigyelhető.

Vizsgálataink eredményeképpen kijelenthetjük, hogy a zöldkazettákban álló faegyedek a telepítési sűrűségnek köszönhetően az ökoszisztéma-szolgáltatás szempontjából nem megfelelőek. A Gomba körül található kínai díszkörték (*Pyrus calleryana* 'Chanticleer') és lepényfa taxonok (*Gleditsia triacanthos* cv.) az ideális habitus-lombkoronaforma-telepítési sűrűség egységében hosszútávon is jelentős elemei lesznek a körtér faállományának. A Szent Imre szobor körüli oszlopos tölgyek (*Quercus robur* 'Fastigiata Koster') a körtér fái közül a leginkább

7. ábra/Fig. 7: A Szent Imre szobor körüli facsoport lombkorona-vizsgálata a jelenlegi és feltételezett kifejlett állapotban / Canopy survey of the tree group around the statue of St Imre in current and mature stages



proximity to buildings, the proportion of significantly overlapping crowns in the mature state for odd-sided trees (Sj1-Fe11) is 10%, while the mean value for partially overlapping crowns is 42%. The proportion of open canopy will drop to about half in the future. On the odd side (Fe12-Fe14), trees have sparser crowns due to the wetting caused by the street orientation, so the proportion of open canopy area is increased due to less canopy cover (Figure 9). Today, there is no overlap in the canopy of European ash trees, but in the future, only 60% of the canopy will be full. The percentage of partially overlapping crowns will increase significantly, while the total overlap may be 20%.

4. DISCUSSION

We have obtained extreme results in the study of Móricz Zsigmond Square and Bartók Béla Street. Based on canopy cover data, it can be concluded that the square is bipolar. The south-western part, mainly due to the dense planting density of plant cassettes, remains dominant in 2023, while the area around the Gomba building and the north-eastern part of the terraces do not have a significant canopy cover at present. The ideal canopy cover of

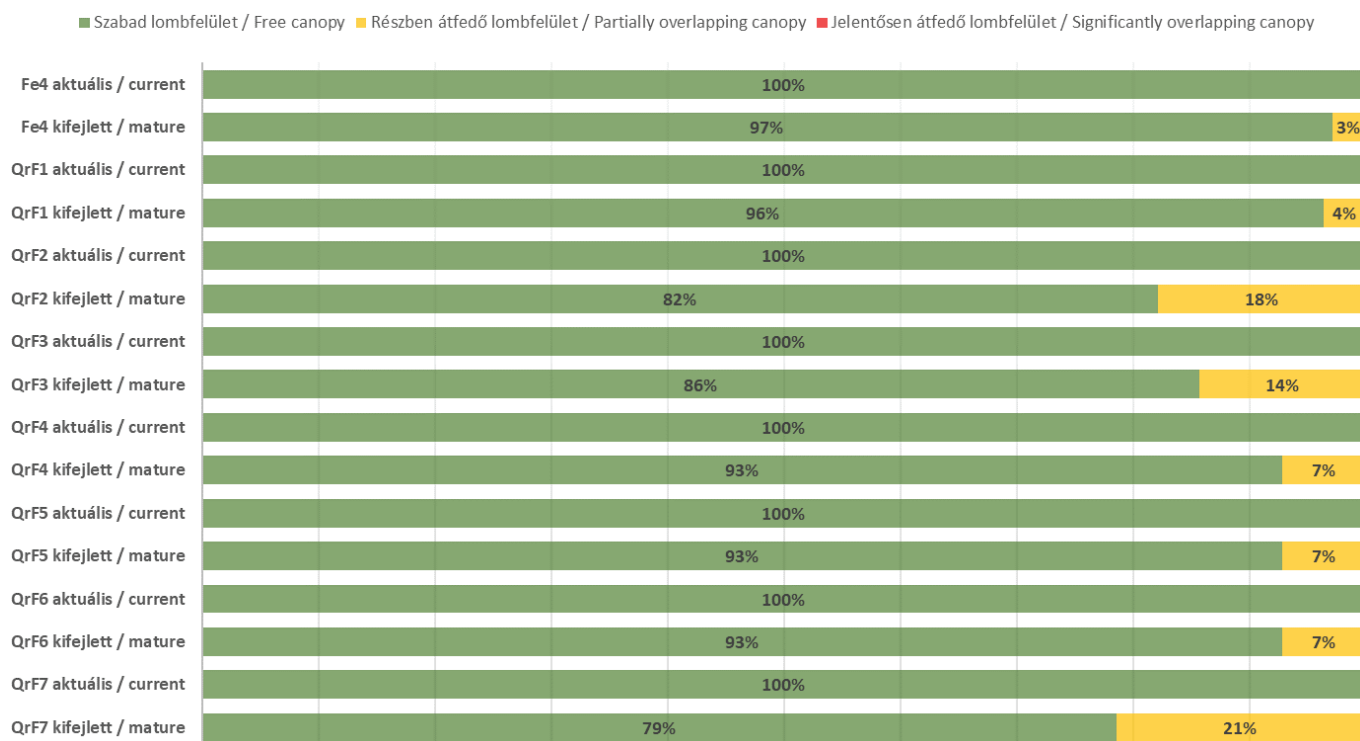
open spaces (min. 25-30%) [45], taking into account the current growth rate of trees, will occur in the case of the circular space in about 5-7 years.

In terms of ecosystem services, the trees of Móricz Zsigmond Square have an average 87% open canopy cover in 2023. This ratio will gradually worsen as the trees grow, especially for those groups of trees which, due to the planting density, strongly interfere with each other. The percentage of free canopy area is just under 50% when all individuals are taken into account, while the percentages of partially overlapping and significantly overlapping canopies are both 25%. Therefore, about half of the tree crowns will be able to produce the highest ecosystem services in the future. As time goes on, the crown of the outermost individuals of the clustered plantations will show greater asymmetry, while the middle individuals will show accelerated degradation.

As a result of our investigations, we can conclude that the tree species in the green boxes are not suitable for ecosystem services due to the planting density. The Callery pear (*Pyrus calleryana* 'Chanticleer') and honey locust taxa (*Gleditsia triacanthos* cv.) around the Gomba will be important components in the long term in the

8. ábra/Fig. 8: A Szent Imre szobor körüli facsoport lombkorona-értékelése az aktuális és kifejlett állapotban / Canopy survey of the group of trees around the statue of St. Imre in its current and mature stages

►► 9. ábra/Fig. 9: A Bartók Béla út – Móricz Zsigmond körtér fasori egyedeinek lombkorona-értékelése az aktuális és a kifejlett állapotban / Canopy survey of the tree canopy of the Bartók Béla út - Móricz Zsigmond körtér tree line in the current and mature stages



képesek lesznek kedvező hatásaik kifejtésére, feltételezve, hogy a biotikus és az abiotikus kondíciók ezt továbbra is lehetővé teszik. A Bartók Béla út fái kiemelkedő, 98%-os szabad lombfelülettel rendelkeznek, később azonban az épületek közelsége miatt a jelentősen átfedő lombfelület aránya 11%-ra nő. Fontos ezért olyan taxonok telepítése, amelyek a korlátolt növekedési hely ellenére is, minél sűrűbb ágrendszerrel, nagyobb lombtömeget képesek fejleszteni, mint pl. a japán akác (*Sophora japonica*) – szemben a ritkás ágrendszerű és lombú magas kőris (*Fraxinus excelsior*) egyedekkel.

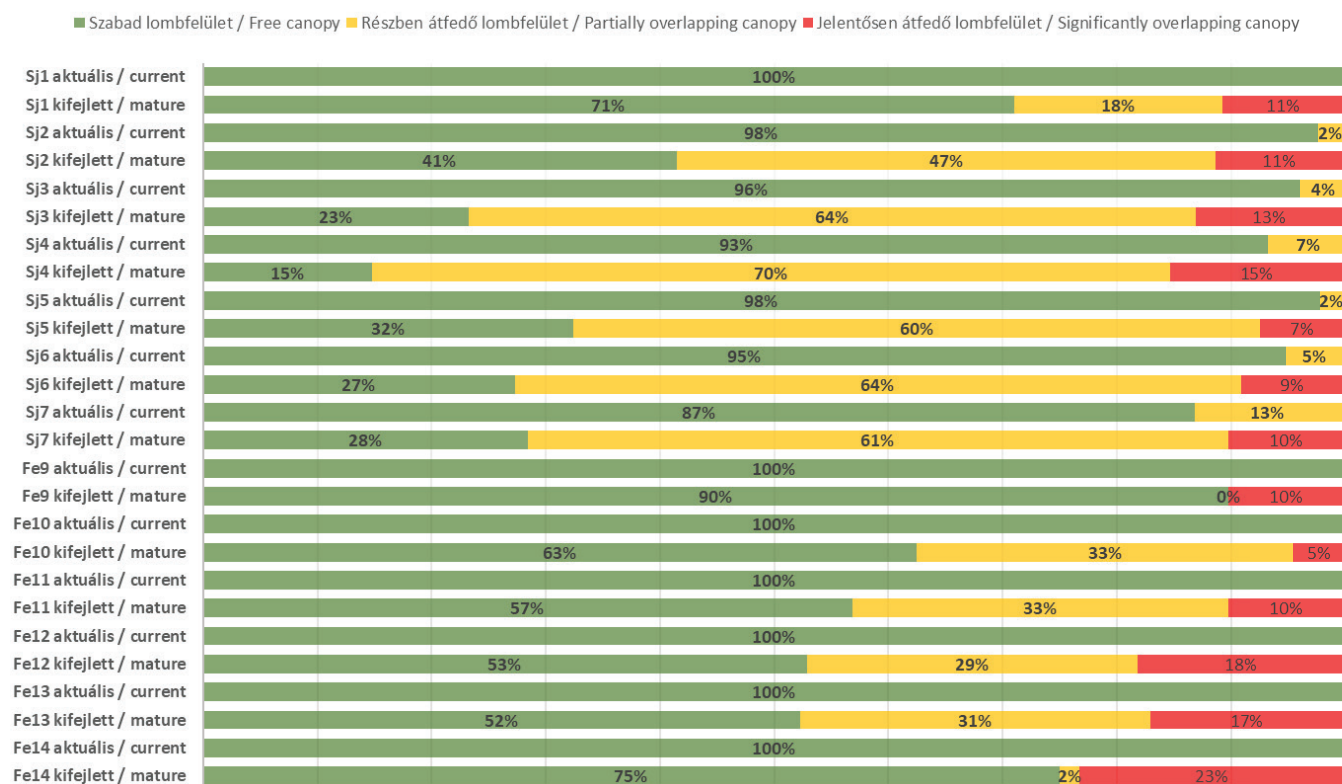
5. KÖVETKEZTETÉSEK

A fajok növekedési üteme és méretei nem önmagától értetődő, mivel mind a kertészeti, mind az erdészeti kutatások bizonyították, hogy a helyi környezeti körülmények nagymértékben befolyásolják az adott egyed növekedését, méreteit [46]. Ezen eltérések a szukcesszió különböző stádiumaiban jellemző taxonok esetében is számottevő.

Az ideális telepítési sűrűség meghatározása taxon szinten elegendő, bár tudjuk, hogy a telepítést követően számos tényező hat a növények fejlődésére. A változó talajszerkezet, illetve talajvízviszony [47], a csapadék- és

fényviszonyok [48-49], fenntartási különbségek, technológiai megoldások, és egyéb biotikus (emberi beavatkozás, kórokozók, kártevők) tényezők egyenként igen változatos növekedést, fejlődést eredményezhetnek, amit a Móricz Zsigmond körtér fájának vizsgálata nagy mértékben alátámaszt. Emelett azt is figyelembe kell venni, hogy a vizsgált taxonok melyik életszakaszban vannak, a növekedési görbéjük mikor éri el a csúcst, és mikor jutnak az öregedő fázisba, mert ehhez kapcsolódóan változhat a környezettel szemben támasztott igényük is.

A tájépítészeti tervezés, zöldfelületgazdálkodás és az ökoszisztéma-szolgáltatások kimutatásához több olyan mutatóra (allometrikus egyenletre) lehet szükség a jövőben, amely ismeretében könnyebben tudunk dönteni fajválasztás, telepítési sűrűség és kompozíciós kérdésekben. ©



ideal habit-canopy form-planting density unit of the tree population of the Gomba. The columnar oaks (*Quercus robur* 'Fastigiata Koster') around the statue of St. Imre will be the most capable of exerting their beneficial effects on the trees of the square, provided that biotic and abiotic conditions continue to allow this. The trees on Bartók Béla Street have an outstanding 98% free canopy cover, but in future, due to the proximity of buildings the percentage of significantly overlapping canopy cover will increase to 11%. It is therefore important to plant taxa which, despite the limited growing space, can develop a denser branching system and a higher canopy mass, such as Japanese pagoda (*Sophora japonica*) as opposed to European ash (*Fraxinus excelsior*), which has sparse branching and foliage.

5. CONCLUSIONS

The growth rate and size of tree species are not self-evident, as both horticultural and forestry research has shown that local environmental conditions have a strong influence on the growth and size of a given species [46]. These differences are also significant for taxa at different stages of succession.

Defining the ideal planting density at taxon level is enough, although it is known that many factors influence plant development after planting. Variation in soil structure and soil water conditions [47], rainfall and light conditions [48-49], maintenance differences, technological solutions and other biotic (human intervention, pathogens, pests) factors can result in highly variable growth and development from one species to another, as is amply demonstrated by the study of trees in Móricz Zsigmond Square. It is also important to take into consideration the life stage of the taxa under study, when their growth rate peaks and when they enter the ageing phase, because their environmental requirements may change in relation to this.

In the future, landscape architecture, green space management and ecosystem services may require more indicators (allometric equations) to help us make decisions on species selection, planting density and composition. ☉



This work is licensed under Creative Commons 4.0 standard licenc: CC-BY-NC-ND-4.0.

- 1 Nowak, David J. – Crane, Daniel E. – Stevens, Jack C. (2006): Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4, 115–123, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- 2 Grote, Rüdiger – Samson, Roeland – Alonso, Rocío – Amorim, Jorge H. – Cariñanos, Paloma – Churkina, Galina – Fares, Silvano – Thiec, Didier Le – Niinemets, Ülo – Mikkelsen, Teis Norgaard – Paoletti, Elena – Tiwary, Abhishek – Calfapietra, Carlo (2016): Functional Traits of Urban Trees: Air Pollution Mitigation Potential. *Front Ecol Environ*, 14, 543–550, DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.1426>
- 3 Hrotkó Károly – Gyeveki Márta – Sütöriné Diószegi Magdolna (2021): Aeroszol Részecskék Kiülepedése És Nehézfém-Tartalma Három Fajta Fajtáinak Levelein Budapesten, In: *Kertgazdaság* (1998) 1419–2713 53 1 14–31 Available online: <https://mz.mtmt.hu/api/publication/32021229> (accessed on 28 May 2023).
- 4 Wolf, Kathleen – McKeen, Jennifer – Richardson, Gregory – Van Den Bosch, Matilda – Bardekjian, Adrian (2020): Urban Trees and Human Health: A Scoping Review, In *IJERPH*, 17, 4371, DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17124371>
- 5 Tyrväinen, Liisa – Pauleit, Stephan – Seeland, Klaus – De Vries, Sierp (2005): Benefits and Uses of Urban Forests and Trees, In *Urban Forests and Trees*; Konijnendijk, C., Nilsson, K., Randrup, T., Schipperijn, J., Eds.; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2005; pp. 81–114 ISBN 978-3-540-25126-2.
- 6 Pauleit, Stephan – Fryd, Ole – Backhaus, Antje – Jensen, Marina Bergen (2020): Green Infrastructures to Face Climate Change in an Urbanizing World. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*; Meyers, R.A., Ed.; Springer New York: New York, NY, 2020; pp. 1–29 ISBN 978-1-4939-2493-6.
- 7 Pearlmutter, David – Calfapietra, Carlo – Samson, Roeland – O'Brien, Liz – Krajter Ostoić, Silvija – Sanesi, Giovanni – Alonso Del Amo, Rocío (2017): The Urban Forest: Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment, Future City; Springer International Publishing: Cham; Vol. 7; ISBN 978-3-319-50279-3.
- 8 Chen, Wendy Y. – Jim, C.Y. (2008): Assessment and Valuation of the Ecosystem Services Provided by Urban Forests. In *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests*; Carreiro, M.M., Song, Y.-C., Wu, J., Eds.; Springer New York: New York, NY, 2008; pp. 53–83 ISBN 978-0-387-71424-0.
- 9 Szabó Krisztina (2023): Klímafák és városfásítás; Budapest; ISBN 978-615-01-7157-9.
- 10 Radó Dezső Terv | Budapest Available online: <https://rdt.budapest.hu> (accessed on 28 May 2023).
- 11 Kimic, Kinga – Fekete Albert (2022): The Ratio of Biologically Vital Areas as a Measure of the Sustainability of Urban Parks Using the Example of Budapest, Hungary. *Resources* 2022, 11, 47, DOI: <https://doi.org/10.3390/resources11050047>
- 12 Sárosataki Máté – Szabó Patricia – Fekete Albert (2022): Future Role of Exotic Tree Species in Hungarian Built Heritage Environments. *Land* 2022, 11, 984, DOI: <https://doi.org/10.3390/land11070984>
- 13 Fekete Albert – Hodor, Kataryzna – Dai, Daixin (2021): Urban Sustainability through Innovative Open Space Design. A Novel Approach to the Regeneration of Historic Open Spaces in Some Eastern European Countries and China. *Earth* 2021, 2, 405–423, DOI: <https://doi.org/10.3390/earth2030024>
- 14 Antropogén Hatások a Városok Természeti Környezetére, Available online: http://www.geo.u-szeged.hu/~feri/kornyezeti_informatika/cho6so4.html (accessed on 28 May 2023).
- 15 Böll, Susanne (2021). Stadtbäume unter Stress, 8., Available online: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/98_stadtbaeume_unter_stress_bf_gesch.pdf (accessed on 22 November 2023)
- 16 Gaál, Ladislav – Beranová, Romana – Hlavčová, Kamila – Kysely, Jan (2014): Climate Change Scenarios of Precipitation Extremes in the Carpathian Region Based on an Ensemble of Regional Climate Models. *Advances in Meteorology* 2014, 1–14, DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/943487>
- 17 Pongrácz Rita – Bartholy Judit – Miklós Erika (2011): Analysis of projected climate change for Hungary using ensembles simulations, *Appl Ecol Env Res*, 9, 387–398, DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/0904_387398
- 18 Smith, Ian I. – Dearborn, Victoria K. – Hutya, Lucy R. (2019): Live Fast, Die Young: Accelerated Growth, Mortality, and Turnover in Street Trees. *PLoS ONE* 2019, 14, e0215846, DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215846>
- 19 Quigley, Martin F. (2004): Street Trees and Rural Conspecifics: Will Long-Lived Trees Reach Full Size in Urban Conditions? *Urban Ecosystems*, 7, 29–39, DOI: <https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000020170.58404.e9>
- 20 Böll, Susanne (2018): Stadtbäume der Zukunft – Wichtige Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "Stadtgrün 2021", 13. Available online: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/stadtbaeume_der_zukunft.pdf (accessed on 22 November 2023)
- 21 Sütöriné Diószegi Magdolna – Magyar Lajos – Honfi Péter – Orlóci László – Kizsel Péter – Vass Edit (2021): Magyar Fajták Alkalmazása a Zöldfelületi Sorfák Kínálatában. (2021) Mezőhír: Országos Agrárinformációs Szaklap 1587-060X XXV 7 94-96 Available online: <https://mz.mtmt.hu/api/publication/32456695> (accessed on 28 May 2023).
- 22 Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis; Ed.; Island Press: Washington, DC; ISBN 978-1-59726-040-4.
- 23 McPherson, E. Gregory – Xiao, Qingfu – Van Doorn, Natalie S. – Johnson, Nels – Albers, Shannon – Peper, Paula J. (2018): Shade Factors for 149 Taxa of In-Leaf Urban Trees in the USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 204–211, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.001>
- 24 Erker, Tedward – Wang, Lei – Lorentz, Laura – Stoltman, Andrew – Townsend, Philip A. (2019): Statewide Urban Tree Canopy Mapping Method. Remote Sensing of Environment, 229, 148–158, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.037>
- 25 Yang, Jinming – Li, Xulan – Li, Shimei – Liang, Hong – Lu, Huicui (2021): The Woody Plant Diversity and Landscape Pattern of Fine-Resolution Urban Forest along a Distance Gradient from Points of Interest in Qingdao. *Ecological Indicators*, 122, 107326, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107326>
- 26 Rahman, Mohammad A. – Moser, Astrid – Anderson, Marshal – Zhang, Chi – Rötzer, Thomas – Pauleit, Stephan (2019): Comparing the Infiltration Potentials of Soils beneath the Canopies of Two Contrasting Urban Tree Species. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 22–32, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.11.002>
- 27 McPherson, E. Gregory (1984): Energy-Conserving Site Design; American Society of Landscape Architects: Washington, D.C.; ISBN 978-0-941236-07-2.

- 28** Aguaron, Elena – McPherson, E.Gregory – Lal, Rattan – Augustin, Bruce (2012): Comparison of Methods for Estimating Carbon Dioxide Storage by Sacramento's Urban Forest. In *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*; Lal, R., Augustin, B., Eds.; Springer Netherlands: Dordrecht, 2012; pp. 43–71 ISBN 978-94-007-2366-5.
- 29** McHale, Melissa R. – Burke, Ingrid C.; Lefsky, M.A – Peper, Paula J. – McPherson, E.Gregory (2009): Urban Forest Biomass Estimates: Is It Important to Use Allometric Relationships Developed Specifically for Urban Trees? *Urban Ecosyst*, 12, 95–113, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11252-009-0081-3>
- 30** McPherson, E.Gregory – Van Doorn, Natalie – De Goede, John (2016): Structure, Function and Value of Street Trees in California, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 104–115, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.03.013>
- 31** Pillsbury, Norman – Reimer, Jeffrey – Thompson, Richard (2023): Tree Volume Equations for Fifteen Urban Species in California, Available online: <https://ufei.calpoly.edu/wp-content/uploads/2021/02/UrbanTreeEqns.pdf> (accessed on 22 November 2023)
- 32** Close, Richard – Nguyen, Phu – Kielbaso, J.James (1996): Urban vs. Natural Sugar Maple Growth: I. Stress Symptoms and Phenology in Relation to Site Characteristics. *AUF*, 22, 144–150, DOI: <https://doi.org/10.48044/jauf.1996.021>
- 33** Shrestha, Rupesh – Wynne, Randolph H. (2012): Estimating Biophysical Parameters of Individual Trees in an Urban Environment Using Small Footprint Discrete-Return Imaging Lidar. *Remote Sensing*, 4, 484–508, DOI: <https://doi.org/10.3390/rs4020484>
- 34** McHale, Melissa R. (2008): Volume Estimates of Trees with Complex Architecture from Terrestrial Laser Scanning. *J. Appl. Remote Sens*, 2, 023521, DOI: <https://doi.org/10.1117/1.2939008>
- 35** Hildebrandt, Rüdiger – Iost, Andre (2012): From Points to Numbers: A Database-Driven Approach to Convert Terrestrial LiDAR Point Clouds to Tree Volumes. *Eur J Forest Res*, 131, 1857–1867, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0638-1>
- 36** Vonderach, Christian – Voegtle, Thomas – Adler, P. (2012): Voxel-Based Approach for Estimating Urban Tree Volume from Terrestrial Laser Scanning Data. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B8, DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B8-451-2012>
- 37** Retkes, József – Tóth, Imre (2006): *Lombos fák, cserjék*; Botanika Kft.: Budapest, ISBN 978-963-8286-05-5.
- 38** Schmidt Gábor – Fekete Szabolcs (2003): *Növények a kertépítészetben*; Mezőgazda Kiadó, Budapest; ISBN 978-963-286-062-6.
- 39** Rahman, Mohamed A. – Smith, Jonathan George – Stringer, Pete – Ennos, Roland (2011): Effect of Rooting Conditions on the Growth and Cooling Ability of Pyrus Calleryana. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 185–192, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.05.003>
- 40** Dahlhausen, Jens – Rötzer, Thomas – Biber, Peter – Uhl, Enno – Pretzsch, Hans (2018): Urban Climate Modifies Tree Growth in Berlin. *Int J Biometeorol*, 62, 795–808, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1481-3>
- 41** Quigley, Martin F. (2004): Street Trees and Rural Conspecifics: Will Long-Lived Trees Reach Full Size in Urban Conditions? *Urban Ecosystems*, 7, 29–39, DOI: <https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000020170.58404.e9>
- 42** Rahman, Mohammad A. – Smith, Jonathan G. – Stringer, Pete – Ennos, A.Roland (2011): Effect of Rooting Conditions on the Growth and Cooling Ability of Pyrus Calleryana. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 185–192, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.05.003>
- 43** Balogh Péter István – Erő Zoltán – Mohácsi Sándor (2007): A budapesti „négyes metrő” és a városi szabadterek. *4D – Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat* 5-8., 48–55.o. Available online: https://adt.arcanum.com/hu/view/KerteszetEgyetem_4Dfolyoirat_2007/?query=szo&pg=49&layout=s (accessed on 22 November 2023)
- 44** Rahman, Mohammad A. – Fleckenstein, Christoph – Dervishi, Vjosa – Ludwig, Ferdinand – Pretzsch, Hans – Rötzer, Thomas – Pauleit, Stephan (2023): How Good Are Containerized Trees for Urban Cooling? *Urban Forestry & Urban Greening*, 79, 127822, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127822>
- 45** Városlíma Műhely Városlíma Kalauz Available online: http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/pdf/varosklima_kalauz.pdf (accessed on 18 July 2023).
- 46** Burns, Russel M – Honkala, Barbara H.; Service, U.S.F. (1990): *Silvics of North America*; U.S. Department of Agriculture, Forest Service; ISBN 978-0-16-029260-6.
- 47** Günther, Robert (2014): The Role of Soil Water Content for Microclimatic Effects of Green Roofs and Urban Trees – a Case Study from Berlin, Germany;
- 48** Coates, K.David – Canham, Charles D – LePage, Philip T. (2009): Above- versus below-Ground Competitive Effects and Responses of a Guild of Temperate Tree Species. *Journal of Ecology*, 97, 118–130, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01458.x>
- 49** Rötzer, Thomas – Liao, Yan – Goergen, Klaus – Schüler, Gebhard – Pretzsch, Hans (2013): Modelling the Impact of Climate Change on the Productivity and Water-Use Efficiency of a Central European Beech Forest. *Clim. Res.*, 58, 81–95, DOI: <https://doi.org/10.3354/cro1179>