

HIPERSPEKTRÁLIS KÉPFELDOLGOZÁS AZ AGRÁRIUMBAN

PLUZSIK MÁRTON
BME GPK MECHATRONIKAI MÉRNÖKI MSC
2023/24 ősz

Konzulens:

Dr. Nagy Balázs Vince
egyetemi docens

Budapest, 2023.10.10.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	4
1.1. Absztrakt	4
1.2. Célkitűzések	4
2. Szakirodalmi áttekintés/Előzmények	5
2.1. Spektroszkópia	5
2.2. Hiperspektrális képalkotás.....	7
2.3. Hiperspektrális kamerák	9
2.4. Kamerák jellemzői.....	10
2.4.1. Felhasználás:.....	13
2.5. Mezőgazdasági vizsgálatok	15
2.6. SentinelHub.....	19
3. a program létrehozása.....	24
3.1. Létező programok megismerése	24
3.2. MATLAB, APP DESIGNER.....	26
3.3. Alapvető funkciók	27
3.3.1. Képek beolvasása.....	27
3.3.2. Előre definiált indexek	28
3.3.3. Egyéni kombinációk megadása.....	28
3.3.4. Számolás sorozatokkal, grafikonok.....	29
3.3.5. Egyéb funkciók, hibakezelés	30
4. A program használata, Verziók.....	31
4.1. Az első változat: Indexek számítása.....	31
4.2. A második változat: Jobb felhasználói élmény	32
4.3. Visszaállítás MATLABra, a hatékonyság növelése.....	33
4.4. A harmadik verzió: Gyorsaság, új lehetőségek.....	34
5. Összefoglalás/Eredmények értékelése.....	36
5.1. Eredmények	36
5.2. Felhasználás	39
6. Felhasznált források.....	40

1. BEVEZETÉS

1.1. Absztrakt

Korunk egyik jelentős problémája a Föld növekvő népességének élelmiszerrel való ellátása. A termőterületek nagyságának csökkenése, a változó időjárás és az újfajta igények mellett a modern mezőgazdaság számos kihívással néz szembe, melyekre a megoldást a termelés térben és időben történő folyamatos optimalizálása jelentheti.

A projektem keretében egy műholdak felvételeit elemző programot írtam, amely mesterséges intelligenciát és az általa szolgáltatott adatokat használ, ezzel a mezőgazdaság digitalizációját segítve elő.

Az alkalmazás elsősorban mezőgazdasági termelés hatékonyságának növelésére, a megtermelt haszonnövények minőségi és mennyiségi optimalizációjára használható.

A pályamű első részében a kapcsolódó irodalmi összefoglaló található, melynek során elsőként ismertetem a projekthez szorosan kapcsolódó tudományterületeket, illetve olyan fogalmakat mint például a spektroszkópia vagy a hiperspektrális képalkotás. Ezt követően a használt eszközök fajtáit és céljait, az agráriumban használt műholdakat és a különböző képfeldolgozó módszereket mutatom be. A munkám második felében ismertetem az általam készített program részleteit, tulajdonságait, a munkafolyamatot és az ezt követő tesztelés eredményeit is. Az utolsó fejezetben pedig az elért eredményeket és a felhasználási lehetőségeket foglaltam össze.

1.2. Célkitűzések

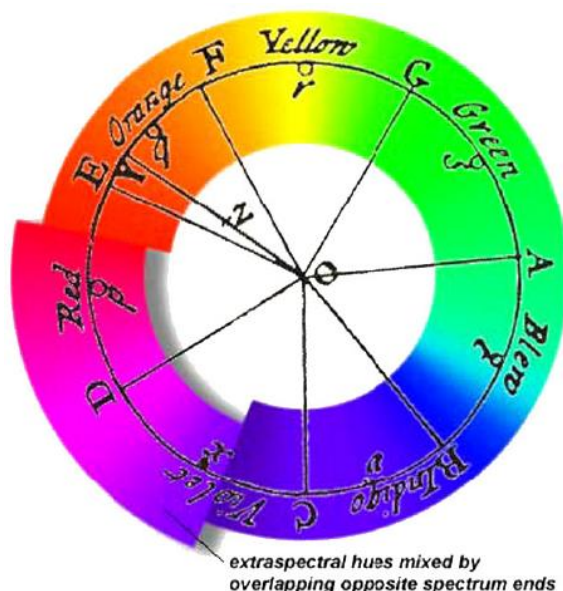
Az alkalmazás műholdon vagy drónon elhelyezett hiperspektrális kamerák felvételeit felhasználva szolgáltat információt a növényzet és az adott terület állapotáról, az egyes agráriumban használt indikátorok, indexek, mérhető paraméterek figyelembevételével. A pályamű eredményei a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem MOGI Tanszékének jelenleg is aktív szántóföldi növénytermesztés optimalizálását és digitalizációját célzó projektjének előkészítésében is felhasználásra kerülnek, különös tekintettel a hiperspektrális adatok szoftveres elemzése és az alkalmazott képfeldolgozási módszerek terén.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS/ELŐZMÉNYEK

2.1. Spektroszkópia

Az anyagok tulajdonságainak meghatározására szolgáló roncsolásmentes technológia a spektroszkópia, amelynek segítségével a megvilágított anyagok fénnel való interakciójából vonhatók le következtetések.[1] A spektroszkópia első nagy úttörője Sir Isaac Newton volt. 1704-ben publikált, Optika című könyvében lejegyezte, hogy a rájuk irányított fényt az egyes anyagok különböző mértékben nyelik el, eresztik át vagy verik vissza.[2] Ezen túlmenően felfedezte, hogy a fehér fény (például prizma segítségével) komponenseire bontható, majd a komponensekből ismét előállítható. Az általa felírt spektrumot ROYGBIV skálának nevezte, mely színek (piros, narancssárga, sárga, zöld, kék indigó, viola) teljes egészében lefedik a látható fénytartományt.

Newton a hét színt egyenlő arányban helyezte el egy kör körcikkein, majd a kört megpörgetve azt tapasztalta, hogy az emberi szem fehérnek látja azt. [1.ábra]



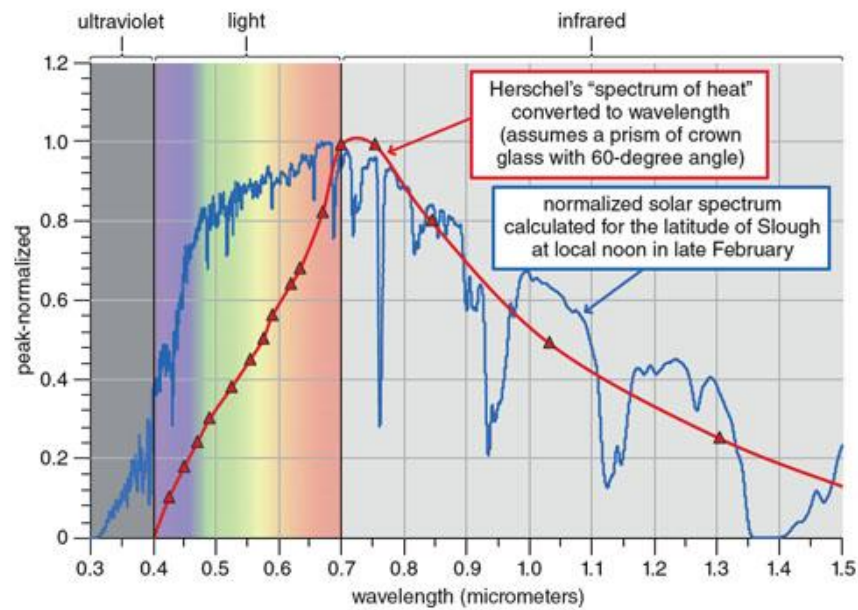
1. ábra: Newton színekora A ROYGBIV-skálával[3]

Érdeemes szót ejteni a fény kettős természetéről, melyet szintén Newton írt le. Eszerint a fény nem csupán hullám-, hanem részecsketermészetű is, ezáltal érvényesek rá a klasszikus mechanika törvényei. A fény természetét azóta is külön, geometriai- és hullámoptikai megközelítés szerint vizsgálják.

Newton modelljében a fény részecskéi apró gömbök, így a fény anyag, és energiát hordoz.[2] A fény részecsketermészetéről alkotott képünket később a kvantummechanika atyja, Max Planck (1858-1947) a fotonok felfedezésével tökéletesítette.

Newton felfedezését követően a fénnel kapcsolatos kutatások egyik fontos mérföldköve volt, amikor 1800-ban az angol William Herschel publikálta kísérleteit, melyek az infravörös (és közvetlenül több más tartomány) sugárzás felfedezéséhez vezettek.

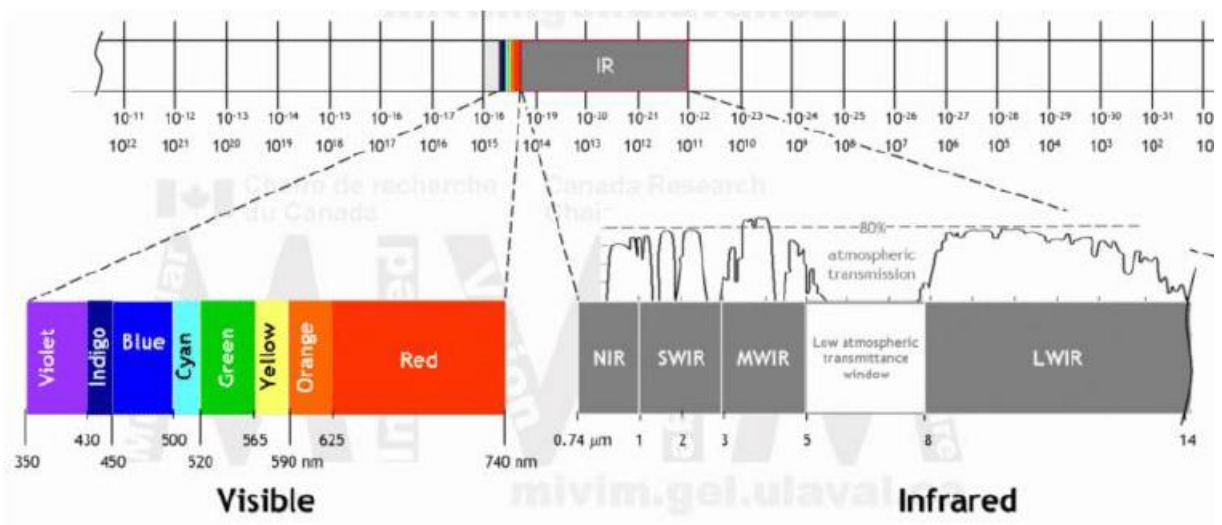
A csillagászként dolgozó Herschel megfigyelte, hogy a teleszkópba tett üveglencsék napfény hatására anyagtól függően különböző módon melegedtek fel. [4]



2. ábra: A szállított hő a hullámhossz függvényében[4]

Ezért a fényt prizmával felbontva kezdte megfigyelni a fény hullámhossza és hőszugárzó képessége közti összefüggést. A kísérlet eredményeképpen leírta, hogy a látható fénytartományon belül a hullámhossz növekedésével nő a részecskék által szállított hőmennyiség. [2.ábra] Ezentúl felfedezte azt is, hogy a hullámhossz növelésekor a látható tartományból kilépve a hőszugárzó képesség tovább nő.[4] Ezt a tartományt nevezzük ma infravörösnek.

A naptól érkező elektromágneses sugárzást tehát az egyes anyagok látható tartományban (ezt nevezzük fénynek) és azon kívül is visszaverik, a sugárzás pedig tartományokra bontható [3.ábra].



3. ábra: A látható fény és az infravörös tartomány részei hullámhosszonként[5]

Az ember számára látható fény hullámhossza 380-780 nm-ig terjed (egyedek enél kisebb vagy nagyobb hullámhosszokon is érzékelik a fényt). Az ezen túl elsőként felfedezett infravörös tartomány 740 nm feletti értékeket vesz fel, mely az alábbi részekre bontható:

- NIR (közeli infravörös, 740 nm-1 μm)
 - SWIR (rövidhullámhosszú infravörös, 1-3 μm)
 - MWIR (közepes hullámhosszú infravörös, 3-5 μm)
 - LWIR (hosszú hullámhosszú infravörös, 8 μm -)
- [6]

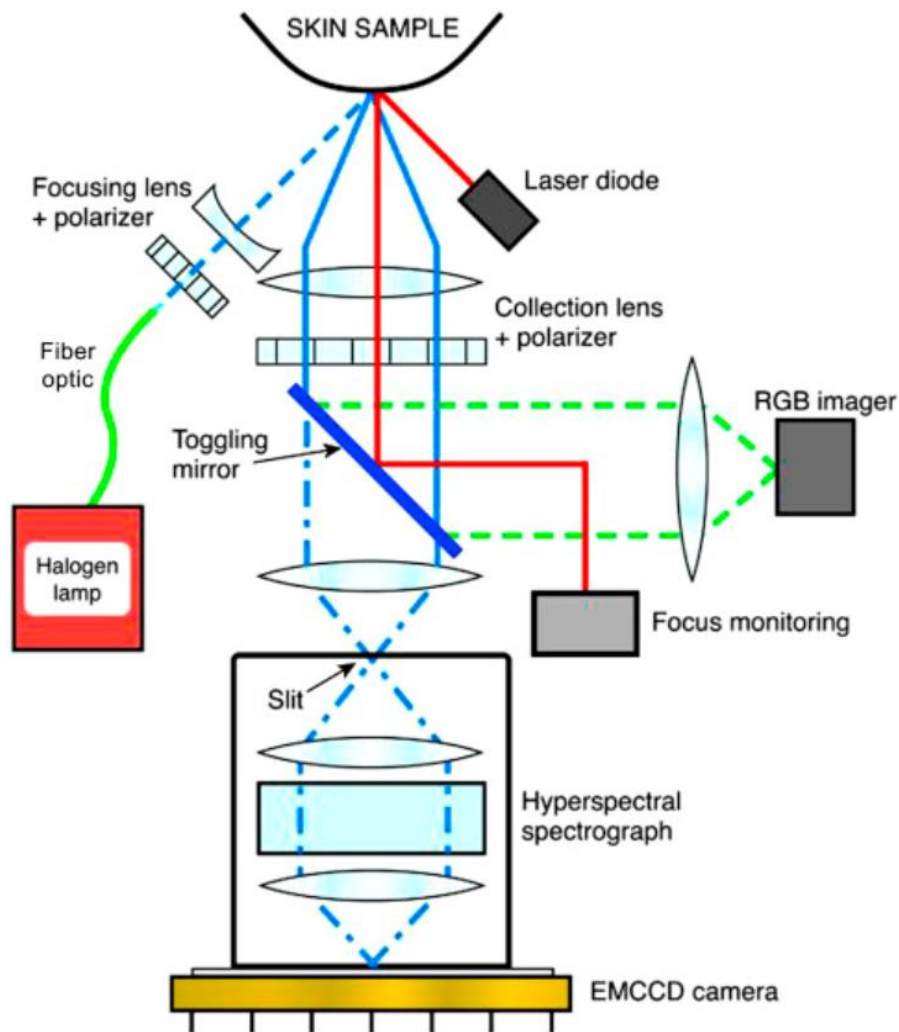
Az enél is nagyobb hullámhosszú sugárzás a mikrohullám, a milliméteres vagy centiméteres nagyságrend a rádióhullámok kategóriájába tartozik. A látható tartományból a másik irányba kilépve elsőként az ultraibolya, majd a röntgen-és a gammasugárzás következik.

2.2. Hiperspektrális képalkotás

A spektrométer a fény tulajdonságainak mérésére és tanulmányozására szolgáló eszköz, mely egy prizával elválasztja a különböző frekvenciákat, így szolgáltatva információt a különböző abszorpciós és emissziós vonalokról.[1] A spektrális vonalak tanulmányozásával határozhatóak meg egy felvétel alapján az ismeretlen anyagok.

Az eredetileg katonai célokra kifejlesztett hiperspektrális képalkotás (Hyperspectral Imaging-HSI) során ilyen képalkotó spektrométerrel gyűjtik be a szükséges információt.[7]

A képalkotó spektrométer, vagy más néven hiperspektrális kamera egy gyűjtőlencséből, egy prizából vagy diffrakciós rácsból, illetve egy CCD vagy CMOS detektorból áll [4.ábra].



4. ábra: Hiperspektrális kamera sematikus összeállítása[7]

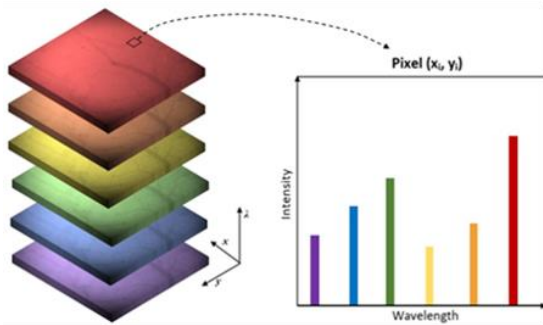
A hagyományos (egycsatornás) vagy multispektrális kamerák általában kizárólag előre kiválasztott hullámhosszokon (általában R, G, B-csatornákon) érzékelik a fényt, a legjobban 550 nm körül, a spektrum szélein pedig gyakran elég gyengén. A hiperspektrális kamerák esetében ettől eltérően a teljes tartományon belül történik az adatgyűjtés. Így az egyenletes képalkotás mellett a látható tartományból való kilépés is megtörténik.[8]

A fényt ezek mentén a spektrális sávok mentén szűrőkkel bontja alkotóelemeire. A hiperspektrális kamerával készült képek esetében minden egyes képkockához, minden vizsgált sávban hozzárendelhető az intenzitásérték, így az eltárolt adatból, ahogy az [5.ábra] mutatja, egy „hiperspektrális kocka” lesz, melyből a csatornákat kiválasztva alakíthatók ki a képek.[8]

Az így készült 2D szürkeárnyaltos képek összessége jelentősen több információt tartalmaz, mint egy hagyományos kamerával készült kép, a fejlettebb térbeli szegmentáción túl a megfigyelt anyag kémiai kompozíciójáról is információval szolgál.[7]

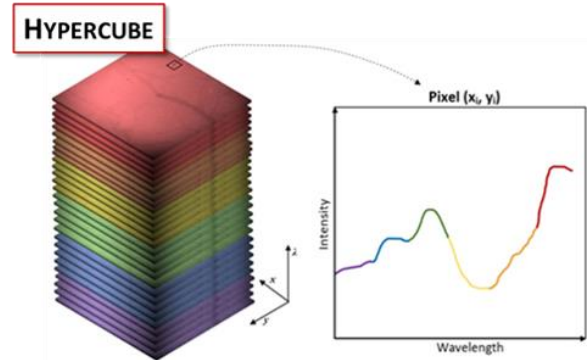
MULTISPECTRAL IMAGING

- N separated bands



HYPERSPECTRAL IMAGING

- Continuous spectrum



ENABLES SPECTRAL ANALYSIS

- Segmentation
- Spectral unmixing
- Evolution of spectra in time

5. ábra: A sávokat a „kocka” rétegeiként alkalmazva áll elő a hiperspektrális kép [9]

2.3. Hiperspektrális kamerák

A hiperspektrális képképzés négy fajtáját különíthetjük el a felvétel típusa alapján: [6.ábra]

Az első, úgynevezett „whiskbroom” módszer során a kamera pixelenként olvassa a beérkező sugarakat. Ez a módszer pontos, és kiváló felbontást eredményez, ezzel szemben a feldolgozási ideje nagy, hiszen két tengely mentén halad végig a felvétel során. A „pushbroom” technika során a beolvasás soronként történik, így a többi módszernél gyorsabb, egyszerűbben kezelhető és jobb a jel-zaj arány is. A „plane scanning” metódus síkonként dolgozza fel a spektrális sávokat. Így nincs szükség a szenzor állítgatására, ám a folyamat rendkívül időigényes. A négy közül a legújabb, a „single shot” eljárás, ahol egyszerre kerül beolvasásra minden szükséges adat.

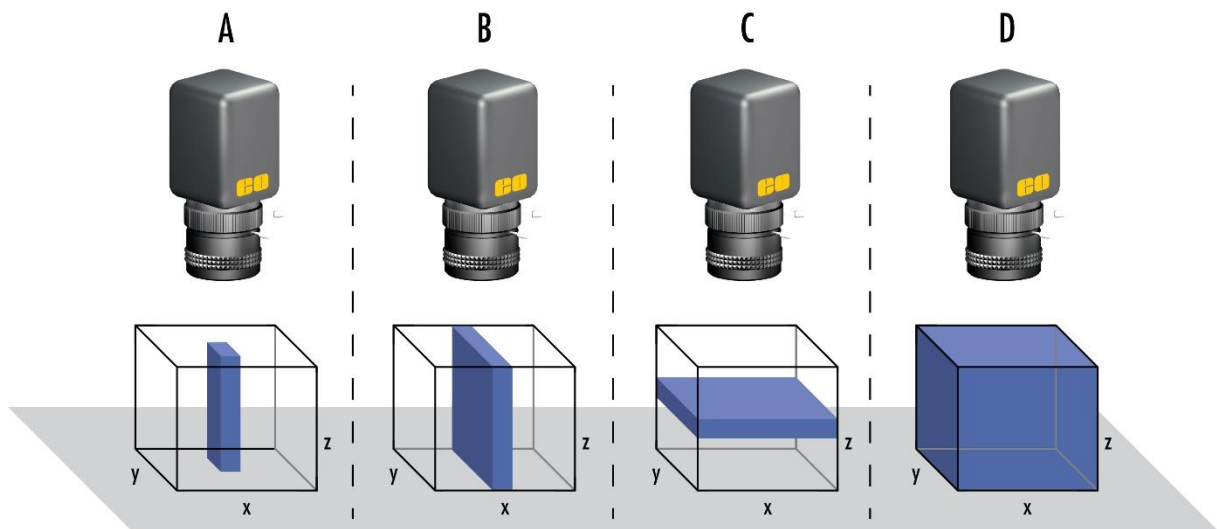
Ez a módszer sajnos sok hiányossága miatt még fejlesztés alatt áll, de a jövőben várhatóan a „single shot” fogja felváltani a jelenleg használatban lévőket. Összességében fontos az expozíciós idő beállítása, ellenkező esetben adatvesztés vagy

egyenetlen

szaturáció

léphet

fel.[8]



6. ábra: Hiperspektrális kamerák fajtái[7]

2.4. Kamerák jellemzői

A hiperspektrális kamerák esetében a hagyományos tulajdonságokon (kép felbontása, fényérzékenység, expozíciós idő, jel-zaj arány) túl az alábbi tényezőket érdemes figyelembe venni:

- Spektrális tartomány:

Általában a látható spektrum körüli, ám azt meghaladó tartomány. Az élelmiszeriparban általános a 400-1000nm-ig alkalmazható kamerák használata.[10]

- Spektrális sávok száma, spektrális felbontás:

Az elkészült képek mélységéről ad információt, a jobb felbontású, 2-300 spektrális sávval rendelkező kamerák esetében egy spektrális sáv csupán néhány nanométert fed le, így a vizsgált tárgy teljes kémiai kompozíciója meghatározható. Egyes kamerák esetében a sávok szélessége tartományonként változik, jellemzően NIR tartományban a legsűrűbb.[10]

- Robusztusság:

A hagyományos kameráknál jóval érzékenyebb kamerák működését nagy mértékben befolyásolják a környezeti tényezők, így fontos szempont a tárolási és működési hőmérséklet vagy páratartalom.

- Képváltási frekvencia („frame rate”):

A hagyományos kamerák esetében az emberi érzékeket messze kielégítő megoldások is régóta léteznek, azonban a rengeteg spektrális sávot felvevő hiperspektrális kamerák esetében a képváltási frekvencia lassabb és körülményesebb művelet, egyes területeken azonban a folyamatosság éppen akkora elvárás, mint egy hagyományos felvétel, például filmnézés esetén.

A piacon kapható kamerák jelenleg áruk és komplex használatuk miatt leginkább kutatóintézetek vagy csúcstechnológiájú, például haditechnikai gyártók számára elérhetőek. A fejlesztések eredményeképpen a jövőben remélhetőleg már magánszemélyek vagy kisebb cégek, áruhátláncok számára is megfizethetőkké válnak.

Az alábbiakban bemutatok néhány, tipikus jellemzőkkel rendelkező, áruforgalomba bocsájtott kamerát:

- Az eredetileg orvosi felszereléseket gyártó, kevés alkalmazottat foglalkoztató kaliforniai cég, a HINALEA élen jár a hiperspektrális kamerák fejlesztésében. Az orvosi diagnózisokon túl főként ételek és mezőgazdasági termékek minőségét vizsgáló kamerák számára kiemelten fontos a méret és kezelhetőség, így amikor a cég piacra dobta az első magas felbontású kézikamerát, a SPIE (Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers) Awards Program 2017-ben a kamerák kategória első helyével díjazta azt. Az alábbi, VNIR 4250 [7.ábra] fő előnye a sokoldalú felhasználhatóság. A széles spektrális tartomány és a magas minőség mellett a gyors képváltási frekvencia és a megbízhatóság jellemzi. A 300 spektrális sáv és a 4 nm-es spektrális felbontás miatt kiválóan alkalmazható orvosi vagy élelmiszeripari kutatások, vizsgálatok során.[11]



7. ábra: HINALEA HYPERSPECTRAL CAMERA 4250 VNIR
[11]

- A szintén Egyesült Államokbeli Resonon Inc. fő megrendelői között a startupokon és multinacionális cégeken túl megtalálható például a NASA és több, kormányzati vagy katonai fejlesztésekben is kiemelt szerepet vállal. A Pika XC2 kamera [8.ábra] a látható és a közeli infravörös tartományban készít felvételeket 1,9 nm-es spektrális felbontásban, másodpercenként 165 képet készítve. A Resonon kamerái többségében a korábban ismertetett „pushbroom” módszert alkalmazzák, tehát a kamera képet soronként olvassa be. A Pika XC2-t elsősorban drónokra szerelve, légi megfigyelésre használják például erdőtüzek vagy ültetvények megfigyelésére.[12]



8. ábra: Resonon Pika XC2 kamera [12]

- A világon elsőként kiadott UV-VIS-NIR spektrumot lefedő kamera, az Ultris X20 [9.ábra] 350 és 1000 nm-es határok között működik, „snapshot” módszerrel készít felvételeket a láthatón túl az infravörös és az ultraviola tartományban. A hullámhossztartomány és a maximum felbontás vevőspecifikusan állítható, emellett a kamera többi paramétere is könnyen adaptálódik a körülményekhez. A kamerát térképek készítésén túl használják az orvostudományban és az élelmiszeriparban.[13]



9. ábra: Ultris X20 kamera [13]

A hiperspektrális kamerák felhasználás szerint két csoportra oszthatók. Az egyik, a laborkörül-ményekre tervezett, orvosi vagy élelmiszeripari felhasználásra alkalmas csoport jellemzően a spektrum nagyobb részét fedi le, emellett nagyobb maximális felbontással és spektrális fel-bontással rendelkeznek.

Ebbe a csoportba tartozik a legtöbb HINALEA gyártású kamera. A másik, külső körülmények-nek jobban kitett csoportba tartoznak a műholdra vagy drónokra szerelhető, eszközök. Ezen kamerák spektrális felbontása általában alacsonyabb, általában egy adott tartományban a többenél sűrűbben helyezkednek el a spektrális sávok. Azonban itt fontosabb szempont az idő, ezért nagyobb a képfrissítési sebesség, a frame rate, illetve robosztusabbak, szélsőségesebb körülmények közt alkalmazhatóak. Ilyen a Resonon Pika XC2, a drónra szerelhető ULTRIS X20, illetve vagy a műholdakra szerelt speciális kamerák.

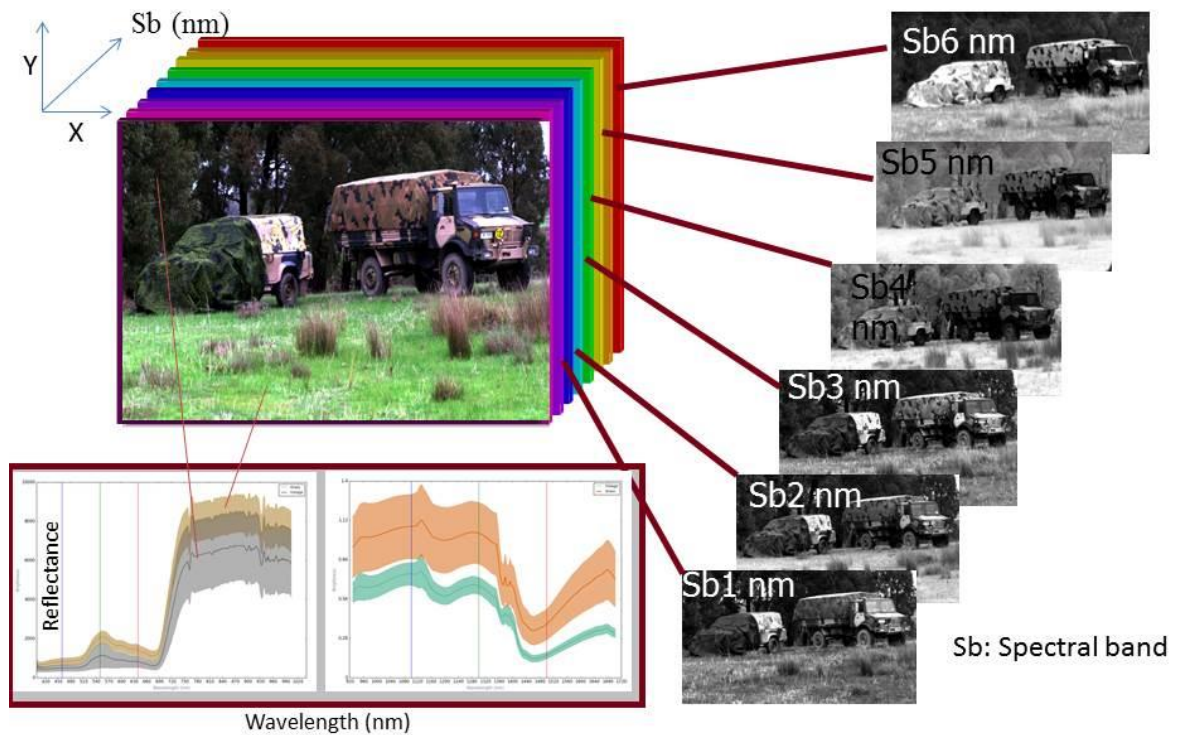
2.4.1. FELHASZNÁLÁS:

A sokoldalúbb (például orvosi vagy élelmiszeripari) felhasználást hátráltatja a kamerák ára, illetve a jelenleg elérhető eszközök gyakori nehézsége az alacsony képváltási frekvencia.

Ezen hátrányok mellett is egyre gyakoribb hiperspektrális kamerák felhasználása a hadi-és az űrtechnika, csillagászat mellett felhasználják fizikai, kémiai kutatások során molekulák megfi-gyelésére, a mezőgazdaságban, az egészségügyben, vagy akár a bűnesetek felderítésében, a tettesek azonosításában is.

A modern kor hadseregei, az űrügynökségekhez hasonlóan a felderítéskor és megfigyeléskor veszik hasznát a hiperspektrális szenzoroknak [10.ábra], emellett a kémiai vagy biológiai fegy-vekek elleni védekezésben is jelentős szerepe van, emellett az aknák, robbanóanyagok felderítésében is használják.[14] A multi- és hiperspektrális kamerák elleni védekezés során egyes hadseregek környezethez alkalmazkodó, adaptív álcákat fejlesztenek az eszközeik védelmére.[15]

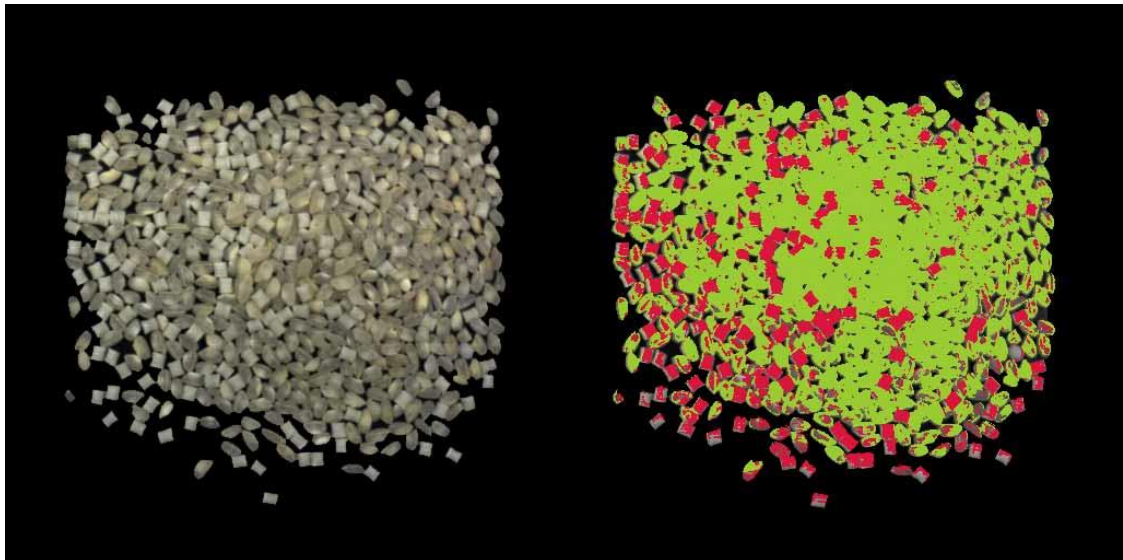
Hyperspectral Imaging Data-cube



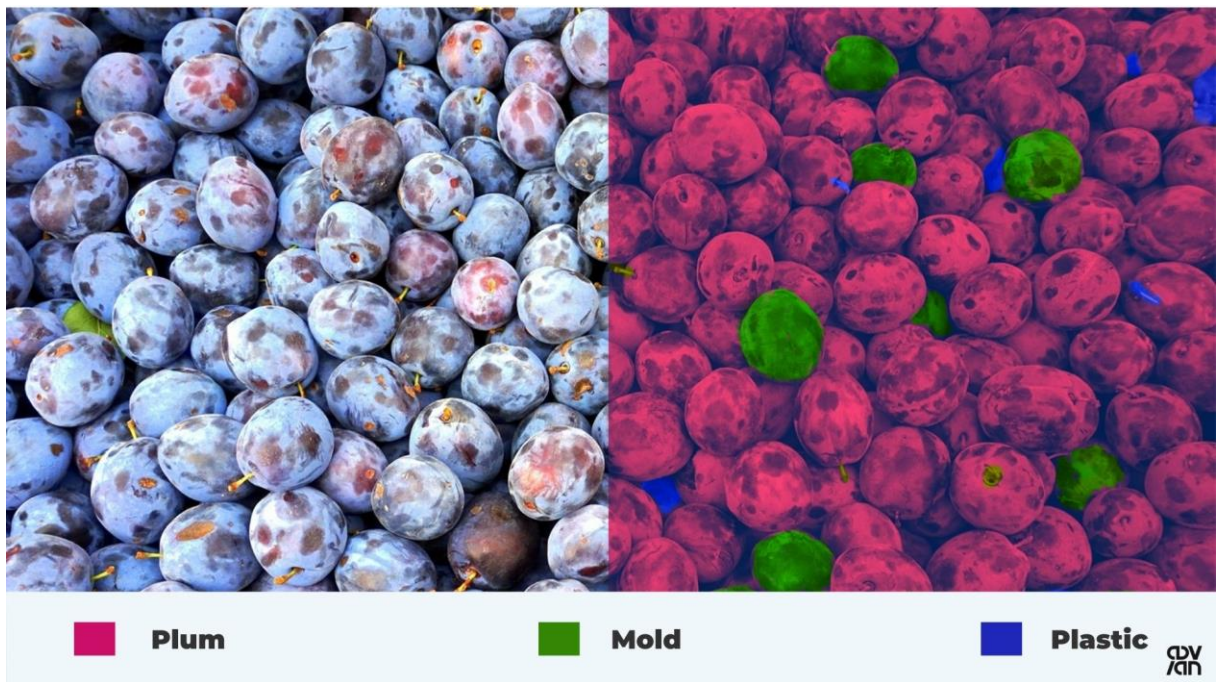
Each pixel contains a fully resolved spectrum that can be used to identify materials present at the pixel.

10. ábra: A hiperspektrális képalkotás katonai felhasználása[15]

Az élelmiszeripari és orvostudományi kutatások során legnagyobb előnye, hogy gyors és roncsolásmentes módon teszi lehetővé a kórokozók felderítését, a szubatomi vagy csillagközi kutatásoknak csupán a kamera felbontóképessége és az igen magas költségek szabhatnak határt.



11. ábra: Rizs és műanyagdarabok megkülönböztetése[16]



12. ábra: Penészes gyümölcs megkülönböztetése[17]

A sokoldalú felhasználhatóságnak köszönhetően az elmúlt évtizedekben a hiperspektrális leképezés és képelemzés a távérzékelés egyik leggyorsabban fejlődő területévé vált.[7]

2.5. Mezőgazdasági vizsgálatok

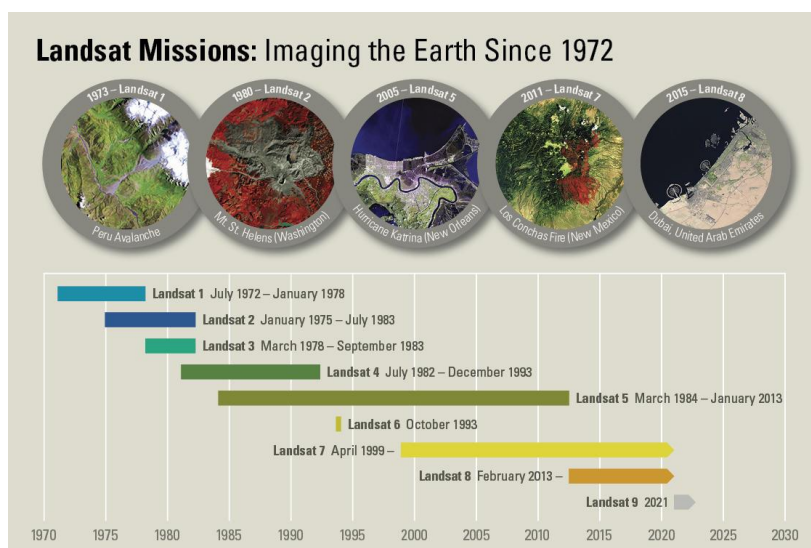
A folyamatosan növekvő népesség növekvő nyersanyag-és táplálékigénye a 20.században új kihívások elé állította a mezőgazdaságot. A nagyüzemi termelés, és a mezőgazdasági termelékenység növelése érdekében megjelentek a több száz,

vagy akár több mint ezer négyzetkilométeres kiterjedésű farmok. A hatalmas gabonátlábak megfigyelését kezdetben repülőgépekről végezték, de ez a módszer az elmúlt évtizedekre körülményesnek és pontatlannak bizonyult. [18]

Emellett a környezetvédelmi szempontok előtérbe kerülése óta növekvő igény mutatkozik a különböző tájegységek átfogó megfigyelésére, erdőgazdálkodási céllal. Az egyes növényfajok megritkulása vagy pusztulása, az elsivatagosodás, illetve a hóhatár emelkedése mind nagyobb odafigyelést kapott, az adatigény mérhetetlenül megnőtt. A műholdak rendszerbe állításakor a fő cél a földi kommunikáció elősegítése illetve a haditechnikai/hírszerzési felhasználás volt, de hamar felmerült a Föld gazdasági célú megfigyelésének gondolata is.

Az Egyesült Államok belügyminisztere, a környezetvédelem iránt elkötelezett Stewart Lee Udall 1966-ban indította útjára az EROS (Earth Resources Observation Satellites) projektet, melynek fő céljai a környezet minőségének javítása volt.[19]

Később az amerikai belügyminisztérium és a NASA együttműködéséből született az 1972 óta futó, mindenki számára elérhető adatokat gyűjtő LANDSAT program.[19]



13. ábra: Landsat missziók időrendi sorrendben és feladat szerint

A Landsat műholdak [13. ábra: Landsat missziók.ábra] végezték az első mezőgazdasági célú műholdas megfigyelést is.

Már az első műhold, a Landsat-1 fel volt szerelve egy multispektrális kamerával, amely azonban csak a látható tartományban, négy csatornán készített felvételeket a Földről. Már a fellövést követő napokban a műhold egy több száz négyzetkilométeren égő alaszakai

tűzről készített képeket, melynek a kutatók nagy hasznát vették.[19]

A Landsat program, illetve a később rendszerbe állított műholdak úgynevezett ortofotókat [14.ábra] (térképszerűen átdolgozott légifelvételeket) készítenek a Föld felszínéről, melyek egyes mérésekre alkalmasak, azonban nem tartalmazzák például a domborzati sajátosságokat.[20]

Pontosabb mérésekre az ortofotók georeferálást követően használhatók, melynek során a kép és a vetületi információk segítségével téradatot kapunk, amely sokkal pontosabb felhasználást tesz lehetővé.



14. ábra: Ortofotó[20]

Az első, már hiperspektrális kamerát is hordozó műhold a 2000-ben rendszerbe állított EO-1 volt, mely 30 méteres felbontásban, 242 sávban készített felvételeket [15.ábra].

A szenciális vizsgálatán túl az ökoszisztéma, illetve a Föld felszínének és belső összetételének vizsgálata is a küldetés célja volt. A műhold által gyűjtött adatok egy része online elérhető.[21]



15. ábra: Az EO-1 műhold felvétele[22]

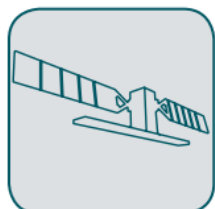
A jövőben (várhatóan 2024-ben) rendszerbe álló, a NASA tulajdonában álló HypsIRI (Hyperspectral Infrared Imager) program már VSWIR, azaz Very Short Wave InfraRed kamerával (380-2500nm, 10 nanométeres spektrális felbontással) lesz felszerelve, mellyel a közelgő természeti katasztrófákat (például vulkánkitöréseket) tudják majd korábban, nagyobb megbízhatósággal előre jelezni. A műhold által gyűjtött adatokat a NASA nagy magasságban repülő speciális megfigyelő repülőgépei hagyományos mérésekkel ellenőrzik/egészítik ki. A korábban bemutatott műholdakhoz hasonlóan a Föld ökoszisztémáját is vizsgálja majd, a klímaváltozás hatásaival együtt.[23]

2.6. SentinelHub

Az Európai Unió Copernicus programjának keretében a 2014 óta több lépcsőben rendszerbe állított Sentinel műholdak készítenek magas felbontású hiperspektrális képeket a Föld felszínéről.

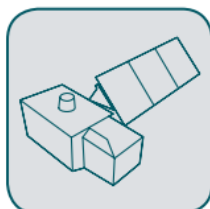
Céljuk a tengeri és szárazföld ökoszisztéma, az atmoszféra, illetve a globális felmelegedés, környezetszennyezés jeleinek megfigyelése, esetleges vészhelyzetek jelzése.[24]

A program által eddig rendszerbe állított műholdak a 16. ábrán láthatóak.



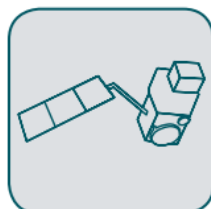
sentinel-1

carries a radar to provide all-weather, day-and-night imagery to monitor oceans, ice and land, and to aid emergency response.



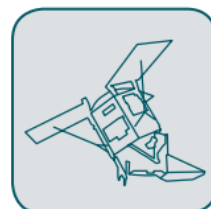
sentinel-2

carries a high-resolution multispectral imager to monitor land and vegetation cover.



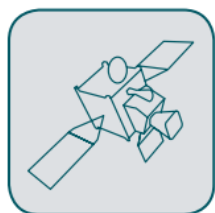
sentinel-3

carries an instrument package including a radar altimeter, an infrared radiometer and an imaging spectrometer, to monitor oceans and land.



sentinel-5p

carries a spectrometer, primarily to monitor global atmospheric pollution.



sentinel-4

is a spectrometer carried on the Meteosat Third Generation Sounder satellites. It is dedicated to monitoring air quality over Europe.



sentinel-5

is a spectrometer carried on the MetOp Second Generation satellites. It is dedicated to monitoring global air quality.



sentinel-6

carries a radar altimeter to measure global sea-surface height for operational oceanography and for climate studies.

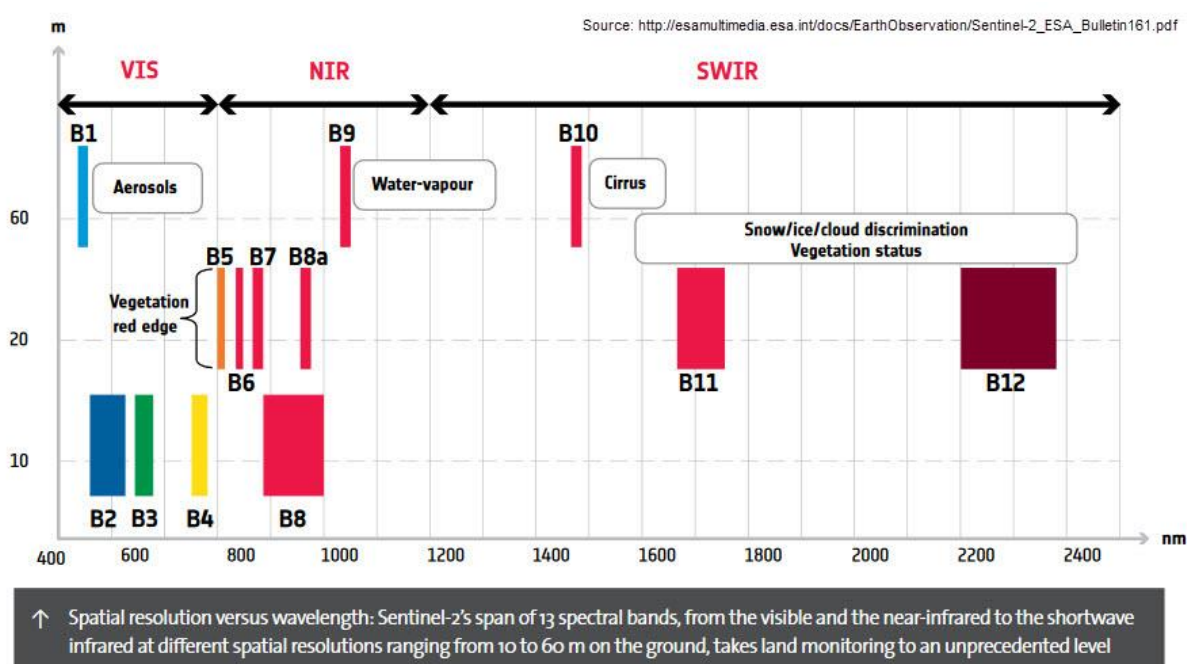
16. ábra: Sentinel műholdak feladatai[24]

Mezőgazdasági célra elsősorban a Sentinel-1 és a Sentinel-2 műholdakat használják, a műholdak egy hagyományos radaron túl hiperspektrális kamerát is hordoznak, mellyel a szárazföldi vegetáció változását kísérik figyelemmel.

A Sentinel-2 műholdon elhelyezett hiperspektrális kamera (Az Airbus által kifejlesztett MSI) 10-60 m-es térbeli felbontású képek készítésére alkalmas, 13 spektrális sávban, a látható tartományon kívül a közeli infravörös és a rövidhullámhosszú infravörös tartományban készít felvételeket.

Az elérhető szürkeárnyaltos képek egy 0-tól 255-ig terjedő tartományon indikálják az adott hullámhosszú fény visszaverésének mértékét.

A 17. ábrán jól látható, hogy a közeli infravörös (NIR) tartományban sűrűbben helyezkednek el, mivel a növények ezt a tartományt nyelik el a legjobban.



17. ábra: Sentinel-2 műhold kamerájának spektrális sávjai[24]

A műhold kamerájának 13 különböző hullámhosszú csatornájának felhasználásával a mezőgazdaságban a következő, a Sentinel honlapján is elérhető kombinációkat használják:

- **Infrared:**
A vörös, zöld és közeli infravörös (3-as, 4-es és 8-as) csatornák kombinációjával legfőképpen a növényzet sűrűségét és állapotát határozzák meg, mivel a növények a vörös fényt elnyelik, a zöldet és a közeli infravöröst visszaverik. Ezen a felvételen a növényzettől és egymástól élesen megkülönböztethető a kopár föld, a víz, illetve a beépített terület is. [24]
- **Vegetation:**
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a zöld növényzet jelenlétét, mennyiségét, illetve egészséges működését mutatja meg. A látható tartományú 4-es és a NIR-ben lévő 8-as csatornák felhasználásával $((8+4)/(8-4))$ jön létre, mivel a lombos növények erősen visszaverik a NIR fényt. Egyértelműen elhatárolja a víz mellett a sziklás, havas tájat, illetve a lágyszárú növények (mezők) megkülönböztethetők az erdős területektől. Szabad szemmel nehezen észrevehető, de az egyes pixelek elegendő információt szolgáltatnak a trópusi és mérsékelt égövi erdők megkülönböztetéséhez is. [24]
- **FalseColor:**
A hamisszínes megjelenítés élesen elválasztja a városi, beépített területeket, illetve közelebbi képeken használható ásványi anyagok felkutatására is. Emellett a vulkánok, erdőtüzek detektálására is alkalmas. A látható tartomány nagyobb hullámhosszú része (4-es csatorna) illetve a két legnagyobb hullámhosszú, SWIR-ben megtalálható 11-es és 12-es csatornák összegeként áll elő. [24]
- **MoistureIndex:**
Normalized Difference Moisture Index, a mezőgazdaságban a vegetáció víztartalmának meghatározására, és ezáltal az aszály, kiszáradás megfigyelését szolgálja. Az index, az eddigiekhez hasonlóan elkülöníti a kopár területet, a növényzettel borított részeken pedig a lombbal borított, ám alacsony víztartalmú helyeket jelzi ki külön. Két csatorna, a NIR tartományba tartozó 8A és a SWIR-ben elhelyezkedő 11 adataból számol. [24]
- **SWIR:**
Short Wave InfraRed index, meghatározásához a Moisture indexhez hasonló spektrális sávokat kellett figyelembe vennem (4, 8, illetve 12). A rövidhullámú infravörös index is víztartalom meghatározására szolgál, azonban nem csupán a növények, hanem a kopár talaj esetében is kiválóan használható, mivel ezt a hullámhosszt a víz elnyeli. [24]
- **NDWI:**
Normalized Difference Water Index, a vízfelületek pontos elkülönítésére szolgál. Itt

a sűrűn növényekkel borított területeken (például esőerdőkben) a színskála eltolására lehet szükség, mivel a növények is nagy mennyiségű vizet tartalmaznak.[24]

- **NDSI:**
Normalized Difference Snow Index, a felhőzet és a hóval borított részek (hagyományos RGB-felbontásban mindkettő fehér) elkülönítésére szolgál. A hó elnyeli a rövidhullámú infravörös sugárzást, viszont visszaveri a látható fényt, míg a felhők mindkettőt visszaverik. Az NDSI index kiszámításához a látható 3-as és a SWIR-be tartozó 11-es csatorna adataira volt szükség.[24]
- **PRI:**
Photochemical Reflectance Index, mely elsősorban az élő növényekben található karotint érzékeli. A karotin a fotoszintézis mértékét, az elnyelt szén-dioxid mennyiségét indikálja, így az élő növényzet egészségi állapotáról nyújt információt. A nagymértékű mezőgazdasági termelés során leggyakrabban használt index. Kiszámításához (531 és 570 nm-es hullámhossz) a SENTINEL spektrális sávjai pontosan nem felelnek meg, így súlyozásos kombinációt kell alkalmazni.

A már ismertetett, alapértelmezett csatornákon felül a SENTINEL letölthető csatornákként kezeli a Scene classification és Atmospheric Correction kombinációkat. Ezek az azt megelőző 13 csatorna és a Sentinel-1C műhold által készített felvételek súlyozott kombinációi, melyek a későbbi munkámat nagyban elősegítették.

- **SceneClassification(SC):**

A különböző tereptárgyak elkülönítésére szolgál, a megszokott 255-ös felbontás helyett 0 és 11 közti értékekkel tölti fel a képet, az ábrán látható értékek alapján:

Label	Classification
0	NO_DATA
1	SATURATED_OR_DEFECTIVE
2	CAST_SHADOWS
3	CLOUD_SHADOWS
4	VEGETATION
5	NOT_VEGETATED
6	WATER
7	UNCLASSIFIED
8	CLOUD_MEDIUM_PROBABILITY
9	CLOUD_HIGH_PROBABILITY
10	THIN_CIRRUS
11	SNOW or ICE

18. ábra: A Scene Classification eredményei

Erre főképpen azért van szükség, mert a későbbi számításokat a felhőzet vagy a hó eltorzítja, az ilyen elemeket helyén kezelve viszont valós mezőgazdasági értékeket kaphatunk.

- **Atmospheric Correction(AC):**

A Föld felszíne által kibocsátott és a kamerába érkező fényt a levegő, a levegőben lévő pára és egyéb sugárzások jelentősen befolyásolják.

A műholdfelvételek gyakori problémája, hogy a felületi visszaverődés (Surface Reflectance, SR) és a ténylegesen kamerába jutó fény (Top of Atmosphere Reflectance, TOA) közt lényeges eltérések vannak.

Az Atmospheric Correction a művelet, melynek során a műholdról készített képet megtisztítják a légkör és a légköri jelenségek által keletkező torzulásoktól.

A 13-as és 14-es csatornákra is igaz, hogy egyes értékeket különböző, tapasztalati úton beállított küszöbértékekkel számítja ki a mesterséges intelligenciát igénybe vevő betanított program, melyhez a fent ismertetett indexek értékeit valószínűségi változóként alkalmazza.

A valószínűségek használata miatt korántsem tökéletes, de igencsak hasznos információt nyújt az egyes képekről.

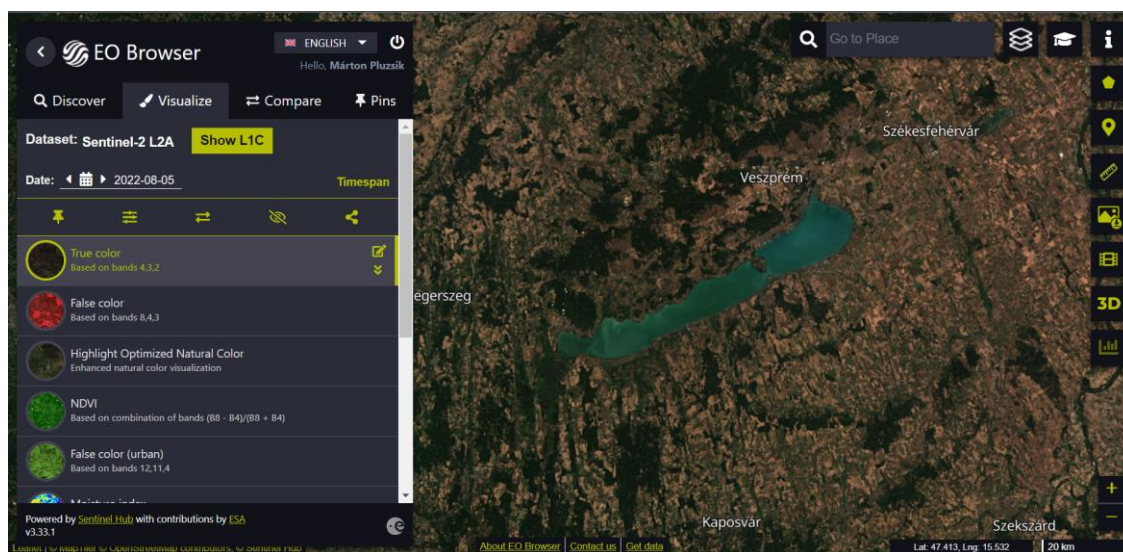
A program későbbi megalkotása során próbálkoztam a meglévő, „nyers” adatokból saját klasszifikációt készíteni, viszont más módszerekkel sem tudtam jóval hatékonyabb kombinációt elérni.

A megoldást így a saját és a beépített számítások metszete adja, tehát a bizonytalan értékek elvetése mellett döntöttem.

3. A PROGRAM LÉTREHOZÁSA

3.1. Létező programok megismerése

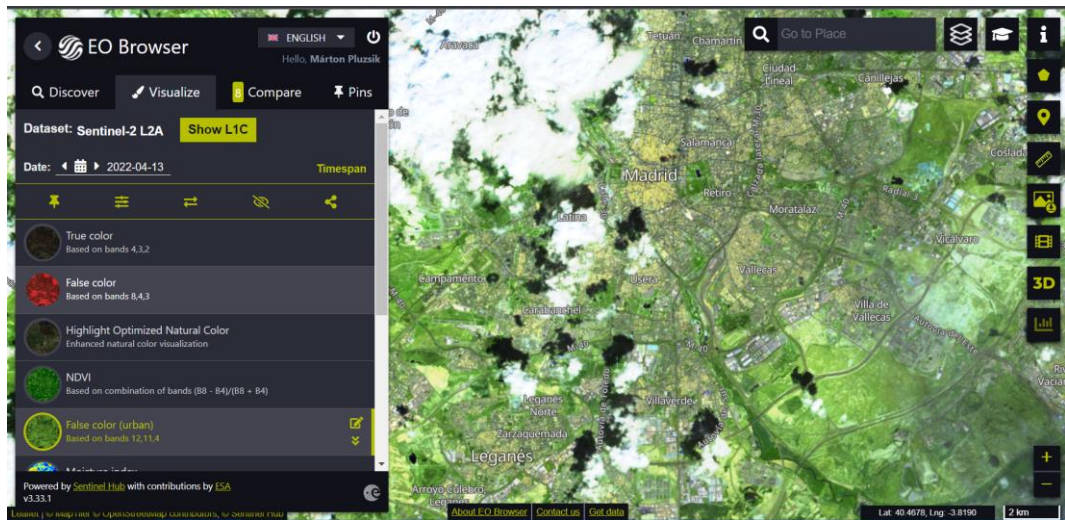
A munka megkezdése előtt felmértem a már létező megoldásokat, melyek közül a pontosság, ipari felhasználás, stb. mellett a többcsatornás adatok elérhetősége alapján kerestem. A feladat kezdeti fázisában a korábban ismertetett Sentinel projekt honlapját és az ott elérhető műholdfelvételeket vettem alapul. A Sentinel honlapján 2016-tól kezdődően érhetőek el a műholdak által különböző hullámhosszon készített légifelvételek. A Sentinel-2 műhold 2-3 napos időközönként gyűjt adatot az egyes régiókról [19.ábra], a képek pedig ingyenes regisztráció után magas minőségben letölthetőek.



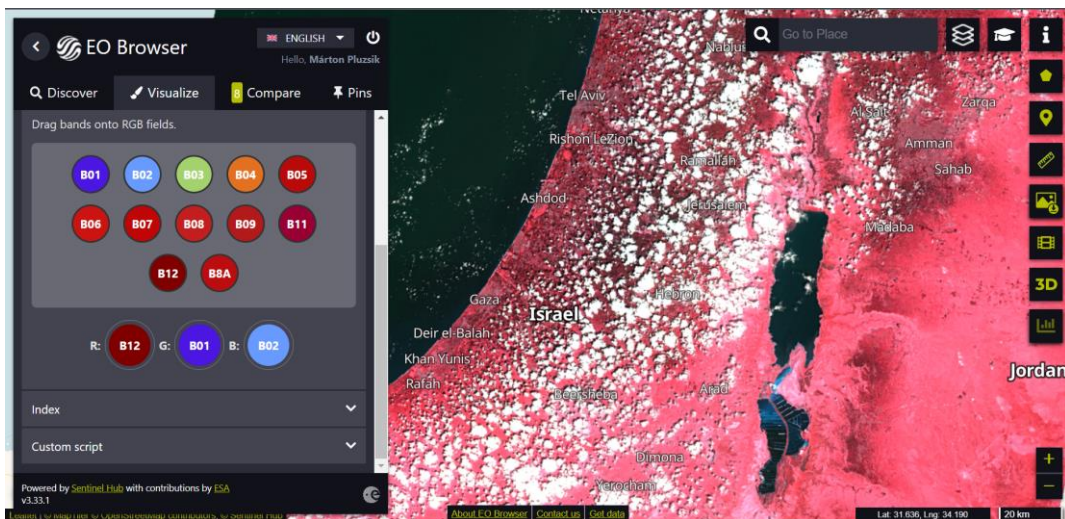
19. ábra: Sentinel kezdőlap[24]

A honlapon kipróbálhatóak a mezőgazdaságban már használatos indexek is [20.ábra], illetve lehetőség van a csatornák egyszerűbb kombinálására is [21.ábra]. Így tehát elsőként a Sentinel által nyújtott lehetőségeket hoztam létre a saját programomban, hogy a második feladatban azt továbbfejlesszem. A tesztelés fázisában is a Sentinel honlapjáról gyűjtött felvételeket kombináltam.

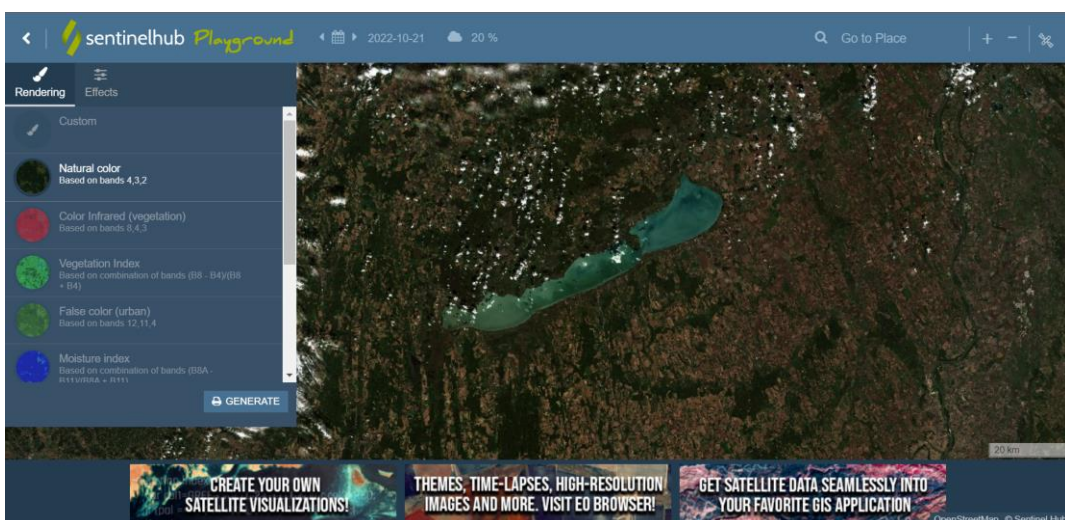
A Sentinelnek van egy egyszerűbben kezelhető, „Playground” felülete is, ahonnan csak a legújabb felvételek tölthetők le, illetve kevesebb a lehetőség és a megadott információ, viszont az egész felszínt folyamatosan lefedő felvétel látható [22.ábra].



20. ábra: Sentinel előre megadott kombinációk[24]



21. ábra: Sentinel spektrális sávok kombinálása[24]

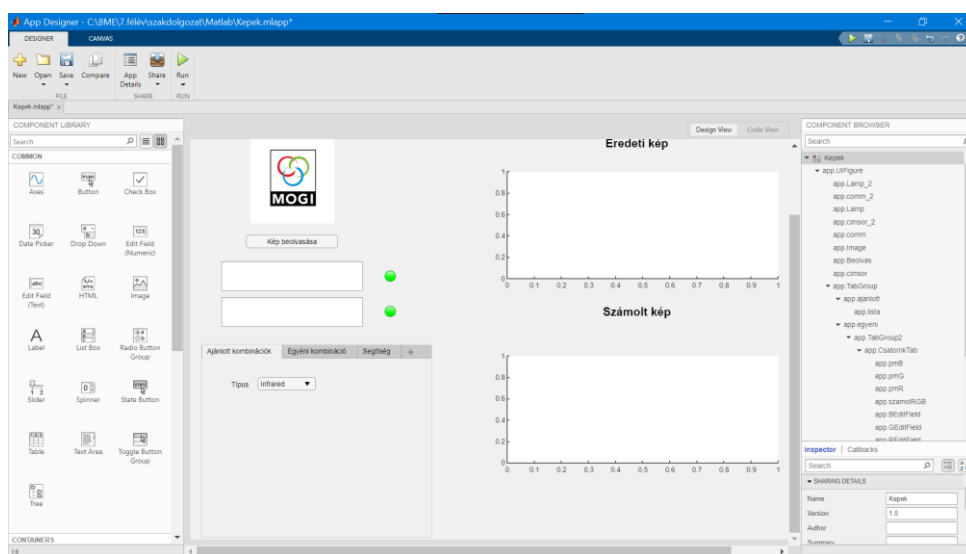


22. ábra: Sentinel Playground[25]

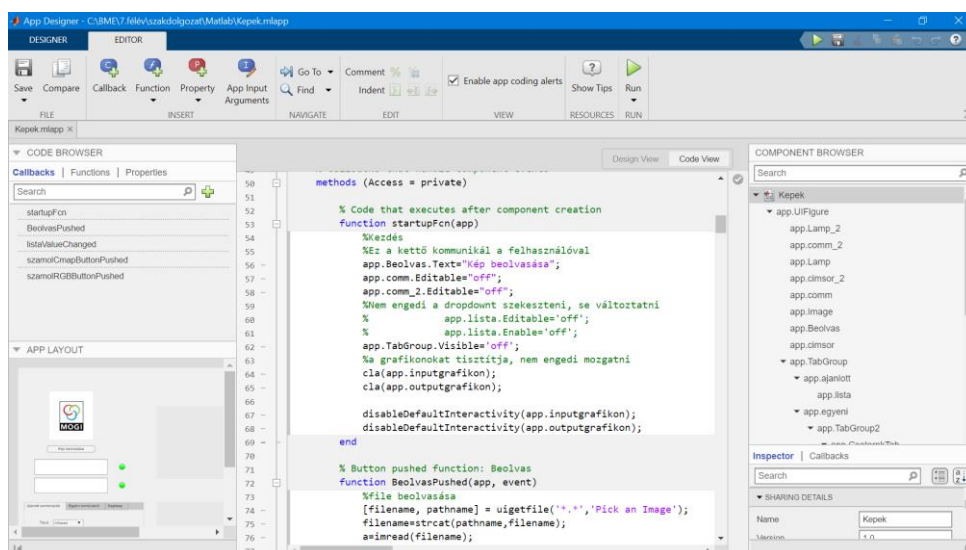
3.2. MATLAB, APP DESIGNER

A program törzsének elkészítésekor a MATLAB app designer felületén dolgoztam, mely számítások tekintetében a mérnöki munkában elterjedt Matlabbal (Matrix Laboratory) megegyező szintaktikájú, viszont az eredeti programtól függetlenül működő applikációk készítésére is alkalmas, attól eltérő megjelenítést tesz lehetővé. Az app designer kezelőfelülete két részre osztható:

A „design view” [23.ábra] lehetővé teszi a gombok, grafikonok, egyéb elemek elhelyezését, az alkalmazás stílusának kialakítását, míg a „code view” [24.ábra] az egyes elemekhez tartozó események, visszahívások(pl gombnyomás) hátterét adja, kód formában. Ez utóbbit a könnyebb kezelhetőség érdekében elsőként hagyományos Matlab felületen készítettem el, és a hibák kiküszöbölése után ültettem át az app designer felületére.



23. ábra: MATLAB Appdesigner kezelőfelülete, Design view



24. ábra: MATLAB App designer kezelőfelülete, Code view

3.3. Alapvető funkciók

A megismert példák alapján olyan alkalmazást szerettem volna készíteni, amelyben lehetőség van a kiválasztott képek betöltése után a már ismert mezőgazdasági indexek számítására, emellett a képek különböző csatornáit súlyozva új indexek, új paraméterek felfedezésére is. A későbbiekben igény nyílt az egész évet lefedő, az értékek változását bemutató megjelenítésre is, ezt grafikonos formában oldottam meg. A fejezetben bemutatom azokat az alapfunkciókat, amiket az egyes verziókban felhasználtam.

3.3.1. KÉPEK BEOLVASÁSA

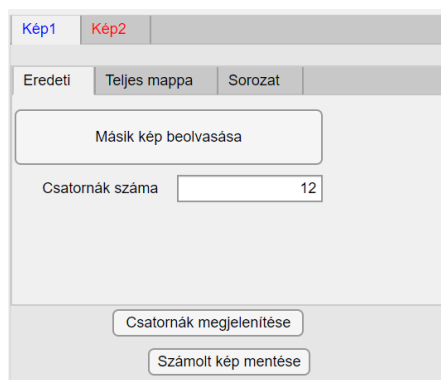
Elsőként a képek applikációba való betöltését kellett megvalósítanom. A sokoldalú felhasználhatóság érdekében ezt többféleképpen is elkészítettem, melyek más és más módszerekben bizonyultak hasznosnak.

Az általam használt, a SENTINEL honlapjáról letöltött hiperspektrális műholdképek 13*1 csatornás *.jpg*, illetve 15 csatornás, tömörített *.tiff* formátumúak.

Az első esetben a képeket névkonvencióval kellett ellátnom:

A szemmel látható, RGB felvételt (betöltés után ez látható majd felül) töltöttem le *filename.jpg* néven, majd az egyes csatornák számozását adtam hozzá: *filename1.jpg*, *filename2.jpg* stb. Ezt egy for ciklus segítségével oldottam meg, így a felhasználónak elegendő egy (a szabad szemmel látható, valódi színes) képet betöltenie a programba, amely utána a csatornák számával látja el a fájlok neveit, és így olvassa be egy 4 dimenziós tömbbe a csatornák szürkeárnyalatos képeit, melyeket később a sorszámukra való hivatkozással lehet elérni. [24]

A későbbiekben a drónra szerelhető kamera valószínűleg nem pontosan a műhold által felvett hullámhosszokon fog működni, így az előre megadott, tetszőleges számú csatornát képes kezelni a program.



25. ábra: Első beolvasási lehetőség

A második beolvasási lehetőség, hogy a felhasználó egy mappa minden képét egyszerre töltheti be, itt előny, hogy az elnevezésre semmilyen konvenciót nem kell alkalmazni, hátrány viszont, hogy a csatornák sorrendjét a program határozza meg (ez a sorrend lekérdezhető).

Emellett lehetőség van mappák és tömörített képek beolvasására későbbi sorozatelemzés, grafikonok létrehozása céljából.

3.3.2. ELŐRE DEFINIÁLT INDEXEK

A sikeres beolvasást követően a felhasználó legördülő menüből választhat az ajánlott kombinációk közül, vagy az egyes csatornákat tetszőleges módon és súlyozással kombinálhatja.

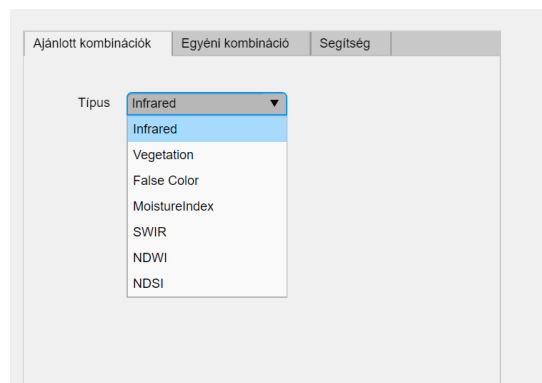
A választható kombinációkhoz szükséges mögöttes számítások során általában két vagy három különböző csatorna értékeit használtam fel. A képek összeadása és kivonása mellett az imdivide (képként osztás) parancsot használva. Az imdivide utasítás a hányadost úgy számolja ki, hogy az osztandóként megadott kép minden pixelét elosztja az osztó kép azonos helyen lévő pixelével.

Hányadosként így egy szürkeárnyaltos képet kapunk, melyet a jobb láthatóság kedvéért megfelelő érzékenységű Colormap-pal (a pixelek értékei szerinti színezéssel) láttam el. A Colormap parancs a kép minden eleméhez egy RGB-értéket rendel hozzá, a kép intenzitását és a pixelek területi eloszlását egyaránt figyelembe véve.

A Matlab által ajánlott Colormap-okon túl tetszőleges számban hozhatók létre egyéni kombinációk, a vizsgált indexeken felül az elemezni kívánt tájtól is függően. Például sivatagos vagy erdős táj esetén érdemes lehet az adott vidékre jellemző érték körül sűrűbb skálázást használnia javasolt.

A tesztelés során számos saját színezést hoztam létre, hogy ezzel a vizualizációt segítsem.

A program kezdeti állapotában a Sentinel oldalához hasonlóan a korábban bemutatott, előre definiált kombinációkat (2.6) tartalmazta, ezt később egyéb opciókkal egészítettem ki.[24] Ezek közül a felhasználó legördülő menüből választhat, a választható lehetőségek listája pedig egyszerűen bővíthető.



26. ábra: A választható kombinációk

3.3.3. EGYÉNI KOMBINÁCIÓK MEGADÁSA

A választható indexek elkészítése után a saját kombinációk megadását dolgoztam ki. Ebben az esetben kétfajta lehetőséggel kellett számolnom.

Az egyik, a szebben vizualizálható esetben a felhasználó három csatornát választ, majd mind-egyikhez hozzárendeli az alapszínek (piros, kék, zöld) egyikét. A megadott csatornák előtt legördülő menüből választható ki, hogy a számolás során mekkora súllyal szerepeljen az adott csatorna.

Csatornák	Számítás		Csatorna száma
	Szorzótényező		
	<input type="text" value="1"/> X	R	<input type="text" value="0"/>
	<input type="text" value="1"/> X	G	<input type="text" value="0"/>
	<input type="text" value="1"/> X	B	<input type="text" value="0"/>
<input type="button" value="Számol"/>			

27. ábra: Három csatorna tetszőleges kombinációja

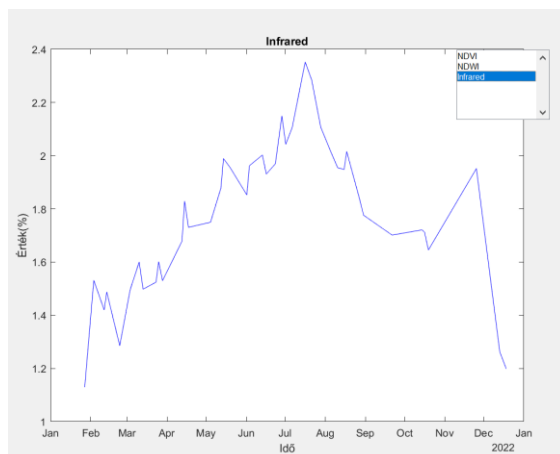
Így ugyanazon adat megjelenítésére több lehetőség is adódik, azonban a program csak pontosan három csatorna használatával működik, amennyiben az egyikre nincs szükség, tetszőleges csatorna mellett a nullás súlyt használva hanyagolható el.

A második táblán a „Csatornák” fülről a „Számítás” -ra kattintva egy tetszőlegesen hosszú egyenletet adhatunk meg, melyben a csatornák számozásán túl az összeadás, a kivonás, illetve a fent ismertetett imdivide (A, B) parancs használható. Az egyenlet megadása után a legördülő menüből előre létrehozott Colormap-ok közül lehet választani, majd a „Számol” gombbal megjelenik a kért kép. [31.ábra]

28. ábra: Egyéni kombináció megadása

3.3.4. SZÁMOLÁS SOROZATOKKAL, GRAFIKONOK

A mezőgazdasági indexek fontos tulajdonsága az index értékének változása az év során. Ezért a képek sorozatban történő betöltésekor a felhasználónak lehetősége van az időbélyeggel ellátott képekből informatív grafikonokat kreálni.



29. ábra: Infrared kombináció változása

3.3.5. EGYÉB FUNKCIÓK, HIBAKEZELÉS

Az alkalmazás képes a számolt értékek átlagát az adott területre nézve számszerűsíteni, illetve azt a területet kiválasztani, ahol a kért index előfordulása a leggyakoribb. Ezenfelül a képek és az egyéni indexek is kimenthetők.

Az esetleges hibás megadás, nem létező csatornák, stb hibakezelése volt a munka leghosszabb része.

Az eredmény: A program hiba esetén nem áll le, hanem a kommunikációs panelen informatív hibaüzenetekkel jelzi a problémát.



30. ábra: Hiányos beolvasás



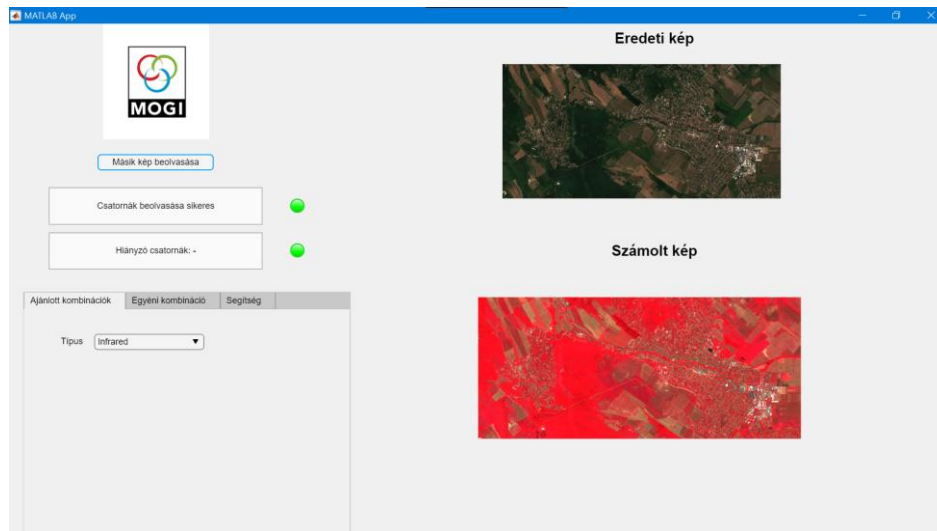
31. ábra: Hiányos megadás, nem létező csatornák

4. A PROGRAM HASZNÁLATA, VERZIÓK

A feladatot több blokkban készítettem el, az elkészült applikációkat a felhasználói tapasztalatok alapján alakítottam át.

Az app designer használata kezdetben a könnyebb és látványosabb megjelenítés miatt volt kézenfekvő, így az első két megvalósítás tisztán app designeres.

4.1. Az első változat: Indexek számítása

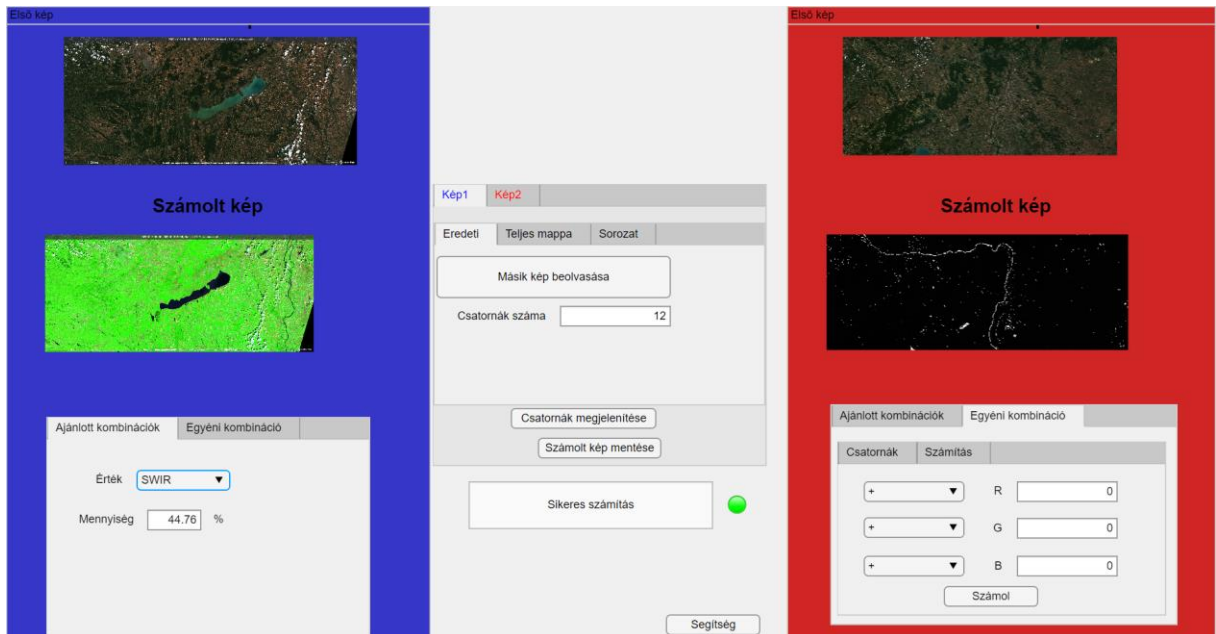


32. ábra: A prototípus

- A bal oldali kezelőfelületen állíthatók a különböző indexek.
- Felette található a kommunikációs panel.
- A jobb oldalon pedig az eredeti és a számolt kép jelenik meg.

4.2. A második változat: Jobb felhasználói élmény

Az első verzió tesztelése után kiderült, hogy a felhasználói élményt a panelek duplikálása nagyban javítaná, mert lehetőség nyílna a képek összehasonlítására, így készült el a fejlesztett, piros-kék designnal ellátott második típus. A megjelenítésen túl egyéb funkciókkal is bővítettem, ekkor került bele a sorozatok kezelése, illetve a mentési lehetőség is.



33. ábra: A második verzió

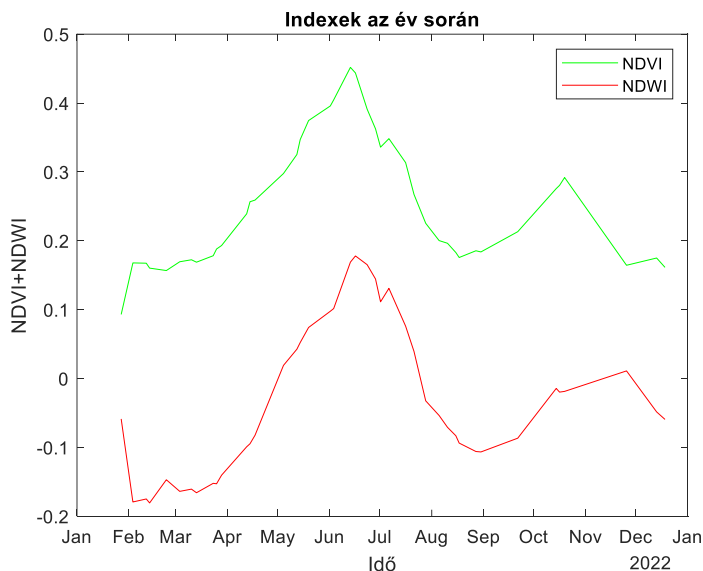
- A korábban szerepelt számítási panelek a két szélre kerültek a megjelenítéssel együtt
- A számítás alatt a numerikus információ olvasható le
- Középen lehet kiválasztani a beolvasás módját és helyét.
- Alul középen egy kommunikációs csatorna található, mellyel a parancsok elvégzését, esetleges hiba okát jeleníti meg az alkalmazás.

4.3. Visszaállítás MATLABra, a hatékonyság növelése

A program gyakorlati felhasználása során kiderült, hogy az új indikátorok számítását nagyban leegyszerűsíti a vizuális megjelenítés és a könnyű kezelhetőség. Egyedi számításokra, összehasonlításra és ellenőrzésre kiválóan alkalmas. Volt azonban egy feladatrész, amelyben az App designernél egyszerűbb módot kellett találni.

Az egész évben működő műholdra szerelt kamera adataival való munka során, az olykor több száz Gigabyte-ot felölelő adathalmazok feldolgozása rendkívül lassan haladt. Így a trendeket megjelenítő grafikonok számításához vissza kellett nyúlnom a MATLAB kódoláshoz, és új módszereket keresni. Az ekkora mennyiségben letölthető adatokat már célszerűbb a csatornákat egyben tartva tárolni.

Ezért a további számításokhoz a 15 rétegből álló *.tiff* formátumot használtam. Így a számítások lényegesen felgyorsultak, az egész naptári évet felölelő, 145 darab réteges kép feldolgozása és a grafikon megjelenítése 3-5 perc helyett 10-15 másodperc alatt elkészült. A MATLAB grafikonok nagy előnye, hogy látványosan mutatják a trendeket, de könnyű róluk az egyéni adatokat is leolvasni, mint az a lenti grafikonon is látszik.



34. ábra: MATLAB grafikon megjelenítése

Probléma azonban, hogy a MATLAB környezetben nem jártas felhasználónak a futtatás vagy az új indexek keresése nagyon nehéz.

Így a gyorsaságot a látvánnyal kombináltam: A MATLAB fileokat(.m) gombonként az app designerbe importáltam, így a *code view* hosszát érdemben csökkenteni tudtam, az 1400 soros főprogramot 200-ra redukálva.

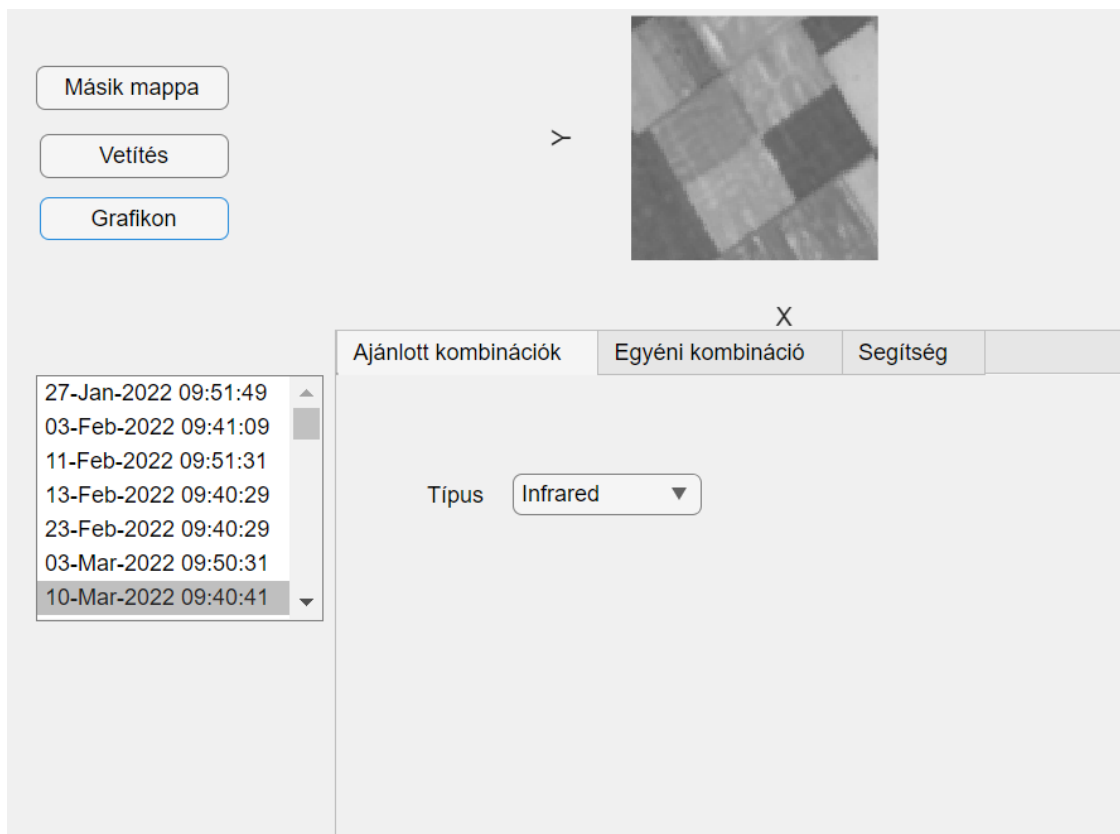
4.4. A harmadik verzió: Gyorsaság, új lehetőségek

A legújabb változat ötvözi a MATLAB és az app designer előnyeit, így leginkább sorozatok elemzésére alkalmas.

A beolvasott képek helyén itt már a gyakorlatban is használt, 1 km²-es szántót mutatom be, melyről a jövőben a műholdas felvétel mellett drónképek is készülnek majd. A termés optimalizálására a jövőben ezek a drónképek szolgálnak majd, remélhetőleg az itt bemutatott alkalmazásokkal kiegészülve.

A nagy mennyiségben beolvasott, 15 csatornás *.tiff* fileokat időbélyeg alapján rendezi sorba, az elemek közül a bal oldali felsorolásban lehet választani. A kiválasztott képre vonatkozik a jobb alsó sarokban lévő, korábbi verziókból ismert számítási panel.

A számítások eredményét a paneltől független *figure*-ban jeleníti meg, melyből az eredmény kimenthető.



35. ábra: Működés élesben

- A grafikon gombra kattintva egy felugró ablak jelenik meg, ahol az indexet kiválasztva jeleníthetjük meg az egész évre vonatkozó összesítést.

- A grafikon megjelenítése előtt a program automatikus „felhőtlenítést” végez, melynek során az elmosódott vagy túl felhős részeket, akár egész képeket figyelmen kívül hagyja, hogy azok ne torzítsák a statisztikát.

- A SENTINEL-2 műholdra helyezett két kamera közül az egyik(S2B) hibásan lett megépítve, így ott a hiperspektrális felvételek el vannak tolvá.

A helyes eredményt a következő képlet adja:

$$L2A_SR_i = (L2A_DN_i + BOA_ADD_OFFSET_i) / QUANTIFICATION_VALUE_i$$

Ezért a grafikon gombra kattintva a két műhold értékei külön-külön is megjeleníthetők.

- Az app designertól független megjelenítés másik előnye, hogy a képváltási sebességet kihasználva „timelapse” jelleggel vetítést is tudtam készíteni a képekből, így a növényzet egész éves változását egy percben meg tudtam jeleníteni.

5. ÖSSZEFOGLALÁS/EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

5.1. Eredmények

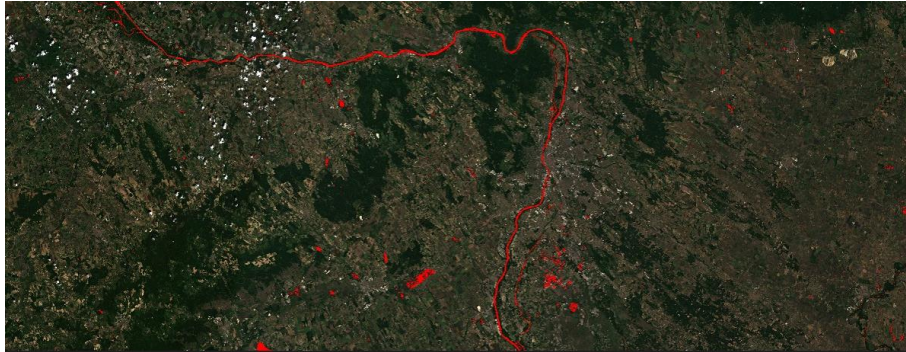
Az irodalomkutatás eredményeképp megtanultam a hiperspektrális leképezés és a specifikus kamerák működését, mely tudást a későbbiekben tovább tervezek mélyíteni. Több, mezőgazdasági vagy környezetvédelmi célú műhold közzétett eredményeit átolvasva kitalasztaltam az ilyen tematikájú felületek működését és szükséges adatok elérését egy esetleges későbbi adatgyűjtéshez. Betekintést nyerhettem abba, hogy egy első látásra a modernitástól távol álló ágazatra, a növénytermesztésre milyen nagy hatással lehet a digitalizáció és a mesterséges intelligencia. Emellett a program elkészítése közben is figyelembe vehettem a már létező megoldásokat, a teszteléshez képeket, indikátorokat, illetve számos egyéb adatot tudtam gyűjteni.

A feladat elkészítése során mélyíthettem a szakmai szempontból is fontos, a képzésben és talán későbbi munkám során is jelentős szerepet kapó Matlab tudásomat, illetve betekintést nyerhettem a korábban nem tanult App designer felületre és a mesterséges intelligencia felhasználásával végzett szoftveres feladatok folyamataiba is. Mivel mind a tesztelés, mind pedig a későbbi éles használat a képek, indexek közötti gyors váltásokat feltételezi, ki kellett találnom a program felhasználóbarát oldalát, a file-ok elnevezésével minimálisra csökkentettem a használattal járó munkát. A felhasználó így a képek adatait egyetlen kép betöltésével képes elvégezni. A tetszőlegesen választható színezés ki tud emelni részleteket és felhívhatja a figyelmet a kevésbé látványos információkra.

A program elkészítése során figyelembe vettem az esetleges fejlesztés lehetőségét: A kód a lehetőségek szerint egyszerűsített, illetve szakaszokra van bontva és ahol szükséges, kommentekkel, megfelelő magyarázattal is el van látva. Igyekeztem az előre definiált kombinációkat többféleképpen megadni, hogy a fejlesztés során azt a megoldást lehessen használni amelyik ezt a leginkább segíti. Amennyiben szükséges, tetszőlegesen lehet hozzáadni további ajánlott kombinációkat.

5.2. Megjelenítés

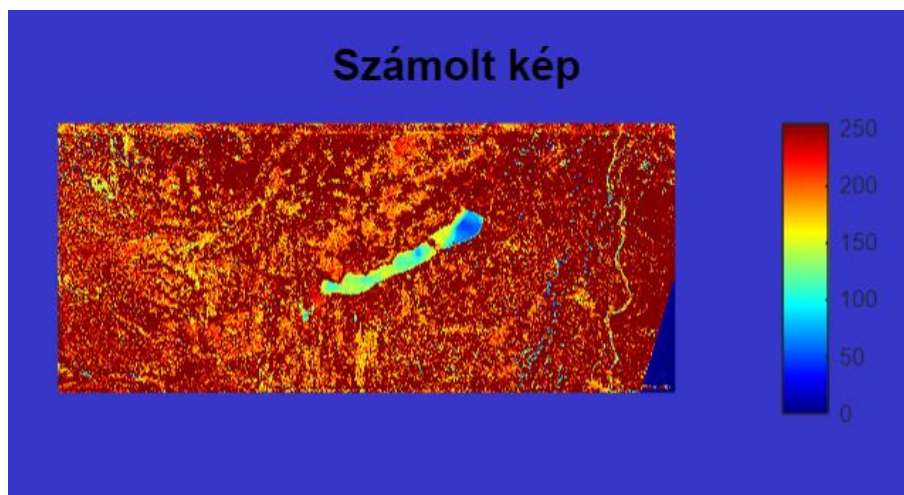
- Az általános műholdfelvételeken az atlaszokból nagyjából ismert víz, növényzet, talajjellemzők köszönnek vissza, ezek megjelenítése az egyéni kombinációk esetében előre skálázott colormap segítségével igazán látványos.



36. ábra: Közép-Magyarország vizeinek felismerése

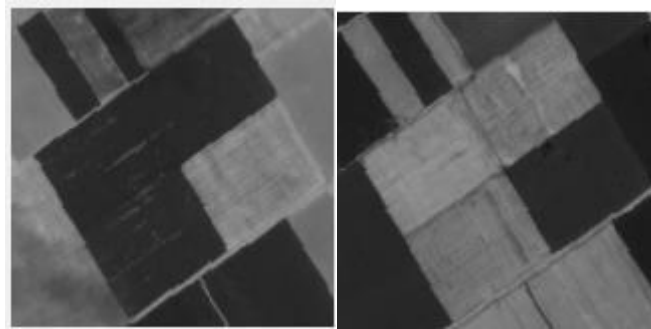


37. ábra: A Balaton jellegzetes alakja NDWI indexen bemutatva

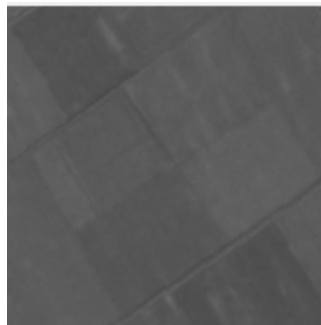


38. ábra: Egyéni kombináció, mellette a skálázott Colormap

- A konkrétabb, gyakorlatibb példa esetében az adatok nem ismertek, így kevesebb az ellenőrzési lehetőség. Így is jól látszik a tavaszi és az őszi vetés közti erős különbség, illetve a télen kietlen terület

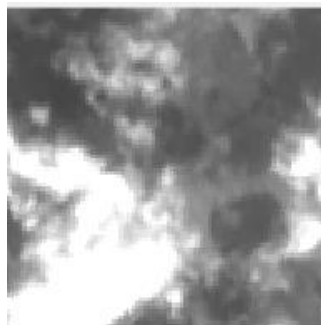


39. ábra: A vizsgált terület márciusban és augusztusban



25. ábra: Decemberre a növényzet eltűnik

- A felvételek itt egész évben készültek, így sok felvétel a rossz idő miatt nem felhasználható. Szerencsére a képek döntő többségéből elég információt le tudunk olvasni.



26. ábra: Elemezhetetlen, felhős felvétel

5.3. Felhasználás

A program a növénytermesztéssel foglalkozó szakemberek munkáját két fontos dologban segíti:

- **Növénytermesztés-optimalizálás:**
Az olykor hatalmas kiterjedésű termőterületek bejárása és ellenőrzése hatalmas munkát és energiát vehet igénybe, emellett nagy a hibák kockázata. A fényvisszaverésen és anyagvizsgálaton alapuló módszerhez csupán egy drónra és erre a programra van szükség, és megbízható, valós idejű adatokat képes. Az általam elkészített alkalmazás így hatékonyan járulhat hozzá elsősorban a gabonaféléktermesztésének javításához.
- **Kísérletek, új mérőszámok felfedezése**
Az agráriumban dolgozó mérnökök a már létező adatok és felvételek birtokában felismerhetik, hogy az adott hullámhosszokon később milyen változást eredményez a növényekben, és ez alapján új, eddig nem használt mérhető mennyiségeket vezethetnek be.

6. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] *weblogographic.com/spectrometer*. (2022. 10 26).
Forrás: <https://hu.weblogographic.com/difference-between-spectrometer-and-spectrophotometer-10819>
- [2] Newton, S. I. (1704). *Opticks: or, A Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*.
- [3] Researchgate. (2007. 01).
Forrás: https://www.researchgate.net/figure/Newtons-colour-circle_fig2_233979624
- [4] Herschel, W. (2022. 11 02). *Infrared Astronomy - Seeing the Heat*.
Forrás: <https://spark.iop.org/william-herschel-and-discovery-infra-red-radiation>
- [5] Akhloufi, M. A. (2022. 07 05). *Fusion of active and passive infrared images for face recognition*.
Forrás:
https://www.researchgate.net/publication/268194718_Fusion_of_active_and_passive_infrared_images_for_face_recognition
- [6] Bir Bhanu, I. P. (2005). *Computer Vision Beyond the Visible Spectrum*.
Forrás:
<https://books.google.es/books?id=io2IFUiMLRsC&pg=PA168&dq=visible+spectrum&hl=hu&sa=X&ved=2ahUKEwje5Obgo4P7AhXSQeUKHVo3CBEQ6AF6BAGgEEAI#v=onepage&q=visible%20spectrum&f=false>
- [7] *sciencedirect.com/hyperspectralimaging*. (2022. 11 16).
Forrás: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/hyperspectral-imaging>
- [8] *Edmundoptics.com/hyperspectralimaging*. (2022).
Forrás: <https://www.edmundoptics.es/knowledge-center/application-notes/imaging/hyperspectral-and-multispectral-imaging/>
- [9] Nireos.com. (2022. 11 19).
Forrás: <https://www.nireos.com/hyperspectral-imaging/>
- [10] Hinala.com. (2022. 11 18).
Forrás: <https://hinalaimaging.com/technology/#applications>
- [11] Md-innovationtech.com. (2022. 11 16).
Forrás: <https://md-innovationtech.com/products/hyperspectral/>
- [12] Resonon.com. (2022. 11 18).
Forrás: <https://resonon.com/Pika-XC2>
- [13] CubertGmbH.com. (2022. 11 16).
Forrás: <https://www.cubert-hyperspectral.com/products/ultris-x20>
- [14] Headwallphotonics.com. (2016. 04 20).
Forrás: <https://www.headwallphotonics.com/blog/landmine-detection-using-hyperspectral-imaging>

- [15] AustralianDepartmentofDefense. (2020. 04 09).
Forrás: <https://www.dst.defence.gov.au/news/2020/04/09/protecting-our-soldiers-across-spectrum>
- [16] SpecimCameras. (2018. 02 23).
Forrás: <https://www.specim.fi/food-fraud-detection-with-hyperspectral-imaging/>
- [17] Advian. (2021. 06 28).
Forrás: <https://www.advian.fi/en/blog/benefits-of-hyperspectral-imaging-for-food-quality-assurance>
- [18] Kozma-Bognár. (2008. 08). *HIPERSPEKTRÁLIS FELVÉTELEK MEZŐGAZDASÁGI ÉS KÖRNYZETVÉDELMI CÉLÚ FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A KESZTHELYI TÉRSÉGBEN.*
Forrás:
https://www.researchgate.net/publication/264529780_HIPERSPEKTRALIS_FELVETELEK_MEZOGAZDASAGI_ES_KORNYZETVEDELMI_CELU_FELHASZNALASANAK_LEHETOSEGEI_A_KESZTHELYI_TERSEGBEN_APPLICATION_OF_HIPERSPEKTRAL_IMAGES_IN_AGRICULTURE_AND_ENVIRONMENTAL_PROTECTION_IN_T
- [19] Landsat. (2022. 11 16).
Forrás: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>
- [20] Lehner. (2022. 11 16).
Forrás: <https://lechnerkozpont.hu/oldal/ortofotok>
- [21] GisGeography. (2022. 07 25).
Forrás: <https://gisgeography.com/hyperspectral-imaging/>
- [22] Earthexplorer. (2022. 11 16).
Forrás: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- [23] HypsIRI. (2022. 11 18).
Forrás:
https://airbornescience.nasa.gov/category/Mission/HypsIRI_Airborne_Campaign
- [24] SentinelEU. (2022. 10 26).
Forrás: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=10&lat=40.43231&lng=-3.95782&themeld=DEFAULT-THEME&visualizationUrl=https%3A%2F%2Fservices.sentinel-hub.com%2Fogc%2Fwms%2Fbd86bcc0-f318-402b-a145-015f85b9427e&datasetId=S2L2A&fromTime=2022-04-13T00%3A00%3A00>
- [25] Sentinel Playground. (2022. 10 21).
Forrás: <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/?source=S2L2A&lat=46.84516443029276&lng=17.55981456488371&zoom=9&preset=null&layers=B01,B02,B03&maxcc=20&gain=1.0&gamma=1.0&time=2022-04-01%7C2022-10-21&atmFilter=&showDates=false>