



EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

INFORMATIKAI KAR

PROGRAMOZÁSELMÉLET ÉS SZOFTVERTECHNOLÓGIAI
TANSZÉK

Hulladékdetektálás műholdfelvételeken gépi tanulás segítségével

Témavezető:

Cserép Máté

egyetemi tanársegéd

Szerző:

Magyar Dávid

programtervező informatikus BSc

Budapest, 2022

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Felhasználói dokumentáció	5
2.1. Legfontosabb fogalmak	5
2.1.1. Multispektrális műholdfelvételek	5
2.1.2. Indexek	7
2.2. A szoftver rövid ismertetése	8
2.3. Hardveres és szoftveres követelmények	8
2.4. Telepítés és a program futtatása	9
2.5. Felhasználói felületek	10
2.5.1. Főablak és funkciói	10
2.5.2. Beállítások ablak és funkciói	16
2.5.3. Interaktív tanító felület és funkciói	21
2.6. Tanító címkék és döntési fák optimális száma	25
3. Fejlesztői dokumentáció	27
3.1. Legfontosabb fogalmak	27
3.1.1. Gépi tanulás	27
3.2. Módszertan	30
3.2.1. Tanító területek	30
3.2.2. Hulladékdetektálási módszerek	32
3.3. Fejlesztői környezet	39
3.4. Követelményanalízis	40
3.4.1. Funkcionális követelmények	40
3.4.2. Nem funkcionális követelmények	40
3.4.3. Felhasználói esetek	40
3.4.4. Felületek látványterve	42
3.5. Modell réteg	44

3.6. Nézet réteg	49
3.7. Kontroller réteg	51
3.8. Tesztelés	52
3.8.1. Fehér-doboz tesztelés - Automata tesztesetek	52
3.8.2. Fekete-doboz tesztelés - Manuális tesztesetek	53
3.8.3. Futási idők	63
4. Összegzés	64
Köszönetnyilvánítás	65
A. Szimulációs eredmények	66
A.1. Hot-spot detektálása	67
A.2. Vízfelszíni folyami torlaszok detektálása	67
A.3. A hullámtérben ismert helyen lerakott hulladék detektálása	67
Irodalomjegyzék	72
Ábrajegyzék	75
Táblázatjegyzék	77
Algoritmusjegyzék	78
Forráskódjegyzék	79

1. fejezet

Bevezetés

Napjaink egyik legnagyobb környezetvédelmi problémája az illegális hulladéklerakatok számának növekedése az erdőkben, folyókon, folyópartokon, valamint egyéb félreeső helyeken. A folyóvizekbe kerülő hulladék ráadásul nem csak helyben okoz természetkárosítást, hanem a folyó lentebbi szakaszain is mind a vízben, mind a partra kimosódva. Vízerőműveknél, illetve gátaknál nagy kiterjedésű hulladékszigetek is kialakulhatnak, melyek esetleges továbbhaladása további természeti károkat is okozhat a folyó mentén [1, 2, 3]. Ezért nagyon fontos, hogy a hulladékgyűjtő szervezetek képesek legyenek nyomon követni a potenciális veszélyforrásokat.

Az elmúlt egy évtizedben nagy fejlődésen mentek keresztül a közepes- és nagy felbontású, multispektrális szenzorokkal felszerelt földmegfigyelő műholdak. Havi, heti, vagy akár napi rendszerességgel is készülnek új felvételek ugyanazon területekről, ennél fogva változáselemzésre is kiválóan alkalmazhatók. A felvételek analizálása a multispektrális műholdfelvételek látható és nem látható tartományban készült sávjai, valamint az ezekből készült különféle indexek alapján történik, annak érdekében, hogy a hulladékkal fedett területek jobban elkülönüljenek a környezetüktől.

Dolgozatom témája különféle robusztus hulladék-detektálási módszerek tesztelése, fejlesztése, azon célból, hogy ezen lerakatok észlelését megkönnyítsem és felgyorsítsam, továbbá a hulladékgyűjtő akciókat egy automatikus monitoring rendszerrel elősegítsem. Eszközként a gépi tanulást választottam, mely napjaink széles körben alkalmazott, és a távérzékelésben is egyre inkább használatos technológiája.

A dolgozat második fejezetében olvasható a felhasználói dokumentáció, mely ismereti a felhasználó számára fontos tudnivalókat az alkalmazás használatához. A harmadik fejezetben található a fejlesztői dokumentáció, ahol bemutatásra kerülnek az implemen-

tációs döntések, illetve a detektáláshoz kapcsolódó módszertan. Zárásképpen a dolgozat összefoglalóját és saját konklúziómat tartalmazza a negyedik fejezet.

2. fejezet

Felhasználói dokumentáció

2.1. Legfontosabb fogalmak

2.1.1. Multispektrális műholdfelvételek

Az elmúlt évtizedekben mind maga a távérzékelés, mind a közepes- és nagy felbontású, multispektrális szenzorokkal felszerelt földmegfigyelő műholdak is nagy technológiai fejlődésen mentek keresztül. Ezen műszerek képesek a látható és nem látható tartományban is adatokat rögzíteni, ezáltal több információt biztosítanak a megfigyelt területről.

GeoTIFF

A műholdfelvételek általában *GeoTIFF* [4] típusú fájlba kerülnek elmentésre. A *GeoTIFF* egy nyilvános metaadat-szabvány, amely lehetővé teszi a georeferenciainformációk beágyazását egy *TIFF*-fájlba [5]. A lehetséges kiegészítő információk közé tartozik a térképi vetület, a koordinátarendszer, az ellipszoidok, a dátum és minden más, ami a fájl pontos térbeli referenciájának meghatározásához szükséges. A *GeoTIFF* formátum teljes mértékben megfelel a *TIFF* 6.0-nak, így a speciális metaadatok olvasására és értelmezésére képtelen szoftverek is képesek megnyitni a *GeoTIFF* formátumú fájlkat.

Kutatásom során a távérzékelő műholdak két fajtájával dolgoztam, melyek specifikációi alább olvashatóak.

Sentinel-2

Az Európai Unió Föld-megfigyelési programja, a Kopernikusz program [6]. Ennek Sentinel-2 küldetése [7] két azonos műholdból álló, azonos pályán keringő konstelláción

alapul. Mindkét műhold egy-egy innovatív, 13 spektrális sávot tartalmazó, nagy felbontású, széles sávú multispektrális képalkotó eszközt hordoz, melyek folyamatosan monitorozzák a földfelszín változását.

A Sentinel-2 nagy felbontású multispektrális műszere a francia SPOT-missziók [8] és az amerikai Landsat műholdak [9] jól bevált örökségén alapul. A multispektrális képalkotó a legfejlettebb a maga nemében - valójában ez az első olyan optikai földmegfigyelő műszer, amely három sávot tartalmaz a "vörös él" tartományban, amelyek kulcsfontosságú információkat szolgáltatnak a növényzet állapotáról. Két nagyméretű, látható közeli infravörös és rövidhullámú infravörös fókuszszíkot integrál, amelyek mindegyike 12 detektorral van felszerelve és 450 000 pixelt egyesít. A küldetés során esetlegesen meghibásodó pixelek redundáns pixelekkal helyettesíthetők. A kétféle detektor kiváló minőségű szűrőket használ a spektrális sávok tökéletes elkülönítése érdekében. A műszer optikai-mechanikai stabilitásának rendkívül magasnak kell lennie, ami szilícium-karbid kerámia használatát jelentette a három tükör és a fókuszszík, valamint maga a távcső szerkezete esetében. A 13 spektrális sáv, a látható tartománytól a közeli infravörösön át a rövidhullámú infravörösig (2.1 táblázat), 10 és 60 méter közötti térbeli felbontással, eddig nem látott szintre emeli a földfelszín megfigyelését [7].

Az általam felhasznált sávok között többnyire a 10 és 20 méteres felbontásúak szerepeltek, melyeken egy képpont rendre 100, illetve 400 m² nagyságú területet fed le. Ennélfogva csak nagyobb kiterjedésű szemétkerakatok, szemétkerakok azonosítására volt alkalmas.

PlanetScope

Az amerikai Planet Labs Inc.¹ vállalat PlanetScope műhold-konstellációja [10] egyedi kockaműhold-csoportok sokaságából tevődik össze. A több, mint 130 műholdból álló konstelláció naponta képes képet készíteni a Föld szinte teljes szárazföldi területéről. A felvételek készítésére használt műszer, mely az összes ilyen műholdon megtalálható, jelenleg négy sávban képes rögzíteni: *Kék, Zöld, Vörös, Közeli infravörös* (2.2 táblázat), ezek speciális esetekben kiegészülnek még egy *Vörös él* sávval is.

Ezen műszerek már kisebb területek azonosítására is alkalmasak voltak, mivel sávjaik 3 méter felbontásúak, azaz egy képpont 9 m² kiterjedésű terület adatait tartalmazza.

¹Planet Labs Inc. - <https://www.planet.com/>

Sáv	Felbontás	Hullámhossz közepe	Leírás	Angol rövidítés
B1	60 m	443 nm	Tengerparti aeroszol	Coastal aerosol
B2	10 m	490 nm	Kék	Blue
B3	10 m	560 nm	Zöld	Green
B4	10 m	665 nm	Vörös	Red
B5	20 m	705 nm	Vörös él	Vegetation red edge
B6	20 m	740 nm	Vörös él	Vegetation red edge
B7	20 m	783 nm	Vörös él	Vegetation red edge
B8	10 m	842 nm	Közeli infravörös	NIR
B8a	20 m	865 nm	Keskeny közeli infravörös	Narrow NIR
B9	60 m	940 nm	Vízpára	Water vapour
B10	60 m	1375 nm	Rövidhullámú infravörös	SWIR - Cirrus
B11	20 m	1610 nm	Rövidhullámú infravörös	SWIR 1
B12	20 m	2190 nm	Rövidhullámú infravörös	SWIR 2

2.1. táblázat. A Sentinel-2 sávjainak elnevezései és paraméterei [11, 12].

Sáv	Felbontás	Hullámhossz	Leírás	Angol rövidítés
B1	3 m	455 - 517 nm	Kék	Blue
B2	3 m	500 - 590 nm	Zöld	Green
B3	3 m	590 - 682 nm	Vörös	Red
B4	3 m	780 - 888 nm	Közeli infravörös	NIR

2.2. táblázat. A PlanetScope sávjainak elnevezései és paraméterei [13].

2.1.2. Indexek

A műhold felvételek sávjaiból különböző index értékek számíthatók. Mindegyik más-más típusú területek jellemzőit emeli ki. Az általam használt talán legfontosabb ilyen mutató a *Plastic Index* volt (2.3 táblázat) [14], mely a műanyagot tartalmazó területek esetében magasabb értékkel rendelkezik. Ezt az adottságát használtam ki a változáselemzés során. A végső eljárásokban nem alkalmaztam a 2.4-es táblázatban szereplő indexeket, mivel azok csak Sentinel-2 műholdak által mért adatokból számíthatók, a PlanetScope műholdak nem rendelkeznek az ezekhez szükséges sávokkal.

$$\begin{aligned}
 \textit{Plastic Index (PI)} &= \frac{NIR}{NIR + Red} \\
 \textit{Normalized Difference Water Index (NDWI)} &= \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \\
 \textit{Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)} &= \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \\
 \textit{Reversed Normalized Difference Vegetation Index (RNDVI)} &= \frac{Red - NIR}{Red + NIR} \\
 \textit{Simple Ratio (SR)} &= \frac{NIR}{Red}
 \end{aligned}$$

2.3. táblázat. A végül felhasznált indexek kiszámítási módjai [14].

$$\begin{aligned}
 \text{Water Ratio Index (WRI)} &= \frac{\text{Green} + \text{Red}}{\text{NIR} + \text{SWIR} 2} \\
 \text{Modified Normalization Difference Water Index (MNDWI)} &= \frac{\text{Green} - \text{SWIR} 2}{\text{Red} + \text{SWIR} 2} \\
 \text{Normalized Difference Moisture Index (NDMI)} &= \frac{\text{Green} - \text{SWIR} 1}{\text{Green} + \text{SWIR} 1}
 \end{aligned}$$

2.4. táblázat. Az egyéb kipróbált indexek kiszámítási módjai [14].

2.2. A szoftver rövid ismertetése

Ez az alkalmazás elsősorban a hulladékgyűjtő szervezetek munkájának megkönnyítése érdekében készült el. A cél az volt, hogy olyan hulladék-detektálási módszerek kerüljenek implementálásra, melyek a gyakorlatban is használhatók, és a szervezetek munkáját felgyorsítják, hatékonyabbá teszik. Az ehhez elkészített megoldás kompatibilis bármilyen legalább négy sávval rendelkező műholdfelvétellel, melynek kötelezően tartalmaznia kell a *Kék, Zöld, Vörös, Közeli infravörös* sávokat. Az alábbi folyamatok elvégzése biztosított:

1. *Hot-spot detection*: Hot-spotok, azaz illegális hulladéklerakók azonosítása közepes vagy nagy felbontású műholdfelvételeken a Tisza felsőbb (ukrajnai, romániai) részein, amelyekből áradáskor jelentős mennyiségű hulladék kerül a folyóba.
2. *Floating waste detection*: Vízfelszíni folyami torlaszok azonosítása közepes vagy nagy felbontású műholdfelvételeken, amelyek a folyó ismert helyszínein (például vízerőműveknél) tudnak kialakulni.
3. *Washed up waste detection*: A hullámtérben ismert helyen lerakott, elsősorban műanyag hulladék detektálása nagyfelbontású műholdfelvételeken.

2.3. Hardveres és szoftveres követelmények

Megnevezés	Követelmény
<i>Operációs rendszer</i>	Windows 10 64-bit
<i>Processzor</i>	Intel Core i7-9750H 2.60GHz
<i>Memória</i>	16 GB
<i>Merevlemez</i>	5 GB
<i>Kijelző felbontása</i>	Full HD, 1920×1080

2.5. táblázat. Rendszerkövetelmények.

Megjegyzés. A program futtatásához nem szükséges ennyi tárterület, viszont a feldolgozandó és feldolgozott képek háttértárigénye jelentős lehet. Valamint az alkalmazás megfelelő működéséhez ajánlott az operációs rendszer méretezését 100%-ra állítani.

2.4. Telepítés és a program futtatása

A **program telepítése** három részből áll:

1. *Anaconda* telepítése. Első lépésként meg kell teremteni a megfelelő környezetet az alkalmazás futtatásához. Ehhez az alábbi oldalról le kell tölteni az *Anaconda* platformot: <https://www.anaconda.com/products/distribution>.
2. A telepítés sikeres befejezte után nyissuk meg az *Anaconda Prompt* nevezetű alkalmazást, majd a megjelent parancssor segítségével navigáljunk el a programom főkönyvtárába.
3. Ezután az alábbi utasítással hozhatjuk létre a futtatáshoz szükséges környezetet (2.1 forráskód), melynek egyedi neve *WasteDetection* lesz. Ha a telepítő megkérdezi, hogy jóvá hagyja-e a módosításokat, akkor válasszuk az igen lehetőséget. A folyamat végeztével készen állunk az alkalmazás futtatására.

```
conda env create -f environment.yml
```

2.1. forráskód. Saját környezet létrehozása.

A **program futtatása:**

1. Az *Anaconda Prompt* alkalmazásban a programom *application* nevű könyvtárba navigálva aktiváljuk a korábban létrehozott környezetet (2.2 forráskód):

```
conda activate WasteDetection
```

2.2. forráskód. Saját környezet aktiválása.

2. Végül futtassuk a programot (2.3 forráskód):

```
python __main__.py
```

2.3. forráskód. Az alkalmazás futtatása.

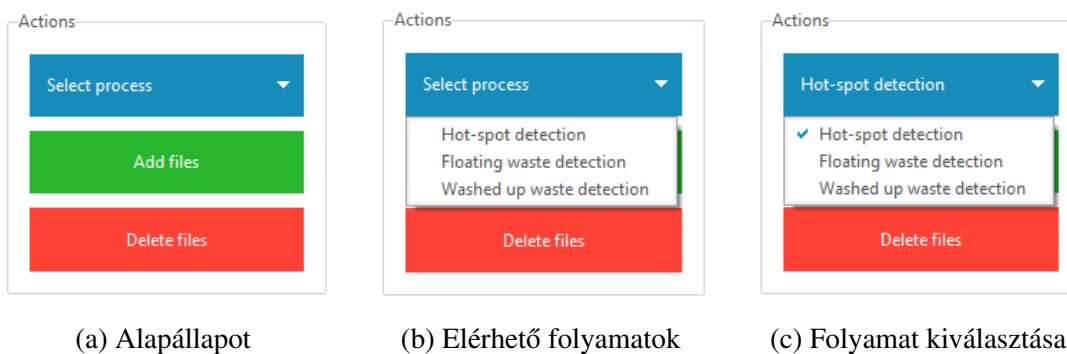
2.5. Felhasználói felületek

2.5.1. Főablak és funkciói

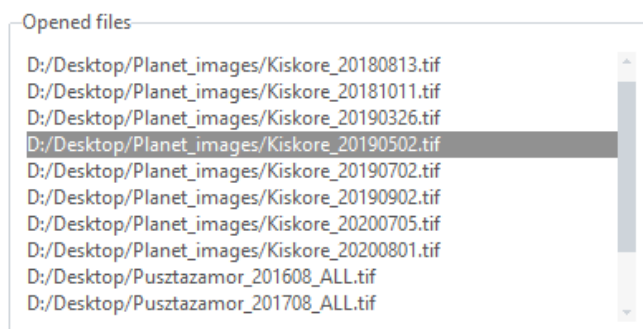
Az alkalmazás elindításával megjelenik a főablak, ahol a felhasználónak lehetősége nyílik az általam kidolgozott hulladékdetektálási folyamatok valamelyikének futtatására, majd a kapott eredmények megjelenítésére és analizálására (2.9 ábra).

Első lépésként szükségünk van olyan legalább négy sávos Sentinel-2 vagy PlanetScope műholdfelvételekre melyek tartalmazzák a *Kék, Zöld, Vörös és Közeli infravörös* spektrális sávokat. Ezek megnyitására a 2.1a ábrán látható *Add files* gomb megnyomásával van lehetőségünk. A felugró fájlválasztó dialógusablak segítségével .tif kiterjesztésű fájlok választhatók ki. A sikeresen hozzáadott felvételek az *Opened files* megnevezésű görgethető listában jelennek meg (2.2 ábra). Van lehetőség egy megnyitott felvétel törlésére is: a listában szereplő fájl nevére való kattintással, majd a *Delete files* gomb megnyomásával (2.1a ábra). Az alábbi feldolgozási módszerek választhatók ki a *Select process* gomb lenyitásával (2.1b, 2.1c ábrák):

- **Hot-spot detection:** illegális hulladéklerakók azonosítása.
- **Floating waste detection:** vízfelszíni folyami torlaszok azonosítása.
- **Washed up waste detection:** a hullámtérben ismert helyen lerakott műanyag hulladék azonosítása.



2.1. ábra. Folyamatok kiválasztása, fájlok megnyitása, törlése.



2.2. ábra. A megnyitott fájlok listája.

Miután a feldolgozandó felvételek hozzáadása sikeresen megtörtént, valamint a hulladékdetektálási folyamat kiválasztásra került, elindíthatjuk a feldolgozási eljárást a *Start processing* gombra való kattintással (2.3a ábra). Amíg ez a művelet zajlik, addig a felhasználói felületen minden vezérlő inaktívvá válik és elindul a folyamatjelző sáv (2.3b ábra). A felhasználónak lehetősége van saját *Random Forest* osztályozási modellt tanítani egy interaktív felület segítségével, melyet a *Train Random Forest* gomb megnyomásával tud elérni (2.3a ábra).

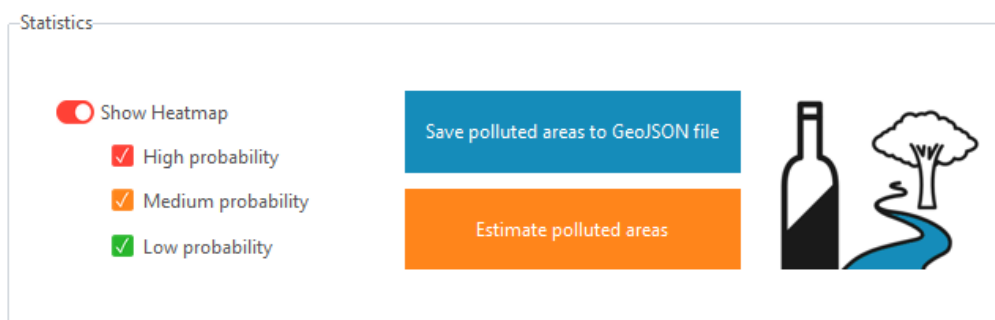


2.3. ábra. *Random Forest* tanítása, feldolgozási folyamat elindítása.

A feldolgozási folyamat sikeres befejezte után lehetőségünk van az eredmények analizálására. A *Hot-spot detection* és *Floating waste detection* eljárások esetében az *Opened files* listából egy felvétel kiválasztásával tudjuk megjeleníteni a végeredményt. A bal keretben az eredeti felvétel, míg a jobb oldaliban a folyamat kimenete lesz látható (2.5a ábra). A 2.4 ábrán található *Show Heatmap* kapcsoló aktiválásával és az alatta lévő jelölőnégyzetek kiválasztásával meg tudjuk tekinteni a folyamat eredményéhez kapcsolódó hőterképet (2.5b ábra). Erről részletesebb információk a beállítások részben olvashatóak (2.8 táblázat). Továbbá lehetőség nyílik a hulladékkal szennyezett területek mentésére

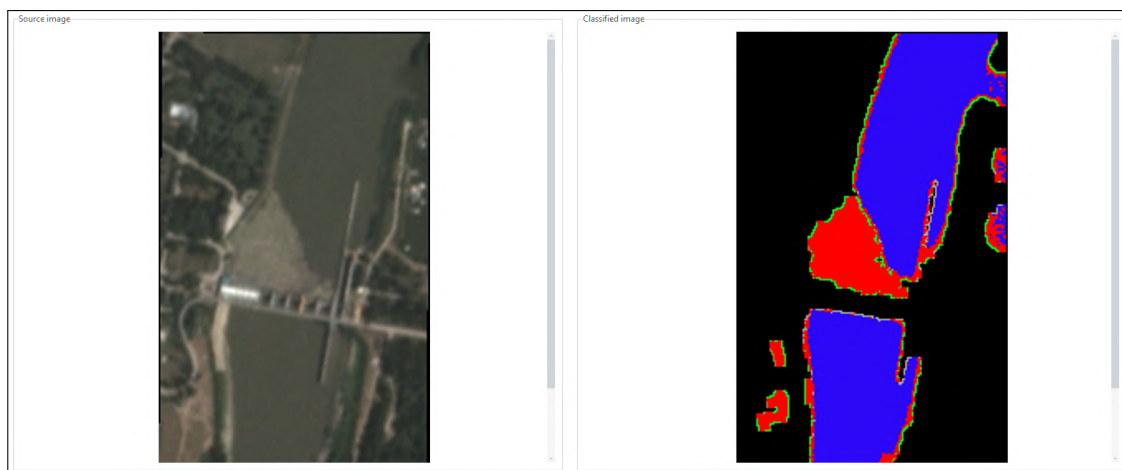
egy GeoJSON fájlba a *Save polluted areas to GeoJSON file* gomb megnyomásával és a kimeneti fájl nevének megadásával. Itt az összefüggő szennyezett területeket magukba foglaló téglalapok kerülnek mentésre (2.8 ábra). A GeoJSON fájlok megnyitására ajánlott a QGIS² térinformatikai szoftver használata (*megjegyzés*: a megnyitás után be kell állítani a megfelelő koordináta-rendszert). Van lehetőségünk statisztikát készíteni a hulladékkal fedett területek nagyságáról. Ehhez legfeljebb kilenc felvételt jelölhetünk ki az *Opened files* listában. Ezután az *Estimate polluted areas* gomb megnyomásával megjelennek a diagramok, melyeken minden kijelölt felvétel esetében szemléltetésre kerül az összes hulladéknak osztályozott terület nagysága, valamint a hő térképen található területek kiterjedése (2.6 ábra). A *Washed up waste detection* módszer esetében azonban az *Opened files* listából két felvételt kell kiválasztanunk, hiszen itt a két kép egymáshoz viszonyított változására vagyunk kíváncsiak. A kijelölést követően a keretekben megjelennek az eredeti felvételek (2.7a ábra). A *Show Heatmap* funkció aktiválásával és az alatta lévő jelölőnégyzetek kiválasztásával megtekinthetjük a kapott eredményeket. (2.7b ábra). **Megjegyzés:** A hő térképeken megjelenő színek minden esetben a hulladék tényleges jelenlétének valószínűségét tükrözik. A piros magas, a sárga közepes, a zöld alacsony, a fekete pedig elhanyagolható valószínűséget mutat.

Megjegyzés: A keretekben megjelenített képek mozgatására a jobb egérgomb nyomvatartásával és az egér egyidejű mozgatásával, vagy a gördítő sávok használatával van lehetőség. Nagyításra és kicsinyítésre is van mód az egér görgőjének segítségével.

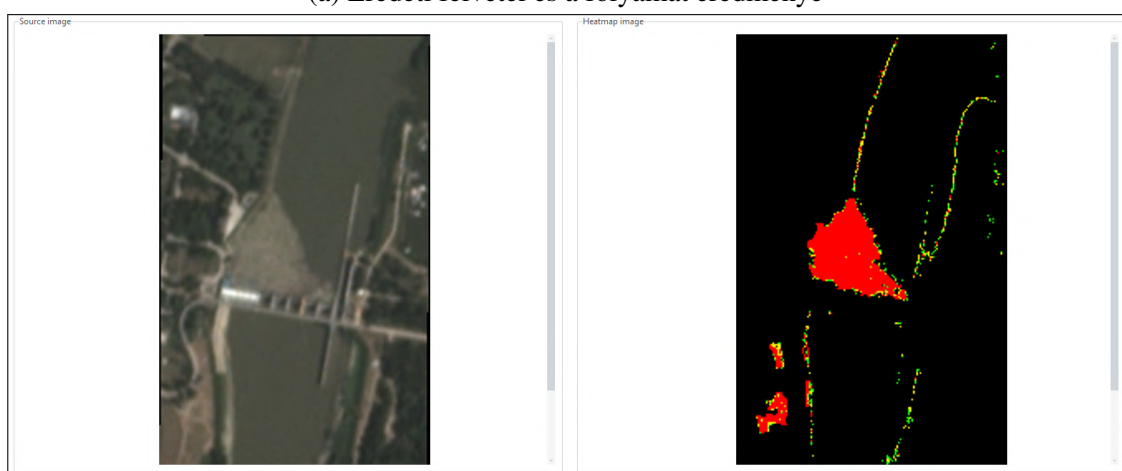


2.4. ábra. Egyéb analízálási funkciók.

²QGIS - <https://www.qgis.org/en/site/>

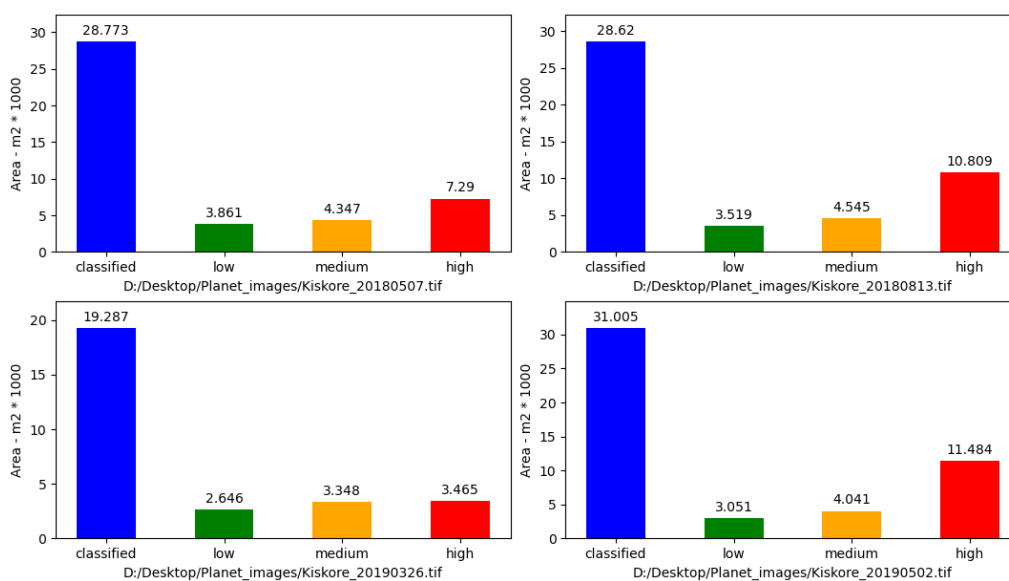


(a) Eredeti felvétel és a folyamat eredménye



(b) Eredeti felvétel és a hő térkép

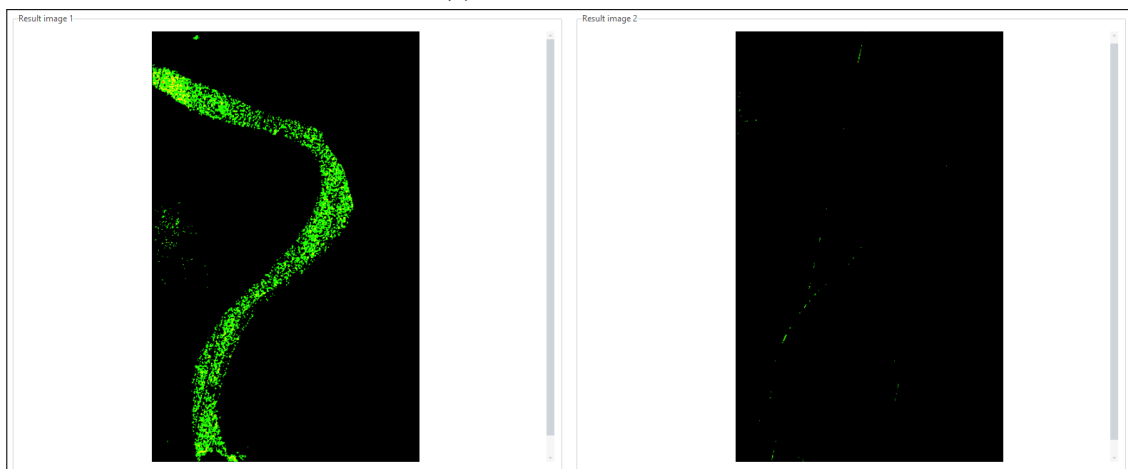
2.5. ábra. Felvételek megjelenítése 1.



2.6. ábra. A hulladékkal fedett területek kiterjedésének statisztikája.



(a) Eredeti felvételek



(b) Eredmények

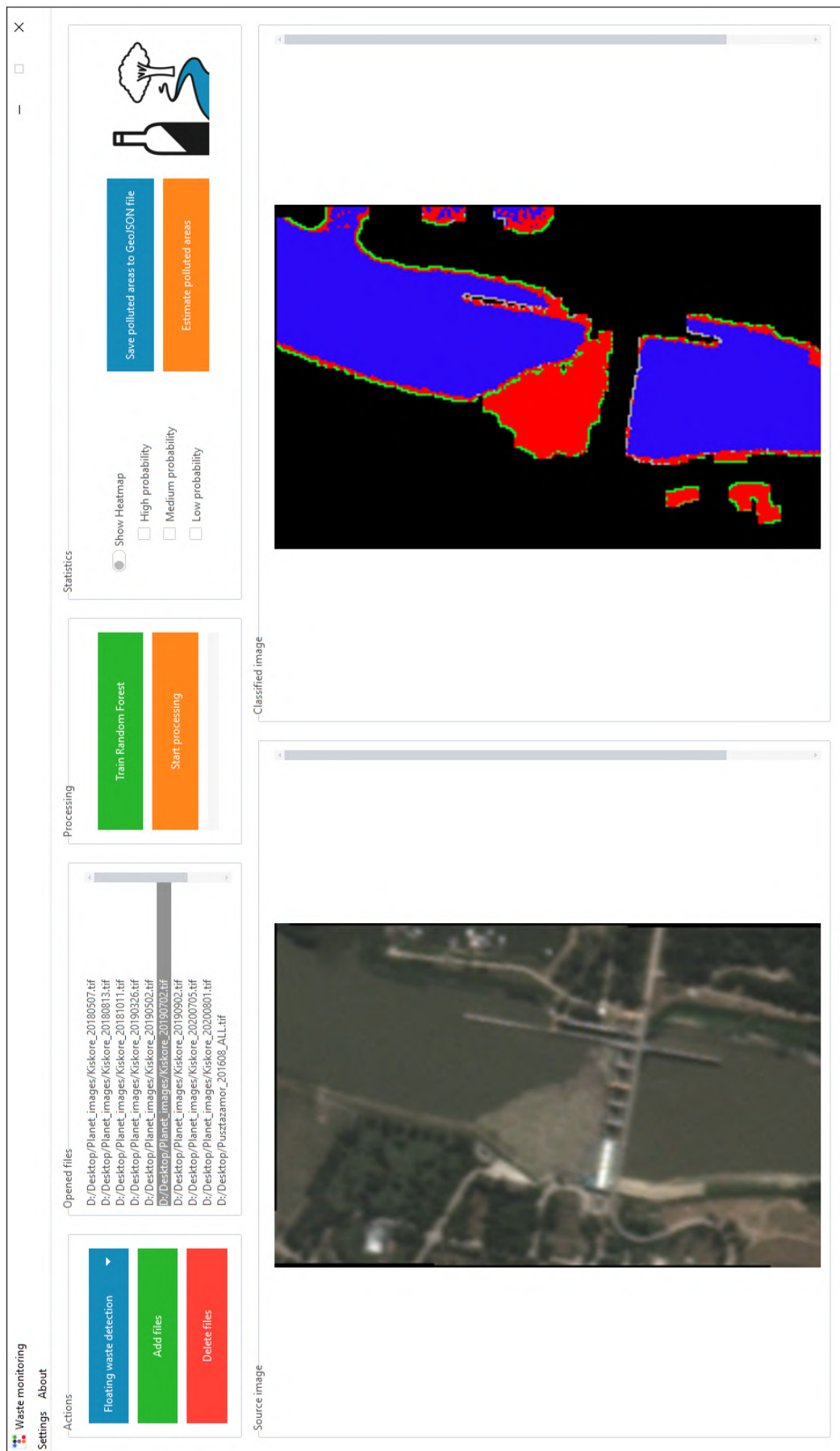
2.7. ábra. Felvételek megjelenítése 2.



(a) A folyamat eredménye

(b) A mentett GeoJSON fájl sárga színnel

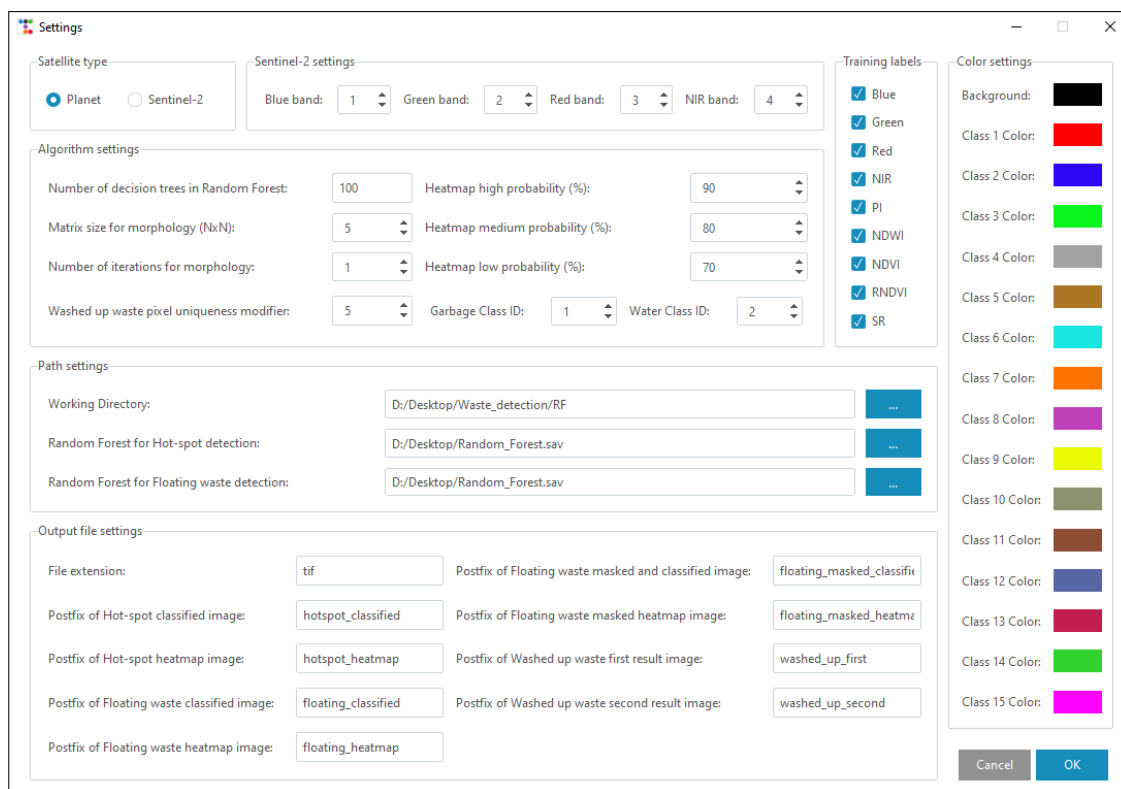
2.8. ábra. Az elmentett GeoJSON fájl.



2.9. ábra. Az alkalmazás főablaka.

2.5.2. Beállítások ablak és funkciói

Az alkalmazás lehetőséget biztosít számos paraméter módosítására egy különálló ablakban megjelenő felületen (2.10 ábra). Az alábbi táblázatok tartalmazzák a részletes beállítási lehetőségek megnevezését, leírását és a beállítható lehetséges értékeket (2.6, 2.7, 2.8, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14 táblázatok).



2.10. ábra. A beállítások ablaka.

Megnevezés	Leírás	Lehetséges értékek
<i>Satellite type</i>	Műhold típus. A bemeneti képeket készítő műhold megnevezése.	Planet vagy Sentinel-2.

2.6. táblázat. Műhold típus beállítása.





Megnevezés	Leírás	Lehetséges értékek
<i>Sentinel-2 settings</i>	Sentinel-2 műhold sávjainak beállítása. Meg kell adni, hogy a bemeneti felvételeken a megadott sávok hányadikként szerepelnek.	1-13 közötti egész számok. Egyezés nem megengedett.

2.7. táblázat. Sentinel-2 műhold paramétereinek beállítása.

Megnevezés	Leírás	Lehetséges értékek
<i>Number of decision trees in Random Forest</i>	A felhasználó által tanított <i>Random Forest</i> algoritmus döntési fájnak száma. Az itt megadott mennyiségű fából fog állni az új modell.	1-1000 közötti egész szám.
<i>Matrix size for morphology ($N \times N$)</i>	A vízfelszíni folyami torlaszok detektálási folyamatában használt morfológiai transzformációk egyik paramétere. Az itt megadott nagyságú ($N \times N$) lesz a kernel mátrix mérete.	1-20 közötti egész szám.
<i>Number of iterations for morphology</i>	A vízfelszíni folyami torlaszok detektálási folyamatában használt morfológiai transzformációk egyik paramétere. Az itt megadott érték lesz az algoritmus során alkalmazott iterációk száma.	1-20 közötti egész szám.
<i>Washed up waste pixel uniqueness modifier</i>	A hullámtérben ismert helyen lerakott, elsősorban műanyag hulladék detektálása folyamat során alkalmazott érték. Minél nagyobb, annál inkább a különbség mátrix mediánjától eltérő pixelek maradnak rajta az eredmény képeken.	4-20 közötti egész szám.

Megnevezés	Leírás	Lehetséges értékek
<i>Heatmap probability (%)</i>	Feliratok: <i>high</i> - magas, <i>medium</i> - közepes, <i>low</i> - alacsony. A vízfelszíni folyami torlaszok és a hullámtérben ismert helyen lerakott, elsősorban műanyag hulladék detektálása folyamatok által használt értékek. A Heatmap képeken négy szín látható: piros, sárga, zöld és fekete. A szín meghatározása az osztályozó algoritmus előrejelzési konfidenciája alapján történik, mely a 2.9 táblázat szabályait követi.	1-100 közötti egész értékek. Egyezés nem megengedett. A növekvő sorrend kötelező: <i>alacsony</i> < <i>közepes</i> < <i>magas</i> .
<i>Garbage Class ID</i>	A felhasználó által használt <i>Random Forest</i> algoritmus hulladék osztályának azonosítója.	1-15 közötti egész érték. Egyezés a <i>Water Class ID</i> értékkel nem megengedett.
<i>Water Class ID</i>	A felhasználó által használt <i>Random Forest</i> algoritmus víz osztályának azonosítója.	1-15 közötti egész érték. Egyezés a <i>Garbage Class ID</i> értékkel nem megengedett.

2.8. táblázat. Az alkalmazás által használt algoritmusok paramétereinek beállításai.

Szabály	Szín
$magas \leq konfidencia < 100\%$	piros 
$közepes \leq konfidencia < magas$	sárga 
$alacsony \leq konfidencia < közepes$	zöld 
<i>egyéb esetben</i>	fekete 

2.9. táblázat. Hőtérkép színezési szabályai.

Címke	Leírás
<i>Blue</i>	A bemeneti felvétel Kék sávja.
<i>Green</i>	A bemeneti felvétel Zöld sávja.
<i>Red</i>	A bemeneti felvétel Vörös sávja.
<i>NIR</i>	<i>Near-infrared.</i> A bemeneti felvétel Közeli infravörös sávja.

2.10. táblázat. Tanító címkék beállításai - Sávok.

Címke	Leírás	Kiszámítási mód
<i>PI</i>	<i>Plastic Index.</i> Műanyag index [14].	$\frac{NIR}{NIR + Red}$
<i>NDWI</i>	<i>Normalized Difference Water Index.</i> Normalizált különbség víz index.	$\frac{Green - NIR}{Green + NIR}$
<i>NDVI</i>	<i>Normalized Difference Vegetation Index.</i> Normalizált különbség vegetációs index.	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
<i>RNDVI</i>	<i>Reversed Normalized Difference Vegetation Index.</i> Fordított normalizált különbség vegetációs index.	$\frac{Red - NIR}{Red + NIR}$
<i>SR</i>	<i>Simple Ratio.</i> Egyszerű hányados.	$\frac{NIR}{Red}$

2.11. táblázat. Tanító címkék beállításai - Indexek.

Megnevezés	Leírás	Lehetséges értékek
<i>Working directory</i>	Munkakönyvtár. Ez lesz az eredmény képek mentési helye.	Egy létező mappa.
<i>Random Forest for Hot-spot detection</i>	Az illegális hulladéklerakók azonosítása folyamathoz tartozó <i>Random Forest</i> modell elérési útvonala.	Egy létező .sav fájl.
<i>Random Forest for Floating waste detection</i>	A vízfelszíni folyami torlaszok azonosítása folyamathoz tartozó <i>Random Forest</i> modell elérési útvonala.	Egy létező .sav fájl.

2.12. táblázat. Elérési útvonalak beállításai.

Megnevezés	Leírás	Lehetséges értékek
<i>File extension</i>	A kimeneti fájlok kiterjesztése.	Alapértelmezetten tif. Ajánlott egy létező képfórmátum megadása.
<i>Postfix of Hot-spot classified image</i>	A kimeneti fájl nevének utótagja az illegális hulladéklerakók azonosítása folyamat osztályozott képei esetén.	Olyan karakterek, melyek Windows operációs rendszeren megengedettek egy fájl nevében.
<i>Postfix of Hot-spot heatmap image</i>	A kimeneti fájl nevének utótagja az illegális hulladéklerakók azonosítása folyamat hőterképei esetén.	Olyan karakterek, melyek Windows operációs rendszeren megengedettek egy fájl nevében.
<i>Postfix of Floating waste classified image</i>	A kimeneti fájl nevének utótagja a vízfelszíni folyami torlaszok azonosítása folyamat osztályozott képei esetén.	Olyan karakterek, melyek Windows operációs rendszeren megengedettek egy fájl nevében.
<i>Postfix of Floating waste heatmap image</i>	A kimeneti fájl nevének utótagja a vízfelszíni folyami torlaszok azonosítása folyamat hőterképei esetén.	Olyan karakterek, melyek Windows operációs rendszeren megengedettek egy fájl nevében.
<i>Postfix of Floating waste masked and classified image</i>	A kimeneti fájl nevének utótagja a vízfelszíni folyami torlaszok azonosítása folyamat maszkolt és osztályozott képei esetén.	Olyan karakterek, melyek Windows operációs rendszeren megengedettek egy fájl nevében.

Megnevezés	Leírás	Lehetséges értékek
<i>Postfix of Floating waste masked heat-map image</i>	A kimeneti fájl nevének utótagja a vízfelszíni folyami torlaszok azonosítása folyamat maszkolt hőképei esetén.	Olyan karakterek, melyek Windows operációs rendszeren megengedettek egy fájl nevében.
<i>Postfix of Washed up waste first result image</i>	A kimeneti fájl nevének utótagja a hullámtérben ismert helyen lerakott, elsősorban műanyag hulladék detektálása folyamat első eredmény képei esetén.	Olyan karakterek, melyek Windows operációs rendszeren megengedettek egy fájl nevében.
<i>Postfix of Washed up waste second result image</i>	A kimeneti fájl nevének utótagja a hullámtérben ismert helyen lerakott, elsősorban műanyag hulladék detektálása folyamat második eredmény képei esetén.	Olyan karakterek, melyek Windows operációs rendszeren megengedettek egy fájl nevében.

2.13. táblázat. A kimeneti fájlokhoz kapcsolódó beállítások.

Megnevezés	Leírás	Lehetséges értékek
<i>Background</i>	Az osztályozott felvételek háttérszíne.	Egy RGB szín.
<i>Class 1-15 Color</i>	A számokkal jelölt osztályok színei az osztályozott felvételeken.	RGB színek.

2.14. táblázat. Osztályok színének beállításai.

2.5.3. Interaktív tanító felület és funkciói

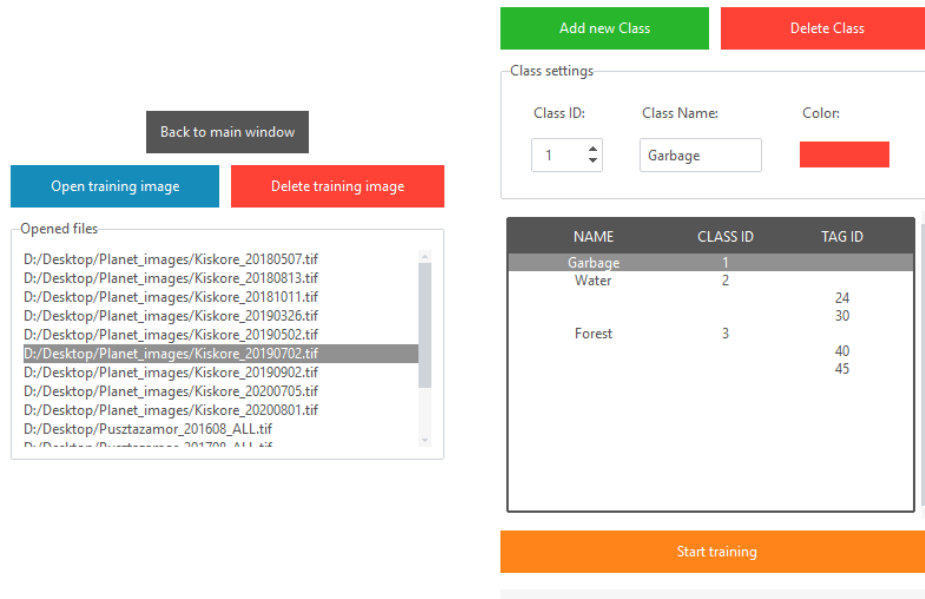
Az elkészített alkalmazás lehetőséget biztosít arra, hogy a felhasználó saját *Random Forest* osztályozási modellt készítsen (2.13 ábra). Ez az opció akkor lehet hasznos, amikor az általam betanított modell nem ad jó eredményt a bemeneti képek osztályozásakor.

A tanítás lépéseinek részletes leírása:

1. A beállítások ablakban megadott paraméterek helyességének ellenőrzése.

2. Olyan bemeneti képek megnyitása az *Open training image* gomb megnyomásával, melyeken a tanítás elvégezhető (2.11a ábra). Kötelező legalább négy sávos felvételek használata, melyek tartalmazzák a *Kék*, *Zöld*, *Vörös* és *Közeli infravörös* spektrális sávokat.
3. Az egyik előzőleg megnyitott felvétel kiválasztása bal egérgombbal. Ha véletlenül olyan képet nyitottunk meg, amit mégsem akarunk használni a tanítás során, akkor a kép kiválasztásával és a *Delete training image* gomb megnyomásával el tudjuk távolítani azt (2.11a ábra).
4. Ezután a képernyő jobb oldalán szereplő keretben megjelenik a kiválasztott felvétel RGB színskálás változata. Ezen a felületen a megjelenített képet lehet mozgatni a jobb egérgomb nyomva tartásával és az egér egyidejű mozgatásával, valamint nagyítani és kicsinyíteni az egér görgőjének segítségével.
5. A következő lépésben a kiválasztott képhez osztályokat kell hozzáadni, melyek a tanításhoz szükségesek. A *Class ID* egyedi érték, melynek minden osztály esetében különbözőnek kell lennie. A *Class Name* és *Color* a felhasználót segíti az osztályok megkülönböztetésében, ezeknek a tanításban nincs szerepük. A *Color* gomb megnyomásával megjelenik egy színválasztó ablak, ahol az osztály színét tudjuk módosítani (*megjegyzés*: ez a szín nem az eredmény képeken megjelenő szín lesz, azt a beállításokban kell testreszabni). Ha a paramétereket beállítottuk, akkor az *Add new Class* gomb megnyomásával hozzáadásra kerül az új osztály. Ha a felhasználó el akar távolítani egy osztályt, akkor annak nevére bal egérgombbal kattintva és a *Delete Class* gombot megnyomva törölheti azt (2.11b ábra).
6. A létrehozott osztályok közül válasszunk ki egyet bal egérgombbal, melyhez területet szeretnénk kijelölni a felvételen.
7. A jobb oldali keretben látható képen bal egérgombbal pontokat tudunk lehelyezni. Ezek egy poligon csúcsai lesznek, melyet az egér görgőjének megnyomásával tudunk megjeleníteni (2.12 ábra).
8. Miután sikeresen megtörtént a poligonok létrehozása, a *Start training* gomb megnyomásával el tudjuk kezdeni a tanítási folyamatot. Ha elegendő osztályt hoztunk létre, akkor egy előugró dialógusablakban adhatjuk meg a modellünk nevét és mentési helyét. Ha kevés osztályt hoztunk létre (kevesebb, mint kettőt), akkor az alkalmazás erre egy üzenetablakkal hívja fel a figyelmet. Ebben az esetben további osztályok felvétele szükséges a tanítás elindításához. A tanítási folyamat kezdetével minden vezérlő inaktívvá válik és elindul a folyamatjelző sáv.

9. Az osztályozási modell létrejöttéről egy üzenetablakban kapunk értesítést. Ezt követően a beállításokban értelemszerűen módosítanunk kell néhány paramétert.



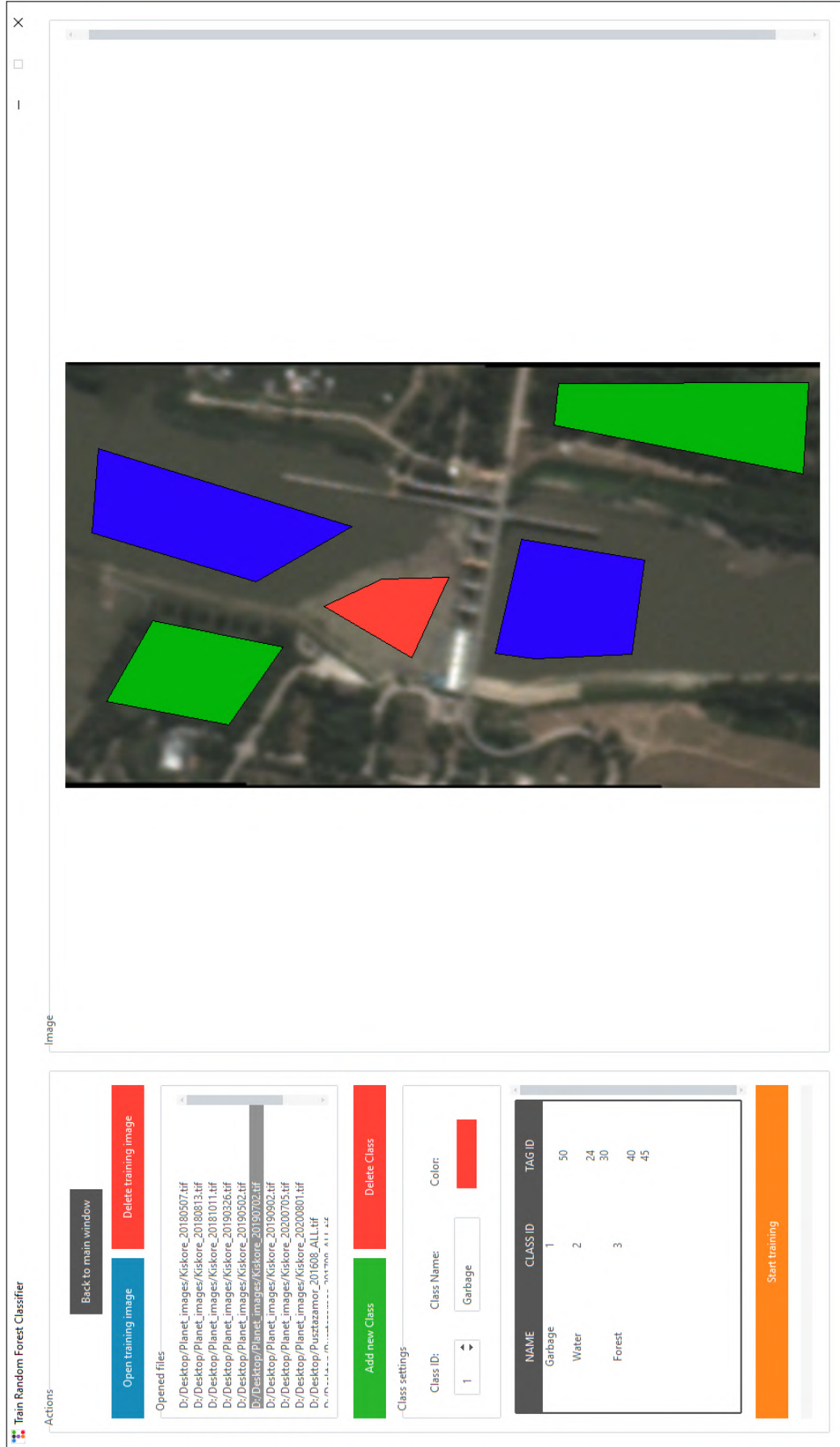
(a) Felvételek megnyitása, törlése

(b) Osztályok létrehozása, eltávolítása, tanítás indítása

2.11. ábra. Vezérlők az interaktív tanító felületen.



2.12. ábra. Pontok és poligonok lehelyezése.



2.13. ábra. Az interaktív tanító felület.

2.6. Tanító címkék és döntési fák optimális száma

A *Random Forest* osztályozási modell tanításakor mindig felmerülő kérdés, hogy hány döntési fával hozzuk létre az erdőt. A *scikit-learn RandomForestClassifier* osztálya [15] egy alapértelmezett 100-as darabszámmal dolgozik. A kutatás során megvizsgáltam, hogy a fák és tanító címkék számának változtatásával mennyire pontos eredmények születnek, melyeket keresztvalidációval határoztam meg.

A tanító adataim egy részhalmazán kipróbáltam melyik tanító címke kombinációkkal lehet magasabb pontosságot elérni. A következő oldalon látható eredmények kb. 55 ezer képpont adatai alapján kerültek meghatározásra (2.14 ábra). Az "ALL" címke az összes elérhető sávra és az ezekből számítható indexekre vonatkozik, melyek a Sentinel-2 és PlanetScope felvételeken egyaránt elérhetőek (2.3 táblázat). A 48 kipróbált kombinációból ezen az adathalmazon a *Kék*, *Zöld*, *Vörös*, *Közeli infravörös* együttes felhasználása adta a legjobb eredményt. A legpontosabb kilenc kombináció került vizuális szemléltetésre, ezek nagyon hasonlóan teljesítettek. A végső eljárásban az összes sávot és indexet felhasználtam, mivel akadtak olyan felvételek, melyeken ez a kombináció jobb eredményt mutatott.

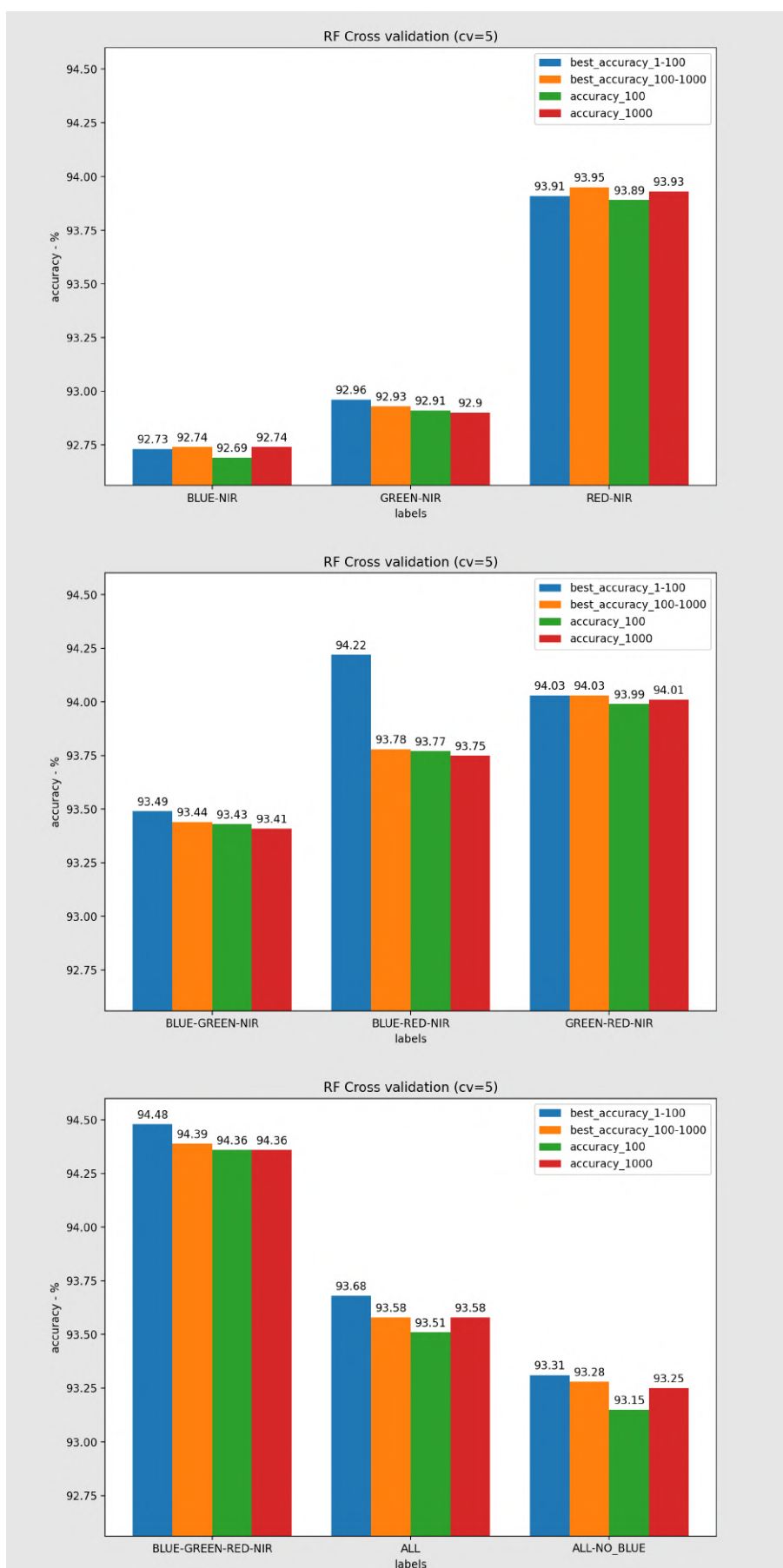
A diagramokon látható első két oszlop rendre azt mutatja meg, hogy 1 és 100 fa között 1-es léptékkal, 100 és 1000 fa között 50-es léptékkal mekkora volt a legnagyobb pontosság. Az utolsó kettő pedig szemlélteti a 100 és 1000 darab fa használata során kapott eredményeket. Ezekből az adatokból látszik, hogy az alapértelmezett 100 döntési fa az tényleg egy jó választás, mely még gyors és pontos feldolgozást eredményez. Az alábbi táblázatok szemléltetik a tanítási és osztályozási időket (2.15, 2.16 táblázatok).

Fák száma	Tanítási idő
100	6.76 sec
1000	68 sec

2.15. táblázat. *Random Forest* tanítási idő kb 200 ezer képponttal.

Kép mérete	Fák száma	Osztályozási idő
164 × 312 = 51168	100	0.137 sec
	1000	1.167 sec
1194 × 801 = 956394	100	3.017 sec
	1000	28.951 sec

2.16. táblázat. *Random Forest* osztályozási idő.



2.14. ábra. Tanító címkék.

3. fejezet

Fejlesztői dokumentáció

3.1. Legfontosabb fogalmak

3.1.1. Gépi tanulás

A gépi tanulás (*Machine learning - ML*) olyan számítógépes algoritmusokat foglal magába, amelyek tapasztalatok és adatok felhasználásával automatikusan fejlődni tudnak. A mesterséges intelligencia (*Artificial intelligence - AI*) egy részhalmazának tekinthető. Ezek az algoritmusok mintaadatok, úgynevezett tanító adatok alapján építenek egy modellt, mellyel képesek előrejelzéseket vagy döntéseket hozni anélkül, hogy erre kimondottan programozták volna őket. A gépi tanulási algoritmusokat számos olyan alkalmazásban használják, ahol nehéz vagy kivitelezhetetlen hagyományos algoritmusokat fejleszteni a szükséges feladatok elvégzésére [16].

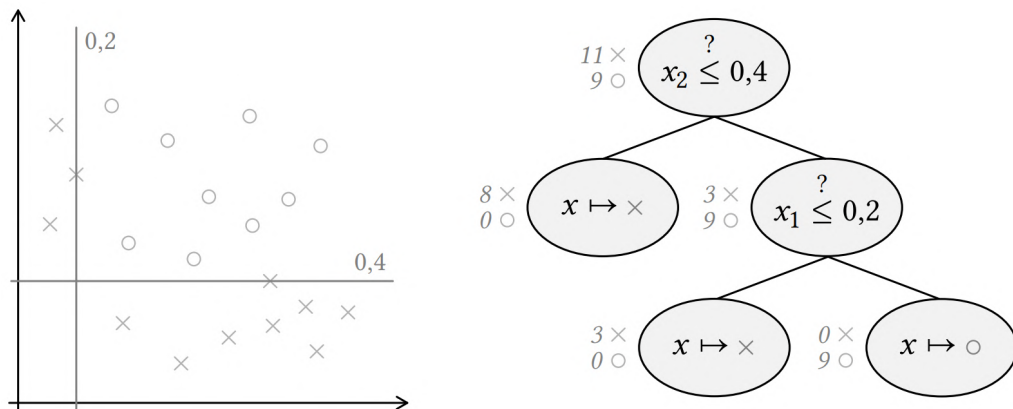
Két nagyobb ismert csoportja:

- **Felügyelt tanulás:** A számítógépnek bemeneti példákat és ezek kívánt kimenetét mutatják meg, és a cél egy olyan általános szabály megtanulása, amely a bemeneteket a kimenetekhez rendeli. Egy adathalmaz matematikai modelljét építik fel, amely tartalmazza mind a bemeneteket, mind a kívánt kimeneteket [17]. A felügyelt tanulási algoritmusok típusai közé tartozik az aktív tanulás, az osztályozás és a regresszió [18]. Néhány ismert algoritmus: *Support-vector machine (SVM)*, *Naive Bayes*, *Random Forest*.
- **Felügyelet nélküli tanulás:** Ezek az algoritmusok olyan tesztadatokból tanulnak, amelyeket nem jelöltek, osztályoztak vagy kategorizáltak korábban. Egy olyan adathalmazt vesz alapul, amely csak bemeneteket tartalmaz. A feladata az, hogy

ebben struktúrát találjon, mint például az adatpontok csoportosítása vagy klaszterezése. A felügyelet nélküli tanulási algoritmusok közös vonásokat azonosítanak az adatokban, és az ilyen közös vonások jelenléte vagy hiánya alapján reagálnak minden egyes új adat esetén. Néhány ismert algoritmus: *k-means*, *ISODATA*.

Döntési fa

A döntési fa az egyike a prediktív modellezési megközelítéseknek, amit a gépi tanulásban használnak. Az osztályozási modell egy elemmel kapcsolatos megfigyelésektől az elem célértékre vonatkozó következtetésekig jut el. A megfigyelések a fa ágaiban, a célértékek pedig a fa leveleiben helyezkednek el. Az olyan fa modelleket, ahol a célváltozó értékei egy diszkrét halmazból kerülnek ki, osztályozási fának nevezünk. Ilyen fákban a levelek osztálycímkeket jelentenek, az ágak pedig olyan jellemzők elágazásai, amik az osztálycímkekhez vezetnek (3.1 ábra).



3.1. ábra. Egy betanított döntési fa, és a felhasznált tanító adathalmaz. Az egyes adatpontok osztályait az adatpontok alakja jelöli [19].

Random Forest

Kutatásom során a *Random Forest* osztályozó algoritmust alkalmaztam. A felhasználónak a tanításhoz meg kell adnia a modell fáinak számát, ezzel valamennyire a véletlenszerűség mértékét tudja szabályozni. Valamely implementációk lehetőséget adnak a fák méretének szabályozására is (például a fa maximális magassága vagy a fa egyes csúcsainak maximális mérete), mellyel az algoritmus futási idejét lehet korlátozni [19, 20]. A megkapott tanító adatok alapján a modell számos döntési fát hoz létre, ezek alkotják majd az erdőt. Ismeretlen bemeneti adat esetén a modell kimenete a legtöbb fa által kiválasztott osztály (1. algoritmus és 3.2 ábra).

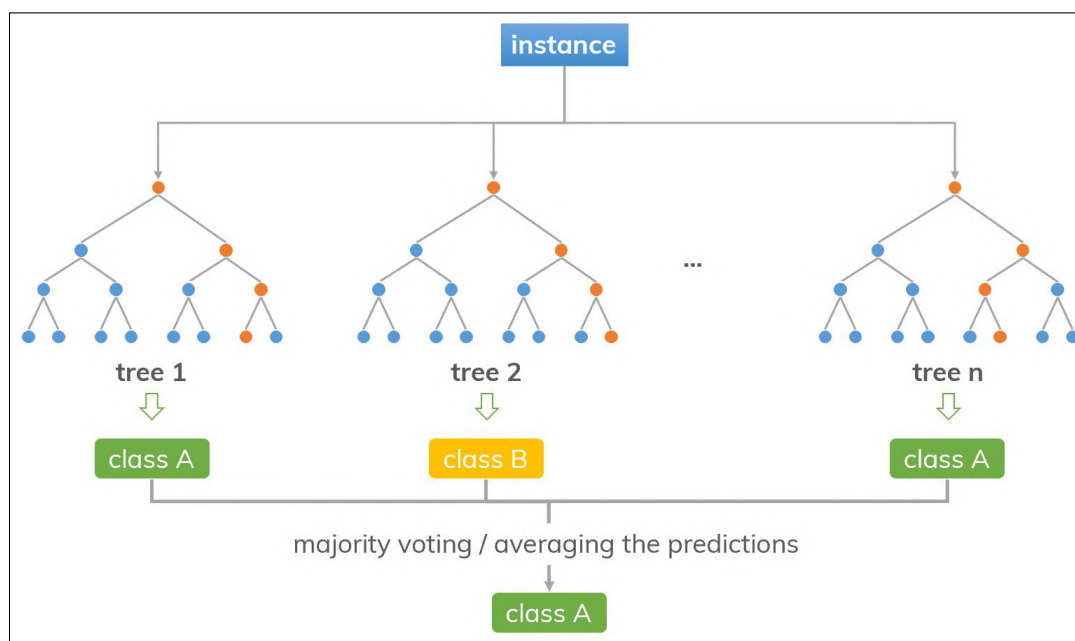
1. algoritmus A *Random Forest* algoritmus predikciós eljárásának pszeudokódja, amely egy korábban betanított modellt (*forest*) használ az X felvétel osztályozására.

Forrás: [19]

```

1: for all  $x \in X$  do
2:    $predictions := \text{EmptyDictionary}()$ 
3:   for all  $tree \in forest.Trees()$  do
4:      $n := tree.Root()$ 
5:     while not  $n.IsLeaf()$  do
6:        $n := n.ChildBasedOnSplitFor(x)$       ▷ a következő csúcs lekérdezése
7:     end while
8:      $p := n.Prediction()$       ▷ az elért levélhez tartozó célérték-predikció tárolása
9:      $predictions[p] := predictions[p] + 1$ 
10:  end for
11:   $x.AssignToMajorityElementOf(predictions)$ 
12: end for
13: return  $PointAssignment()$ 

```



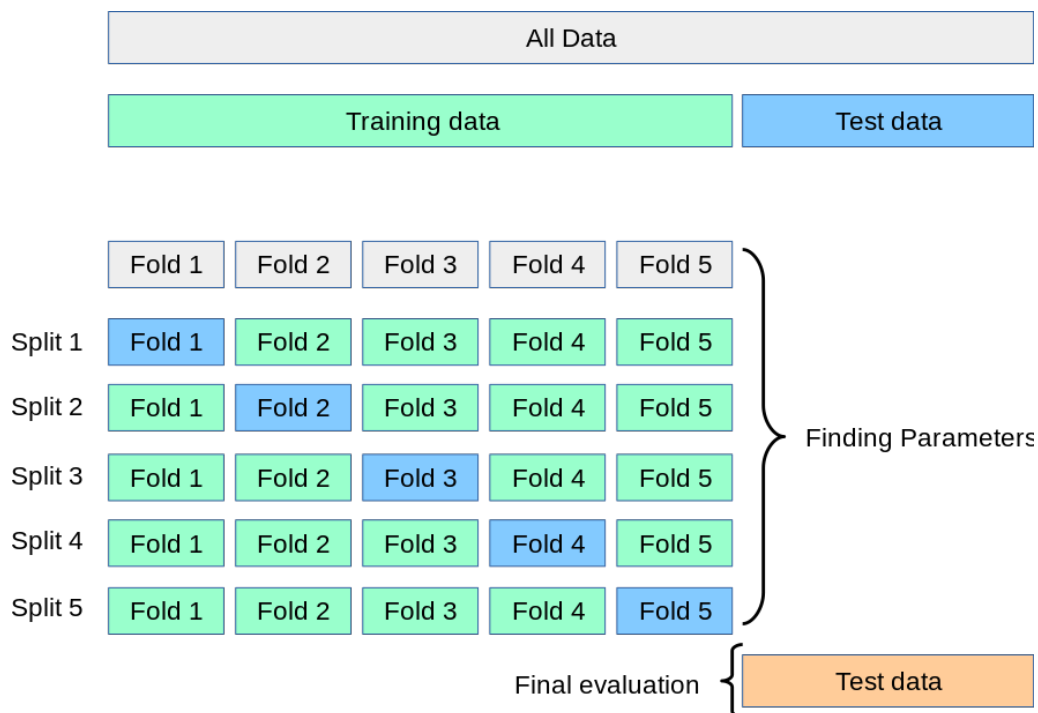
3.2. ábra. *Random Forest* döntéshozatal.

Forrás: <https://dinhanhthi.com/>

Keresztvalidáció

A betanított modellek pontosságának meghatározásához széles körben alkalmazott technika a keresztvalidáció (*cross-validation*). Az alapötlet az, hogy a tanító adatainkat valamilyen arányban bontsuk két részre. Az első részt használjuk egy modell tanítására, a másodikat pedig ezen modell predikciós hibájának meghatározására [21].

A általam ellenőrzött modellek pontosságát k -szoros keresztvalidációval határoztam meg (k -folds cross-validation). Itt az adatokat véletlenszerűen k darab, egymást nem átfedő és kölcsönösen kizáró részre osztjuk fel, amelyek megközelítőleg azonos méretűek. A k részmintából egyet tartunk meg validációs adatként a modell teszteléséhez, a fennmaradó $k - 1$ részmintát pedig tanító adatként használjuk. A folyamatot ezután k -szor megismételjük, és minden k részmintát pontosan egyszer használunk validálási adatként (3.3 ábra). A k eredményt ezután átlagolni lehet, hogy a pontosságot megkapjuk [22].



3.3. ábra. Keresztvalidáció.

Forrás: <https://scikit-learn.org/>

3.2. Módszertan

3.2.1. Tanító területek

Tanító területként a pusztazámori hulladéklerakó¹ (3.4 ábra), illetve a kiskörei víz-erőmű² (3.5 ábra) területei szolgáltak. Ezeken a helyeken a műholdfelvételeken szabad szemmel is látható, nagymennyiségű hulladékkal fedett területek találhatóak. A hulla-

¹Pusztazámori hulladéklerakó - <https://goo.gl/maps/1MNGxfXEikePNbrB8>

²Kiskörei víz-erőmű - <https://goo.gl/maps/qEphzqyAXa1mU5vD7>

déklerakóról Sentinel-2 [7], míg a vízerőműről pedig PlanetScope műholdak [10] által készített felvételek álltak rendelkezésemre, melyek különböző időpontokban készültek.

Kettő különböző módszert alkalmaztam a tanítások során. Az egyikben csak Sentinel-2 által készített felvételeket, és az ezeken elérhető sávokból számítható összes indexet használtam fel (2.3, 2.4 táblázat). A másik verzióban csak azokat a sávokat, és az ezekből számítható indexeket vettem, melyek mind a PlanetScope és Sentinel-2 felvételeken is elérhetőek (2.3 táblázat). Ennek oka az volt, hogy a végső megoldást be szerettem volna ágyazni a saját keretprogramomba, mely képes Sentinel-2, illetve PlanetScope felvételek egységes feldolgozására.

Az általam betanított végső modell a *Kék, Zöld, Vörös, Közeli infravörös* sávokat, és az ezekből számítható *PI, NDWI, NDVI, RNDVI, SR* indexeket használta az osztályozási feladatok elvégzéséhez. Öt célosztályt alkalmaztam: hulladék, víz, szántóföld, mező/erdő, épület. A majdnem 200 ezer tanító adatomon keresztvalidációt (*cross-validation*) is végeztem, mely közel 96%-os pontosságot mutatott [21, 22].



3.4. ábra. Pusztazámori hulladéklerakó.
Forrás: Google Earth



3.5. ábra. Kiskörei vízerőmű.
Forrás: Google Earth

3.2.2. Hulladékdetektálási módszerek

A szakirodalomban kevés hasonló projekttel találkoztam, ennél fogva saját felvételekre volt szükség a probléma megoldásához. A Tiszai PET Kupa³ hulladékgyűjtő szervezet munkatársaival folyamatos konzultáció zajlott a témával kapcsolatban. Ők is tettek javaslatokat a probléma megközelítéséhez. Kutatásom során három különböző módszer megalkotására és tesztelésére került sor:

1. Hot-spotok, azaz illegális hulladéklerakók azonosítása közepes vagy nagy felbontású műholdfelvételeken a Tisza felsőbb (ukrajnai, romániai) részein, amelyekből áradáskor jelentős mennyiségű hulladék kerül a folyóba.
2. Vízfelszíni folyami torlaszok azonosítása közepes vagy nagy felbontású műholdfelvételeken, amelyek a folyó ismert helyszínein (például vízerőműveknél) tudnak kialakulni.

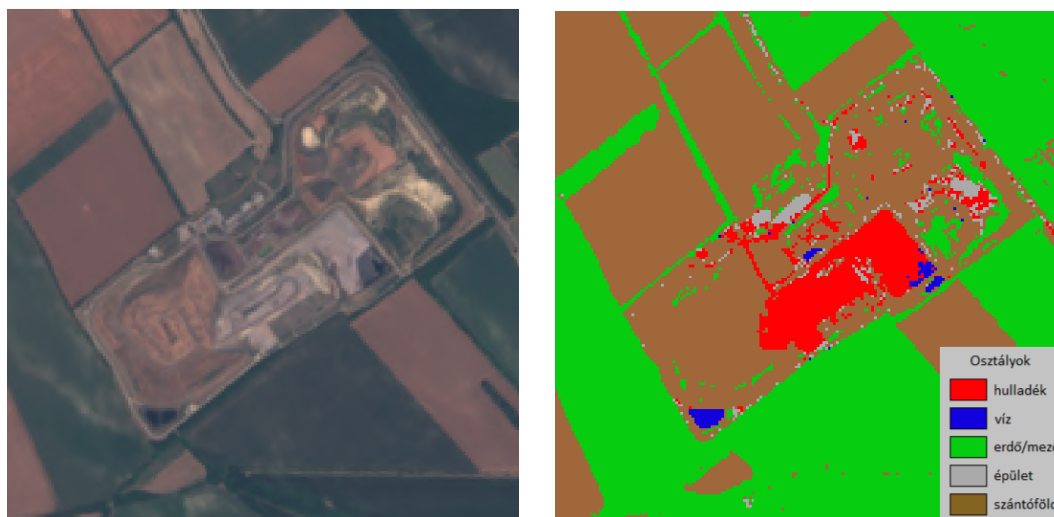
³PET Kupa - https://petkupa.hu/hu_HU/

3. A hullámtérben ismert helyen lerakott, elsősorban műanyag hulladék detektálása nagyfelbontású műholdfelvételeken.

Hot-spotok detektálása

A cél az volt, hogy a folyó mentén elhelyezkedő nagyobb hulladékos területek kiterjedésének változását képesek legyünk megfigyelni. A közvetlenül a folyó partján fekvő ilyen területek ugyanis nagy veszélyforrásnak számítanak áradások idején. Ilyen esetekben a folyó elhagyja a medrét, majd mikor visszahúzódik, magával sodorja a hulladékot, és azt egy másik, nem kívánt helyen rakja le. Ilyen Tisza menti hot-spotok főként Ukrajnában, illetve Romániában találhatóak. A magyar hulladékgyűjtő szervezeteknek már van tapasztalata azzal kapcsolatban, hogy mely hot-spotok esetén a Tisza mely részére kell kivonulniuk egy áradás bekövetkezte után. Amennyiben az általam készített osztályozás azt mutatja, hogy az áradást megelőző felvételen a hot-spot kiterjedése jelentős, akkor a helyszínre való kivonulás indokolt.

Az ehhez használt modell tanításában nagy szerepet játszott a pusztazámori hulladéklerakó, hiszen ehhez a területhez nagyon hasonló tulajdonságúak detektálása volt a cél. A klasszifikáláson kívül nem alkalmaztam más eljárást (3.6 ábra).



(a) Osztályozás előtt, Forrás:
<https://scihub.copernicus.eu/>

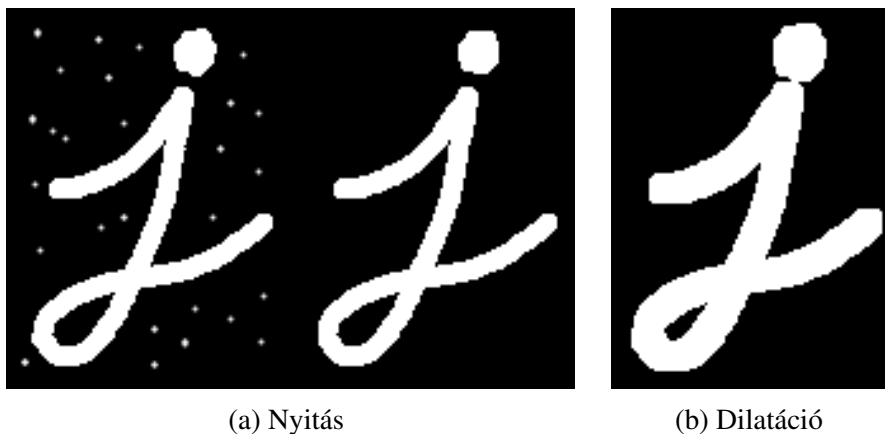
(b) Osztályozás után

3.6. ábra. A pusztazámori tanító terület osztályozása.

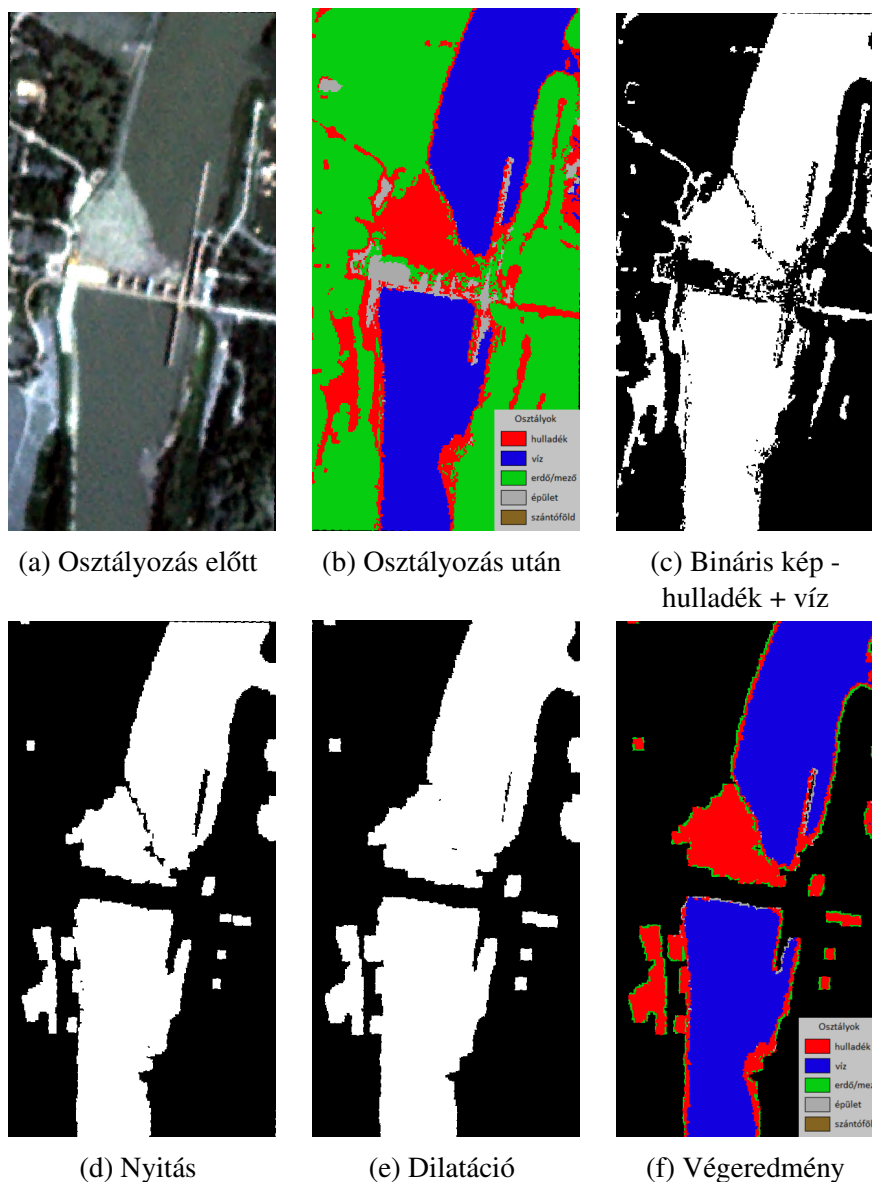
Vízfelszíni folyami torlaszok detektálása

Vízfelszíni folyami torlaszok elsősorban vízerőműveknél, illetve gátnál tudnak kialakulni. Egy ilyen torlasz kiterjedése elérhet akár több ezer négyzetmétert is. Ezek detektálásában nagy segítséget jelentettek a kiskörei vízerőműről készült felvételek, mivel ott gyakran nagy területű szemétsziget akad el.

A kívánt eredmény eléréséhez az osztályozáson kívül még morfológiai transzformációkra is szükség volt (3.7 ábra). A klasszifikált felvételtől készítettem egy bináris képet: a hulladék és víz osztályokat egy csoportba vettem, minden mást pedig elhagytam a képről. Az eredményen végrehajtottam egy morfológiai nyitást annak érdekében, hogy a zajokat (kisebb területek melyek a folyótól távolabb esnek) eltávolítsam. Majd ezt követte egy dilatáció, hogy a megmaradt területek körvonalát kiszélesítsem. Ezekhez egy 5×5 -ös mátrixot használtam kernelként. Így a végeredményen főként már csak a folyó és a rajta lebegő szemétsziget maradt (3.8 ábra).



3.7. ábra. Morfológiai transzformációk.
Forrás: <https://docs.opencv.org/>



3.8. ábra. A kiskörei vízerőmű szeméttorlaszának detektálása. Az osztályozás előtti kép forrása: <https://www.planet.com/>

A hullámtérben ismert helyen lerakott hulladék detektálása

Ennél a módszernél nem volt célszerű osztályozási modellt alkalmazni. Ennek oka, hogy a hullámtérben lerakott műanyag hulladék nagyon kis kiterjedésű, nem rendelkezik a tanító területeken szereplő szemét tulajdonságaival. Itt nem összefüggő szennyezett területekről beszélünk, hanem elszórt, esetleg más anyagokkal keveredett (pl. uszadékfa, jég) hulladékról (3.9, 3.10 ábrák).

Ezért egy másik megközelítést kellett alkalmaznom. Itt csak a *Plastic Index* [14] értékeit figyeltem, azt a tulajdonságát kihasználva, hogy a hulladékkal fedett területek *PI*

értéke magasabb, mint más területeké. De ez még önmagában kevésnek bizonyult, így a végső kiértékeléshez két felvételre van szükségünk, még hozzá ugyanazon területről más időpillanatban készült felvételekre. A feldolgozás algoritmus a következő:

1. Meghatározzuk a két kép földrajzi metszetét, ennek mérete legyen $n \times m$.
2. Számoljuk ki mindkét kimetszett képre a műanyag indexet, ezeket tároljuk rendre A és B mátrixokban.
3. Legyen $D = A - B$ különbség mátrix (ld. 3.11 ábra) és legyen $m = \text{median}(D)$, amelyet küszöbértéknek (*threshold*) fogunk választani az algoritmus következő lépésében.
4. Legyen X is egy $n \times m$ méretű mátrix. Ekkor $\forall i \in [1, n] \forall j \in [1, m]$:

$$X_{i,j} := \begin{cases} D_{i,j} - m & D_{i,j} > m \\ 0 & D_{i,j} \leq m \end{cases}$$

5. Hasonlóan legyen Y is egy $n \times m$ méretű mátrix. Ekkor $\forall i \in [1, n] \forall j \in [1, m]$:

$$Y_{i,j} := \begin{cases} 0 & D_{i,j} > m \\ m - D_{i,j} & D_{i,j} \leq m \end{cases}$$

Így X mátrixban a korábban készült felvételhez tartozó magas PI értékek szerepelnek, míg az Y mátrixban a később készült képhez tartozó magasak. Amikor az elsőn magasabb, az azt jelenti, hogy korábban ott feltehetőleg valamilyen műanyag hulladék volt, ami eltávolításra került. Mikor a másodikon magasabb, akkor pedig időben később került oda valamilyen hulladék (3.12 ábra⁴).

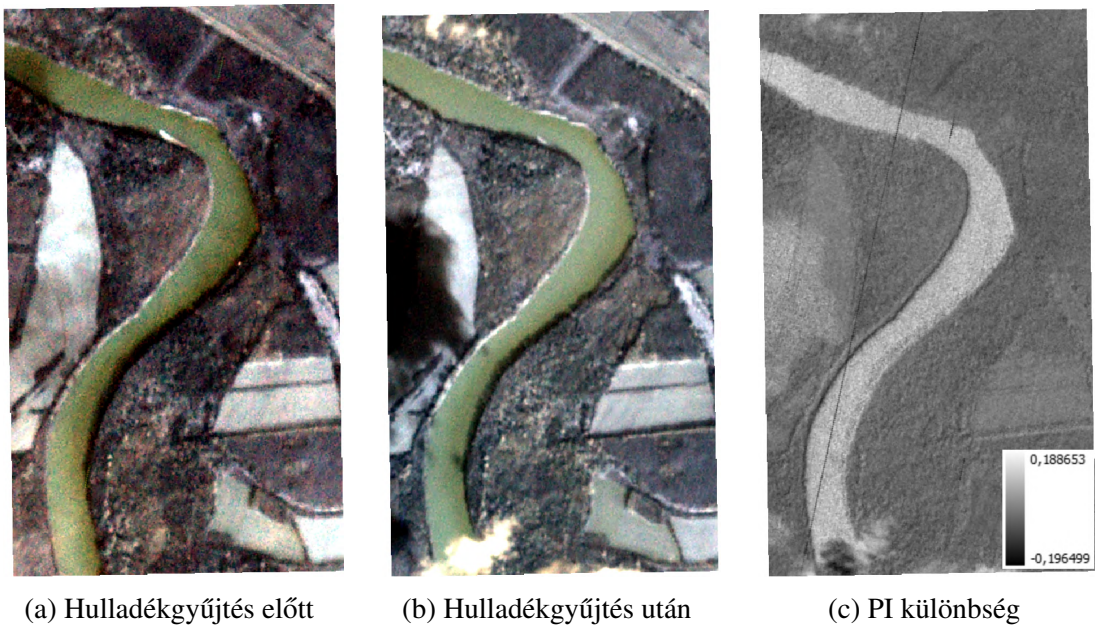
⁴Ezen az ábrán a fehér képpontok nagyításra kerültek, hogy jobban látszódjanak. A végső programban az eredeti méretükkel rendelkeznek.



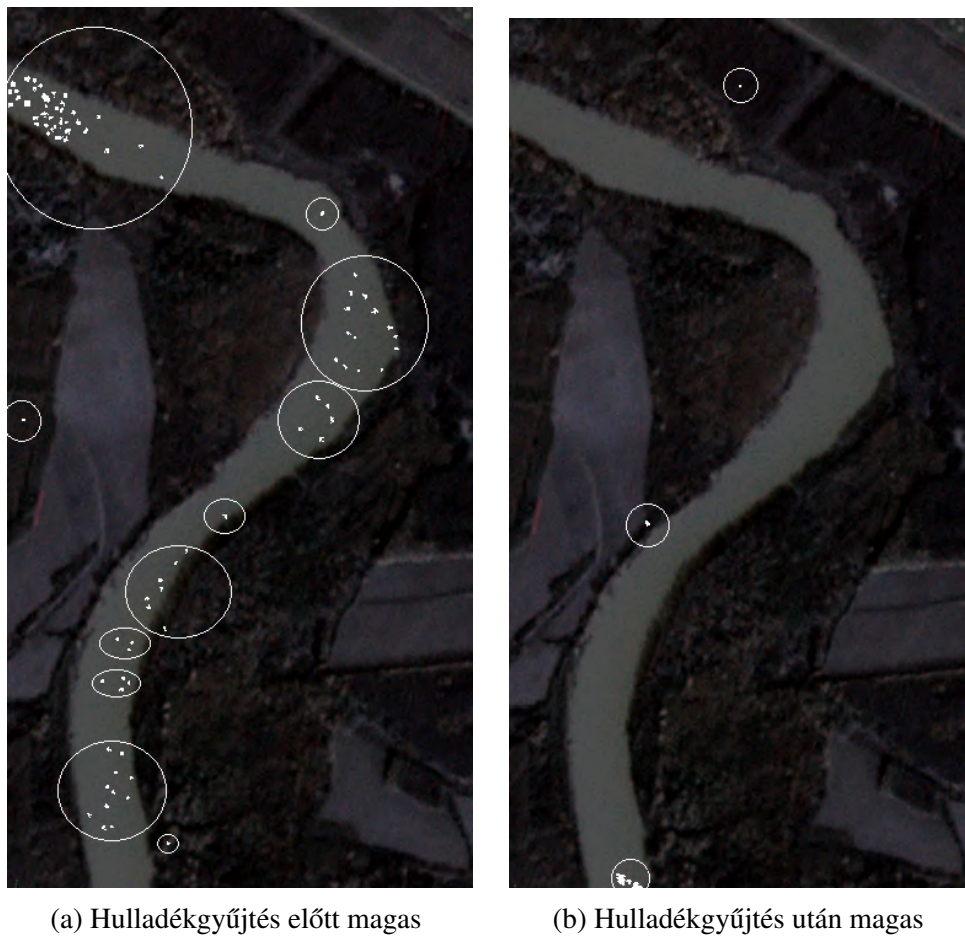
3.9. ábra. Hulladékgyűjtési akció.
Forrás: PET Kupa



3.10. ábra. Tiszai jeges ár 2017 februárjában.
Forrás: [3]



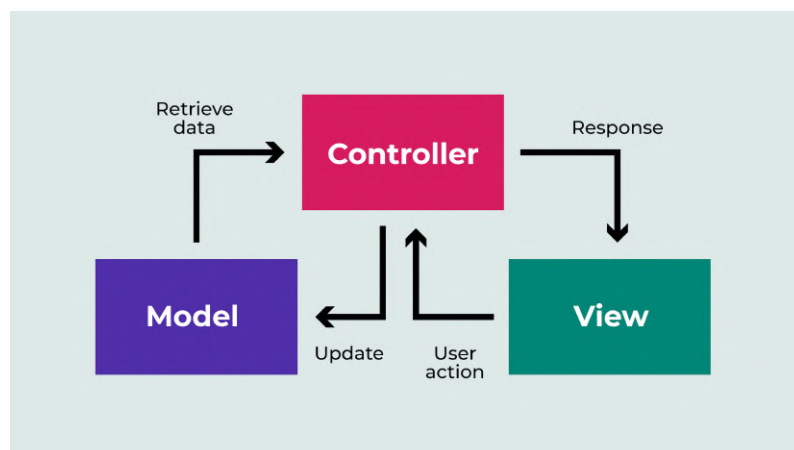
3.11. ábra. A *Plastic Index* különbsége tiszaszalkai felvételeken, 2019 március.
A műholdfelvételek forrása: <https://www.planet.com/>



3.12. ábra. A különbség eltérése a középértéktől hulladékgyűjtés során - Tiszaszalka, 2019 március.
A háttérben látható műholdfelvétel forrása: <https://www.planet.com/>

3.3. Fejlesztői környezet

Az alkalmazást *Python* (3.8) nyelven készítettem el. Azért esett erre a választás, mert képfeldolgozásban széles körben alkalmazott, számtalan hasznos szoftverkönyvtár érhető el hozzá. A grafikus felület megvalósításához a *tkinter* csomag egy továbbfejlesztett verzióját, a *ttkbootstrap*-et használtam [23]. *MVC* (*Model-View-Controller*), vagyis Modell-Nézet-Kontroller architektúrát alkalmaztam az implementáció során (3.13 ábra). Itt a Modell felel az üzleti logikáért, a Nézet pedig a megjelenítésért. A Kontroller kezeli a felhasználói interakciókat, ezáltal frissíti a Nézetet és kommunikál a Modellel. Az osztályozási modelleim megalkotásához a *scikit-learn* *RandomForestClassifier* osztályát használtam [15]. A morfológiai transzformációk elvégzéséhez az *OpenCV* könyvtár műveleteit alkalmaztam [24]. A tanítási folyamat során a felületre rajzolt poligonokba eső koordináták kiszámítása a *shapely* programcsomag *Polygon* és *Point* osztályainak segítségével valósult meg [25]. A műholdfelvételek megnyitása és az eredmény képek mentése a *GDAL* könyvtár által történt, mely a raszteres és vektoros térbeli adatformátumok feldolgozásához készült. Egyetlen raszteres absztrakt adatmodellt és egyetlen vektoros absztrakt adatmodellt biztosít a hívó alkalmazásnak az összes támogatott formátumhoz [26].



3.13. ábra. *MVC* architektúra.

Forrás: <https://openclassrooms.com/>

3.4. Követelményanalízis

3.4.1. Funkcionális követelmények

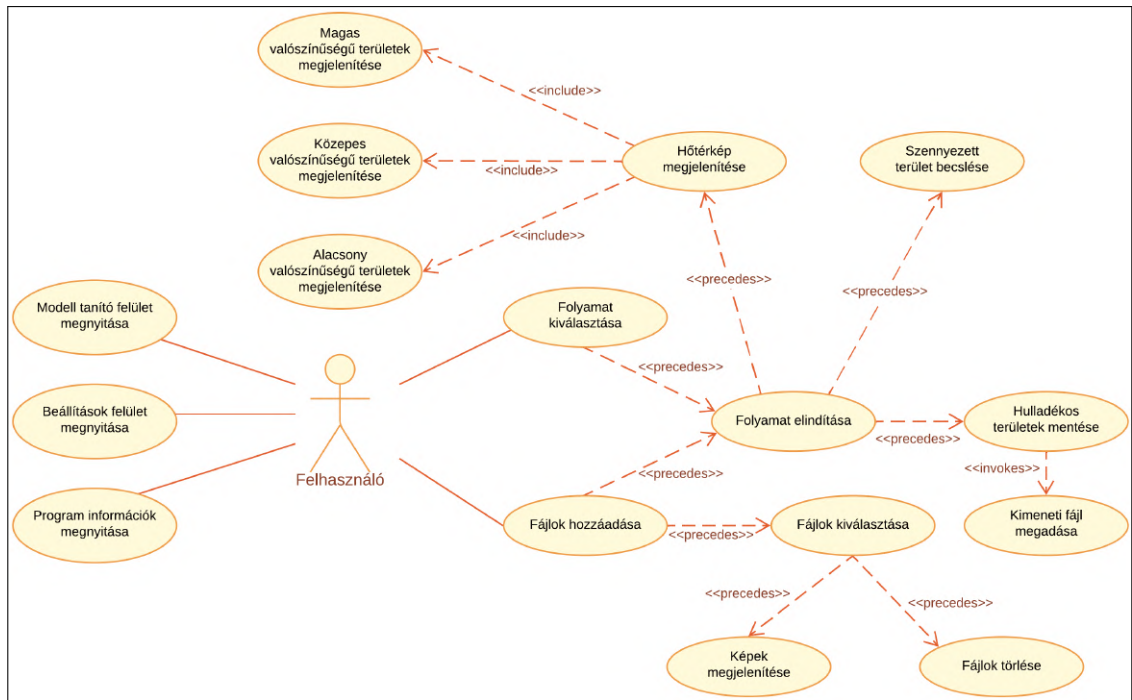
- Műholdfelvételek megnyitása.
- A kidolgozott módszerek futtatása.
- Eredmények megjelenítése.
- Hőtérképek megjelenítése.
- Hulladékkal fedett területek koordinátáinak fájlba való mentése.
- Statisztika a hulladékkal szennyezett területek kiterjedéséről.
- *Random Forest* osztályozási modell tanítása manuális annotációval.
- Az algoritmusok paramétereinek beállítása külön megjelenő ablakban.

3.4.2. Nem funkcionális követelmények

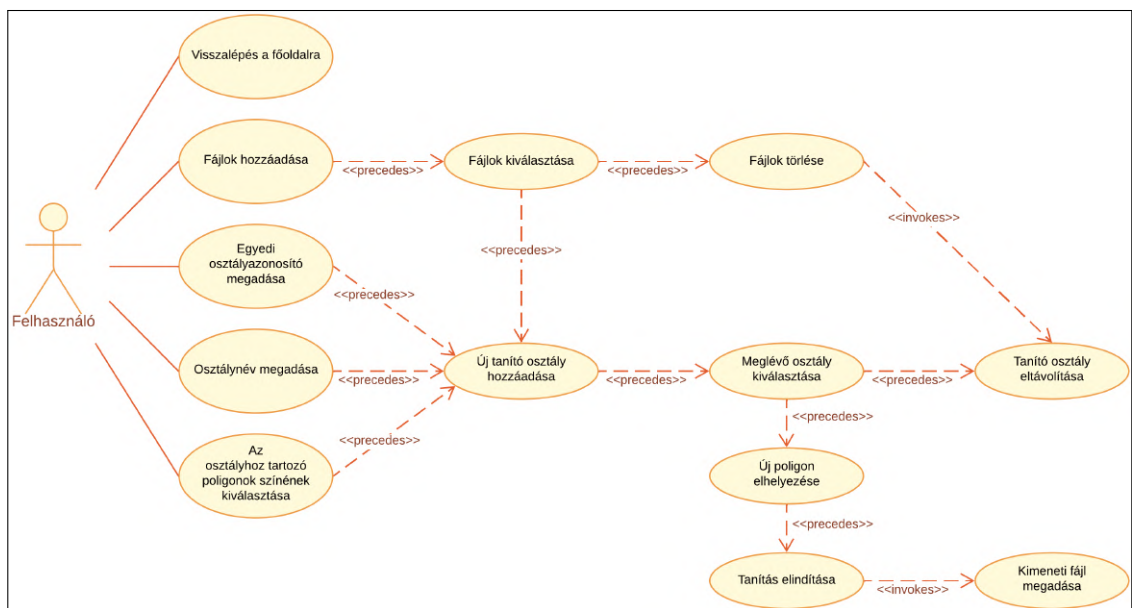
- **Hatékonyág:** A hulladékdetektálási folyamatok kisebb műholdfelvételek esetén nem jelentenek számottevő processzor, memória és háttértár terhelést. Ezzel éles ellentétben a nagyobb méretű képek feldolgozása már a processzort, memóriát és a háttértárat is nagy mértékben terheli. Nem igényel hálózati kapcsolatot.
- **Megbízhatóság és biztonság:** Szabványos használat esetén nem fordul elő hibajelenség. Hibás emberi bevitel esetén hibaüzenet jelenik meg. Az elmentett konfiguráció betöltése ellenőrzött módon történik, hiba esetén hibaüzenet jelenik meg.
- **Hordozhatóság:** A rendszerkövetelményeknek megfelelő legtöbb személyi számítógépen biztosított a használat.
- **Felhasználhatóság:** Intuitív felhasználói felület, megfelelő instrukciókkal. Térinformatikai ismeretek birtokában könnyen használható funkciók.

3.4.3. Felhasználói esetek

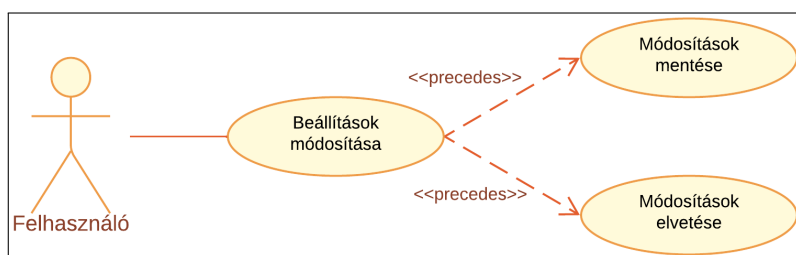
Itt láthatóak az alkalmazás használati eseteinek diagramjai (3.14, 3.15, 3.16 ábrák).



3.14. ábra. A főképernyő felhasználói esetei.



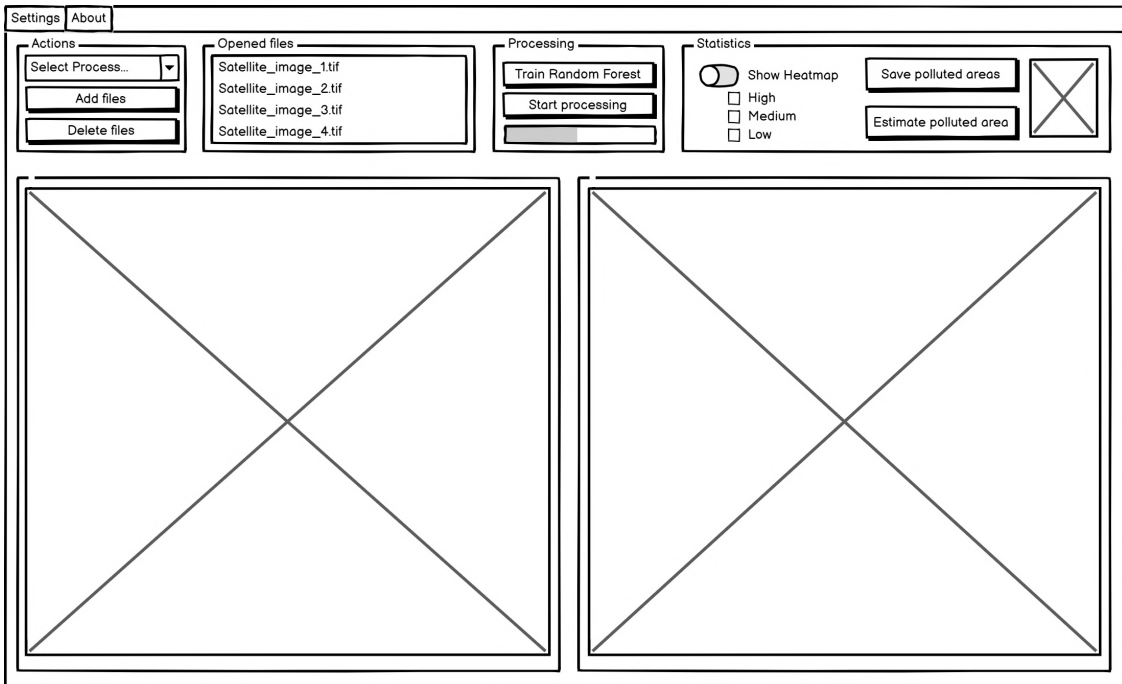
3.15. ábra. Az interaktív tanító felület felhasználói esetei.



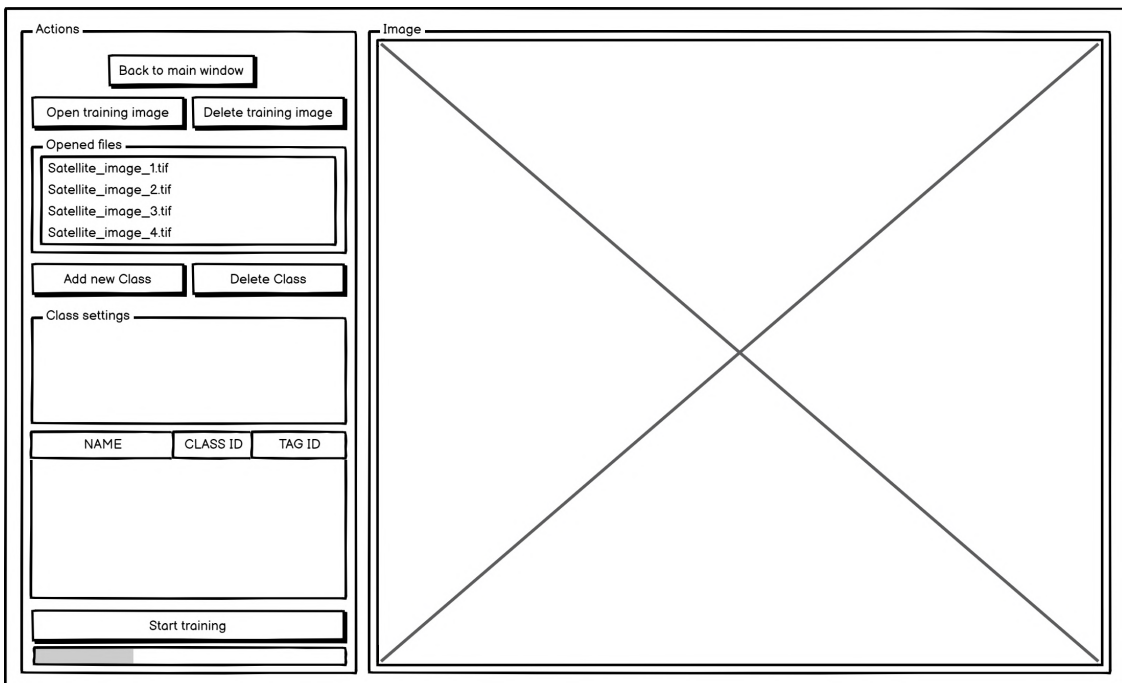
3.16. ábra. A beállítások felület felhasználói esetei.

3.4.4. Felületek látványterve

Alább láthatóak az alkalmazás egyes ablakainak látványtervei (3.17, 3.18, 3.19 ábrák).



3.17. ábra. A főképernyő látványterve.



3.18. ábra. Az interaktív tanító felület látványterve.

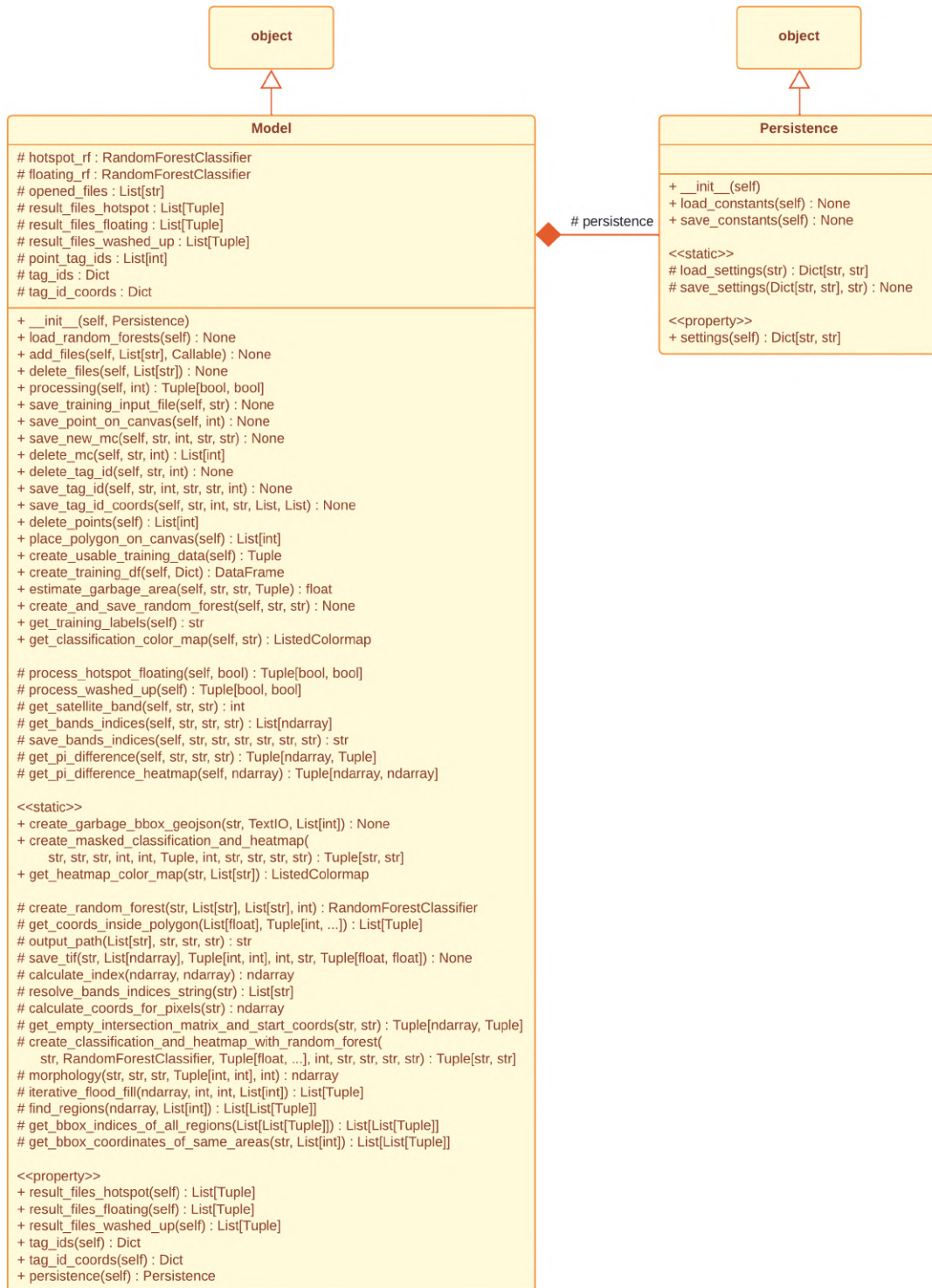
The diagram shows a settings window with the following layout:

- Satellite type**: A small rectangular box in the top left.
- Sentinel-2 settings**: A larger rectangular box in the top middle.
- Training labels**: A vertical rectangular box on the right side.
- Color settings**: A tall vertical rectangular box on the far right.
- Algorithm settings**: A large rectangular box in the middle left.
- Path settings**: A large rectangular box in the bottom middle.
- Output file settings**: A large rectangular box in the bottom left.
- Buttons**: Two buttons labeled "Cancel" and "OK" are located at the bottom right corner.

3.19. ábra. A beállítások felület látványterve.

3.5. Modell réteg

Az alkalmazás ezen része felel az üzleti logikáért. Itt történik a műholdfelvételek feldolgozása és mentése, a tanító adatok szűrése és elkészítése. Képes elérni a felhasználó által beállított és elmentett paramétereket.



3.20. ábra. A modell réteg osztálydiagramja.

A Model osztály

Az alkalmazás működése szempontjából legfontosabb metódusok megnevezése és leírása alább olvasható, a paraméterezések az osztálydiagramon láthatóak (3.20 ábra):

- `processing()`: Elindítja a paraméterben kapott folyamat azonosítónak megfelelő detektálási eljárást. A `bool` visszatérési értékek a folyamat közben fellépett hibákról szolgáltatnak információt.
 - `process_hotspot_floating()`: Elkészíti a *Hot-spot detection* vagy *Floating waste detection* módszerek eredményeit. A bemeneti képekből többsávós felvételeket készít, attól függően, hogy milyen tanító címkék vannak megadva a beállításokban. Ezeket a képeket fogja osztályozni. A paraméterben kapott logikai értéktől függően még morfológiai transzformációkat is végezhet egy másik metódus meghívásával.
 - `process_washed_up()`: Elkészíti a *Washed up waste detection* folyamat eredményeit. A bemeneti képeknek páronként meghatározza a földrajzi metszetét, majd ezek *Plastic Index* különbségét. Végül a különbség mátrix mediánjától való eltérésük alapján készít két hőterképet.
- `create_usable_training_data()`: A tanító felületen elmentett osztályokon és poligonokon elvégez egy szűrést, hogy csak olyan adatok maradjanak, amik a tanításban is alkalmazhatók.
- `create_training_df()`: Elkészíti a tanításhoz használt *DataFrame* objektumot a paraméterben megkapott *Dictionary* adatszerkezet alapján. Itt kerülnek meghatározásra a tanító felületen lehelyezett poligonokba eső képpontok, valamint ezen képpontokhoz tartozó értékek az egyes tanító felvételeken.
- `estimate_garbage_area()`: Kiszámítja a bemeneti osztályozott felvételen vagy a hőterképen megjelenő hulladékkal fedett területek nagyságát a műholdfelvétel képpont méretének figyelembe vételével.
- `save_bands_indices()`: Kiszámítja a bemeneti felvétel szükséges indexeit. Majd egy új multispektrális felvételnél elmenti a sávokat és az indexeket. Bemenő paraméterként megkapja a felvételt készítő műhold típusát, és a kimeneti kép nevének meghatározásához szükséges adatokat.
- `get_pi_difference()`: Két felvétel földrajzi metszetének meghatározása után kiszámítja a *Plastic Index* különbségüket. Bemenő paraméterként még megkapja a felvételeket készítő műhold típusát.

- `get_pi_difference_heatmap()`: Két felvétel *Plastic Index* értékeinek a különbség mátrixuk mediánjától való eltérésük alapján készít két hőterképet.
- `create_garbage_bbox_geojson()`: Egy osztályozott felvételen vagy egy hőterképen látható hulladékkal fedett területeket magukba foglaló téglalapokat menti el a paraméterben kapott GeoJSON fájlba.
- `create_masked_classification_and_heatmap()`: Egy osztályozott képet dolgoz fel a *Floating waste detection* módszerhez. Készít egy bináris képet, majd elvégéz két morfológiai transzformációt: egy nyitást és egy dilataciót. Az ezekből kapott maszk réteget alkalmazza az eredetileg osztályozott felvételen. Bemenő paraméterként szüksége van az osztályozott képen szereplő szemét és víz osztályok azonosítójára, a morfológiai transzformációkhoz tartozó kernel mátrix méretére és az iterációk számára, valamint a kimeneti fájlok neveinek meghatározásához szükséges adatokra.
- `create_random_forest()`: A megkapott tanító adatok és paraméterek alapján betanít egy *Random Forest* osztályozási algoritmust. A bemenő adatok tartalmazzák a tanító és osztály címkéket, valamint a döntési fák számát.
- `get_coords_inside_polygon()`: A megkapott poligon és az azt magába foglaló téglalap alapján kiszámítja a poligon belsejébe eső képpontok koordinátáit.
- `output_path()`: A paraméterben kapott adatok alapján meghatározza a kimeneti fájl nevét.
- `save_tif()`: A megkapott paraméterek alapján (bemeneti kép neve, a mentendő mátrix, sávok száma, kimeneti fájl neve, opcionálisan egy új földrajzi pozíció) készít egy kimeneti `.tif` fájlt.
- `calculate_index()`: A paraméterben kapott számláló és nevező mátrixokat osztja el egymással biztonságos módon.
- `calculate_coords_for_pixels()`: Egy műholdfelvétel képpontjainak földrajzi koordinátáit határozza meg.
- `get_empty_intersection_matrix_and_start_coords()`: Meghatározza két felvétel földrajzi metszetét. Kimenete a metszet méretű mátrix, valamint koordináta információk, melyek később kerülnek felhasználásra.
- `create_classification_and_heatmap_with_random_forest()`: Elkészíti egy felvétel osztályozását, majd egy hőterképet a hulladékkal fedett területekről. Paraméterként szüksége van a bemeneti kép nevére, egy osztályozási modellre, a hőterképhez tartozó valószínűségekre, a hulladék osztály azonosítójára, valamint a

kimeneti fájlok neveinek meghatározásához szükséges adatokra.

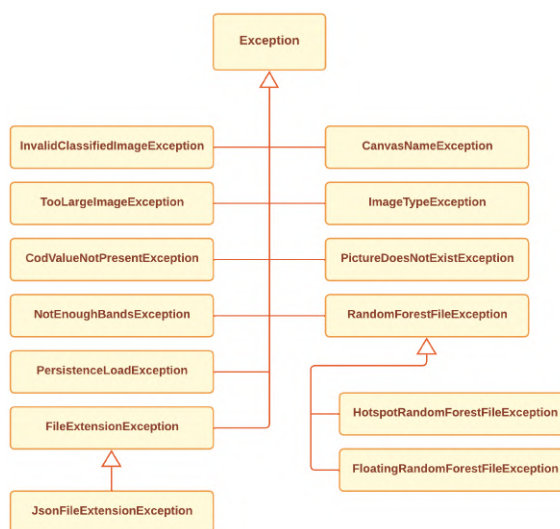
- `morphology()`: A paraméterben megadott morfológiai transzformációt végzi el a bemeneti képen. Szüksége van a kernel mátrix méretére és az iterációk számára.
- `iterative_flood_fill()`: A paraméterben megkapott mátrix megadott koordinátáján szereplő képponthez tartozó összefüggő területet adja meg, ha a képpont értéke megegyezik a keresett értékkel. Forrás: [27]
- `find_regions()`: Kiszámítja az összes, a paraméterben megkapott értéket tartalmazó összefüggő területet.
- `get_bbox_coordinates_of_same_areas()`: Kiszámítja az összes, a paraméterben megkapott értéket tartalmazó összefüggő területet magába foglaló téglalapok koordinátáit.

A Persistence osztály

Ennek az osztálynak az adataiban kerülnek tárolásra a beállításokban elmentett értékek azért, hogy a modell bármikor el tudja érni azokat.

- `load_constants()`: Betölti a konfigurációs fájlban eltárolt értékeket az osztály megfelelő adataiba.
- `save_constants()`: Elmenti a konfigurációs fájlba az osztály adatainak értékét a megfelelő pozíciókra.

Kivétel osztályok

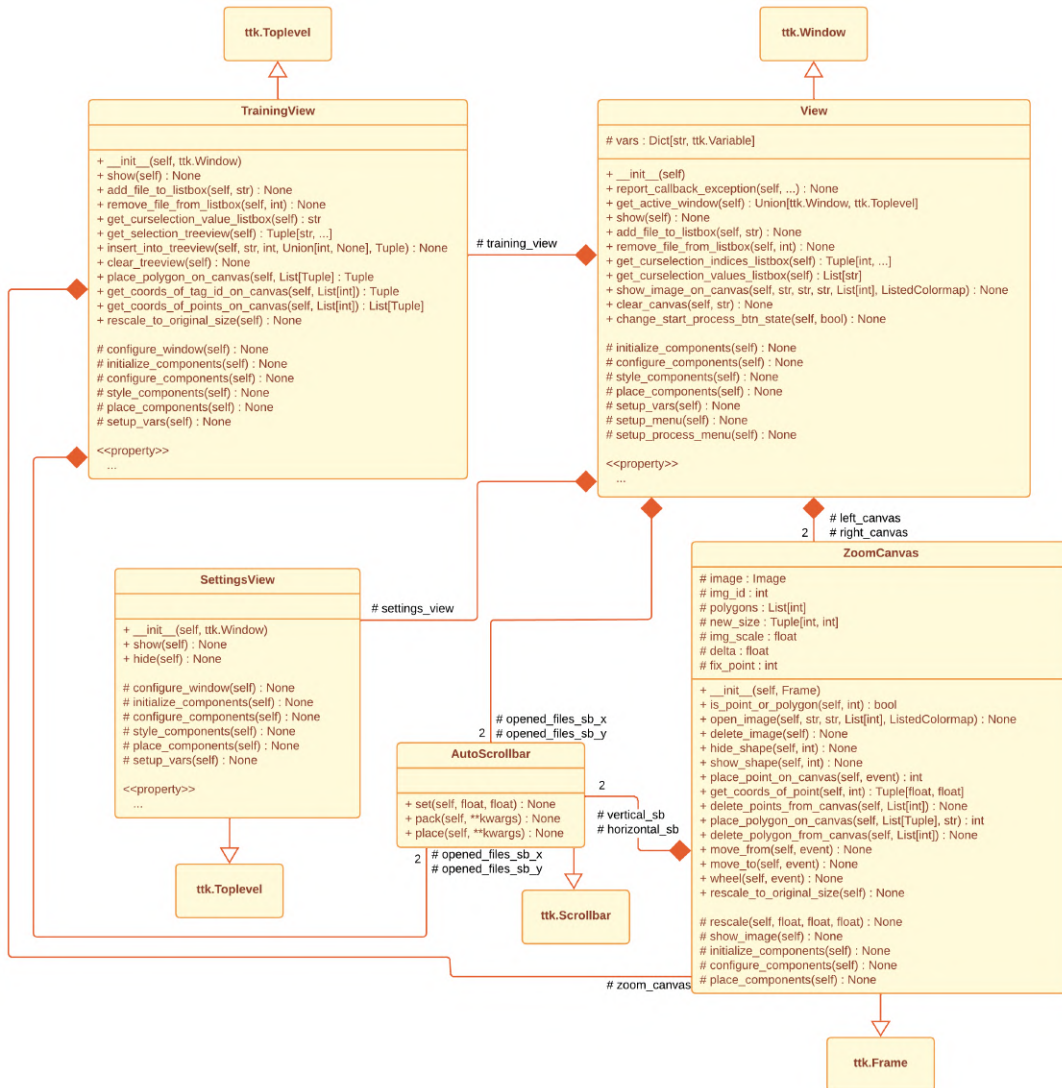


3.21. ábra. A kivételek osztálydiagramja.

Számos saját kivétel osztályt készítettem az egyedi hibák kezelése érdekében. Ezek jelentése alább olvasható:

- **InvalidClassifiedImageException:** Az osztályozott felvétel nem felel meg az általam használt formátumnak, mely szerint a képen szereplő minden értéknek százzal oszthatónak kell lennie.
- **TooLargeImageException:** A megnyitni kívánt felvétel meghaladja a maximális megengedett méretet.
- **CodValueNotPresentException:** A klasszifikált képen nem szerepel egy szükséges osztály.
- **NotEnoughBandsException:** A megnyitandó felvétel nem tartalmaz elegendő sávot.
- **CanvasNameException:** A hivatkozott, képek megjelenítésére alkalmas vászon (*canvas*) nem létezik.
- **ImageTypeException:** A képek megjelenítésére alkalmas vászon (*canvas*) nem létező megjelenítési formátumot kapott.
- **PictureDoesNotExistException:** A megjelenítendő felvétel nem létezik.
- **RandomForestFileException:** Nem megfelelő *Random Forest* fájl.
 - **HotspotRandomForestFileException:** Nem megfelelő *Random Forest* fájl a Hot-spot detektálási folyamathoz.
 - **FloatingRandomForestFileException:** Nem megfelelő *Random Forest* fájl a Vízfelszíni folyami torlaszok detektálási folyamathoz.
- **FileExtensionException:** Nem megfelelő fájl formátum.
 - **JsonFileExtensionException:** Nem megfelelő fájl formátum. Az elvárt: JSON.
- **PersistenceLoadException:** Nem lehetett betölteni az elmentett beállításokat. Hibás a konfiguráció.

3.6. Nézet réteg



3.22. ábra. A nézet réteg osztálydiagramja.

A View osztály

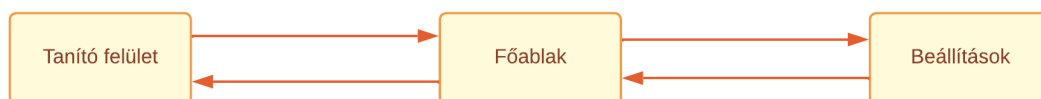
A főablak osztálya. Az alkalmazás indulásával ez a képernyő jelenik meg. Itt végezhetőek el a hulladékdetektálási folyamatok, és azok analizálása. Adattagként tartalmaz egy **TrainingView** és egy **SettingsView** osztály példányt. Ezek az alkalmazás egész futása alatt élnek, van amikor láthatóak és van amikor nem (3.23 ábra). A képek megjelenítéséhez tartalmaz még két **ZoomCanvas** objektumot is.

A **TrainingView** osztály

Az interaktív tanító felület osztálya. A megnyitott felvételeken elvégezhető egy *Random Forest* osztályozási modell betanítása a felületen lehelyezett poligonok segítségével. Konstruktor paraméterben a szülő ablakot várja. A tanító felvétel megjelenítése érdekében tartalmaz egy **ZoomCanvas** osztály példányt.

A **SettingsView** osztály

A beállítások megjelenítésére és módosítására alkalmas osztály. A rajta megjelenő bemeneti mezők által képes a felhasználó az alkalmazás paramétereinek módosítására.



3.23. ábra. Az egyes ablakok közötti navigálhatóság.

A **ZoomCanvas** osztály

Egy olyan felvételek és egyéb alakzatok megjelenítésére alkalmas felület melynek tartalmát az egér görgőjének mozgásával lehet nagyítani, illetve kicsinyíteni. A megjelent felvétel mozgatható a jobb egérgomb nyomva tartásával és az egér egyidejű mozgásával. Tartalmaz két **AutoScrollbar** objektumot, melyek a megjelenített felvétel nagyságától függően láthatóak. Forrás: [28]

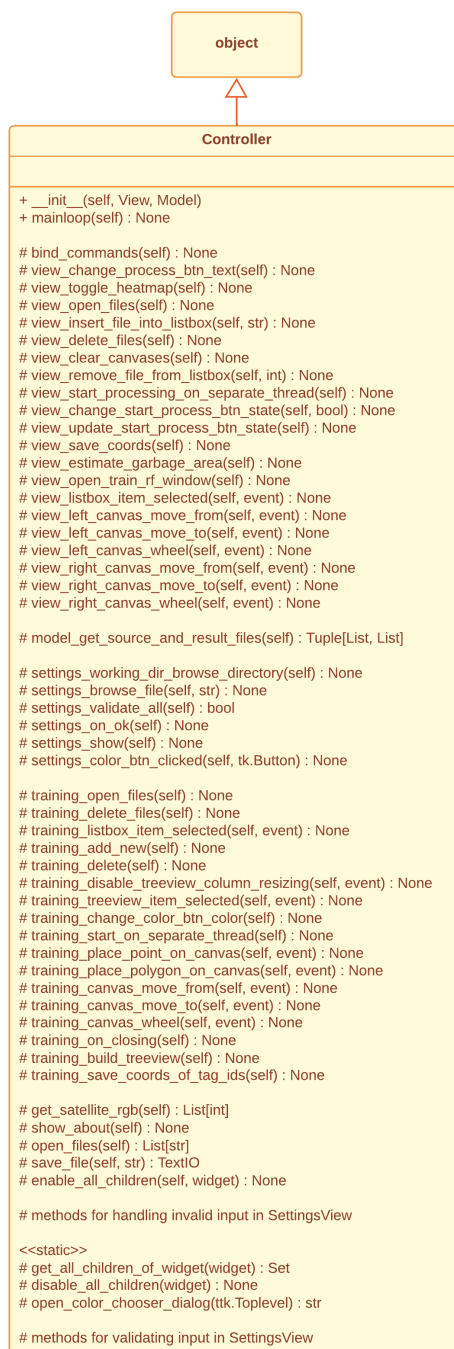
Legfontosabb metódusainak leírása alább olvasható, a paraméterek az osztály diagramon láthatóak (3.22 ábra):

- `place_point_on_canvas()`: A felületre való kattintás eseményének következtében a kurzor pozíciójára lehelyez egy ellipszist, melynek középpontja egy poligon csúcsa lesz.
- `place_polygon_on_canvas()`: A paraméterben megkapott csúcsok és szín alapján lehelyez egy poligont a felületre.

Az **AutoScrollbar** osztály

Egy olyan gördítősáv, mely eltűnik, ha nincs rá szükség. Forrás: [29]

3.7. Kontroller réteg



3.24. ábra. A Controller osztálydiagramja.

A Controller osztály

Az egész alkalmazást vezérlő osztály. Fogadja a felhasználói interakciókat, kommunikál a modellel, és frissíti a különböző ablakokban megjelenő vezérlőket, bemeneti mezőket.

Legfontosabb metódusai alább olvashatóak, a paraméterezés az osztálydiagramon látható (3.24 ábra):

- `bind_commands()`: A különböző ablakokon szereplő vezérlőkhöz hozzákapcsolja azok kezelő metódusait.
- `view_toggle_heatmap()`: A főablakon szereplő *Show Heatmap* kapcsoló aktiválását vagy deaktiválását kezeli. Megjeleníti a hő térképet a kijelölt valószínűségeknek megfelelő színekkel.
- `view_start_processing_on_separate_thread()`: A beállítások helyességének ellenőrzése után elindítja a hulladékdetektálási folyamatot egy háttérszálon. Azért kell a háttérben indítani, hogy a folyamatjelző sáv is működni tudjon.
- `settings_validate_all()`: A beállításokban megadott paraméterek helyességét ellenőrzi. Visszatérési értéke igaz, ha minden rendben van, és hamis, ha valamit rosszul adott meg a felhasználó.
- `training_start_on_separate_thread()`: A beállítások helyességének ellenőrzése után elindítja a tanítási folyamatot egy háttérszálon. Azért kell a háttérben indítani, hogy a folyamatjelző sáv is működni tudjon.

3.8. Tesztelés

3.8.1. Fehér-doboz tesztelés - Automata tesztesetek

Az alkalmazás modell rétegéhez készült tesztesetek futtatására az alábbi módon van lehetőség, miután az *Anaconda Prompt* alkalmazásban elnavigáltunk a program *application* nevű könyvtárába és aktiváltuk a megfelelő környezetet (3.1 forráskód):

```
python unittest_model.py
```

3.1. forráskód. Az automatikus tesztesetek futtatása.

A teszteléshez használt osztályok egy-egy specifikus metódus működését ellenőrizték. A következő elnevezési konvenciót alkalmaztam az osztályok megnevezésénél:

metódus: `calculate_index(...)`

tesztosztály: `TestCalculateIndex`

Alább olvashatóak az egyes tesztosztályok leírásai:

- **TestAddFiles:** Új felvétel hozzáadása esetén sikeres-e a fájl nevének mentése.
- **TestDeleteFiles:** Felvétel törlése esetén a fájl nevének eltávolítása sikeres-e.

- **TestSaveTrainingInputFile:** Tanító felvétel megnyitása esetén mentésre kerül-e a fájl neve.
- **TestSavePointOnCanvas:** A tanító felületen egy pont lehelyezése után mentésre kerül-e annak egyedi azonosítója.
- **TestSaveNewMc:** A tanító felületen új osztály hozzáadása esetén rögzítésre kerülnek-e a szükséges információk.
- **TestDeleteMc:** A tanító felületen egy osztály törlése esetén eltávolításra kerülnek-e a mentett adatok.
- **TestDeleteTagId:** A tanító felületre lehelyezett poligonok törlése esetén eltávolításra kerülnek-e azok egyedi azonosítói.
- **TestSaveTagId:** A tanító felületre helyezett poligonok esetén mentésre kerülnek-e azok egyedi azonosítói.
- **TestSaveTagIdCoords:** A tanítás megkezdésével mentésre kerülnek-e a poligonok, valamint az azokat magukba foglaló téglalapok csúcsainak koordinátái.
- **TestDeletePoints:** Az aktuálisan a tanító felületen jelenlevő pontok törlése esetén azok egyedi azonosítója törlésre kerül-e.
- **TestPlacePolygonOnCanvas:** Egy poligon tanító felületen történő lehelyezésével eltávolításra kerülnek-e az eddig a felületen szereplő pontok egyedi azonosítói.
- **TestCreateUsableTrainingData:** A tanító felületen létrehozott osztályok elegendő adatot tartalmaznak-e a tanítás megkezdéséhez, ha igen, azok szűrése helyes-e.
- **TestGetCoordsInsidePolygon:** Egy adott poligonon belüli pontok meghatározása helyes-e.
- **TestCalculateIndex:** Egy index kiszámítása helyes-e.

3.8.2. Fekete-doboz tesztelés - Manuális tesztesetek

A felhasználói felület funkcióinak tesztesetei alább olvashatóak (3.1, 3.2, 3.3 táblázatok):

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
A <i>Select process</i> gomb megnyomása.	Az elérhető detektálási folyamatok megjelenése.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
A <i>Select process</i> gomb megnyomásával megjelent valamelyik folyamat kiválasztása.	A <i>Select process</i> gomb felirata a kiválasztott folyamat nevére cserélődik, az eddig látható folyamatok eltűnnek.
A folyamatválasztó gombra való kattintás abban az esetben, amikor korábban már valamelyik módszer ki lett választva.	A megjelenő folyamatok közül amellel látható "pipa" jel, amelyik éppen ki van választva.
Új detektálási módszer kiválasztása abban az esetben, amikor már korábban egy másik kiválasztásra került.	A folyamatválasztó gomb felirata az újonnan kiválasztott folyamat nevére vált.
Az <i>Add files</i> gomb megnyomása.	Megjelenik egy fájlválasztó dialógusablak, ahol .tif kiterjesztésű fájlokat lehet megnyitni.
Az <i>Add files</i> gomb megnyomásával megjelenő fájlválasztó dialógusablakban kijelölt, az alkalmazásban használható felvételek megnyitása.	A kiválasztott fájlok nevei megjelennek az <i>Opened files</i> listában.
Az <i>Add files</i> gomb megnyomásával megjelenő fájlválasztó dialógusablakban kijelölt, az alkalmazásban nem használható felvételek megnyitása.	Felugró üzenetablak figyelmezteti a felhasználót, hogy érvénytelen felvételeket akart megnyitni. A kiválasztott felvételek nevei nem jelennek meg az <i>Opened files</i> listában.
Fájl nevek kiválasztása az <i>Opened files</i> listában, majd a <i>Delete files</i> gomb megnyomása.	A kijelölt fájlok nevei eltávolításra kerülnek az <i>Opened files</i> listából.
Nincs fájl kiválasztva az <i>Opened files</i> listában, majd a <i>Delete files</i> gomb megnyomása.	Nem történik semmi.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
A <i>Hot-spot detection</i> vagy <i>Floating waste detection</i> folyamatok valamelyikének kiválasztása, majd egy felvétel megnyitása után a fájl nevének kijelölése.	A bal keretben megjelenik a felvétel RGB színskálás változata.
A <i>Washed up waste detection</i> folyamat kiválasztása, majd két felvétel megnyitása után a fájlok nevének kijelölése.	A bal keretben az első, a jobb keretben a második felvétel RGB színskálás változata jelenik meg.
A <i>Hot-spot detection</i> vagy <i>Floating waste detection</i> folyamatok esetén több, mint egy, a <i>Washed up waste detection</i> folyamat esetén több, mint két felvétel van kiválasztva.	Ha volt a keretekben kép, akkor az eltűnik.
A <i>Train Random Forest</i> gomb megnyomása.	A tanító felület megjelenése.
A <i>Hot-spot detection</i> vagy <i>Floating waste detection</i> folyamatok valamelyikének kiválasztása és legalább egy felvétel megnyitása után a <i>Start processing</i> gomb megnyomása.	A detektálási folyamat elkezdése, a folyamatjelző sáv elindulása, a vezérlők deaktiválása.
A <i>Washed up waste detection</i> folyamat kiválasztása és legalább két felvétel megnyitása után a <i>Start processing</i> gomb megnyomása.	A detektálási folyamat elkezdése, a folyamatjelző sáv elindulása, a vezérlők deaktiválása.
Egy folyamat sikeres lefutása.	A vezérlők aktiválása.
A folyamat sikeres lefutása után a <i>Hot-spot detection</i> vagy <i>Floating waste detection</i> folyamatok esetén egy fájl nevének kiválasztása az <i>Opened files</i> listából.	A bal keretben megjelenik a felvétel RGB színskálás változata, a jobb keretben pedig a folyamat eredménye.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
A folyamat sikeres lefutása után a <i>Hot-spot detection</i> és <i>Floating waste detection</i> folyamatok esetén egy felvétel van kiválasztva, majd a <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktiválása.	A jobb oldali keretben egy fekete kép jelenik meg.
A folyamat sikeres lefutása után a <i>Washed up waste detection</i> folyamat esetén két felvétel van kiválasztva, majd a <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktiválása.	A bal és jobb oldali keretben egy-egy fekete kép jelenik meg.
A <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktiválása után a fekete képek láthatóak. Ezt követően a <i>High probability</i> jelölőnégyzet kiválasztása.	A hőtésképeken piros színű képpontok jelennek meg.
A <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktiválása után a fekete képek láthatóak. Ezt követően a <i>Medium probability</i> jelölőnégyzet kiválasztása.	A hőtésképeken sárga színű képpontok jelennek meg.
A <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktiválása után a fekete képek láthatóak. Ezt követően a <i>Low probability</i> jelölőnégyzet kiválasztása.	A hőtésképeken zöld színű képpontok jelennek meg.
A <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktív és a hőtésképen piros képpontok is találhatóak. Ezt követően a <i>High probability</i> jelölőnégyzet deaktiválása.	A hőtésképről eltűnnek a piros színű képpontok.
A <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktív és a hőtésképen sárga képpontok is találhatóak. Ezt követően a <i>Medium probability</i> jelölőnégyzet deaktiválása.	A hőtésképről eltűnnek a sárga színű képpontok.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
A <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktív és a hőtésképen zöld képpontok is találhatóak. Ezt követően a <i>Low probability</i> jelölőnégyzet deaktiválása.	A hőtésképről eltűnnek a zöld színű képpontok.
A <i>Show Heatmap</i> kapcsoló aktív és láthatóak a hőtésképek. Ezt követően a kapcsoló deaktiválása.	A <i>Hot-spot detection</i> és <i>Floating waste detection</i> folyamatok esetén a jobb oldali keretben újra a folyamat eredménye látható. A <i>Washed up waste detection</i> folyamat esetén a bal és jobb keretben is az RGB színskálás felvételek láthatóak.
A folyamat sikeres lefutása után a <i>Hot-spot detection</i> és <i>Floating waste detection</i> folyamatok esetén egy kép van kiválasztva. Ezután a <i>Save polluted areas to GeoJSON file</i> gomb megnyomása.	A felugró fájl mentő dialógusablakban meg lehet adni a kimeneti fájl nevét, a mentés elvégezhető.
A folyamat sikeres lefutása után a <i>Hot-spot detection</i> és <i>Floating waste detection</i> folyamatok esetén legalább egy, de legfeljebb kilenc kép ki van választva. Ezt követően az <i>Estimate polluted areas</i> gomb megnyomása.	Megjelennek a kijelölt képekhez tartozó statisztikák.
A folyamat sikeres lefutása után a <i>Hot-spot detection</i> és <i>Floating waste detection</i> folyamatok esetén egy kép sincs kiválasztva. Ezt követően az <i>Estimate polluted areas</i> gomb megnyomása.	Nem történik semmi.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
A folyamat sikeres lefutása után a <i>Hot-spot detection</i> és <i>Floating waste detection</i> folyamatok esetén legalább tíz kép van kiválasztva. Ezt követően az <i>Estimate polluted areas</i> gomb megnyomása.	Felhasználó figyelmeztetése, hogy túl sok kép van kijelölve.
Nem futott le folyamat, vagy nincs elég kép kiválasztva. Ezt követően a hőterképekhez kapcsolódó gombok aktiválása vagy deaktiválása.	Nem történik semmi.
Nem futott le folyamat, vagy nincs elég kép kiválasztva. Ezt követően a <i>Save polluted areas to GeoJSON file</i> gomb megnyomása.	Nem történik semmi.
A <i>Settings</i> menügomb megnyomása.	Megjelenik a beállítások ablak.
Az <i>About</i> menügomb megnyomása.	Megjelenik a néhány információt tartalmazó üzenetablak.
A kurzor egyik keretbe való navigálása (ahol van megjelenített felvétel), majd a jobb egérgomb nyomva tartása és az egyidejű egér mozgatása.	A megjelenített felvétel mozog.
A kurzor egyik keretbe való navigálása (ahol van megjelenített felvétel), majd a görgő mozgatása.	A kép nagyobb vagy kisebb lesz.

3.1. táblázat. A fekete-doboz tesztelés eredményei - Főablak.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
Az ablak megnyitása.	Az elmentett paraméterek a megfelelő helyen jelennek meg.
Valamelyik paraméter esetén hibás adat megadása.	Felugró üzenetablak figyelmezteti a felhasználót.
Hibás megadott paraméterek esetén az <i>OK</i> gomb megnyomása.	Felugró üzenetablak figyelmezteti a felhasználót.
Helyes adatok megadása.	Nem történik semmi.
A színes gombok megnyomása.	Megjelenik egy színválasztó ablak.
A színválasztó ablakban kiválasztott szín elfogadása.	A megfelelő gomb háttérszíne változik meg.
Az <i>OK</i> gomb megnyomása.	A paraméterek mentése megtörténik, az ablak bezárul.
A <i>Cancel</i> gomb megnyomása vagy az ablak bezárása.	A paraméterek mentése nem történik meg, az ablak bezárul.

3.2. táblázat. A fekete-doboz tesztelés eredményei - Beállítások ablak.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
A <i>Back to main window</i> gomb megnyomása vagy az ablak bezárása.	A tanító ablak eltűnik és a főablak jelenik meg.
Az <i>Open training image</i> gomb megnyomása.	Megjelenik egy fájlválasztó dialógusablak, ahol <i>.tif</i> kiterjesztésű fájlokat lehet megnyitni.
Az <i>Open training image</i> gomb megnyomásával megjelenő fájlválasztó dialógusablakban kijelölt, az alkalmazásban használható felvételek megnyitása.	A kiválasztott fájlok nevei megjelennek az <i>Opened files</i> listában.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
Az <i>Open training image</i> gomb megnyomásával megjelenő fájlválasztó dialógusablakban kijelölt, az alkalmazásban nem használható felvételek megnyitása.	Felugró üzenetablak figyelmezteti a felhasználót, hogy érvénytelen felvételeket akart megnyitni. A kiválasztott felvételek nevei nem jelennek meg az <i>Opened files</i> listában.
Egy fájl nevének kiválasztása az <i>Opened files</i> listában, majd a <i>Delete training image</i> gomb megnyomása.	A kijelölt fájl neve eltávolításra kerül az <i>Opened files</i> listából.
Nincs fájl kiválasztva az <i>Opened files</i> listában, majd a <i>Delete training image</i> gomb megnyomása.	Nem történik semmi.
A <i>Color</i> gomb megnyomása.	Felugrik egy színválasztó ablak.
A színválasztó ablakon kiválasztott szín elfogadása.	Megváltozik a <i>Color</i> gomb háttérszíne.
Nincs fájl kiválasztva és az <i>Add new Class</i> gomb megnyomása.	Nem történik semmi.
Fájl kiválasztva, <i>Class ID</i> , <i>Class Name</i> , <i>Color</i> helyesen kitöltve, majd az <i>Add new Class</i> gomb megnyomása.	A felvételhez hozzáadódik az új osztály a megadott <i>Class ID</i> és <i>Class Name</i> paraméterekkel. Ez megjelenik a gördíthető fanézetben.
Fájl kiválasztva, <i>Class Name</i> mező üres, majd az <i>Add new Class</i> gomb megnyomása.	Felhasználó figyelmeztetése a hibáról.
A keretben megjelent felvételen a bal egérgomb megnyomása.	Egy piros kör megjelenése a kattintás helyén.
A keretben megjelent felvételen legalább három piros kör található, a fanézetben egy osztály ki van választva, majd a görgő megnyomása úgy, hogy a kurzor a keretben van.	A lerakott pontok által reprezentált poligon megjelenése, a piros körök eltűnése.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
A keretben megjelent felvételen legalább három piros kör található, a fanézetben nincs osztály kiválasztva, majd a görgő megnyomása úgy, hogy a kurzor a keretben van.	Nem történik semmi.
Egy poligon lehelyezése.	A fanézetben a kiválasztott osztály alatt megjelenik egy új sor a poligon egyedi azonosítójával.
Egy osztály ki van választva a fanézetben, majd a <i>Delete Class</i> gomb megnyomása.	Az osztály és a hozzá tartozó poligonok is törlésre kerülnek.
Egy olyan sor van kiválasztva a fanézetben, mely egy poligon egyedi azonosítóját tartalmazza. Ezután a <i>Delete Class</i> gomb megnyomása.	A kiválasztott poligon eltávolításra kerül.
A kiválasztott felvétel már tartalmaz osztályokat és poligonokat. Ezután egy olyan felvétel kiválasztása, mely nem tartalmaz osztályokat és poligonokat.	Az eddig látható poligonok eltűnnek, a fanézet kiürül, megjelenik a kiválasztott felvétel.
A kiválasztott felvétel már tartalmaz osztályokat és poligonokat. Ezután egy olyan felvétel kiválasztása, mely szintén tartalmaz osztályokat és poligonokat.	Az eddig látható poligonok eltűnnek, a fanézet tartalma kicserélődik, megjelenik a kiválasztott felvétel és az ahhoz tartozó poligonok.
Egy felvételen már létezik osztály <i>X</i> azonosítóval és <i>Y</i> megnevezéssel. A <i>Class ID</i> mezőbe az <i>X</i> értéket, míg a <i>Class Name</i> mezőbe az <i>Y</i> nevet írjuk. Ezután az <i>Add new Class</i> gomb megnyomása.	Felhasználó figyelmeztetése arról, hogy a <i>Class ID</i> vagy a <i>Class Name</i> már használatban van ezen a felvételen. Az osztály létrehozása nem történik meg.

Felhasználói cselekvés	Várt kimenet
<p>Rendelkezésre áll megfelelő számú tanító adat (osztály és poligon). Ezután a <i>Start training</i> gomb megnyomása.</p>	<p>A tanítási folyamat megkezdése, a vezérlők deaktiválása, a folyamatjelző sáv elindulása. A folyamat közben a kimeneti fájl nevének bekérése egy fájl mentő dialógusablak segítségével. A sikeres tanításról a felhasználó értesítése.</p>
<p>Nem áll rendelkezésre megfelelő számú tanító adat (osztály és poligon). Ezután a <i>Start training</i> gomb megnyomása.</p>	<p>A felhasználó értesítése a tanító adatok hiányáról.</p>

3.3. táblázat. A fekete-doboz tesztelés eredményei - Tanító ablak.

3.8.3. Futási idők

A futási idők mérésekor felmerült az a probléma, hogy nagy méretű képek osztályozása esetén az operációs rendszer letiltja a számításokhoz szükséges memória terület lefoglalását. Emiatt változtatni kellett az algoritmus működésén. A végső megoldásban a bemenő adatokat több részre osztom, és ezeket a részeket egymás után osztályozom. Ezáltal megoldódott az allokálási probléma.

Megjegyzés: A *Hot-spot detection* és *Floating waste detection* folyamatok futási ideje a nagy méretű felvételek esetén a szükséges indexek kiszámítása miatt ennyire jelentős. Az osztályozási és morfológiai folyamatok futási idő töredékét képezték.

Folyamat	Felvétel mérete	Futási idő
Hot-spot detection	$164 \times 312 = 51\,168$	2,17 mp
	$1194 \times 801 = 956\,394$	39,98 mp
	$4597 \times 4153 = 19\,091\,341$	12 p 42 mp
	$6614 \times 5981 = 39\,558\,334$	26 p 5 mp
Floating waste detection	$164 \times 312 = 51\,168$	2,5 mp
	$1194 \times 801 = 956\,394$	42,45 mp
	$4597 \times 4153 = 19\,091\,341$	14 p 7 mp
	$6614 \times 5981 = 39\,558\,334$	29 p 41 mp
Washed up waste detection	$515 \times 828 = 426\,420,$ $417 \times 703 = 293\,151$	7,79 mp
	$553 \times 642 = 355\,026,$ $1194 \times 801 = 956\,394$	12,92 mp
	$3772 \times 3632 = 13\,699\,904,$ $4597 \times 4153 = 19\,091\,341$	5 p 33 mp
	$6614 \times 5981 = 39\,558\,334,$ $4081 \times 4361 = 17\,797\,241$	9 p 11 mp

3.4. táblázat. A különböző folyamatok futási ideje.

4. fejezet

Összegzés

A kutatás célja olyan hulladékdetektálási módszerek tesztelése és fejlesztése volt, melyek a gyakorlatban is használhatóak, és a hulladékgyűjtő szervezetek munkáját megkönnyítik. Az ehhez elkészített megoldás kompatibilis bármilyen legalább négy sávval rendelkező PlanetScope és Sentinel-2 műholdfelvétellel, melynek kötelezően tartalmaznia kell a *Kék*, *Zöld*, *Vörös*, *Közeli infravörös* sávokat.

A legjobb eredményeket a vízfelszíni folyami torlaszok detektálásával lehetett elérni. Itt az osztályozott képeken jól láthatóan elkülönül a vízfelszínen lebegő szemétsziget a környezetétől. A legkevésbé látványos eredményeket pedig a hullámtérben ismert helyen lerakott hulladékok észlelése produkálta.

Továbbfejlesztési lehetőségnek az osztályozási modell nagyon nagy mennyiségű adat felhasználásával való továbbtanítását látom. A felvételek feldolgozása végezhető lenne párhuzamos módon is, valamint a különféle indexek számolását végző algoritmus hatékonysága szintén növelhető. Ezek a fejlesztések a feldolgozási idő csökkenését eredményezhetnék. A hullámtérben ismert helyen lerakott hulladékok detektálásának pontossága még javítható lenne, ez az irány további kutatást igényel.

Összegzésként elmondhatjuk, hogy a bemutatott módszerek akár a gyakorlatban is alkalmazhatóak egy olyan végfelhasználót feltételezve, aki a legjobb tudása szerint megítéli a kapott eredményeket, azokat körültekintően használja fel.

Köszönetnyilvánítás

A kutatási munka az ELTE Informatikai Kar¹ és az InforNess Training Kft.² pénzügyi, valamint a Lechner Tudásközpont³ és a Tiszai PET Kupa⁴ hulladékgyűjtő szervezet szakmai támogatásával valósult meg. A PlanetScope műholdfelvételek a Planet Labs Inc. *Education and Research Program*-ja keretében kerültek a kutatáshoz biztosításra [30].

¹ELTE Informatikai Kar - <https://inf.elte.hu/>

²InforNess Training Kft. - <https://www.inforness.hu/>

³Lechner Tudásközpont - <https://lechnerkozpont.hu/>





⁴PET Kupa - https://petkupa.hu/hu_HU/

A. függelék




Szimulációs eredmények

Ebben a fejezetben bemutatásra kerül a kifejlesztett módszerek néhány eredménye. Amelyiknél lehetett, ott több mintaterület kerül szemléltetésre. Az ősszel és télen készült felvételek osztályozása nem ad jó eredményeket, ennek oka, hogy a rossz időjárási körülmények miatt nem készült olyan felvétel, ami érdemben alkalmazható lett volna tanításra. Az alább látható eredmények tavaszi, illetve nyári felvételek feldolgozása során keletkeztek.

Az osztályozott képeken a legfontosabb szín a piros, mivel ez jelöli a modell szerint hulladékkal fedett területeket (A.1 táblázat). A hőterképeken pedig a szemetes területek egy részhalmaza látható. Ezekon a színek azokat a valószínűségeket jelentik, hogy a modell mennyire volt biztos a döntésében (A.2 táblázat).

Osztály	Szín
hulladék	piros 
víz	kék 
erdő/mező	zöld 
épület	szürke 
szántóföld	barna 

A.1. táblázat. Osztályok és színezésük.

Valószínűség	Szín
90% - 100%	piros 
80% - 90%	sárga 
70% - 80%	zöld 

A.2. táblázat. Hőterkép valószínűségei és színezésük.

A.1. Hot-spot detektálása

Ennél a módszernél csak egy osztályozásból állt a folyamat. Az A.1-es ábrán látható a Depónia Hulladékkezelő Központ¹ területének osztályozása. Míg az A.2-es ábrán a PET Kupa² szervezet munkatársai által megjelölt egyik terület, a romániai Kányaházi tó³ található, amit potenciális veszélyforrásként kezelnek hot-spotok kialakulása szempontjából. Mindegyik osztályozás viszonylag pontosnak mondható.

A.2. Vízfelszíni folyami torlaszok detektálása

Ez a módszer adta a leglátványosabb eredményeket. Az osztályozott képeken szereplő hulladékkal borított területek (piros) jól elkülönülnek környezetüktől (A.3, A.4 ábrák). A folyó partján látható piros foltok, melyek nem érintkeznek vízzel (kék), eliminálását megfontoltam, azonban arra a következtetésre jutottam, hogy mégis rajtahagyom őket a végső képeken. Ennek oka az volt, hogy előfordultak olyan esetek, mikor a szemétsziget osztályozása során nem vízzel érintkezett, hanem egyéb más osztályokkal. Ebben az esetben a tényleges hulladék is eltávolításra került volna.

A.3. A hullámtérben ismert helyen lerakott hulladék detektálása

Ez a módszer adta a legkevésbé látványos eredményeket, hiszen itt nagyon kis kiterjedésű hulladékkal fedett területekről beszélünk. Az eredmény képeken fehér ellipszisekben szereplő fehér képpontok a nagyon magas PI [14] értékkel rendelkezők, melyekből láthatóan csak néhány darab van (A.5 ábra). Ezen pixelek mérete növelésre került, hogy jobb vizuális élményt nyújtsanak, ennél kisebb területet fednek le a valóságban. A PET Kupa hulladékgyűjtő szervezettel való egyeztetés során arra a következtetésre jutottunk, hogy ezek akár valós adatok is lehetnek, mivel az első felvétel az közvetlenül egy hulladékgyűjtő akció előtt, míg a második közvetlenül utána készült. Más felvételeken viszont nem sikerült biztos eredményeket elérni.

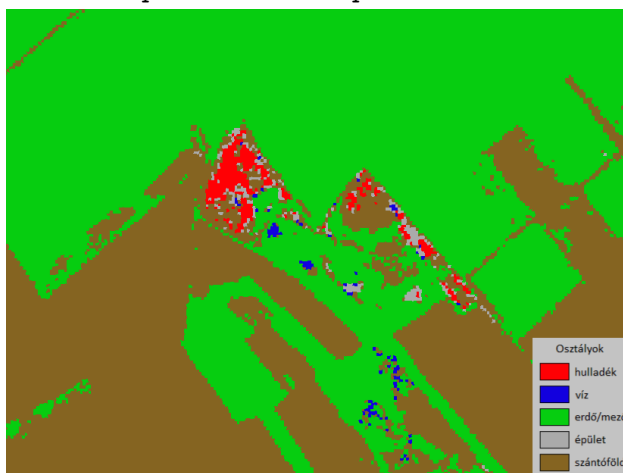
¹Depónia Hulladékkezelő Központ - <https://goo.gl/maps/v5vhPBkppjRAfTuG6>

²PET Kupa - https://petkupa.hu/hu_HU/

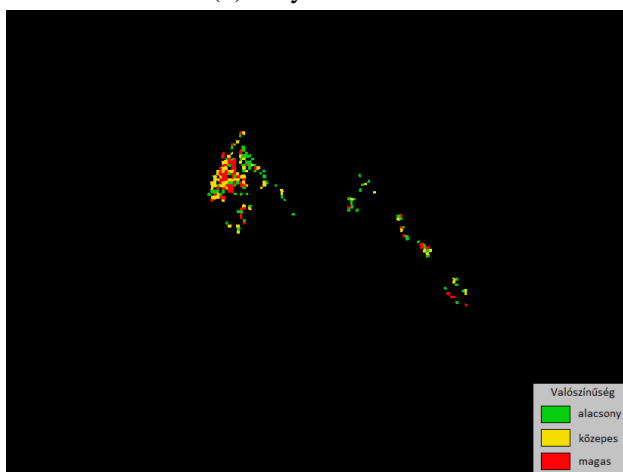
³Kányaházi tó - <https://goo.gl/maps/TZN3eiPZYaCZgZju6>



(a) Folyamat előtt, Forrás:
<https://scihub.copernicus.eu/>



(b) Folyamat után

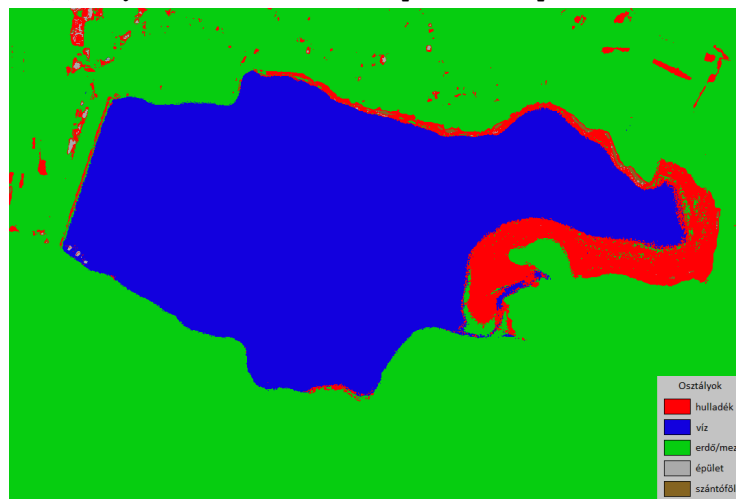


(c) Heatmap

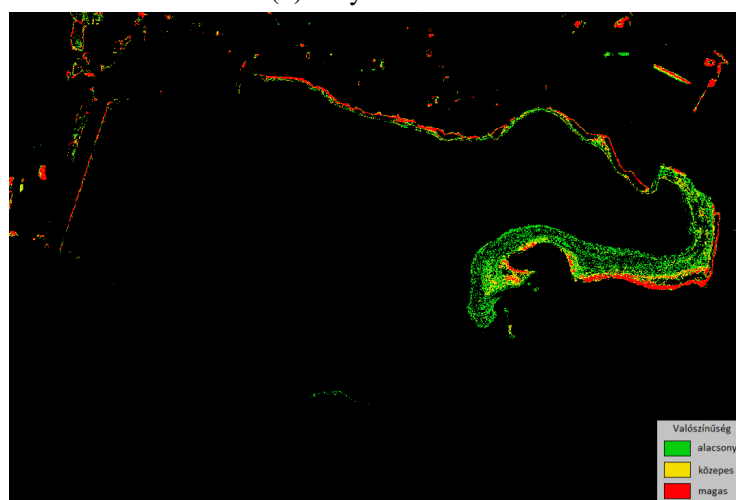
A.1. ábra. Depónia Hulladékkezelő Központ, Magyarország - 2019.06.27.



(a) Folyamat előtt, Forrás: <https://www.planet.com/>

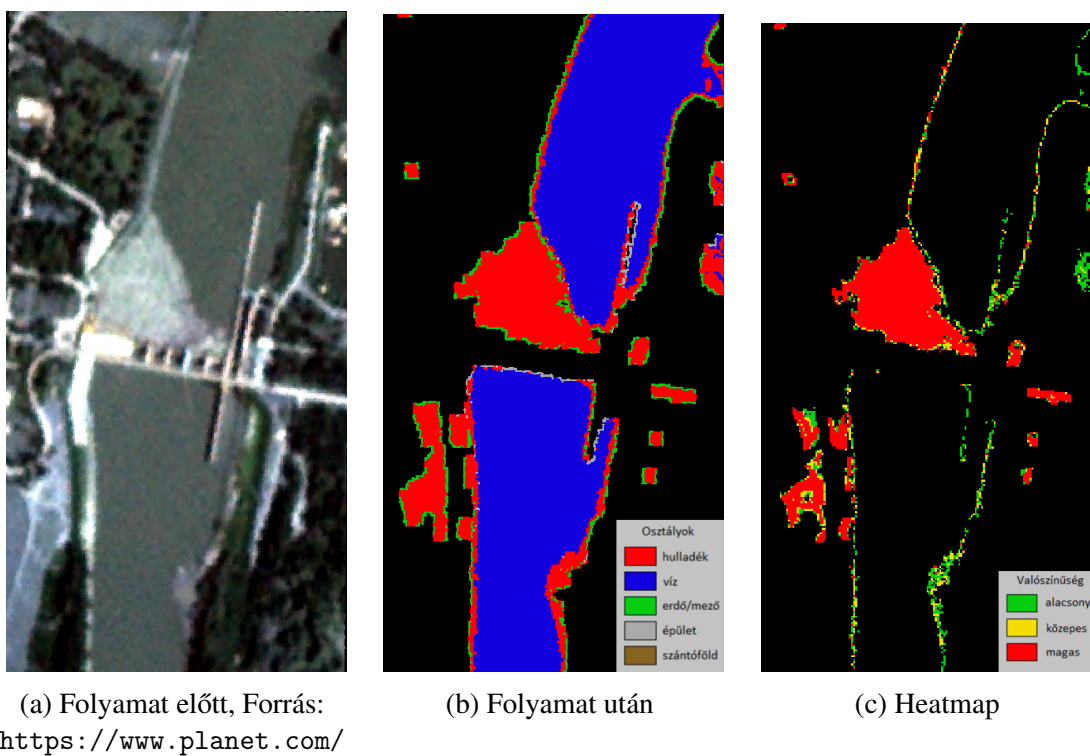


(b) Folyamat után

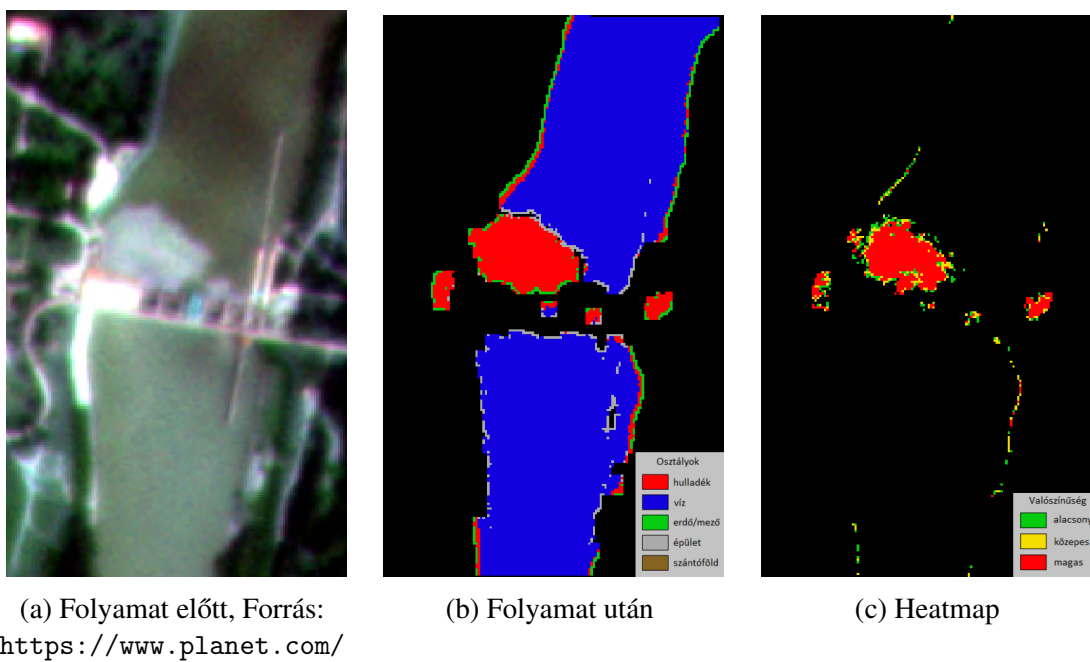


(c) Heatmap

A.2. ábra. Kányaházi tó, Románia - 2020.09.16.



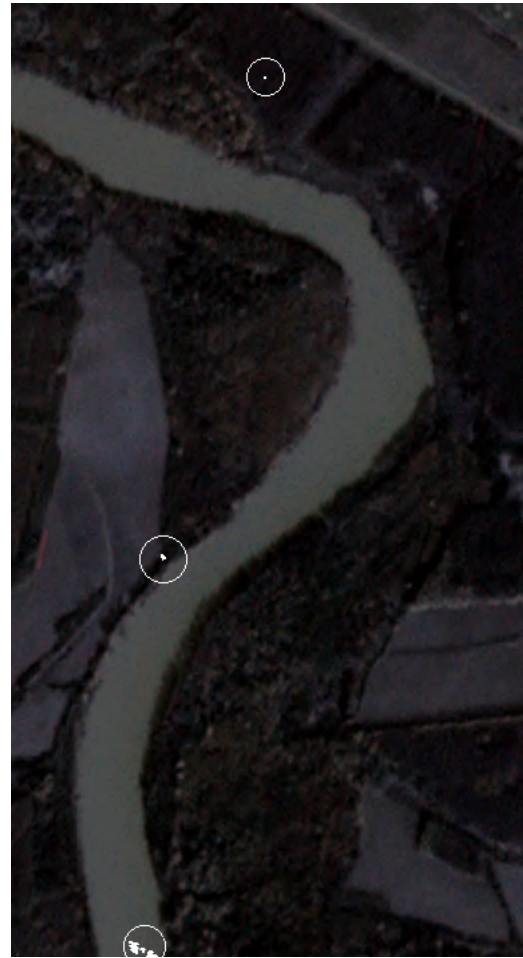
A.3. ábra. Kiskörei vízerőmű, Magyarország - 2019.07.02.



A.4. ábra. Kiskörei vízerőmű, Magyarország - 2020.07.23.



(a) Hulladékgyűjtés előtt magas



(b) Hulladékgyűjtés után magas

A.5. ábra. A hullámtérben ismert helyen lerakott hulladék detektálása eredmény. A különbség eltérése a középértéktől - Tiszaszalka, 2019 március. A háttérben látható műholdfelvétel forrása: <https://www.planet.com/>

Irodalomjegyzék

- [1] Katona Gábor. „A Tisza folyó hulladékszennyezése”. *Műszaki Katonai Közlöny* 29.4 (2019), 65–80. old.
- [2] PET Kupa. *PET PALACK ÁRADAT*. https://petkupa.hu/hu_HU/pet-palack-aradat. Hozzáférve: 2022-05-09.
- [3] *A legsúlyosabb képek a tiszai jeges árról*. <https://index.hu/belfold/2017/02/17/a-legsulyosabb-kepek-a-tiszai-jegesarrol/>. Hozzáférve: 2022-05-09. 2017.
- [4] Sk. Sazid Mahammad és R. Ramakrishnan. *GeoTIFF - A standard image file format for GIS applications*. <https://www.geospatialworld.net/article/geotiff-a-standard-image-file-format-for-gis-applications/>. Hozzáférve: 2022-05-05. 2009.
- [5] James D. Murray és William VanRyper. „Encyclopedia of graphics file formats”. *TIFF*. Bonn és Sebastapol, CA: O’Reilly & Associates, 1996, 880–908. old.
- [6] ESA. *Europe’s Copernicus programme*. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Europe_s_Copernicus_programme. Hozzáférve: 2022-05-05. 2014.
- [7] Earth Online. European Space Agency. *Sentinel-2*. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Hozzáférve: 2022-05-05.
- [8] Earth Online. European Space Agency. *Spot*. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/spot>. Hozzáférve: 2022-05-05.
- [9] Earth Online. European Space Agency. *Landsat*. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/landsat>. Hozzáférve: 2022-05-05.
- [10] Earth Online. European Space Agency. *PlanetScope*. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope>. Hozzáférve: 2022-05-05.

- [11] Earth Online. European Space Agency. *Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) Overview*. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>. Hozzáférve: 2022-05-05.
- [12] GISGeography. *Sentinel 2 Bands and Combinations*. <https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/>. Hozzáférve: 2022-05-05.
- [13] Planet. *PLANET IMAGERY PRODUCT SPECIFICATIONS*. Hozzáférve: 2022-05-05. 2019. URL: <https://assets.planet.com/docs/combined-imagery-product-spec-final-may-2019.pdf>.
- [14] Kyriacos Themistocleous és tsai. „Investigating Detection of Floating Plastic Litter from Space Using Sentinel-2 Imagery”. *Remote Sensing* 12.16 (2020). ISSN: 2072-4292. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/16/2648>.
- [15] scikit learn. *sklearn.ensemble.RandomForestClassifier*. <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html>. Hozzáférve: 2022-05-07.
- [16] Tom M. Mitchell. *Machine Learning*. New York: McGraw-Hill, 1997. ISBN: 978-0-07-042807-2.
- [17] Stuart J. Russell és Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. London: Pearson Education, 2016.
- [18] E. Alpaydin. *Introduction to Machine Learning, third edition*. Adaptive Computation and Machine Learning series. MIT Press, 2014. ISBN: 9780262325752. URL: <https://books.google.hu/books?id=7f5bBAAAQBAJ>.
- [19] Tarczali Tamás. „Drónnal rögzített légifelvételek klaszterező algoritmusainak elemzése”. Dipl. Eötvös Loránd Tudományegyetem, 2021.
- [20] Gérard Biau és Erwan Scornet. „A Random Forest Guided Tour”. *TEST* 25 (2015. nov.). DOI: 10.1007/s11749-016-0481-7.
- [21] M. Stone. „Cross-Validatory Choice and Assessment of Statistical Predictions”. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 36.2 (1974), 111–133. old. URL: <https://rss.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2517-6161.1974.tb00994.x>.
- [22] scikit learn. *Cross-validation: evaluating estimator performance*. https://scikit-learn.org/stable/modules/cross_validation.html. Hozzáférve: 2022-05-07.

- [23] Israel Dryer. *tkbootstrap*. <https://tkbootstrap.readthedocs.io/en/latest/>. Hozzáférve: 2022-05-24.
- [24] OpenCV. *Morphological Transformations*. https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html. Hozzáférve: 2022-05-29.
- [25] Shapely. *The Shapely User Manual*. <https://shapely.readthedocs.io/en/stable/manual.html>. Hozzáférve: 2022-05-29.
- [26] GDAL. *GDAL*. <https://gdal.org/index.html>. Hozzáférve: 2022-05-29.
- [27] Goran Trlin. *Flood fill algorithm in Python*. <https://playandlearntocode.com/article/flood-fill-algorithm-in-python>. Hozzáférve: 2022-05-07.
- [28] foobar167. *Manual image annotation*. https://github.com/foobar167/junkyard/tree/master/manual_image_annotation1. Hozzáférve: 2022-05-27.
- [29] GeeksforGeeks. *Autohiding Scrollbars using Python-tkinter*. <https://www.geeksforgeeks.org/autohiding-scrollbars-using-python-tkinter/>. Hozzáférve: 2022-05-27.
- [30] Planet Team. *Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth*. <https://api.planet.com/>. San Francisco, CA. 2017.

Ábrák jegyzéke

2.1. Folyamatok kiválasztása, fájlok megnyitása, törlése.	10
2.2. A megnyitott fájlok listája.	11
2.3. <i>Random Forest</i> tanítása, feldolgozási folyamat elindítása.	11
2.4. Egyéb analízis funkciók.	12
2.5. Felvételek megjelenítése 1.	13
2.6. A hulladékkal fedett területek kiterjedésének statisztikája.	13
2.7. Felvételek megjelenítése 2.	14
2.8. Az elmentett GeoJSON fájl.	14
2.9. Az alkalmazás főablaka.	15
2.10. A beállítások ablaka.	16
2.11. Vezérlők az interaktív tanító felületen.	23
2.12. Pontok és poligonok lehelyezése.	23
2.13. Az interaktív tanító felület.	24
2.14. Tanító címkék.	26
3.1. Egy betanított döntési fa, és a felhasznált tanító adathalmaz.	28
3.2. <i>Random Forest</i> döntéshozatal.	29
3.3. Keresztvalidáció.	30
3.4. Pusztazámori hulladéklerakó.	31
3.5. Kiskörei vízerőmű.	32
3.6. A pusztazámori tanító terület osztályozása.	33
3.7. Morfológiai transzformációk.	34
3.8. A kiskörei vízerőmű szeméttorlaszának detektálása.	35
3.9. Hulladékgyűjtési akció.	37
3.10. Tiszai jeges ár 2017 februárjában.	37
3.11. A <i>Plastic Index</i> különbsége tiszaszalkai felvételeken, 2019 március. . . .	38
3.12. A különbség eltérése a középértéktől hulladékgyűjtés során - Tiszaszalka, 2019 március.	38

3.13. MVC architektúra.	39
3.14. A főképernyő felhasználói esetei.	41
3.15. Az interaktív tanító felület felhasználói esetei.	41
3.16. A beállítások felület felhasználói esetei.	41
3.17. A főképernyő látványterve.	42
3.18. Az interaktív tanító felület látványterve.	42
3.19. A beállítások felület látványterve.	43
3.20. A modell réteg osztálydiagramja.	44
3.21. A kivételek osztálydiagramja.	47
3.22. A nézet réteg osztálydiagramja.	49
3.23. Az egyes ablakok közötti navigálhatóság.	50
3.24. A Controller osztálydiagramja.	51
A.1. Hot-spot detektálás eredmény 1	68
A.2. Hot-spot detektálás eredmény 2	69
A.3. Vízfelszíni folyami torlaszok detektálása eredmény 1	70
A.4. Vízfelszíni folyami torlaszok detektálása eredmény 2	70
A.5. A hullámtérben ismert helyen lerakott hulladék detektálása eredmény. . .	71

Táblázatok jegyzéke

2.1. Sentinel-2 sávok	7
2.2. PlanetScope sávok	7
2.3. Felhasznált indexek kiszámítása	7
2.4. Egyéb indexek kiszámítása	8
2.5. Rendszerkövetelmények.	8
2.6. Műhold típus beállítása.	16
2.7. Sentinel-2 műhold paramétereinek beállítása.	16
2.8. Az alkalmazás által használt algoritmusok paramétereinek beállításai. . .	18
2.9. Hőterkép színezési szabályai.	18
2.10. Tanító címkék beállításai - Sávok.	19
2.11. Tanító címkék beállításai - Indexek.	19
2.12. Elérési útvonalak beállításai.	19
2.13. A kimeneti fájlokhoz kapcsolódó beállítások.	21
2.14. Osztályok színének beállításai.	21
2.15. <i>Random Forest</i> tanítási idő kb 200 ezer képponttal.	25
2.16. <i>Random Forest</i> osztályozási idő.	25
3.1. A fekete-doboz tesztelés eredményei - Főablak.	58
3.2. A fekete-doboz tesztelés eredményei - Beállítások ablak.	59
3.3. A fekete-doboz tesztelés eredményei - Tanító ablak.	62
3.4. A különböző folyamatok futási ideje.	63
A.1. Osztályok és színezésük.	66
A.2. Hőterkép valószínűségei és színezésük.	66

Algoritmusjegyzék

1. A *Random Forest* algoritmus predikciós eljárásának pseudokódja, amely egy korábban betanított modellt (*forest*) használ az X felvétel osztályozására. 29

Forráskódjegyzék

2.1. Saját környezet létrehozása.	9
2.2. Saját környezet aktiválása.	9
2.3. Az alkalmazás futtatása.	9
3.1. Az automatikus tesztesetek futtatása.	52