

Debreceni Egyetem
Természettudományi és Technológiai Kar
Földtudományi Intézet



**Eger zöldfelületeinek tér- és időbeli változásának
vizsgálata**

Témavezető:
Prof. Dr. Szabó Szilárd

Tanszékvezető
Egyetemi tanár

Készítette:
Brassó Benedek

Geoinformatika MSc

Debrecen, 2024

1. Bevezetés.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. A távérzékelés	4
2.1.1. A távérzékelés fogalma.....	4
2.1.2 A távérzékelés történelme	5
2.1.3. A távérzékelés fizikai alapjai	7
2.1.4. Az ortofotó fogalma	9
2.1.5. Az ortofotók hasznosítása	10
2.1.6. A felhasznált ortofotók paraméterei.....	10
2.1.7. A SAGA GIS	10
2.1.8. A digitális képosztályozás definíciója.....	11
2.1.9. A digitális képosztályozási lehetőségek.....	11
2.1.10. A Random Forest módszer.....	12
2.1.11. Maximum Likelihood módszer.....	12
2.1.12. Pontosságvizsgálat	13
3. Anyag és módszer	14
3.1. A mintaterület bemutatása.....	14
3.2. A felhasznált felvételek.....	14
3.3. Alkalmazott módszerek.....	14
3.3.1. Terepi adatgyűjtés	14
3.3.2. A belterület lehatárolása.....	15
3.3.3. A tanító és ellenőrző területek kijelölése	15
3.3.4. Az ellenőrzött osztályba sorolások elvégzése	16
3.3.5. A pontosságvizsgálat.....	16
3.3.5. A szűrés	17
4. Eredmények.....	18
4.1. Áttekintés	18
4.2. Az elkészített kompozitok.....	18
4.3. Az osztályozások eredményei	20
4.3.1. Random Forest módszer eredményei	20
4.3.1.1. Eredmények 2010-ből	20
4.3.1.2. Eredmények 2014-ből	20
4.3.1.3. Eredmények 2022-ből	22

4.3.1.4. A zöldfelületek területének változása.....	24
4.3.1.5. Változások a különböző jellegű városrészekben.....	26
4.3.2. A Maximum Likelihood módszer eredményei	30
5. Összegzés	32
6. Felhasznált irodalom	33

1. Bevezetés

A fák és zöldfelületek megóvása kiemelten fontos, és nem csak esztétikai szépségük miatt, hanem mert hatalmas szerepet játszanak a klímaváltozás elleni küzdelemben, oxigént biztosítanak és szén-dioxidot nyelnek el. Ezenkívül megkötik a port, lassítják a talajeróziót, sőt, az emberi közérzetre is jó hatással van a zöld környezet. Éppen ezen okokból kifolyólag tartom aggasztónak napjaink folyamatait, a városi zöldfelületek visszaszorulását, az erdők nagyarányú termelését, a lakó- és ipari területek, parkolók javára.

E folyamatok mind jellemzőek az Egerre és Eger környékére, arra a területre ahonnan származom, így a témában felvetett probléma igencsak közel áll hozzám. A mező- és az erdőgazdálkodás hagyománya a családomban generációkra nyúlik vissza, azonban mindig is a természeti értékek megóvása volt az elsődleges szempont.

Földünk állapotának folyamatos nyomon követésében az egyik legfontosabb, egyben a legdinamikusabban fejlődő tudományterületeihez is kapcsolódó technológia a távérzékelés (Molnár & Somogyi, 2019). A technika fejlődésének (fizikai mérőeszközök, műholdak, stb.) köszönhető, hogy rövid idő alatt nagy területről több millió adatot nyerhetünk. A mérések automatizálása, az adatrögzítő és tároló rendszerek megjelenése azt eredményezte, hogy a kiválasztott területről folyamatosan, vagy meghatározott periódusokban újabb és újabb adatokat kaphatunk. A számítógépeken futó korszerű képfeldolgozó programok lehetőséget biztosítanak az adatok gyors és pontos feldolgozására (Lóki, 2002).

Dolgozatomban Eger közigazgatási határán belüli zöldfelületi változások kutatását tűztem ki célul. A vizsgálat a 2010-2022 közötti időintervallumot öleli fel, 3 ortofotót (2010, 2014, 2022) alapul véve. Elsődleges célom az volt, hogy meghatározzam, milyen mértékben változott az zöldfelületek és a beépített területek aránya. További céljaim: meghatározni, hogy a zöldfelszínek területe milyen mértékben növekedett, csökkent, vagy éppen stagnált, példákat hozni arra, hogy hol telepítettek, vagy hol vágtak ki fákat az említett 12 év alatt és az utóbbi esetben milyen objektumok jöttek létre a zöldfelszínek helyén.

A kutatáshoz a SAGA GIS, és a QGIS térinformatikai, nyílt forráskódú szoftvereket használtam. Mindkét program alkalmas a térbeli adatok elemzésére, térképek készítésére. A SAGA GIS-t az elemzések elvégzésére, a QGIS-t a térképek kidolgozására, vizualizálására vettem igénybe. A két szoftvert kombinálva, lehetőségem nyílt az adatok szakszerű feldolgozására.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A távérzékelés

2.1.1. A távérzékelés fogalma

„A távérzékelés során a mérőműszer és a vizsgálni kívánt tárgy nincs közvetlen kapcsolatban egymással. Felszíni tárgyak és más jelenségek mérhetőek és vizsgálhatók lesznek általa” (Lóki, 2002).

„A távérzékelés folyamatában az elektromágneses energia (látható fény, infravörös sugarak, ultraviola sugarak vagy rádióhullámok) tulajdonságait használjuk adatgyűjtésre. Két fontos lépése van: a mérendő tárgyról visszaverődő elektromágneses hullámok érzékelése, valamint a mért adatok feldolgozása” (Verőné, 2010).

A távérzékelési módszerek alkalmazását sok tényező befolyásolja. Előnyös tulajdonságai között sorolható fel hogy viszonylag gyorsan és költséghatékonyan nyerhetünk adatokat hatalmas területekről és ezen adatok feldolgozására manapság számtalan program munkára fogható (Rocchini, 2016).

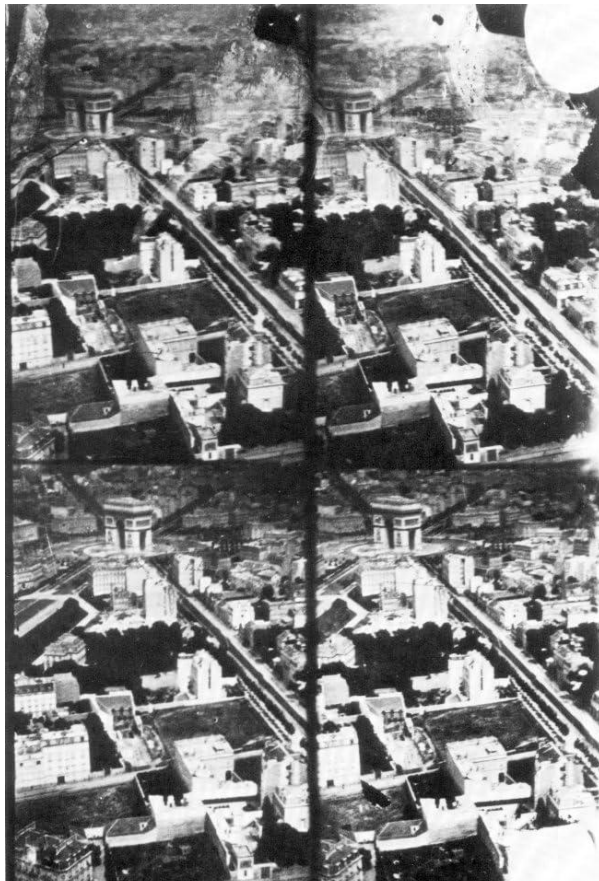
A távérzékelés az információk távolról történő gyűjtését jelenti. A Földet és más égitesteket műholdakon és repülőgépeken elhelyezett különböző szenzorok figyelik, amelyek a visszavert vagy kibocsátott energiát érzékelik és rögzítik. Az érzékelők rengeteg adatot szolgáltatnak a felszíni objektumokról, jelenségekről, erőforrásokról illetve folyamatokról, ezáltal lehetővé teszik az adatokon alapuló döntéshozatalt bolygónk jelenlegi és jövőbeli állapotáról (Earth Science Data Systems, 2019).

Azonban számolnunk kell azzal a ténnyel is, hogy egyes, nagyobb volumenű elemzések jelentős hardverigénnyel bírnak, nem is beszélve a felvételek készítéséhez szükséges, kimondottan költségigényes technológiákról és szakképzett munkaerőről. Továbbá, a felvételek pontosságát a kedvezőtlen időjárás jelentősen befolyásolhatja.

A kvantitatív távérzékelés fejlődésével az eltérő felbontások problémája egyre jobban felkeltette a szakértők figyelmét. Számos kutatás az adatforrások és az alkalmazott modellek közötti súlyos felbontásbeli eltérésektől szenved, következésképpen mind az adatok értelmezése, mind a modellek alkalmazása nehezebbé válik a. Ezért a különböző méretarányokban rögzített távérzékelési információk hatékony – a léptéktől függetlenül való – kezelése a távérzékelés egyik legfontosabb kutatási fókuszává vált (Wu & Li, 2009).

2.1.2 A távérzékelés történelme

A távérzékelés fejlődése két technikai és tudományos újítás, a fényképezőgép és a hőlégballon feltalálásával vette kezdetét.



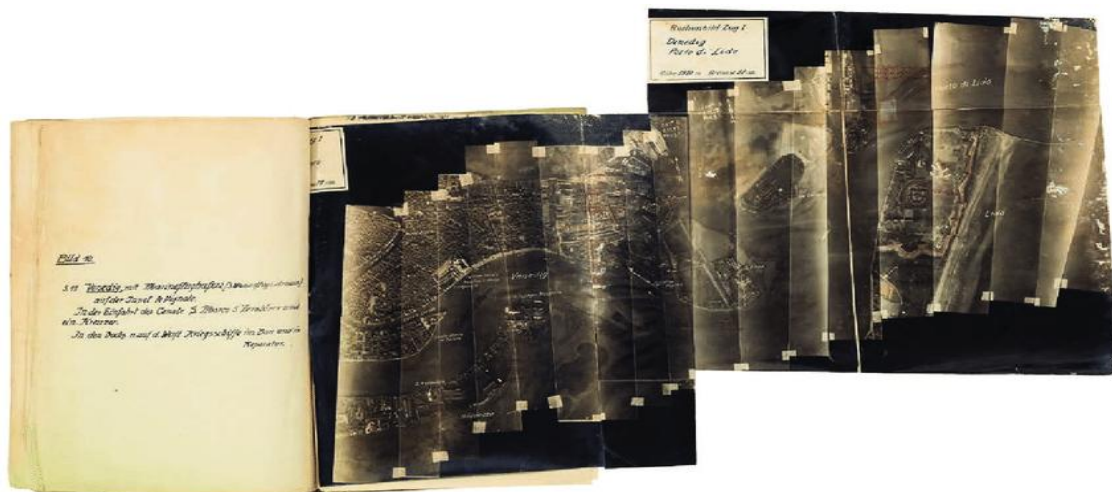
1. ábra: Nadar légifelvétele Párizsról (Forrás: Intenet1)

Az első szárnypróbálgatások az 1850-es évekre datálhatók, amikor Gaspard-Félix Tournachon (Nadar), kezdeti fotográfus és léghajós, e két foglalkozását ötvözve, elkészítette az első légifelvételt Párizsról és környékéről (1. ábra). Néhány évvel később, 1861-ben Bostonról is elkészült az első légifotó, melyet James Wallace Black, amerikai fotográfus örökölt meg, szintén egy hőlégballon kosarából kihajolva, 400 méter magasságból. Ebben a korszakban indult el a geológiai légifényképezés is, melyet egy svájci geológus, Hiem nevéhez köthetünk (De Jong, 2007).

A repülés technológiájának fellendülése, a légifényképezést is elősegítette, 1909-ben az egyik Wright fivér megalkotta az első, levegőből felvett mozgóképet, majd 4 évvel később, olasz földtani kutatók összeilleszthető légifelvételeket készítettek a líbiai Bengázi térségről.

Az első világháborúban a felderítő repülőgépek mindennapi tartozéka lett a hagyományos és a kettős fényképezőgép, valamint 1915-től pedig a sorozatvevő kamera. A sztereoképek igen lényeges előrelépést jelentettek, ugyanis a két kép optikai tengelye egymáshoz képest eltérő szögben irányult a földfelszínre, s az ugyanarról a területről egyazon pillanatban kapott felvételek lehetővé tették, hogy a légifénykép-értékelő szakemberek térhatású, (ún. sztereoszkopikus) képet lássanak. Az ilyen képlátás megkönnyítette a domborzat tanulmányozását, a földtani formaelemek (felboltozódások, szerkezeti vonalak, a rétegzettség, stb.) felismerését (Lóki, 2002).

A második világháború alatt, az USA-ban, Németországban és Japánban szinte minden film- és fényképezőgép-gyártót besoroztak a háborús igények kielégítésére. Számos, a fényképezés technikáját forradalmasító innováció látott napvilágot ebben az időszakban. Ekkorra datáljuk a sötétsárga szűrők megjelenését, a sivatagi homokfelületről visszaverődő fény hatásának redukálásának céljából, illetve az infravörös tartományban is érzékelő eszközöket, mely technológiát az éjszakai csapatmozgások észlelésére használtak. Ahhoz hogy képesek legyenek fotóval dokumentálni a lelőtt ellenséges repülőgépeket, pontosabb képfelvevőkre volt szükség. Így jelentek meg a többlencsés rendszerek, melyek egyéb térképészeti célokra is alkalmasak voltak. Ezen újítások mind ahhoz vezettek, hogy a hadviselő felek idővel jobbnál jobb minőségű képek rögzítésére lettek képesek (Quagliati, 2020).



2. ábra: német fotográfiai térkép Velencéről (Forrás: Internet2)

1949-ben kezdetét vették a szovjet magassági rakétakísérletek, melyek akár 500 kilométerre is képesek voltak feljutni. 1957-ben, a szovjetek megépítették és sikeresen Föld körüli pályára állították az első műholdat, a Szputnyik-1-et. Az 1960-as évek már számos műhold gyűjtötte az adatokat: a Tiros-, illetve a Discover-sorozat, melyeknek elsődleges feladata a meteorológiai megfigyelés volt, míg a Nimbus-műholdak az első erőforráskutatást szolgáló család volt (Emery & Camps, 2017).

A Nimbusok „leszármazottjaiként” emlegetjük az 1972-ben pályára állított ERTS-Landsat műholdakat, melyeket hasonló célokkal helyeztek üzembe kaliforniai kutatók. A legfrissebb, Landsat-9-es egységet 2021-ben állították szolgálatba. A programban részvevő műholdak szinte a Föld teljes felszínét képesek vizsgálni, beleértve a szárazföldeket és az óceánokat (Short, 1982).

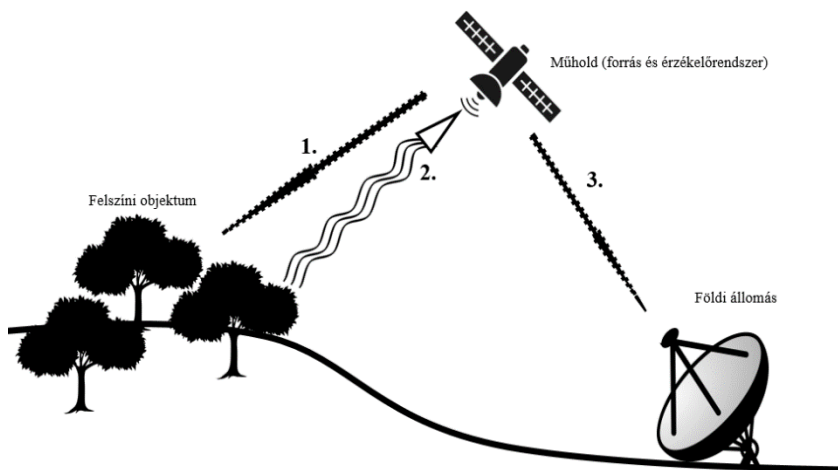
1986-tól Franciaország is Föld-körüli pályára állít kutató mesterséges holdakat. A SPOT műholdak, hasonlóan a Landsathoz, kb. 900 km magasságban poláris pályán keringenek.

Továbbá meg kell említenünk az Európai Unió Föld-megfigyelési kezdeményezését, a Copernicus programot, mely keretében az Unió 2014 óta állítja Föld körüli pályára a Sentinel műholdcsalád tagjait, hogy adatokat szolgáltatassanak a felszíni és légköri folyamatokról.

2.1.3. A távérzékelés fizikai alapjai

A távérzékelés fizikája azon a tényen alapul, hogy az egyes felszínborítási típusokat különböző anyagok alkotják és ezen anyagok a Napból érkező elektromágneses sugárzást eltérő módon verik vissza, és ezen visszavert sugárzást érzékelik a szenzorok. A visszavert sugárzás mellett, a felszíni objektumok is bocsátanak ki elektromágneses sugárzást akkor, ha az abszolút hőmérsékletük 0 °C fölött van.

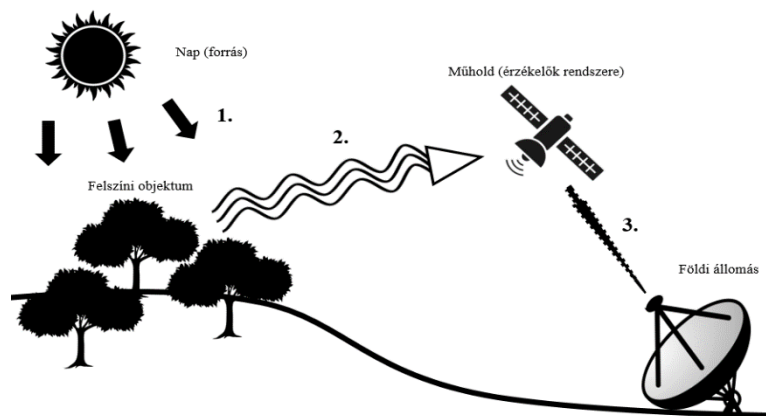
A távérzékelés két fajtáját említhetjük meg: aktív és passzív távérzékelés. Az aktív távérzékelés (3. ábra) saját energiaforrással – ami lehet fény vagy egyéb sugárzás – rendelkező eszközre támaszkodik, melyek saját jelet sugároznak a felszínre, és a visszaérkező jelerősséget elemzik ki. Ilyen eszközök között tartjuk számon például a radart és a LIDAR-t (lézeres letapogatás). Hatalmas előnyük, hogy – mivel a napfénytől függetlenül működnek – bármely napszakban bevethetők, illetve az atmoszférikus szóródás csak kis mértékben hat a mérések pontosságára (Shibendu Shankar, 2014).



3. ábra: az aktív távérzékelés folyamata (saját szerkesztés)

Ezzel szemben, a passzív rendszerek (4. ábra) a Napból érkező és a felszínről visszaverődő sugárzást érzékelik, nem bocsátanak ki saját energiát a vizsgálni kívánt felület felé, ezáltal a hátrányuk is éppen ebből adódik. A felvételek készítése során multispektrális vagy hiperspektrális érzékelőket használnak, melyek a beérkező energiamennyiséget sávkombinációkban (band) rögzítik. Ezen csatornák az emberi szem számára látható (VIS), illetve rajta kívül eső (infravörös (IR), közeli infravörös, (NIR), termális infravörös, (TIR), mikrohullám) tartományokra oszlanak (EOS Data Analytics, 2020).

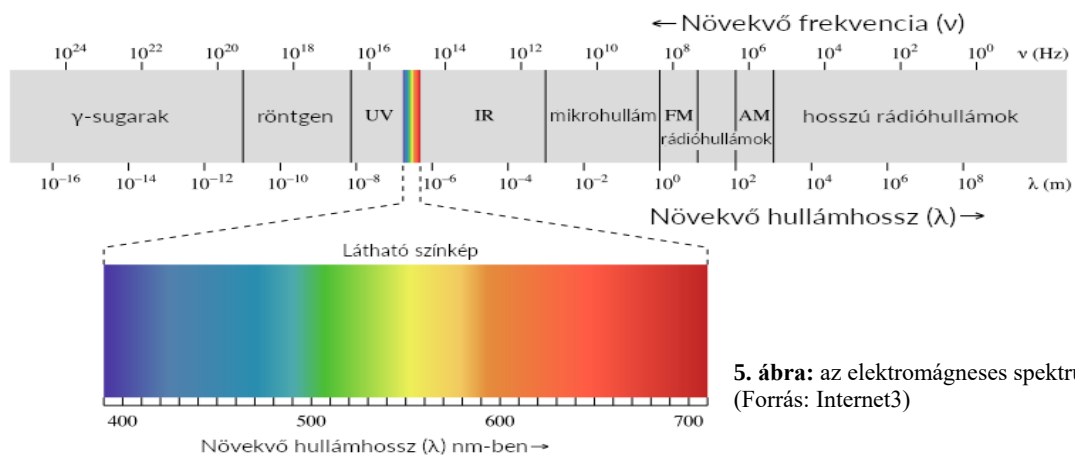
A passzív távérzékelési eszközök nevei pontosan meghatározzák, hogy milyen mérésekre használják őket. Például a spektrométer, a spektrális sávokat különíti el és ezáltal kerülnek elemzésre. A radiométer, az objektumok által kibocsátott, vagy visszavert sugárzás energiáját rögzíti és méri. A legpontosabb passzív távérzékelési rendszer a hiperspektrális radiométer, mely extrém magas felbontással dolgozik és több száz, végtelenül keskeny tartományt képes rögzíteni (EOS Data Analytics, 2020).



4. ábra: az passzív távérzékelés folyamata (saját szerkesztés)

A földfelszín környezetének megismerése közben nem vesszük igénybe a teljes elektromágneses spektrumot. Az egyes hullámhossz tartományok érzékeléséhez különböző műszereket használnak fel. Az emberi szem érzékenysége mindössze a $0,4\text{-}0,7\ \mu\text{m}$ közötti hullámtartományra terjed ki (5. ábra). A $0,4\text{-}0,5\ \mu\text{m}$ között érzékeljük a kék színt, $0,5\text{-}0,6\ \mu\text{m}$ között a zöldet és $0,6\text{-}0,7\ \mu\text{m}$ között a vöröset (Ashraf, 2011).

Az infravörös tartomány három egymástól eltérő intervallumra osztható: közeli-infravörös $0,7\ \mu\text{m}$ -től $1,3\ \mu\text{m}$ -ig, a középső-infravörös $1,3\text{-}3\ \mu\text{m}$ és termális-infravörös $3\ \mu\text{m}$ -től (Mucsi, 1995).



5. ábra: az elektromágneses spektrum
(Forrás: Internet3)

2.1.4. Az ortofotó fogalma

Digitalizált légifelvétel, melyről kiiktatták a kamera dőlésszögéből, vagy a terep domborzatából eredő torzításokat. Az ortofotó az egész képen tartja a méreterányát, így térképként használható (Esri GIS Dictionary).

Az ortofotók ortogonális, térképi rendszerbe (EOV, EPSG: 23700) transzformált mérésre alkalmas légifényképek. Az ortokorrekció segítségével a légifelvételek mentesíthetők a fényképezés sajátosságából fakadó torzulásoktól (pl. domborzat), a légifelvételek a földrajzi térben a helyükre kerülnek. A minősített objektumot leképező ortofotók a MH Geoinformációs Szolgálat által retusált területeket is tartalmaznak. Az ortofotók natív felbontásnál „gyengébb” felbontásban, illetve tömörített fájl formátumban (JPEG) is elérhetőek. Az ortofotók négy sávós (RGBI), vagy valós (RGB), illetve hamisszínes sávkombinációban (CIR) is választhatók (Lechner Tudásközpont).

2.1.5. Az ortofotók hasznosítása

Az ortofotók felhasználása igen széleskörű, de mindenekelőtt a térképkészítés alapjául szolgálnak. Továbbá, az ortofotókból származó információk alapot adhatnak a településtervezésre, segítik az egyes geológiai kutatásokat, környezetvédelmi monitoringot, földhasználatok tervezését, nyomon követését és ellenőrzését (Southard, 1958).

2.1.6. A felhasznált ortofotók paraméterei

Dolgozatomhoz kizárólag hamisszínes, vegetációs állapotban készült felvételeket igényeltem, a fentebb említett három időkeresztmetszetben. A 2010-es és 2014-es felvétel natív felbontása 0,5 m/px, a legfrissebb, 2022-es felvételé pedig 0,4 m/px.

2.1.7. A SAGA GIS

Mint azt a bevezetésben is kifejtettem, a dolgozatomhoz rendelkezésre álló adatok feldolgozását a SAGA GIS szoftverrel végeztem, ami egy német fejlesztésű, robosztus térinformatikai elemzőcsomag, melyet elsősorban természeti erőforrás-kutató szakemberek használnak (Köthe, 1996).

Példák a SAGA GIS alkalmazási lehetőségeire:

- növényzettérképezés: ortofotók elemzése és osztályozása különböző növényzettípusok azonosítására, tematikus térképek megalkotása.
- terepviszonyok által befolyásolt folyamatdinamikák előrejelzése: digitális domborzatmodellek (DEM) elemzése, vízfolyási modellek kiszámítása.
- talaj és geológiai vizsgálatok: térképek készítése a felszíni közettípusuk eloszlásáról.

- éghajlati paraméterek előrejelzése: a növényzet alapján következtetéseket vonhatunk le a páratartalom és a csapadék eloszlásáról.

(Training Manual, 2017)

2.1.8. A digitális képosztályozás definíciója

A digitális képosztályozás egy olyan eljárás, mely folyamán a digitális képpontokat (pixeleket) kategóriákba soroljuk azonos jellemzőik alapján. Ez a kategorizálás történhet spektrális (fényvisszaverődés), texturális (felületminőség), geometriai (alak) vagy más jellemzők alapján. A digitális képosztályozás célja a képi információk kinyerése és elemzése, azonosítása, osztályozása és térbeli eloszlásának feltérképezése (Eastman, 1999).

A besorolási folyamat célja, hogy egy digitális képen belül minden egyes képpontot besoroljon a felszínborítási típusok valamelyik osztályába. Ezt a kategorizált adatot ezután felhasználhatjuk tematikus térképek készítésére, amelyek a képen látható földfedettséget ábrázolják. A besorolás elvégzéséhez általában multispektrális adatokat használnak, és valójában minden egyes képpont adataiban lévő spektrális mintázat szolgál a kategorizálás numerikus alapjaként (Lillesand & Kiefer, 1994).

Esetemben sem volt ez másképp, a légifelvételek képosztályozását (image classification) végeztem el a szoftverrel. A kvantitatív folyamat során a képpontok (pixelek) elkülönítésére osztályokra van szükségünk. Ezen osztályok az egyes felszínborítási típusok (erdő, mezőgazdasági terület, beépített terület, vízfelszín, stb.) szerint különülnek el.

2.1.9. A digitális képosztályozási lehetőségek

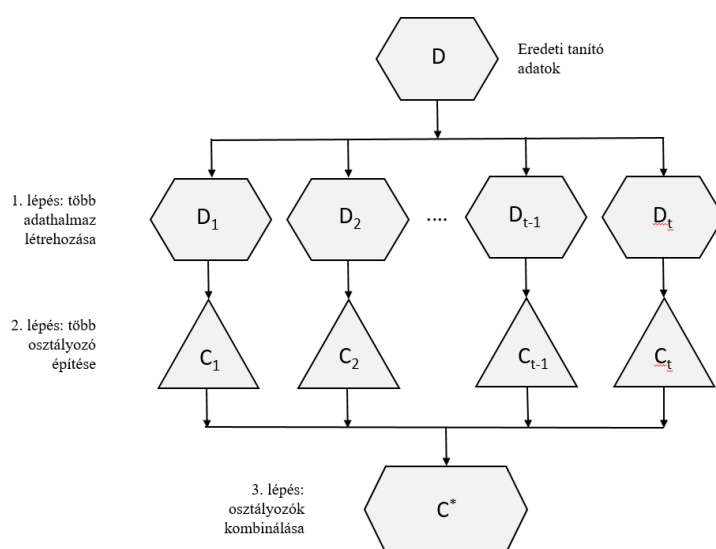
A szoftver két fő megközelítést kínál fel a felvételek osztályozására: Unsupervised Classification (felügyeletlen képosztályozás) és Supervised Classification (felügyelt képosztályozás). Előbbi automatikusan csoportosítja a pixeleket spektrális hasonlóságaik alapján, míg utóbbi esetében Training Area (tanulóterületek) létrehozására van szükség. Ezen területek földfelszíni borítása ismert, így a tanulóterületek poligonjainak kijelölését követően a szoftver osztályokba sorolja őket (Training Manual, 2017).

A tanulóterületek kiválasztása során igyekeznünk kell több kisebb poligont kijelölni adott felszínborítási osztályhoz, ugyanis így elkerülhető az osztályok keveredése.

Osztályonként minimum 50 pixel kijelölése ajánlott (abban az esetben, ha több felszín típussal dolgozunk, akár 100 pixelre is szükségünk lehet), emellett törekedjünk arra is, hogy a mintavételek során lefedjük az egész felvételt (Szabó, 2021).

2.1.10. A Random Forest módszer

A kutatás során a leghangúlyosabb képosztályozási algoritmus, a Random Forest Classification volt, mely egy felügyelt, gépi tanuláson alapuló technika. Működésének alapjául szolgáló tanítótérületekből épít fel több egyedi döntési fát és minden egyes fa egy véletlenül kiválasztott jellemzőkből mintázott vektoron alapul. Ez a minta független a többi fától. Ahogy a fák száma nő, a generalizációs hiba (azaz az új adatokon való teljesítmény) közelít egy határértékhez. Ez a hiba függ az egyedi fák pontosságától és azok egymás közti összefüggésétől (Cutler, 2011).



6. ábra: a Random Forest működését bemutató ábra
(saját szerkesztés)

2.1.11. Maximum Likelihood módszer

A Maximum Likelihood az egyik leggyakrabban használt osztályozási módszer a távérzékelte adatok feldolgozására. Az algoritmus a felvétel összes pixelét, a tanulótérületek alapján sorolja abba az osztályba, melybe a legnagyobb valószínűséggel tartoznak, mindezt a pixelek spektrális tulajdonságait figyelembe véve (Stoica & Sharman, 1990).

2.1.12. Pontosságvizsgálat

Miután elkészült az osztályozás, ellenőrzést kell végeznünk a kapott adatokon, annak érdekében hogy megállapítsuk, hogy az osztályozás mekkora pontossággal futott le. A pontosság ellenőrzéséhez a tanulóterületeken túl szükségünk van tesztelő adatokra is, melyeket a tanulóterületekkel megegyező poligonok, velük együtt is létrehozhatjuk, de figyelve arra, hogy egymástól területileg függetlenek maradjanak. Fontos továbbá, hogy a minták egyazon felvételtől kerüljenek kiválasztásra.

Szinte minden osztályozásban találhatunk hibákat, ami abból adódik, hogy az egyes tereptárgyak, vagy felületek által visszavert hullámok hullámhossztartománya hasonló, vagy megegyezik, így két eltérő felszínborítási típus is egy osztályba rendszereződhet. Ezen osztályok pontosságát a hibamátrix alkalmazásával tudjuk ellenőrizni, a korábban létrehozott tesztelő adatok használatával. A hibamátrix kiszámítja, hogy az egyes osztályok becsült adatai milyen mértékben felelnek meg a valós tematikai besorolásnak (Czímber, 2001).

Az osztályozás eredménye egy tematikus térkép, melynek minden egyes pixele a tanulóterületek alapján betanított modell becslése.

3. Anyag és módszer

3.1. A mintaterület bemutatása

Az általam választott mintaterület Eger belterülete, a Bükk-vidék délnyugati részén terül el, közel 16 km²-en. A város az Eger-patak völgyében helyezkedik el. Keletre és nyugatra a domborzat emelkedése figyelhető meg, viszont a szűk belvárosi sáv, a Déli Ipari Terület, illetve északon az Egerhez 1971-ben hozzácsatolt falu, Felnémet és a falu részét képező Berva városrész, javarészt feltöltött síkságon teül el.

A város lakossága 50 018 fő (KSH 2023. jan. 1.). Eger a többi vásárvároshoz hasonlóan, a hegyvidék és az Alföld közötti árucseré helyszínéül szolgált több koron át, manapság a Bükk „nyugati kapujaként” tekinthetünk rá, így tranzitszerepe kiemelkedik. A főbb útvonalak csapásiránya észak-déli, a bervai és a Déli Ipari Terület üzemein túl, az Egertől északra lévő Ózd vasművének termékeinek egy része dél felé hagyják el a területet.

3.2. A felhasznált felvételek

Mint ahogyan már említettem, a dolgozatomban 3 év vegetációs időszakában készített ortofotóit használtam, melyeket a geoshop.hu oldaláról töltöttem le. A honlapon keresztül a 10 évnél régebbi felvételek ingyenesen hozzáférhető minden regisztrált felhasználó számára, azonban a 2022-es ortofotók megszerzése sem jelentett problémát, ugyanis ezen felvételek is ingyenesen letölthetők, amennyiben a felhasználó kutatási célból kíván hozzájuk férni.

A mintaterület 10 db szelvényen terül el, e szelvények összeillesztését, georeferálását és a mintaterület poligonja menti kivágását a QGIS szoftverben végeztem el.

3.3. Alkalmazott módszerek

3.3.1. Terepi adatgyűjtés

A pontosság fontosságát szem előtt tartva, személyesen is ellenőriztem néhány tanító és tesztelő terület esetében a felszínborítási típusokat, hogy megfelelően jellemezhessek a később létrehozott osztályokat.

3.3.2. A belterület lehatárolása

Eger Megyei Jogú Város Önkormányzatával jó kapcsolatot építettem ki a szakmai gyakorlat alatt, így a hivataltól megkaptam a város EOVS rendszerbe georeferált rendezési tervét is. A tervet QGIS-be beillesztve, pontosan le tudtam maszkolni a belterület határvonalát, így készítve kivágatot az ortofotókból.

3.3.3. A tanító és ellenőrző területek kijelölése

A terepi bejárást, és az ortofotók előkészítését követően, poligonokat jelöltem ki, úgy hogy a lehető legpontosabban jellemezzenek egy-egy rájuk jellemző osztályt, majd ezen poligonokat két jól elkülönülő csoportra bontottam: tanító- és ellenőrző poligonok.

Tanulóterületek osztályainak neve	Pixelek száma (db)
Füves terület	81812
Fás terület	6442
Beépített terület	46750
Árnyék	241

1. táblázat: az tanulóterületek osztálynevei, illetve az általuk lefedett pixelek száma

Tesztelő területek osztályainak neve	Pixelek száma (db)
Füves terület	59671
Fás terület	8621
Beépített terület	27585
Árnyék	295

2. táblázat: az ellenőrző területek osztálynevei, illetve az általuk lefedett pixelek száma

3.3.4. Az ellenőrzött osztályba sorolások elvégzése

Az ellenőrzött osztályba sorolások közül két módszert alkalmaztam: a Random Forest és a Maximum Likelihood algoritmust. A SAGA GIS-be betöltve az osztályozás alapját adó ortofotókat és a vektoros állományokat, kitallózva az osztályozó algoritmusokat és őket megfelelően paraméterezve, elvégeztem a szoftverrel a két osztályozást.

Mindkét módszernek megvan a maga előnye a másikkal szemben, hogy éppen melyik alkalmasabb egy feladat elvégzésére több szempont is befolyásolja. A Random Forest algoritmust, nagyszámú döntési fáival jellemzően nagyméretű adathalmazok osztályozására alkalmas, míg a Maximum Likelihood módszer statisztikai modelljeinek használatával hatékonyan kezeli a zajos, esetlegesen adathibás felvételeket.

A kutatásom további szakaszaiban egy kategóriába vontam össze a gyepel és fás növényekkel fedett területeket (zöldfelületek) és elvettem az árnyékos területeket, így összesen két felszínborítási típusra koncentráltam: zöldfelszín és beépített terület.

A vizsgálat során a vízfelszínekről nem kaptam releváns osztálytípust, ugyanis különböző kompozitokon sem különült el markánsan az árnyékos területektől. Az Eger-patak – az egyetlen vízfelszín – esetében, a környező fák miatt a legtöbb szakaszon árnyék vetül rá, így a tiszta vízfelszín annyira elenyésző területű osztályt képviselt volna, hogy a továbbiakban ettől is eltekintettem.

3.3.5. A pontosságvizsgálat

Sok tényező befolyásolhatja az elkészült osztályozások pontosságát. Ide sorolhatjuk a légköri zajt, a hibásan kiválasztott tanulóterületeket, illetve a helytelen kategória-lehatárolásokat.

Ahhoz hogy ki tudjuk értékelni a távérzékelte adatokból származó adatok precizitását, pontossági vizsgálatokat kell igénybe venni. A vizsgálat érdekében létrehozott ellenőrző területek itt kaptak fontos szerepet. Jelen esetben is fontos megjegyezni, hogy ezen területek pixeljei nem lehetnek azonosak a tanulóterületek pixeljeivel, mert ez rontana az ellenőrzés minőségén és fals pozitív értékeket eredményezne (Hughes, 2006).

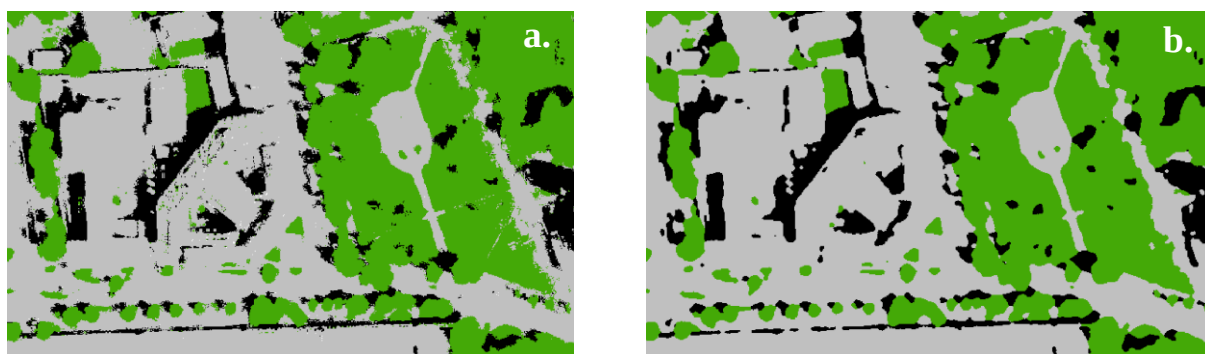
A pontosság értékelése során a hibamátrix eljárását használtam, melynek nagy előnye, hogy rámutat az egyes osztályok közötti kapcsolatra. A hibamátrix által használt két fontos mutató az AccProd (Producer's Accuracy) és az AccUser (User's Accuracy). Az AccProd-ot a jól osztályozott képpontok és a tanulóterületek pixeleinek az arányából számolja ki a pontosságot, míg az AccUser-t a jól osztályozott és az egyes osztályokban talált összes pixel arányát alapul véve (Abbas & Jaber, 2020).

Az általános pontosságot a Kappa-index adja meg (KIA - Kappa Index of Agreement), melynek értéke 0-100% között változik, és azt vizsgálja, hogy az AccProd és az AccUser adatbázisai között mekkora egyezés lépett fel, amit a véletlenhez viszonyít (Szabó, 2013).

3.3.6. A szűrés

Az ellenőrzött klasszifikációkat lefuttatva, az elkészült raszterek zajosak lehetnek. Esetemben is így volt, szükségesnek bizonyult úgynevezett aluláteresztő (simító) szűrést végezni. A szűrés elvégzéséhez szükséges definiálnunk egy bizonyos élhosszúságú ablakot (kernelt), amellyel az algoritmus végigpásztázza az adatbázist és a kernelen belüli pixelértékek kiugró értékeit megváltoztatja a pixelek átlagára vagy móduszára (Szabó, 2013).

A foltjaim homogenizálására jelen esetben is a SAGA GIS-t hívtam segítségül, az input rasztereken egy 3×3 -as kernelt futtattam végig és a módusz szűrő, a 7. ábrán látható módon simította, homogenizálta az adatbázisomat.



7. ábra: a 2022-es, 3 csoportra osztályozott raszter kivágata a 3×3 -as kernelű módusz szűrés előtt (a.) és után (b.)
(saját szerkesztés)

4. Eredmények

4.1. Áttekintés

Elsősorban az volt a célom, hogy megadjam a különböző időkeresztmetszetekben az egri zöldfelületek kiterjedését, illetve ezen adatokat alapul véve, összehasonlítsam őket és egyértelműen kijelentssem, hogy csökkentek, stagnáltak, vagy növekedtek e felületek kiterjedései. Másodsorban, igyekeztem összehasonlítani a zöldfelületek és a beépített területek nagyságának az egymáshoz viszonyított arányát és jövőbemutató becslést adni arról, hogy mire számíthatunk, ha az aktuális folyamat nem mutat változást.

Az előző fejezetben kifejtettem, hogy két típusú osztályozási technikát fogtam munkára, – a Random Forest és az Maximum Likelihood modellt – az osztályozások lefuttatására és e két módszer hatékonyságára (pontosságára) világítottam rá. Felügyelt osztályozásokról beszélünk, így elengedhetetlen volt a tanulóterületek kijelölése, melyek egy-egy felszínborítási kategóriát hivatottak a lehető legkifejezőbben képviselni. Két fő kategóriát különítettem el, a fákkal és gyeppel borított zöldfelületeket, illetve a mesterséges (burkolt utak és épületek) felszíneket.

A tanulóterületektől függetlenül további poligonokat is kijelöltem, melyek az ellenőrzés (Hibamátrix) folyamatában játszottak kulcsfontosságú szerepet.

4.2. A színhelyes- és hamisszínes kompozitok elemzése

A kompozitok készítésének elsődleges célja az volt, hogy a lehető leghatározottabban elkülönítsem egymástól a zöldfelszíneket és a beépített területeket. Az ideális kompoziton hoztam létre a tanuló- és tesztelő területek poligonjait, viszont emellett, a vizuális interpretációra is maradéktalanul alkalmasak voltak.

A 8-11. ábrákon a 2010-es felvételekből készült kompozitok láthatók. A beépített, burkolt területek élesen elütnek az őket tarkító zöldfelületektől. A magasabb reflektancia értékek miatt világosabb színekkel különülnek el a beépített területek a környezetüktől, amik a csatornák variálásával piros, narancssárga, kék, vagy zöld színekben kerültek ábrázolásra. Spektrális tulajdonságaik miatt, árnyalati különbségeket vehetünk észre a gyeppel és lombos növényzettel borított felületek között, azonban egységesen, zöldfelületként kerültek feldolgozásra a munkám során.

Az alábbi négy ábra az Déli iparterület északi részét ábrázolja, a csatornákat négy eltérő módon rendezve:



8. ábra: RGB-201



9. ábra: RGB-021



10. ábra: RGB-120



11. ábra: RGB-121

4.3. Az osztályozások eredményei

4.3.1. Random Forest módszer eredményei

4.3.1.1. Eredmények 2010-ből

Az említett időkeresztmetszetekben (2010, 2014, 2022) készült felvételeket először a Random Forest módszerrel osztályoztam felszínborítási típusokra.

A 2010-es felvételen a gyepfelületek nagy pontossággal (99%) kerültek meghatározásra, azonban a lombos növényzettel borított felszínek csak 66%-ot értek el. Az algoritmus hatékonysága a beépített területek lehatárolása során is igazán jónak tekinthető, az útburkolatokat és a tetőket 89%-os pontossággal azonosította. Az osztályozás pontosságának Kappa-indexe: 0,90.

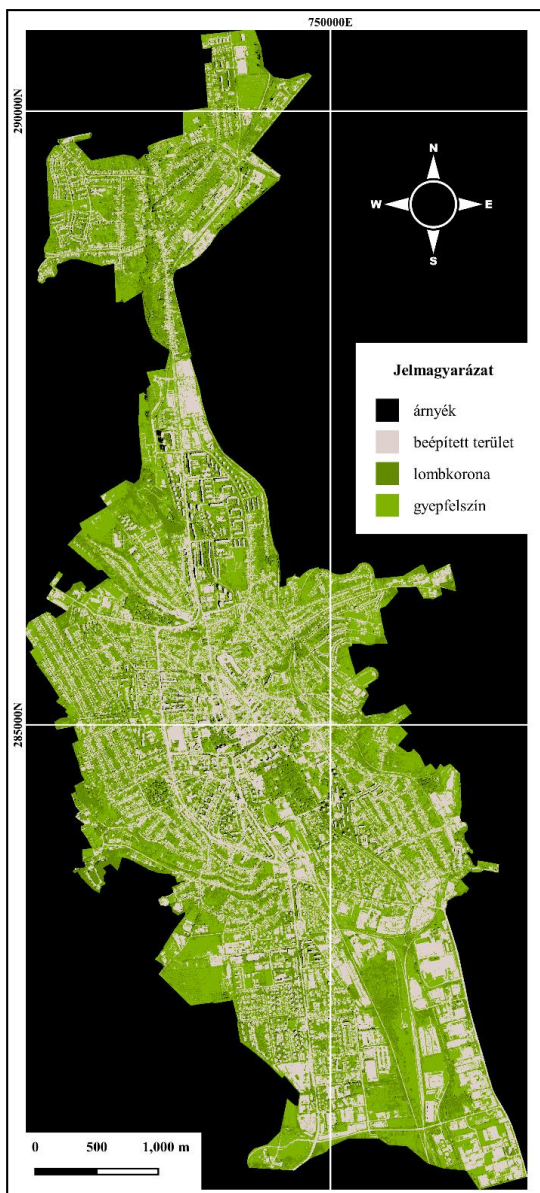
A két fő osztályozott kategória területét tekintve, 2010-ben a beépített területek által lefedett terület 569,6 ha volt, ami arányait tekintve több mint 36%-ot tett ki. A gyepfelszínek és a lombos növényzet által lefedett terület 1011,9 ha volt ugyanebben az évben, ami majdnem 64%-ot jelent (13. ábra).

4.3.1.2. Eredmények 2014-ből

A négy évvel későbbi állapotok vizsgálata során, az algoritmus osztályozási pontossága mind a gyepfelszínek, mind a beépített területek esetén is közel 99%-ot produkált, azonban a fák esetén ezen érték lecsökkent 54%-ra. Az osztályozás Kappa-indexe: 0,92.

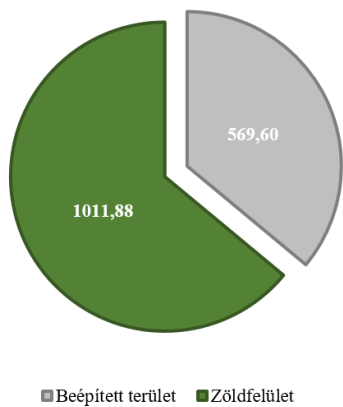
2010 és 2014 között a város gazdaságát tekintve a prosperálás szakaszában járt, azonban ez a zöldfelületek visszaszorulását eredményezte, több mint 1000 ha-ról 872 ha-ra csökkentek és ezzel fordítottan arányosan, a beépített területek 569 ha-ról, több mint 703 ha-ra gyarapodtak. (15. ábra)

A tendenciát természetesen a %-os arányok is követték, a beépített területek aránya meghaladta a 44,6%-ot, a zöldfelszíneké pedig az 55,4%-ot.

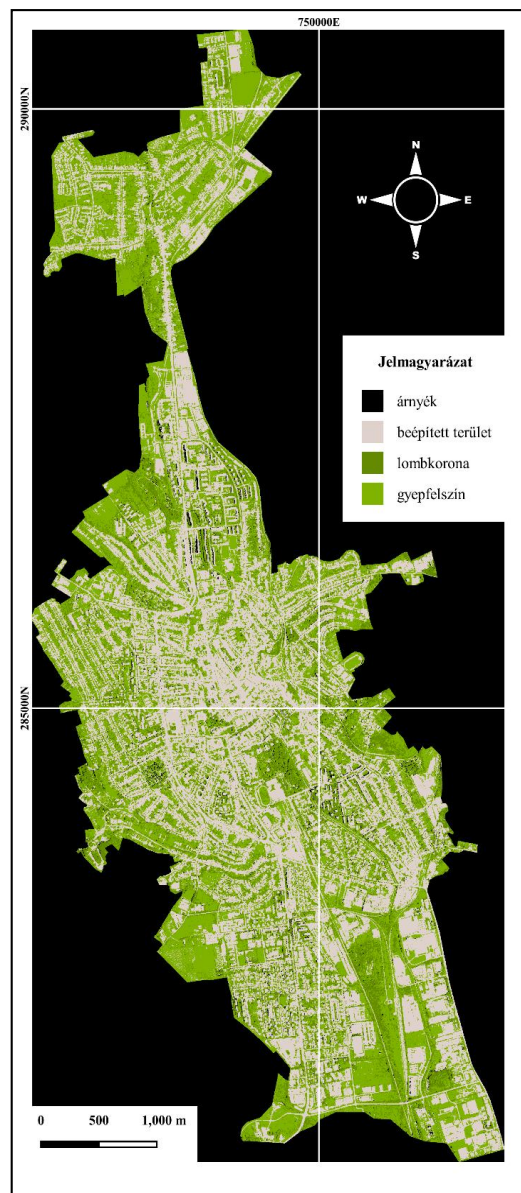


12. ábra: a 4 osztályos Random Forest osztályozás eredménye, a 2010-es adatok alapján

2010

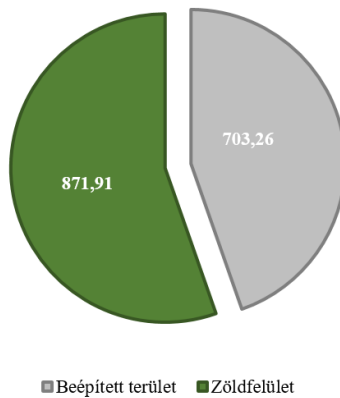


13. ábra: a zöldfelületek és beépített területek eloszlása 2010-ben (hektár)



14. ábra: a 4 osztályos Random Forest osztályozás eredménye, a 2014-es adatok alapján

2014

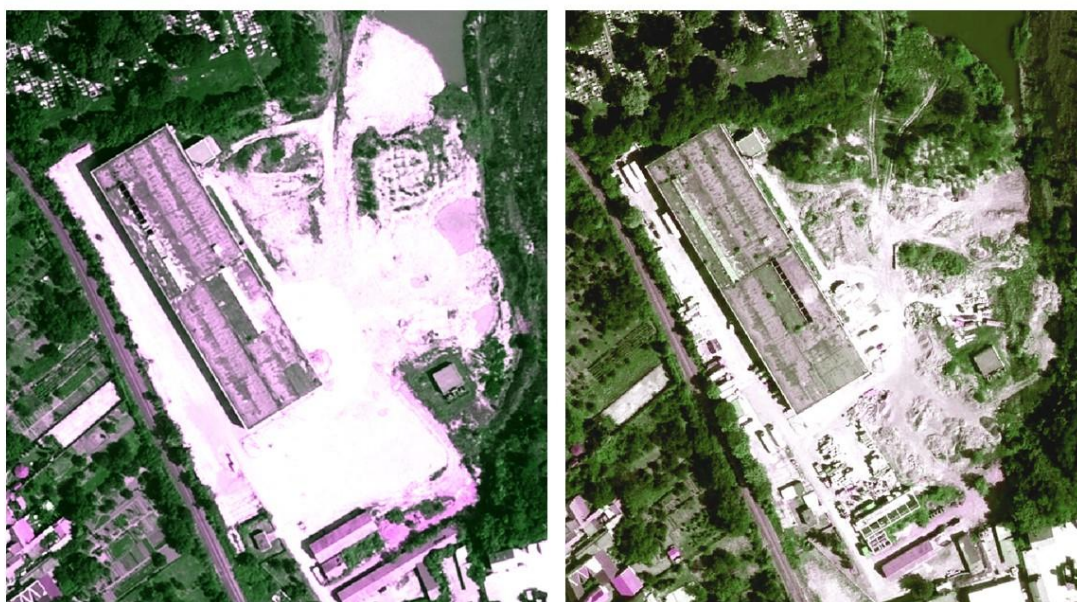


15. ábra: a zöldfelületek és beépített területek eloszlása 2014-ben (hektár)

4.3.1.3. Eredmények 2022-ből

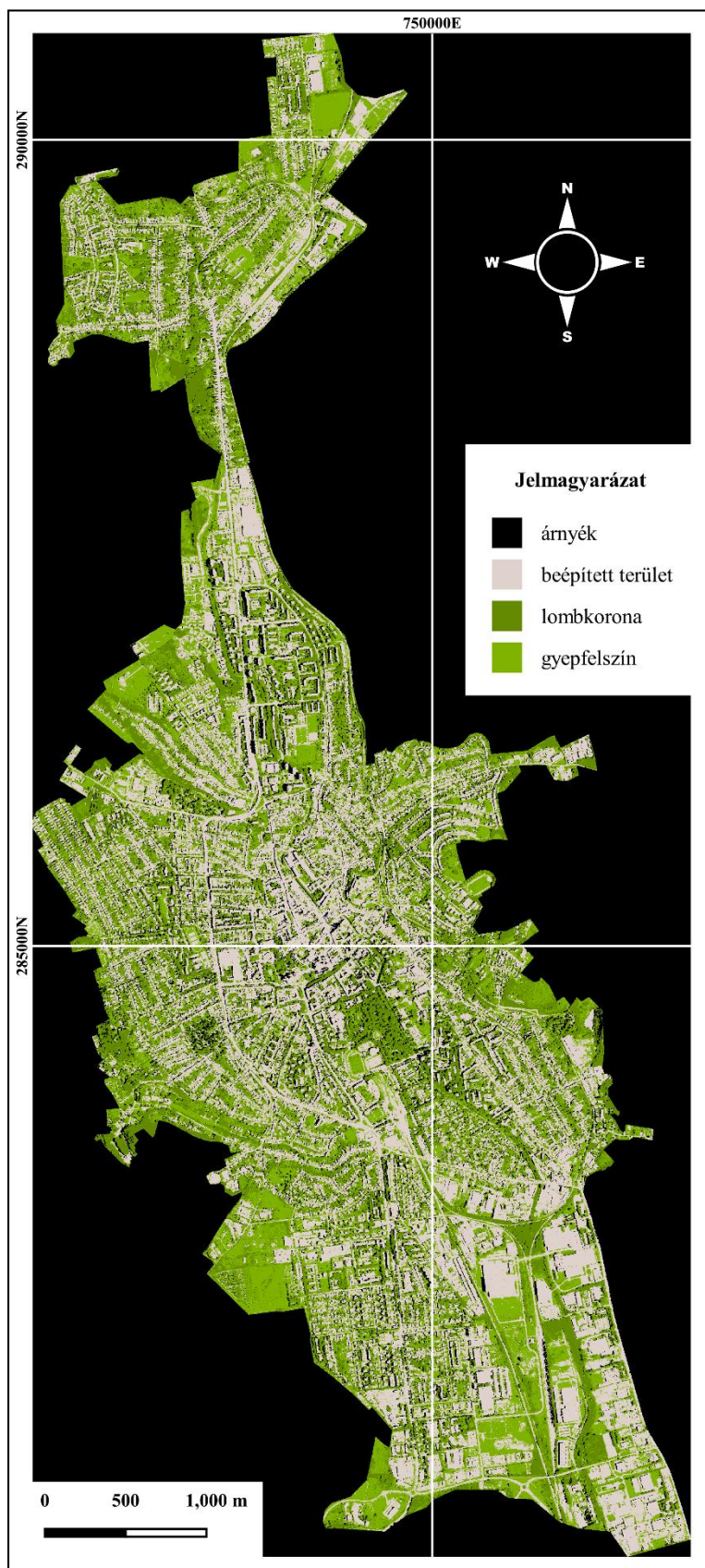
A legfrissebb, nagyobb felbontású (0,5 m/px helyett 0,4m/px) 2022-es felvételek pontossági értékei már nem ütnek el olyan hangsúlyosan egymástól, mint a korábbi két ortofotó esetében. A gyepfelületek osztályozása során a Random Forest módszer újfent 99%-os hatékonysággal dolgozott és ezúttal, a fás növények lombkoronáit is több mint 86%-os pontossággal sorolta be. Ezen változás a nagyobb felbontás javára írható, a 2022-es felvételeken a tanuló- és tesztelő területek kijelölése is egyszerűbb feladatnak bizonyult. Az útburkolatokkal és épületekkel fedett területeket, a korábbiak példája alapján megszokott pontossággal (98%) ítélte a helyes osztályba az algoritmus. Az osztályozás Kappa-indexe: 0,95.

2022-re a zöldfelületek „regenerációját” tapasztalhattuk, a nyolc évvel korábbi (872 ha-os) állapotokhoz képest, a területük 936,6 ha-ra nőtt, ami több mint 64 ha-os hízást jelent. Ezzel szemben a beépített területek csökkenését tapasztalhattuk, a korábbi 703 ha-os kiterjedésük a nyolc eltelt év alatt 641 ha-ra csökkent (18. ábra). A folyamat betudható a közelmúltban történt COVID-19 által okozott bezárások eredményének, mely az egyes ipari tevékenységeknek otthont adó épületek állapotának leromlásával, környezetük elgazosodásával járt (16. ábra).

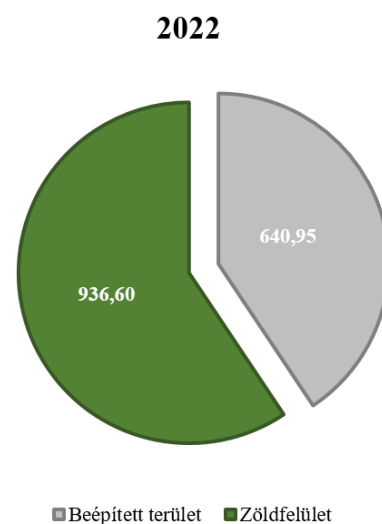


16. ábra: egy gazdasági terület változása 2010 és 2022 között az Ipari Körzet északi részén

Az arányokat tekintve, a zöldfelületek az összterület 59,4%-át, a beépített területek pedig a 40,6%-át foglalták el, így a 2014-es állapothoz képest, az arányok egymáshoz képest, mondhatni „egészséges” irányba tolódtak el.



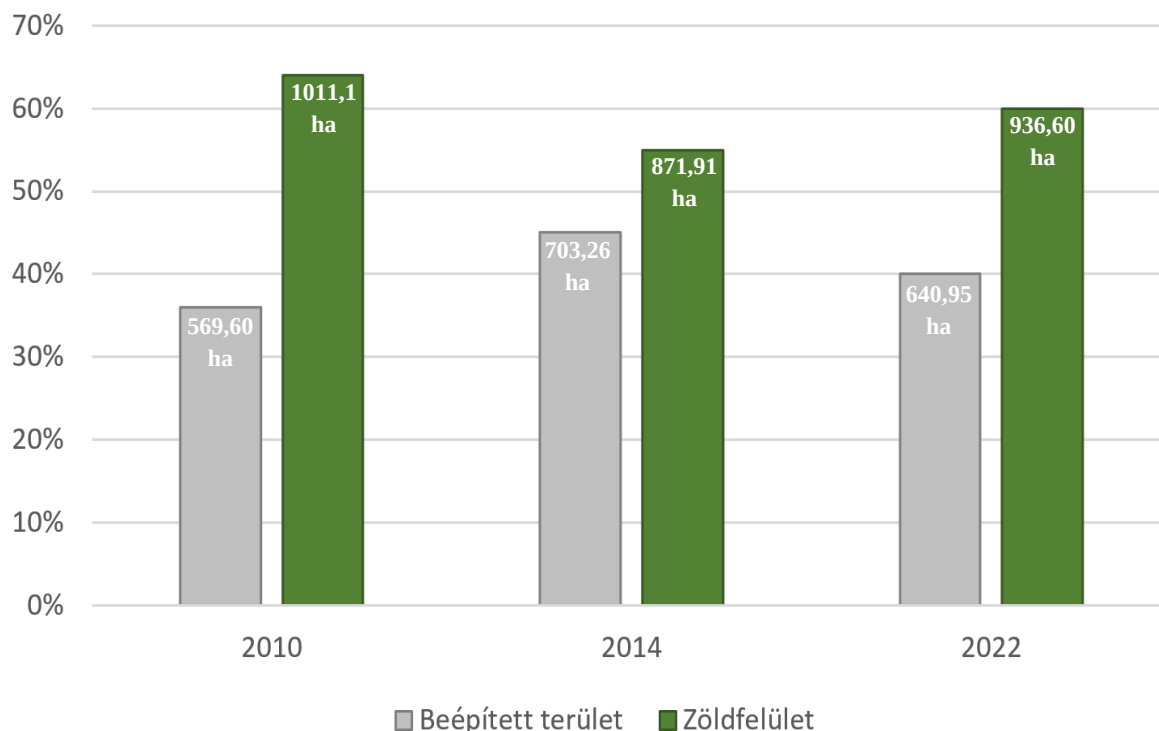
17. ábra: a 4 osztályos Random Forest osztályozás eredménye, a 2022-es adatok alapján



18. ábra: a zöldfelületek és beépített területek eloszlása 2022-ben (hektár)

4.3.1.4. A zöldfelületek területének változása

Az osztályba sorolt ortofotók alapján, a két fő felszínborítási típus százalékos értékeit felhasználva az alábbi diagramon (18. ábra) szemléltetem a kapott eredményeket. 2010-ben a beépített területek és zöldfelületek aránya 36-64%-os arányban oszlott meg, a 2014-ig történt fejlődést követően az arány 45-55%-os, majd a 2022-ig bekövetkező romlás eredményeképp a 40-60%-os eredményt mutatta ki a vizsgálat.

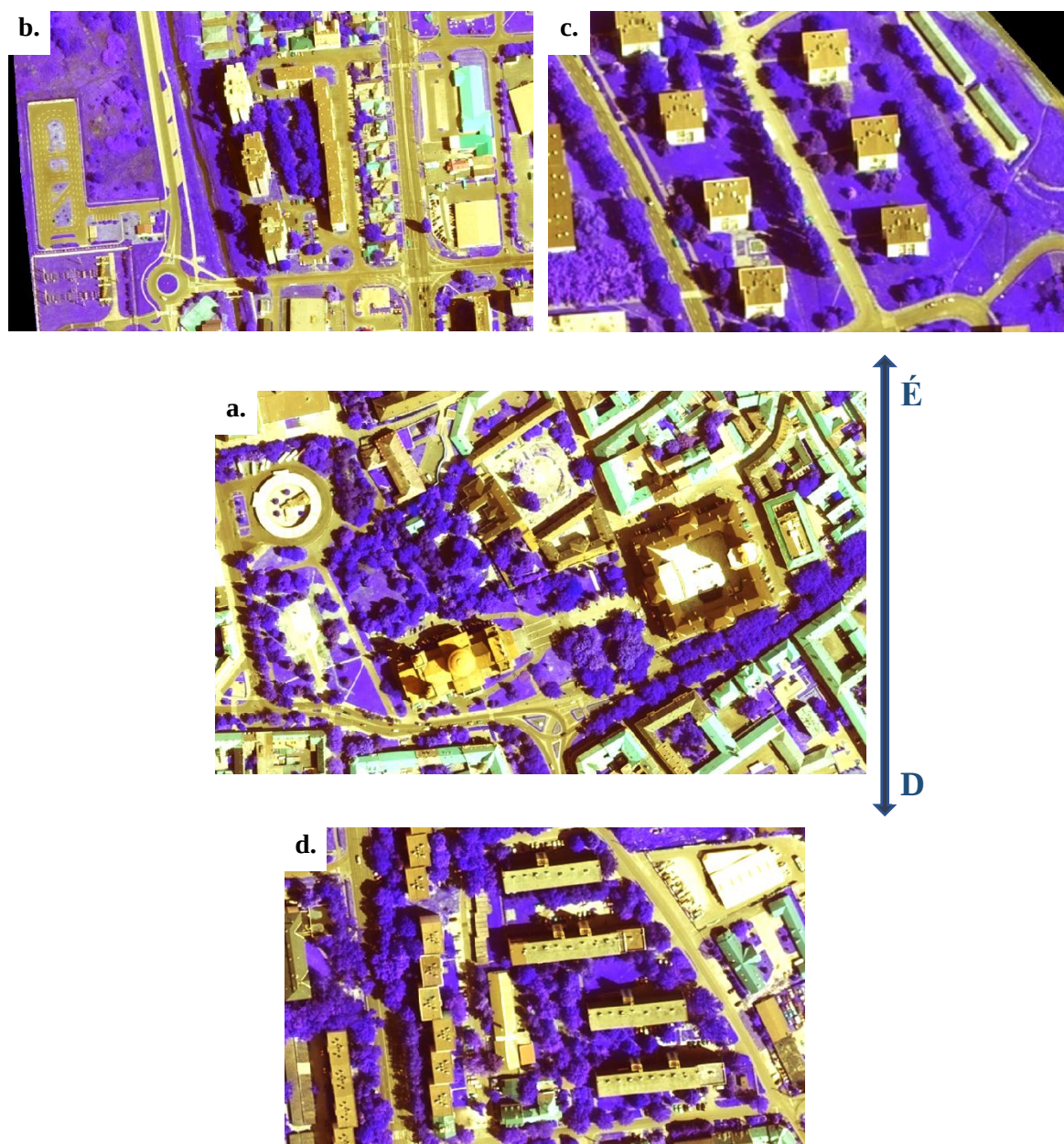


18. ábra: a beépített területek és a zöldfelületek százalékos eloszlása (2010-2022)

4.3.1.5. További megállapítások

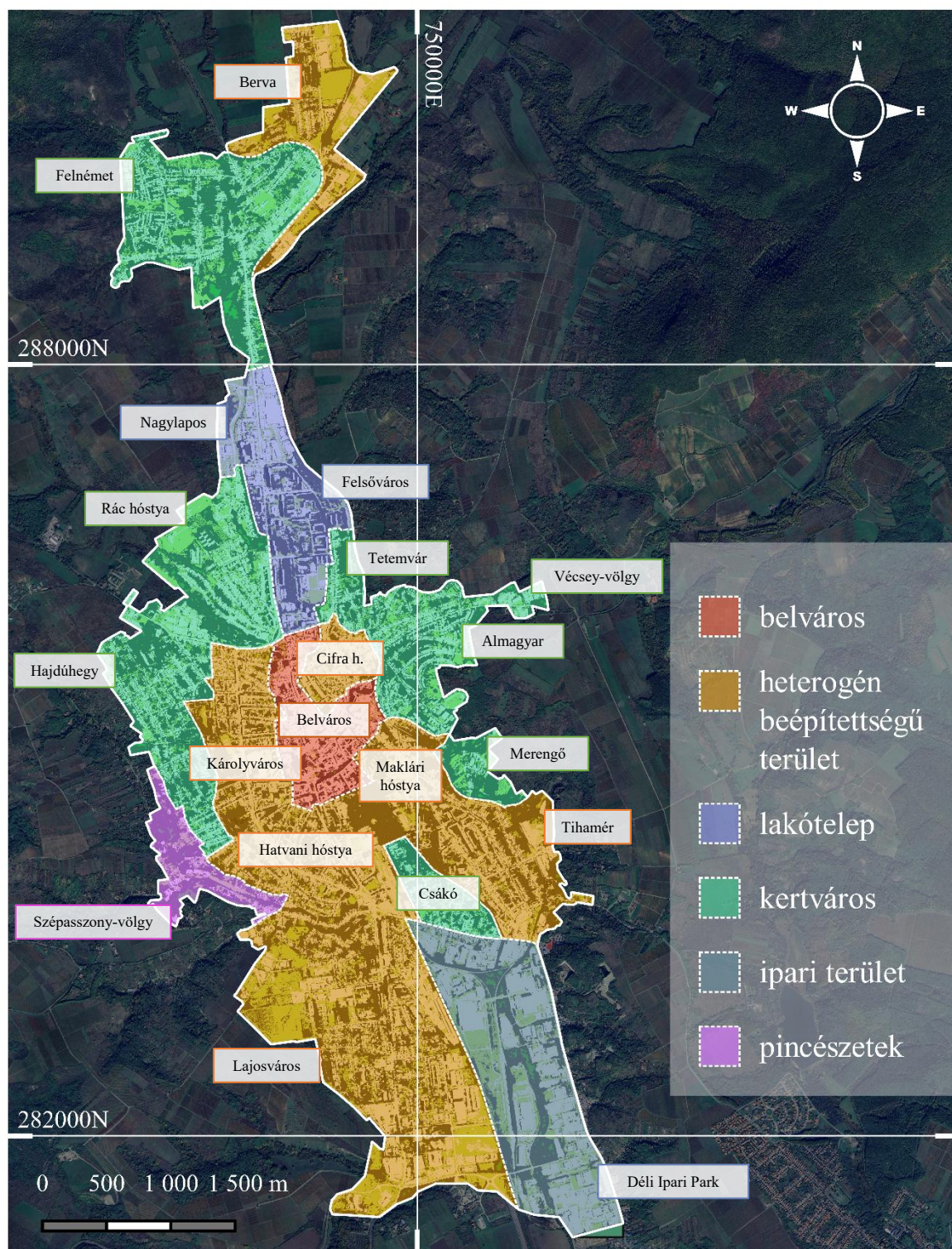
Az eredményeken végigtekintve észrevehetjük, hogy a 2014-es értékek ugyan követik a gazdasági fejlődés által diktált trendeket, azonban az arányok feltehetőleg eltúlzottak. A hiba oka valahol a felvételek létrejötte utáni feldolgozásnál keresendő. Egyes, rendszerint magasabb épületeknek látszólag dőlt helyzetűek, ez a centrális vetítés miatt figyelhető meg, azonban az ortofotók – a térképekhez hasonlóan – a felszín ortogonális vetületét kell hogy mutassák. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a felszínt merőlegesen ábrázoljuk, tehát az épületeknek csak a teteje jelenhet meg. Centrális vetületből ortogonális vetületbe történő transzformálást nevezzük ortorektifikációnak, képhelyesbítésnek.

A 2014-es felvételek esetén a belvárosi és az azt övező területek épületei szinte tökéletesen merőlegesen láthatók, ugyanis a légi jármű, amiről a felvételezést végezték, e területek fölött haladt át, így a fényképezés irányára merőlegesen állnak. Azonban tőlük északra és délre már egy bizonyos mértékű hiba, dőlés figyelhető meg, ami azt eredményezi, hogy az épületek zöldfelszíneket takarnak ki. Ezt nevezzük ortorektifikációs hibának. Azáltal hogy a zöldfelszínekre „rádőlnek” az épületek, a klasszifikációk során kis mértékben megnövelik a beépített területek nagyságát, így torzítva az eredményeken. E jelenségnek lehetünk a tanúi a 19. ábrán is.



19. ábra: a belvárosi terület (a.) tökéletesen ortorektifikálva, és tőle északra fekvő Felsőváros (b. és c.) és délre fekvő Lajosváros (d.) „megdőlt” toronyházai

4.3.1.6. Változások a különböző jellegű városrészekben



20. ábra: Eger városrészeinek csoportosítása a beépítettség jellege szerint (saját szerkesztés)

Eger városrészeit hat főbb típusra osztottam (20. ábra) a következő elv szerint:

- a) belváros: sűrűn beépült városrész, közigazgatási, oktatási és kulturális intézményekkel, terekkel (a legnagyobb arányban beépült városrész).
- b) heterogén beépítettségű terület: olyan városrészek, melyeken egyaránt megtalálhatók panelházak, kertes házak, oktatási intézmények, parkok, temetők és kisebb ipari létesítmények.
- c) lakótelep: elsősorban panelházak jellemzők ezen városrészekre, a zöldterületeket jobbra a beékelődő játszóterek és parkok és a felsővárosi sportpályapálya adják.
- d) kertváros: a belterület szélén kialakult, szellősebb beépítettségű, kertes családi házas városrészek, alacsony számú intézménnyel (alapvetően több zöldfelület).
- e) ipari terület: a város déli részén fekvő Ipari Terület, minimális számú lakóhellyel (a városrész, amely a legtöbb zöldfelületet veszített)
- f) pincészetek: a Szépasszony-völgy az egyetlen belterületen lévő tömörülése a pincészeteknek. Minimális lakófunkció, annal jelentősebb turizmus.

A kutatás városrészekre lebontott eredményeinek közlése során szem előtt kell tartanunk azt a tényt, hogy a 2022-es felvétel korábbi napszakban készültek, mint a 2010-es felvétel, így az árnyékok által lefedett terület is mintegy másfélszer nagyobb 2010-eshez képest.

A város központi magja 2010 és 2022 között jelentős mértékű átalakuláson esett át, mintegy 4 hektárnyi terület került lebetonozásra, mely a 67 hektáros összterületének nagyjából a 6%-a. A folyamat elsősorban a Dobó téren, az Érseki Kastély udvarán, illetve a Törvényszékház és az Egri Bazilika és Főszékesegyház közötti park területén a leglátványosabb (21. ábra). A változás elsősorban a gyepfelszíneket érintette negatívan.



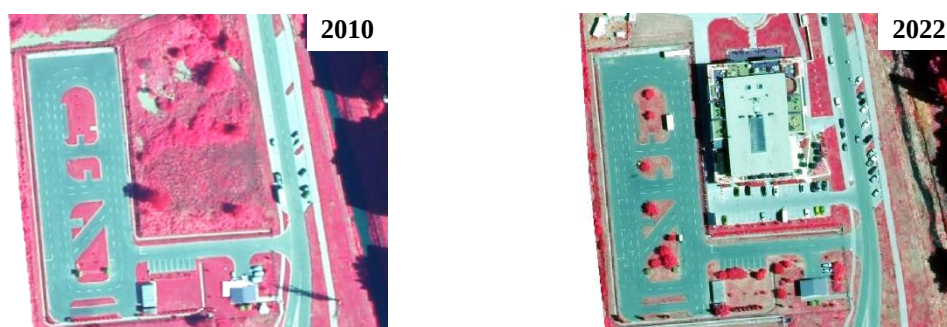
21. ábra: egy belvárosi terület zöldfelszíneinek változása 2010 és 2022 között

A heterogén beépítettségű városrészek is nagy változáson mentek át, a 2010-es adatok alapján 270 hektárnyi beépített terület 291-re nőtt 2022-re, szintén a gyepfelszínek kárára. Példaként a Lajosváros déli része hozható, ahol megépült az M25-ös gyorsforgalmi autópálya körforgalma, illetve tőle 1 kilométerrel nyugatra egy második LIDL üzlet (22. ábra). A város túlsó végén, a Bervában is elkezdett kiépülni egy vállalkozói park egy 2010-ben még javára fás-füves növényzetű területen Felsőtárkány irányában. Az építkezések ellenére továbbra is a város zöldőbb részeinek számító területek maradtak a heterogén beépítettségű területek, ugyanis például a Hatvani hóstya területén számos park, köztük Eger legnagyobbja, a kb. 10 hektáron elterülő Érsekkert, illetve a kb. 3 hektáros Hatvani temető is itt foglal helyet.



22. ábra: a Lajosváros déli peremének zöldfelszíni változásai 2010 és 2022 között

Eger szocialista lakótelepekkel városrészein a Felsővárosban és a Nagylaposon nagyobb változások nem történtek, a panelházak dzsungelét tarkító fák tovább nőttek, nagyjából 5 hektárt vonva el javarészt gyepfelszínektől, kisebb részt az útburkolatoktól, azonban a zöldfelületek területét csak minimálisan növelve. Egy nagyjából 2,7 hektáros területet emelhető ki a Nagylapos városrészből, ahol egy új fitnessközpont épült ki (23. ábra).



23. ábra: a Nagylapos nyugati peremének zöldfelszíni változása 2010 és 2022 között

A kertvárosok épülésének jelentős üteme miatt azt gondolhatjuk hogy e területek inkább a zöldfelszínek csökkenéséhez járultak hozzá, azonban ez nem igaz. 2010-ben számos kopár, csupasz talajjal fedett építési területet találhatunk, amit a klasszifikáció során a többé-kevésbé mesterséges, már bolygatott mivolta miatt a beépített területekhez soroltam, azonban 2022-re

már tucatjával állnak a rendezett, kertes házak az említett felszíneken. A kertvárosok összterülete nagyjából 500 hektár, melyen 2010-ben 350, 2022-ben 374 hektárnyi zöldfelületet találunk. Példaként a város legszélső részei, Felnémet, a Vécsey-völgy (24. ábra), a már említett Hajdúhegy és Almagyar, illetve a Rác hóstya hozható. Eger legtöbb zöldfelülete – nyilvánvaló módon – elsősorban a város szélén, távol a belső, sűrűn beépült területektől található.

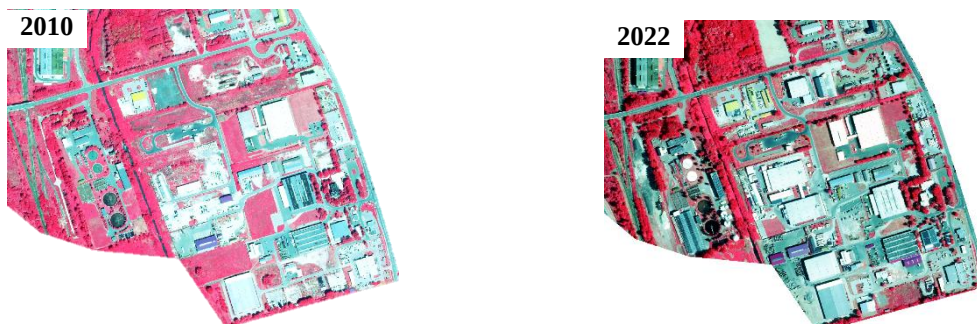


24. ábra: a Vécsey-völgy zöldfelszíni változásai 2010 és 2022 között

A város prosperáló szakaszában, a legnagyobb fejlődést felmutató városrész az Andornaktálya irányában elterülő, kb. 180 hektáros Déli Ipari Park. 2010-ben a városrész nyugati oldala, az Eger-Maklár-Füzesabony, az Eger-Szilvásvár és a ZF-et kiszolgáló vasútvonalak által közrezárt 40 hektárnyi zöldterületen várta a befektetőket és az eltelt 12 év alatt a bővülő ZF sebességváltókat összeszerelő üzeme és az Emerson pneumatikus alkatrészgyára csökkentette a zöldfelületek kiterjedését. Számos kisebb telephely is kiépült az Ipari Területen, így a nagy- és kisvállalatokkal összesen 49 hektárral csökkent a városrész zöldfelszíne (25-26. ábrák).



25. ábra: az Ipari Park északi (ZF) részének zöldfelszíni változásai 2010 és 2022 között



26. ábra: az Ipari Park déli részének zöldfelszíni változásai 2010 és 2022 között

Említés szintjén térjünk ki a híres Szépasszony-völgyre, már csak azért is mert egyik fenti kategóriába sem sorolható. A jobbára pincészetekkel, vendéglátóegységekkel tarkított 40 hektáros városrész nem esett át a fentebb említett városrészekre jellemző változások egyikén sem, megőrizte eredeti borászatközpontú jellegét.

4.3.2. *A Maximum Likelihood módszer eredményei*

A Maximum Likelihood algoritmust szintén a SAGA GIS-ben futtatam le, azonban az egyes osztályokat különbözően azonosított be a Random Forest-hez képest. A 2010-es ortofotók esetében a gyepfelszínek korábbi 99%-os pontossága helyett, az Maximum Likelihood csak 71%-ot ért el, azonban a beépített és a fás növények által borított területek esetében 5-15%-kal nagyobb pontossággal dolgozott. A Random Forest által kategorizált gyepfelszínek 54%-os pontossága helyett a Maximum Likelihood 85%-ot ért el, a fás területek esetében pedig 89% helyett 93%-ot (27. ábra). A Maximum Likelihood módszer 0,63-as Kappa-indexével elmarad az RF-től.

2014-ben viszont ez az arány a gyepfelszínek esetén rosszabbnak bizonyult, a korábbi 99% pontosság helyett, csak 53%-ot ért el. A fás növények által fedett területeket a Random Forest csak 54%-ban azonosított helyesen, ezzel szemben a Maximum Likelihood 85%-os pontosságot tudhatott a magáénak. A beépített területeket mindkét algoritmus azonos pontossággal (99%) kategorizált, viszont a Maximum Likelihood Kappa-indexe csak 0,59-et ért el.

A jobb felbontású (0,4 m/px) 2022-es felvételek osztályozásánál nem mutatkoztak a korábbi évekhez képest mért nagyságú különbségek, a gyepfelszínek 99% helyett 88%-os pontossággal, a fás területek pedig 86% helyett 94%-os pontossággal kerültek beazonosításra. 2022-ből, a beépített területek vizsgálata során újfent nem mutatkozott jelentős differenciál, mindkét algoritmus 98%-os hatékonysággal osztályozott és a Maximum Likelihood Kappa-indexe is itt érte el a legmagasabb értéket (0,79).

A fenti mérésekből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a gyepfelszínek osztályozására inkább a Random Forest algoritmusa az alkalmasabb, viszont fás növények által borított területeket a Maximum Likelihood átlagosan 18%-kal pontosabban dolgozott. A beépített területeket mindkét algoritmus kiváló pontossággal azonosított be és egymáshoz képest sem tapasztalhatunk kiugró különbségeket.



27. ábra: Random Forest és a Maximum Likelihood osztályozó algoritmus hatékonysága a különböző felszínborítások esetén

5. Összegzés

Dolgozatomban Eger városának belterületét takaró zöldfelszínek és az őket tarkító beépített területek egymáshoz viszonyított arányának a változását vizsgáltam három időkeresztmetszetben, 2010-ben, 2014-ben és 2022-ben. A vizsgálatokhoz a fent említett három időszakban készült ortofotót vettem alapul, rajtuk jelöltem ki a Random Forest és a Maximum Likelihood algoritmus lefuttatásához szükséges tanulóterületeket és a pontosságvizsgálathoz elengedhetetlen tesztelő területeket (egymástól szigorúan elkülönítve).

Az osztályozó algoritmusokat, a pontosságvizsgálatokat és a vizualizáláshoz szükséges kompozitok elkészítését a SAGA GIS-szel végeztem el, a tanuló és tesztelő poligonok kijelöléséhez pedig a QGIS-t hívtam segítségül, „barátságosabb” felhasználói felülete miatt.

Az ellenőrzött osztályozások különböző hatékonyságokat tanúsítottak a különböző felszínborítások meghatározása közben. Az eltérések betudhatók az eltérő nagyságú felbontásoknak, illetve annak, hogy a Random Forest algoritmus nagyszámú döntési fán keresztül osztályozza az ortofotó pixeleit, míg a Maximum Likelihood módszer statisztikai modelljeit veti be.

Az Eger városában található zöldfelületek a 2010 és 2022 között eltelt 12 év alatt 75 hektárral csökkentek, azonban ezen folyamat 2010 és 2014 között volt igazán szembetűnő, ugyanis a 4 év alatt 140 hektárnyi zöldfelület került lebetonozásra, de a 2022-ig eltelt idő alatt a „rehabilitációs” folyamatot követhettük nyomon.

A fenti adatok csupán becslések szüleményei, a valós értékek ettől természetesen eltérhetnek, azonban ha hiszünk az osztályozások eredményeinek, derűlátóan tekinthetünk a jövőbe és további faültetésekkel, parkosításokkal, Eger továbbra is megőrizheti az élhető, közepes méretű városi jellegét.

6. Felhasznált irodalom

1. Abbas, Z., Jaber, H. S. (2020). Accuracy assessment of supervised classification methods for extraction land use maps using remote sensing and GIS techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*
2. Ashraf, M. A., Maah, M. J., Yusoff, I., I. (2011). Introduction to Remote Sensing of Biomass. In *Biomass and Remote Sensing of Biomass*. IntechOpen
3. Cutler, A., Cutler, D., & Stevens, J. (2011). Random Forests. In *Machine Learning—ML* (Köt. 45, o. 157–176)
4. De Jong, S., Meer, F., & Clevers, J. G. P. W. (2007). *Basics of Remote Sensing* (o. 1–15).
5. Lóki J. (2002). *Távérzékelés: Földrajz tanárszakos és szakgeográfus hallgatók számára/debrecei egyetem természettudományi kar*. Kossuth Egyetemi Kiadó.
6. Mucsi L. (1995). *Műholdas távérzékelés és digitális képfeldolgozás I.: A távérzékelés alapjai, szenzorok, műholdprogramok/földrajz tanárszakos és geográfus hallgatók számára*. JATEPress.
7. Earth Science Data Systems, N. (2019). *What is Remote Sensing? | Earthdata*. Earth Science Data Systems, NASA
8. Eastman, R. (1999). *Guide to GIS and Image Processing Volume 2. 1*.
9. Emery, W., & Camps, A. (2017). *Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land and Cryosphere Applications*. Elsevier.
10. EOS DATA ANALYTICS. (2020). *Types Of Remote Sensing: Devices And Their Applications*
11. Hughes, M. L., McDowell, P. F., & Marcus, W. A. (2006). Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology*, 74(1), 1–16.
12. Köthe, R., Gehrt, E., & Böhner, J. (1996). Automatische Reliefanalyse für geowissenschaftliche Anwendungen- derzeitiger Stand und Weiterentwicklungen des Programms SARA. *Arbeitshefte Geologie*, 1, 31–37.
13. Lechner Tudásközpont. (2019). *Ortofotók, légifelvételek*. Lechner Tudásközpont.
14. Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley.

15. Molnár, T., & Somogyi, Z. (2019). *A távérzékelés alkalmazása az erdészetben és a precíziós gazdálkodásban* (111–119. o.).
16. *Orthophotograph Definition | GIS Dictionary*
17. Quagliati, N. (2020). Training the eye: Production and reception of aerial photography during the World Wars. *AUC GEOGRAPHICA*, 55(1), 93–111.
18. Rocchini, D., Boyd, D. S., Féret, J.-B., Foody, G. M., He, K. S., Lausch, A., Nagendra, H., Wegmann, M., & Pettorelli, N. (2016). Satellite remote sensing to monitor species diversity: Potential and pitfalls. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(1), 25–36.
19. Rupert B. Southard. (1958). *Orthophotography—Its Techniques and Applications*.
20. Shibendu Shankar, R. (2014). *BASICS OF REMOTE SENSING*.
21. Short, N. M. (1982). *The Landsat Tutorial Workbook: Basics of Satellite Remote Sensing*. National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Branch.
22. Stoica, P., & Sharman, K. C. (1990). Maximum likelihood methods for direction-of-arrival estimation. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 38(7), 1132–1143.
23. Szabó, G., Szabó, Sz. (2021). *Remote Sensing and Photogrammetry*, Debreceni Egyetem.
24. Training Manual. (2017). *Saga GIS Tutorials*.
25. Verőné. (2010). *Távérzékelés a precíziós gazdálkodás szolgálatában: Látvány vagy tudomány*.
26. Wu, H., & Li, Z.-L. (2009). Scale Issues in Remote Sensing: A Review on Analysis, Processing and Modeling. *Sensors*, 9(3), Article 3.

Internetes források

Internet1: <https://www.amazon.com/Aerial-Triomphe-Hot-Air-Balloon-Poster/dp/B07C8D77FY>

Internet2: https://www.researchgate.net/figure/German-photographic-map-Reihenbild-of-Venice-contained-in-the-aerial-reconnaissance_fig2_340840745

Internet3: https://hu.m.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:EM_spectrum_hu.svg