

UDC 528.8:551.4(477.87)

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-7>

**A FELSZÍNBORÍTÁS VIZSGÁLATA AUTOMATIKUS KÉPELEMZÉSI MÓDSZERREL,  
LÁTHATÓ TARTOMÁNYBAN, EGY DOMBSÁGI MINTATERÜLETEN  
(UKRAJNA, BEREGSZÁSZI-DOMBSÁG)**

**Kinárov Krisztián**

MSc, geoinformatikus, ügyfélszolgálati menedzser,  
Nova Post International (Hungary), Poltava, Ukrajna  
ORCID ID: 0009-0008-1271-0137

**Gönczy Sándor**

PhD, docens, II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Földrajz és Turizmus Tanszék,  
Beregszász, Ukrajna;  
Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Földrajz és Környezettudományi Intézet,  
Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Eger, Magyarország  
ORCID ID: 0000-0003-0350-0484

*A tanulmány aktualitása:* Ukrajnában, az Európai Unió országaihoz hasonlóan, a felszínborítottsághoz kapcsolódó kutatások döntő része, multi-, és hiperspektrális felvételek alapján történik, ugyanakkor nem törekednek nagy geometriai felbontásra. Ebben a cikkben kísérletet tettünk nagyobb térbeli felbontás elérésére, látható tartományú felvételek automatizált feldolgozása által. **A kutatás tárgya:** műholdfelvételek és drónfelvételek. **A kutatás célja:** jelen munkában a felszínborítás/földhasználat változásait vizsgáltuk a Beregszászi-dombság területén 2012–2017 között. **Kutatási módszerek:** a kutatásban szubmetrikus térbeli felbontással rendelkező műholdfelvételeket vettünk alapul. A műholdfelvételek közötti térbeli eltérések minimalizálása érdekében georeferáltuk őket, majd a relatíve jelentős területi kiterjedés miatt, célszerűségi okokból automatizált eljárásokat alkalmaztunk. A felszínborítási elemeket eCognition szoftverkörnyezetben detektáltuk, többfázisú szegmentálás segítségével. A dombság területén számos olyan elem található, amelynek detektálása, szegmentálás segítségével nem érte el a számunkra kielégítő pontosságot. Az ilyenekhez a vonalas elemek (utak), illetve a szőlőültetvények tartoztak. Ezeknek kijelölése/vektorizálása manuálisan történt. A szegmentálást követően, hozzáláttunk az elemek osztályozásához. Az adott kutatásban 12 kategóriát használtunk. Az osztályozás szintén eCognition segítségével valósult meg. A kategorizáláshoz tanulóterületeket jelöltünk ki, mely reprezentatívan tükrözte a mintaterületen elterjedt felszínborítási típusokat. Miután exportáltuk a kategorizált szegmenseket, hozzáláttunk az ellenőrzéshez, elsősorban topológiai kontrollt hajtottunk végre. A szegmentálás és az osztályozás geometriai, illetve tartalmi ellenőrzéséhez UAV felvételezés alapján készült ortomozaiákat alkalmaztunk. **A kutatás eredményei:** eredményül két poligontérképet kaptunk, amelyek tükrözték a mintaterület felszínborítási/földhasználati helyzetét 2012- és 2017-ben. A térképek adatait számszerűsítettük, illetve egy külön térképen ábrázoltuk a változásokat, amelyek a vizsgált időszakban történtek. **A tanulmány jelentősége a gyakorlatban:** az itt vázolt módszerrel az automatizált feldolgozás pontosságát nagyságrendekkel megnöveltük. **Következtetések:** a 2012–2017 közötti időszakban a vizsgált mintaterület közel 6%-án történtek felszínborítási változások. Legnagyobb pozitív változást az erdők kategóriában mértünk, melynek oka a művelt területek felhagyása, a természetes visszaerdősülés.

**Kulcsszavak:** Beregszászi-dombság, felszínborítás, földhasználat, műholdképelemzés, UAV.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТИПІВ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ МЕТОДОМ  
АВТОМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ ЗНІМКІВ ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ НА ВИБРАНІЙ  
ГОРБИСТІЙ ДІЛЯНЦІ (УКРАЇНА, БЕРЕГІВСЬКЕ ГОРБОГІР'Я)

**Кінаров Крістіан Сергійович**

MSc, геоінформатик, фахівець з обслуговування клієнтів,  
Nova Post International (Hungary), Полтава, Україна  
ORCID ID: 0009-0008-1271-0137

**Генці Шандор Олександрович**

PhD, доцент, доцент кафедри географії та туризму,  
Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна;  
Католицький університет імені Кароля Естергазі,  
Інститут географії та наук про навколишнє середовище,  
кафедра фізичної географії та геоінформатики, м. Егер, Угорщина  
ORCID ID: 0000-0003-0350-0484

***Актуальність дослідження:** в Україні, як і в Європейському Союзі, більшість досліджень земного покриття ґрунтується на мульти- та гіперспектральних знімках, але без високої геометричної роздільної здатності. У цій роботі зроблено спробу досягти вищої роздільної здатності, використовуючи автоматизовану обробку супутникових знімків видимого спектра. **Предмет дослідження:** супутникові знімки та знімки з безпілотників. **Мета дослідження:** у статті проаналізовано зміни земного покриття/типів землекористування на території Берегівського горбогір'я у 2012–2017 роках. **Методологія дослідження:** дослідження базувалися на супутникових знімках із субметричною просторовою роздільною здатністю. Для мінімізації геометричних спотворень супутникових знімків проведено їх геореференцію. З урахуванням відносно великої площі досліджуваної ділянки доцільно було застосувати автоматизовані методи. Аналіз елементів земного покриття відбувався в програмному середовищі eCognition шляхом кількофазного сегментування. На території горбогір'я виявлено чимало таких елементів, аналіз яких з допомогою сегментування не досяг задовільної для нас точності. До таких належать лінійні елементи (дороги), а також насадження винограду. Ці елементи було виділено/векторизовано вручну. Після сегментування було здійснено класифікацію елементів. У цьому дослідженні ми використовували 12 категорій/класів. Класифікація так само відбувалася із застосуванням програмного середовища eCognition. Для класифікації було вибрано тестові території, які максимально репрезентативно відображали типи/категорії земного покриття на досліджуваній площі. Після експорту класифікованих сегментів було здійснено їх перевірку та аналіз, зокрема проведено топологічний контроль. Для геометричної та змістової перевірки сегментування й класифікації було застосовано ортомозаїку, виготовлену за даними зйомок UAV. **Результати дослідження:** у результаті було отримано дві карти, які відображають стан земного покриття/землекористування на досліджуваній площі у 2012 та 2017 роках. Ці карти було переведено в кількісні показники, а також на окремій карті було відображено зміни, які відбулися за досліджуваний період. **Практичне значення:** описаний тут метод підвищив точність автоматизованої обробки на кілька порядків. **Висновки:** у період 2012–2017 років майже 6% досліджуваної території зазнали змін земного покриття. Найбільші позитивні зміни були зафіксовані в категорії лісів, що пов'язано з відмовою від оброблюваних площ та природним лісовідновленням.*

***Ключові слова:** Берегівське горбогір'я, земний покрив, землекористування, аналіз супутникових знімків, UAV.*

INVESTIGATION OF LAND COVER USING AUTOMATED IMAGE ANALYSIS  
METHODS IN THE VISIBLE SPECTRUM IN A HILLY STUDY AREA  
(UKRAINE, BEREHOVE HILLS)

**Krisztián Kinárov**

MSc, GIS Specialist, customer services manager,  
Nova Post International (Hungary), Poltava, Ukraine  
ORCID ID: 0009-0008-1271-0137

**Sándor Gönczy**

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education,  
Department of Geography and Tourism, Berehove, Ukraine;  
Eszterházy Károly Catholic University, Institute of Geography and Environmental Sciences,  
Department of Natural Geography and Geoinformatics, Eger, Hungary  
ORCID ID: 0000-0003-0350-0484

**The relevance of the study:** in Ukraine, as in the countries of the European Union, most research related to land cover is based on multi- and hyperspectral imagery, but there is no effort to achieve high geometric resolution. In this paper, we attempted to achieve higher spatial resolution through the automated processing of images in the visible spectrum. **The subject of the research:** satellite images and UAV images. **The purpose of the research:** in this paper, we investigated changes in land cover/land use in the Berehove Hills region from 2012 to 2017. **Research methods:** in the research, we utilized satellite images with sub-meter spatial resolution as a basis. To minimize spatial discrepancies between the satellite images, we georeferenced the images. Due to relatively significant extent of the area, it was advisable to employ automated procedures. The land cover elements were detected in the eCognition software environment using multi-phase segmentation. In the hilly area, there are numerous elements whose detection using segmentation did not achieve the accuracy satisfactory for us. Such elements included linear features (roads) and vineyards. Their delineation/vectorization was performed manually. Following the segmentation, we proceeded with the classification of the elements. In this research, we used 12 land cover categories. The classification was also carried out using eCognition. For categorization, we designated training areas that maximally represented the land cover types relevant in the study area. After exporting the categorized segments, we proceeded with verification, primarily conducting topological control. For the geometric and content verification of segmentation and classification, we used orthomosaics created with UAV assistance. **The results of the study:** as a result, we obtained two polygon maps reflecting the land cover/land use situation of the study area in 2012 and 2017. We quantified the map data and illustrated the changes that occurred during the examined time frame on a separate map. **Practical significance of the study:** with the method outlined here, we significantly increased the accuracy of automated processing. **Conclusions:** during the period from 2012 to 2017, land cover changes occurred on nearly 6% of the study area. The largest positive change was measured in the forest category, which was due to the abandonment of cultivated areas and natural reforestation.

**Key words:** Berehove Hills, land cover, land use, satellite image analysis, UAV.

**Problémafelvetés, szakirodalmi áttekintés**

Ukrajnában a felszínborítás és a földhasználat kutatásának témaköre az Európai Unió támogatásának köszönhetően, egyre jelentősebb [1; 2; 3]. Az utóbbi években az ország kutatói egyre intenzívebben kapcsolódnak be az európai programokba, melyek során különböző hiper- és multispektrális felvételek automatizált feldolgozása és elemzése valósul meg, ezek közül a legjelentősebb a SIGMA program [2; 4].

A munka aktualitását a vizsgált terület jelentős bányászati, mezőgazdasági, idegenforgalmi potenciálja és a dombosság részletes felszínborítási vizsgálatának hiánya jelenti [5, 6, 7]. A téma

vizsgálatának időszerűségét növeli, hogy a racionális vidékfejlesztéshez fontos ismerni az adott régió felszínborítottságának aktuális állapotát. Ennek legkézenfekvőbb módszere a CORINE (Coordination of Information on the Environment) felszínborítás vizsgálat, ami az Európai Unió területén általánosan elterjedt. A projekt a műholdfelvételek vizuális interpretációja során, a 25 hektárt meghaladó és a 100 méternél nagyobb átmérőjű felszínborítás foltokat 44 kategóriába csoportosítja [2; 8].

Ukrajnában, az Európai Unió országaihoz hasonlóan, a felszínborítottsághoz kapcsolódó kutatások döntő része, multi-, és hyperspektrá-

lis felvételek alapján történik, ugyanakkor nem törekednek nagy geometriai felbontásra és rendszerint nagyobb területeket ölelnek fel [9; 10; 11]. Jelen kutatásban a képelemzés módszertana gyakorlatilag teljesen megegyezik a multi- és hiperspektrális felvételek feldolgozásával azzal a különbséggel, hogy az általunk feldolgozott felvételek mindössze látható tartománnyal rendelkeznek, viszont a felbontásuk nagyságrendekkel jobb.

#### A vizsgálat célja

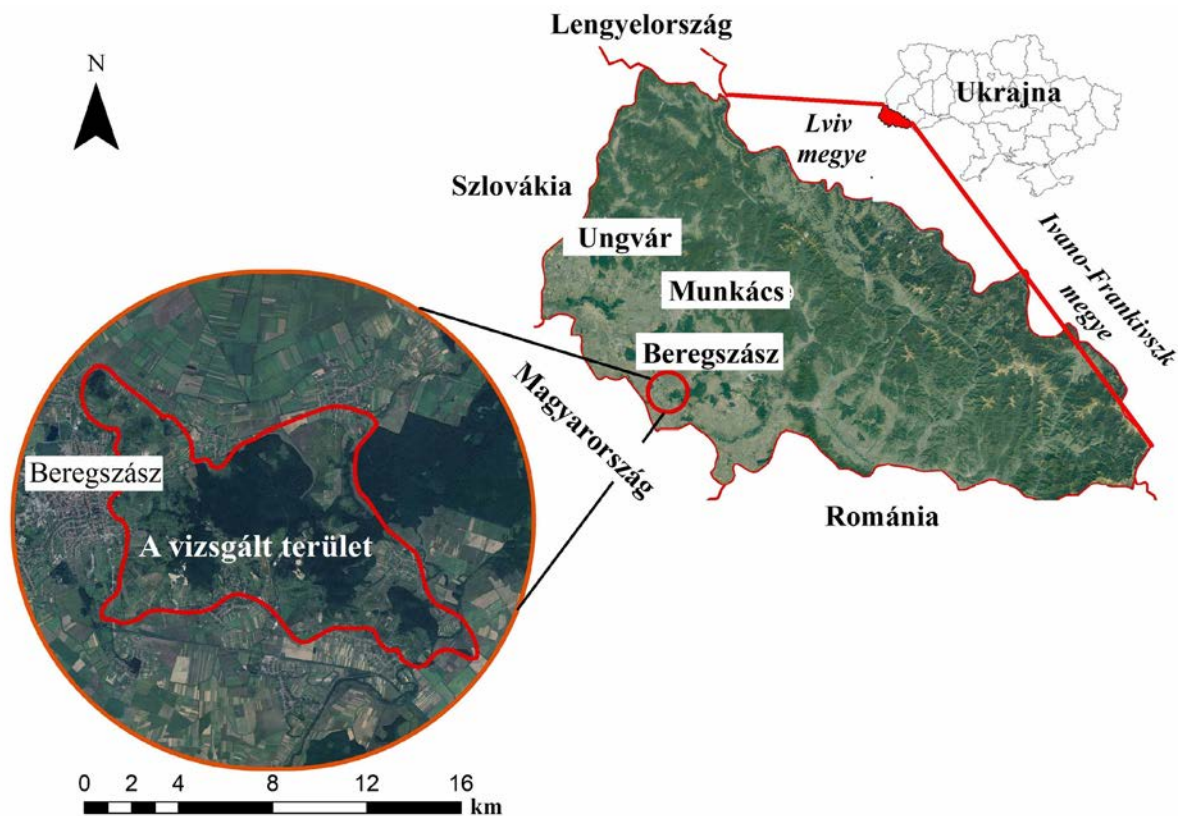
Jelen kutatás a CORINE rendszerhez hasonló felszínborítási vizsgálatra irányul, azonban mi a felszínborítottság vizsgálatánál jóval nagyobb térbeli részletességre törekedtünk. Az általunk feltérképezett legkisebb különálló objektum területe 13 m<sup>2</sup>, azaz 0,0013 hektár, szemben a CORINE által vizsgált 25 hektárral. Munkánknak három fontos célja van. Az első, hogy részletes képet alkossunk a Beregszászi-dombság felszínborítási helyzetéről két időpontban. A második a mintaterületen történt felszínborítási változások mértékének kimutatása a válasz-

tott időintervallum között. Végül célunk bemutatni a látható tartományú felvételek automatikus elemzésének lehetőségét.

#### Kutatási módszerek

A vizsgált terület felöleli a vulkáni eredetű Beregszászi-dombságot [12] (1. ábra). A dombság és a körülötte lévő síkság határának a vulkáni és az üledékes formációk közötti határt vettük a Tyitov-féle [13] geológiai térkép alapján. A mintaterület 4681 hektár (46,81 km<sup>2</sup>) kiterjedésű.

A dombság részletesebb elemzése érdekében nagyfelbontású műholdképeket vettünk alapul. Olyan műholdfelvételeket kerestünk, amelyek megfelelnek három, általunk önkényesen választott kritériumnak. Ezek: 1. szubmetrikus geometriai felbontás; 2. a mintaterület egésze egy felvétel határain belül legyen; 3. a felvétel vegetációs időszak adatait tartalmazza. A fenti kritériumoknak a Google (2017.08) (Google Earth Pro) és a Bing (2012.07) (bing.com) feldolgozásában publikált, a DigitalGlobe által készített felvételek feleltek meg, így a továbbiakban ezekkel dolgoztunk.



1. ábra. A mintaterület fekvése

A műholdak különböző pályái, és az eltérő szenzorok alkalmazása miatt különböző mértékű geometriai torzulások keletkezhetnek [14]. A térbeli torzulások minimalizálásához georeferálást hajtottunk végre [15] mindkét felvételen, amelyek során az ArcMap Base map-jához igazítottuk azokat.

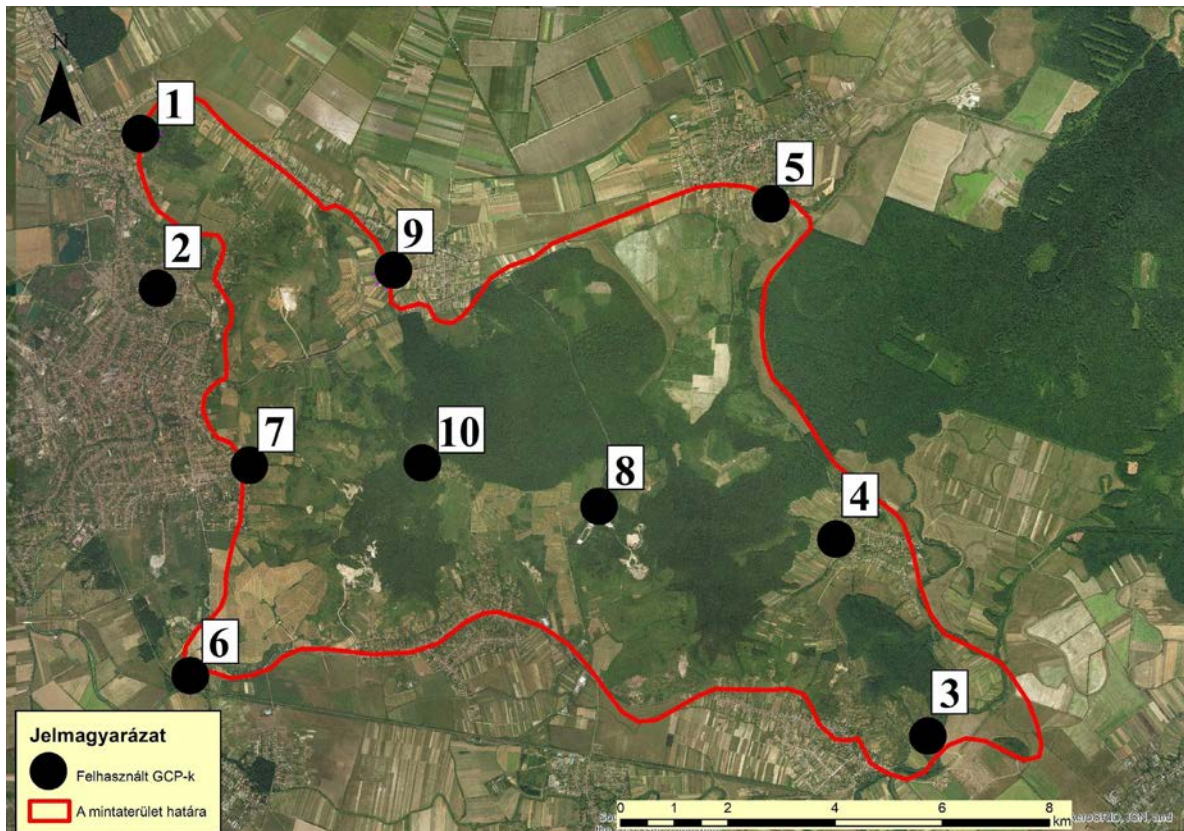
Az ArcMap Georeferencing eszköz segítségével illesztőpontokat (Ground Control Point) hoztunk létre (2. ábra), mindkét felvételen jól elkülöníthető objektumokon. Az illesztőpontokat egyenletes eloszlásban, szimmetrikus rajzolatban vettük fel a mintaterületen [15].

Az illesztés során különböző transzformációkkal kísérleteztünk és választásunk végül a másodfokú polinómra (2nd Order Polynomial) esett. A használatához minimum 6 illesztőpontra volt szükség, mi azonban a nagyobb pontosság érdekében 10-et használtunk (2. ábra), mivel minél több közös pontot tudunk megfeleltetni a vetületben lévő térképpel, annál pontosabb végeredményre számíthatunk [16; 17].

A végrehajtott műveletek után a két felvétel között minimalizáltuk a torzulások mértékét (1. táblázat). A táblázatban szereplő adatok a GCP-k és a műholdfelvételek közötti eltéréseket jelenti, így a mintaterület más részein a torzulások más értékeket vehetnek fel.

1. táblázat. A pontok eltérése az ArcMap Base map-jéhez képest

Pont sorszama	Bing (2012)	Google (2017)
	(méter)	
1.	1,04	1,69
2.	1,7	1,62
3.	0,48	0,94
4.	1,82	0,91
5.	0,81	0,21
6.	0,82	1,86
7.	2,05	0,54
8.	1,9	2,03
9.	2,3	2,27
Átlag	1,6	1,5



2. ábra. Az illesztőpontok elhelyezkedése a vizsgált területen

A mintaterület viszonylag nagy kiterjedését tekintve célszerűnek láttuk a felszínborítási elemeket automatizált módszerekkel meghatározni. Az elemzés eCognition szoftver környezetben valósult meg. A képszegmentálási eljárások közül a többfázisú szegmentálás alulról felfelé irányuló régió-összevonási technika (bottom-up region merging technique) bizonyult a leghatékonyabbnak [18; 19; 20]. A szegmentálásnál csupán 2 beállítást alkalmaztunk szín (Color) (0,5) és alakjellemző (Shape) (0,5), így a feldolgozás során a program a pixelek színét és a pixelek szomszédságát egyenlő súllyal értékelte. A szegmentálást 7 szinten végeztük el (2. táblázat). A táblázatban az egyes szintek szegmenseinek mennyisége látható. A többfázisú szegmentálás kezdetben minden képpontot önálló objektumnak tekint és a szintek növekedésével a spektrálisan egymáshoz leginkább hasonló pixelpárok, szegmensek egyesülnek, egyre nagyobb objektumokat létrehozva [18, 21, 22].

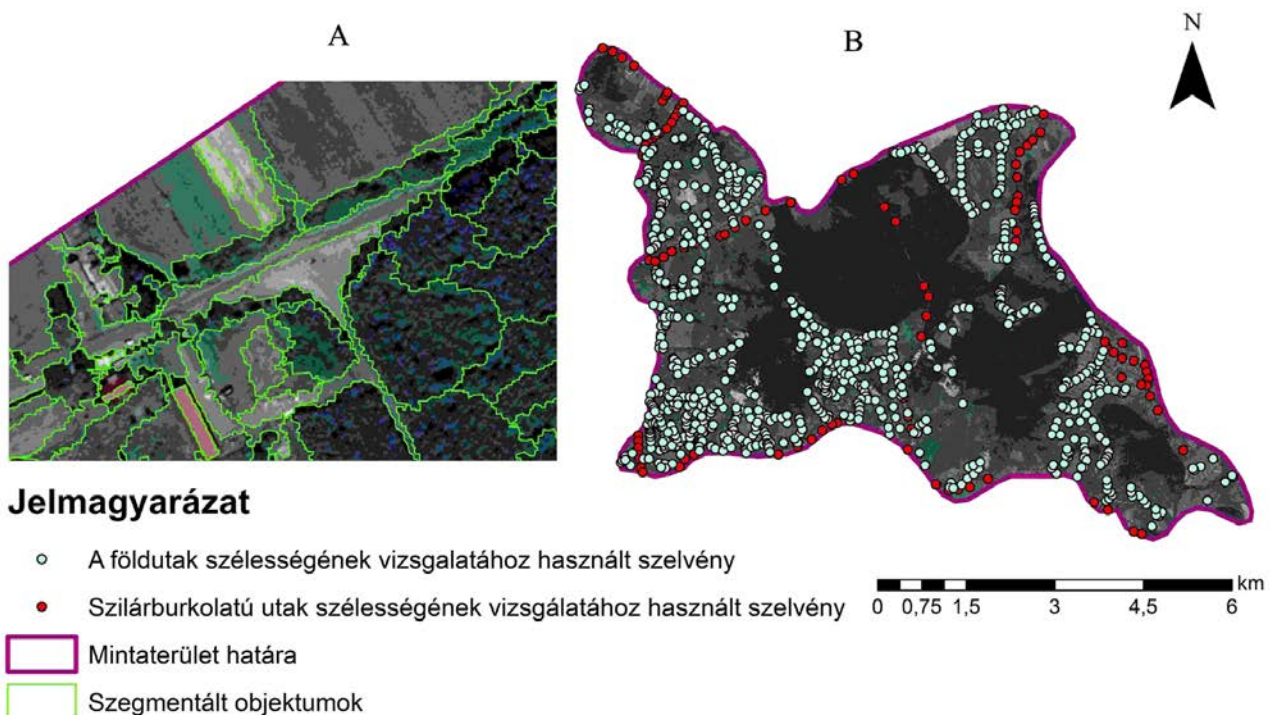
Komoly problémákat okozott a vonalas műszaki létesítményeket (utak, vasutak) detektálása, mivel ezeket az eCognition szoftver nem tudja elfogadható szinten felismerni és kijelölni. Tapasztalataink szerint e létesítmények automa-

2. táblázat. A különböző szinteken létrehozott szegmensek száma

Szegmentálási szint	Bing (2012)	Google (2017)
Level 5	14 755 707	18 032 341
Level 10	4 164 919	5 232 572
Level 25	682 231	964 095
Level 50	163 789	241 405
Level 100	37 545	45 130
Level 200	9 779	10 188
Level 300	4 428	4 452

tikus felismerése során a program kétféle hibát tud ejteni. Egyrészt az út felett lévő lombkorona miatt az adott útszakaszt szűkebbnek értékeli, másrészt, ha az útszakasz teljesen a lombok alá esik, a program megszakítja az úthálózatot (3/A. ábra). Az ábrán látható, hogy az eCognition program úgy kezeli az adott útszakaszt, mint egy különálló objektumot, amely nincs összekötésben az úthálózat egészével.

Ezeknek a problémáknak a megoldásához az úthálózatot manuálisan, vonalláncok segítségével, ArcMap szoftverkörnyezetben vektoriáltuk. Az utak kijelölése után a vonalláncokat



3. ábra. Az úthálózat szegmentálási hibái (A) és az útszélesség ellenőrző pontjai (B)

poligonba kellett konvertálnunk, ehhez elsősorban, a vonalas shape fájlunk oldalirányba kiterjesztést (Buffer) kellett adni, ami az esetünkben az úthálózat szélességét képezte. A szilárdburkolatú utak szélessége az Ukrajna állami építkezési normái szerint 6 méter [23], azonban mivel a munkánkba az útpadkát is a szilárdburkolatú út részeként definiáltuk, ezért külön méréseket kellett végrehajtanunk az utak szélességének megállapításához. Ahhoz, hogy pontos adatokat kapjunk az út szélességének értékeiről 900 mérést végeztünk a 89 km hosszú úthálózat különböző szakaszain (3/B. ábra).

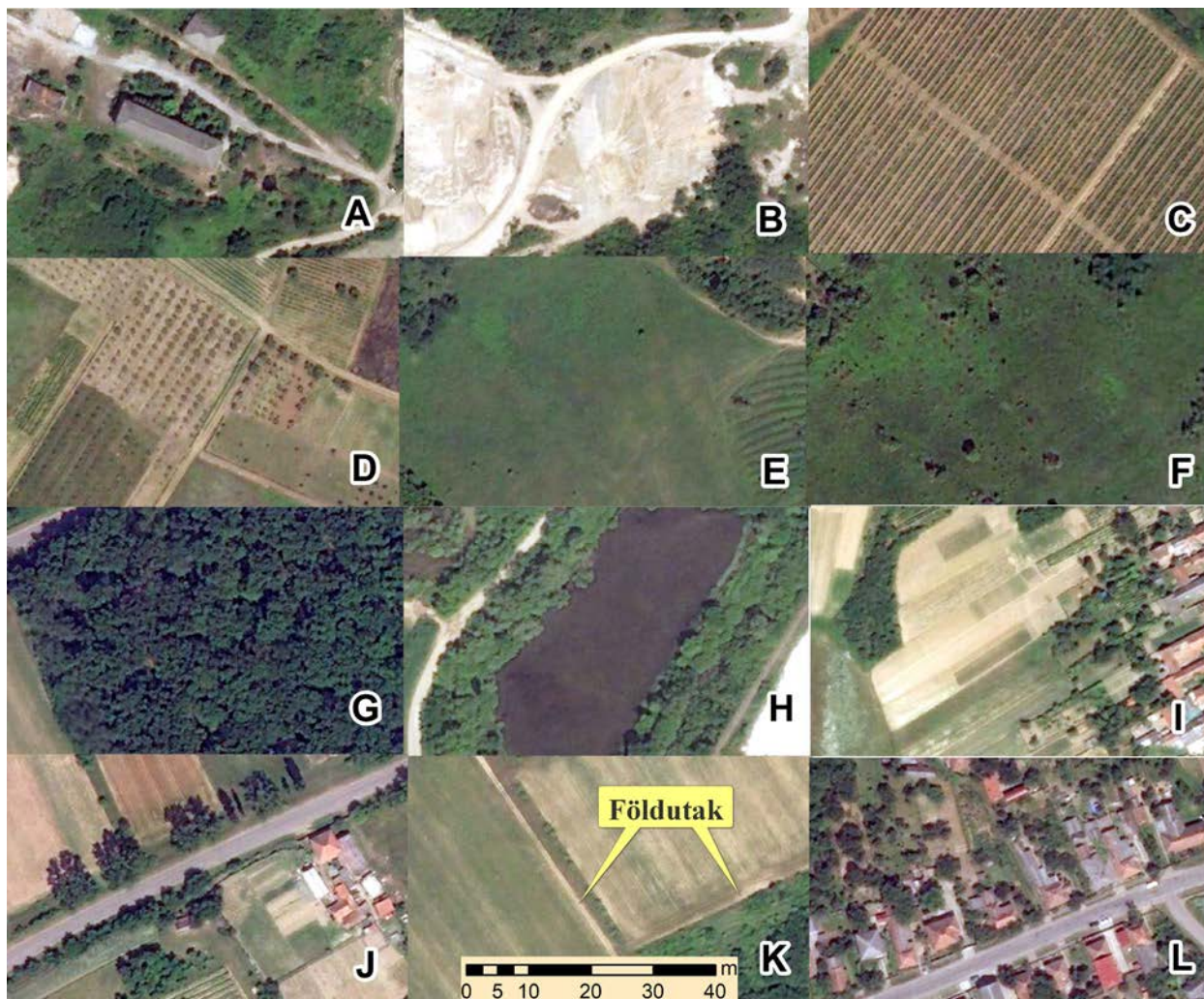
A mintaterületen mintegy 30 km út rendelkezik szilárd burkolattal. Ezeket 100 mérést végeztünk, ennek eredményeként az átlagos szélesség 10,04 méter volt. A szilárdburkolattal nem rendelkező utak (59 km) esetében a helyzet némileg bonyolultabb volt. Az utak nem egyforma szélességgel rendelkeztek, ezért 800 mérés segítségével határoztuk meg a 4 leggyakoribb szélességet (2, 3, 4 és 5 méter) majd ennek megfelelően csoportosítottuk az utakat.

A szegmentálás másik problematikus része a szőlővel borított területek voltak. Mivel a szőlő és a szőlősorok között lévő növényzet nélküli talaj nagy kontrasztot mutatott, ezért a szegmentálás során a program minden szőlősort külön objektumként kezelte. Ennek megfelelően kénytelenek voltunk az úthálózathoz hasonlóan manuális vektorizálással kijelölni ezeket a területeket és nagyfelbontású légi felvételeket készíteni egy-egy területről a terepi azonosítás céljából [24]. A két vektorizált kategóriát a továbbiakban maszkként (Thematic layer) illesztettük be az eCognition programba.

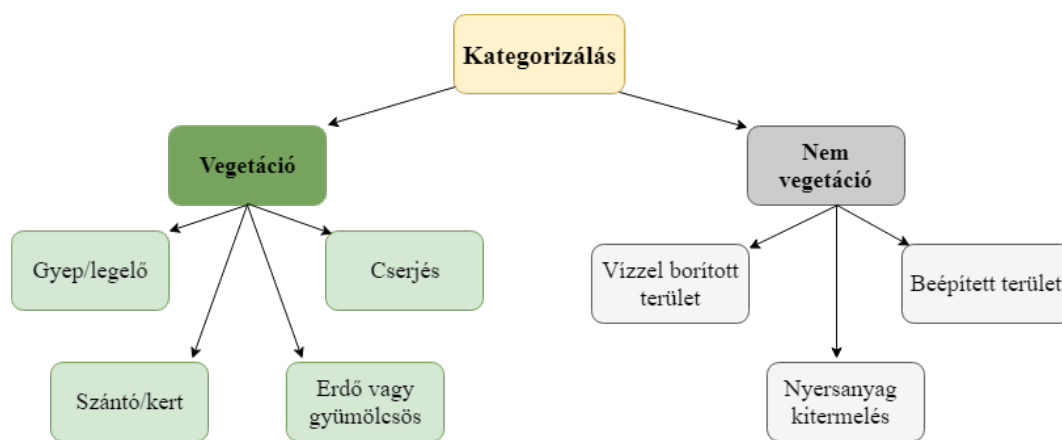
A munka során a létrehozott szegmenseket tovább elemeztük, majd besoroltuk a CORINE felszínborítási kategóriáiba. Ennek eredményeképpen 12 felszínborítási kategóriát tudunk kimutatni (4. ábra). A kategóriák megnevezései tükrözik az adott terület felszínborítottságát, azonban a „beépített területek” és a „települések” osztályok magyarázatra szorulnak. A kettő között a beépítés mértékében van különbség. Míg a beépített területek alatt elszórt, magányos épületeket értünk (tanyák, erdészházak), addig a települések alatt a teljesen beépített tájrészleteket értjük.

A poligonok csoportosítása szintén az eCognition programban történt. Az automatikus kategorizáláshoz tanulóterületeket választottunk, amely mindkét felvétel esetében megegyezett. A kategorizálás két hierarchia szinten történt (5. ábra), elsősorban a vegetációs és a nem vegetációs területeket kellett elkülönítenünk. A vegetációs területen belül felmerülhet a kérdés, hogy miben különbözik a kert és a gyümölcsös? A kert kategóriába alatt azokat a művelt területeket értjük, ahol nincs fás vegetáció, a gyümölcsösnél pedig nyilvánvalóan a fásszárú növények uralkodnak. A kialakított két kategórián belül a szükséges felszínborítási osztályok kijelölése következett. A kategorizálást a szegmentálás 100-as szintjén végeztük (L100). Az adott szinten a szegmensek továbbra is jól tükrözik a felszínborítási elemeket, ugyanakkor az adott szinten az alulról felfelé irányuló régió-összevonási technikának (bottom-up region merging technique) köszönhetően, sikerült a szegmensek mennyiségét csökkenteni (2. táblázat), ami gyorsította a feldolgozás menetét. Magasabb szegmentálási szinten, észrevételeink szerint, az egyes kategóriák szegmensei már egybeolvadtak más kategóriák elemeivel.

Mivel a műholdfelvételeink a látható tartományon kívül nem rendelkeztek egyéb spektrummal, ezért az automatikus kategorizálást a pixelek különböző jellemzői alapján hajtottuk végre. A kategorizálás során két határértéket lehetett megadni a programnak: Threshold condition (TC) az elsődleges küszöbértéket határozta meg. A Second condition (SC) egy további feltétel, amelyet a szoftver figyelembe vesz a kategorizálás során. Felhasználva a két küszöbértéket finoman állítható be a kategorizálás kritériumai (3. táblázat). Mivel a képek különböző szenzorokkal készültek és különböző módszerekkel lettek feldolgozva, ezért különböző hisztogramokkal rendelkeznek (6. ábra). Figyelembe véve a felvételek különbségeit, a két felvételen külön hajtottuk végre a kategorizálást, különböző paramétereket és beállításokat alkalmazva. A leggyakrabban a szegmensek színe alapján csoportosítottunk őket (Layer 1 = piros; Layer 2 = zöld; Layer 3 = kék). Továbbá nagy segítségünkre volt a poligonok élénkségi mutatója (Brightness) ami a színértékek átlagát jelenti [25].



4. ábra. A felhasznált felszínborítási kategóriák: A – beépített területek, B – nyersanyag kitermelés, C – szőlő, D – gyümölcsös, E – gyepek, F – cserjések, G – erdő, H – felszíni vizek, I – szántó, J – burkolt út- és vasúthálózat, K – földutak, L – település



5. ábra. Az általunk végzett kategorizálás vázlatja



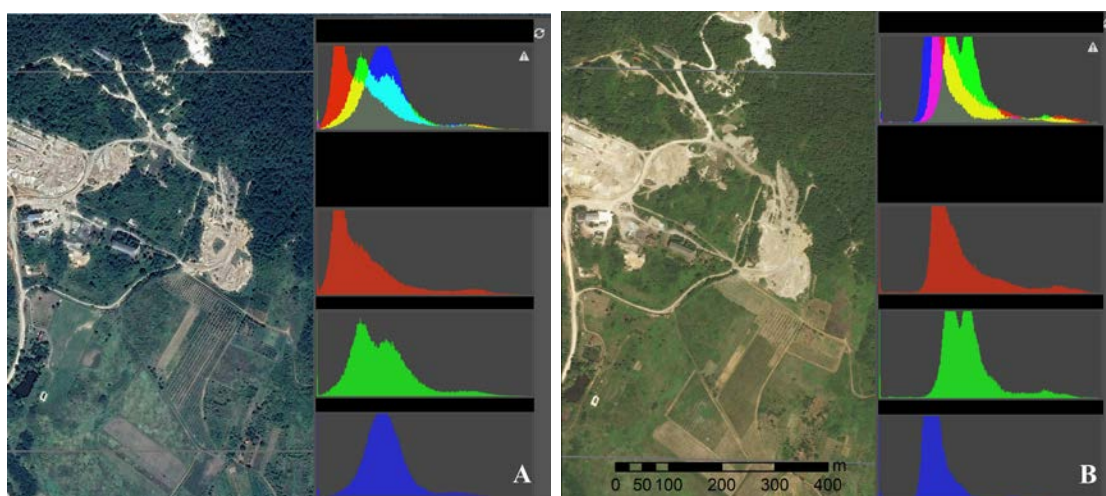
3. táblázat. Az automatikus kategorizálás paramétereit

Kategória	Paraméter	2012 (Bing)	2017 (Google)	Felhasznált kategória
Vegetáció	TC	Layer 2>50	Layer 2>35	None
	SC	Layer 2<=130	Layer 2<=115	
Felszíni víz	TC	Max diff>=0,28	Layer 3>10	Unclassified
	SC	Max diff<=0,36	Layer 3<56	
Nyersanyag kitermelés	TC	Brightness>=117	Brightness>=120	Unclassified
	SC	Brightness<=255	Brightness<=241	
Erdő és gyümölcsös	TC	Brightness>=56	Layer 3>7	Vegetation
	SC	Brightness<=73	Layer 3<77	
Szántó	TC	Brightness>=90	Layer 1>90	Vegetation; Unclassified
	SC	Brightness<=115	Layer 1<142	
Gyepesek	TC	—	Layer 2>90	Vegetation
	SC	—	Layer 2<105	
Cserjék	TC	—	Standard deviation layer 1>1	Vegetation
	SC	—	Standard deviation layer 1<18	
Beépített terület	TC	Max diff.>=0,18	Max diff.>=0	Unclassified
	SC	Max diff.<0,28	Max diff.<0,4	

A színparamétereken kívül a poligonok egyéb jellemzőjét is felhasználtuk, ilyen volt a maximális különbségi skála (Maximum Difference) és a különböző rétegek átlagos szórása (Standard deviation). Sajnos a gyepesek és a cserjések esetében a Bing által feldolgozott felvételen, számos próbálkozás ellenére, sem sikerült megfelelő kategorizálási módszert találnunk, így az adott felvétel esetében ez manuális úton történt.

Az automatikus kategorizálás befejezése után exportáltuk a szegmenseket poligonba, illetve

javítottuk az esetleges hibákat. Annak érdekében, hogy az elkészített foltterképben ne legyenek területi torzulások, topológiai ellenőrzést hajtottunk végre. Az ellenőrzés során két szabályt adtunk a programnak: ne legyen átfedés (Must not overlap) és ne legyenek hézagok (Must not have gaps) (7. ábra). Ezt követően validáltuk a réteget. Az első időszakban (2012) a topológiai ellenőrzés során 2558 topológiai hiba volt (2346 átfedés és 212 hézag). A hibák mérete általában nem haladta meg az 1 métert. A hibákat az



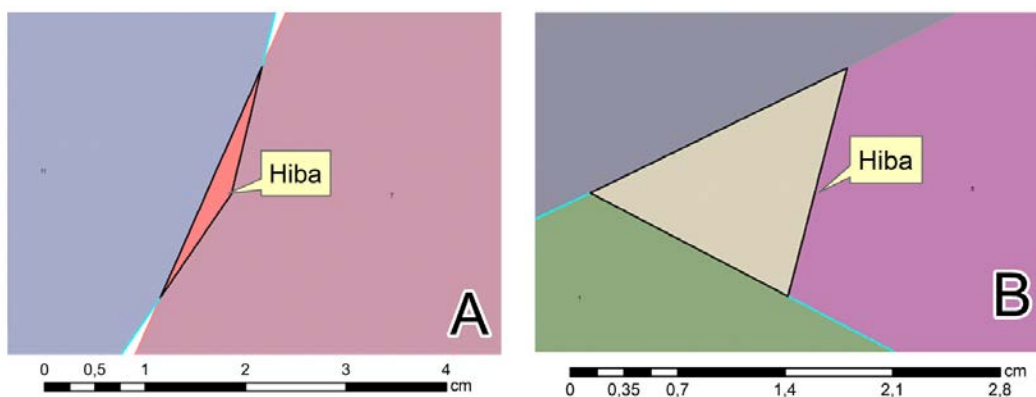
6. ábra. A felhasznált felvételek közti színkülönbségek és a felvételek hisztogramjai  
A – Google (2017), B – Bing (2012)

Error Inspektor segítségével kerestük. Az átfedésses hibákat egybeolvasztással (Merge) javítottuk. A hézagos hibák esetében pedig poligont (Create feature) hoztunk létre, majd azt egybeolvasztottuk egy másik cellával vagy pedig külön kategóriát adtunk neki, önálló cellává alakítva azt. A második idősíkban (2017) 41 218 hiba volt, ebből 23 076 átfedés és 18 142 hézaghiba volt.

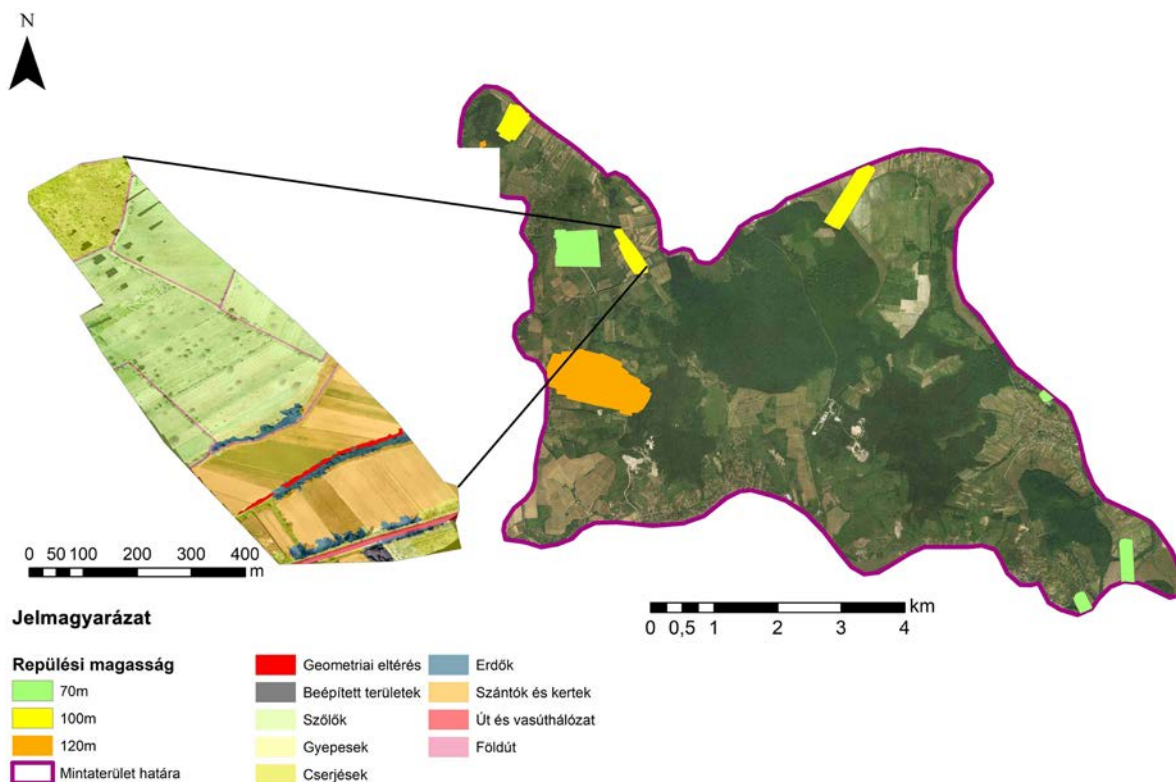
Az ellenőrzés során, a drónfelvételekre ráillesztettük az elkészített foltterképet, majd kéttí-

pusú ellenőrzést hajtottunk végre. Egyrészt tematikus ellenőrzést, mely során a kategóriák típusát ellenőriztük, másrészt pedig a geometriai pontosságot vizsgáltuk, melyek során a poligonok térbeli pontosságát, elcsúszását vizsgáltuk.

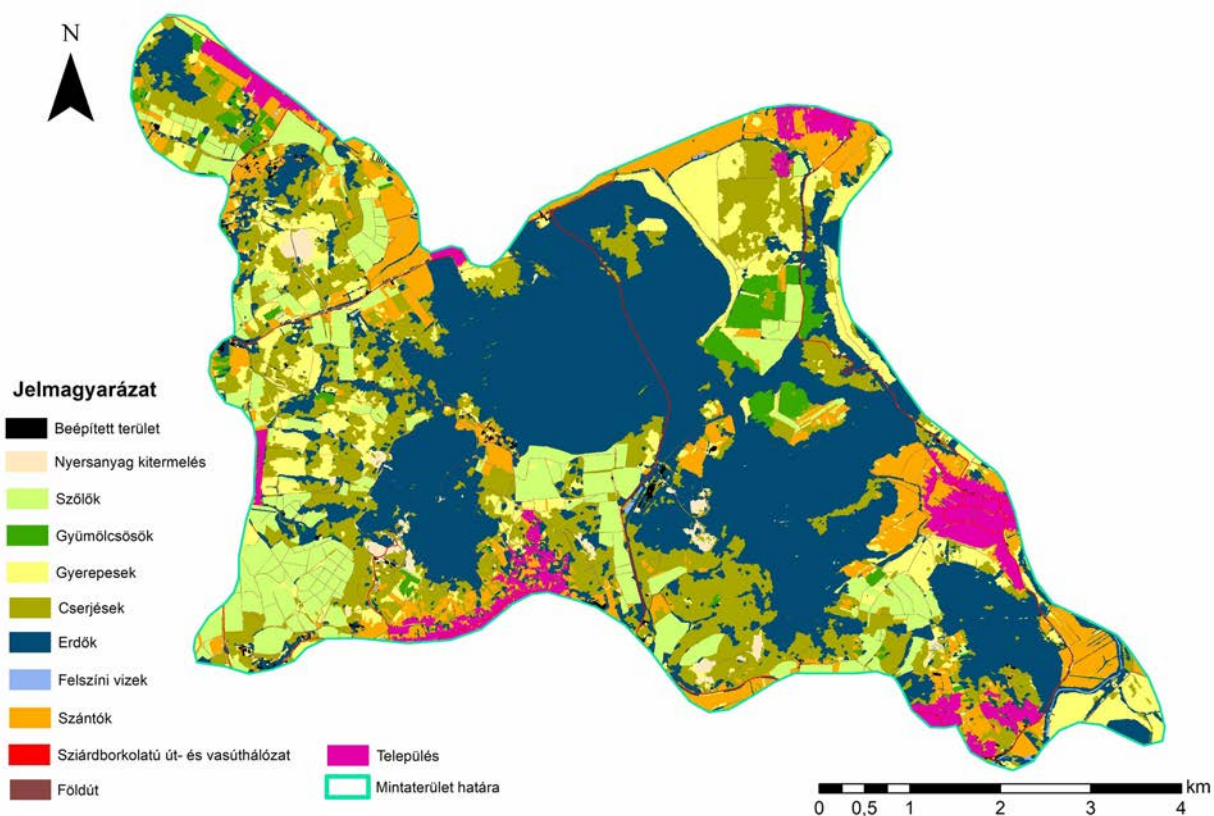
A tematikus ellenőrzés elfogadható eredményeket adott, a cellák zöme megfelelt a légi felvétel felszínborításának. A geometriai pontosságvizsgálatnál némi eltérést észleltünk, amelyeknek mértéke maximum néhány méteres



7. ábra. A vizsgálatban feltárt jellemző topológiai hibák  
A – átfedésses topológiai hiba, B – hézagos topológiai hiba



8. ábra. Példa az elkészített ortomozaiokra és a mintaterületen belül végzett légi felvételezés szektorai



9. ábra. A mintaterület felszínborítása 2012-ben

hibát jelentett. Ennek lehetséges okai: georeferálási torzulások; az UAV geopozicionálásának pontatlanságai; az automatikus szegmentálás hibái; valamint reális változás a légi felvételezés és a műholdkép adatai között.

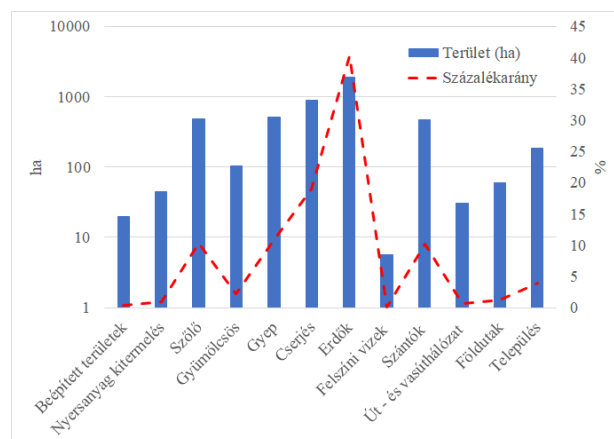
Utolsó lépésként megvizsgáltuk és térképen ábrázoltuk a területen történt változás mértékét. Ehhez először a foltterképet raszterre átalakítottuk (Conversion Tools/To Raster/Feature To Raster). Majd ezt követően az ArcMap Raster Calculator eszközt használtuk fel (ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator).

#### Eredmények

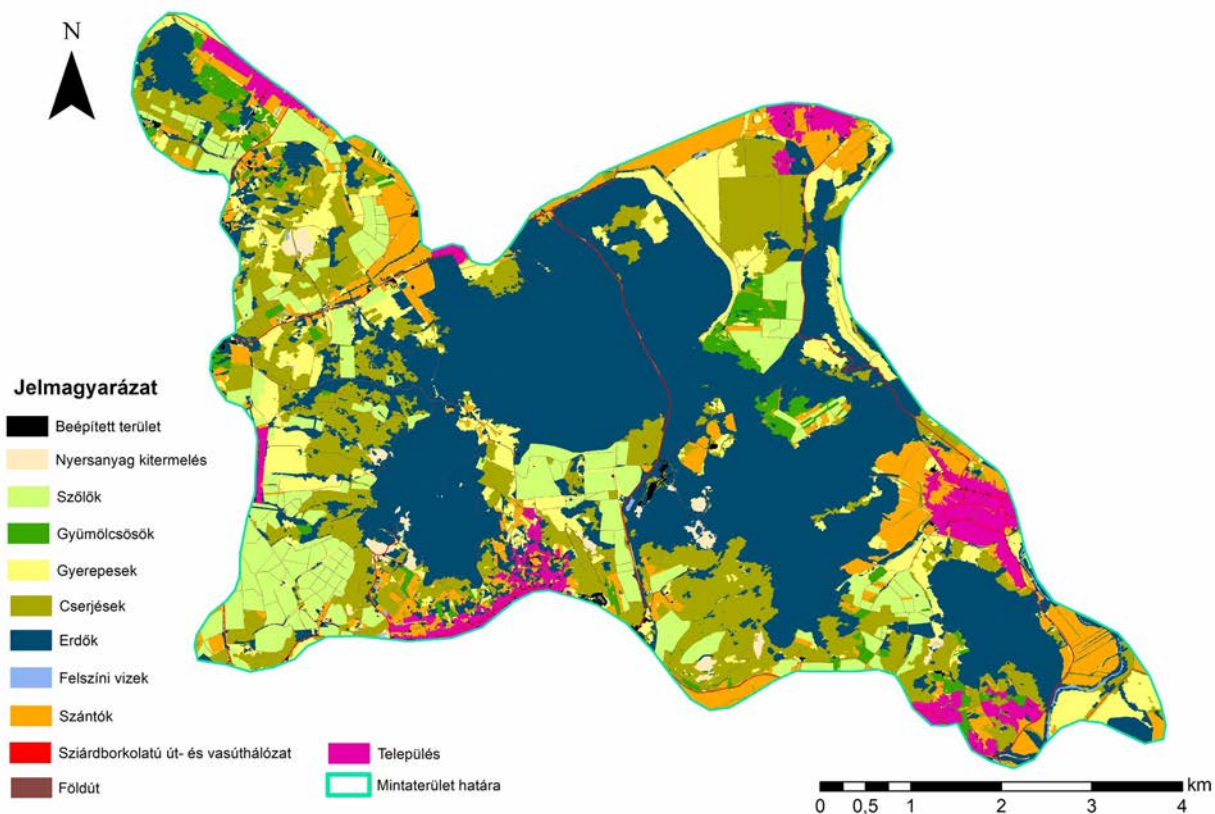
A munka során két idősík felszínborítási térképét készítettük el. A 2012-es idősíkban 25 436 poligonból álló foltterképet hoztunk létre, így elég részletes képet kaptunk a mintaterület felszínborításáról (9. ábra), továbbá kiszámítottuk a kategóriák területét (10. ábra).

A 2017-es felszínborítási állapotról szintén foltterképet készítettünk, amely 18 763 poligonból állt össze (11. ábra) és itt is kiszámí-

tottuk a kategóriák területét (12. ábra). Figyelembe véve a 2012-es felvétel elemzésének tapasztalatait, az erdők kategóriát L100 szint helyett L200 szinten generáltunk, mivel az adott kategóriák döntően nagy cellakiterjedéssel rendelkeznek. Ennek köszönhetően felgyorsítottuk a kategorizálás és ellenőrzés folyamatát, a pontosság megtartásával.



10. ábra. A 2012-es felszínborítás kategóriáinak területe és százalékaránya



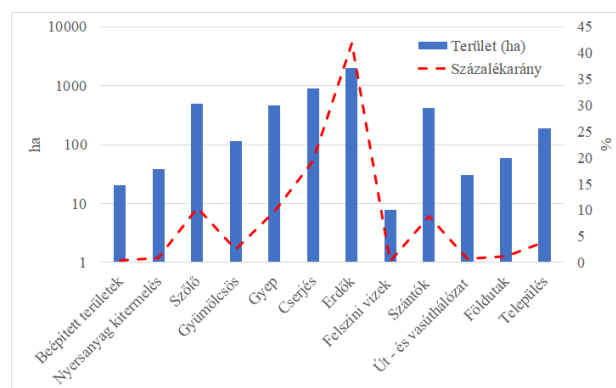
11. ábra. A mintaterület felszínborítása 2017-ben

Miután kielemeztük mindkét idősíkot összehasonlítottuk őket egymással időben (13. ábra) és térben (14. ábra). Nem csak kategória változásokat figyeltünk meg hanem a területi változások is gyakoriak voltak. A 13. ábrán szereplő 235,24 hektárnyi változás nem tükrözi a teljes módosulás mértékét, mivel a területi változásokon kívül gyakoriak voltak a kategória cserék is, például a felhagyott gyümölcsösök beerdősültek, vagy a gyepesek cserjésekké váltak.

A mintaterületen a legjelentősebb változások az erdő kategóriában figyelhető meg, az adott kategória aránylag nagy területgyarapodáson ment keresztül. Észrevehető a gyepesek és szántók területének csökkenése. A többi kategóriában viszonylag nem nagy különbségek figyelhető meg, némelyekben pedig a változás értéke valószínűleg csak a munka során történt esetleges hibákat tükrözi, mint például az utak esetében.

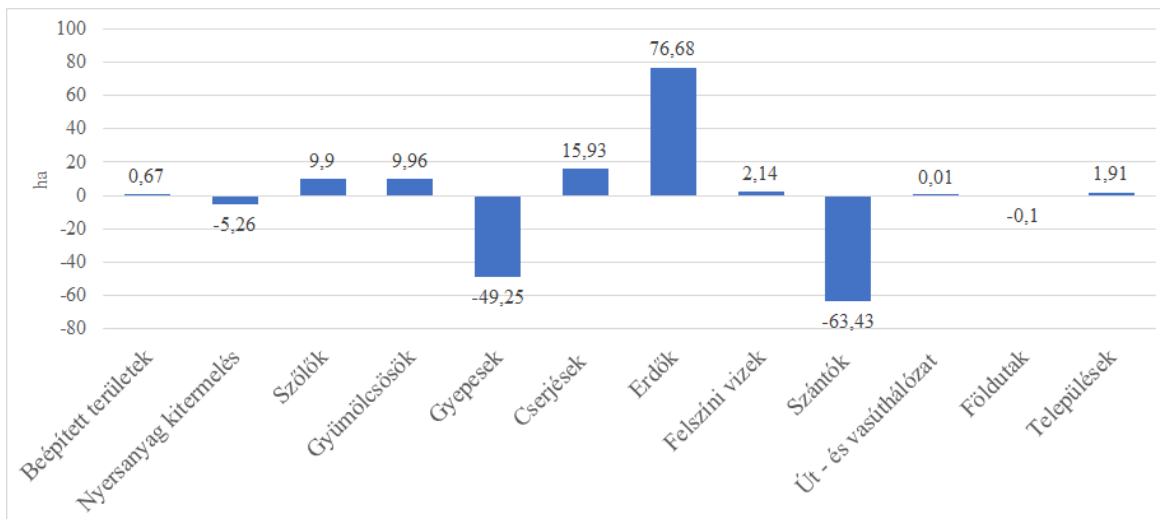
A változások térbeli ábrázolásához létrehozott térképen látható, hogy a változások egyenlően oszlanak el a mintaterületen, amiből kivé-

telt csak a központi erdő jelentette. Érdekes kiemelni, hogy a változásnak ítélt területek egy része nem feltétlenül valós, hiszen magukban hordozzák a georeferálás, a szubjektivitás, illetve a szegmentálás hibáit is.

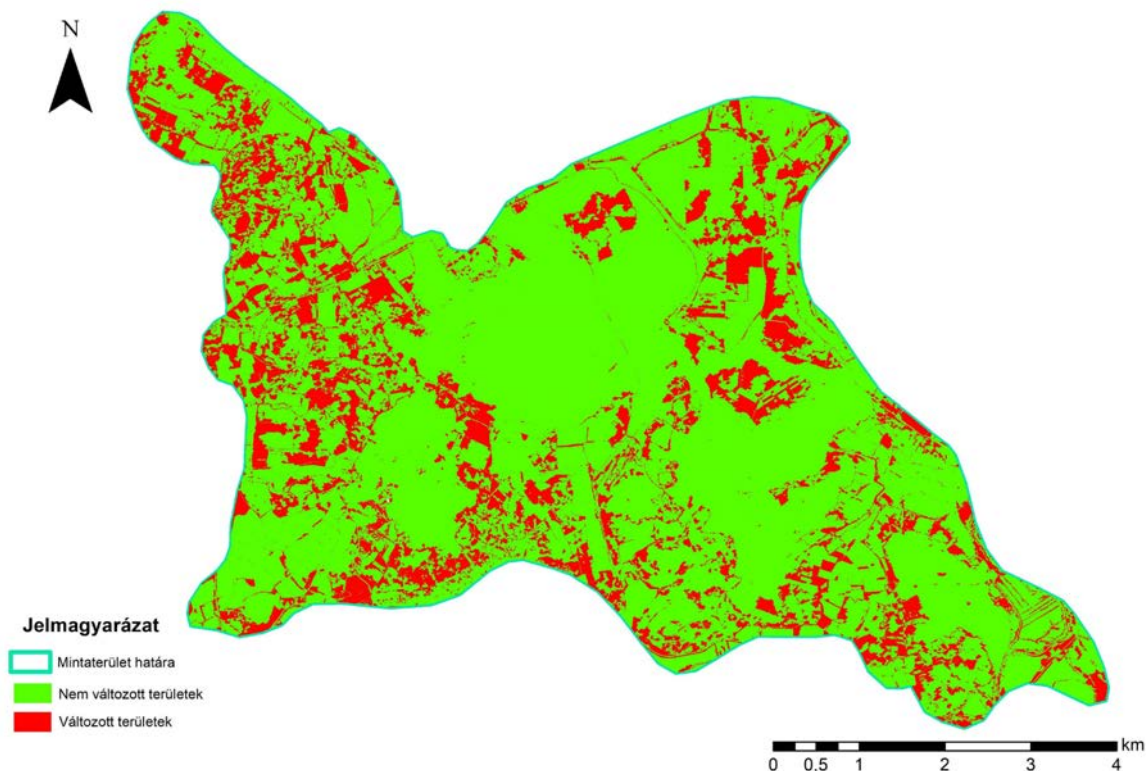


12. ábra. A 2012-es felszínborítás kategóriáinak területe és százalékaránya

A kutatás segítségével a vizsgált terület felszínborítási állapotán túl a módszer hatékonysá-



13. ábra. A mintaterület felszínborításának változása 2012–2017 között



14. ábra. A mintaterület felszínborításának változása 2012–2017 között

gát is görcső alá vettük. Megállapításaink szerint az általunk használt eljárás a látható tartományú felvételek automatizált vizsgálatához (szegmentálás, osztályozás) csak megközelítő pontosság eléréséhez alkalmas, hiszen például a Bing által feldolgozott felvételeknél, a cserjések és gyepesek automatikus megkülönböztetése szinte

lehetetlen, vagyis félreosztályozások jönnek létre. A kielégítő geometriai és kategorizálási pontosság elérésének érdekében számos manuális operációt szükséges végrehajtani, mivel a szegmentálással történő elemdetektálás számos akadályba ütközhet. Az utak vagy a szőlővel beültetett területek észlelése során, elfogadható eredmény

érdekében ezek manuális vektorizálására és a felvételtől való kivágására van szükség. Külön problémát jelentenek a képek eltérő hisztogramjai, ami miatt minden felvételhez eltérő osztályozási paraméterek kiválasztása szükséges.

#### Következtetések

A 2012–2017 közötti időszakban a vizsgált mintaterület közel 6%-án történtek felszínborítási (méretbeli, kategóriabeli) változások. Legnagyobb pozitív változást az erdők kategóriában mértünk, hiszen 76,7 hektárral nőtt az erdőfoltok területe. A legnagyobb negatív változásokat a szántók (-63,4 ha) és a gyepesek (-49,3 ha) kategóriákban észleltük. Jelentős pozitív területi változással rendelkeznek a szőlők (9,9 ha) és a gyümölcsösök (10 ha) csoportjai is. A többi kategóriában nem történt jelentős változás.

A gyepesek csökkenése elsősorban a cserjések és az erdők rovására történt, a természe-

tes szukcesszióknak megfelelően. A szántók egy részét szintén a dombság eredeti növénytakarásai foglalták vissza, más részein megváltozott a művelési mód és szőlők illetve gyümölcsösök vették át az uralmat.

#### A kutatás gyakorlati jelentősége

Az általunk alkalmazott módszer a multi- és hiperspektrális felvételek automatizált feldolgozásához képest jóval idő és munkaigényesebb. Az említett módszerhez képest, folyamatos és részletes ellenőrzést, illetve korrekciót igényel. Ugyanakkor az automatizált feldolgozás során használt 25 ha-os elemzési tartományt le tudtuk vinni 0,0013 ha-os tartományra, vagyis a pontossága több, mint 19 000-szeresére növekedett. E módszer felhasználható a látható tartományú felvételek hagyományos feldolgozása (vektorizálás, osztályozás) során, ami segítségével a manuális feldolgozás gyorsabb és hatékonyabb lesz.

#### Felhasznált irodalom

1. Смірнов Я.В. Аналітичний огляд європейських систем класифікації земельних ресурсів. *Географія та туризм*. 2012. 22, с. 291–300.
2. Зелик Я.І., Куссуль Н.М., Шелестов А.Ю., Яйлимов Б.Я. Аналітичний огляд європейських проєктів LUCAS і CORINE для моніторингу та валідації земного покриву і землекористування на основі супутникових та наземних спостережень та досвід картографування земного покриву в Україні. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2017. № 12. С. 10–36.
3. Аналітична доповідь «Перспективи використання супутникової інформації для моніторингу досягнення цілей сталого розвитку України». Інститут космічних досліджень НАН України і ДКА України. Київ, 2020. 88 с.
4. Шерстюк Д.М., Ільєнко Т.В. Використання супутникових даних як інструмент у моніторингу в збалансованому природокористуванні. *Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації. Частина I* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 18–19 травня, 2023 р., с. 169–170.
5. Izsák Tibor. A Beregszászi járás természeti földrajza. *PoliPrint Kft, Ungvár*. 2007. 51 p., 11–23.
6. Kinárov K., Túri Z.K., Gönczy S. Űrfelvétel-alapú változásvizsgálatok a Beregszászi-dombságon. X. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. Pp. 139–146. Debrecen, 2019. május 23–24. ISBN: 978-963-318-054-9.
7. Kinárov K., Túri Z.K., Gönczy S. A földhasználat-változás elemzése egy kárpátaljai mintaterületen (Beregszászi-dombság). X. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, poszter. Debrecen, 2019. május 23–24.
8. Mika J., Utasi Z., Bíró Cs., Péntesné Kónya E. Műholdakról távérzékelt adatok feldolgozása és hasznosítása. *Eszterházy Károly Főiskola, Eger*. 2011. 100 p.
9. Лялько В.І., Шпортьук З.М., Сахацький О.І., Сибірцева О.М. Класифікація земного покриву Карпат з використанням наземного хлорофільного індекса та позиції червоного краю за даними відоспектрометра MERIS. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 2014. 1, с. 30–34.
10. Ліщенко Л.П. Моніторинг теплого поля поверхні колишніх виробничих зон і промислових об'єктів м. Київ за супутниковими даними. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 2020. 25, с. 17–27. doi: 10.36023/ujrs.2020.25.172
11. Краснопір О.В. Аналіз ландшафтного різноманіття Українського Полісся за 2001–2012 рр. на основі класифікованих космічних знімків EOS/MODIS. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 2015. 6, с. 14–23.
12. Gönczy S. Kárpátalja magmás komplexumai (Adattár, ösföldrajz és esettanulmányok). *II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola kiadványa. „RIK-U” kiadó, Ungvár-Beregszász*. 2016. 190 p. ISBN 978-617-7404-13-1.

13. Титов Э.М., Мацкив Б.В., Титова В.И., Белик Т.И. Геологическая карта Закарпатья, М 1:200 000. *СЕВУКРГЕОЛОГИЯ, Закарпатская Геологическая Экспедиция*. 1979.
14. Chintan P. Dave, Rahul P. Joshi, Srivastava S.S. A Survey on Geometric Correction of Satellite Imagery. *International Journal of Computer Applications*, 2015. 116. Pp. 24–27. doi: 10.5120/20389-2655
15. Jaud M., Rouveure R., Faure P., Monod. M-O. Methods for FMCW radar map georeferencing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2013, 84, pp. 33–42. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2013.07.002
16. Incze J. A területhasználát változásai és jelentőségük a táj antropogén felszínfejlődésében a tokaji Nagyhegy példáján. *Debreceni Egyetem, Debrecen*. 2012. 53 p.
17. Varbla S., Ellmann A., Puust R. Centimetre-range deformations of built environment revealed by drone-based photogrammetry. *Automation in Construction*, 2021. 128, 103787. Pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103787>
18. Túri Z.K. A tájszerkezet geoinformatikai módszereinek elemzése alföldi mintaterületen. *Debreceni Egyetem, Debrecen*. 2015. 156 p.
19. Moreira E.P., Valeriano M.M. (2014). Application and evaluation of topographic correction methods to improve land cover mapping using object-based classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014. 32, pp. 208–217. doi: 10.1016/j.jag.2014.04.006
20. Lassalle G., Ferreira M.P., Cué La Rosa L.E., Roberto de Souza Filho C. Deep learning-based individual tree crown delineation in mangrove forests using very-high-resolution satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2022. 189, pp. 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.05.002>
21. Ikokou G.B., Smit J. Optimal segmentation parameters prediction using a orthogonal decomposition approach for geographical object based classification of urban areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2021. 24,3,2, pp. 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.04.001>
22. Liu B., Song W. Mapping abandoned cropland using Within-Year Sentinel-2 time series. *CATENA*, 2023. 223. 106924, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106924>
23. ukravtodor.gov.ua (A letöltés ideje 2019. április 20).
24. Ranchin T., Naert B., Albuissou M., Boyer G., Astrand P. An automatic method for vine detection in airborne imagery using wavelet transform and multiresolution analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001, 67 (1), pp. 91–98.
25. Taşdemir K., Milenov P., Tapsall B. A hybrid method combining SOM-based clustering and object-based analysis for identifying land in good agricultural condition. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012. 83, pp. 92–101. doi: 10.1016/j.compag.2012.01.017

### Felhasznált irodalom

1. Smirnov, Y. V. (2012). Analitichnyi ohliad yevropejskykh system klasyfikatsii zemelnykh resursiv [Analytical review of European land classification systems]. *Heohrafiia ta turizm*, 22, pp. 291–300 [in Ukrainian].
2. Zielyk Y. I., Kussul N. M., Shelestov A. Y., Yailymov B. Y. (2017). Analitichnyi ohliad yevropejskykh proektiv LUCAS i CORINE dlia monitorynhu ta validatsii zemnoho pokryvu i zemlekorystuvannia na osnovi sputnykovykh ta nazemnykh sposterezhen ta dosvid kartohrafuvannia zemnoho pokryvu v Ukraini [Analytical review of European projects LUCAS and CORINE for monitoring and validation of land cover and land-use on the basis of satellite and ground observations and experience of land cover mapping in Ukraine]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli*. № 12, pp. 10–36 [in Ukrainian].
3. Analitichna dopovid «Perspektyvy vykorystannia sputnykovoi informatsii dlia monitorynu dosiahnennia tsilei staloho rozvytku Ukrainy» (2020). [Analytical report “Prospects of using satellite data to monitor the achievement of sustainable development goals in Ukraine”]. *Institut kosmichnykh doslidzhen NAN Ukrainy i DKA Ukrainy*. Kyiv, 88 p. [in Ukrainian].
4. Sherstiuk D. M., Iliencko T. V. (2023). Vykorystannia sputnykovykh danykh yak instrument u monitoryhu v zbalansovanomu pryrodokorystuvanni [Using satellite data as a tool for monitoring in sustainable environmental management]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia: tradytsii, perspektyvy ta innovatsii*. Chastyna 1: Materialy Mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii, m. Kyiv, 18–19 travnia, 2023 r., pp. 169–170. [in Ukrainian].
5. Izsák, T. (2007). Natural geography of the Berehove district. *PoliPrint Kft*. Ungvár, 51 p. [in Hungarian].
6. Kinárov, K., Túri, Z. K., Gönczy, S. (2019). Space-based change studies in the Berehove Hills. X. Theory meets practice is GIS. Pp. 139–146. Debrecen, May 23–24, 2019. ISBN: 978-963-318-054-9 [in Hungarian].
7. Kinárov, K., Túri, Z. K., Gönczy S. (2019). Analysis of land use change in a Transcarpathian sample area (Berehove Hills). X. Theory meets practice is GIS, poster. Debrecen, May 23–24, 2019 [in Hungarian].
8. Mika, J., Utasi, Z., Bíró, Cs., Pézsesné Kónya, E. (2011). Processing and exploitation of remotely sensed data from satellites. *Eszterházy Károly College, Eger*. 100 p. [in Hungarian].

9. Lialko, V. I., Shportiuk, Z. M., Sakhatskyi, O. I., Sybirtseva, O. M. (2014). Klasyfikatsiia zemnoho pokryvu Karpat z vykorystanniam nazemnoho khlorofilnoho indeksa ta pozytsii chervonoho kraiu za danymy vidospetrometra MERIS [Classification of the land cover of the Carpathians using the terrestrial chlorophyll index and the position of the red edge according to the MERIS spectrometer]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli*, 1. Pp. 30–34 [in Ukrainian].
10. Lishchenko, L. P. (2020). Monitorynh teplovoho polia poverkhni kolyshnykh vyrobnychkh zon i promyslovykh ob'ektiv m. Kyiv za suputnykovyimi danymi [Monitoring of land surface temperature of post-industrial areas and industrial sites in Kyiv using remote sensing data]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli* 25, pp. 17–27. DOI: 10.36023/ujrs.2020.25.172 [in Ukrainian].
11. Krasnopir, O. V. (2015). Analiz landshaftnoho riznomanittia Ukrainskoho Polissia za 2001–2012 rr. na osnovi klasyfikovanykh kosmichnykh znimkiv EOS/MODIS [Analysis of landscape diversity of Ukrainian Polissia for 2001–2012 years based on classified satellite images EOS/MODIS]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli*, 6, pp. 14–23 [In Ukrainian].
12. Gönczy, S. (2016). Magmatic complexes of Transcarpathia (Data base, palaeogeography and case studies). *Publication of the Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College. „RIK-U” publisher, Uzhhorod-Berehove*. 190 p. ISBN 978-617-7404-13-1 [in Hungarian].
13. Tytov E. M., Matskyv B. V., Tytova V. Y., Belyk T. Y. (1979). Heolohycheskaia karta Zakarpatya, M 1:200 000 [Geological map of Transcarpathia Scale 1 : 200 000]. *SEVUKRHEOLOHYIA, Zakarpatskaia Heolohycheskaia Ekspedytsiia* [in Russian].
14. Chintan P. Dave, Rahul P. Joshi, Srivastava S. S. (2015). A Survey on Geometric Correction of Satellite Imagery. *International Journal of Computer Applications*, 116, pp. 24–27. DOI: 10.5120/20389-2655
15. Jaud, M., Rouveure, R., Faure, P., Monod, M-O. (2013). Methods for FMCW radar map georeferencing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 84, pp. 33–42. doi: 10.1016/j.isprsjrs.2013.07.002
16. Incze, J. (2012). Changes in land use and their significance in the anthropogenic surface development of the landscape on the example of the Nagyhegy in Tokaj. *University of Debrecen, Debrecen*. 53 p. [in Hungarian].
17. Varbla, S., Ellmann, A., Puust, R. (2021). Centimetre-range deformations of built environment revealed by drone-based photogrammetry. *Automation in Construction* 128, 103787, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103787>
18. Túri, Z. K. (2015). Analysis of the geoinformatic methods of landscape structure research in study areas in the Great Hungarian Plane. *University of Debrecen, Debrecen*. 156 p. [in Hungarian].
19. Moreira, E. P., Valeriano, M. M. (2014). Application and evaluation of topographic correction methods to improve land cover mapping using object-based classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 32, pp. 208–217. doi: 10.1016/j.jag.2014.04.006
20. Lassalle, G., Ferreira, M. P., Cué La Rosa, L. E., Roberto de Souza Filho, C. (2022). Deep learning-based individual tree crown delineation in mangrove forests using very-high-resolution satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 189, pp. 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjrs.2022.05.002>
21. Ikokou, G. B., Smit, J. (2021). Optimal segmentation parameters prediction using a orthogonal decomposition approach for geographical object based classification of urban areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24,3,2, pp. 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.04.001>.
22. Liu, B., Song, W. (2023). Mapping abandoned cropland using Within-Year Sentinel-2 time series. *CATENA* 223, 106924, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106924>
23. Retrieved from: [ukravtodor.gov.ua](http://ukravtodor.gov.ua) (Date of download 20 April 2019).
24. Ranchin, T., Naert, B., Albuissou, M., Boyer, G., Astrand, P. (2001). An automatic method for vine detection in airborne imagery using wavelet transform and multiresolution analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67 (1), pp. 91–98.
25. Taşdemir, K., Milenov, P., Tapsall, B. (2012). A hybrid method combining SOM-based clustering and object-based analysis for identifying land in good agricultural condition. *Computers and Electronics in Agriculture* 83, pp. 92–101. doi: 10.1016/j.compag.2012.01.017

Itt szeretnénk köszönetet mondani Dr. Túri Zoltán Krisztiánnak és Dr. Molnár D. Istvánnak a kutatás során nyújtott szakmai tanácsokért.