

Zöldfelület-intenzitás változásai Újbudán, Budapest XI. kerületében / *Changes in Green Space Intensity in Újbuda, in Budapest's 11th district* **JOMBACH SÁNDOR | N. HASSAN, YASEEN | WAGNER JAKAB RUDOLF | DU, CHENYU | SÖLCH BENEDEK | ÚSZTÖKE LAURA** 2. OLDAL / PAGE 2

A zöld infrastruktúra fejlődése a városi metabolizmus szemszögéből / *Evolution of Green Infrastructure from an urban metabolic perspective* **TUFFAHA, ANAS | SALLAY ÁGNES** 24. OLDAL / PAGE 24

A telepítési sűrűség és a lombkorona-borítottság vizsgálata budapesti szabadtereken / *Study of planting density and canopy cover in open spaces in Budapest* **TÓTH BARNABÁS | DOMA-TARCSÁNYI JUDIT | TAKÁCSNÉ ZAJACZ VERA | GERGELY ANTAL | SZABÓ KRISZTINA** 32. OLDAL / PAGE 32

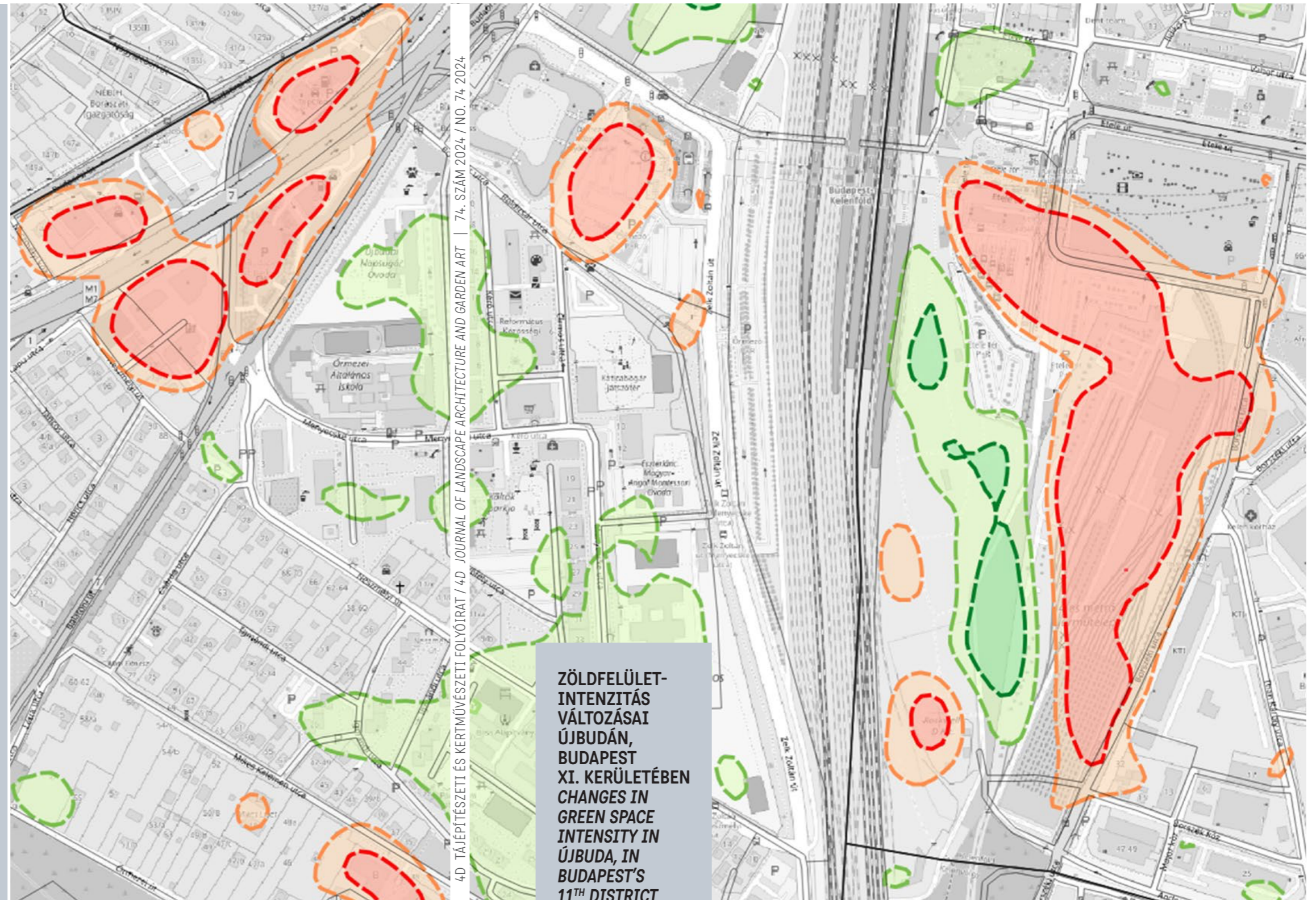
Eszközök és lehetőségek az ökológiai hálózat lehatárolására / *Methodological possibilities of determining the ecological network* **KUTNYÁNSZKY VIRÁG | SZILVÁCSKU ZSOLT** 42. OLDAL / PAGE 42

Alkalmazkodás a bizonytalansághoz: mezőgazdasági gyakorlatok és politikák az Ghab-síkságon, Szíriában / *Adapting to uncertainty: agricultural practices and policies in Ghab Plain, Syria* **AUDA, AMMAR | SZILVÁCSKU ZSOLT MIKLÓS** 54. OLDAL / PAGE 54

A városkörnyéki zöldinfrastruktúra morfológiai térbeli mintázata / *Morphological spatial pattern of peri-urban green infrastructure* **SHI, ZHEN | LIU, MANSHU | WANG, XINYU | FILEPNÉ KOVÁCS KRISZTINA** 64. OLDAL / PAGE 64

MATE

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet
H-1118 Budapest, Villányi út 35-43.
Telefon: +36 1 305 7291
E-mail: tajepiteszet@uni-mate.hu
Web: <https://journal.uni-mate.hu/index.php/4D>



4D/74

4D
TÁJÉPÍTÉSZETI ÉS KERTMŰVÉSZETI FOLYÓIRAT
4D
JOURNAL OF LANDSCAPE ARCHITECTURE AND GARDEN ART

ALAPÍTÓ/FOUNDER:
**Budapesti Corvinus
Egyetem Tájépítészeti
Kar, 2005./Corvinus
University of Budapest,
Faculty of Landscape
Architecture, 2005**

TULAJDONOS ÉS KIADÓ/
OWNER AND PUBLISHER:
**MATE, Magyar Agrár- és
Élettudományi Egyetem/
Hungarian University
of Agriculture and Life
Sciences**
2100 Gödöllő,
Páter Károly u. 1.

LAPALAPÍTÓ/FOUNDER:
JÁMBOR IMRE
egyetemi tanár/univ. prof.

FŐSZERKESZTŐ,
A SZERKESZTŐBIZOTTSÁG
ELNÖKE/EDITOR IN CHIEF,
CHAIRMAN OF
EDITORIAL BOARD:
FEKETE ALBERT
egyetemi tanár/univ. prof.
MATE-ILA, Hungary

LAPIGAZGATÓ/
JOURNAL DIRECTOR:
**BAGDINÉ FEKETE
ORSOLYA**
adjunktus/assistant
professor
MATE-ILA, Hungary

A 74. LAPSZÁM
FELELŐS SZERKESZTŐJE/
EDITOR IN CHARGE
KOLLÁNYI LÁSZLÓ
MATE-ILA, HUNGARY

SZERKESZTŐ/EDITOR
**DANCSOKNÉ FÓRIS
EDINA KLÁRA**
MATE-ILA, Hungary

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG
TAGJAI/MEMBERS
OF EDITORIAL BOARD:
TAKÁCSNÉ ZAJACZ VERA
MATE-ILA, Hungary
VALÁNSZKI ISTVÁN
MATE-ILA, Hungary
SZÖVÉNYI ANNA ANDREA
MATE-ILA, Hungary
HODOR, KATARZYNA
Craców Technical University,
Poland
KOLLÁNYI LÁSZLÓ
MATE-ILA, Hungary
VAN DEN TOORN, MARTIN
Delft University of
Technology, Holland
SÁROSPATAKI MÁTÉ
MATE-ILA, Hungary
**CHANDAWARKAR,
SHILPA BAKSHI**
Indian Education Society's
College of Architecture,
Mumbai, India

MAGYAR NYELVI LEKTOR/
HUNGARIAN PROOFREADER:
KÖRMENDY IMRE

ANGOL NYELVI LEKTOR/
ENGLISH PROOFREADER:
KABAI RÓBERT

CÍMLAPKÉP/
COVER PHOTO:
**Az ábrát szerkesztette
Jombach Sándor,
háttérben OpenStreetMap**

SZERKESZTŐSÉG/
EDITORIAL OFFICE:
**Magyar Agrár- és
Élettudományi
Egyetem, Tájépítészeti,
Településtervezési
és Díszkertészeti Intézet
– MATE-TTDI /
Hungarian University
of Agriculture and Life
Sciences, Institute
of Landscape Architecture,
Urban Planning and
Garden Art
– MATE-ILA, Budapest**

Postacím/
Mailing address:
H-1118 Budapest,
Villányi út 35-43.
Telefon/Phone:
06 1 305 7291
Szerkesztőségi e-mail/
E-mail: tajepiteszet@uni-mate.hu
Honlap/Web:
<https://journal.uni-mate.hu/index.php/4D>

A KIADVÁNYT TERVEZTE
ÉS TÖRDELTE/DESIGNER
AND LAYOUT EDITOR:
**SUSZTER VIKTOR,
VERÉB GÉZA**

NYOMDA/PRESS:
MATE EGYETEMI
SZOLGÁLTATÓ
NONPROFIT KFT.
2100 Gödöllő,
Páter Károly u. 1.

IssN 1787-6613
DOI: 10.36249/4d.74

A 4D egy nyílt hozzáférésű folyóirat, minden tartalom díjmentesen elérhető a felhasználó vagy intézménye számára. A felhasználók a kiadó vagy a szerző előzetes engedélye nélkül elolvashatják, letölthetik, másolhatják, terjeszthetik, kinyomtathatják vagy linkelhetik a cikkek teljes szövegét, illetve bármilyen más törvényes célra felhasználhatják. A közlemények a szerzők véleményét tükrözik, amellyel a szerkesztőség nem feltétlenül ért egyet. Cikkeinkre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: CC-BY-NC-ND-4.0. / 4D is an open access journal, with all content available free of charge to the user or their institution. Users may read, download, copy, distribute, print or link the full text of articles or use them for any other legal purpose without prior permission from the publisher or author. The contributions reflect the views of the authors, which may not necessarily be shared by the editorial board. Articles are licensed under the Creative Commons 4.0 Standard License CC-BY-NC-ND-4.0.



4D/74

Zöldfelület-intenzitás változásai Újbudán, Budapest XI. kerületében / *Changes in Green Space Intensity in Újbuda, in Budapest's 11th district* **JOMBACH SÁNDOR | N. HASSAN, YASEEN | WAGNER JAKAB RUDOLF | DU, CHENYU | SÖLCH BENEDEK | ÜSZTÖKE LAURA** 2. OLDAL / PAGE 2

A zöld infrastruktúra fejlődése a városi metabolizmus szemszögéből / *Evolution of Green Infrastructure from an urban metabolic perspective* **TUFFAHA, ANAS | SALLAY ÁGNES** 24. OLDAL / PAGE 24

A telepítési sűrűség és a lombkorona-borítottság vizsgálata budapesti szabadtereken / *Study of planting density and canopy cover in open spaces in Budapest* **TÓTH BARNABÁS | DOMA-TARCSÁNYI JUDIT | TAKÁCSNÉ ZAJACZ VERA | GERGELY ANTAL | SZABÓ KRISZTINA** 32. OLDAL / PAGE 32

Eszközök és lehetőségek az ökológiai hálózat lehatárolására / *Methodological possibilities of determining the ecological network* **KUTNYÁNSZKY VIRÁG | SZILVÁCSKU ZSOLT** 42. OLDAL / PAGE 42

Alkalmazkodás a bizonytalansághoz: mezőgazdasági gyakorlatok és politikák az Ghab-síkságon, Szíriában / *Adapting to uncertainty: agricultural practices and policies in Ghab Plain, Syria* **AUDA, AMMAR | SZILVÁCSKU ZSOLT MIKLÓS** 54. OLDAL / PAGE 54

A városkörnyéki zöldinfrastruktúra morfológiai térbeli mintázata / *Morphological spatial pattern of peri-urban green infrastructure* **SHI, ZHEN | LIU, MANSHU | WANG, XINYU | FILEPNÉ KOVÁCS KRISZTINA** 64. OLDAL / PAGE 64 ●

ZÖLDFELÜLET-INTENZITÁS VÁLTOZÁSAI ÚJBUDÁN, BUDAPEST XI. KERÜLETÉBEN *CHANGES IN GREEN SPACE INTENSITY IN ÚJBUDA, IN BUDAPEST'S 11TH DISTRICT*

JOMBACH SÁNDOR | N. HASSAN, YASEEN | WAGNER JAKAB RUDOLF |
DU, CHENYU | SÖLCH BENEDEK | ÜSZTÖKE LAURA

ABSZTRAKT

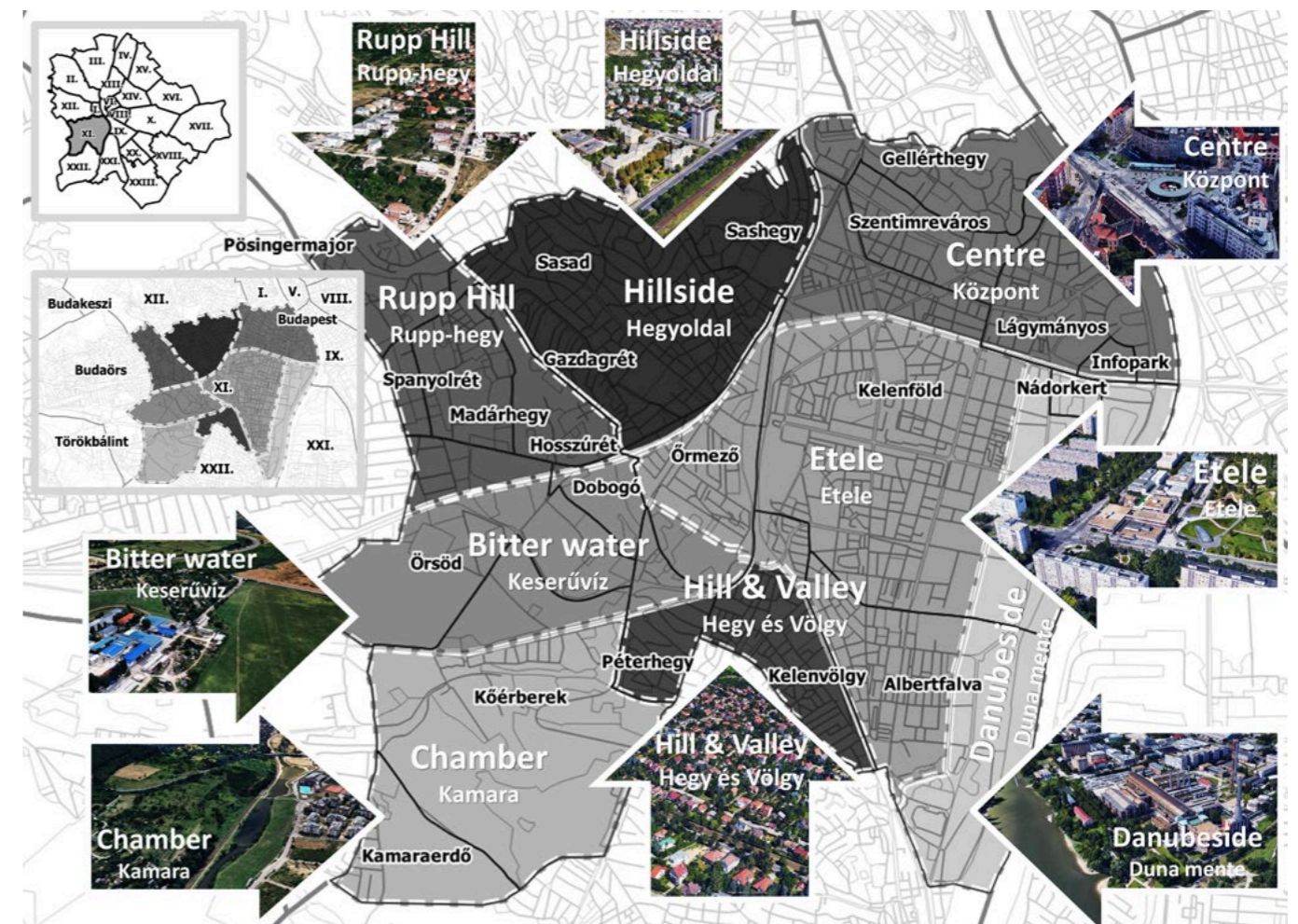
Kutatásunk a "Zöldfelület-Intenzitás" (ZFI) mutatót alkalmazta annak érdekében, hogy jellemezze Újbuda, Budapest XI. kerületének 1992 és 2023 közötti zöldfelület-változásait. A ZFI mutató a műholdfelvételt feldolgozó NDVI indexre (Normalizált Vegetációs Index) épül, de az értékei orthofotóhoz igazítottak, és több nagyon nagy felbontású úrfelvétel felhasználásával ellenőrizzük azokat. A mutatót az elmúlt két évtizedben fejlesztettük ki, közismertté tettük, és magyarországi városok zöldfelületeinek elemzésére alkalmaztuk az elmúlt tíz év kutatásaiban. A zöldfelületek változásának elemzése egy döntés-támogató tevékenység a település-tervezésben és -fejlesztésben. Segít meghatározni a változások mozgatórugóit és a változások hatását a városklímára, a beépített és burkolt felületekre, a városi élővilág fajaira, a honos, az inváziós és a dísznövényfajok szerepére a városi zöldinfrastruktúrában.

Városökológiai szempontból ez a kutatás a jobb és fenntarthatóbb tervezési megoldások megválasztását is támogatja. Újbudán, Budapest XI. kerületében, a rendelkezésre álló Landsat és Sentinel műholdfelvételek felhasználásával három évtized változásait tekintettük át. A három évtized első részében inkább a korábbi használatok felhagyásából fakadóan és a 90-es évek előtt épített lakótelepek zöldfelülete erősödésének volt köszönhető a zöldfelület-intenzitás növekedése, ugyanakkor számos zöldmezős beruházás eredményezett csökkenést. A 2015-öt követő időszakban a felhagyott vagy alacsony intenzitással művelt területek beépítésének „köszönhetően” történt zöldfelület-intenzitás csökkenés, míg növekedést túlnyomóan a korábbi építkezéseket záró kertépítésekhez kapcsolódóan tapasztaltunk.

Kulcsszavak: zöldfelület, növekedés, csökkenés, fejlesztés, átalakulás, felhagyás, változás, változás-foltok

1. ábra/Fig. 1: Budapest XI. kerülete és kerületrészei, jellemző madártávlati képekkel / Budapest's 11th district and its sub-divisions with names and typical bird's eye-view images

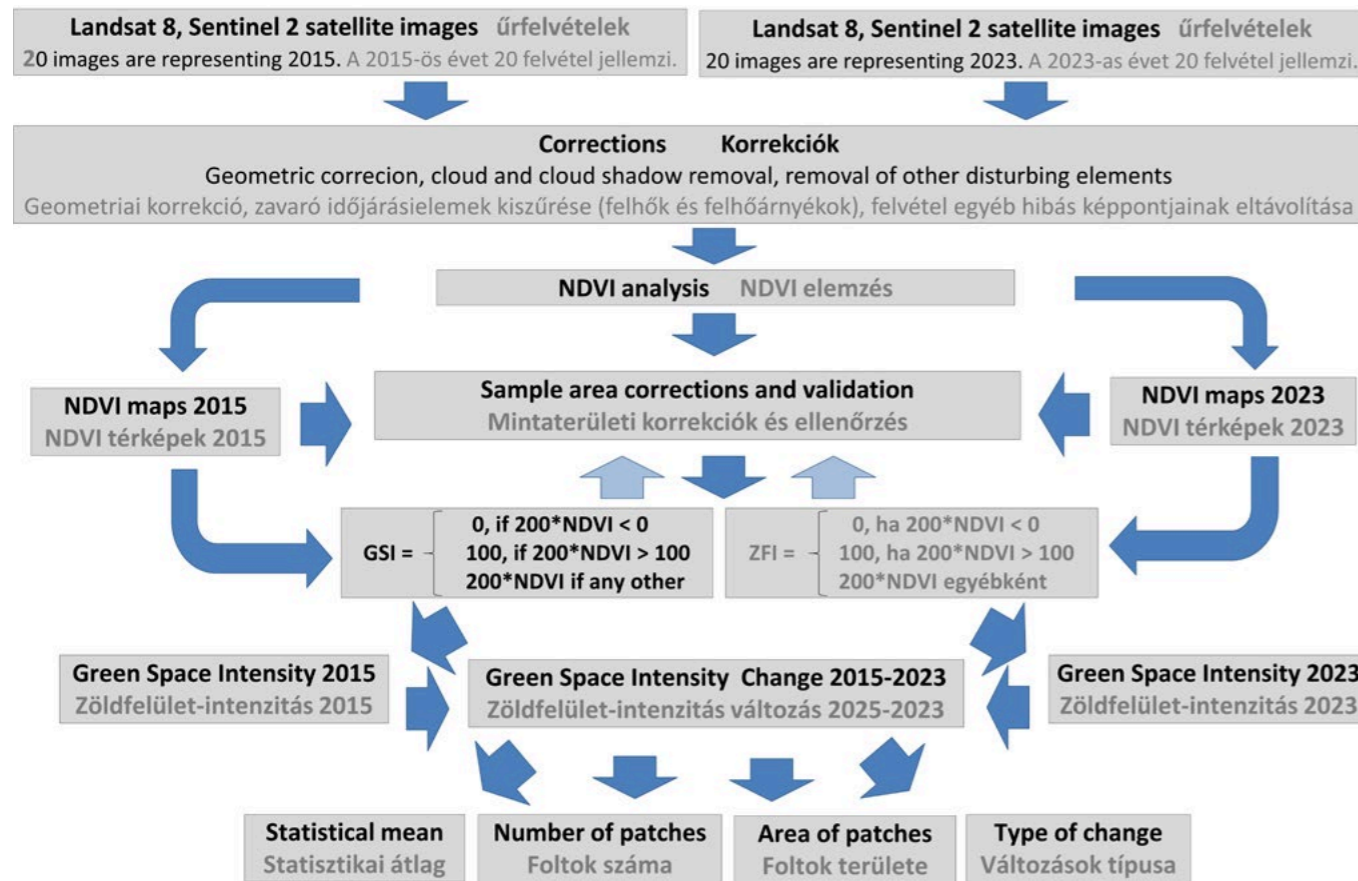
KIS KÉPEK FORRÁSA: GOOGLE EARTH PRO / SOURCES OF SMALL PICTURES: GOOGLE EARTH PRO



ABSTRACT

This research uses the "Green Space Intensity" (GSI) index to describe the changes of green space within Újbuda, Budapest's 11th district, from 1992 to 2023. The GSI index is based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) generated from satellites, but the values have been revised and adjusted to high-resolution orthoimagery and validated by VHR satellite images. The index has been developed over the last two decades, is well known and has been used in the last ten years in research to analyse green spaces within the towns and cities of Hungary.

Analysis of green space changes provides reasonable decision-support in urban planning and city development. It helps to define the drivers of change and the effects of changes on the urban climate, paved and built-up areas, the urban habitat of wildlife species and the role of endemic, invasive and ornamental plant species in the city's green infrastructure. From an urban ecology perspective, this research supports better and more sustainable planning and design solutions. In the 11th district of Budapest, called Újbuda or "New Buda", using the available Landsat and Sentinel satellite images, we examined



BEVEZETÉS ÉS HÁTTÉR

A zöldfelületek változásait a kutatók sokféle módszerrel szokták elemezni. Egyes kutatók a zöldfelületi arány változásaira koncentrálnak [1], de vannak, akik a zöldfelületek térbeli változásainak alakulását is modellekkel osztályozzák [2]. Sorra jelennek meg a városi zöldfelületek és a lakóterületek intenzitásának változásával [3], vagy a városi zöldfelületek mesterséges felületekké átalakulásával [4, 5] foglalkozó kutatások is. Sokan közülük használnak távérzékelést és NDVI-indexet a zöldfelületek változásainak térképezésére [6, 7, 8]. Néhányan „zöldfelszín-sűrűség” néven indexet állítanak elő [9], és a legtöbb esetben validálják is az adatokat [8], vagy kiegészítik a térképes elemzést légi- és ortofotó képek vizsgálatával [10, 11].

A zöldfelületek felmérésére és elemzésére használt módszerek egyike a zöldfelület-intenzitás (ZFI) számítás, amely űrfelvételek és légifelvételek kombinált feldolgozásával segíti a zöldfelület térképezését és térinformatikai elemzését, értékelését. A módszer alkalmazható településrészek, sőt egyes tömbök zöldfelület-intenzitásának jellemzésére is.

A ZFI módszer első változata 2006-ban a "Pro Verde" projektben [12] került alkalmazásra, amely

térinformatikai módszerekkel célozta meg a zöldfelületek térképezését, értékelését és monitorozási módszerének kidolgozását a főváros területére és annak várostervezési zónáira. A fővárosról és agglomerációjáról szóló zöldfelületi elemzési tanulmány – a projekt megalapozó tanulmánya [13] – elsőként használta az NDVI alapú úgynevezett "elméleti zöldfelület-számítási módszert".

Korábbi zöldfelület-térképezési és elemzési munkák számos tapasztalattal gazdagították a felmérést, térinformatikai és vizuális képértelmezési, képinterpretációs tevékenységükkel [14], vagy „zöldfelületi arány” és „biológiailag aktív felületek” kulcsszavak használatával [15] nyújtottak támpontokat az NDVI vegetációs index települési alkalmazásához. Az NDVI index a vegetáció felszínének biológiai aktivitását mutatja ki, ezért a módszerrel készülő publikációk 2006-ban és 2007-ben még a „zöldfelület biológiai aktivitása” címszóval kerültek nyomdába [16, 17, 18]. Mivel ezzel egy időben elkészült a területek biológiai aktivitásértékének számításáról szóló ÖTM rendelet [19], ezért a későbbiek során célszerűbbé vált az ettől eltérő, ám a módszer lényegét is jobban visszaadó „zöldfelület-intenzitás” kulcsszó bevezetése és használata [20].

2. ábra/ Fig. 2: Az űrfelvételektől a Zöldfelület-intenzitás területi statisztikai elemzéséig tartó adatfeldolgozási folyamat példája 2015-2023 időszakra / Data processing from satellite images to territorial statistical analysis of Green Space Intensity in period 2015-2023

changes over three decades. During the first part of the three decades, the increase in green space intensity was more due to the abandonment of former uses and due to the increase in "block of flat" socialist type residential areas built before the 1990s. Meanwhile, several green-field investment projects resulted in a decrease. For the period after 2015 the decrease in GSI was due to development on abandoned or areas of low land-use intensity, while increases were predominantly associated with the greening and landscaping phase of previous constructions.

Keywords: green space, growth, decrease, development, transformation, abandonment, change, change patches

INTRODUCTION AND BACKGROUND

Green space changes are studied by researchers in a variety of ways. Some researchers focus on the green view ratio changes in the scenery [1], while others classify the evolution of green space spatial changes using models [2]. Studies dealing with the change of urban green space and the evolving intensity of residential space [3], or the transformation of urban green space to artificial surfaces [4, 5] are also emerging. Many of them use remote sensing and the NDVI index to map changes in green space ([6, 7, 8]. Some also generate an index out of it, called "green land density" [9], checking accuracy [8], or enhancing mapping and analysis with VHR images from aerial and orthophotography [10, 11].

Green Space Intensity (GSI) is one of the methods used for green space surveying and analysis. It is applied to help with mapping, geospatial analysis and assessment of green space, by using satellite images and aerial photographs. The method can be applied to characterise green infrastructure within districts or blocks.

The first applied version of the GSI method was used in 2006 in the "Pro Verde" project [12], which aimed to map, assess and develop the monitoring method for green space in Hungary's capital. The preliminary study for the project [13] examining Budapest and its agglomeration used the so-called "theoretical green space" calculation method based on NDVI values.

Previous green space mapping studies supported this research with numerous lessons learned, either through GIS application and visual interpretation activity [14], or using the keywords of "green space ratio" and "biologically active areas" [15], prompting researchers to adapt the NDVI to urban green space analysis. The NDVI and the method developed on the basis of NDVI show the biological activity of the green coverage. Accordingly, the 2006 and 2007 publications used the term "biological activity of green space" [16, 17, 18]. At the same time, a ministerial decree [19] prescribed the "biological activity value" calculation method, and it then became more appropriate to introduce and use the term "Green Space Intensity" for satellite image-based green space mapping and calculations [20].

The Green Space Intensity (GSI) method has been developed and revised through sample area validations, testing and feedback. As an index, GSI shows the spatial ratio and health of vegetation within territorial units. The database generated from satellite images and orthophotos provides information about the territory and the vital condition of vegetation with one combined value. It ranges from zero to one hundred, and shows the intensity of the green space within the analysed territory. The method is generally used for decision-support regarding urban development plans, as a tool for green space analysis and mapping, change mapping and spatial assessment of green spaces e.g. serving recreational needs [21].

3. ábra/Fig. 3: Zöldfelület-intenzitás (ZFI) -térképek és változás-térképek Budapest XI. kerületéből / Green Space Intensity (GSI) maps and Change maps for Budapest's 11th district

A zöldfelület-intenzitás (ZFI) elemzésének módszere számos tekintetben megújult, teszteken és mintaterületi ellenőrzéseken finomodott, visszajelzések alapján felülvizsgálatra került. A zöldfelület-intenzitás (ZFI) megmutatja, hogy mekkora az adott területre eső zöldfelület területi aránya, és milyen az egészségi állapota. A módszer alapján űrfelvételek és ortofotók feldolgozásával készített adatbázis a zöldfelület kiterjedéséről és állapotáról is információt szolgáltat azzal, hogy egy nullától száz százaléig terjedő skálán megmutatja milyen arányú a zöldfelület intenzitása egy adott területen. Elsősorban települési fejlesztési, tervezési munkák megalapozására, döntés-előkészítésre, a zöldfelületek állapotának és változásának monitorozására kívánja a legtöbb felhasználó alkalmazni. A felhasználási példák között szerepel a rekreációs igények kiszolgálása is [21].

ANYAG ÉS MÓDSZER

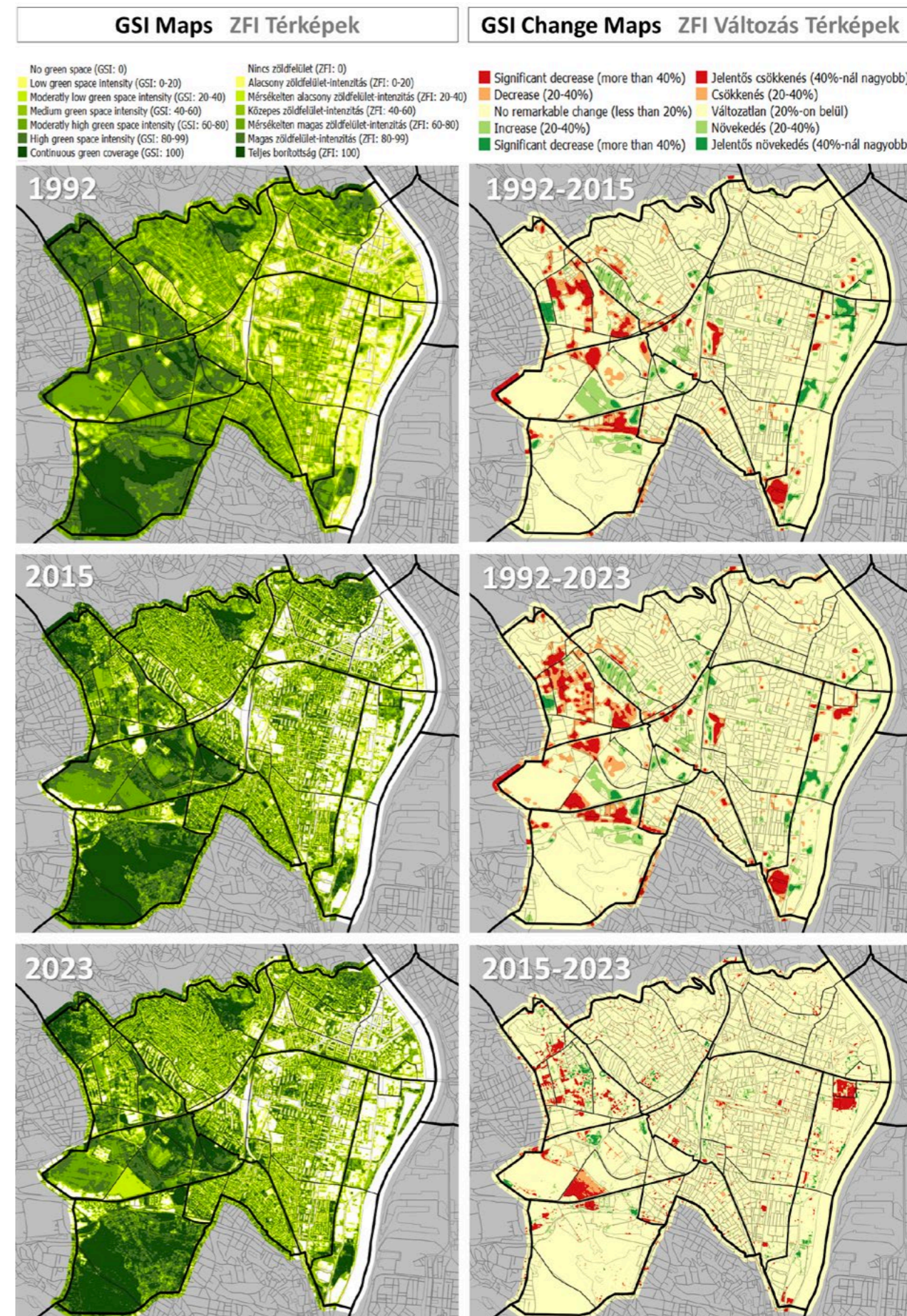
A kutatás a Zöldfelület-intenzitás (ZFI) és a Zöldfelület-intenzitás változásának térbeli elemzésén alapult. Az elemzéshez mindhárom év (2015, 2020, 2023) jellemzésére 20-20 űrfelvételt használtunk fel (Landsat 8 és Sentinel 2 felvételek). Az 1992 és 2015 időszak esetében a korábbi 8-8 felvételre (Landsat 4, 5, 8) épülő elemzési eredményeiket használtuk fel. A Zöldfelület-intenzitás (ZFI) meghatározásához alapvetően a 2011-ben Jombach által publikált módszert alkalmaztuk [22]. A módszer a vegetáció biológiai aktivitásának kimutatására használt NDVI indexre épül [23], de azt mintaterületi tesztek alapján átalakítja. A "Zöldfelület-intenzitás" (ZFI) a vegetáció jelenlétének és egészségi állapotának egyesített indikátora, amely százalékos értékeivel (0-100%-ig) egyetlen számértékkel mutatja meg milyen területi aránnyal és milyen vitalitással bír a növényzet egy adott területen.

Kutatásunk fókuszterülete Budapest XI. kerülete. A kerület a Duna nyugati partján, a Budai-hegység déli lábainál és a Tétényi-fennsík északkeleti lejtőin helyezkedik el. Népessége a vizsgált 31 éves időszakban 174 ezer-ről 143 ezer főre csökkent. A 90-es években a gyengülő ipari tevékenység már nem vonzott további betelepülőket,

és sokan költöztek ki az agglomeráció elővárosi területeire. Ennek ellenére Újbuda még ma is a főváros legnépesebb és egyik legfejlettebb kerülete. Kiemelkedő fejlődését meghatározta központi térbeli elhelyezkedése és dél-budai közlekedési csomóponti szerepe, számos gyárral, lakóteleppel, egyetemmel, irodaközponttal és sportlétesítménnyel. Ezek mindegyike ma már jelentős és igen karakteres zöldfelülettel rendelkezik, de a változás mértéke a zöldfelület-intenzitás részletes elemzését indokolja.

Újbuda az egyetlen olyan kerület, ami a főváros minden várostervezési zónáját érinti. A Duna menti zóna a folyóhoz esik közel (Duna mente), a Gellért-hegy lábainál van a Belső zóna (Központ), továbbá a Hegyvidéki zóna a Rupp-hegy és a Hegyoldal kerület-részeket foglalja magába (1. ábra). A kerület legnagyobb része azonban az Átmeneti zónában (Etele és Keserűvíz) található, míg a legdélebbi területek - nevezetesen a Kamara (Kamaraerdő) és részben a „Hegy és völgy” terület (azaz Péterhegy és Kelenvölgy) a fővárosi elővárosi zónához kapcsolódnak. A kerületnek sokféle karaktere van változatos helyszíneken. Van belvárosias része, villanegyede, kertvárosi területe, kertesi családi házas övezete, házgyári lakótelepe, „lakópark” címszó alatt futó újépítésű lakóterülete, irodai negyede, ipari és kereskedelmi területe, zöldterülete és barnamezős területe is. A kerületet hivatalosan 21 nagyon eltérő méretű alrészre bontja a kerületi szabályozás (1. ábra, kis fekete címkékkel a térképen). Az elemzéshez azonban felhasználtunk a kerületrészek várostervezési zónákhoz kapcsolható csoportjait is (8 terület, az 1. ábrán fehér szöveggel).

A ZFI változás-elemzések 1992 és 2015 évekre készültek kizárólag a 30 méteres térbeli felbontású Landsat felvételek felhasználásával [24, 25]. A jelenlegi kutatás többnyire 10 méteres felbontású Sentinel felvételeket használt fel és a 2015-ös évet tekintette bázisévnek [26]. A feldolgozási folyamat lépéseit a 2. ábra szemlélteti a 2015-2023 időszakra. Mindazonáltal az 1992 és a 2015 óta történt változásokat a 2020-as és a 2023-as év összefüggésében is elemeztük (3. ábra). A módszer korlátja, hogy a vertikális zöldfelületeket (pl. zöldfalakat, zöld homlokzatokat) nem jelentőségüknek megfelelő mértékben veszi figyelembe.



1. táblázat/Table 1: Zöldfelület-változások kerületrészenkénti összesítése / Green Space Intensity and its changes in district sub-divisions

Név (Kerület) / Name (District)	Átlag ZFI / Statistical mean of GSI				Zöldfelület-intenzitás változása / Green space intensity change					
	1992	2015	2020	2023	1992–2015	1992–2020	1992–2023	2015–2020	2015–2023	2020–2023
Budapest XI., Újbuda / Budapest XI.	51,2	51,3	49,0	49,2	0,1	-2,2	-2,0	-2,3	-2,1	0,2
Kerületrész-csoportok / Groups of sub-divisions	1992	2015	2020	2023	1992–2015	1992–2020	1992–2023	2015–2020	2015–2023	2020–2023
Központ / Centre	32,4	34,3	34,3	33,0	1,9	1,9	0,6	0,0	-1,3	-1,3
Hegyoldal / Hillside	52,5	53,6	51,3	52,6	1,1	-1,2	0,1	-2,3	-1,0	1,3
Rupp-hegy / Rupp Hill	77,2	66,7	58,8	62,1	-10,5	-18,4	-15,1	-7,9	-4,6	3,3
Kamara / Chamber	87,0	86,3	86,7	84,5	-0,7	-0,3	-2,5	0,4	-1,8	-2,2
Duna mente / Danubieside	18,6	22,4	19,3	18,9	3,8	0,7	0,3	-3,1	-3,5	-0,4
Hegy és Völgy / Hill & Valley	56,0	52,4	49,4	48,7	-3,6	-6,6	-7,3	-3,0	-3,7	-0,7
Etele	34,5	36,3	35,8	36,0	1,8	1,3	1,5	-0,5	-0,3	0,2
Keserűvíz / Bitter water	73,6	73,4	68,5	70,4	-0,2	-5,1	-3,2	-4,9	-3,0	1,9
Kerületrészek / District parts	1992	2015	2020	2023	1992–2015	1992–2020	1992–2023	2015–2020	2015–2023	2020–2023
Albertfalva	31,0	29,1	29,4	29,1	-1,9	-1,6	-1,9	0,3	0,0	-0,3
Dobogó	85,3	77,4	78,3	81,6	-7,9	-7,0	-3,7	0,9	4,2	3,3
Gazdagrét	30,2	42,1	41,4	42,9	11,9	11,2	12,7	-0,7	0,8	1,5
Gellérthegy / Gellért Hill	58,3	58,6	57,6	54,9	0,3	-0,7	-3,4	-1,0	-3,7	-2,7
Hosszúrét	79,5	64,7	56,2	62,3	-14,8	-23,3	-17,2	-8,5	-2,4	6,1
Infopark	17,9	24,7	24,3	24,2	6,8	6,4	6,3	-0,4	-0,5	-0,1
Kamaraerdő	95,0	96,0	96,6	95,5	1,0	1,6	0,5	0,6	-0,5	-1,1
Kelenföld	26,2	29,8	28,7	28,4	3,6	2,5	2,2	-1,1	-1,4	-0,3
Kelenvölgy	52,0	49,2	48,2	47,0	-2,8	-3,8	-5,0	-1,0	-2,2	-1,2
Kőérberek	81,5	82,5	82,5	78,2	1,0	1,0	-3,3	0,0	-4,3	-4,3
Lágymányos	14,4	18,4	18,5	17,8	4,0	4,1	3,4	0,1	-0,6	-0,7
Madárhegy	81,3	57,4	46,1	52,4	-23,9	-35,2	-28,9	-11,3	-5,0	6,3
Nádorkert	18,6	53,9	8,5	10,3	35,3	-10,1	-8,3	-45,4	-43,6	1,8
Órmező	44,9	49,1	48,1	49,8	4,2	3,2	4,9	-1,0	0,7	1,7
Örsöd	73,2	67,2	59,7	66,1	-6,0	-13,5	-7,1	-7,5	-1,1	6,4
Péterhegy	66,4	66,2	62,6	62,2	-0,2	-3,8	-4,2	-3,6	-4,0	-0,4
Pösingermajor	84,6	80,5	76,1	75,7	-4,1	-8,5	-8,9	-4,4	-4,8	-0,4
Sasad	54,8	54,2	51,1	52,7	-0,6	-3,7	-2,1	-3,1	-1,5	1,6
Sashegy	59,6	61,1	60,0	60,3	1,5	0,4	0,7	-1,1	-0,8	0,3
Spanyolrét	48,2	67,7	46,8	49,5	19,5	-1,4	1,3	-20,9	-18,2	2,7
Szentimréváros	39,8	38,3	38,7	37,3	-1,5	-1,1	-2,5	0,4	-1,0	-1,4

MATERIALS AND METHODS

The research is based on the spatial analysis of Green Space Intensity (GSI) and the change in GSI. The study used 20 satellite images (Landsat 8 and Sentinel 2) each year (2015, 2020, 2023). It also used the data and the results of the previous studies, which were based on eight Landsat images (Landsat 4, 5 and 8), in both cases from approximately 1992 to 2015. To define GSI, we used the method published in 2011 by Jombach [22]. The method is based on NDVI [23], which is widely used to indicate the biological activity of vegetation but is revised through sample area tests. GSI is a combined indicator of the presence and health of vegetation. It shows the ratio and vitality of vegetation with one single value (ranging from 0 to 100%).

The study focuses on Budapest's 11th district. The district is located on the western bank of the Danube, at the southern foothills of the Buda Hills and on the northeastern slopes of the Tétény Plateau. Its population fell from approximately 174,000 to 143,000 during the decades under review. In the 1990s, declining industrial activity meant few new residents were attracted to the area, and many moved to the suburban areas of the agglomeration. Nevertheless, Újbuda is still the most populous and one of the most developed districts of the capital city. Its outstanding development has been determined by its central geographical location and the role being a transport hub in southern Buda, with many factories, residential areas, universities, office centres and sports facilities. These all have significant and highly distinctive green spaces today, but the extent of their change necessitates a detailed analysis of green space intensity.

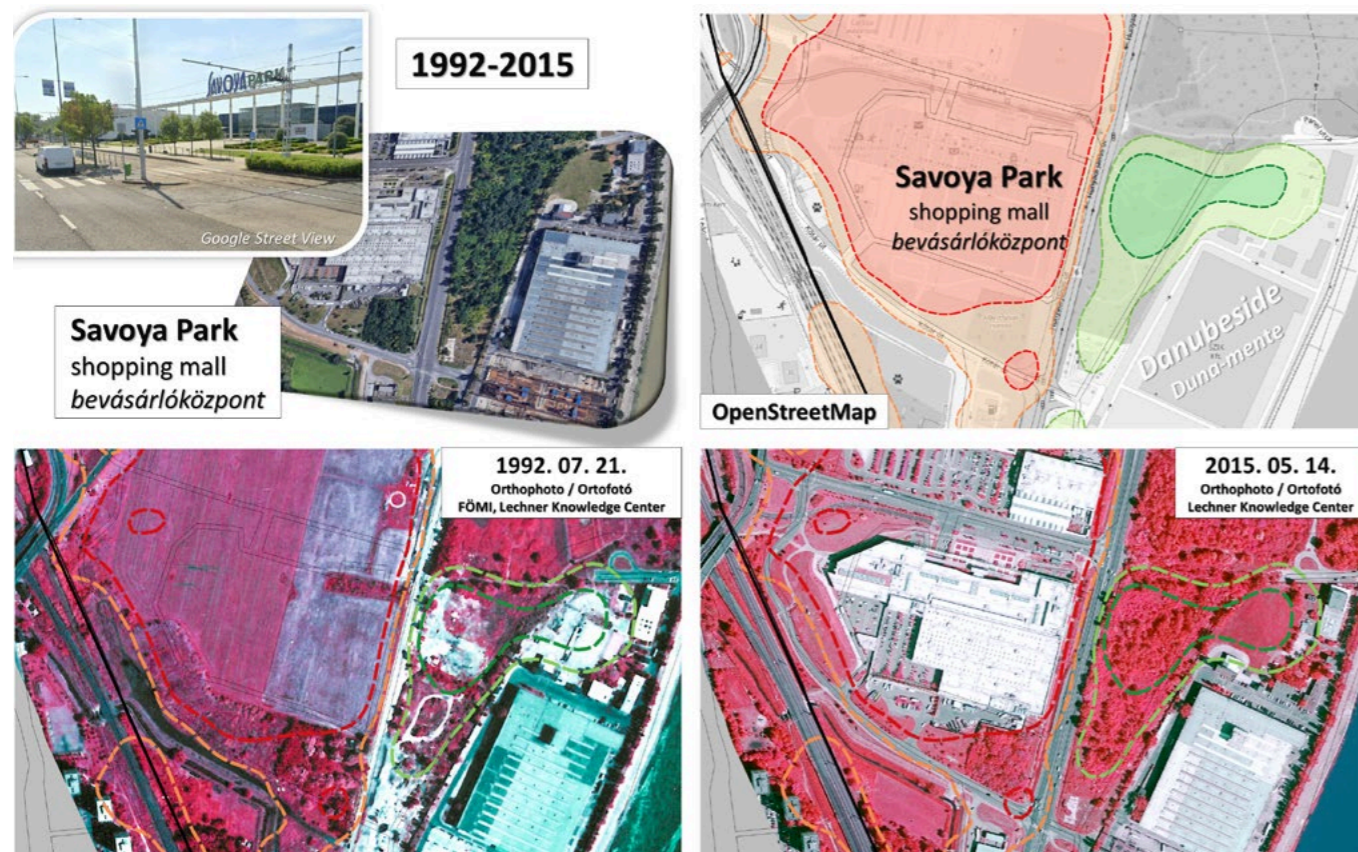
The 11th district is the only district that is part of all urban planning zones of the city. The Danube zone is along the river (Danubieside), the Inner zone (Centre) is

close to Gellért Hill, the Hilly zone includes the Rupp Hill and the Hillside district parts (Fig. 1). The majority of the district can be found in the Transitional zone (Etele and Bitter water areas), and some of the most southerly areas (Chamber and partly the Hill & Valley area, that is Péter Hill and Kelen Valley) are linked to the Suburban zone of the capital city. The character of the district varies depending on the locality. These include city-centre, villa-style and garden-city neighbourhoods, as well as parts comprising family homes with gardens, apartment-block housing estates, new residential areas under the name “residential parks”, office quarters, industrial and commercial areas, green areas and brownfield sites. The district is officially divided into 21 sub-divisions of very different sizes (Figure 1, small black labels on map). However, for the analysis we also used groups of sub-divisions that can be linked to urban planning zones (8 group names, white text on Figure 1).

The GSI change analysis was conducted for the years 1992 and 2015, using only Landsat images with 30m spatial resolution [24, 25]. The current study used Sentinel images with 10m resolution and considered 2015 as a base year [26]. The data processing steps are shown in Figure 2 for the period 2015-2023. However, the changes since 1992 and 2015 were also analysed in the context of 2020 and 2023 (Figure 3.). The limitation of the method is that vertical green surfaces (e.g. green walls, green facades) are not taken into account to the extent of their significance.

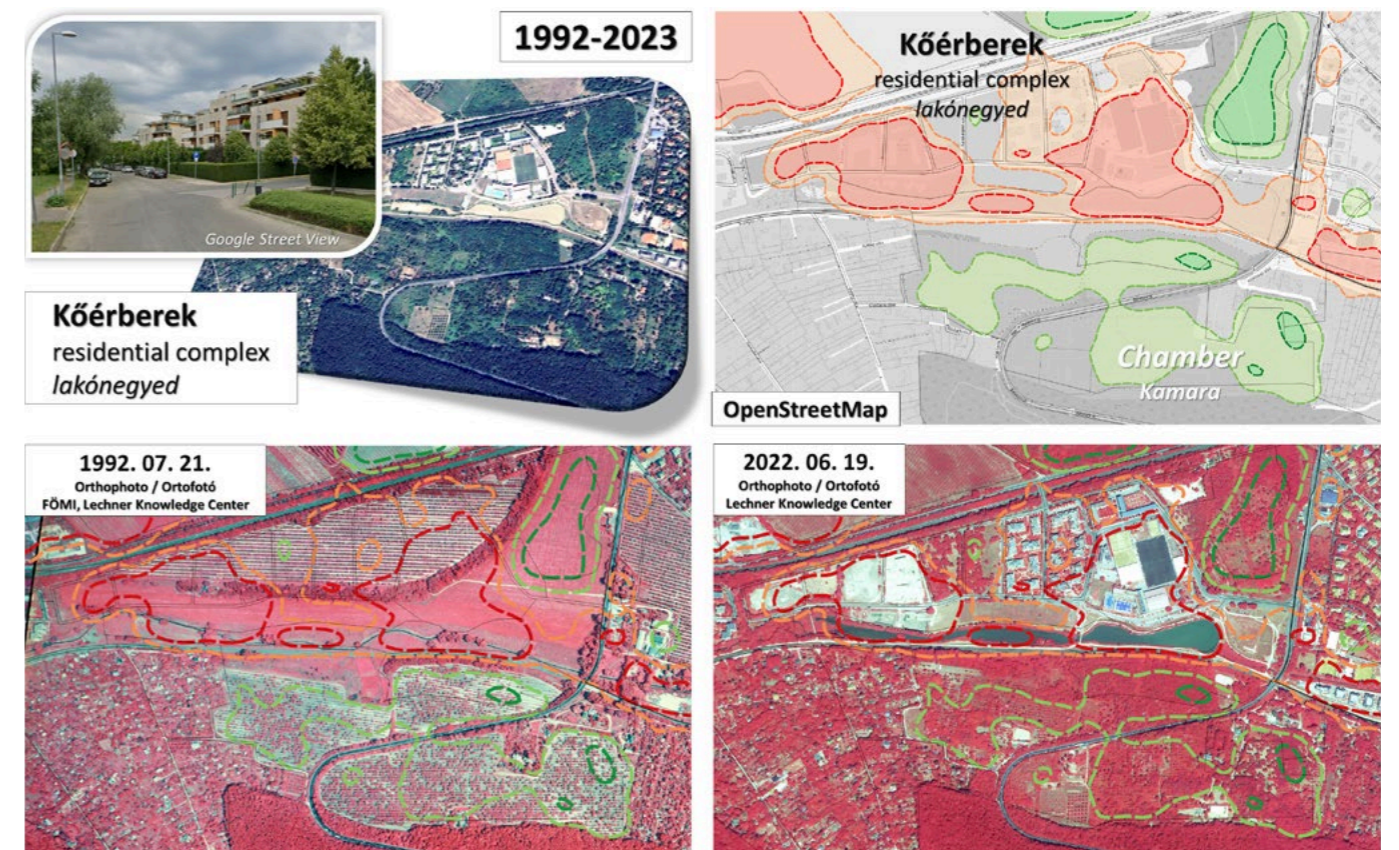
RESULTS

The mean green space intensity of Újbuda was around 50%, similar to the Budapest average, in the three decades under study. From 1992, the average value fell from 51.2% to 49.2% by 2023, driven by the significant construction



4. ábra/Fig. 4: Változások a Savoya Park környékén a zöldmezős beruházás eredményeként / Changes near Savoya Park due to green field investment

5. ábra/Fig. 5: Zöldmezős beruházás a Kőerberek környéki lakóépületek építésekor / Greenfield investment of housing estates in the Kőerberek neighbourhood



EREDMÉNYEK

Újbuda területére összesítve – a fővárosihoz hasonló – 50% körüli zöldfelület-intenzitás érték volt jellemző a vizsgált három évtizedben. Az 1992-es évben még az 51,2%-os átlagértékről 2023-ra 49,2%-ra csökkent, 2020-ban a 49%-ot is érintette, annak következtében, hogy a megelőző időszakra nagy építkezési hullám volt jellemző. Az 1990-es évektől kezdődően főként az olyan zöldmezős beruházások eredményeztek nagyobb visszaeséseket mint amit a 2000 után megépült Savoya Park bevásárló-központ környékén látunk (4. ábra). A pusztán statisztikai értékek alapján azt mondhatnánk, hogy 31 év alatt összességében inkább stagnálás történt, de a vizsgált időszak utolsó nyolc éve erőteljes kilengéseket mutatott (1. táblázat). Különösen igaz az állítás, ha kerületrész-szinten vizsgáljuk az eredményeket, és a helyben jellemző változásokat is megfigyeljük. A 2015-2020 közötti 2%-ot meghaladó

viSSzaesés a fővárosi kerületek között a hatodik legnagyobb csökkenést jelentette.

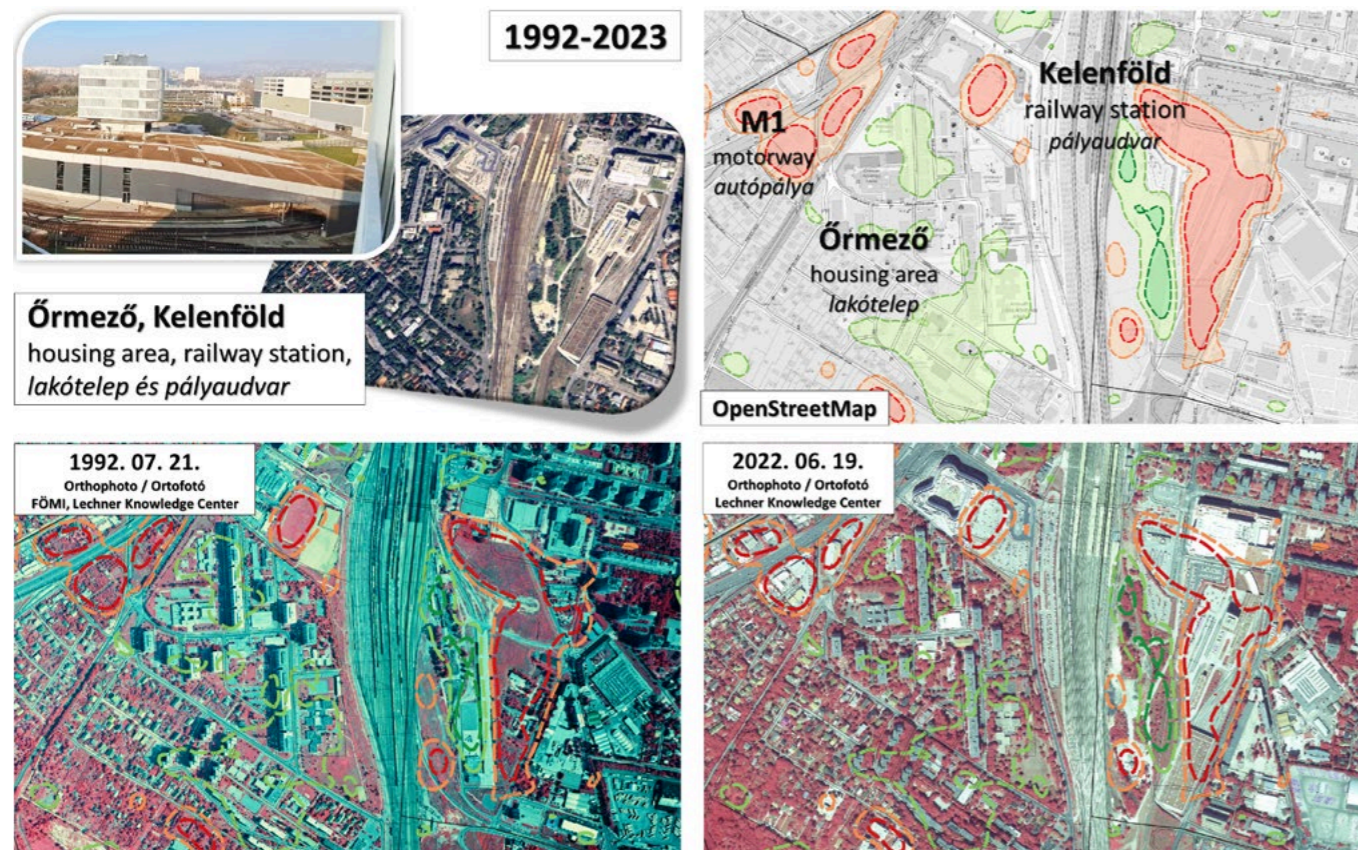
A Savoya Park ábráján megfigyelhető, hogy a felhagyott területeken spontán növekedő zöldfelületek jelentek meg (4. ábra). Hasonló jelenség érvényesült azon a helyszínen is, ahol a Kőerberek lakónegyed létesült és napjainkban is fejlődik. Az egykori mezőgazdasági területeken (főként gyümölcsös, gyepek, szántók) megvalósult lakóterületi, sport és részben rekreációs célú fejlesztések zöldfelület-intenzitás-csökkenést eredményeztek. Ugyanakkor a szomszédos gyepek és gyümölcsösök felhagyásával erősödött a zöldfelület-intenzitás (5. ábra), ami spontán cserjésedés és erdősülés útján általában invazív, gyorsan terjedő gyomfajokkal vegyesen valósul meg. Ez nem biztosít többfunkciós városi zöldfelületet, ugyanakkor klimatikus hatása kedvező lehet a környező lakóterületekre. A Kőerberek és Kamarardó kerületrészek azonban épp a

activity in the previous decade. From the 1990s onwards, the process of greenfield investment caused a major loss of green space intensity, as seen around the Savoya Park shopping centre, built after 2000 (Figure 4). Based on the statistics alone, one could say that there has been stagnation overall over 31 years, but the last eight years of the period under review have shown strong fluctuations (Table 1.), especially when looking at the results at sub-division level, or extending the analysis to include the local character of the changes. The decline of more than 2% between 2015 and 2020 was the 6th largest among the districts in the capital city.

The spontaneous growth of green areas in abandoned locations can be observed near Savoya Park (Figure 4). A similar phenomenon we observed in the area where the Kőerberek housing estate was built and is still developing. Residential, sport and partly recreational development on

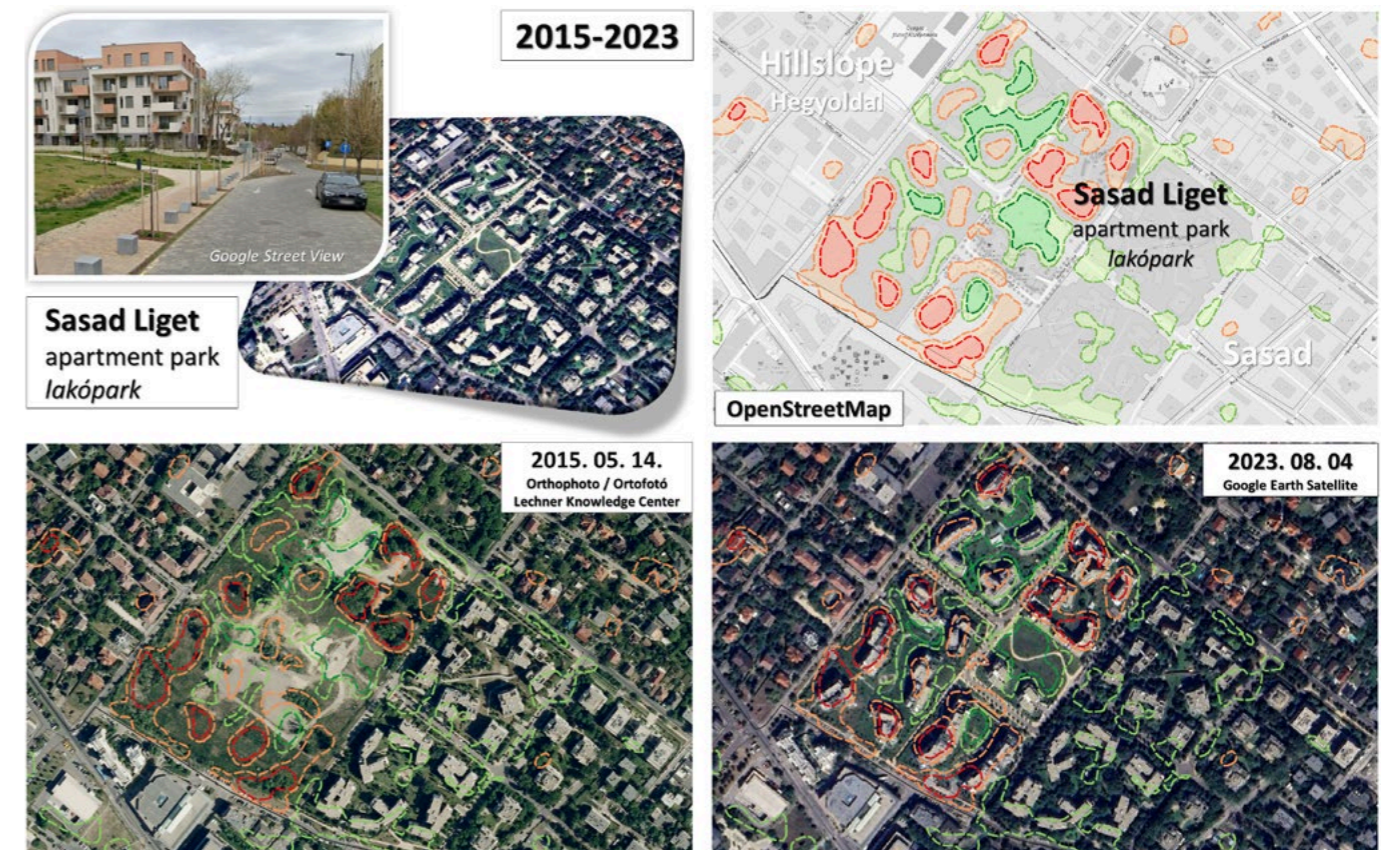
former agricultural land (mainly orchards, grassland and ploughland) has resulted in a reduction in green space intensity. At the same time, by contrast, the abandonment of grassland and orchards has increased the intensity of green space (Figure 5) that occurs through spontaneous shrub growth and afforestation, usually mixed with invasive, fast-growing weed species. This does not provide multifunctional urban green spaces, but may have a beneficial climatic effect on surrounding residential areas and enhance biodiversity. However, the Kőerberek and Kamarardó sub-divisions still have the highest green space intensity (78% and 96% respectively).

However, the green areas of the 1970s housing estates of the Őrmező, planted with trees and shrubs in the 1980s and 1990s, have strengthened over the three decades. As is typical in case of the housing estates, the green space intensity has increased moderately. The gain is



◀◀6. ábra/Fig. 6: Kelenföld vasútállomás a 4-es metró végállomással: A változékonny környék / A change-prone neighbourhood with a subway terminal: Kelenföld Railway Station

7. ábra/Fig. 7: Lakóterületi megújulás a Sasad Liget lakóparkok építésével, korábbi lakóterületi helyszínen / Renewal of housing in the Sasad Liget neighbourhood on a former residential site



legmagasabb zöldfelület-intenzitással rendelkező kerületrészek még napjainkban is (78% és 96%).

Az 1970-es években épített Órmezői lakótelep 80-as és 90-es években fásszárúakkal betelepített zöldfelületei a vizsgált időszak három évtizede alatt azonban megerősödtek. A házigyári lakótelepekre jellemző módon a zöldfelület-intenzitás mérsékelt növekedést mutat. A növekedés a fák korona-erősödésének és ezáltal a burkolt felületek fölé is benyúló nagyobb lomb-borítottságnak köszönhető. Órmező kerületrész zöldfelület-intenzitása 44,9%-ról 49,8%-ra növekedett 31 év alatt. Hasonló jelenséget figyeltünk meg Gazdagrét kerületrészben is, ahol ez az érték 30,2%-ról 42,9%-ra növekedett. Az M1-es autópálya melletti beépítések (benzinkutak, parkolóház, autókereskedések) látványosan jelzik az utak mentén történő fejlesztések zöldfelület-csökkenő hatását (6 ábra). A Kelenföldi pályaudvar környéke jelentős átalakuláson

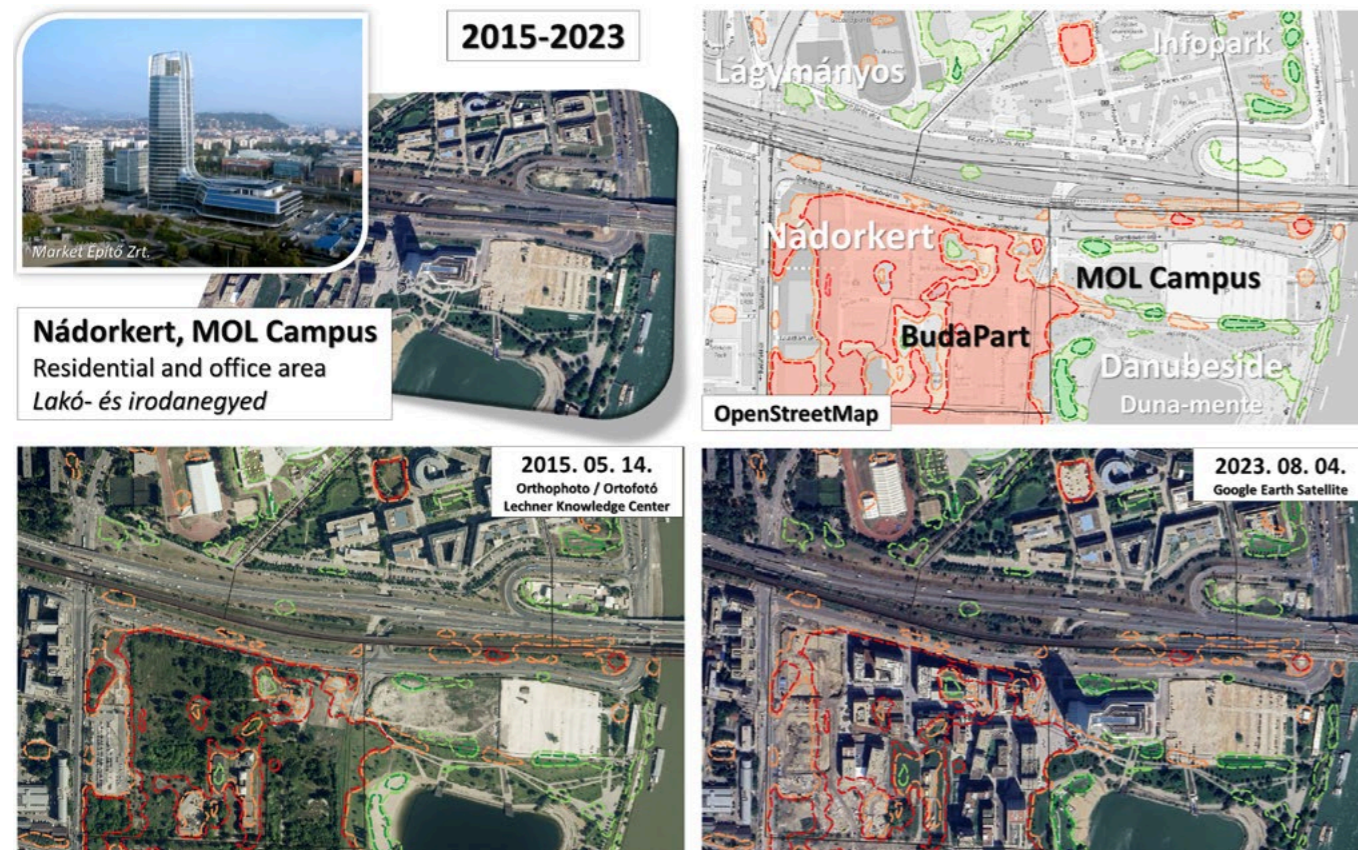
ment keresztül. A metró-végállomás, a vasútállomás és a buszpályaudvar kialakításával, a "Budapest One" irodaház és az Etele Pláza megépítésével többnyire veszített zöldfelület-intenzitásából a terület.

Vizsgálataink alapján a XI. kerületben a legtöbb változást a lakóterületi fejlesztések hozták magukkal. Az egyik legkorábbi lakóterületi fejlesztés, a Sasad Liget lakópark két ütemben megépült tömbjeinek zöldfelület-változásai jól mutatják az építési területek kialakításával eltűnő zöldfelületeket és az építés befejezése után telepített növényzet erősödésének folyamatát. A 2008-2009-es gazdasági válságévekben épített első ütemben (délkeleti rész) kialakított zöldfelületek a gondos fenntartásnak és öntözőrendszernek köszönhetően a 2015-2023 időszakban tovább erősödtek. Ugyanakkor a válság éveit követően a második ütem (északnyugati rész) évekig váratott magára, és a terület felhagyásával spontán gyomosodás, cserjésedés

due to the growth of trees and thus the greater canopy coverage over the paved surfaces. The GSI of the Órmező district has increased from 44.9% to 49.8% over 31 years. A similar phenomenon can be observed in the Gazdagrét district, where the figure rose from 30.2% to 42.9%. By contrast, the development along the M1 motorway (petrol stations, car parks, car dealerships) is a striking example of roadside development reducing green space (Figure 6). The area around Kelenföld station has undergone a major transformation. With the construction of the metro terminal, the railway station and the bus station, the "Budapest One" office building and Etele shopping mall, the area has lost much of its green space intensity.

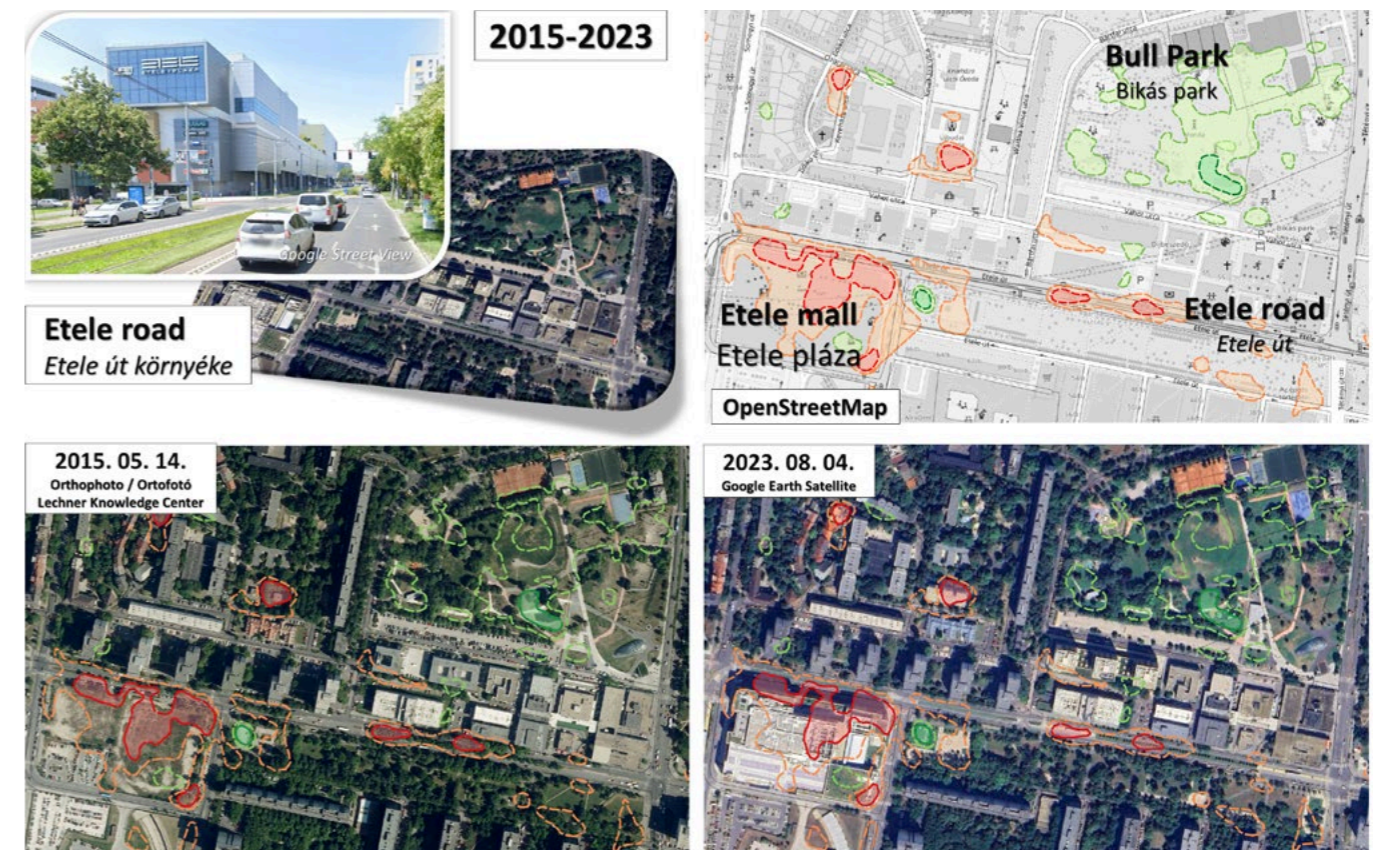
Based on our analysis in district XI, most of the changes have come from residential developments. The changes in green space in the two phases of the earliest residential development, the Sasad Liget housing estate,

illustrate the loss of green space as construction sites were developed and the increase in vegetation planted after the construction was completed. The green spaces established in the first phase (south-east) built in the years of the 2008-2009 economic crisis were further enhanced in the period 2015-2023 thanks to careful maintenance and irrigation systems. However, after the crisis years, the second phase (north-west) was delayed for several years and, with the abandonment of the area, spontaneous weed and scrub encroachment started, resulting by 2015 in an enclosed green space of moderate value (Figure 7). A decrease was observed in 2015-2023, when the second phase of the Sasad Liget apartment park was completed. Here, a public garden (Sasad Liget Park) was designed in the central part, forming the largest patch of green space growth, 0.4 ha in total, an over 40% increase in the Sasad subdivision and the whole district as well.



◀◀8. ábra/Fig. 8: Lakó- és irodaházak építése Nádorkert és Lágymányos térségében / Development of office buildings and housing estates in the Nádorkert and Lágymányos areas

9. ábra/Fig. 9: Sok változás-folt, sok zöld veszteség, kis zöldfelületi nyereséggel az Etele út környékén / Many changes, more loss and limited gain of green spaces near Elele Road



indult meg, amelynek köszönhetően egy közepesen értékes vegetáció alakult ki 2015-re (7. ábra). Ennek csökkenése figyelhető meg a 2015-2023 időszakban, amikor a Sasad Liget lakópark második üteme megvalósult. Itt a központi részen egy közkert (Sasad Liget park) is létrejött, ami a legnagyobb kiterjedésű, 0,4 hektáros, 40% feletti zöldfelület-növekedési foltot eredményezett Sasad kerület-részben és az egész kerületben.

A Duna-menti zónában a kerületen belül a zöldfelület-intenzitás 18,6%-ról 22,4%-ra növekedett 1992 és 2015 között, majd a következő 8 évben több mint 2,5%-kal lecsökkent 18,9%-ra. A Nádorkert a maga 15 hektárjával a legkisebb kerületrész, de jól illusztrálja a folyamat lényegét (8. ábra). A 1992-től 2015-ig a Nádorkert felhagyásával és cserjésedésével a zöldfelület-intenzitás közel 18,6%-áról 54%-ra emelkedett, majd a BudaPart irodaház és lakóház komplexum építésével 2020-ra lecsökkent

8,5%-ra, és az utolsó vizsgált szakaszban 2023-ra 10,3%-ra nőtt. Mondhatnánk, hogy egyedi és számai tekintve valóban extrém példa, de sok helyen alakult hasonlóan a felhagyott Duna menti gazdasági, vasúti és ipari területek sorsa. A felhagyás éveiben spontán, vélhetőleg agresszíven terjedő gyomfajokkal vegyes cserjésedés indult meg, majd egy építési hullámban az így keletkezett zöldfelületeken beépítés történt, amit zöldfelület-telepítés követett. A Lágymányos és az Infopark városrészben az alacsony 14-18%-os intenzitás értékekről 31 év alatt 18-24% értékekre növekedett a zöldfelület-intenzitás. Itt számos kisebb foltban valósult meg zöldfelület-fejlesztés és meglévő zöldtető-felület bővítése is.

Az Etele út mentén sok változás-foltot dokumentáltunk a 2015-2023 időszakban. A zöldfelület csökkent a vilamosvonal kialakításának, az Etele Pláza és egyéb lakóépületek építésének következtében (9. ábra). Míg az Etele

Within the district in the Danube zone, green space intensity increased from 18.6% to 22.4% between 1992 and 2015, before falling by more than 2.5% over the next eight years, back to 18.9%. The Nádorkert, with its 15 hectares, is the smallest part of the district, but it illustrates the essence of the process (Figure 8). From 1992 to 2015, with the abandonment and scrub growth of the Nádorkert, green area intensity increased from nearly 18.6% to 54%, then fell to 8.5% by the year 2020, thanks to the construction of the BudaPart office and residential complex, and increased to 10.3% by 2023. It could be said that this is a unique and extreme example in terms of numbers, but there are many places where the abandoned economic areas, railways and industrial sites along the Danube have had a similar history. In the years of abandonment spontaneous shrub formation is witnessed, presumably starting with aggressive weed species,

followed by construction, until finally garden and open space design reaches the area. In the Lágymányos and Infopark sub-division, the intensity of green space has increased from 14-18% to 18-24% within 31 years. Several small patches of green space have been developed here in this new area and an existing green roof has also been extended.

Many change patches have been documented along Etele Road between 2015 and 2023. Green space has been reduced due to the construction of the tram line, Etele Mall and other residential buildings. While a tree line was cut in the green lane of Etele road, the mall was built on a formerly built up area (Figure 9). The old buildings were demolished in 2010 and then the area was left abandoned and increasingly overgrown by weeds until 2018. However, the construction not only affected the young perennial weeds within the site, but also the roadside

10. ábra/Fig. 10: Változási folyamatok, tendenciák, hullámok a Madárhegy és a Spanyolrét környékén / Processes, tendencies, waves in changes of Madárhegy and Spanyolrét neighbourhood

út elválasztósávjában fasor kivágása történt, addig a pláza a 2010-ben lebontott épületek helyén, időközben felhagyott, gyomosodó építési területen épült meg 2018 után. Az építkezésnek azonban nemcsak a telken belüli pár éves gyomok, hanem a telekhatáron kívül eső útszéli fák is áldozatául estek. A bevásárlóközpont közelében jelenleg nincsenek fák, a telek 100%-ban beépítésre került. Sok esetben látható az építési munkák éveig történő elhúzódása kerületszerte, így Kelenföld kerületrészben is, aminek következménye a növényzet megjelenése az elkerített, nem bolygatott építési területeken. Ezeknek is köszönhető, hogy 1992 és 2015 között több mint két százalékot növekedett a zöldfelület-intenzitás a kerületrészben, de azóta összességében inkább stagnálást vagy némi csökkenést is megfigyeltünk. Az intenzitás szinten tartásához minden bizonnyal hozzájárult az is, hogy a Bikás parkban öntözőrendszert építettek be, aminek a hatása már 2015 után érzékelhető volt. Az öntözéssel főleg a park gyepterületének intenzitása vált stabilabbá a nyári időszakban.

A változások több évtizeden átnyúló elemzése során felmerül a kérdés, hogy miképpen érdemes a zöldfelület-intenzitás-változások irányát és mértékét összesíteni. A százalékos kimutatásokat kerületrészekre lebontott táblázatos formában vagy a jelentős változások mértékének statisztikai összesítésében vagy a változások elhelyezkedésében, kiterjedésében, számában lehet meglátni a lényegét? Az egyes változások konkrét beazonosításával, tipizálásával, a területek helyszíni bejárásával lehet leginkább megismerni és jellemezni a változási folyamatokat? Az újbudai eredmények azt mutatják, hogy midezre szükség van ahhoz, hogy körültekintő képet alkossunk a zöldfelület mennyiségi változásairól. A minőségi változásokra a terepen szerzett információk és a változások jellege, részletesebb képe alapján lehet csak következtetni.

A Madárhegy kerületrészben zajló egyértelmű lakóterület-fejlesztési folyamat mögötti zöldfelület-változás is olyan összetett, amit leginkább csak képsorozatokkal lehet érzékelteni. Az 1992-2020 időszakban a terület nagymértékű változáson ment keresztül, 81,3-ról 46,1%-ra esett vissza a zöldfelület-intenzitás. A 2020-2023 időszakban a továbbra is zajló építkezések ellenére a már

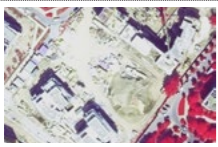

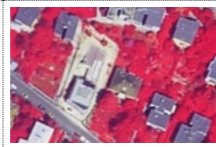
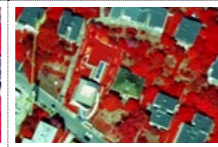

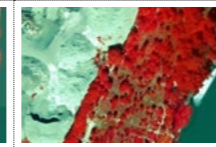



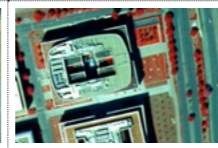
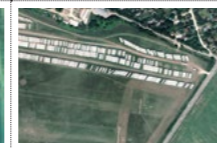

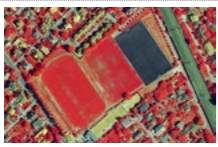
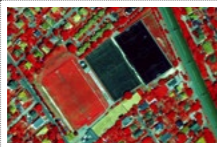




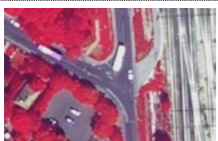



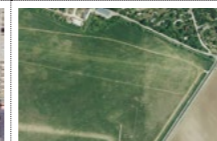
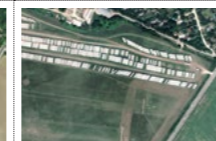
elkészült lakóingatlanok kertjének felcseperedő, gondozott és öntözött növényzete helyenként mennyiségi növekedést is tudott eredményezni (10. ábra). A növekedést 2023 csapadékos karaktere és a további nagy kiterjedést érintő spontán gyomosodó terület is erősítette. Az újépítésű lakóterületek zöldfelület-intenzitásának változásait a növényzet kiirtásától induló, újratelepítésen, növekedésen, érésen és öregedésen keresztül vezető körkörös folyamat állomásai jellemzik. A folyamatot egyrészt az építés, a fejlesztés, másrészt a gondozás és a felhagyás hullámai cizellálják. Ez az értelmezés pedig kiemeli a zöldfelületek tervezésének, kivitelezésének és kezelésének fontosságát.

VITA

A Zuglóra, Budapest XIV. kerületére készített tanulmányunkban [27] számos zöldfelület-intenzitás változás-típust feltártunk. Ezek közül sokat megtaláltunk Újbudán is. Pár esetben újabb változástípusokat is beazonosítottunk, melyeket a 2. és a 3. táblázatban figyelhetünk meg. Külön kategóriába soroltuk a COVID-19 járvány idején a reptér gypén százával parkoló kamionok hatására csökkenő zöldfelület-intenzitást, majd a járvány és az ideiglenes parkolás megszűntével újjáéledő gypet. Szokatlan a sportpálya (teniszpálya) hosszú évekre történő felhagyása, de akadt rá példa, mint ahogy útépitésre, utak bővítésére, kanyarodó sávok kialakítására, továbbá zöldtetők megszüntetésére és napelemmel történő helyettesítésére is.

Valamennyi változás-foltot egy térképre téve megállapítottuk, hogy a kerület 28,1%-án történt valamilyen változás a 31 év alatt (11./A ábra). Ebből kivonva a 0,23 km²-es szántóterületet elmondhatjuk, hogy a kerület 27,4%-án történt valamilyen zöldfelület változás a hat vizsgált időszak valamelyikén (1992-2015, 1992-2020, 1992-2023, 2015-2020, 2015-2023, 2020-2023). Budapest Főváros Településszerkezeti Tervében [28] megnevezett "jelentős változással érintett terület" több mint felén történt valamilyen irányú zöldfelület-intenzitás-változás (11/B ábra). A Rupp-hegy városrészben, amely a fővárosi várostervei zónák közül a Hegyvidékibe tartozik – a változások területa meghaladta az 54%-ot. Madárhegy, Spanyolrét és



Zöldfelület-intenzitás növekedését kiváltó jelenségek / Phenomena causing growth in Green Space Intensity		Zöldfelület-intenzitás növekedését kiváltó jelenségek / Phenomena causing growth in Green Space Intensity		Zöldfelület-intenzitás növekedését kiváltó jelenségek / Phenomena causing growth in Green Space Intensity	
Korábban / Earlier	Később / Later	Korábban / Earlier	Később / Later	Korábban / Earlier	Később / Later
1. Közkert létesítése korábbi építési területen (2019-2022) / Creation of a public garden on a former construction site (2019-2022)		2. Lakóterületi zöld telepítése telken belül (2019-2022) / Garden construction in a residential plot (2019-2022)		3. Felhagyott terület cserjésedése (2015-2023) / Scrub growths on abandoned land (2015-2023)	
					
4. Sportpálya (teniszpálya) felhagyása, cserjésedése (2013-2022) / Sports field abandonment leading to weed and scrub growth (2013-2022)		5. Parkoló helyén épület mélygarázzsal és zöldfelülettel (2015-2022) / Building with underground garage and green space on a former parking lot (2015-2022)		6. Gyep újjáéledése ideiglenes parkolóhely felszámolásával (COVID után) (2020-2023) / Lawn revitalisation by removing temporary parking (after COVID) (2020-2023)	
					
Zöldfelület-intenzitás növekedését kiváltó jelenségek / Phenomena causing growth in Green Space Intensity		Zöldfelület-intenzitás növekedését kiváltó jelenségek / Phenomena causing growth in Green Space Intensity		Zöldfelület-intenzitás növekedését kiváltó jelenségek / Phenomena causing growth in Green Space Intensity	
Korábban / Earlier	Később / Later	Korábban / Earlier	Később / Later	Korábban / Earlier	Később / Later
1. Műfüves sportpálya létesítése (2015-2022) / Construction of sports field with artificial turf (2015-2022)		2. Parkoló kialakítása (2015-2022) / Area for parking (2015-2022)		3. Útépítés (2015-2022) / Road construction (2015-2022)	
					
4. Útbővítés, útszélesítés (2019-2022) / Road extension, road widening (2019-2022)		5. Zöldtető megszüntetése (2021-2023) / Elimination of green roof (2021-2023)		6. Reptér gyepterületén ideiglenes parkoló kialakítása (COVID idején leállt kamionok) (2015-2020) / Temporary parking area on the grass of the airport (Trucks during COVID) (2015-2020)	
					

2. táblázat/Table 2: Speciális zöldfelület-intenzitás növekedés-típusok a XI. kerületben / Specific types of growth in Green Space Intensity in the 11th District

A KÉPEK FORRÁSA: ORTOFOTÓ, LECHNER TUDÁSKÖZPONT, GOOGLE EARTH MŰHOLDFELVÉTEL / IMAGE SOURCE: LECHNER KNOWLEDGE CENTRE, GOOGLE EARTH SATELLITE

3. táblázat/Table 3: Zöldfelület-intenzitás csökkenés-típusok a XI. kerületben / Types of decrease in Green Space Intensity in the 11th District

A KÉPEK FORRÁSA: ORTOFOTÓ, LECHNER TUDÁSKÖZPONT, GOOGLE EARTH MŰHOLDFELVÉTEL / IMAGE SOURCE: LECHNER KNOWLEDGE CENTRE, GOOGLE EARTH SATELLITE

trees outside the plot boundary. As such, there are currently no trees near the mall, and the plot has been 100% built in. In many cases, construction work seems to have been delayed or stopped for a couple of years throughout the district, including in the Kelenföld sub-division. This results in vegetation growth in fenced, non-used, non-disturbed construction sites. The factors above are also responsible for an increase in green space intensity of more than 2% between 1992 and 2015 in Kelenföld. Since then there has been overall stagnation or minor decline. The installation of an irrigation system in Bikás Park (Bull Park), the effect of which was already noticeable after 2015, has certainly contributed to maintaining the level of intensity in the district. The irrigation system has led to a more stable intensity, especially in the lawn area of the park, during the summer period.

An analysis of changes over several decades raises the question of how to summarise the direction and extent of changes in green space intensity. Is it reasonable to see the percentage statements in a table of subdivisions (Table 1), or in a statistical aggregation of the significant changes, or in the location, extent and number of change patches? Is the best way to understand and characterise change processes by identification and classification of individual changes, by visiting sites in the field? The results from Újbuda show that all of these are necessary to build up a comprehensive picture of quantitative green space changes. Qualitative changes can be estimated through fieldwork, and the type and details of individual processes.

The change in green space in the Madárhegy district, despite the clear residential development process, is also a complex one that can be best captured through a series of images. Over the period 1992-2020, the area underwent a major decline in green space intensity from 81.3% to 46.1%. In the period 2020-2023, despite the ongoing construction works, the emergence of mature, well-maintained and irrigated greenery in the gardens of the completed residential properties has led to a quantitative increase in some places (Figure 10). This growth was also enhanced by the rainfall character of 2023 and, in addition, by a large area

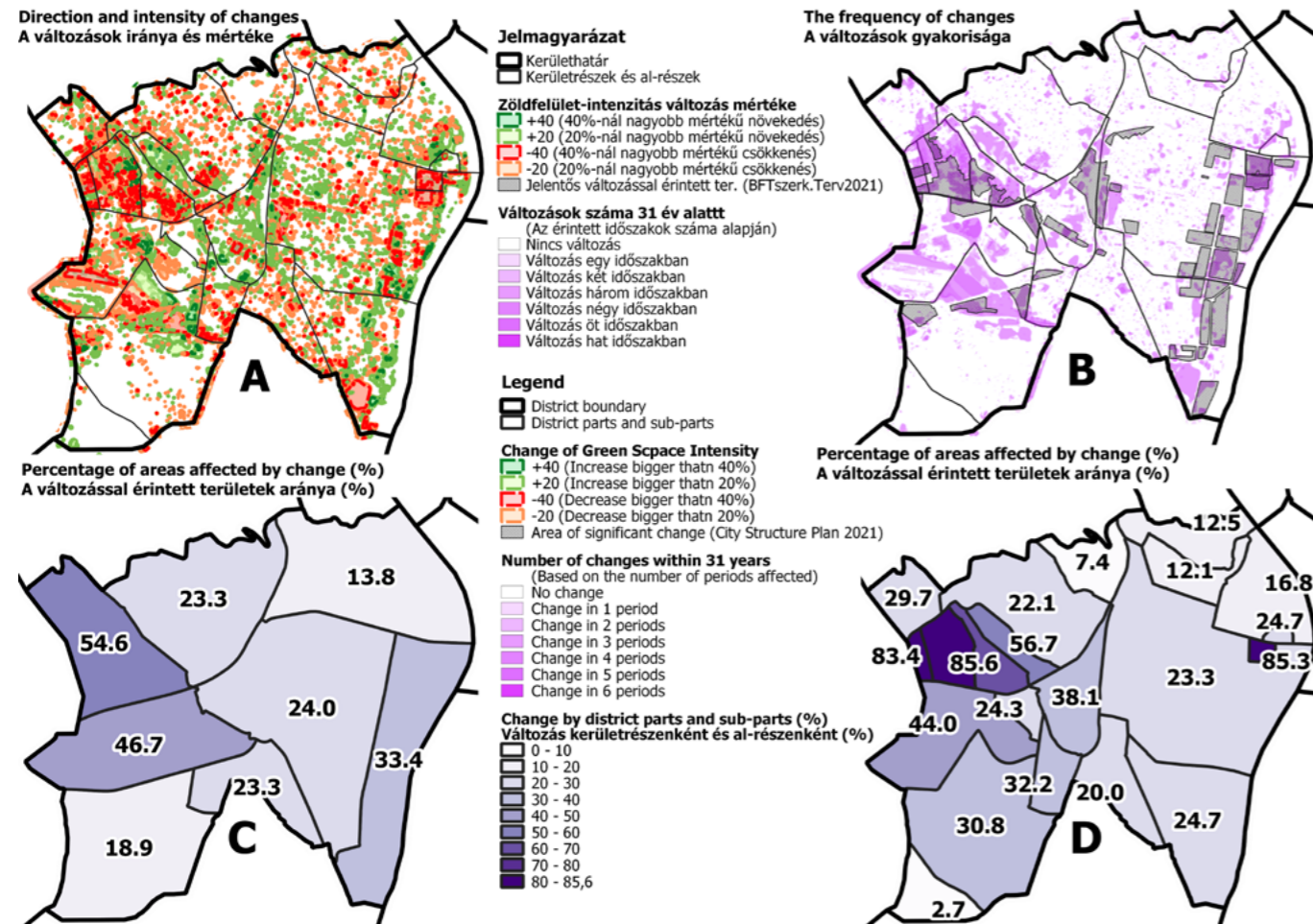
of spontaneous weed growth. The changes of GSI in newly developed residential areas are characterized by a circular process with stations of vegetation clearance, replanting, growth, maturation and ageing. The process is further shaped by waves of construction, development, maintenance and abandonment. This interpretation in turn highlights the importance of the design, construction and management of green spaces.

DISCUSSION

In our previous study in Zugló, Budapest, District XIV [27], several types of GSI changes were identified. Many of these were also found in Újbuda. In a few cases we also identified new types of change, which can be observed in Tables 2 and 3. In a separate category, we identified the reduction in green space intensity during the COVID-19 pandemic due to the hundreds of trucks parked on the airport grass, and the revival of the grass after the pandemic and the temporary parking had ended. The abandonment of the sports field (tennis court) over many years is unusual, but there has been an example of this, as well as road building, road widening, the creation of turning lanes and the removal of green roofs, to be replaced by solar panels.

Putting all the change patches on a map, it has been determined that 28.1% of the district has seen some change over the 31 years (Figure 11/A). Excluding the 0.23 km² of arable land, 27.4% of the district still experienced some change in green space intensity in one of the six periods studied (1992-2015, 1992-2020, 1992-2023, 2015-2020, 2015-2023 and 2020-2023). More than half of the area subject to significant change according to the Budapest Urban Structure Plan [28] experienced some change in green space intensity (Figure 11/B). In the Rupp-hegy district, which is part of the Hegyvidék urban planning zone of the capital, the area of change patches exceeded 54%. Madárhegy, Spanyolrét and Nádorkert sub-districts were affected by territory more than 80% within the 31-year time span (Figure 11/ C, D).

The large proportion of land where the green space value has changed indicates that the vegetation has been



Nádorkert kerületrészek több mint 80 százalékát érintette változásolt a 31 éves időtávon belül (11/C, D ábra).

A nagy területre kiterjedő változásoltok azt jelzik, hogy a növényállomány a vizsgált 31 év alatt a kerület több mint negyedén teljesen kicserélődött. Ez nem csak azt jelenti, hogy bizonyos növényegyedek helyett újakat ültettek a kertekben vagy parkokban, hanem inkább azt, hogy a növényzet legalább egy időre eltűnt, vagy jelentősen lecsökkent a vitalitása, majd megrősödött, újra telepítésre került. Mindez fokozottan rávilágít a tájépítészek szerepére a városi zöldfelületek tervezésében, kivitelezésében és fenntartásában. Kiemelt jelentősége lehet a tervezésnek a biodiverzitás megőrzésének, a terepalakításnak, a vízmegtartásnak, a fajválasztásnak és a telepített egyedek kezelésének, hiszen láthatjuk, hogy a zöldfelület legalább a kerület negyedében kicserélődött, de legalábbis jelentősen átalakult három évtized alatt.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás célja az volt, hogy a XI. kerületben úgy elemezzük a Zöldfelület-intenzitás változásait, hogy meghatározzuk:

- a változás domináns irányát,
- a változások térbeli sajátosságait,
- a változások jellegét és
- a változások jelentőségét.

A zöldfelület-intenzitás változásából levonható következtetések:

- A zöldfelület-intenzitás változása a kerület egészére mérsékelt csökkenést jelez. Helyenként azonban ez főként az építési beruházások miatt jelentős csökkenést takar, amit ritkábban kisebb zöldfelületi fejlesztések, gyakrabban felhagyott területek spontán gyomosodása, cserjésedése ellensúlyoz.

11. ábra/ Fig. 11: A vizsgált időszak 31 éve alatt bekövetkezett valamennyi jelentős zöldfelület-intenzitás-változás / All Green Space Intensity change over the entire analysed time period of 31 years

completely replaced in more than a quarter of the district over the 31 years studied. This does not mean simply that certain plant species have been replaced by new ones within gardens or parks, but that vegetation has disappeared for some period of time and may (or may not) have been replanted later. This highlights the role of landscape architects in the design, maintenance and protection of urban green spaces. Landscaping, water retention, species selection and the management and protection of planted specimens are particularly important in biodiversity conservation. Biodiversity conservation, landscaping, water retention, species selection and management of planted species can be of particular importance to the design, as we can see that the green cover in at least a quarter of the district has been replaced or at least significantly transformed over three decades.

SUMMARY

The goal of the research was to analyse the changes in Green Space Intensity based on satellite images in Újbuda, Budapest's 11th district, and the areas making up the district. Specifically, this means that the objectives were:

- to determine the dominant direction of change
- to describe the spatial characteristics of changes
- to categorise the changes in types
- to evaluate the significance of changes

Conclusions related to changes in Green Space Intensity:

- The change in green space intensity indicates a moderate decrease for the district as a whole. In some places, however, it shows a significant decrease mainly due to construction projects, which are more rarely counterbalanced by smaller green space developments and more often by spontaneous weed and scrub encroachment on abandoned areas.
- Patches of green space intensity change cover slightly more than a quarter of the district. The number of green space intensity loss patches among all change patches was higher in the years 2015-2020 than in the period 1992-2020. In the period 1992 to 2023, the

overall area of decrease patches was one and a half times larger than the area of increase patches.

- The change types show that changes are largely driven by residential and infrastructure (mainly road network) development. Irrigation and maintenance play an important role, resulting in higher coverage and vitality. Greenfield investments carry a significant risk of reducing green space intensity, as has been the case in many sub-districts. Today, even abandoned brownfield sites have spontaneous green cover, so achieving higher green space intensity through development is not easy, even in brownfield sites.
- Changes in green space intensity are of particular importance in Újbuda because they indicate a continuous and large-scale transformation of the municipal green space, which has the potential to avoid hazards, but also to aggravate them. Examples of the former could be species selection to adapt to climate change, and the latter could be the neglect of minimum green space requirements. The actual negative trends of GSI change in the district currently seem to indicate the latter course. The work of landscape and garden engineers has a key role in climate change mitigation, water retention and biodiversity conservation. ©



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

- A zöldfelület-intenzitás változás-foltok a kerület kicsivel több mint negyedére kiterjedtek. A zöldfelület-intenzitás csökkenés-foltok száma magasabb volt a 2015 és 2020 közötti években, mint az 1992-2020 közötti időszakban, ami részben a frissebb adatok nagyobb részletgazdagságát is tükrözi, részben a közelmúlt szétszóródottabb változásaira is felhívja a figyelmet. Az 1992-től 2023-ig tartó időszakban a ZFI csökkenés-foltok területe közel másfélszer nagyobb volt, mint a növekedés-foltok területe.
- A változások típusai azt mutatják, hogy a változásokat nagymértékben meghatározzák a lakóterületi fejlesztések, az infrastrukturális (főként úthálózati) fejlesztések. Komoly szerepe van az öntözésnek és a fenntartásnak, ami magasabb borítottságot és vitalitást eredményez. A zöldmezős beruházások esetében jelentős a kockázata a zöldfelület-intenzitás csökkenésének, ahogy ez számos kerületrészben beigazolódott. Ma már a felhagyott barnamezőkön is sokszor spontán megjelenő zöldfelületborítás található, tehát fejlesztéssel történő magasabb zöldfelület-intenzitás értékeket még barnamezők esetében sem egyszerű elérni.
- Újbudán a zöldfelület-intenzitás tapasztalt változásainak nagy jelentőséget kell tulajdonítanunk, mert jelzik a települési zöldfelület folyamatos és nagyarányú átalakulását, amely magában rejt a veszélyhelyzetek elkerülésének lehetőségét, de a súlyosbításának esélyét is. Előbbire példa lehet a klímaváltozáshoz alkalmazkodó fajválasztás, utóbbira a zöldfelületi minimum-előírások negligálása. A jelenlegi csökkenő tendenciát mutató ZFI változási folyamatok inkább az utóbbit látszanak jelezni. Mind az éghajlati viszonyok, mind a vízmegtartás, mind a biodiverzitás megőrzése szempontjából kulcsszerepe lehet a tájrendező- és kertépítő mérnökök munkájának. ©

- Zhang, X., Fang, Y., Zhang, G. and Cheng, S., 2024. Exploring the Long-Term Changes in Visual Attributes of Urban Green Spaces Using Point Clouds. *Land*, 13(6), p.884.
- Zhao, H., Zhu, T., Wang, S. and Lindley, S., 2022. Study on the Changes of Urban Green Space with Remote Sensing Data: a Comparison of Nanjing and Greater Manchester. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(1).
- Lu, S., Wang, Y. and Shao, L., 2023. The change of green space well-being during rapid urbanization: A case study in Jinan, China, 2006–2018. *Plos one*, 18(g), p.e0289480.
- Wang, H., Lin, C., Ou, S., Feng, Q., Guo, K., Wei, X. and Xie, J., 2024. Multilevel Change of Urban Green Space and Spatiotemporal Heterogeneity Analysis of Driving Factors. *Sustainability*, 16(11), p.4762.
- de Lima, G. N. Fonseca-Salazar, A., Campo, J. (2023): Urban growth and loss of green spaces in the metropolitan areas of São Paulo and Mexico City effects of land-cover changes on climate and water flow regulation, *Urban Ecosystems*, 26:1739–1752
- Salehi, H., Meshkini, A., Shokripur Dizaj, H. and Najafi, S., 2019. Analysis of urban sprawl and its role in the trend of green space changes Case study: City of Yazd. *Anthropogenic Pollution*, 3(1), pp.11–24.
- Marković, M., Cheema, J., Teofilović, A., Čepić, S., Popović, Z., Tomićević-Dubljević, J. and Pause, M., 2021. Monitoring of spatiotemporal change of green spaces in relation to the land surface temperature: A case study of Belgrade, Serbia. *Remote Sensing*, 13(19), p.3846.
- (X18) Nawar, N., Sorker, R., Chowdhury, F.J. and Rahman, M.M., 2022. Present status and historical changes of urban green space in Dhaka city, Bangladesh: A remote sensing driven approach. *Environmental Challenges*, 6, p.100425.
- Pan, T., He, S., Liu, Z., Jiang, L., Zhao, Q. and Hamdi, R., 2023. Analyzing Changes in Urban Green Spaces and Their Effect on Land Temperature from the Perspective of Surface Radiation Energy Balance in Rizhao City, the Central Coast of China. *Remote Sensing*, 15(19), p.4785.
- Kasim, J.A., Yusof, M.J.M. and Shafri, H.Z.M., 2019. Monitoring urban green space (UGS) changes by using high resolution aerial imagery: A case study of Kuala Lumpur, Malaysia. *Pertanika J. Sci. Technol*, 27, pp.1971–1990.
- Ramneantu, K. and Marat-Mendes, T., 2024. An exploratory study of the evolution of urban green spaces in Lisbon using diachronic analysis of orthophoto maps. *Journal of Architecture and Urbanism*, 48(1), pp.39–51.
- Studio Metropolitana (2006): Pro Verde! Budapest Zöldfelületi Rendszerének Fejlesztési Konceptiója és Programja (egyeztetett dokumentáció). (in English: Development Concept of Budapest's Green Space System) Studio Metropolitana Urbanisztikai Kutató Központ Kht. Budapest
- Studio Metropolitana (2006): A zöldfelületi rendszer állapota és változása Budapest éa Budapesti Agglomeráció területén 1990-2005, (in English: The status and changes of green space system in Budapest and in the Budapest Agglomeration) Studio Metropolitana Urbanisztikai Kutató Központ Kht. Budapest
- Ökoplan Kft (1994): Budapest Digitális Zöldfelületi Kataszter, (in English: Green Space Cadastre of Budapest) Budapest Főváros Főpolgármesteri Hivatala Környezetvédelmi Ügyosztálya, Budapest
- Kinga M. Szilágyi (1993): Település zöldfelületi rendszerének vizsgálati és értékelési módszerei (in English: Analysis and assesment methods of municipal green space system), Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Kert és Településépítészeti Tanszék, Budapest, Kandidátusi értekezés
- Péter Gábor, Sándor Jombach, Richárd Ongjerth (2006): Budapest zöldfelületi állapotfelmérése űrfelvételek feldolgozásával (in English: Green space survey of Budapest with satellite image processing), 4D Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat, Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Budapest, 4. szám, pp.15–22.
- Péter Gábor, Sándor Jombach, Richárd Ongjerth (2007): A biológiai aktivitás változása Budapesten és a Budapesti Agglomerációban 1990 és 2005 között, (in English: Green space change survey of Budapest with satellite image processing), 4D Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat, Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti Kar, Budapest, 5. szám, pp.21–28.
- Sándor Jombach (2007): Landsat image utilisation in Green Surface intensity Survey of Budapest, microCAD 2007 International Scientific Conference, Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centruma, Miskolc, pp. 105–110.
- 9/2007. (IV. 3.) ÖTM rendelet: a területek biológiai aktivitásértékének számításáról (in English: decree about the calculation of biological activity value of areas),
- Gábor Péter, Jombach Sándor (2008): Zöldfelület Intenzitás és a városi hősziget jelenségének összefüggései Budapesten, (in English: Relations of Green Space Intensity and Urban Heat Island phenomenon in Budapest), Falu Város Régió, Budapest, 2008/1. szám Váti Kht. pp. 31–36.
- Kinga M. Szilágyi, Ildikó Réka B. Nagy (2017): Urban Landscape Architecture – Green network research on recreational needs and social care, Városi Tájépítész – Zöldhálózat kutatások a rekreációs igények és a szociális ellátás tükrében, *Journal of Landscape Architecture and Garden Art – 4D Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat*. No. 46. 2017, pp. 2–31.
- Sándor Jombach (2012): Térségi vagy települési szintű zöldfelület-intenzitás távérzékelési elemzésének módszere. (in English: Regional or municipal analysis methods of Green Space Intensity with remote sensing), 4D: Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat Különszám, pp. 219–232..
- Paul J. Gibson, Clare H. Power (2000): *Introductory Remote Sensing, Digital Image Processing and Applications*, Routledge, London, 2000, pp. 117–118.
- Sándor Jombach (2011): A 2010. évi Budapesti Zöldfelületi Intenzitás (ZFI) adatbázis leírása, (in English: Description of the Green Space Intensity dataset of Budapest in 2010), BCE, Tájtervezési és Területfejlesztési Tanszék, Budapest

- Sándor Jombach (2011): Zöldfelület-intenzitás elemzése távérzékeléssel a Budapesti Agglomerációban, (in English: Analysis of Green Space Intensity with Remote Sensing in Budapest Agglomeration) Élhető Települési Táj Kutatási Program, BCE Tájtervezési és Területfejlesztési Tanszék
- Budapest Főváros Önkormányzata (2017): Budapest Zöldinfrastruktúra Konceptiója I. és II. kötetek Helyzetelemzés és értékelés, koncepció. (in English: Green Infrastructure Concept of Budapest, Volume 1. and 2. Status report and assessment, Concept) Budapest, Budapest Főváros Önkormányzata
- Jombach S., Üszöke L., Hassan Yaseen N. (2023): Changes in Green Space Intensity in Budapest's 14th district. (2023). 4D *Journal of Landscape Architecture and Garden Art*, 67, 30–43. <https://doi.org/10.36249/4d.67.4188> (in Hungarian: Zöldfelület-intenzitás változásai Budapest XIV. kerületében. (2023). 4D Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat, 67, pp. 30–43.
- TSZT (2021): Budapest Főváros Településszerkezeti Terve. III. kötet. Budapest: Budapest Főváros Önkormányzat., TSZT területfelhasználási tervlap 65-324 és 65-413 (in English: City Structure Plan, Volume III. Budapest: Budapest Municipality., TSZT land use plan)

A ZÖLD INFRASTRUKTÚRA FEJLŐDÉSE A VÁROSI METABOLIZMUS SZEMSZÖGÉBŐL

Nyugat-európai megújítási projektek összehasonlítása

EVOLUTION OF GREEN INFRASTRUCTURE FROM AN URBAN METABOLIC PERSPECTIVE

A comparative study within Western Europe

TUFFAHA, ANAS | SALLAY ÁGNES

ABSZTRAKT

A tanulmány a zöld infrastruktúra adaptív újrahasznosításának fejlődését vizsgálja városi metabolikus szemléletmódból, nyomon követve a zöld infrastruktúra transzformatív gyakorlatait a közelmúlt jelentős adaptív újrahasznosítási projektjeiben. A 20. század végétől napjainkig terjedő projektek során elemzésével a kutatás feltárja a zöld infrastruktúra elemek – mint például a bióta, az energia- és a vízáramlások – integrációjában bekövetkező változásokat. Rámutat a korai fenntartható gyakorlatoktól a körforgásos gazdasági modellek felé történő elmozdulásra, amelyek a városi metabolizmus keretrendszeréhez kötődnek, ahogyan azt a közelmúltbeli projektek, például a De Ceuvel és a Schoonschip is példázák. A projektek elemzésével a tanulmány értékeli ezeknek az elemeknek a városi metabolikus áramlásokra gyakorolt számszerűsíthető hatását, olyan indikátorok bemutatásával, mint

a biodiverzitás, az energia- és vízhatékonyság. Az eredmények kiemelik az adaptív újrahasznosítás általános fenntarthatósági céloktól a komplex városi metabolikus stratégiák felé történő felgyorsult elmozdulását, hangsúlyozva a körforgásosság, az erőforrás-hatékonyság és a közösségi részvétel szerepét a közelmúlt projektjeiben. Ez a fejlődés a városi reziliencia kifinomultabb megközelítését jelzi, bemutattva, hogy a robusztus városi metabolizmus modellek milyen mértékben növelhetik az adaptív újrahasznosítás-projektek alkalmazkodóképességét és ökológiai értékét.

Kulcsszavak: zöld infrastruktúra, városi metabolizmus, adaptív újrahasznosítás, körforgásos gazdaság, fenntartható városfejlesztés, összehasonlító elemzés ©

Figure 1: Adaptive reuse timeline and its relationship with urban metabolism (Appendix A) as a trend
SOURCE: AUTHOR

ABSTRACT

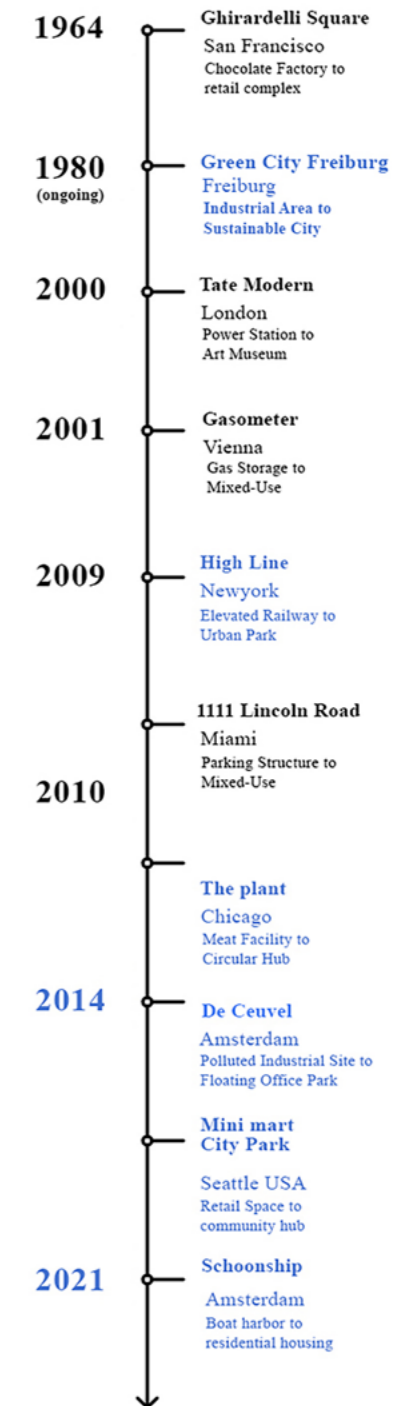
Exploring the Evolution of Green Infrastructure from an Urban Metabolic Perspective: A Comparative Study within Western Europe. With the Gasometer in Vienna and De Ceuvel in Amsterdam as case studies, this research investigates the transformative potential of green infrastructure in adaptive reuse urban projects separated by 15 to 20 years. Employing a flow analysis methodology, this study examines the utilization and impact of green infrastructure elements, such as green roofs, farming, aquaponics, and phytoremediation techniques, on urban metabolic flows. The findings reveal a significant evolution in sustainable practices, characterized by a shift towards utilizing existing resources to enhance soil quality and minimize waste generation. Through strategic integration of green infrastructure, these projects demonstrate a holistic approach to urban development, emphasizing circularity and resource efficiency. The comparative analysis underscores the importance of learning from past endeavors to inform future sustainable urban initiatives, highlighting the role of green infrastructure in fostering resilient and regenerative urban ecosystems.

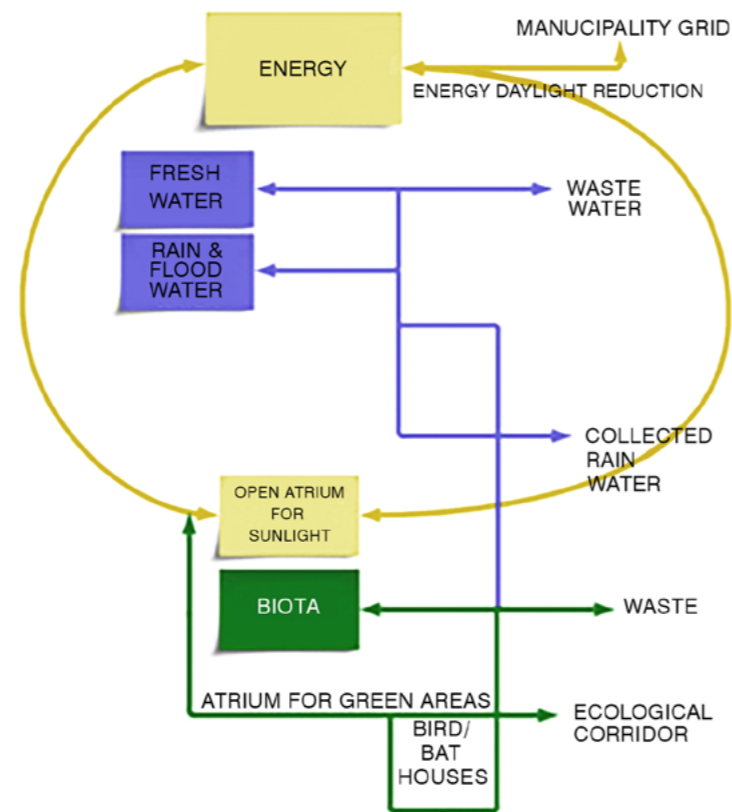
Keywords: green infrastructure, urban metabolism, adaptive reuse, circular economy, sustainable urban development, Comparative analysis.

INTRODUCTION

Urbanization has led to the emergence of cities as complex systems with dynamic processes governing their functioning. One key concept that has gained prominence in understanding these processes is that of urban metabolism. Urban metabolism refers to the [1] continuous flow of resources, energy, and waste within urban areas, encompassing various activities such as transportation, consumption, and production. Just as metabolism is vital for the sustenance of living organisms, understanding urban metabolism is crucial for comprehending the functioning and sustainability of cities.

At the heart of urban metabolism lies the intricate relationship between the built environment and natural ecosystems. Green infrastructure plays a pivotal role in this relationship, serving as a multifunctional network of natural and semi-natural areas that provides ecosystem services essential for urban well-being [2]. Green infrastructure encompasses a range of elements, including





parks, wetlands, green roofs, and urban forests, which contribute to enhancing air quality, mitigating urban heat island effects, managing stormwater, and promoting biodiversity. These green spaces not only enhance the aesthetic appeal of cities but also play a crucial role in regulating metabolic flows and fostering resilience to environmental challenges.

This study embarks on a comprehensive investigation into the evolution of green infrastructure within the context of urban metabolic dynamics, with a specific focus on adaptive reuse projects in Western Europe. By juxtaposing the Gasometer in Vienna and De Ceuvel in Amsterdam as case studies, separated by a significant temporal gap, the main hypothesis being that a Comparative analysis the projects reveals an evolution in green infrastructure strategies, characterized by a shift towards greater integration of existing resources, circularity, and resilience in urban development practices that can be seen in the green infrastructure and its development. By keeping in mind, the similar region (west Europe), similar intent (following urban metabolic concepts) and finally compatible functions (residential and some office areas).

2. LITERATURE REVIEW

The intersection between urban metabolism and green infrastructure offers valuable insights into the functioning and sustainability of cities.

Urban metabolism, as expounded by Kennedy et al. (2007), encompasses the dynamic flow of resources,

energy, and waste within urban environments [1]. This evolving concept underscores the necessity of comprehensively understanding urban systems to address contemporary challenges. Green infrastructure, as defined by Benedict and McMahon (2006), constitutes a network of natural and semi-natural spaces crucial for supporting urban well-being and ecosystem services [2]. This includes parks, green roofs, urban forests, and wetlands, essential for managing stormwater, improving air quality, and fostering biodiversity.

The synergy between urban metabolism and green infrastructure is evident in studies such as those by Andersson and Barthel (2016), which underscore the role of green spaces in enhancing sustainable urban metabolism and resilience [3] where green infrastructure acts as a buffer against urban pressures, regulating metabolic flows and mitigating environmental impacts. In their intersecting uses, both urban metabolism and green infrastructure have common interests which could be analyzed and reached out through different urban development concepts.

3. METHODS OF STUDY AND ANALYSIS IN LITERATURE

One key theoretical framework used in studying urban metabolism is the Industrial Ecology approach. This approach treats cities as ecosystems and applies principles of ecology to understand the flow of materials and energy within urban systems [4]. By viewing cities as

◀◀ **Figure 2:** The Geometer's overall design and distribution from an interior point of view

SOURCE: WIKIMEDIA COMMONS. GASOMETER INTERIOR. LICENSE: CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION-SHAREALIKE 3.0

◀◀ **Figure 3:** Gasometer's system and flows network

SOURCE: AUTHOR

Figure 4: Showcasing the original concept of moving unused boats as residences and workshops by space and matter

SOURCE: SUPERBASS. (2019). DE CEUVEL [PHOTOGRAPH]. CC BY-SA 4.0. RETRIEVED FROM [HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:2019-06-09-DE_CEUVEL-5737.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2019-06-09-DE_CEUVEL-5737.JPG)

Figure 5: Close up image of De Ceuvel

SOURCE: SPACE & MATTER, SUPERBASS. (2019). DE CEUVEL [PHOTOGRAPH]. CC-BY-SA-4.0. RETRIEVED FROM [HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:2019-06-09-DE_CEUVEL-1.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2019-06-09-DE_CEUVEL-1.JPG)



metabolic systems, researchers can analyze the inputs, outputs, and transformations of resources, facilitating a holistic understanding of urban dynamics.

Systems theory is another valuable concept utilized in studying urban metabolism. Systems theory emphasizes the interconnectedness and feedback loops within complex systems, such as cities [5]. Applying systems thinking to urban metabolism allows researchers to explore the relationships between different components of the urban system and their influence on metabolic processes.

In the realm of green infrastructure, the ecosystem services framework provides a comprehensive approach to understanding the benefits provided by natural and semi-natural spaces [6]. This framework categorizes ecosystem services into provisioning, regulating, supporting, and cultural services, highlighting the multifunctional role of green infrastructure in urban environments.

Methodologies for studying urban metabolism and green infrastructure range from quantitative analysis of material and energy flows to qualitative assessments of ecosystem services and social values. Material flow analysis (MFA) and energy flow analysis (EFA) are commonly used quantitative methods for assessing the metabolism of cities [1]. These methods involve tracking the flow of resources and energy through urban systems to quantify inputs, outputs, and stocks. Qualitative methods, such as participatory mapping and social surveys, are employed to assess the socio-cultural dimensions of green infrastructure [7]. These methods involve engaging with local

communities to understand their perceptions, preferences, and use of green spaces, providing valuable insights for planning. Integrating these theories and methodologies enhances the sophistication of research on urban metabolism and green infrastructure by combining interdisciplinary approaches to develop an understanding of the complex interactions shaping urban sustainability [8].

4. CHOSEN METHOD

In comparing the De Ceuvel and Gasometer projects, a comprehensive methodological approach will be employed to gather and analyze data from various sources, including architectural records, publications, studies, and user feedback. This data will be meticulously organized and synthesized using a flow analysis method to assess the efficiency and effectiveness of green infrastructure interventions within each project. By quantifying the inputs, outputs, and transformations of resources, focusing on the generation and mitigation of waste, this approach aims to illuminate the dynamic interplay between urban development and environmental sustainability, this informs us of the life cycle of each project in one graph, which helps understand how green infrastructure stands out, and how much waste is generated or mitigated.

This methodological framework aligns with the principles of Industrial Ecology, which views cities as interconnected ecosystems and emphasizes the analysis of material and energy flows within urban systems. By adopting

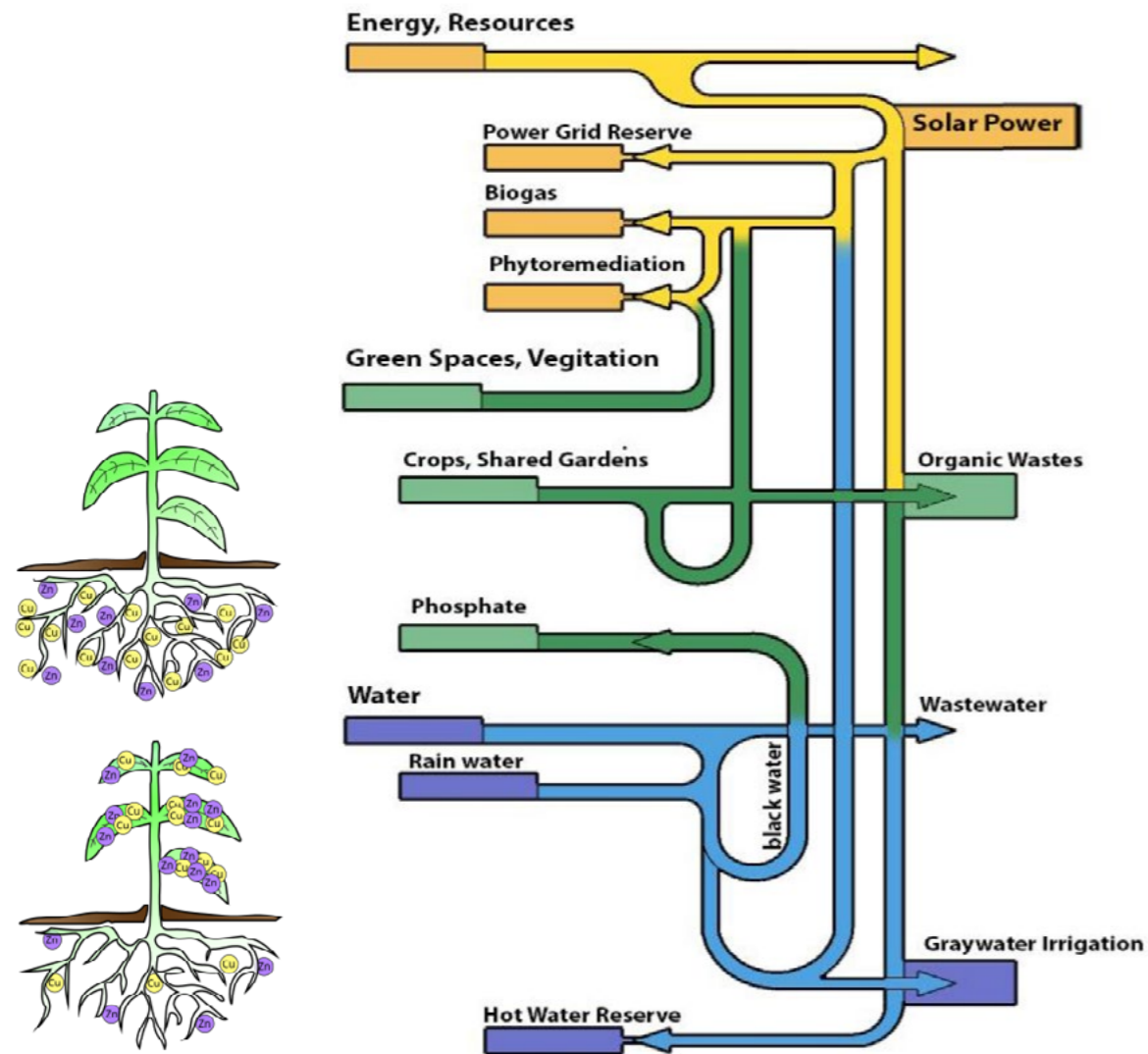


Figure 6: Showcasing the phytoremediation technique used in the project, with plants like Typha Latifolia, Salix Nigra & Agrostis Capillaries
SOURCE: RONA.FAWZY19. (N.D.). PHYTOEXTRACTION DIAGRAM [DIAGRAM]. CC BY-SA 4.0, [HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:PHYTOEXTRACTION_DIAGRAM.SVG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phytoextraction_Diagram.svg)

Figure 7: De Ceuvel's system and flows network
SOURCE: AUTHOR

a material flow analysis (MFA) perspective, the study will track the flow of resources through the De Ceuvel and Gasometer, providing insights into their metabolic processes and environmental impact. Through this lens, the study seeks to elucidate how GI contributes to the optimization of resource utilization and waste management practices, thereby advancing our understanding of sustainable urban development strategies.

4. ANALYSIS:

Project 1: De Ceuvel Introduction

De Ceuvel, situated in Amsterdam, emerged from a polluted plot transformed into an urban oasis through community-driven development. Spearheaded by a diverse group of architects, sustainability experts, and community members in 2012 hosting around 50 residents, De Ceuvel's

regenerative concept aimed to repurpose the former shipyard into an Eco hub for creative and social enterprises. The project's innovative approach prioritized mobility, reuse, and the transformation of wasteland and waste materials into valuable resources. Uniquely designed houseboats, retrofitted and placed on land without foundations, form the centerpiece of the site, surrounded by a landscape of soil-cleaning plants and connected via a wooden walkway [9].

Optimization of Urban Metabolism

A. Synergistic Community engagement: At the heart of the project lies the profound strength of community engagement, fostering a sense of inclusivity and empowerment among its residents. Through initiatives such as real-time data monitoring of energy consumption, individuals are equipped with the tools needed to make informed

decisions about their energy usage. Moreover, communal facilities such as shared kitchens and gardens, to cultivate their own crops, process food, and collectively manage laundry facilities.

b. Technology based Optimization: The project leverages technology to optimize resource management, empowering residents to make informed decisions aligned with waste reduction. In the beginning, Flow analysis cards offer insights into resource utilization to understand what each element like wind turbines or greenhouses could add to incomes/outcomes, while then a technology selection tool suggests efficient up to date information about each element [10]. A sharing system facilitates energy exchange, reducing reliance on external sources. Finally, the financial estimation tool projects costs and savings, aiding environmentally conscious decisions.

C. Adaptive Reuse of industrial area: with adaptive reuse in an industrial context, revitalizing previously polluted land and promoting ecological health. Through creative landscaping, the project enhances air quality and biodiversity, fostering a thriving urban ecosystem. Key to its identity are repurposed houseboats, embodying sustainability and waste reduction principles. By salvaging and refurbishing materials, reducing costs, transportation emissions, and waste [11].

Integration between Green infrastructure and Urban metabolism:

1. Utilizing Green Infrastructure for Remediation: Employing soil-cleaning plants and phytoremediation techniques to purify polluted soil and enhance ecosystem health, this also includes air purification, stormwater management, and habitat creation, enhancing the overall environmental quality and resilience of the site while creating a barrier from the decontaminated industrial site's soil [12]. (Purifying polluted soil using phytoremediation techniques, stabilizing, breaking down, and absorbing pollutants while producing low-impact biomass.)

2. Maximizing Resource Efficiency: Implementing compost toilets, biofilters, and renewable energy technologies to conserve resources, reduce waste, and mitigate

environmental impact like using the black water to harness phosphate using filtering and a collector to be used later for the different landscape elements. Looping the existing elements in a less wasteful approach [11].

3. Circular Economy concepts: The project is Prioritizing mobility, reuse, and waste reduction, with a focus on repurposing materials and transforming wasteland into valuable resources. In a way turning the surrounding port to marches with existing sediment, turning the existing soil into a thriving landscape, and using existing resources from arriving imports like food rafts into future elements in the landscape [10].

4. Water Management as a Green infrastructure Method: Rainwater harvesting systems collect and store rainwater for irrigation and non-potable uses, reducing reliance on freshwater sources and mitigating stormwater runoff. [12] The Use of Green infrastructure is also done in a smart way to minimize any flooding and erosion while enhancing biodiversity and urban aesthetics using stormwater management techniques.

5. Project Flow Analysis: When looking into the relation between blue/green infrastructure and the metabolic flow of the space to understand the development of the urban space [13], the storyline is cut into energy as a source that can be stored for future use or for a shared PowerGrid, while green spaces themselves like crops are used to induce biogas which can be sent to restaurants and others for future use. Meanwhile water plays an important role, with rainwater being collected and used in basins and flushing toilets while then filtered for irrigation or black water sent for refineries to investigate production of phosphate mineral or resent to the solar power reserves which will heat them automatically, Finally the green spaces are used as a phytoremediation method to remediate contaminated soil.

Project 2: Gasometer Introduction

Gasometer City in Vienna stands as a testament to transformative urban renewal and sustainable development. Originally built as gas storage facilities in the late

19th century, the Gasometers faced abandonment before undergoing a remarkable revitalization effort in the 20th century. Through adaptive reuse, it emerged as a vibrant mixed-use development, blending heritage preservation with contemporary functionality [14]. This innovative project has not only revitalized historic structures but also reduced environmental impact within the urban landscape.

Optimization of Urban Metabolism

Water Management: The adaptation involved innovative water management strategies such as rainwater harvesting and sustainable drainage systems (SuDS) [8]. These systems help mitigate urban flooding, enhance groundwater recharge, and overall water efficiency.

Energy and Waste: The redevelopment emphasizes energy efficiency through the integration of renewable energy sources, energy-efficient building designs, and waste-to-energy technologies. With the adaptive reuse of the existing industrial space to save building and construction materials and opening the atrium for daylight and reducing the need for electricity daily.

Integration between Green infrastructure and Urban metabolism:

1. Biodiversity and Biota emphasis: Gasometer City incorporates green roofs, vertical gardens, and landscaped courtyards, providing habitats for various plant and animal species in a linear open space that can resemble an ecological corridor. (In-between Nature: Berlin's human and natural constructed spaces, Elena Ferrari) like bird and bat houses. This enhances biodiversity, promotes ecological connectivity, and fosters a healthier urban eco-system.

2. Community Gardens: To promote sustainable food production and community engagement, including community gardens and urban farming initiatives within its green spaces. These empower residents to cultivate their own produce, foster a sense of ownership and stewardship.

3. Green Roofs: The rooftops feature greenery installations, transforming previously underutilized spaces into ecosystems. Green roofs not only provide insulation and reduce energy consumption but also support biodiversity, mitigate urban heat island effects, and enhance stormwater management by absorbing rainwater. [14] With each roof being slightly more unique, gasometer C for example

has an inner courtyard, planned with top lighting and gaps allowing green areas to be surrounded by green roofs and residential areas with green terraces.

4. Landscaped Courtyards: Within the units, courtyards provide residents with tranquil retreats and communal gathering spaces amidst the urban environment, this can be evidently seen in all gasometers A, B, C and especially in D, The new structure achieves natural lighting through the organization of units on the upper floors, the central focus of three intersecting axes, and the creation of inner courtyards that face the outer shell, maximizing surface area. Additionally, the courtyard is considered as green space, serving recreational purposes and aiming to visually convey the outer shell (16). The creation of green areas signifies an attempt to implement a "Green House".

5. Project Flow Analysis: in the beginning, the Energy used within the project is connected with the municipality grid, as outcomes are reduced with the open atrium to save electricity, while there are rainwater collection systems in addition to a green roof absorbing water, later, which is used for green area irrigation, the space has an open corridor for the existing ecosystem along with small local spaces for local species.

Apartments are either supplied by a large courtyard on the sides, or central large gardens with communal gardens and small green terraces.

5. RESULTS AND IMPLICATIONS

1. De Ceuvel prioritizes community-driven development, actively involving residents and stakeholders in decision-making processes, fostering a strong sense of ownership and stewardship. Gasometer City, while featuring communal spaces, places less emphasis on direct community engagement during planning and execution, with that the ability for down to top involvement in design allowed the community to also later feel more responsible towards their environment, allowing continues efforts in different initiatives. This aligns with the responsibilities of users to develop their green infrastructure, Moreover, engagement with nature can also inspire a sense of stewardship and responsibility towards environmental conservation and sustainability. People who feel connected to a natural resource like the river Thames are more likely to advocate for its protection and preservation, leading to positive outcomes for both the environment and the community [17].

2. With both projects similar reuse of an industrial site, De Ceuvel implements green infrastructure solutions,

including phytoremediation techniques, to remediate polluted industrial areas and enhance environmental quality. Gasometer City, although repurposing industrial structures, may prioritize transforming these spaces into mixed-use developments over implementing specific green infrastructure solutions for industrial remediation, while creating a small green corridor, the implementation of green infrastructure as a mediator for existing industrial sites showcases the ability of integration and synergistic planning using GI.

3. The newer technology allows a more active flow analysis and sensor technologies, as a solution for urban metabolism like advanced waste management systems, optimizing resource usage found actively in De Ceuvel. Gasometer City integrates technology to a lesser extent, with a focus more on adaptive reuse and repurposing existing structures.

Considering De Ceuvel's newer technology, smaller scale, and more modern approach 20 years later, it appears to have a more advantageous position concerning green infrastructure. Its emphasis on community engagement, advanced technology integration, and innovative use of existing sites and shared technologies contribute to a more comprehensive and efficient utilization of green infrastructure. This aligns well with the evolving trends and development of adaptive reuse structures, which tend to have a better circularity rate, and resilience in urban development practices within the context of urban metabolic dynamic. ©



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

- 1** Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59.
- 2** Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century. *Renewable Resources Journal*, 24(4), 12-17.
- 3** Andersson, E., & Barthel, S. (2016). Assessing the potential of urban green infrastructure to support urban metabolism in Stockholm, Sweden. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(12), 2205-2223.
- 4** Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (2010). Industrial Ecology and Sustainable Engineering. *Industrial Ecology and Sustainable Engineering*, 1(1), 1-17.
- 5** Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing.
- 6** Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.
- 7** Barthel, S., & Isendahl, C. (2013). Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities. *Ecological Economics*, 86, 224-234.
- 8** Bai, X., Wu, J., & Yan, H. (2010). Urban metabolism and sustainability in the context of China: A review. *Journal of Industrial Ecology*, 14(5), 691-714.
- 9** Barba Lata, I., & Duineveld, M. (2019). A harbor on land: De Ceuvel's topologies of creative reuse. *Environment and Planning An Economy and Space*, 51(20).
- 10** Metabolic Lab (2013): CLEANTECH PLAYGROUND [online]. Amsterdam North: Metabolic Lab. Available at <https://www.metabolic.nl/publications/cleantech-playground>
- 11** Pistoni, R., & Bonin, S. (2017). Urban metabolism planning and designing approaches between quantitative analysis and urban landscape. *City Territory and Architecture*, 4(1).
- 12** Space and Matter. (n.d.). De Ceuvel: A playground for innovation [online]. Retrieved from <https://www.spaceandmatter.nl/work/de-ceuvel>.
- 13** Blue Green Solutions. (2017). Blue Green Solutions: A Systems Approach to Sustainable, Resilient and Cost-Efficient Urban Development.
- 14** Plicanic, M. (September 2012). A Society of Spectacle and Architecture: Gasometer City Vienna. In "Architecture & Ideology" Conference Proceedings. Faculty of Educational Sciences.
- 15** Špirić, A., et al. (2012). Spatial criteria in urban renewal of industrial brownfield sites. DOI 10.14256/JCE.1011.2014
- 16** Dejaco, M. C. (2015/2016). Adaptive reuse of the industrial heritage: Best practices definition by case studies analysis. [Department of Architecture, Urban Planning, and Building Engineering, master's degree Program in Management of Built Environment].
- 17** Heynen, N. C., Kaika, M., & Swyngedouw, E. (Eds.). (2006). In the Nature of Cities: Urban Political Ecology and The Politics of Urban Metabolism. Taylor & Francis. ISBN: 0415368286.

A TELEPÍTÉSI SŰRŰSÉG ÉS A LOMBKORONA-BORÍTOTTSÁG VIZSGÁLATA BUDAPESTI SZABADTEREKEN

Esettanulmányok 2. rész – Szent Gellért tér

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

Case Studies Part 2 – St Gellért Square

TÓTH BARNABÁS | DOMA-TARCSÁNYI JUDIT | TAKÁCSNÉ ZAJACZ VERA |
GERGELY ANTAL | SZABÓ KRISZTINA

ABSZTRAKT

A városi zöldfelületek rendszerében kulcsszerepet töltenek be a közterületen álló fák, amelyeknek egyre nagyobb kihívásokkal kell szembenéznük az urbanizáció, a klímaváltozás és az emberi beavatkozások hatásai miatt. A zöldterületek jelentősen javítják a mikroklimát, támogatják a biológiai sokféleség megőrzését, és esztétikai értékük is jelentős, ezért védelmük és fejlesztésük kiemelten fontos. Kutatásunk a budapesti szabadterek lombkorona-fedettségét értékeli a telepítési sűrűség függvényében, különös figyelemmel a terek és utcák fás szárú növényeinek telepítési távolságára és az ebből adódó borítottsági értékek összehasonlítására. Vizsgálataink során figyelembe vettük a telepítéskori, jelenkori és a teljesen kifejlett lombkorona arányának mennyiségi és minőségi változásait, hogy az egyes fafajok igényeit és sajátosságait (koronaforma, növekedési erély) figyelembe véve ideális telepítési ajánlásokat fogalmazhassunk meg. Második esettanulmányunk során a Szent Gellért tér faállományát vizsgáltuk. Az értékelés során megállapítottuk, hogy a lineáris facsoportok egyedei – taxontól függetlenül – habitusuk, lombkoronaformájuk és telepítési sűrűségük alapján közel ideális feltételek mellett fejlődnek, és várhatóan

a jövőben is jól fejlődhetnek. Ezzel szemben a zöldkaszettákban álló fák közül elsősorban a facsoport külső egyedei bizonyulnak hosszú távon is értékesnek az ökoszisztéma-szolgáltatások szempontjából. A jelenlegi nyílt lombfelületek aránya 97%, amely a vizsgált szabadterek között a legjobb értékek közé tartozik, azonban a fák kifejlett korában a zöldkaszettában ez az arány 52%-ra, míg a lineárisan ültetett facsoportok esetében 71%-ra esik vissza, ezért kijelenthető, hogy a zöldkaszettákban álló taxonok a rossz telepítési sűrűség következtében jelentősen akadályozni fogják egymás fejlődését, és kedvező hatásait sem képesek teljes mértékben kifejteni majd a jövőben.

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

Table 1: 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 / St. 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

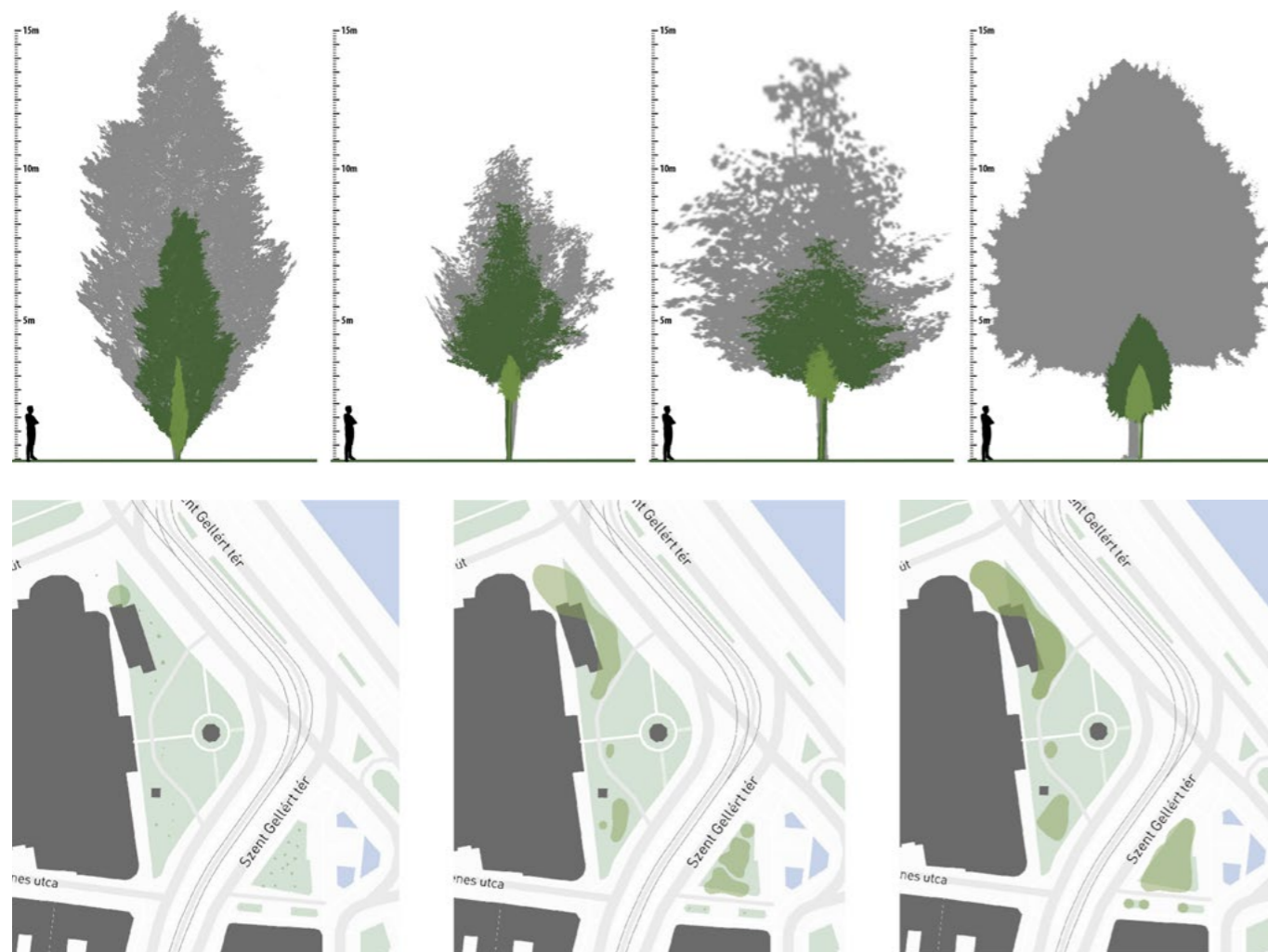
Trees in public places have a key role in the urban green space system and are facing increasing challenges due to urbanisation, climate change and human interventions. Green spaces significantly improve the microclimate, support biodiversity conservation and have significant aesthetic value, which makes their protection and enhancement a priority. Our study assesses the canopy cover of open spaces in Budapest as a function of planting density, with a special focus on the planting distance of woody plants in open spaces and streets, to compare the resulting cover values. Our studies have taken into account quantitative and qualitative variations in the proportion of canopy at the time of planting, at the present time and at full maturity, in order to formulate ideal planting recommendations taking into account the needs and characteristics (crown shape, growth vigour) of each tree species. Our second case study focused on the tree population of St Gellért Square. The assessment showed that the specimens of linear tree groups, regardless of taxon, are growing under near ideal conditions in terms of habit, canopy shape and planting density, and are expected to continue to grow well in the future. In contrast, the trees

in green cassettes are mainly the outer ones of the tree group, which are of long-term value for ecosystem services. The current open canopy cover of 97% is among the highest of the open spaces studied, but this falls to 52% in the green cassette and 71% in the linear planted tree groups when the trees reach maturity, suggesting that the green cassette species will significantly impede each other's development due to poor planting density and will not be able to fully develop their beneficial effects in the future.

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

1. INTRODUCTION

The role of urban trees has been increasing in the context of urbanisation and climate change, as they contribute to heat island effect reduction, microclimate regulation and air filtration, while their root systems improve soil structure, reduce erosion [1-3] and increase social interaction [4-7], while they have recreational and cultural [7-9] value. At the same time, trees in urban environments have difficulty in adapting to increased human activity and the



◀◀ Fig. 1: Habits of the dominant taxa of St. Gellért Square at planting, present day and maturity: 1) *Quercus robur* 'Fastigiata', 2) *Malus tchonoskii* 'Belmonte', 3) *Corylus colurna*, 4) *Tilia platyphyllos*

◀◀ Fig. 2: Canopy cover changes in St. Gellért Square at the time of renovation (1%), currently (17%) and when the trees reached maturity (23%)

Table 2: Assessment of the woody taxa of St. Gellért Square according to their growth vigour

Taxonok / Taxa	Telepítés éve / Year of planting	Lombkorona átmérő* 2023-ban (m) / Crown diameter* in 2023 (m)	Schmidt-féle koronaforma/ Crown shape according to Schmidt [24]	Schmidt-féle növekedési erély / Growth potential according to Schmidt [24]	Átlagos növekedési tényező / Average growth factor	Növekedési erély a Szent Gellért téren / Growth vigour on the St. Gellért Square
<i>Acer negundo</i>	1980	14,8	Tojás / Oval	Gyors / Fast	0,4	Átlagos / Average
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> cv.	2003	3,2	Kúp / Conical	Átlagos / Average	0,3	Átlagos / Average
<i>Corylus colurna</i>	2003	9,4	Tojás / Oval	Átlagos / Average	0,3	Átlagos / Average
<i>Fraxinus ornus</i>	2003	7,3	Tojás / Oval	Lassú / Slow	0,4	Átlagos / Average
<i>Malus tchonoskii</i> 'Belmonte'	2003	5,3	Tojás / Oval	Átlagos / Average	0,3	Átlagos / Average
<i>Prunus × eminens</i> 'Umbraculifera'	2023	1,2	Gömb / Round	Átlagos / Average	0,2	Lassú / Slow
<i>Quercus robur</i> 'Fastigiata'	2003	4,8	Oszlop / Columnar	Átlagos / Average	0,3	Átlagos / Average
<i>Tilia platyphyllos</i>	2003	5	Tojás / Oval	Átlagos / Average	0,2	Lassú / Slow

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

consequences of global climate change [10]. The quality and quantity of green spaces are degraded by urban development, including the growth of covered surfaces and vehicular traffic [2,3,11]. In addition, the life span of urban trees is significantly shorter than in natural environments, making the preservation and enhancement of green spaces a priority for the future [12-16].

The ecosystem services provided by urban trees can be divided into four main categories: provisioning, regulating, supporting and cultural services [17]. International studies have investigated different aspects of ecosystem services, including the energy-saving potential of urban trees and the use of allometric equations to estimate canopy size [18-22].

Our research aims to explore the problems of urban tree planting and to determine the ideal planting distances for different taxa in order to maximise the climatic, ecological and aesthetic 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).

We assessed the woody taxa in the open spaces at three different times: when the square was renovated, in its current state, and when the taxa had reached their adult size.

For the 2011 data on "growth vigour" [24] by Gábor Schmidt, several values were identified that needed further clarification, so a growth factor was calculated from the variable tree dimensions (crown diameter/canopy volume) and age, and the taxa were redefined according to their growth vigour. To define mature canopy cover, we introduced a "growth Factor" based on the taxa's development to date, which can be slow (0-0.2), average (0.3-0.5) and fast (0.6>) [23,25].

$$\text{Growth factor} = \frac{\left(\frac{\text{current size of the canopy}}{\text{canopy size at planting}} \right)}{\text{age of the tree}}$$

Based on the calculations, we have identified free (green in the figures), partially overlapping (yellow) and significantly overlapping (red) crown categories for the individuals studied. In terms of overlapping, an important difference was that we recorded the overlapping of the crowns

of two different specimens as partially overlapping (yellow), while more than two specimens were defined as significantly overlapping (red). The asymmetry and crown distortions caused by buildings were also represented with red. All these indicate which individuals have a less than ideal distance from the planting site or buildings which leads to an underdeveloped character and limited growth over time [23].

The second site of our research is St. Gellért Square, which, like Móricz Zsigmond Square, is located in the 11th district of Budapest. The square has been landscaped since 1952 and was last renovated in 2003. From an urban and environmental point of view, it is a very varied square, as the Danube and the Gellért Hill determine the microclimatic conditions to a large extent, while the metro line 4 and the surface tram and bus transport put a heavy strain on the green spaces [26,27].

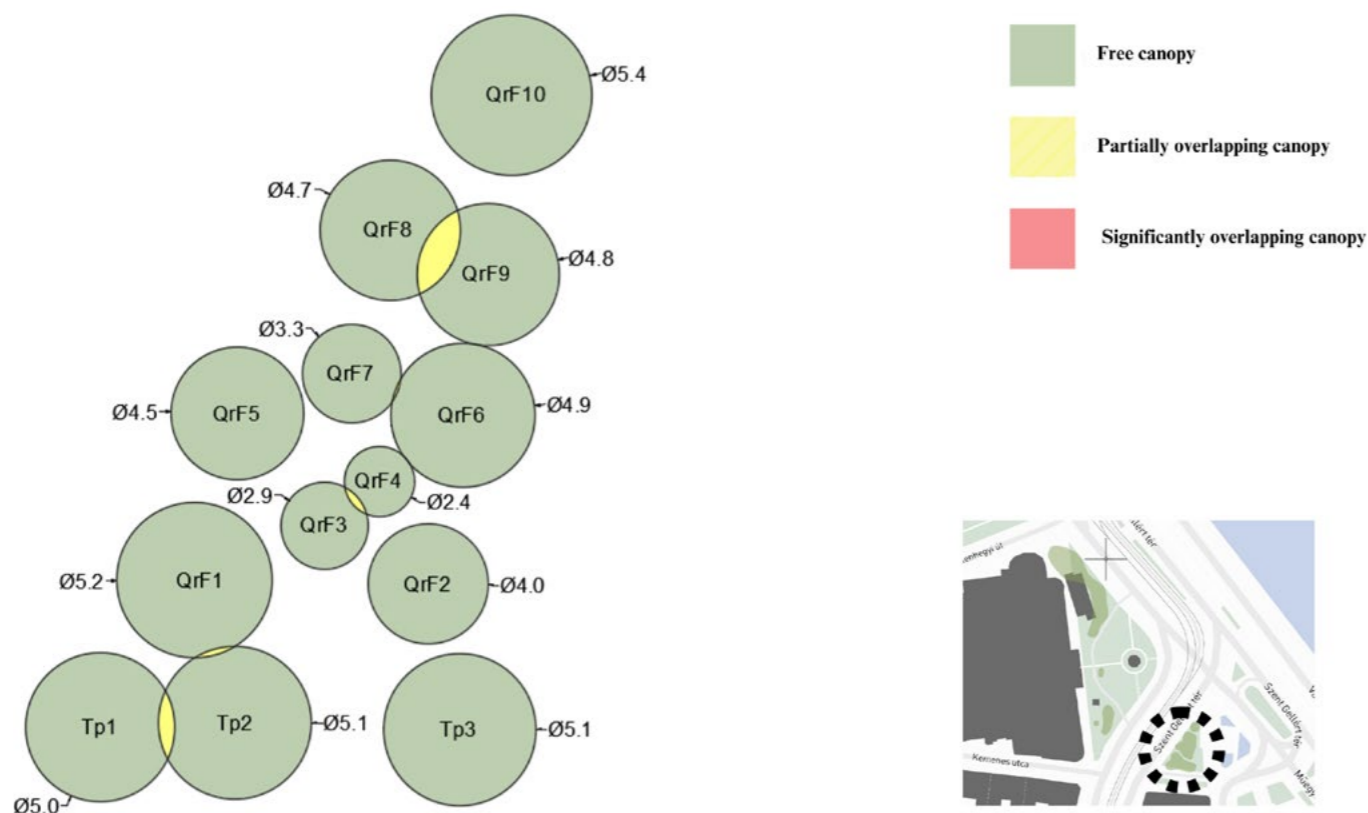
3. RESULTS

A total of 28 woody specimens belonging to 8 different taxa were found in St. Gellért Square. Pyramid oaks (*Quercus robur* 'Fastigiata') are dominant, with 10 specimens. The habit of the trees identifies three types of

crowns: columnar, globular and flattened conical (Fig. 1). All 28 trees are located in green areas. The exact date of the planting of the old green maple (*Acer negundo*) is unknown, but it is assumed that it was planted in the 1980s at the north-east corner of the Gellért Hotel. In 2024, two American tulip trees (*Liriodendron tulipifera*) were planted in the green box next to the metro station, but they died due to the dry summer. The trees in the green cassette next to the metro are 3 to 5 metres apart, while the trees in the arched planting in front of the Gellért Hotel are 5 to 6 metres apart. Their distance from the buildings is 7-8 metres, which does not hinder their growth [23].

3.1. Canopy cover assessment

In order to define the canopy cover in the future, the growth vigour of taxa was investigated. The revised growth factor showed that most taxa in St. Gellért Square grow more slowly than the values of Schmidt. The large-leaved linden (*Tilia platyphyllos*) and the dwarf sour cherry (*Prunus × eminens* 'Umbraculifera'), considered to be of 'average' growth, show 'slow' growth in this environment, while the green maple (*Acer negundo*), classified as 'fast',



and the flowering ash (*Fraxinus ornus*), considered to be 'slow', both show 'average' growth rates. The growth rates of Tschonoskii apple (*Malus tchonoskii* 'Belmonte'), Turkish hazel (*Corylus colurna*), pyramid oak (*Quercus robur* 'Fastigiata') and Oregon false cypress (*Chamaecyparis lawsoniana* cv.) are in line with those of Schmidt (Table 2).

Since the renovation in 2003, the pyramidal oaks (*Quercus robur* 'Fastigiata') in green cassettes have become the dominant feature on the eastern side of the square. However, we observed significant differences in size between the specimens: the canopies of the trees at the edge of the group is much more developed than those of their counterparts in the interior, which have less space and are in a shadier environment. Differences in height of up to 2–2.5 m were observed, while differences in crown width of up to 3 m were noted. The growth and vigour of linden trees in green cassettes is significantly below that of the other species. Their crowns are dry and their vigour is below that of an average 20-year-old large-leaved linden. In contrast, no significant differences were observed in the specimens of Tschonoskii apples (*Malus tchonoskii* 'Belmonte') and Turkish hazel (*Corylus colurna*) in front of the hotel.

When canopy cover was examined, it was found that the Turkish hazel, which currently provides high shade, would be the taxon with the largest canopy cover. The current canopy cover of the 5300 m² square is 903 m², while it is assumed that the canopy cover will be more than 1200 m² when the trees are mature, resulting in an overall canopy cover of 23% (Figure 2) [23].

3.2. DETAILED ANALYSIS OF TREE GROUPS

In the detailed analysis, three groups of trees with different compositional roles and different taxa were examined.

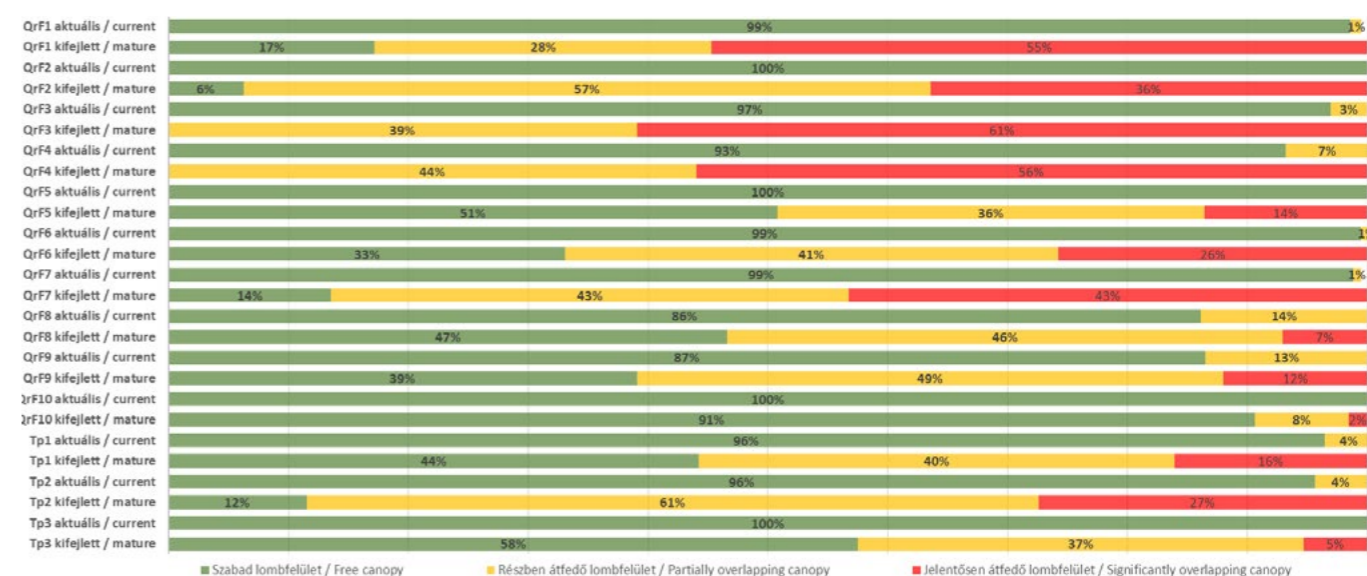
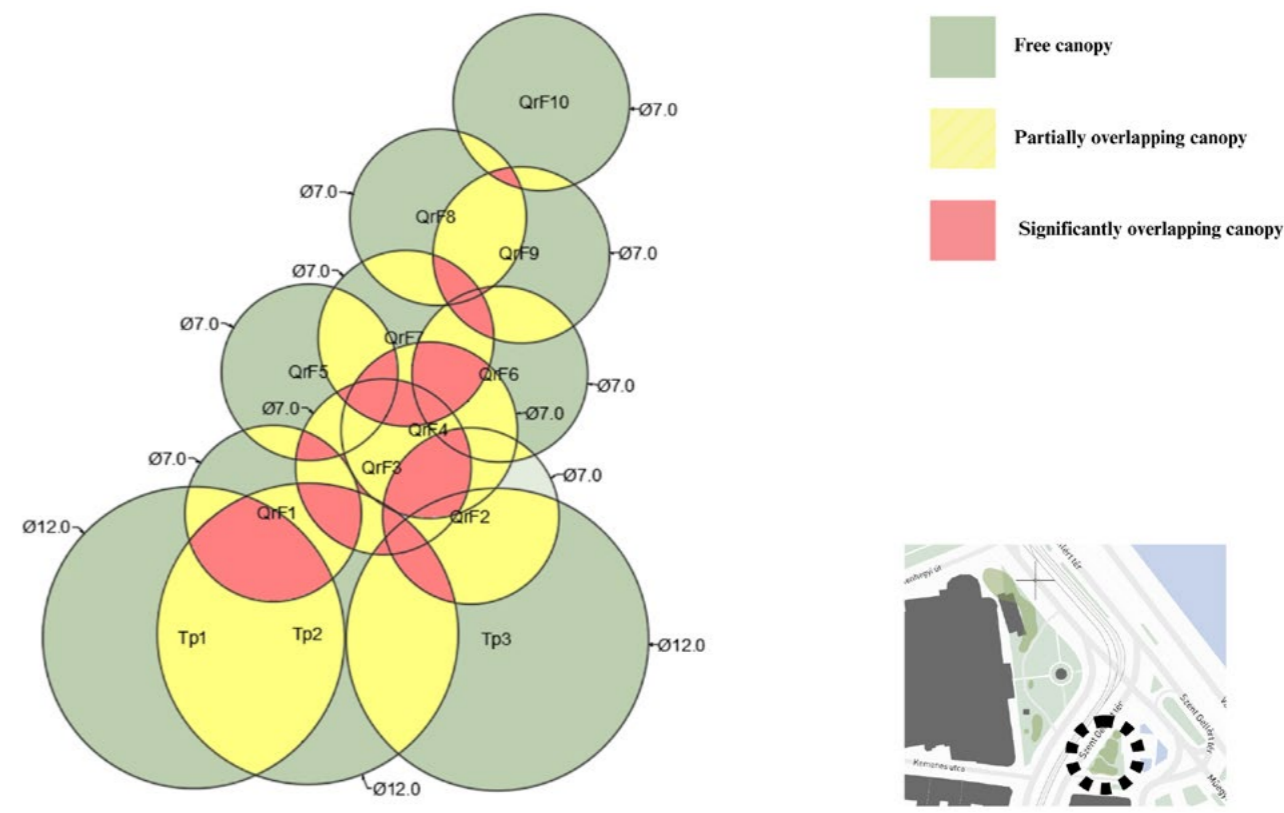
3.2.1 Study of tree specimens in the green cassette

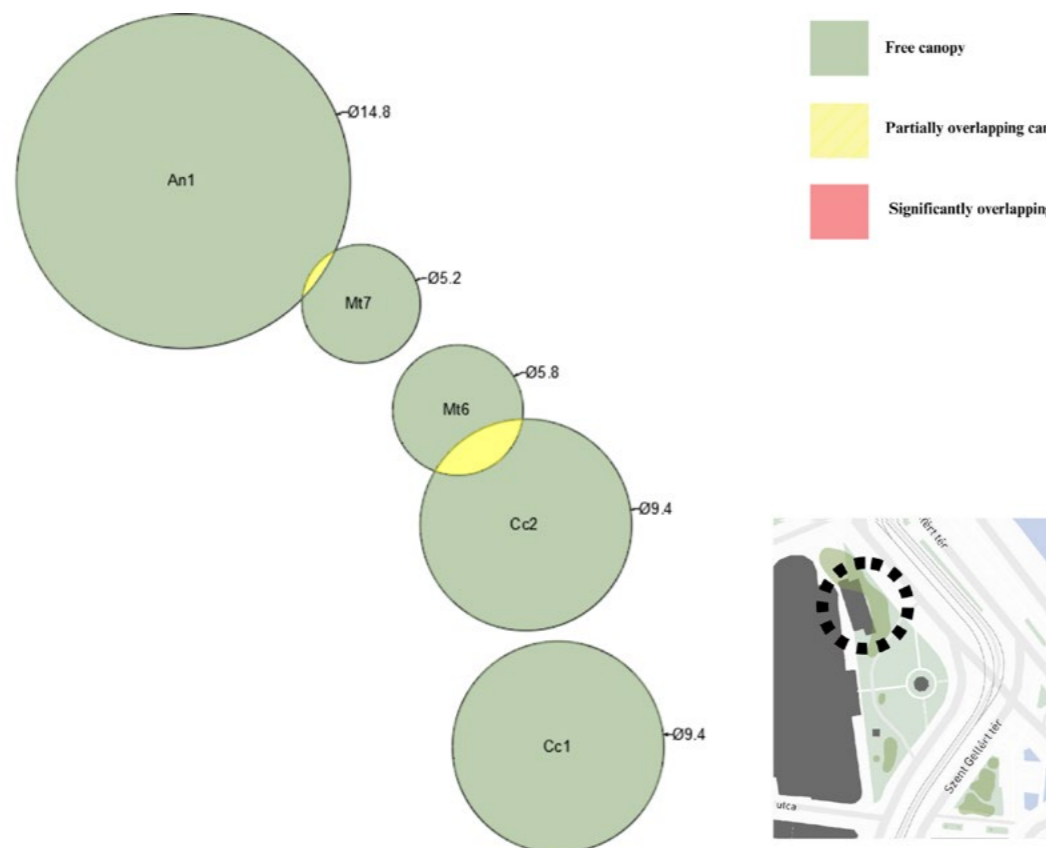
A total of 13 specimens of two taxa are found in the 376 m² central green box on the eastern side of the square. Of the trees found here, seven of the columnar oaks are larger (4.5 m>) and three are smaller (<3.5 m), while three of the large-leaved lime trees are nearly the same size (5 m) (Fig. 3).

Although 13 trees may seem like a lot in the green space, the oaks have a high proportion of open canopy

Fig. 3.a-b: Canopy assessment of a tree group in the green cassette in its current and predicted mature state

Fig. 4: Canopy assessment of a group of trees in the green cassette in the current and mature state





even when planted close together. Currently, five out of ten have partial overlap, averaging only 0.8 m². A similar result is observed for linden trees, where the average overlap is 1.2 m². The overall results show that 96% of the canopy of the tree groups is growing free, while the partially overlapping area is 4%, and no significant overlap was observed in any of the crowns (Figure 4).

If all specimens reach their assumed adult size in the future, the expected results are less favourable. The percentage of useful canopy area will drop from 96% to only 32%, while the percentage of partially overlapping crowns will increase to 41% on average. The largest change is in the proportion of significantly overlapping crowns, where almost one third (28%) of the total crowns will be in this category. The most noticeable change in canopy cover will be observed in the oaks near the lime trees. These oaks have an average free canopy area of 4.5 m². Even worse ratios are obtained for the inner specimens of the oak group, where more than half of the canopy will be significantly overlapping. The columnar habit improves the proportions slightly, but it can be concluded that only the upper quarter of the canopy area will be aesthetically and ecologically valuable.

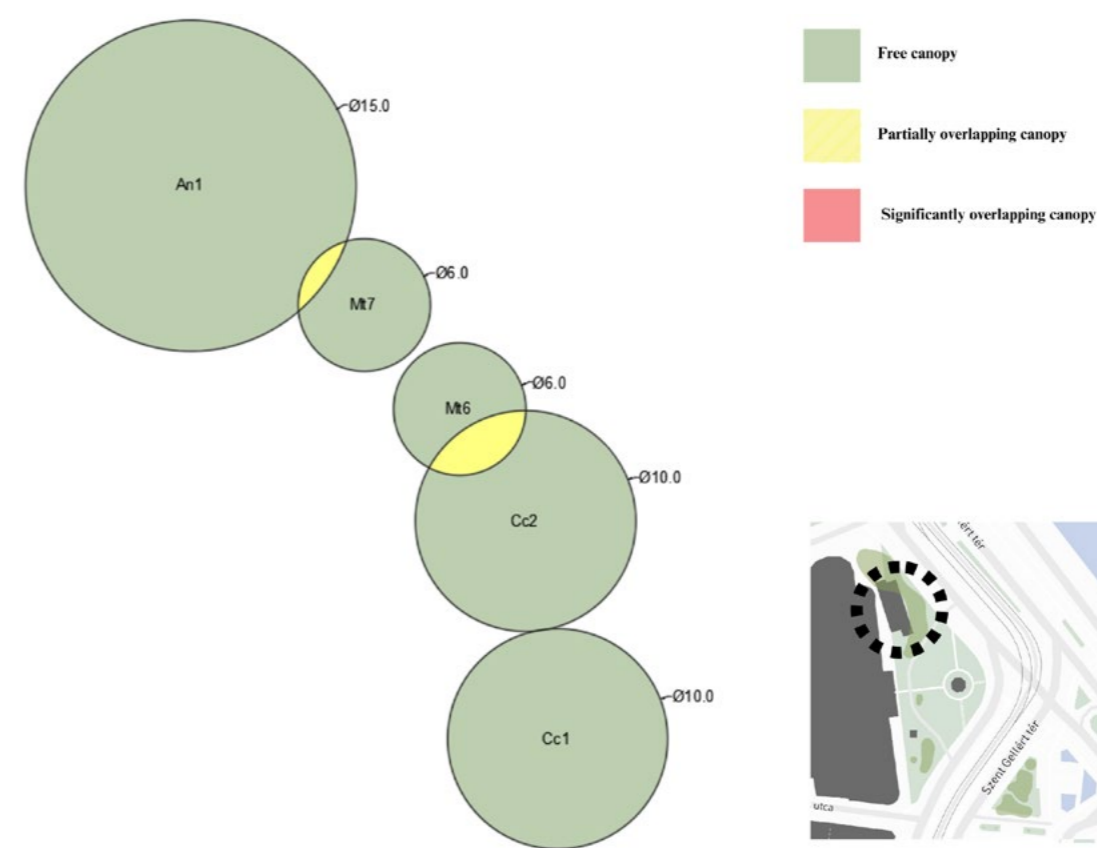
The oaks in the northern part of the green cassette have a large amount of open canopy even at maturity, so their beneficial effects will be significant. In contrast, the proportion of partially overlapping canopies is on average 50% for linden trees [23].

3.2.2. The group of trees in front of the Gellért Hotel

The detailed study of the northern section of the hotel found two Turkish hazel (*Corylus colurna*), two Tschonoski apple (*Malus tschonoskii* 'Belmonte') and an old green maple (*Acer negundo*). The specimens were planted at a spacing of 6–9 m, which is ideal for both current and mature size. The largest tree in the group is a green maple with a crown 14.8 metres in diameter. Among the younger trees, the apple and hazel trees are also growing ideally, with crowns that are typical of the taxon and are ecologically and aesthetically outstanding (Figure 5).

The planted taxa have and will have significant useful canopy area. The apple trees, which have an upward branching system, show a slight overlap with the broader habit hazel and maple trees around them. Due to the linear planting, no significant overlapping crowns have

Fig. 5.a-b: Canopy assessment of the group of trees in front of the Gellért Hotel in their current and predicted mature state



developed in either the current or mature state. Currently, the proportion of open, free canopy cover averages 94% for the five individuals. Today, only one of the ornamental apples is overlain by part of the foliage of the nearby hazel. As the specimens in the urban environment are almost mature, the proportions will not change significantly in the future. The open foliage is expected to decrease by only 5%, while the percentage of partially overlapping surfaces will average around 11% (Figure 6).

3.2.3 Assessment of the St Gellért embankment facies specimens

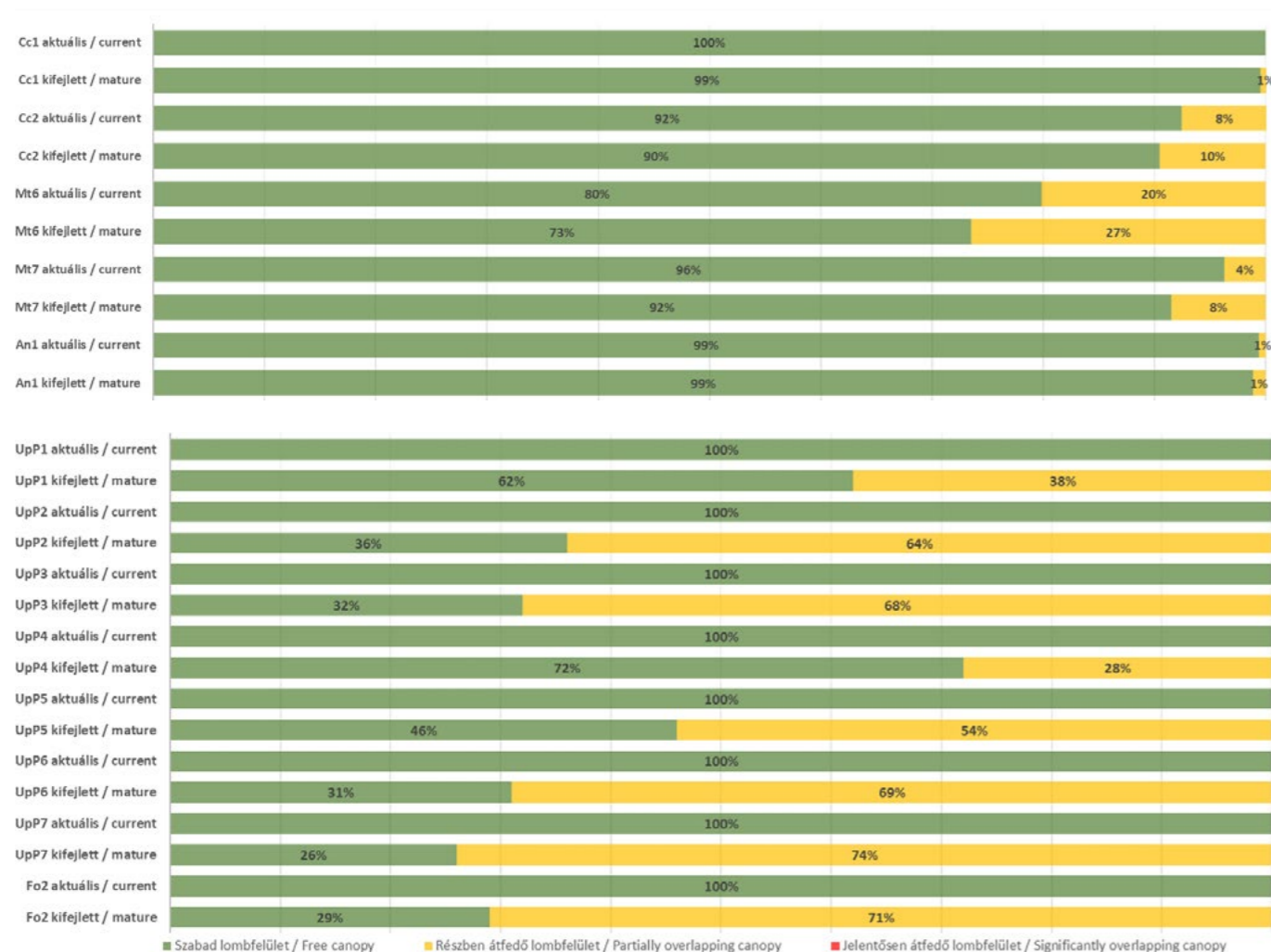
The longitudinal part of the St. Gellért embankment is taxonomically diverse. Flowering ash (*Fraxinus ornus*), field maple (*Acer campestre*), common ash (*Fraxinus excelsior*), hybrid cockspur thorn (*Crataegus × lavalleyi* 'Carrierei'), American hackberry (*Celtis occidentalis*), Russian olive (*Elaeagnus angustifolia*) and Siberian elm (*Ulmus pumila* 'Puszta') were planted.

We have analysed specimens from the embankment section directly adjacent to St Gellért Square, where seven elms (*Ulmus pumila* 'Puszta') and one flowering ash (*Fraxinus ornus*) are found. Specimens were generally

planted at a distance of 6–7 m, but in case of vacant tree sites or disturbing infrastructure, this distance can exceed 10 m. An examination of their current condition shows that although they are not ideal from an aesthetic and health point of view, their existing canopy is fully beneficial in ecological terms, with all eight specimens having 100% free canopy cover. The elms grow a broad crown, so significant crown overlap can be expected when mature. The current 100% open canopy cover will decrease to 44%, while the proportion of partially overlapping crowns will increase to 56% on average. As the Siberian elm has a nearly horizontal branch system, the overlapping crowns do not significantly interfere with each other. The free canopy area percentage of flowering ash falls back to less than one third at maturity, and it is not able to compensate for these parts in terms of habit (Figure 7) [23].

4. DISCUSSION

The assessment of the woody vegetation of St Gellért Square and St Gellért Embankment showed relatively positive results, especially in terms of canopy cover. When looking at the canopy cover, it is important to note that the heavy rail and vehicle traffic through St Gellért Square



breaks up the entire square for a considerable distance. If we take the open space area – 3509 m² – instead of the actual area, the canopy cover is 26%, which is within the ideal range (25–30%) [28].

Careful analysis of the planting distances showed that the tree spacing correctly reflects the space requirements of each taxon. As a result, the current canopy cover is extremely high at 97%, one of the best values among the open spaces studied. However, it should be noted that this percentage will decrease to 52% as the trees mature, mainly due to the dense planting of the green cassettes, as the proportion of open canopy in the linearly planted tree groups decreases to 71%. Partially overlapping and significantly overlapping crowns will naturally increase as they grow, from the current 4% to 45% and from 0% to 20% of the total, respectively.

The overall assessment shows that individuals in linear tree groups, regardless of taxon, are and can be expected to continue to develop in a near-ideal way in terms of habit-canopy form-planting density, while among the trees in green boxes, it is mainly the oaks on the outer edge of the group and the globe oaks that can be of real long-term benefit in terms of ecosystem services, while

the crowns of the currently undeveloped lime and interior oaks are largely dominated by the trees surrounding them. ©



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

Fig. 6: Canopy assessment of the tree group in front of the Gellért Hotel in its current and predicted mature size

Fig. 7: Canopy assessment of the St Gellért embankment canopy in its current and predicted mature state

- 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>
- 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>
- Hrotkó Károly – Gyeviki Márta – Sütöriné Diószegi Magdolna (2021): Aeroszol részecskék kiüledése és nehézfém-tartalma három fafaj fajtáinak levelein Budapesten. In: *Kertgazdaság* (1998) 1419–2713 53 1 14–31 Available online: <https://m2.mtmt.hu/api/publication/32021229> (accessed on 28 May 2023).
- 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>
- Tyrväinen, Liisa – Pauleit, Stephan – Seeland, Klaus – De Vries, Sjerp (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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Szabó Krisztina (2023): Klímafák és városfásítás; Budapest; ISBN 978-615-01-7157-9.
- Zipperer, Wayne C. – Sisinni, Susan N. – Pouyat, Richard N. – Foresman, Timothy W. (1997): Urban tree cover: an ecological perspective, *Urban Ecosystems* 1 (1997) 229–246. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1018587830636>.
- Nowak, David J. (2004): Assessing Environmental Functions and Values of Veteran Trees, 2004, n.d. <http://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.546.2756>.
- Böll, Susanne (2021). Stadtbäume unter Stress, 8., Available online: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/ag8_stadtbaeume_unter_stress_bf_gesch.pdf (accessed on 22 November 2023)
- 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>
- 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.
- Smith, Ian I. – Dearborn, Victoria K. – Hutyra, 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>.
- Quigley, Martin F. (2004): Street Trees and Rural Conspecifics: Will Long-Lived Trees Reach Full Size in Urban Conditions? *Urban Ecosystems*, 7, 29–39.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*, Ed.; Island Press: Washington, DC; ISBN 978-1-559726-04-0.
- 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.
- 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>.
- 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>.
- Pillsbury, Norman – Reimer, Jeffrey – Thompson, Richard (2023): Tree Volume Equations for Fifteen Urban Species in California, Available online: <https://ufe.calpoly.edu/wp-content/uploads/2021/02/UrbanTreeEqns.pdf> (accessed on 22 November 2023)
- Close, Richard – Nguyen, Phu – Kielbaso, JJames (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>
- Tóth Barnabás (2024): A telepítési sűrűség és a lombkorona-borítottság összefüggései a városi fáknál, Faviszsgáló és faápoló szakmérnök szakirányú továbbképzési szak, Szakdolgozat, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2024.
- Schmidt Gábor (2003): *Növények a kertépítészetben; Mezőgazda Kiadó, Budapest; ISBN 978-963-286-062-6.*
- Tóth Barnabás – Doma-Tarcsányi Judit – Szabó Krisztina (2024): A telepítési sűrűség és a lombkorona-borítottság vizsgálata budapesti szabadtereken: Esettanulmányok 1. rész – Móricz Zsigmond körtér, 4D (2024) 14–31. DOI: <https://doi.org/10.36249/4d.70.4728>.
- Szent Gellért tér | Zöldkalauz, (n.d.). <https://zoldkalauz.hu/szent-gellert-ter> (accessed November 2, 2024).
- Balogh Péter István – Erő Zoltán – Mohácsi Sándor (2007): A budapesti „négyes metró” és a városi szabadterek. 4D - Tájépítészeti és Kertművészeti Folyóirat 5-8., 48–55.0. Available online https://adt.arcanum.com/hu/view/KerteszetiEgyetem_4Dfolyoirat_2007/?query=szo&pg=49&layout=s (accessed on 22 November 2023)
- Városklíma Műhely Városklíma Kalauz Available online: http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/pdf/varosklíma_kalauz.pdf (accessed on 18 July 2023).

ESZKÖZÖK ÉS LEHETŐSÉGEK AZ ÖKOLÓGIAI HÁLÓZAT LEHATÁROLÁSÁRA

METHODOLOGICAL POSSIBILITIES OF DETERMINING THE ECOLOGICAL NETWORK

KUTNYÁNSZKY VIRÁG | SZILVÁCSKU ZSOLT

ABSZTRAKT

Az ökológiai hálózat a biodiverzitás és az élőhelyek megőrzésére, az anyag- és energiakörforgás fenntartására irányuló eszköz, természetes és fél-természetes tájelemekből álló koherens rendszer. Három alapvető szerkezeti egységre osztható: magterületek, ökológiai folyosók és pufferterületek alkotják, amelyeket egyes értelmezések rehabilitációs területekkel egészítenek ki. Az ökológiai hálózat definiálására irányuló kutatásunk során megközelítési irányzatokat és befolyásoló tényezőket tártunk fel. Megállapítottuk, hogy a hálózat törekedhet egy faj (vagy fajcsoport) életfeltételeinek javítására, vagy az ökológiai állapot és a konnektivitás fejlesztését, valamint a fragmentáció csökkentését tűzi ki célul. A hálózatot (és így a tervezését) négy alapvető tényező befolyásolja: a táji adottságok és a benne lejátszódó folyamatok keretrendszerben biztosítanak, az élővilág mint használó meghatározó, míg az ember alakító hatással van a hálózatra. Eszközök széles skáláját mutattuk be, a döntés-alapú stakeholder-vezérelt tervezéstől, a tájmetriai elemzéseken át a gráfelméleten alapuló összekötöttségi modellekig. Az 1980-es években indult ökológiai hálózat tervezése jelentősen különbözik a ma használt módszerektől, hiszen a rendelkezésre álló

technológiák (elsősorban a térinformatika), software-ek elterjedésével egyre több szempontot tudunk integrálni a hálózat modellezésébe, objektívebb eredményért. Azonban elmondható, hogy az egyre komplexebb számításon alapuló modellek eltávolodtak a tervezői szemlélettől, nem céljuk a jogi-területi tervezési illeszkedés, ám a kisebb léptékű hálózatfejlesztési beruházásokat, pl. vadátjárók létesítését, egy folyosó vagy élőhely rehabilitációját megalapozzák.

Kulcsszavak: Ökológiai hálózat, térinformatikai modellezés, konnektivitás, élőhelyi alkalmasság, tájökológia, tájmetria

BEVEZETÉS – AZ ÖKOLÓGIAI HÁLÓZAT MEGHATÁROZÁSA

Az ökológiai hálózat mai értelemben használt koncepcióját az élőhelyek beszűkülése és a biodiverzitás csökkenése hívta életre. A szigetbiográfiai és metapopulációs elméletek nyomán bebizonyosodott, hogy az egymástól elszigetelt védett területek meghatározása önmagában nem biztosítja a biológiai sokféleség megőrzését. Nem elegendő csupán fajokat, természetes vagy ahhoz közel álló élőhelyeket védeni, hanem az ökológiai

ABSTRACT

An ecological network as a biodiversity and habitat conservation tool, maintaining the material and energy cycle, is a coherent system of natural and semi-natural landscape elements. It can be divided into three basic structural units: core areas, ecological corridors and buffer zones, which are sometimes supplemented by rehabilitation areas. Our research on planning methods and definition of the ecological network has revealed different approaches and influencing factors. We have identified that a network can aim to improve the living conditions of a species (or group of species), or it can aim to improve overall ecological condition and connectivity, and reduce fragmentation. A network (and thus its planning) is influenced by four factors: natural attributes and the processes that take place within the landscape provide a framework; wildlife as a user is a dominant; and humans have a shaping influence on the network. Along these lines, we have presented a wide range of tools, from decision-based stakeholder-driven planning, through landscape metric analysis, to connectivity models based on graph theory. Ecological network planning, which started around 1980, is very different from the methods used today, as the spread of available technologies (mainly GIS technology) and software allows us to integrate an increasing number of aspects into the network modelling, producing objective results. However, it can be stated that models based on increasingly complex calculations have moved away from a planning perspective; they are not intended to fit legal or spatial planning conditions, but they do provide a basis for small-scale network development, e.g. the creation of wildlife crossings, or the rehabilitation of a corridor or habitat.

Keywords: Ecological network, fragmentation, connectivity, habitat suitability, landscape ecology, landscape metrics

INTRODUCTION – DEFINING ECOLOGICAL NETWORKS

The concept of the ecological network as we use it today was born as a solution for habitat and biodiversity loss. Island biogeography and metapopulation theories have shown that isolated protected areas alone are not sufficient to conserve biodiversity. It is not enough to protect species and natural or semi-natural habitats, but it is also necessary to ensure that natural patches are of sufficient size, that habitat connectivity is maintained and also that

natural processes are sustained to maintain ecological functionality [1, 2].

The ecological network, planned and used to sustain biodiversity, appeared in the 1980s, first in the Netherlands and Denmark [2, 3] before spreading throughout Europe. By 2006, almost all European countries had implemented the ecological network in some way [2].

An ecological network is a coherent system of natural and semi-natural landscapes, which should be conserved and, where possible, supplemented or restored to ensure the persistence of ecosystems, habitats and species [1, 4]. By definition, an ecological network is therefore more than just a set of protected natural areas, it also includes the provision of the links between them.

An ecological network can be divided into three (some interpretations suggest four) functional structural units. We distinguish core areas, ecological corridors, buffer zones and additional rehabilitation areas. Core areas are habitats where natural processes prevail, ensuring the maintenance of communities [1]. They are usually natural or semi-natural areas important for biodiversity conservation, but not necessarily protected [2]. Ecological corridors are links between core areas; they may be linked to linear elements such as roads or watercourses, and may be landscape corridors of multiple habitats or discontinuous, stepping-stone links [1, 5]. The main role of corridors is to maintain the coherence of fragmented ecosystems [2]. Buffer zones protect the functionality of the system from external pressures [5], in order to maintain ecological stability [1]. Rehabilitation areas are degraded habitats or damaged surfaces that provide a potential resource for the ecological network [5], and can become an important part of the system after restoration [1].

The aim of this publication is to present methodological possibilities for delineating and planning ecological networks and to describe the factors that shape it. We used national and international studies and projects to review the development of network modelling and the tools available today.

METHODS

To establish our research, we reviewed almost 100 papers on ecological networks. Half of these were case studies presenting different models that have dealt with this topic from the late 1990s to the present day. Among the methodologies reviewed, European initiatives are predominant,

működőképesség megőrzéséhez szükség van a természetes foltok megfelelő kiterjedésére, az élőhelyek közötti kapcsolatok biztosítására és a természetes folyamatok fenntartására is [1, 2].

Az ökológiai hálózat ennek a célnak az eszközöként került a köztudatba az 1980-as években; először Hollandiában és Dániában jelent meg [2, 3], majd ezután terjedt el egész Európában. 2006-ra csaknem az összes európai ország implementálta az ökológiai hálózatot valamilyen módon [2].

Az ökológiai hálózat természetes és fél-természetes (természetközeli) tájelemekből álló koherens rendszer, amelyet úgy kell megőrizni, és ahol lehet, kiegészíteni vagy helyreállítani, hogy biztosítsa az ökoszisztémák, élőhelyek és fajok fennmaradását [1, 4]. A meghatározás szerint az ökológiai hálózat tehát több, mint a védett természeti területek összessége, a közöttük fennálló kapcsolatok biztosítása is a rendszer részét képezi.

Az ökológiai hálózat három (egyes értelmezések szerint négy) funkcionális szerkezeti egységre osztható. Megkülönböztetünk magterületeket, ökológiai folyosókat és pufferterületeket, valamint rehabilitációs területeket. A magterületek azok az élőhelyek, ahol a természetes folyamatok érvényesülnek, ezzel biztosítva az életközösségek fennmaradását [1]. Ezek általában természetes, vagy természet-közeli, a biodiverzitás megőrzése szempontjából fontos területek, amelyek nem rendelkeznek feltétlenül természetvédelmi oltalommal [2]. Az ökológiai folyosók összeköttetéseket képeznek a magterületek között, kötődhetnek lineáris elemekhez, például utakhoz vagy vízfolyásokhoz, lehetnek többféle élőhelyből összeálló tájfolyosók vagy éppen meg-megszakított, lépegető-kő jellegű kapcsolatok [1, 5]. A folyosók legfőbb szerepe a fragmentált ökoszisztémák koherenciájának fenntartása [2]. A pufferterületek védik a rendszer működését a külső behatásokkal szemben [5], az ökológiai stabilitás megőrzése érdekében [1]. A rehabilitációs területek olyan degradált élőhelyek, roncsolt felszínek, amelyek egyfajta háttér-erőforrásai az ökológiai hálózatnak [5], helyreállításuk során fontos részeivé válhatnak a rendszernek [1].

Ennek a publikációnak célja, hogy bemutassa az ökológiai hálózat lehatárolására, tervezésére irányuló módszertani lehetőségeket, valamint a hálózatot alakító tényezőket. A hazai és nemzetközi tanulmányok és projektek áttekintésével a hálózat modellezésére irányuló eszközök fejlődését és a ma rendelkezésünkre álló eszköztárat tekintjük át.

MÓDSZERTAN

Kutatásunk megalapozásául csaknem száz ökológiai hálózattal kapcsolatos munkát tekintettünk át, és dolgoztunk fel. Ennek fele különböző modellt bemutató esettanulmány volt, amelyek egészen az 1990-es évek végétől napjainkig foglalkoztak ezzel a témával. A feldolgozott módszertanok között többségben vannak az európai kezdeményezések, azonban világszerte foglalkoznak kutatók és tervezők az ökológiai hálózat modellezésével. A közel-múltban különösen fejlődtek a kínai kutatások, amelyeket a városok erőteljes szétterülése és a természeti területek csökkenése hívott életre.

Ezen források alapján az eszközökre és módszerekre vonatkozó kutatásunk eredményeit a következőkben ismertetjük.

AZ ÖKOLÓGIAI HÁLÓZAT TERVEZÉSÉNEK, MODELLEZÉSÉNEK FEJLŐDÉSE

A 2000-es évek környékén keletkezett tervezési útmutatók, amelyek aztán végül az első ökológiai hálózatok meghatározását alapozták meg, elsősorban az élőhelyek természetességére, állapotára alapoztak. A cél a foltok terepi adatokon alapuló ökológiai potenciáljának értékelése volt, amely az egyes élőhelyek hálózatban betöltött szerepét határozta meg. A tervező a foltok hálózati potenciálja és elhelyezkedése, alakja alapján döntött a kiterjedésről és szerkezeti egységekről, gyakran a tulajdonviszonyok, különféle szakmák közti egyeztetések figyelembevételével [1]. Így zajlott például a Pán-Európai Ökológiai Hálózat (PEEN) tervezése is [6].

Egyes országok (pl. Lengyelország) indikátorfajokat, fajcsoportokat alkalmaztak ökológiai hálózatuk meghatározásához, kombinálva a geomorfológiai, hidrológiai és biotikai-táji szempontokkal [3]. Más országokban az ökológiai stabilitás és a területek természetvédelmi értéke (Csehország, Szlovákia), vagy éppen az emberi befolyásoltság mértéke a meghatározó a hálózat kialakításában (Szerbia) [7]. A térinformatika elterjedésével egyre több lehetőségük volt a fajok útvonalainak modellezésére, becslésére hálózatelemzési eszközök segítségével. A térképezés célja egy konkrét faj (sok esetben veszélyeztetett faj) élőhely-hálózatának feltárása volt, azért, hogy a faj életfeltételeit javítani tudjuk. A bemeneti adatok gyakran támaszkodnak terepi megfigyelésekre, amelyek segítségével élőhely-alkalmassági térképek készülnek, figyelembe véve az adott élőlény viselkedését és így a számára fontos

but ecological network modelling is being addressed by researchers and planners worldwide. Research in China has been particularly advanced recently, stimulated by the massive urban sprawl and loss of natural areas.

Based on these sources, the results of our research on tools and methods are presented below.

EVOLUTION OF PLANNING AND MODELLING THE ECOLOGICAL NETWORK

The planning guidelines that emerged in the 2000s and eventually formed the basis for the first ecological networks were based primarily on the naturalness and condition of habitats. The aim was to assess the ecological potential of patches based on field data, which determined the role of each habitat in the network. The planner decided on the extent and structure of the network based on the potential of the patches network, their location and shape, often taking into account ownership and also including a discussion between relevant professions [1]. This was the case, for example, in the planning of the Pan-European Ecological Network (PEEN) [6].

Some countries, like Poland, have used indicator species and indicator groups to define their ecological networks, combined with geomorphological, hydrological and biotic-landscape aspects [3]. Meanwhile, in other countries, the ecological stability and conservation value of the land (Czech Republic, Slovakia) or the degree of human influence (Serbia) are considered when planning the network [7]. With the advance of GIS technology, there have been increasing opportunities to model and estimate species pathways using network analysis tools. The aim of mapping was to define the habitat network of a specific species (in many cases an endangered species) in order to improve living conditions for the species. The input data often relies on field observations to produce habitat suitability maps, taking into account the behaviour of the species and important related factors (e.g. vegetation cover, terrain conditions, presence of water, etc.).

With the development of GIS tools and databases, a third direction emerged by the end of the 2010s, which is similar in its aim to the first approach, but combines network analysis with landscape metrics in its toolkit. Its aim is to define a generalised system for improving connectivity in the landscape. This is typically based on landscape attributes and land cover, which are used to

perform landscape metrics and statistical analyses, followed by network modelling to identify the connections between patches [8-15]. Since this approach does not integrate the insights of different policies and regulations, and replaces the planner's decision with objective calculations, the involvement of stakeholders (e.g. spatial planners, municipalities, politicians, farmers and landowners, etc.) is recommended to ensure the feasibility of the network [16, 17].

The main difference between the three approaches is that the first and the third aim to identify a general network, while the second aims to promote the survival and protection of a single species. Research today generally uses either the second or the third approach.

In theory, the scale of an ecological network can range from the local (micro) scale to a global system. This issue can pose a dilemma when defining a general network, as different species differ greatly not only in their needs but also in the size and extent of the network they use. For example, the ecological network of a large carnivore may be defined at a continent level, whereas the network of a small mammal may be confined to the boundaries of a single municipality. To resolve this issue, the literature clearly states that the most appropriate scale for planning a general ecological network is the landscape-regional (mezo) scale [1, 5, 18, 19]. However, to get a more accurate picture of the network, it is recommended that both local scale and larger (even national or international) networks are considered [1, 19, 20].

INFLUENCING FACTORS

Based on the different approaches and tools used in research, it can be stated that the ecological network is shaped and determined by four factors: the landscape, its natural processes, wildlife and human influence. Each of the three approaches examine these factors from their own perspective, whether their goal is species conservation or habitat suitability.

Landscape attributes and natural processes together provide the framework for the network. These natural factors (such as hydrography, topography, soil, natural vegetation and climate) are a given in a landscape and cannot be changed or can only be changed at disproportionate cost. The extent of the intervention in such cases fundamentally changes the functioning of the landscape and affects the whole system (e.g. when building a motorway, the terrain and drainage are altered). Landscape features

aspektusokat (pl. növényzeti borítottság, terepi viszonyok, víz jelenléte stb.).

A térinformatikai eszközök és adatbázisok fejlődésével a 2010-es évek végére egy harmadik irány terjedt el, amely céljában az első megközelítéshez hasonló, azonban az eszköztárában ötvözi a hálózat-elemzést a tájértékelési, tájmetriai módszerekkel. Célja egy általános érvényű rendszer meghatározása a táj konnektivitásának javítására. Ehhez jellemzően a táji adottságokat és a felszínborítást veszi alapul, s ezek segítségével tájmetriai és statisztikai elemzéseket, valamint ezt követően hálózat-modellézést végeznek, így meghatározva a foltok közti kapcsolatokat [8-15]. Ez a megközelítés a különböző szakterületek meglátásait nem integrálja, a tervezői döntést objektív számításokkal helyettesíti. Emiatt javasolt az érintettek (pl. területi tervezők, önkormányzatok, politikusok, gazdálkodók és földtulajdonosok stb.) bevonása a hálózat megvalósíthatóságára [16, 17].

A három megközelítés közötti lényeges különbség, hogy az első és a harmadik egy általános érvényű hálózat feltárására törekszik, míg a második egy faj fennmaradását, védelmét hivatott elősegíteni. A ma elterjedt kutatások általában vagy a második vagy a harmadik megközelítést alkalmazzák.

Az ökológiai hálózat léptéke elméletben egészen a helyi (mikro) szintű hálózatoktól egy globális rendszerig terjedhet. Ez a kérdés dilemmát okozhat egy általános érvényű hálózat meghatározásánál, hiszen a különféle állatfajok nemcsak igényeikben, hanem a használt hálózatuk nagyságában, kiterjedésében is merőben különböznek egymástól. Gondoljunk csak egy nagyragadozó ökológiai hálózatára, amely nemzetközi szinten határozható meg, ezzel szemben viszont egy kisemlős hálózata akár egy település területén belül maradhat. A szakirodalom ennek a kérdésnek a feloldására egyértelműen leszögezi, hogy a lépték tekintetében egy általános ökológiai hálózat modellezésére a legalkalmasabb a táji-regionális szint [1, 5, 18, 19]. Azonban azért, hogy pontosabb képet kaphassunk a hálózatról mind a helyi léptékű, mind a nagyobb (akár országos vagy nemzetközi) hálózatok figyelembevételére is javasolt [1, 19, 20].

ALAKÍTÓ TÉNYEZŐK

A kutatásokban alkalmazott különböző megközelítések és eszközök alapján elmondható, hogy az ökológiai hálózatot alapvetően négy tényező alakítja, határozza meg: a táj adottságai, a természeti folyamatok, az élővilág és

az emberi befolyás. Mind a három megközelítés részben-egészben ezeket a tényezőket vizsgálja a maga szempontjából, legyen szó a fajvédelemről vagy élőhelyi alkalmasság vizsgálatáról.

A *táj adottságai és a természeti folyamatok* együtt *keretrendszer* adnak a hálózatnak. Ezen olyan természeti jellemzőket (mint a vízrajz, a domborzat, a talaj, természetes növényzet és a klíma) értünk, amelyek adottak egy tájban, ezek megváltoztatása nem lehetséges, vagy csak aránytalanul nagy anyagi ráfordítással valósítható meg. A beavatkozás mértéke ilyenkor alapjaiban változtatja meg a táj működését, az egész rendszerre kihatással van (pl. egy autópálya építésekor a terepi viszonyok és lefolyás megváltoztatása). A táji jellemzők és a természeti folyamatok (anyag- és energiaáramlás, vízkörforgás, biológiai és fizikai törvényszerűségek stb.) az ökológiai hálózat szempontjából keretként értelmezendők, hiszen ehhez a hálózatnak alkalmazkodnia kell. A védett természetes élőhelyek megléte is alapadottságnak tekinthető, hiszen feltételezhető, hogy ezek a jogi védettségnek, köszönhetően nem alakíthatók át.

Az *élővilág* elsősorban *mint használó* van hatással az ökológiai hálózatra. Az élőlények, mind az állat- és növényvilág élőhelyi feltételeinek, valamint terjedésének, mozgásának (diszperzió, migráció) biztosítása a hálózat feladata. A különféle állatok – igényeiknek, méretüknek, életmódjuknak megfelelően – lényegesen eltérő hálózatot használnak, nemcsak lépékben, hanem jellegben is. Míg egy ugyanolyan élőhelyeket kedvelő rovarfaj vagy egy emlős hálózat a kapcsolatok távolságában tér el, addig a madárfajok számára sokkal nyitottabb a hálózat, hiszen rájuk az utak és vizek fragmentáló hatása kevésbé van befolyással a röpképtelen állatokhoz képest. A növényfajoknak másodlagosan van alakító hatása a tájra nézve. A növényzet fejlődése, a borítottság növekedése és változása, valamint a szukcesszió mind befolyásolják a tájban lezajló folyamatokat, a vízkörforgást, továbbá a mikroklímára is jelentős hatással bírnak. A növények élőhelyfoltok közti terjedését általában valamilyen köztes hordozóval és annak tulajdonságaival modellezhetjük (pl. szél, víz, termést hordozó madár vagy mókus) [21]. Indikátorfajcsoportok alkalmazása általánosabb hálózatot eredményezhet egy ilyen modellezésnél, ám itt a csoport megfelelő kialakítására és az igényeik pontos meghatározására is törekedni kell, ehhez célszerű természetvédelmi szakértők és ökológusok bevonása is [16].

and natural processes (material and energy flows, water cycle, biological and physical laws, etc.) should be understood as a framework for the ecological network, as the network must adapt to this system. The existence of protected natural habitats can also be considered as a basic condition, since it is assumed that they cannot be modified due to their legal protection.

Wildlife primarily influences the ecological network as a user. The network is responsible for ensuring the habitat conditions and movements (local movements, dispersal, migration) of living organisms, both fauna and flora. The different species, according to their needs, size and lifestyle, use significantly different networks, not only in terms of their scale but also in terms of their structure. While the network of an insect species or a mammal preferring the same habitat differs in the distance of its connections, the network can be much more open for bird species, which are less influenced by the fragmentation of paths and waterways than flightless animals. Plant species have a secondary shaping effect on the landscape. Vegetation development, natural succession coverage, growth and change all influence the natural processes, like the water cycle, and also have a significant impact on microclimate. The dispersal of plants between habitat patches can usually be modelled using some intermediate carrier and its factors (e.g. wind, water, crop-bearing birds or squirrels) [21]. The use of indicator species groups can result in a more general network, but here the group should be properly designed and their needs accurately defined, and it is advisable to involve conservation experts and ecologists [16].

The *impact of human activities* on the landscape changes habitats, their quality and structure, or causes their disappearance or transformation. This includes the habitat-forming effects of land use and agriculture, which determine the ecological network in its primary structure and extent. The fragmentation and barrier effects of roads and other establishments, sources of disturbance and pollution, affect the quality and functionality of the network. The role of buffer zones is of particular importance to the conservation of habitat quality and stability. It is important to stress that human intervention has a strong impact primarily on landscape structure and landscape processes, while changes to landscape features (topography, soil, climate, precipitation, etc.) can be less or sometimes more profoundly altered over several generations.

TOOLS AND METHODS TO DEFINE THE NETWORK

Regardless of the approach, research aiming to define an ecological network usually starts by exploring the characteristics of the chosen area (Figure 1.). The characterisation of landscape features is usually used as an input to the modelling, on which further calculations are performed. It is therefore particularly important to check the quality, methods and accuracy of the data collection, as the result is based on their reliability. Such input data are usually topography models, which are used to investigate exposure, slope or altitude, remote sensing and aerial images, which can be used to calculate, among other things, vegetation cover and its density (e.g. NDVI). For example, in research on the Siberian roe deer's network, topography was a key factor: as a species living in mountain regions, slope, aspect and vegetation cover are decisive in determining optimal habitats and routes for this species [9].

Land cover data, road networks and built-up areas are essential data in any research to define the structure and fragmentation of the landscape and its habitats. Land cover data, combined with conservation and monitoring databases, can be used to determine the naturalness of a landscape, or even to designate suitable habitats for a species.

To model the ecological network, researchers first assess, categorise or describe the patches of the landscape using various metrics. Depending on the approach, this process may focus on determining habitat suitability for a particular species or it may involve calculating factors that describe the landscape in general. Network modelling often relies on these indicators.

For the objectivity of studies, species distribution models (SDM) such as **MaxEnt** or **MSPA** (*morphological spatial pattern analysis*) models are used to determine habitat suitability. These calculations are based on species occurrence data and observations, while also taking landscape characteristics, patch structure and the species individual preferences into account. The MaxEnt model is more commonly used in research to determine ecological suitability for species [9], while MSPA analysis also includes landscape structure and patch shape, determining ecological resource areas [12, 18, 20]. For input data, it is important to work with evidence-based, cleaned, up-to-date databases [9, 22].

Landscape metrics are used to describe the geometry of patches and to explore the structure and relationships

1. ábra/Fig. 1: Az ökológiai hálózat tervezésére irányuló legfontosabb eszközök egymásra épülése / Main tools available for delineating the ecological network and its connections

Az ember tájalakító hatása megváltoztatja az élőhelyeket, azok minőségét, szerkezetét, vagy éppen az eltűnésüket, átalakulásukat okozza. Ide tartozik a táj használatának, művelésének élőhely-alakító hatásai, amelyek elődleges szerkezetében és kiterjedésében határozzák meg az ökológiai hálózatot. Az utak, egyéb művi létesítmények fragmentáló- és barrier-hatása, a zavarás és szennyezőforrások, a hálózat minőségét, működőképességét befolyásolják. A puffertérületek szerepe az élőhelyek állapotának, stabilitásának védelme szempontjából kiemelkedő. Fontos kiemelni, hogy az emberi beavatkozások elsősorban a táj szerkezetére és a tájban lezajló folyamatokra vannak erőteljes behatással, míg a táji adottságok (domborzat, alapközet, klíma, csapadék stb.) megváltoztatását kevésbé, vagy esetenként több emberöltő leforgása alatt képesek alakítani.

ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK A HÁLÓZAT MEGHATÁROZÁSÁRA

Az ökológiai hálózat meghatározására irányuló kutatások, megközelítéstől függetlenül, a választott terület jellemzőinek feltárással indulnak (1. ábra). A táji adottságok jellemzése általában bemeneti (input) adatként van jelen a modellezésekben, amelyeken további számításokat végeznek. Az adatok minőségét és a gyűjtés módszertanát, pontosságát emiatt különösen fontos ellenőrizni, hiszen a modellezések ezek megbízhatóságára építenek. Ilyen bemeneti adatok általában a domborzatmodellek, amelyeken kitétséget, meredekséget, vagy éppen tengerszint feletti magasságot vizsgálnak; a légi- és űrfelvételek, amelyekből többek közt a növényzeti borítottságot és annak intenzitását (pl. NDVI) lehet számítani. Egyes élőlények, mint például a szibériai őz, hálózatának kutatásában a domborzat kulcsfaktor: hegyvidéki faj lévén mind a meredekség mind a kitétség, és a növényzeti borítottság meghatározó a számára optimális élőhelyek és útvonalak meghatározásában [9].

A felszínborítási adatok, az úthálózat és a beépítések elengedhetetlen adatok minden kutatásban, ezekből a táj és élőhelyek szerkezetére, feldarabolódottságára lehet következtetni. A felszínborítási adatok, kombinálva a természetvédelmi adatbázisokkal, monitoring adatokkal, a természetesség meghatározását, akár egy faj számára az alkalmas élőhelyek kijelölését is megalapozhatják.

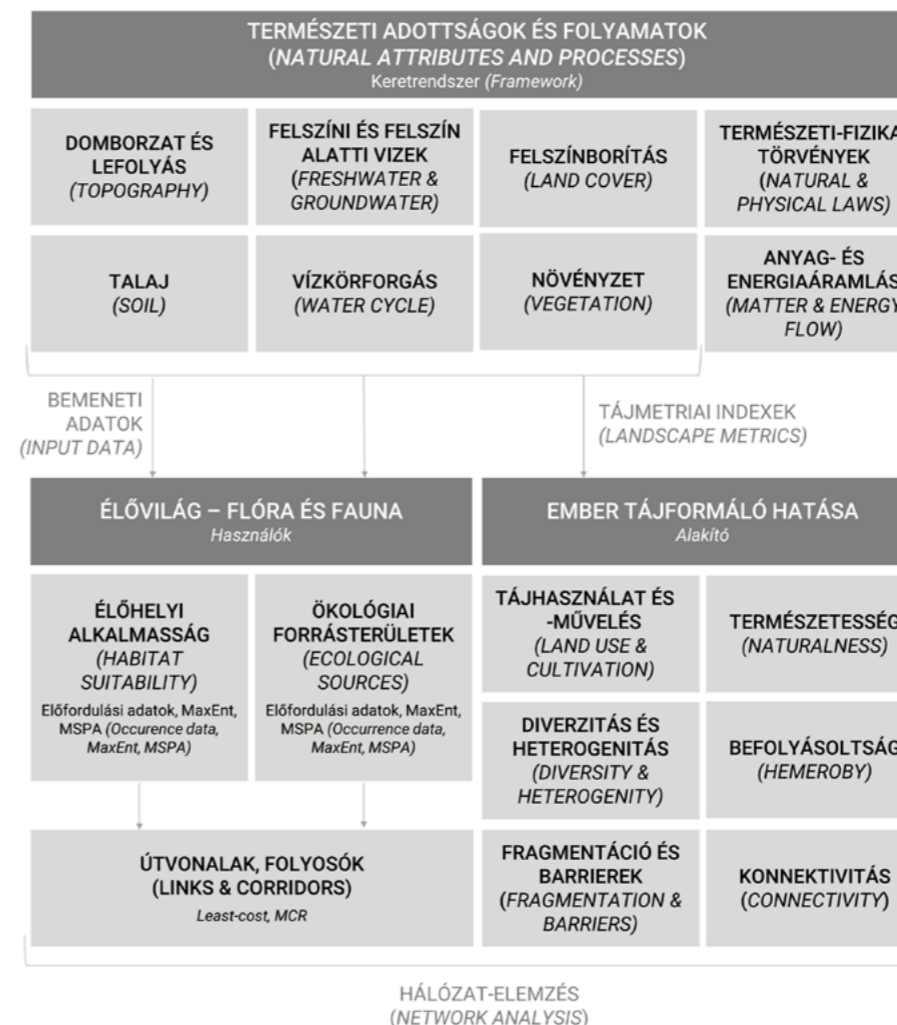
Az ökológiai hálózat modellezéséhez első lépésként a kutatók a táj foltjait értékelik, kategorizálják vagy írják le különféle mérőszámokkal. Ez a folyamat, megközelítéstől

függően, fókuszálhat egy adott faj szempontjából mért élőhelyi alkalmasság megállapítására, vagy éppen a tájat általánosan leíró indexeket számítanak. A hálózat-modellezés gyakran ezekre a mutatókra alapoz.

Kutatások objektivitásának bizonyítására az élőhely-alkalmasság megállapításához faji eloszlás modelleket (SDM) alkalmaznak mint a MaxEnt vagy az MSPA (*morphological spatial pattern analysis*) modellek. Ezekben a modellekben a fajok előfordulási adataira, konkrét megfigyelésekre alapoznak, figyelembe véve a táji adottságokat, a foltok szerkezetét és a faj speciális preferenciáit. A MaxEnt modellt a kutatások inkább a fajok szempontjából az ökológiai alkalmasság megállapítására használják [8], míg az MSPA elemzés a táj szerkezetét, a foltok alakijellemzőit is figyelembe veszi, amelynek használatával az ökológiai forrásterületek határozhatók meg [12, 18, 20]. A bemeneti adatok esetében az előfordulásoknál fontos, hogy valós, letisztított, nem elavult adatbázissal dolgozzunk [9, 22].

A tájmetriai mérőszámokat a foltok geometriájának leírására és a táj szerkezetének, kapcsolatainak feltárássára használják. A kerület-területi mérőszámok, egyéb alakijellemzők, magterületek és szegélyek mérése gyakran alkalmazott elemzések, ám ezek mellett az ökológiai hálózat szempontjából legfontosabb indexek a szomszédossági, a konnektivitási és izolációs, fragmentációs mérőszámok [23]. Ezek közül a konnektivitási mutatókat emelnénk ki, amelyek a foltok összekapcsoltságát számszerűsítik. Közülük a szakirodalom szerint ajánlott mérőszámok az IIC (Integral Index of Connectivity) és a PC (Probability of Connectivity), mivel mindkét mutató képes a kulcsfontosságú foltok meghatározására [24]. A tájmetriai indexek számítására FRAGSTATS a leggyakrabban használt szoftver. A konnektivitási mutatók nemcsak a hálózat modellezésére, hanem egy meglévő hálózat értékelésére is alkalmazható indexek [11].

A konnektivitás mellett a fragmentáció, azaz a szeparációt okozó tájelemek jelenlétének vizsgálata kulcskérdése az ökológiai hálózatnak. Fragmentáló elemek lehetnek a vonalas létesítmények (utak, vasutak, folyóvizek), vagy éppen foltszerű elemek (települések, iparterületek, egyéb antropogén felszínek, az üzemszerű mezőgazdasági területek és szennyezőforrások) [25]. A fragmentációt többféleképpen is számszerűsíthetik, de a leggyakrabban alkalmazott technika a rácsháló módszer, amely egy adott területre vetítve mutatja a feldarabolódottság mértékét [26].

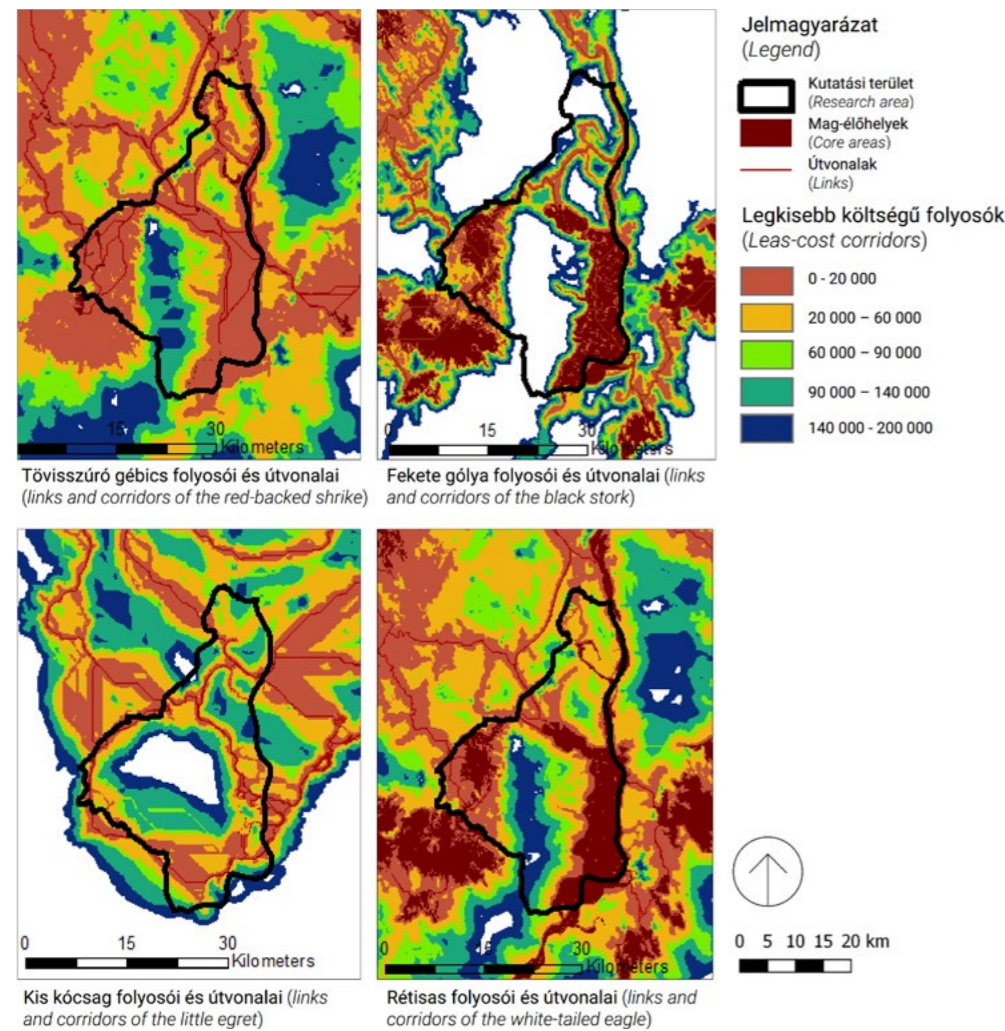


of the landscape. In addition to perimeter-area and other shape-related indicators, core area and edge metrics, the most important indicators for the ecological network are contiguity, connectivity and isolation/fragmentation metrics [23]. Among these, we would highlight connectivity indicators, which measure the possible connections between patches. From these metrics, the IIC (Integral Index of Connectivity) and PC (Probability of Connectivity) are the recommended indicators according to the literature, as both are able to identify key patches [24]. FRAGSTATS is the most commonly used software for calculating landscape metric indices. Connectivity indices can be used not only to help model a network but also to evaluate an existing network [11].

In addition to connectivity, fragmentation, i.e. the presence of landscape elements that cause separation, is a key issue for the ecological network. Fragmentation elements can be linear features (roads, railways, rivers) or patches (settlements, industrial sites, other anthropogenic surfaces, agricultural land and pollution sources) [25]. Fragmentation can be quantified in several ways, but the most commonly used technique is the grid method, which shows the degree of fragmentation over a given area [26].

Factors that describe landscape structure like heterogeneity, landscape pattern or diversity and the impact of human influence are also often integrated into ecological network modelling. For example, Shi et al's 2020 research based network modelling on examining landscape pattern changes and identifying key drivers. For this, they considered topography, land cover (including fragmenting roads and settlement areas), among others, as input data [18].

The principle of "least-resistance" is commonly used by modellers to define ecological linkages, routes and corridors. These calculations look for connections between patches of "cores" or "source areas" based on a resistance map. The MaxEnt or MSPA methods mentioned above are often used to produce resistance maps, but models may also include landscape metrics and other species-specific considerations. In addition to the resistance map, it is also necessary to provide a dispersal distance that represents the maximum distance that the species are able to bypass between two core habitats. Two source areas are connected if a path can be drawn between them based on a resistance map with a length less than a dispersion value. The chosen GIS software then displays the shortest optimal path between the



2. ábra/ Fig. 2: Példa hálózat-elemzésre least-cost módszerrel: négy különböző ökológiai igényű madárfaj táji léptékben modellezett folyosói és útvonalai. A térképek előállításához a Linkage Mapper kiegészítőt használtuk / Example of least-cost analysis: corridors and routes were modelled on a landscape scale for four bird species with different ecological needs. The Linkage Mapper plugin was used to produce the maps

A táj szerkezetét leíró mutatókat mint heterogenitás, mintázat, diverzitás, valamint az emberi befolyásoltág leírását is gyakran integrálják ökológiai hálózat modellezésébe. Shi és társai 2020-as kutatása például a tájmintázat változásainak vizsgálatára és a fő befolyásoló tényezők megállapítására alapozta a hálózati modellezést. Ehhez bemeneti adatként – többek között – a domborzatot, a felszínborítást (köztük a fragmentáló utakat és települési területeket) vették figyelembe [18].

Az ökológiai kapcsolatok, útvonalak és folyosók meghatározására általában a „legkisebb ellenállás” elvét használják a modellezők. Ezek a számítások foltok közti kapcsolatot keresnek a „magok” vagy „forrásterületek” között egy ellenállás-térkép alapján. Az ellenállás-térképek készítésére a fent említett MaxEnt vagy MSPA módszerek is gyakran alkalmazottak, de tájmetriai mutatókat és egyéb fajspecifikus szempontokat is tartalmazhat. Az ellenállás-térképen kívül még szükséges egy diszperziós távolság megadása, amely azt reprezentálja, hogy mi az a maximális távolság, amelyet a faj megtesz két mag-élelőhely között. Két forrásterület között akkor van kapcsolat, ha azok között olyan útvonal húzható az ellenállás-térkép alapján, amelynek hossza diszperziós értéknél kisebb. Ezek után

a választott térinformatikai program megjeleníti a magok közti legrövidebb, optimális útvonalat. A kapcsolatok feltárására alkalmazott eszköz a least-cost path módszer [8-11, 27], vagy az MCR (*minimum cumulative resistance*) model [13-16], amelyek ezen az elven működnek. Például az ArcMap szoftver Linkage Mapper kiegészítője a least-cost path módszert alkalmazza, a leoptimalisabb útvonalakon kívül a területi eredményt is ad arra nézve, hogy az állat milyen valószínűséggel fogja az adott folyosót használni az útja során. A valószínűség az optimális útvonaltól az ellenállás-térkép függvényében csökken (2. ábra).

A komplex módszertant használó kutatások általában az eszközöket kombinálják, számítások széles tárházát alkalmazzák annak érdekében, hogy az eredmény a lehető legtöbb szempontot integrálja. A modellek, főleg a közelmúlt kutatásai esetében, egyre bonyolultabbak, több tényezőt vesznek figyelembe, ezzel objektivebb és átfogóbb eredményre törekcszenek. Ugyanakkor fontos kijelenteni, hogy az adatszolgáltatás minőségétől a számítások nagyban függenek, ezért azok minőségére, összehasonlíthatóságára feltétlen törekedni kell. Lehet bármilyen széles az alkalmazott mutatók spektruma, ha eleve fals, vagy éppen elavult adatokra alapozunk.

cores. The least-cost path method [8-11, 27] or the MCR (minimum cumulative resistance) model [13-16], which work on this principle, are used in today's studies to identify the connections. For example, the Linkage Mapper plugin for ArcMap software uses the least-cost path method; in addition to the most optimal paths, it also provides the spatial result of the probability that an animal will use as a corridor during its journey. The probability decreases from the most optimal path as a function of the resistance map (Figure 2).

Research using a complex methodology usually combines tools, including a wide range of calculations, in order to integrate as many aspects as possible. Models, especially in recent research, are becoming more complex, taking into account more factors and thus aiming for more objective and comprehensive results. At the same time, it is important to state that the quality of the data is highly dependent on the quality of the calculations, and it is therefore essential to strive for quality and comparability. Our model can use a wide range of comprehensive indicators, but the results will be skewed if the input data is outdated or incorrect.

CONCLUSIONS

The first methodologies relied much more on the participation of the planner, the stakeholders and professionals in defining the network. The national ecological networks were still being outlined during this period, so most of them – including the Hungarian National Ecological Network – were established through a series of discussions and decisions. As the toolkit expanded and the potential of geospatial technology became more widespread, delineation methods shifted towards spatial information, landscape metrics and statistical models, as opposed to empirical and decision-based methods. Recent research has thus moved away from the aspects of feasibility and legislation; it does not strive for legal compliance, and its proposals often go against fundamental socio-economic needs and interests. Rather than aiming for legal compliance and implementation, these studies support specific, local interventions (e.g. creation of wildlife crossings,

buffers, restoration of links) and do not aim to improve the functionality of the whole network [28, 29].

Despite the development of tools, these new methods have often failed to integrate into national networks. This may be partly due to differences in scale, as these studies are carried out on a regional scale, which can only be transposed and integrated on a national-international scale through further planning, with the summary of different methodologies and results, involving decision-makers and professionals of various fields [7]. For this reason, they can be used more as a theoretical framework or as an evaluation on the functioning of the legal network for the authorities, but there is not always a need for regional planners or legislators to review legal networks.

SUMMARY

The first initiatives to define an ecological network started at the end of the 20th century, but the concept flourished in the 2000s, when most European countries established national and international networks. Methodologies have become more precise and objective with the development of spatial data analysis and landscape metrics, and a wide range of tools and indicators are now available for modelling. However, their application in unsigned networks is still a long way off, due to both feasibility and fit problems relating to the models and limitations in decision making and frameworks. ©



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

KÖVETKEZTETÉSEK

Az első módszertanok kialakításánál a tervező és az érintettek, szakemberek részvételére sokkal inkább építettek a hálózat meghatározásában. Az országos ökológiai hálózatok még ebben az időszakban körvonalazódtak, így a legtöbb – a hazai országos ökológiai hálózat is – egyeztetések és döntések sorával jött létre. Az eszköztár bővülésével és a térinformatikai lehetőségek elterjedésével a lehatárolási módszerek a térinformatikai, tájmetriai eszközök és a statisztikai modellek irányába tolódtak a tapasztalati és döntés-alapú módszerekkel szemben. A közelmúlt kutatásai ezáltal eltávolodnak a megvalósíthatóság, érvényesíthetőség szempontjaitól, nem törekednek a jogszabályi illeszkedésre, javaslataik gyakran szembe mennek alapvető gazdasági-társadalmi igényekkel, érdekekkel is. Fontos kijelenteni ugyanakkor, hogy ezen kutatásoknak a jogi illeszkedés és megvalósítás nem is célja, inkább helyi és egyedi beavatkozásokat (pl. vadátjárók létesítése, pufferek kialakítása, kapcsolatok helyreállítása) támasztanak alá, nem pedig komplett hálózati működőképességet javítanak [28, 29].

Az eszközök fejlődése ellenére, ezek az új módszerek sok esetben az országos hálózatokba nem tudtak integrálódni. Ennek oka részben a léptékbeli eltérések is lehetnek, hiszen ezek a kutatások táji-regionális léptékben készülnek, amelyek országos-nemzetközi léptékbe való átültetése, beépítése csak továbbtervezéssel és a különböző módszertanok, eredmények összefésülésével valósítható meg, a döntéshozók és más szakterületek bevonásával [7]. Emiatt inkább egyfajta elméleti keretként vagy a jogszabályi hálózat működőképességének ellenőrzéseként tudnak funkcionálni a hatóságok számára, azonban a jogi hálózatok felülvizsgálatára nem mindig van igény a területi tervezők vagy éppen a jogalkotók részéről.

ÖSSZEGRZÉS

Az ökológiai hálózat meghatározására az első kezdeményezések már a 20. század végén elindultak, azonban a koncepció virágkorát a 2000-es években élte, amikor az európai országok többsége országos és közös nemzetközi hálózatokat alakított ki. A módszertanok a térinformatikai és tájmetriai lehetőségek fejlődésével egyre pontosabbak, objektívebbek lettek, eszközök és mutatók széles skálája áll ma rendelkezésünkre a modellezésekhez. Alkalmazásuk a dezinált hálózatokban azonban még sok esetben várat magára, amelyek mind a modellek megvalósíthatósági és illeszkedési problémáiban, mind a döntéshozás és keretek korlátoltságában keresendő. ☉

- Konkolyné Gyuró, É. (2003): Környezettervezés, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest, ISBN: 9632861078
- Bennett, G. – Mulongoy, K. J. (2006): Review of Experience with Ecological Networks, Corridors and Buffer Zones. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series No. 23, ISBN: 92-9225-042-6
- Jongman, R.H.G – Külvik, M. – Kristiansen, I. (2004): European ecological networks and greenways, Landscape and Urban Planning 68, pp. 305-319, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00163-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00163-4)
- Bennett, G. – Wit, P. (2001): The Development and Application of Ecological Networks: a Review of Proposals, Plans and Programmes. Amsterdam: AIDEnvironment
- Mander, Ü. – Külvik, M. – Jongman, R.H.G. (2003): Scaling in territorial ecological networks, Landschap January
- Jongman, R.H.G. – Bouwma – I.M., Griffioen, A. – Jones-Walters, L. – Van Doorn A.M. (2011): The Pan European Ecological Network: PEEN, Landscape Ecol, Febr. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-010-9567-x>
- Filepné Kovács, K. – Valánszki, I. – Kollányi, L. – Husar, M. – Ondrejčíka, V. (2021): Gap Analysis on the Identification of the Needs for Improving the Planning Processes and Tools Related to Ecological Corridors Identification and Preservation elérhető: https://dtp.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/48/24a5c274484debe40cb1d0597d1fb81f6e6a4737.pdf
- Li, H. – Li, D. – Li, T. – Qiao, Q. – Yang, J. – Zhang, H. (2010): Application of least-cost path model to identify a giant panda dispersal corridor network after the Wenchuan earthquake—Case study of Wolong Nature Reserve in China, Ecological Modelling 221, pp. 944-952, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.006>
- Feng, H. – Li, Y. – Li, Y. – Li, N. – Li, Y. – Hu, Y. – Yu, J. – Luo, H. (2021): Identifying and evaluating the ecological network of Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*) in Tieli Forestry Bureau, northeast China, Global Ecology and Conservation 26, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01477>
- Zhao S. – Ma, Y. – Wang, J. – You X. (2019): Landscape pattern analysis and ecological network planning of Tianjin City, Urban Forestry & Urban Greening 46
- Wei, J. – Zhang, Y. – Li, Y.C. – Tian, Y. – Qian, J. – Gao, Y. – Hong, Y. – Liu Y. (2022): The impact of different road grades on ecological networks in a mega-city Wuhan City, China, Ecological Indicators 137, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126479>
- Wu, J. – Zhang, S. – Wen, H. – Fan, X. (2022): Research on Multi-Scale Ecological Network Connectivity— Taking the Guangdong-Hong Kong- Macao Greater Bay Area as a Case Study. Int. J. Environ. Res. Public Health, DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192215268>
- Li, S. – Zhao, Y. – Xiao, W. – Yue, W. – Wu, T. (2021): Optimizing ecological security pattern in the coal resource-based city: a case study in Shuozhou City, China. Ecol. Ind. 130, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108026>.
- Xu, W. – Wang, J. – Zhang, M. – Li, S. (2021): Construction of landscape ecological network based on landscape ecological risk assessment in a large-scale opencast coal mine area. J. Cleaner Prod. 286, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125523>.
- Wu, X. – Zhang, J. – Geng, X. – Wang, T. – Wang, K. – Liu, S. (2020): Increasing green infrastructure-based ecological resilience in urban systems: a perspective from locating ecological and disturbance sources in a resource-based city. Sustain. Cities Soc. 61, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2020.102354>
- Sahraoui, Y. – De Godoy Leski, C. – Benot, M. – Reversm F. – Salles, D. – Van-Halder, I. – Barneix, M. – Carassou, L. (2021): Integrating ecological networks modelling in a participatory approach for assessing impacts of planning scenarios on landscape connectivity, Landscape and Urban Planning, Volume 209, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104039>
- Jongman, R. H. G. (2012): Ecological networks: A society approach for biodiversity conservation, In: Marschall, I. – Müller, M. – Gather M. (2012): The Green Belt as a European Ecological Network - strengths and gaps, Berichte des Instituts Verkehr und Raum, Band 10 ISSN 1868-8586, DOI: <http://dx.doi.org/10.17649/TET.29.4.2689>
- Shi, F. – Liu, S. – Sun, Y. – An, Y. – Zhao, S. – Liu, Y. – Li, M. (2020): Ecological network construction of the heterogeneous agro-pastoral areas in the upper Yellow River basin, Agriculture, Ecosystems and Environment 302, 107069, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2020.107069>
- Nie, W. – Shi, Y. – Siaw, M.J. – Yang, F. – Wu, R. – Wu, X. – Zheng, X. – Bao Z. (2021): Constructing and optimizing ecological network at county and town Scale: The case of Anji County, China, Ecological Indicators 132, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108294>
- Jongman R.H.G. – Veen P. (2007): Ecological networks across Europe, Zeist, the Netherlands, KNNV. pp. 141-168, DOI: <http://dx.doi.org/10.3280/TR2011-058005>
- De Montis, A. – Bardi, M.A. – Ganciu, A. – Ledda, A. – Caschili, S. – Mulas, M. – Dessena, L. – Modica, G. – Laudari, L. – Fichera, C.R. (2014): Landscape planning and ecological networks, Part A. A Rural System in, TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment, DOI: <http://dx.doi.org/10.6092/1970-9870/2485>
- Roekaerts, M. – Opermanis, O. (2018): Status of the Emerald Network of Areas of Special Conservation Interest (ASCI) in 2018, Convention on the conservation of European Wildlife and Natural habitats, T-PVS/PA (2018) 11
- Szabó Sz. (2009): Tájmetriai mérőszámok alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a tájanalízisben, habilitációs értekezés, Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék, 2009
- Pascual-Hortal, L. – Saura, S. (2007): Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity. Landscape and Urban Planning 83: 176-186, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.04.003>
- Linehan, J. – Gross, M. – Finn, J. (1995): Greenway planning: developing a landscape ecological network approach, Landscape and Urban Planning 33 179-193, DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(94\)02017-A](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)02017-A)
- Blasi, C. – Zavattero, L. – Marignani, M. – Smiraglia, D. – Copiz, R. – Rosati, L. – Vico, E. D. (2008): The concept of land ecological network and its design using a land unit approach', Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 142:3, 540 – 549, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/11263500802410892>

- Romportl, D. – Kluchova, A. – Hlaváč, V. – & Strnad, M. – Vlková, K. – Janák, M. – Kadlečík, J. – Zýka, V. – Papp, Cristian-Remus. (2021): Methodology for Identification of Ecological Corridors in the Carpathian Countries by Using Large Carnivores as Umbrella Species, elérhető: https://www.researchgate.net/publication/354342656_Methodology_for_Identification_of_Ecological_Corridors_in_the_Carpathian_Countries_by_Using_Large_Carnivores_as_Umbrella_Species
- Sedy, K. – Plutzar, C. – Borgwardt F. – Danzinger, F. – Jurečka, M. – Grillmayer, R. (2022): A Methodology for Standardised Monitoring of Ecological Connectivity – Guidelines for the Analysis of Structural and Functional Connectivity, Danube Transnational Programme DTP3-314-2.3 SaveGREEN project, Environment Agency Austria, Vienna, Austria, ISBN 978-3-99004-659-3,
- de Boer, C. – Vinke-de Kruijf, J. – Özerol, G. – Bressers, H. (2006): Collaborative Water Resource Management: What makes up a supportive governance system?. Env. Pol. Gov., 26, pp: 229-241. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/eet.1714>

ALKALMAZKODÁS A BIZONYTALANSÁGHOZ: MEZŐGAZDASÁGI GYAKORLATOK ÉS POLITIKÁK AZ GHAB-SÍKSÁGON, SZÍRIÁBAN

ADAPTING TO UNCERTAINTY: AGRICULTURAL PRACTICES AND POLICIES IN GHAB PLAIN, SYRIA

AUDA, AMMAR | SZILVÁCSKU ZSOLT MIKLÓS

ABSZTRAKT

A szíriai Ghab-síkság, amely történelmileg jelentős mezőgazdasági régió Szíriában, 2011 óta mélyreható kihívásokkal szembesült a folyamatos konfliktus következtében. Ez a tanulmány a Ghab jelenlegi mezőgazdasági termelésének állapotát vizsgálja, és elemzi, hogy a vidéki megélhetés hogyan alkalmazkodott a szíriai konfliktus által okozott társadalmi-gazdasági és környezeti zavarokhoz. Esettanulmányok segítségével, a régió mezőgazdasági szövetkezeteiben tevékenykedő hét, kulcsfontosságú interjúalannyal készült, félig strukturált interjúk során gyűjtött adatokat dolgoz fel. A kutatás rámutat a mezőgazdasági ágazat hanyatlására, amelynek fő okai a sérült öntözési infrastruktúra, a növekvő termelési költségek és az elégtelen kormányzati támogatás. Ennek következtében sok gazda áttért a kisüzemi gazdálkodásra, amely a háztartási önellátásra, a növénytermesztés diverzifikálására és a

háziállattartásra összpontosít. A tanulmány szerint a Ghab mezőgazdasági ellenálló képességének fokozása érdekében elő kell segíteni az organikus trágyák használatát, növelni kell a helyi takarmánytermelést, és be kell vezetni a szerződéses gazdálkodást. Az öntözési infrastruktúra helyreállítása szintén kritikus fontosságú. Ezek az eredmények rávilágítanak a vidéki közösségek ellenálló képességére a nehézségekkel szemben, és betekintést nyújtanak azokba a szakpolitikai intézkedésekbe, amelyek támogatják Szíria mezőgazdasági szektorának helyreállítását. További összehasonlító tanulmányokra van szükség Szíria különböző régióiban, hogy teljes mértékben megértsük a konfliktus mezőgazdaságra gyakorolt eltérő hatásait.

Kulcsszavak: mezőgazdasági ellenálló képesség, vidéki megélhetés, szerződéses gazdálkodás, Ghab síkság, Szíria ●

ABSTRACT

Ghab Plain is a historically important agricultural region in Syria. Since 2011, the Syrian crisis has impacted its agricultural productivity, and worsened socio-economic conditions. This study investigates the current state of agricultural production in Ghab and examines how rural livelihoods have adapted to the socio-economic and environmental disruptions caused by the Syrian crisis. Using a case study approach, data were collected through semi-structured interviews with seven key informants from agricultural cooperatives in the region. The research highlights the decline of the agricultural sector primarily due to damaged irrigation infrastructure, escalating production costs, and insufficient government support. In response, many farmers have shifted to small-scale farming focused on household self-sufficiency, diversifying crop production, and raising domestic livestock. The study suggests that enhancing agricultural resilience in Ghab requires promoting organic fertilizers, increasing local feed production, and implementing contract farming. The rehabilitation of irrigation infrastructure is also critical. These findings underscore the resilience of rural communities in the face of adversity and offer insights into policy measures that could support the recovery of Syria's agricultural sector. Further comparative studies across different Syrian regions are needed to fully understand the varying impacts of the conflict on agriculture.

Keywords: agricultural resilience, rural livelihoods, Contract farming, Ghab Plain, Syria

1- INTRODUCTION

Ghab Plain is a fertile and expansive flat plain located within the triangle formed by the provinces of Hama, Idlib, and Latakia. It is intersected by the Orontes River. The Plain has been the focus of significant government interventions. In 1952, Ghab Project Administration conducted the necessary studies regarding draining the Ghab swamp [1]. After reclamation, the newly acquired lands were distributed based on a socio-economic plan as outlined in the Agricultural Reform Law of 1969, with an average allocation of 2.5 hectares per households. Large irrigation networks were also constructed and became the primary source of irrigation water for the newly established agricultural system which was complemented by the establishment of agricultural cooperative associations [2].

The onset of the Syrian crisis in 2011 was driven by various factors such as the complexity of the political and social structure, as well as multilateral foreign and regional factors. The crisis has adversely affected the agriculture sector in Syria, leading to changes in land use patterns and a reduction in agricultural production. Rural

life has unquestionably come under significant security pressure during the Syrian crisis. The crisis resulted in the destruction of a significant proportion of villages in Ghab Plain. Even though, a considerable part of the population remained in other villages, agricultural production declined, and the nature of this production underwent significant changes [4].

Several studies have been conducted to understand agriculture development processes in the region. Hamade [5] demonstrated that the Ghab region in Syria is experiencing over-exploitation of groundwater aquifers due to increased agricultural development and population growth. Khadrah [6] discussed the decline of cotton cultivation and the expansion of wheat cultivation in the Ghab zone between 2005 and 2013. The main reasons for this shift were the lack of proportionality between the price and production costs of cotton, and the rise in the price of diesel, a key factor in cotton cultivation. Ciaschini [7] analysed economic policies for improving female labour participation and food security in the Ghab region of Syria.

This study aims to address some knowledge gaps. Firstly, there is lack of socio-economic studies that focus on the rural community in Syria, particularly after the onset of the crisis in 2011. Secondly, Ghab Plain gained more significance after the outbreak of the crisis, particularly in its contribution to the agricultural production sector in Syria. Therefore, the goal of this study is to improve the comprehension of the economic and social conditions in the region and assess the effectiveness of agricultural policies. Furthermore, this study aims to discuss the adaptation processes that have taken place during the Syrian crisis and the prospects for resilience. To address these knowledge gaps, this study explores the following research question: What is the current state of agriculture in Ghab Plain, and how do those living in rural areas adapt to the changes that have occurred during the Syrian crisis concerning agricultural policies and economic decline? The study investigates this topic through interviews with seven key individuals belonging to agricultural cooperatives in Ghab Plain.

2- STUDY AREA

Ghab Plain is considered one of the most important agricultural regions in Syria due to its fertile soil and the diversity of its water sources. the plain extends for approximately 80 kilometres in length and 10–20 kilometres in width, covering 141,000 hectares and with an estimated population of around 300,000 people [1], [2]. The region is bounded to the west by the coastal mountain range, with heights reaching up to 1500 meters, with an elevation of 600 meters (Fig. 2). The city of Jisr al-Shughur lies to the north, and to the south is the plateau of

Masyaf [8]. With an elevation ranging from 150 to 180 meters above sea level (Fig. 2). Ghab Plain is traversed by the Orontes River, and is endowed with numerous springs on its eastern and western edges (Fig. 1). The annual precipitation rates vary between 350 and 1200 mm, with the highest rainfall rate typically observed in the western part near the coastal mountain range, and decreasing further eastward and southward within the plain [1], [2], [3].

3- METHODOLOGICAL APPROACH:

To investigate how farmers in Ghab Plain have adapted to changes in agricultural policies and economic decline during the Syrian war, seven in-depth, semi-structured interviews were conducted with key individuals belonging to agricultural cooperatives in Ghab Plain. An interpretive, constructionist approach was employed to analyse interviewees' experiences, opinions, and perceptions of reality [9]. A case study methodology was chosen to facilitate detailed analysis of the changes in agricultural policies and economic conditions [10]. This study utilized purposive and snowball sampling techniques [9]. The interviewees were selected through outreach with the general authority for Ghab Plain management and the general union of peasants (Agricultural Cooperatives in Ghab Plain), and by snowball sampling by asking interviewees to suggest other possible ones.

Seven open-ended questions served as guidelines for the semi-structured interviews [9]. The interviewees were provided with the following questions before the interview:

1. How has the social and community situation in Ghab Plain changed from 2010 to 2023?
2. What crops and livestock do you manage, and how has your agricultural production changed during the conflict?
3. What farming practices have you modified in the past five years, and why?
4. What are the current challenges on your farm?
5. How would you describe the implementation of agricultural and irrigation policies in Ghab Plain?
6. How have environmental factors and climate variations influenced agriculture in Ghab Plain?
7. What recommendations do you have for improving agricultural resilience amidst economic decline?

Interviews, conducted face-to-face in Arabic in July and August 2023, lasted 25–60 minutes and were audio-recorded. Transcripts were coded, and thematic analysis was applied to identify key concepts and insights, with direct quotations included to support findings. Data saturation was typically achieved after six or seven interviews, as per the ≤5% new information threshold [11]. Secondary data from the Central Bureau of Statistics and the Ministry

of Agriculture supplemented the analysis, providing additional context on agricultural changes in Ghab Plain.

4- RESULTS AND DISCUSSION:

The main subjects and topics discussed by the interviewees will be presented in four main sections regarding to the community conditions, economic challenges, adaptation processes and resilience prospects, respectively. No personal details are included. Most of the interviewees are second or third-generation farmers after the establishment of Ghab agriculture system in 1959, with ages ranging from their 40s to their 60s.

4-1- Community conditions and living expenses:

Like other rural regions in Syria, Ghab Plain experienced a sustained period of stability before the Syrian crisis. With agriculture serving as a major contributor to the income of the rural community, the substantial agricultural support provided by the government was the principal factor underlying the prosperity of agriculture in the plain as in all rural Syria [12]. Nevertheless, despite agriculture being a substantial source of income for the Ghab Plain community, there was a clear trend towards urbanization. The non-agricultural income sources were enticing for many who left their villages and headed to the city in search of employment due to Syria's economic stability and the general improvement in wages and salaries. This trend became especially conspicuous during the three-year drought period from 2008 to 2010 [13], leading to tens of thousands of people migrating to urban areas in pursuit of appealing job opportunities [14].

With the onset of the crisis in Syria, social conditions began to change dramatically. Ghab Plain, which is characterized by its social and religious diversity and strategic location, connecting the Syrian coast with the interior through a series of coastal mountains, became a contested area during the war. The inhabitants experienced a lack of security and stability, leading to significant societal transformations. Many locals actively participated in the war, primarily to defend their villages and homes, while others relocated to safer areas, one of the interviewees says *"The onset of the first attacks in Jisr Al-Shughur in the western Idlib countryside led to a complete change in the situation in all villages in Ghab Plain. You know, how things went on that side of the plain. Popular committees were formed in each village with government support, and many young men joined fighting camps based on their religious and ethnic affiliations"*.

The instability in Ghab Plain led to several difficulties, including transportation disruptions, the inability to access agricultural lands, and occasional interruptions in education due to the inability to reach schools.

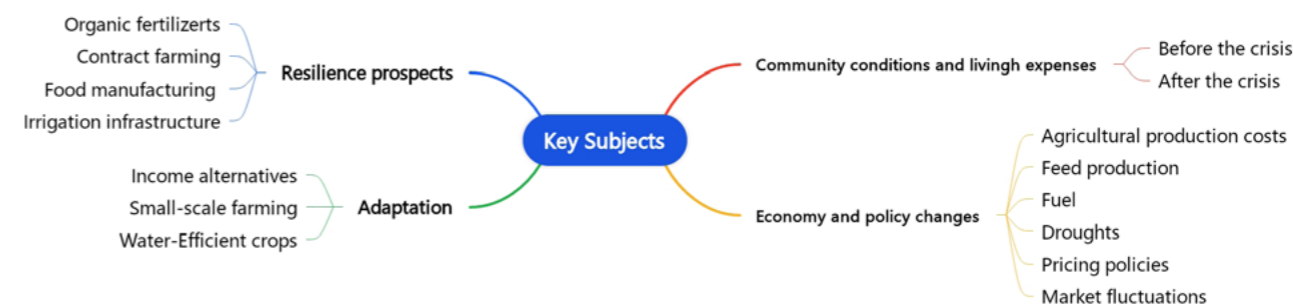
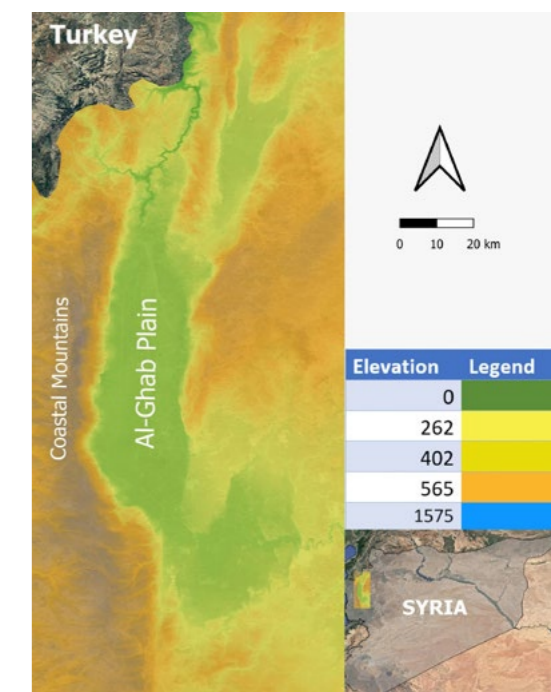
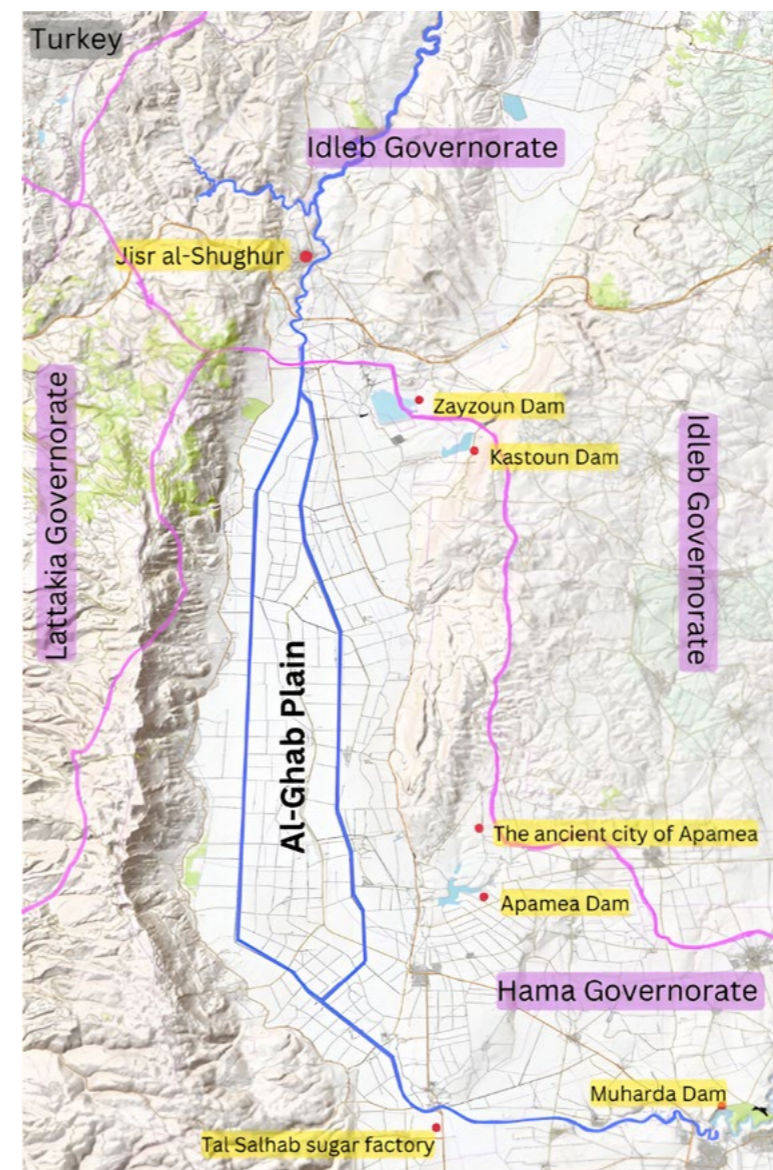
Fig. 1: Al-Ghab plain map with Orontes River stream Channels through the plain

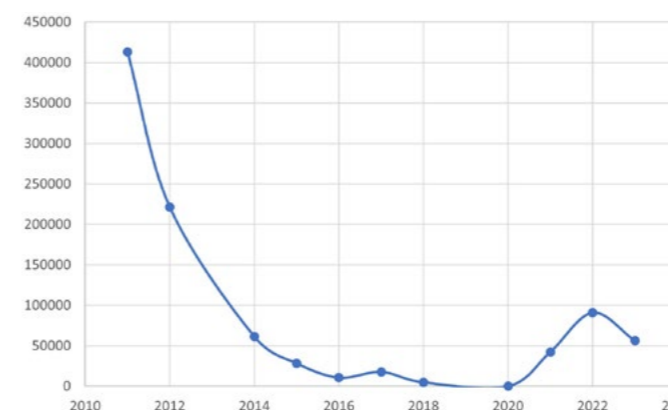
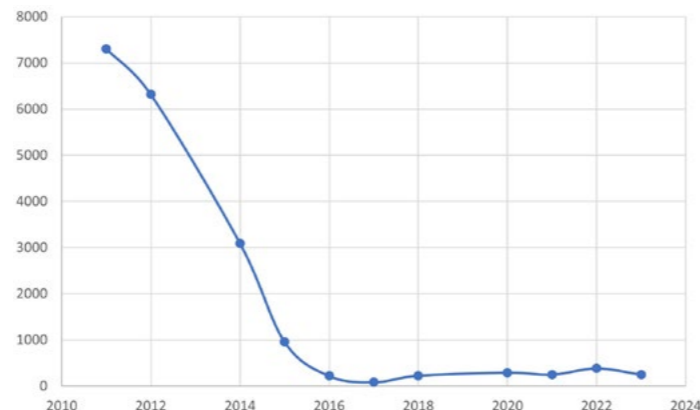
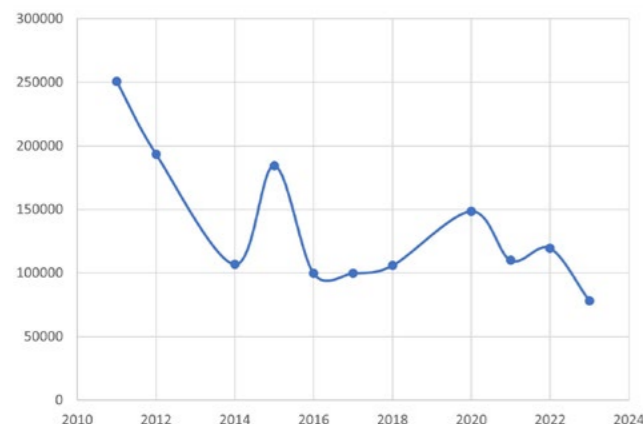
BASE MAP WAS SOURCED FROM OPENSTREETMAP.ORG

Fig. 2: Digital Elevation Model for AL-Ghab Plain.
 SRTMGL1_NC.003_SRTMGL1_DEM

HTTPS://APPEARS.EARTHDATA.CLOUD.NASA.GOV/

Fig. 3: Summary of interview results into four key subjects, and specific topics discussed by the interviewees





◀◀ Fig. 4: Wheat production (tons) in Al-Ghab Plain (2011-2023) [21]

◀◀ Fig. 5: Cotton cultivated area (ha) in Al-Ghab Plain (2011-2023)

Fig. 6: Sugarbeet production (tons) in Al-Ghab Plain (2011-2023) [21]

As detailed by one of the interviewees “Agricultural production in Ghab Plain declined significantly during the Syrian war and getting produce to the market was sometimes extremely challenging due to the chaos that accompanied the conflict, not always due to the war itself, but because of the chaos that accompanied the conflict, including incidents of road blockades and theft at certain stages.” However, the economic conditions for the population were not extremely poor in terms of income, food availability, and cost of living, even though the latter did rise because of the war. Nevertheless, this increase was gradual until the end of 2019 [15].

Rural families, both poor and relatively affluent, have turned to agriculture to secure food and combat the decline in living standards due to the depreciation of the Syrian currency, and the decrease in salaries and non-agricultural sources of income due to inflation [16]. One interviewee states: “Despite the war, the cost of living was much cheaper than the current situation, and there was no hunger. Even from an agricultural perspective, all agricultural requirements were available. During 2018 and 2019, it was believed that the war had ended and the situation in the country would improve, but no one knew what was coming.”

After years of militarization, volatility, and insecurity, and after many attempts to calm the situation, a long-term ceasefire agreement was reached between the government and the military opposition forces stationed in Idlib in the fall of 2019. This led to an improved sense of security and stability in the villages of the plain, positively influencing lifestyle patterns and the agricultural sector. However, it did not take long before a sharp economic downturn occurred at the beginning of 2020 due to the spread of the COVID-19 pandemic and international sanctions, especially the Caesar Act, on Syria [17]. In addition, the Syrian economy was affected by the financial crisis in

Lebanon in August 2019 and the bankruptcy of Lebanese banks, which were a major means of transferring money between Syria and other countries in light of the international isolation of Syria. The crisis in Lebanon contributed to the decline in the value of the Syrian pound and the rise in prices of goods and services in Syria [18].

Despite the abatement of the military conflict, the economic situation has not improved, and the poverty rate continues to rise, alongside a significant drop in the exchange rate and the country’s transformation into an importer of basic goods in the worst economic crisis in recent history, as reported by UNICEF [19]. Social changes have also developed in an unexpected direction. In the past, getting a public sector job was a dream, but now government jobs are not desirable due to the low wages.

On the other hand, agriculture has become more important and necessary for earning a living. Many people in rural areas have turned away from education and prefer to search for any work that can help them earn money, such as daily wage agricultural work or professional work. As one of the interviewees explained “Nowadays, everyone is farming in whatever available space they can find, not with the goal of selling the produce for profit but primarily to have food to eat. The exchange rate is tragic, which means that there is no point in pursuing an education when your future job will not even cover the cost of feeding your family.” Since then, a new and different hardship emerged in Ghab Plain, characterized by rising living costs, agricultural production challenges, and the availability of production necessities, in addition to the challenges of agricultural and support policies.

4-2- Economy and policy challenges:

Ghab Plain has 87,000 hectares of arable land available for agricultural investment. Out of this, 79,220 hectares

are irrigated, with 59,955 hectares being irrigated through government-run irrigation networks and 19,265 hectares through wells [21].

One of the unique features of Ghab Plain was the high percentage of strategic crops in the overall crop composition. Wheat, cotton, and sugar beet were grown on 86% of the cultivated land in the agricultural system. Sugar beet held relatively high national importance, as it was grown on more than 11% of the cultivated land and represented more than 33% of the total cultivated area before the crisis. Additionally, the region contributed to cotton production to a lesser extent, with cotton being cultivated on 14% of Ghab arable land [3]. However, statistics from the Ministry of Agriculture and Agricultural Reform reveal a substantial decrease in Ghab Plain’s agricultural production, pointing towards a decline in the output of most crops, and specifically these three strategic crops (Figures 4, 5, and 6) [21].

During the war in Syria, the lack of effective enforcement of legal regulations and the prevailing chaotic conditions led to the looting, vandalism, and damaging of many pumping stations, irrigation canals, and dams. The crisis affected the infrastructure of irrigation canals that are the cornerstone of agriculture in the plain: five dams and collection points were subject to demolition and destruction in the plain. According to Haj Asaad [4], the water volume flowing in the Ghab Plain network fell from an annual rate of 1.5 billion cubic meters to 0.5 billion cubic meters.

In 2019, a rapid economic decline meant that farmers in Ghab Plain faced high production costs, while the cost of diesel soared, making it more expensive to operate diesel-powered pumps to irrigate crops. In addition, the high prices have also led to a lack of quality inputs for farmers in the Ghab Plain. This includes a lack of quality seeds, fertilizers, feed, and other inputs that are necessary

for successful crop production. Climatic conditions and water availability significantly influenced wheat cultivation, especially in the 2014, 2020 and 2021 seasons. This is due to the fact that a substantial amount of wheat farming relies on rainfall, making it a key factor in yield determination [20].

Regarding the climatic conditions, one of the interviewees notes: “During the war, there was a period of drought that required us to use four diesel pumping engines to transfer irrigation water from one source to another four times to reach our fields. Despite the challenging circumstances, we were able to do this at a low cost and even gained a profit.” The Ministry of Agriculture determines the prices of strategic crops before each season. This pricing strategy is supposed to guarantee farmers a profit and to maintain steady production. Regrettably, the substantial inflation of recent years has disrupted this stability. All interviewees state that the government’s pricing is unjust, causing numerous farmers to avoid delivering their wheat production to the governmental institutions. As explained by one of the interviewees “The expense of producing wheat is significantly high when compared to the set price. This discrepancy is particularly noticeable as the pricing is determined based on the average yield per area, which is often overestimated compared to the actual yield.”

As for cotton and sugar beet, which are solely marketed to state institutions, this pricing policy holds greater importance and serves as a crucial factor in determining whether farmers decide to grow these crops. Cotton production has experienced a sharp decline since the onset of the crisis in Syria, especially in Ghab Plain [21]. The primary cause of this decline is the inadequate availability of water resources for irrigation, since cotton requires a significant amount of water. On the other hand, Ghab Plain in Syria was a significant contributor to the

nation's sugar beet production, accounting for about a third of the total cultivated area. Tal Salhab sugar factory, located in the Ghab Plain, ceased sugar production in 2014 and instead began supplying sugar beet as feed to the General Fodder Corporation. In the 2016, 2017, and 2018 seasons, the plain was the only agricultural system in Syria where sugar beet was cultivated.

With the beginning of the **economic collapse** in 2020, the increase in the cost of imports, and the shortage of foreign currency, the government tried to encourage the return of sugar beet cultivation. The purchasing price was raised, and Tal Salhab factory resumed operations in the 2022 season. However, the revival was short-lived due to high operating costs, as well as the poor quality of the crop supplied to the factory due to adverse weather conditions that caused fungal diseases. During the 2023 season, the persistent inflation and delayed payments compelled many farmers to sell their crops directly to sheep farmers. As one interviewee explained *“Currently, sugar beet farmers are experiencing the biggest losses in their history. The transportation costs of the crop are high, and the reception of the crop at the factory is very slow. However, sheep farmers have a favorable opportunity to purchase the crop directly from the farmers at a price of 500 SP as feed. This is a better option for them since the price of a kilogram of hay, which they usually rely on, is 800 SP.”*

Similarly, when discussing **fuel**, it is worth noting that the Syrian government has lost access to its oil resources, except for a portion of natural gas. Currently, Syria relies on imports from other countries to meet its fuel and oil derivative needs. The surge in fuel prices has led to a comprehensive increase in the cost of production necessities, including the operation of agricultural machinery used in farming, land preparation, harvesting, and transporting produce to the market, as well as the cost of pumping irrigation water [22]. The issue is not limited to price increases, but also extends to the reduction of allocations distributed by government entities. A new struggle has emerged concerning the adequacy of allocated quantities, and securing them has become a major challenge for farmers, threatening their ability to continue the production process. This has forced many farmers to purchase fuel at parallel free-market prices. Agricultural materials, like fuel, are procured through imports, which is reflected in their prices and the quantities available for subsidies, particularly in light of the depreciation of the Syrian pound.

The livestock industry has been severely impacted by inflation and the surge in prices. Numerous animal feed production facilities have been forced to cease operations due to the prohibitive costs of fuel. This has led to a significant reduction in the production of local feed, forcing livestock breeders to resort to more costly imported alternatives. Consequently, many breeders have suffered

financial losses. As one of the interviewees states *“There is a significant disparity between the cost of animal feed and the market prices for milk. This discrepancy has forced many dairy farmers to sell their cows due to the high cost of concentrated feed.”*

The absence of favorable **market conditions** is another issue that arises for many crops. This is mainly due to the lack of proper price regulation, which has made prices vulnerable to market fluctuations and supply and demand dynamics. As a result, farmers feel insecure, which has negatively impacted production, continuity, and the quality of the crops they grow. In this context, the government is trying to allow exports in cases of surplus production of a certain crop, aiming to secure the sale of the surplus and ensure the profitability of the farmer. However, this policy raises market prices at a time when citizens are suffering from a decrease in living standards. As such, it is not an ideal policy under the current circumstances.

Taking the above information into account, the general timeline of the Syrian conflict can be categorized into three phases: The first phase, lasting from 2011 to 2016, was characterized by war and military operations as the primary factors leading to the decline in agricultural production. In the second phase, between 2016 and 2019, there were signs of returning economic stability as the Syrian pound remained relatively steady, fluctuating at approximately 500 pounds per dollar [18]. This stability was influenced by the limited intensity of the ongoing conflicts and consistent trade interactions with Lebanon [18], [19]. In the third phase, from late 2019 to the present, an economic downturn in Syria and Lebanon has become the predominant cause of agricultural decline.

4-3- Adaptation

Farmers across Syria have been grappling with numerous economic and security challenges that have significantly reduced their productive capacity. Two of the interviewees mentioned *“In order to adapt to the difficult circumstances, many of farmers in Ghab Plain have shifted their focus towards wheat cultivation, as it serves as a fundamental food source under the current conditions. Additionally, wheat also provides straw, which is essential for livestock rearing.”*

In the sugar beet season of 2022 and 2023, many farmers planted it in response to government incentives and in the hope that the sugar factory in Ghab Plain would resume operations after a seven-year hiatus. Unfortunately, as previously mentioned, these expectations were not realized, leading to significant losses for the farmers. One interviewee pointed out that the same situation occurred with lettuce, carrots, garlic, potatoes, and other crops. This was due to market instability in abundant seasons when prices were left to the forces of supply and demand, leading to a significant price drop. Consequently,

farmers suffered losses, which led them to either stop producing these crops or reduce the planted areas as a reaction. However, their cessation of production later resulted in a price increase for these crops in the following season.

In the context of adaptation, it is worth focusing on methods to mitigate the negative impact of poverty. Regarding the current conditions, in which Syria's population is suffering from deprivation and a decline in living standards, the rural population may be fortunate because they have the opportunity to secure some income alternatives and adjust their livelihoods due to their proximity to nature and access to additional resources that city dwellers cannot obtain. For this reason, numerous rural households are striving to enhance their farming practices and diversify their crop cultivation with the aim of maximizing production to help meet their food needs either entirely or partially, from the vegetables and crops they can produce.

Given the loss of extensive agricultural production due to high costs and water scarcity, numerous families are turning to **small-scale farming**. They are planting a variety of crops in smaller areas to ensure their basic needs are met from their own yield, and then they sell any excess produce. This is a particularly common strategy among those who do not have sufficient access to water for large-scale production. One interviewee elucidates this: *“A farmer who suffers a loss in one season will not farm in the same way the next season because his expectations will be lower. He will cultivate a smaller area or perhaps shift to another crop.”* Another interviewee notes: *“Except for wheat, farmers cannot produce on large scales under the current conditions. Many cannot bear the burdens of irrigation and fertilization.”*

Therefore, many have had to change their lifestyle and adopt a new method based on what we may call family self-sufficiency, where they strive to secure as much as possible of their food requirements by working on their land. We discussed this point with the interviewees, and they expressed similar opinions despite their differing ages and social positions. *“We are all poor now regardless of the previous financial situation, except for the rich who have other sources of income such as trade or those who own wealth through inheritance”* one of the interviewees commented.

On the other hand, the lack of water and the high cost of water pumping have led many farmers to plant **water-efficient crops**, such as legumes, which also do not require much fertilization. The assumed strategy also includes a shift towards raising domestic poultry for self-sufficiency in eggs and chicken meat, which is an additional relative advantage for rural residents compared to city dwellers.

In addition to **domestic poultry**, many rural families strive to own one or two dairy cows, as it is not difficult

to secure feed for them and they can meet the family's milk needs, while also retaining the possibility of selling any surplus. Here, we recall the Syrian rural population's view of a steady job before the crisis, which was a dream for the majority. But under the current circumstances, the dream has changed and perhaps now revolves around owning a dairy cow. This is not only because it has become more viable than a job, but also because it gives rural families a sense of income security. In fact, a clear change can be diagnosed in the rural community from this perspective. Rural residents feel distinguished from city dwellers who have become less capable of easily securing such resources as milk, eggs, and vegetables. Furthermore, many farmers are venturing into beekeeping as an additional source of income with relatively low costs. On a related note, the reduction in heating allowances from subsidized diesel has led to a bigger problem for city residents than for rural residents who have been relying on alternatives such as tree branches, pruning residues and firewood operations, or even buying firewood, which is cheaper than diesel.

These and other adaptive methods are being adopted by rural families in Ghab Plain to alleviate the burdens of life in the current situation. These methods may be similar to those in the rest of rural Syria, except for differences in climate, which consequently leads to variations in the resources that rural people strive to exploit to the maximum possible extent. This raises the question about the abundance and resilience of these resources in the future. This issue may be important particularly in rural areas where residents rely on gathering wild medicinal and aromatic plants as a source of livelihood.

4-4- Resilience prospects

In the context of discussing the potential for resilience, it is important to consider the exploration of alternatives to costly agricultural inputs, particularly those that are imported. **Organic fertilizers** are a cost-effective alternative to traditional mineral-based fertilizers [23]. By using animal manure, farmers can create fermented organic compost, which not only significantly improves the quality of the soil but also provides a balanced supply of essential nutrients for plant growth. In the villages of Ghab, local compost is viewed as a valuable resource. Often, farmers who do not have their own livestock purchase this compost as a cost-effective substitute for the more expensive traditional fertilizers. This suggests that organic fertilizer production units could be beneficial, since they offer various organic combinations of the essential plant nutrition elements. These fertilizers would help maintain soil organic matter levels and promote microbial activity within the soil.

On the other hand, the concern about the high cost of imported feed for livestock owners is indeed significant. Therefore, securing local alternatives is crucial to alleviate these burdens and costs. The Ministry of Agriculture is striving to reduce dependence on imports by incentivizing the expansion of cultivated areas for certain fundamental fodder crops like yellow corn. This is facilitated by the ministry's strategy of establishing a high purchase price for these crops, as set by the General Establishment for Fodder.

Indeed, the production of this crop in the 2022 season increased to approximately 500,000 tons at a national level [24]. Regrettably, the circumstances did not progress as the farmers had hoped: they were looking forward to significant profits after the Ministry of Agriculture's promises. The issue is that yellow corn is typically quite moist when harvested, and requires a drying process. However, due to the war, the public sector struggled with a lack of drying equipment. This has led to the responsibility of drying being shifted onto the producers, creating substantial difficulties for them.

It is evident from the last point that farmers face a fundamental issue, which is uncertainty about profits due to the poor management. One potential solution might be found in implementing **contract farming**, which is a partnership model between producers and buyers [25]. In this model, the buyer enters a contract with farmers to produce a specific quantity of a crop with certain specifications, often including a fixed purchase price in the contract [25], [26]. This arrangement can offer farmers a guarantee of income and mitigate market risks, besides providing production necessities, guidance, and financing. It aids in minimizing intermediation between farmers and buyers, while also acting as a mechanism for enhancing marketing, supports producers in accessing markets, and offers a solution to market challenges [25].

The government has made efforts to ease the conditions for agricultural investments by providing tax and customs exemptions, as established in Investment Law No. 18 of 2021 [27]. This law provides a perpetual tax exemption amounting to 100% of income tax for projects involved in agricultural and animal production manufacturing, as well as for agricultural marketing companies that are involved in sorting and packaging agricultural products. When discussing **agricultural manufacturing**, it is arguably of paramount importance. By utilizing food product manufacturing facilities, it is possible to accommodate surplus production. This approach can help mitigate marketing challenges, stabilize the market, and foster greater stability.

Undoubtedly, for Ghab Plain, water resources are vital for expanding the cultivated area and enhancing irrigated production. The repair of pumping stations and the

restoration of war-damaged dams should perhaps be prioritized. There are three reservoirs that remain outside the government's control on the northern fringes of the plain, adjacent to Idlib. The Ministry of Water Resources is undertaking the rehabilitation of the Apamea water project that irrigates 6,500 hectares. The rehabilitation has resulted in the reclamation of 3,000 hectares from this area in the agricultural plan for 2024 [28].

Given the limited resources, this rehabilitation effort is commendable but insufficient to restore agricultural production in the plain to its former levels. The total irrigated area in Syria declined by an average rate of -23%. Conversely, modern irrigation methods, particularly drip irrigation, increased by 25% in the second period [21]. This is primarily due to a water use rationing policy that provided interest-free loans to farmers who adopt these systems. This policy can be critical in the current circumstances of water scarcity and infrastructure damage.

5- CONCLUSION

This study has explored the current state of agricultural production in the Ghab Plain of Syria and the ways in which rural livelihoods are adapting to changes during the Syrian conflict. The in-depth interviews with key participants revealed a significant decline of the agricultural system in Ghab Plain. Multiple factors have contributed to this decline, most notably damage to irrigation infrastructure during the conflict, increases in production costs, shortages of agricultural inputs, and inadequate government policies related to crop procurement prices. As a result, many farmers have shifted to smaller-scale cultivation of diverse crops for household self-sufficiency and raising domestic livestock like poultry and dairy cows. To enhance the resilience of agriculture in Ghab Plain, potential strategies include promoting organic fertilizers, increasing local production of animal feeds, implementing contract farming arrangements, and improving government price regulation. Repairing damaged irrigation infrastructure is also critically needed. This study demonstrates how the rural community in Ghab Plain is adapting agricultural livelihoods to mitigate the effects of economic hardship. It highlights the challenges faced by farmers and provides insights into policies that could enhance agricultural production. However, there is a need for further investigation. Comparable studies could be carried out in different farming regions of Syria, allowing for a comparison and differentiation of the problems and solutions identified in this case study. ©



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

- 1 Barakat, T., & Hababah, N. M. (2019). Spatial Analysis as a Tool for Selecting the Most Suitable Sites for Rural Spatial Development Projects: Case Study - Agro Polis Development Project for the Plain of Ghab. Available online: <https://2ly.link/1zUjd> (Accessed: November 16, 2023).
- 2 Sadiddin, A. (2004). Syria Farming Systems: Farming Systems of the Central Irrigated and Rainfed Plains and Ghab. doi:10.13140/2.1.22177602.
- 3 FAO (2006). Farming Systems of the Syrian Arab Republic. Available online: <https://2ly.link/1zUjh> (Accessed: March 14, 2023).
- 4 Haj Asaad, A., & Shamaly, O. (2016). The Effects of the Conflict in the Orontes River Basin in Syria. In Water Resources Management in the Lower Asi-Orontes River Basin: Issues and Opportunities (pp. 11-17). Geneva: Graduate Institute of International and Development Studies; Istanbul: MEF University. Available online: <https://2ly.link/1zUvB> (Accessed: March 14, 2023).
- 5 Hamade, S., & Tabet, C. (2013). The Impacts of Climate Change and Human Activities on Water Resources Availability in the Orontes Watershed: Case of the Ghab Region in Syria. Journal of Water Sustainability, 3(1), 45-59. Available online: <https://2ly.link/1zUvD>
- 6 Khadrah, & Edrees. (2016). Reasons for the Decline of Cotton Cultivation and Expansion in the Cultivation of Wheat in Sahl Ghab Zone between 2005-2013. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Arts and Humanities Series, 37(6). Available online: <https://2ly.link/1zUvG> (Accessed: November 21, 2023).
- 7 Ciaschini, M., Cistulli, V., & others. (2015). Economic Policies for Female Labour and Food Nutrition Security: The Ghab Region Case. Available online: <https://2ly.link/1zUvK> (Accessed: November 21, 2023).
- 8 Ruqaya, M. Ghab Plain Between Paddling and Drying. Available online: <https://2ly.link/1zUvP> (Accessed: November 16, 2023).
- 9 Rubin, H. J., & Rubin, I. S. (2005). Qualitative Interviewing: The Art of Hearing Data. SAGE. Link: <https://2ly.link/1zUvW>
- 10 Yin, R. K. (2018). Case Study Research and Applications: Design and Methods (Vol. 6). Thousand Oaks, CA: Sage. Available online: <https://2ly.link/1zUvI> (Accessed: November 18, 2023).
- 11 Guest, G., Namey, E., & Chen, M. (2020). A Simple Method to Assess and Report Thematic Saturation in Qualitative Research. PLOS ONE, 15(5), e0232076. doi:10.1371/journal.pone.0232076.
- 12 Aw-Hassan, A., Rida, F., Telleria, R., & Bruggeman, A. (2014). The Impact of Food and Agricultural Policies on Groundwater Use in Syria. Journal of Hydrology, 513, 204-215. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.03.043.
- 13 Selby, J. (2019). Climate Change and the Syrian Civil War, Part II: The Jazira's Agrarian Crisis. Geoforum, 101, 260-274. doi:10.1016/j.geoforum.2018.06.010.
- 14 Hinnebusch, R., Hindi, A. E., Khaddam, M., & Ababsa, M. (2011). Agriculture and Reform in Syria. Syria Studies, 3(1), 1-79. Link: <https://2ly.link/1zUvm>
- 15 OPC. (2023). Public Attitudes Toward the Depreciation of the Syrian Pound in Northeast Syria. Available online: <https://2ly.link/1zUvn> (Accessed: October 25, 2023).
- 16 Etana Syria. (2022). Quarterly Review of Syria's Economic Crisis - October 2022. Available online: <https://2ly.link/1zUvo> (Accessed: October 25, 2023).
- 17 Middle East Institute. (2023). Rampant Inflation Adds to Syria's Economic Turmoil. Available online: <https://2ly.link/1zUvp> (Accessed: October 22, 2023).
- 18 Daaboul, A. (2023). How is the Lebanese Crisis Affecting Syria? Syria Direct. Available online: <https://2ly.link/1zUvq> (Accessed: October 25, 2023).
- 19 UNICEF. (2022). Integrated Social Protection Programme for Children with Disabilities. Available online: <https://2ly.link/1zUvs> (Accessed: October 25, 2023).
- 20 Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R., & Kushnir, Y. (2015). Climate Change in the Fertile Crescent and Implications of the Recent Syrian Drought. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 112(11), 3241-3246. doi:10.1073/pnas.1421533112.
- 21 Ministry of Agriculture and Agrarian Reform (MOAAR). (2023). Statistical Groups. Available online: <https://2ly.link/1zUvw> (Accessed: November 19, 2023).
- 22 ReliefWeb. (2023). Syria Markets Update (18 - 25 February 2023): Fuel Price Increase Provide Further Scope for Higher Food Prices - Syrian Arab Republic. Available online: <https://2ly.link/1zUwo> (Accessed: November 02, 2023).
- 23 Blazy, J., et al. (2020). Ex Ante Assessment of the Cost-Effectiveness of Agri-Environmental Schemes Promoting Compost Use to Sequester Carbon in Soils in Guadeloupe. Available online: <https://2ly.link/1zUzb> (Accessed: November 15, 2023).
- 24 Presidency of the Syrian Arab Republic, Council of Ministers. (2022). The Agricultural Sector During 2022: Production of About 4 Million Fruitful Plantings and Reclamation of 1476 Hectares. Available online: <https://2ly.link/1zUzd> (Accessed: November 13, 2023).
- 25 Gioumatova, S., Karelakis, C., & Farmaki, P. (2021). Economic and Environmental Benefits of Sunflower Contract Farming: Evidence from a Greek Region. African Journal of Agricultural Research. Available online: <https://2ly.link/1zUze> (Accessed: November 15, 2023).
- 26 Sinaga, A., Gayatri, S., & Prasetyo, A. S. (2022). Facility and Technological Supports, and Information Transparency to Improve the Success of a Contract Farming Between Farmers Group and Company. AGRIECOBIS, 5(1), 59-72. doi:10.22219/agriecobis.v5i1.15577.
- 27 Syrian Investment Authority. (2021). Investment Law No. 18 of 2021 Grants Tax Exemption for Agricultural and Livestock Production Projects: Executive Instructions of Law. Available online: <https://2ly.link/1zUzg> (Accessed: November 13, 2023).
- 28 Ministry of Water Resources. (2023). Projects of the Ministry of Water Resources from the Beginning of 2023 to the End of August. Available online: <https://2ly.link/1zUzi> (Accessed: November 13, 2023).

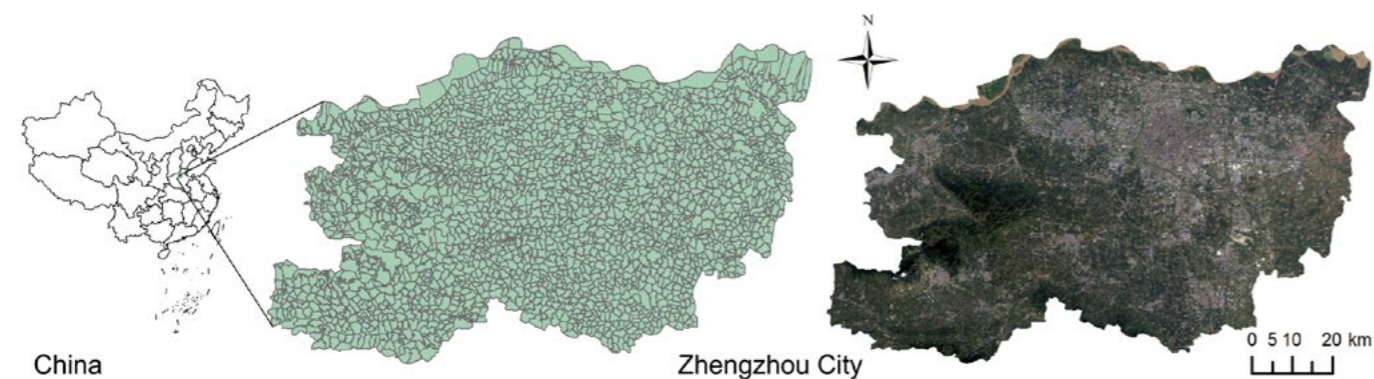
A VÁROSKÖRNYÉKI ZÖLD-INFRASTRUKTÚRA MORFOLÓGIAI TÉRBELI MINTÁZATA

Esettanulmány Zhengzhou városáról, Kínában

MORPHOLOGICAL SPATIAL PATTERN OF PERI-URBAN GREEN INFRASTRUCTURE

A case study of Zhengzhou City, China

SHI, ZHEN | LIU, MANSU | WANG, XINYU | FILEPNÉ KOVÁCS KRISZTINA



ABSZTRAKT

A városkörnyéki zöldinfrastruktúra (PUGI) a városi problémák kezelésének egyik eszköze. A tanulmány célja a városkörnyéki területek (PUA) azonosítása a Jenks-féle természetes törések módszerével, valamint a PUGI morfológiai térbeli mintázatainak elemzése. A tanulmányból kiderül, hogy a peri-urban területek többsége a városi régiók peremén található, kisebb részük pedig a vidéki hátságban. A PUA-kon belül a PUGI a terület több mint felét foglalja el, a félig természetes városkörnyéki zöldinfrastruktúra domináns, míg a természetes

zöldinfrastruktúra elsősorban összekötő szerepet tölt be. Ezek az eredmények kiegészítik a PUGI morfológiai jellemzőinek elméleti megértését, és a PUGI optimalizálásához nyújtanak segítséget a tervezők számára.

Kulcsszavak: városkörnyéki zöldinfrastruktúra, városkörnyéki területek, morfológiai térbeli mintázatok elemzése, földhasználat ©

Figure 1: Location, administrative boundaries, and remote sensing image of Zhengzhou

ABSTRACT

Peri-Urban Green Infrastructure (PUGI) is one of the tools for addressing urban issues. This study aims to identify Peri-Urban Areas (PUAs) using the Jenks natural breaks method and to analyze the morphological spatial patterns of PUGI. The study reveals that most PUAs are situated on the outskirts of urban regions, with a smaller portion located within rural hinterlands. PUGI occupies over half of the land within PUAs, with semi-natural PUGI holding a dominant position, while natural GI primarily serves as a connector. These findings complement theoretical understanding of PUGI's morphological characteristics and provide insights for planners to optimize PUGI.

Keywords: peri-urban green infrastructure, peri-urban areas, morphological spatial pattern analysis, land use

INTRODUCTION

Under the influence of global urbanization, peri-urban areas (PUAs) are emerging in an increasing number of countries, and can be found in many large cities in China. PUAs are typically defined by their characteristics [1, 2]. Geographically, they constitute a transitional zone between urban and rural areas [2]. Functionally, they encompass urban and rural domains [3]. Demographically, PUAs tend to have population densities higher than rural areas but lower than urban areas [4]. Previous research on PUAs has primarily focused on ecological environment, spatial morphology, and land use. Since the extent of PUAs often exceeds administrative boundaries [5], the spatial identification of PUAs is a prerequisite for studying them.

In recent years, green infrastructure (GI) has gained favor among policymakers and urban planners, becoming one of the tools for addressing urban challenges. This study defines GI as “a strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services” [6]. China's efforts in building GI are primarily reflected in urban green spaces, sponge cities, ecological corridors, and ecological agriculture.

According to the 2019 Third National Land Survey of China, GI accounts for 78.83% of the country's land area. However, urban green spaces, which are the main type of GI in urban areas, only cover 0.35% of China's total land area [7]. A significant amount of GI still exists in peri-urban and rural areas.

However, due to insufficient infrastructure or improper planning, the Peri-Urban Green Infrastructure (PUGI) is susceptible to adverse impacts [8]. Compared to urban areas, PUAs have more available space for GI planning. Therefore, it is necessary to identify and conduct spatial analysis of PUGI. Previous research has predominantly focused on urban GI, with studies on PUGI being relatively scarce. There remains a gap in quantitative studies on PUGI.

Based on the aforementioned research background, this study aims to identify specific PUAs and quantitatively analyze the types and morphological characteristics of PUGI. Through a case study of Zhengzhou, China, this research hopes to provide insights for future studies on the identification and evaluation of PUGI.

MATERIALS AND METHODS

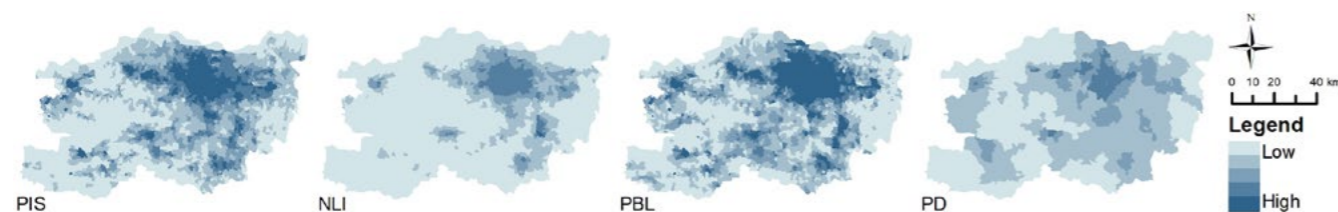
Study area

Zhengzhou, located in the central region of China, is a significant provincial capital covering an area of 7565 km². The topography of Zhengzhou generally trends from higher elevations in the southwest to lower elevations in the northeast, and the region experiences a temperate continental monsoon climate. As of the end of 2020, the permanent resident population of Zhengzhou totaled 12.6 million, with an urbanization rate of 78.4% [9]. As research units, this study utilized the smallest administrative boundaries in Zhengzhou city, namely villages and neighborhoods, totaling 2461 units (Figure 1).

Data

This study employed multiple data sources. Impervious surface data comes from the 2020 Global 30m Resolution Impervious Surface Dataset [10]. Impervious surfaces refer to surfaces that prevent water from penetrating into

Indicator	Description	Weight
Proportion of impervious surface (PIS)	The proportion of impervious surface area to the total area of each unit.	0.1460
Nighttime light intensity (NLI)	The mean value of the nighttime light intensity within each unit.	0.3171
Proportion of built-up land (PBL)	The proportion of built-up land to the total area of each unit.	0.1244
Population density (PD)	The population within each unit divided by its area.	0.4125



the ground. They can be used to characterize the extent of human activity and economic development. Land use/land cover data (30 m × 30 m) encompassed five land types: agricultural land, forest land, grassland, water surface, and built-up land (including urban land use, rural residential areas, and other constructed land) [11]. Nighttime light data can reflect the economic level of different regions and originates from an extended time series (2000–2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data, with a spatial resolution of 500 meters [12]. Population data is sourced from China's seventh national population census [13]. The administrative boundary data is obtained from the National Platform for Common Geospatial Information Services.

Identification of PUAs

Considering the characteristics of PUAs and drawing upon existing research, this study selected four indicators to identify PUAs (Table 1). The study is based on the assumption that larger values of these indicators indicate more pronounced urban features, while smaller values suggest more pronounced rural characteristics. PUAs are characterized by indicator values that lie between urban and rural areas. The study standardized the indicator value using the range method.

The 'Zonal Statistics' tool in ArcGIS 10.8 was employed to calculate these indicator values by unit (Figure 2). Next, we used the entropy weight method [14] to determine the objective weights of each indicator (Table 1), and

calculated the composite indicator values for each unit (Figure 3). The formula is as follows:

$$C = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (1)$$

Where C is the value of the composite index, w_i is the weight of the i th indicator, x_i is the standardized value of the i th indicator, and n is the total number of indicators [15].

Finally, the Jenks natural breaks method is used to categorize these units into three classes based on their composite index values, which can be achieved using ArcGIS 10.8. This method determines thresholds based on the inherent characteristics of the data to achieve a rational classification [16]. The category with composite index values falling in the middle range is defined as comprising PUAs.

Morphological spatial pattern analysis (MSPA)

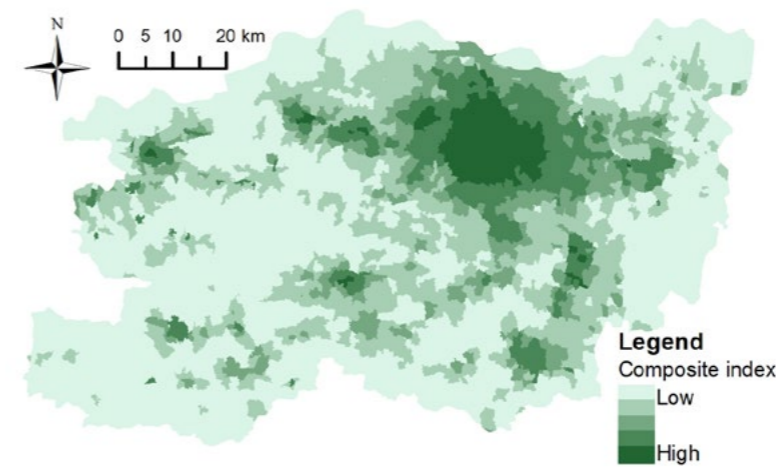
Based on the definition of GI and the land use/land cover data, we consider agricultural land, forest land, grassland, and water surface as GI in this study. We categorize PUGI into two types, based on the degree of naturalness. The first type is natural PUGI, which includes natural forests, natural grasslands, and natural water surfaces. The formation and development of natural PUGI have experienced minimal human interference. The second type is semi-natural PUGI, which is formed and maintained by human

◀◀ Table 1: Indicators for identifying PUAs

◀◀ Figure 2: The indicators used to identify PUAs in Zhengzhou City

Figure 3: The composite index of each unit in Zhengzhou City

Table 2: Description of some foreground classes in MSPA



MSPA foreground classes	Description
Core	Interior area excluding perimeter
Islet	Disjoint and too small to contain Core
Bridge	Connected to different Core areas

activities. This category includes agricultural land, artificial forests, artificial grasslands, and artificial water surfaces.

Subsequently, we utilized the Guidos Toolbox to conduct MSPA on PUGI. MSPA is employed to detect morphological features of images and categorize them into seven morphological types: Core, Islet, Loop, Bridge, Perforation, Edge, and Branch [17]. Among these classifications, we selected Core, Bridge, and Islet, which correspond to the core areas, corridors, and stepping stones of the GI network, for analysis (Table 2).

Before conducting MSPA, it is necessary to reclassify the land within PUAs in ArcGIS 10.8. The selected land types designated as GI were reclassified as foreground, while built-up land was reclassified as background. Subsequently, the reclassified image was imported into the Guidos Toolbox, where an eight-neighbor analysis method was chosen. The edge width was set to a maximum value of 10, and the transition was set to 1 to obtain distinct bridging areas. The intext was set to 0 to avoid distinguishing between inner and outer landscape types. Once the setup was complete and the final classification results were obtained, the results were subsequently further analyzed according to the classifications of natural and semi-natural GI.

RESULTS AND DISCUSSION

Identification results of PUAs

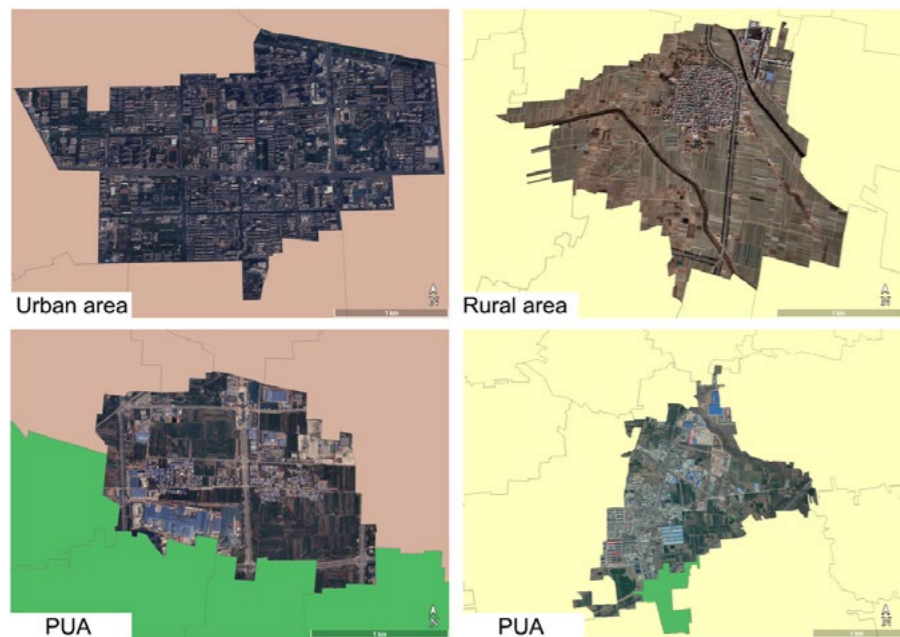
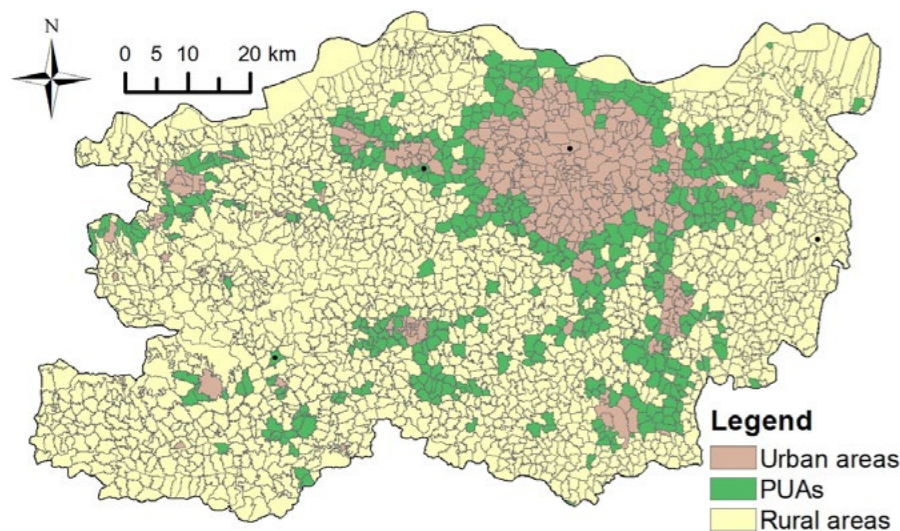
The classification results indicate that the range of composite indicator values for PUAs is between 0.0927 and

0.2148. PUAs encompassed 468 units, covering an area of 1215.15 km², representing 16.06% of the total area of Zhengzhou. The composite index values for urban areas range from 0.2155 to 0.7192, while those for rural areas range from 0.0005 to 0.0926. Urban areas constituted the smallest portion, encompassing 352 units and occupying an area of 890.96 km². Rural areas comprised 1641 units with a total area of 5458.75 km².

Figure 4 shows that most PUAs are distributed around urban areas and serve as connectors between adjacent urban patches. In addition, some PUAs are scattered throughout rural areas. The spatial distribution of PUAs is also associated with the topography of the study area. Compared to the mountainous regions in the southwest, the flat areas in the northeast contain a higher concentration of PUAs. The geographical distribution of PUAs aligns with previous research [2, 5].

Types and characteristics of PUGI

After extracting PUGI, we found that it covers an area of 660.25 km², accounting for 54.33% of the total land area in PUAs (Table 3). Within PUGI, semi-natural PUGI benefits from extensive agricultural land, occupying as much as 94.66% of the total PUGI area. Similarly high proportions of agricultural land in PUAs have also been demonstrated in other Chinese cities such as Xi'an [18] and Changchun [19], as well as in Western cities like Rome and Fiumicino [20]. Besides agricultural land, forest land has the largest area in the semi-natural PUGI, with grassland having



the smallest area of coverage. Natural PUGI covers only 35.26 km², with the largest area being water surfaces and the smallest area being forest land.

In terms of categories within PUGI, semi-natural forest land far exceeds natural forest land in area. Most of these semi-natural forests are adjacent to urban areas. A significant portion consists of parks converted from natural forests, providing recreational and cultural services. The remaining smaller portion consists of artificial green spaces created from other types of land. Natural forest land is primarily located in areas adjacent to rural

regions. The proportion of natural and semi-natural grasslands is similar. Regarding water surfaces, natural water surfaces slightly outnumber semi-natural ones (Figure 5).

Morphological spatial pattern of PUGI

As shown in Table 4, the Core area is consistently the largest across all PUGI types, with the Core area of agricultural land far surpassing that of other land types, indicating the paramount importance of agricultural land within PUGI. This viewpoint has also been corroborated in numerous studies [21, 22]. Agricultural land also exhibits

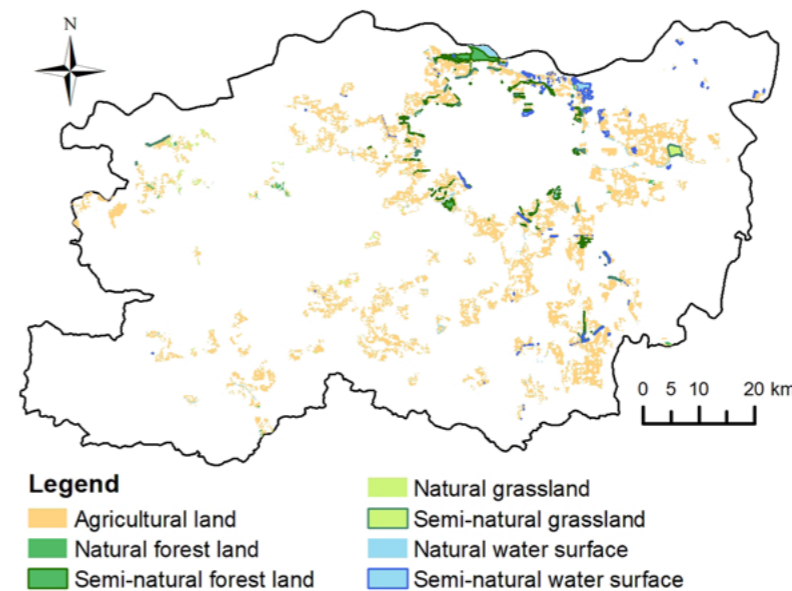
◀◀ **Figure 4:** Identification results of PUAs and remote sensing maps of case units from Google Earth

Table 3: The area of each category of PUGI

Figure 5: The distribution of each type of PUGI

Table 4: Areas of different morphological spatial patterns of PUGI

Category	Agricultural land (km ²)	Forest land (km ²)	Grassland (km ²)	Water surface (km ²)
Natural GI	–	5.30	8.47	21.49
Semi-natural GI	573.36	25.35	8.87	17.41



Morphological spatial pattern	Core (km ²)	Bridge (km ²)	Islet (km ²)
Agricultural land	273.87	67.27	4.32
Forest land	11.97	2.48	5.23
Grassland	4.84	2.53	2.79
Water surface	11.58	5.31	7.49
Natural PUGI	8.45	7.71	4.12
Semi-natural PUGI	22.00	3.43	6.91

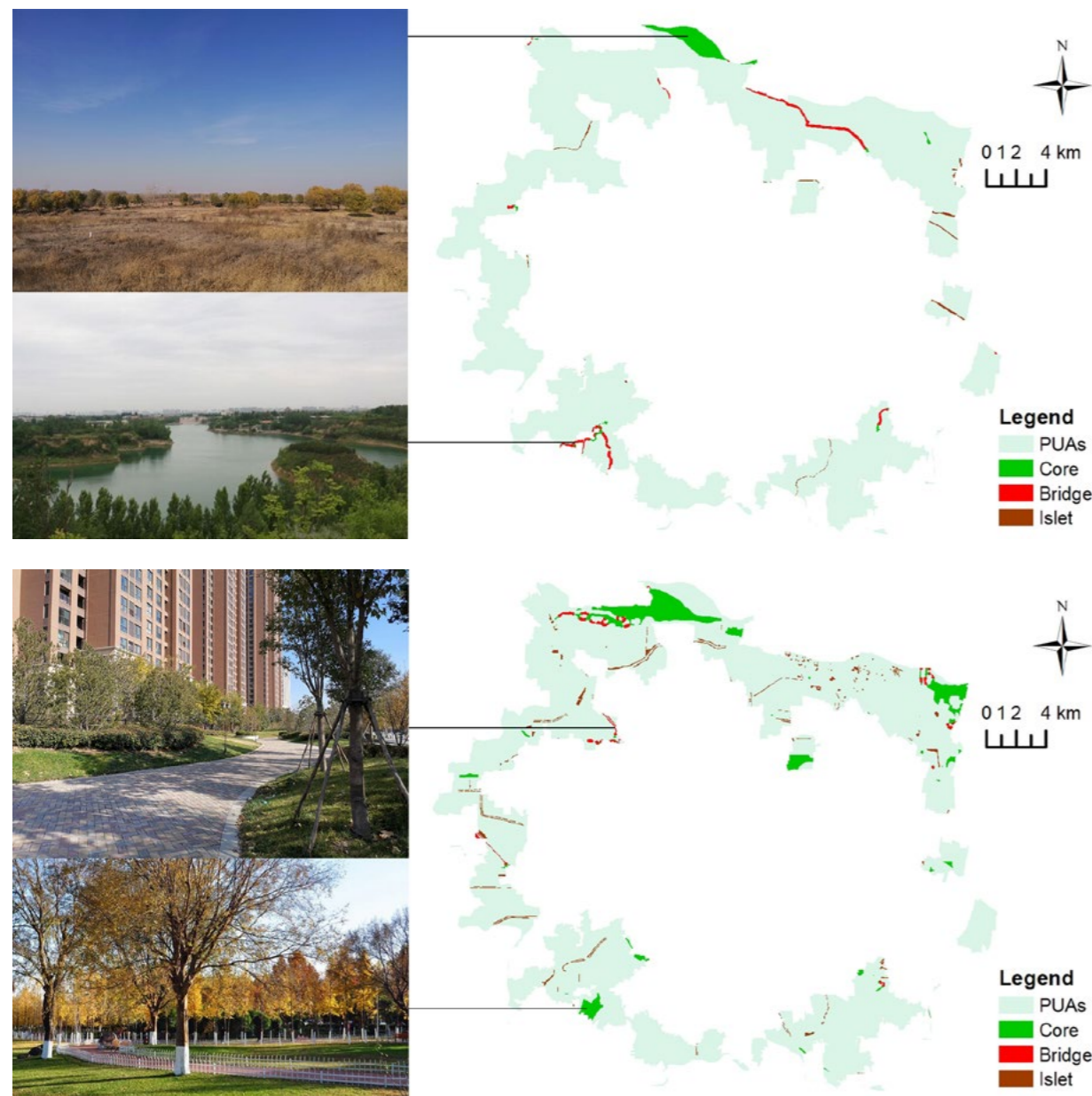
the largest Bridge area, with relatively few Islets, reflecting a high degree of connectivity among agricultural land patches. The Core area of forest land is second only to that of agricultural land. There are relatively few Bridges and many Islets within the forest land, indicating a low degree of connectivity between it and other Cores. The proportions of Cores, Bridges, and Islets in grassland are relatively similar. As for water surfaces, the area of Islets is the largest among all categories in PUGI.

Next, we conducted MSPA on both natural PUGI and semi-natural PUGI, and used the central urban area as

an illustrative example (Figures 6, 7). The results indicate that semi-natural PUGI has more Cores and Islets than natural PUGI but fewer Bridges. This phenomenon suggests that semi-natural PUGI dominates within PUAs, while natural PUGI primarily serves a connecting role (Table 4).

CONCLUSIONS

This study quantitatively delineated PUAs and extracted PUGI for MSPA. The findings indicate that in Zhengzhou, most PUAs are located on the urban periphery, while a



smaller portion are situated in the rural hinterland. PUGI encompasses over half of the land within PUAs. Semi-natural PUGI, primarily consisting of agricultural land, significantly exceeds natural PUGI in area. In the PUAs, semi-natural PUGI predominantly takes the form of Cores, playing a dominant role, while natural PUGI primarily serves a connective function through Bridges.

This study offers a straightforward and efficient method for identifying PUAs, which could be readily replicated in other regions. Moreover, the morphological analysis of PUGI underscores its significance and elucidates

the roles played by different types of PUGI. These findings are instrumental in raising awareness among policymakers and planners regarding the importance of PUAs and provide valuable insights for optimizing PUGI. ©



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

Figure 6: MSPA results of natural PUGI in the central urban area of Zhengzhou

Figure 7: MSPA results of semi-natural PUGI in the central urban area of Zhengzhou

- 1 Sylla, Marta - Lasota, Tadeusz - Szewranski, Szymon (2019): Valuing Environmental Amenities in Peri-Urban Areas: Evidence from Poland. *Sustainability*, 11(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/su11030570>
- 2 Gonçalves, Jorge - Gomes, Marta Castilho - Ezequiel, Sofia - Moreira, Francisco - Loupa-Ramos, Isabel (2017): Differentiating peri-urban areas: A transdisciplinary approach towards a typology. *Land Use Policy*, 63, 331-341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.041>
- 3 Westerink, Judith - Lagendijk, Arnoud - Duhr, Stefanie - Van der Jagt, Pat - Kempenaar, Annet (2013): Contested Spaces? The Use of Place Concepts to Communicate Visions for Peri-Urban Areas. *European Planning Studies*, 21(6), 780-800. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.665042>
- 4 Gallent, Nick - Shaw, Dave (2007): Spatial planning, area action plans and the rural-urban fringe. *Journal of Environmental Planning and Management*, 50(5), 617-638. DOI: <https://doi.org/10.1080/09640560701475188>
- 5 Cattivelli, Valentina (2021): Planning peri-urban areas at regional level: The experience of Lombardy and Emilia-Romagna (Italy). *Land Use Policy*, 103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105282>
- 6 European commission (2014): *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Europe 2020 Flagship Initiative Innovation Union*, Brussels, Belgium, 202020, 43.
- 7 National Bureau of Statistics of China (2021): *China Statistical Yearbook-2021*. URL: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2021/indexch.htm> [08.09.2024]
- 8 Addie, JeanPaul (2016): Theorising suburban infrastructure: a framework for critical and comparative analysis. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 41(3), 273-285. DOI: <https://doi.org/10.1111/tran.12121>
- 9 Zhengzhou Bureau of Statistics (2021): *Zhengzhou 7th National Census Bulletin (No. 1)*.
- 10 Zhang, Xiao - Liu, Liangyun - Zhao, Tingting - Gao, Yuan - Chen, Xidong - Mi, Jun (2022): GISD30: global 30-m impervious-surface dynamic dataset from 1985 to 2020 using time-series Landsat imagery on the Google Earth Engine platform. *Earth System Science Data Discussions*, 14(4), 1831-1856. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-14-1831-2022>
- 11 Xu, Xinliang - Liu, Jiuyuan - Zhang, Shuwen - Li, Rendong - Yan, Changzhen - Wu, Shixin (2018). *China's multi-period land use land cover remote sensing monitoring data set (CNLUCC)*. Resource and Environment Science Data Platform. URL: <http://www.resdc.cn/DOI> [08.09.2024]
- 12 Chen, Zuoqi - Yu, Bailang - Yang, Chengshu - Zhou, Yuyu - Yao, Shenjun - Qian, Xingjian - Wang, Congxiao - Wu, Bin - Wu, Jianping (2021): An extended time series (2000-2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration. *Earth System Science Data*, 13(3), 889-906. DOI: <https://doi.org/10.7910/DVN/YGIVCD>
- 13 National Bureau of Statistics of China (2021): *Bulletin of the Seventh National Census*.
- 14 Zhu, Yuxin - Tian, Dazuo - Yan, Feng (2020): Effectiveness of entropy weight method in decisionmaking. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020(1), 5. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3564835>
- 15 Freudenberg, Michael (2003): Composite indicators of country performance: a critical assessment. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 16. DOI: <https://doi.org/10.1787/405566708255>
- 16 Jenks, George F (1967): *The data model concept in statistical mapping*. International yearbook of cartography, 7, 186-190.
- 17 Soille, Pierre - Vogt, Peter (2009): Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern recognition letters*, 30(4), 456-459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.10.015>
- 18 Zhou, Liang - Wei, Le - López-Carr, David - Dang, Xuwei - Yuan, Bo - Yuan, Zifeng (2024): Identification of irregular extension features and fragmented spatial governance within urban fringe areas. *Applied Geography*, 162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103172>
- 19 Chang, Shouzhi - Jiang, Qigang - Wang, Zongming - Xu, Sujuan - Jia, Mingming (2018): Extraction and Spatial-Temporal Evolution of Urban Fringes: A Case Study of Changchun in Jilin Province, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi7070241>
- 20 Nickayin, Samaneh Sadat - Salvati, Luca - Coluzzi, Rosa - Lanfredi, Maria - Halbac-Cotoara-Zamfir, Rares - Salvia, Rosanna - Quaranta, Giovanni - Alhusein, Ahmed - Gaburova, Luisa (2021): What Happens in the City When Long-Term Urban Expansion and (Un)Sustainable Fringe Development Occur: The Case Study of Rome. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4), 231. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10040231>
- 21 Rolf, Werner (2021): Transformation pathways towards sustainable urban development by the inclusion of peri-urban farmland in green infrastructure strategies. *Landscape Online*, 96-96. DOI: <https://doi.org/10.3097/LO.202196>
- 22 Tóth, Attila - Timpe, Axel (2017): Exploring urban agriculture as a component of multifunctional green infrastructure: Application of figure-ground plans as a spatial analysis tool. *Moravian Geographical Reports*, 25(3), 208-218. DOI: <https://doi.org/10.1515/mgr-2017-0018>

MATE, Tájépítészeti, Település-tervezési és Díszkertészeti Intézet, Tájtervezési és Területfejlesztési Tanszék / MATE, Institute of Landscape Architecture, Urban Planning and Garden Art, Department of Landscape Planning

AUDA, AMMAR
PhD hallgató / PhD student
ammr.auda92@gmail.com

FILEPNÉ KOVÁCS KRISZTINA
egyetemi docens / associate professor
Filepne.Kovacs.Krisztina@uni-mate.hu

JOMBACH SÁNDOR
egyetemi docens / associate professor
Jombach.Sandor@uni-mate.hu

KUTNYÁNSZKY VIRÁG
PhD hallgató / PhD student
kut.virag@gmail.com

LIU, MANSHU
PhD hallgató / PhD student
Liu.Manshu@phd.uni-mate.hu

SALLAY ÁGNES
egyetemi tanár / professor
sallay.agnes@uni-mate.hu

SHI, ZHEN
PhD hallgató / PhD student
Shi.Zhen@PhD.uni-mate.hu

SÖLCH BENEDEK
PhD hallgató / PhD student
solchbenedek@gmail.com

SZILVÁCSKU MIKLÓS ZSOLT
egyetemi adjunktus / assistant professor
szilvacsku.miklos.zsolt@uni-mate.hu

TUFFAHA, ANAS
PhD hallgató / PhD student
anastuffaha.h@gmail.com

ÜSZTÖKE LAURA
PhD hallgató / PhD student
usztoke.laura@gmail.com

WAGNER JAKAB RUDOLF
PhD hallgató / PhD student
wagner.jakab@gmail.com

WANG, XINYU
PhD hallgató / PhD student
sdwangxinyuxw@126.com

MATE, Tájépítészeti, Település-tervezési és Díszkertészeti Intézet, Kertművészeti és Kertépítészeti Tanszék / MATE, Institute of Landscape Architecture, Urban Planning and Garden Art, Department of Garden Art and Garden Design

DOMA-TARCSÁNYI JUDIT
mesteroktató / associate lecturer
doma-tarcsanyi.judit@uni-mate.hu

GERGELY ANTAL
mesteroktató / associate lecturer
Gergely.Antal@uni-mate.hu

SZABÓ KRISZTINA
egyetemi docens / associate professor
szabo.krisztina.dendro@uni-mate.hu

TAKÁCSNÉ ZAJACZ VERA
egyetemi tanársegéd,
tanszékvezető / assistant lecturer,
head of department
takacsne.zajacz.vera@uni-mate.hu

TÓTH BARNABÁS
PhD hallgató / PhD student
Toth.Barnabas@uni-mate.hu

College of Landscape Architecture and Art and International Union Laboratory of Landscape Architecture, Henan Agricultural University, China

DU, CHENYU
PhD hallgató / PhD student
du.chenyu@phd.uni-mate.hu

University of Sulaimani, Sulaimani, 46001, Iraq, Department of Horticulture, College of Agricultural Engineering Sciences

N. HASSAN, YASEEN
PhD hallgató / PhD student
yaseen.hassan@univsul.edu.iq

A 4D szerkesztőbizottsága ezúton is köszönetét fejezi ki minden szakmai lektornak, akik szakértelmükkel és alapos munkájukkal hozzájárultak a 2024-es lapszámok magas színvonalához. Köszönjük Adorján Annának, Almási Balázsnak, Anil Poyraznak, Bérczi Balázsnak, Christian-Oláh Brigittának, Fekete Albertnek, Filepné Kovács Krisztinának, Gecsené Tar Imolának, Geiszelhardté Hutter Dórának, Jombach Sándornak, Kollányi Lászlónak, Konkoly-Gyuró Évának, Nádasy László Zoltánnak, Orlóci Lászlónak, Ráskai-Kiss Dorottyanak, Sallay Ágnesnek, Szilágyi Kingának, Vajda Szabolcsnak és Vukov Konstantinnak az értékes hozzájárulásukat. /

The editorial board of 4D expresses its sincere gratitude to all the professional reviewers who with their expertise and thorough work, contributed to ensuring that the 2024 issues were of a high standard. We extend our gratitude to Anna Adorján, Balázs Almási, Anil Poyraz, Balázs Bérczi, Brigitta Christian-Oláh, Albert Fekete, Krisztina Filepné Kovács, Imola Gecsené Tar, Dóra Geiszelhardt-Hutter, Sándor Jombach, László Kollányi, Éva Konkoly-Gyuró, László Zoltán Nádasy, László Orlóci, Dorottya Ráskai-Kiss, Ágnes Sallay, Kinga Szilágyi, Szabolcs Vajda, and Konstantin Vukov for their valuable contributions.



NEMZETI KULTURÁLIS ALAP



ORMOS IMRE ALAPÍTVÁNY