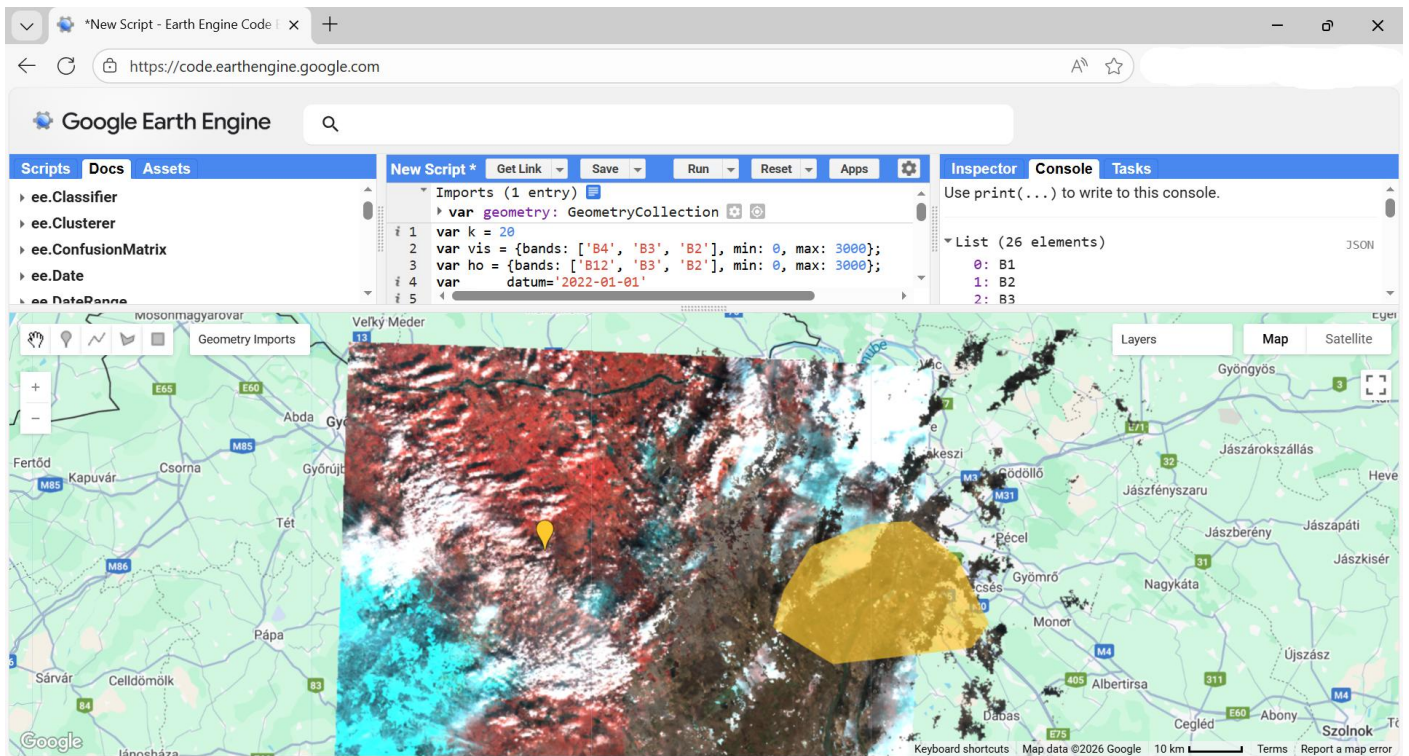
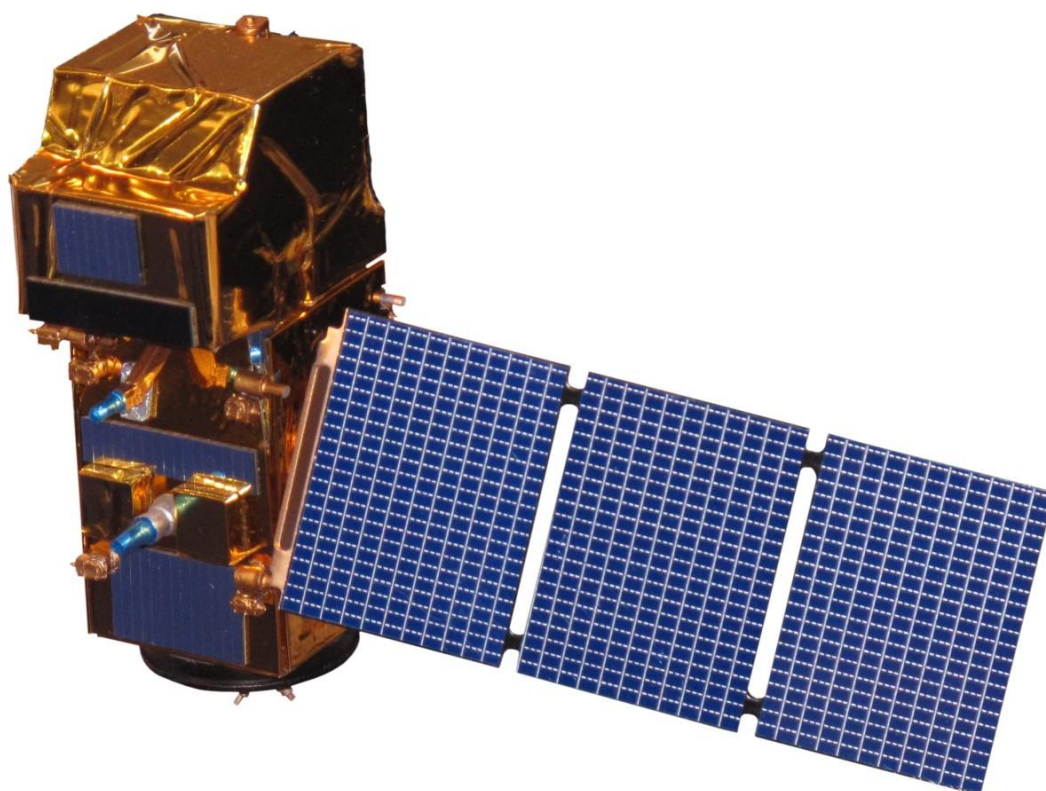


tanítsunk a világűrrel!

→ ÉPÍTSÜNK FELHŐDETEKTORT!

A Google Earth Engine felhasználásával





↑ Az ESA Sentinel-2 műhold művészi illusztrációja.

Tanári útmutató

Alapadatok	4. oldal
A tevékenységek áttekintése	5. oldal
Bevezetés	6. oldal
Háttérinformációk	9. oldal
1. tevékenység: Műholdas távérzékelés, Sentinel– műholdak, GEE	17. oldal
2. tevékenység: Tájékozódás a GEE felületen	18. oldal
3. tevékenység: Ez itt felhő vagy árnyékra vetődünk?	19. oldal
4. tevékenység: Nem mind felhő, ami fénylik	22. oldal
Tanulói munkalapok	25. oldal
Linkek	31. oldal
Mellékletek	32. oldal

tanítsunk a világgűrrel! – Építsünk felhődetektort! | Q23

www.esa.int/education

Az Európai Űrügynökség (ESA) Oktatási Irodája örömmel fogadja a visszajelzéseket és észrevételeket
teachers@esa.int

Az Európai Űrügynökség oktatási programja az Európai Űrügynökség Oktatási Erőforrás Iroda (ESERO) Nordic-kal együttműködésben
Szerzői jogok 2025 © Európai Űrügynökség

→ ÉPÍTSÜNK FELHŐDETEKTORT!

A Google Earth Engine felhasználásával

ALAPADATOK

Tantárgy: fizika, földrajz, természetismeret

Korosztály: 14–18 év

Nehézségi fok: közepes

Tanári felkészülési idő: 2-3 óra

Tanítási idő: 90 perc

Költség: alacsony (0–10 euró)

Helyszín: tanterem

Kulcsszavak: fényhullámok, ESA Sentinel-műholdak, űrfelvétel, műhold, meteorológia, hamisszínes kép, adatszűrés, felhőborítottság, vizuális és infravörös hullámhossz-tartomány, Google Earth Engine, NDVI, távérzékelési indexek.

Rövid ismertetés

A tananyag két (vagy akár három) szinten nyújt bepillantást a műholdas távérzékelésbe: az első szinten a fókusz az ESA Sentinel-műholdak, főleg a Sentinel-2 adatain van: mire használhatók ezek a képek, adatok. A második szinten a Google Earth Engine (GEE) keretében vagy a tanár mutatja be az alapvető ismereteket, vagy a diákok maguk fejlesztenek rövid GEE-kódokat, testközelbe hozva az óriási mennyiségű távérzékelési adatot és azok alapvető feldolgozási lehetőségeit. Itt a felhőszűrés mint alkalmazás a gyakorlati példa, de a kódfejlesztésből érdeklődő diákoknak szakkör is kialakítható: a diákok akár önálló projekteket is indíthatnak a tanultak alapján.

Tanulási célok

- Megismerkedünk a műholdas távérzékelés alapjaival.
- A tanulók megtanulják, hogy radar tartományban a légkör kevés, a látható és infravörös tartományban komoly módosító hatással van a távérzékelési jelre.
- Az ESA Sentinel-műholdprogramjának megismerése.
- Bepillantást nyerünk a Sentinel-2 műholdképek sajátosságaiba és felhasználásába.
- A tanulók felismerik, hogy a Google Earth Engine használatával könnyen lehet műholdas adatokhoz jutni és projektet indítani szinte bármilyen felhasználási célra.
- A tananyag fejleszti a vizualizációs készségeket és az algoritmikus gondolkodást.

→ A tevékenységek áttekintése

A tevékenységek áttekintése					
	Cím	Leírás	Eredmény	Szükséges előzmények	Időtartam
1	Műholdas távérzékelés, Sentinel-műholdak, GEE	A háttérinformációk alapján a tanár által összeállított mélységű anyagot tanítjuk meg, melynek elemei: távérzékelés általában, műholdas távérzékelés, ESA Sentinel-műholdak (Sentinel-2), GEE Earth Engine Code Editor bemutatása	A tanulók a tanári bemutató alapján megértik a műholdas távérzékelés értelmét és alapjait, az ESA Sentinel-műholdak fontosságát, és látnak konkrét műholdfelvételeket gyakorlati alkalmazásban.	Nincs, vagy ha a diákok önállóan is fejlesztenek GEE-ben, akkor egyéni GEE-regisztráció.	20-25 perc
2	Tájékozódás a GEE felületen	Mozgás a GEE térképi paneljében, egy vagy több műholdkép behívása, a műholdképgyűjteményekből való időbeli, térbeli (itt: Bp.) és más szempontú (itt: felhőfedettség) leválogatás, hamisszínes kép bemutatása	A diákok megismerik a GEE gyakorlati használatát, megértik a műholdképgyűjteményekből való időbeli, térbeli és más feltételek alapján történő leválogatást.	Az 1. tevékenység elvégzése. Ha a diákok maguk is használják a GEE-t, akkor a helyben szokásos információátadási módot kell előkészíteni az előre megírt kódok diákok számára történő átadására.	20 perc
3	Ez itt felhő vagy árnyékra vetődünk?	Ebben a tevékenységben kihasználjuk, hogy van egy kódolt csatornánk is az adattermékek között, ami bizonyos kódokat rendel az adott pixelhez pl. felhő vagy felhőárnyék.	A diákok megtanulják, hogy léteznek kódolt képek is, és ez alapján dönteni lehet az adott pixelről, hogy milyen típusú adatot tartalmaz.	A2. tevékenység elvégzése.	30-40 perc
4	Nem mind felhő, ami fénylik (opcionális is lehet)	A multispektrális adatfelvétel lehetővé teszi, hogy megkülönböztessük például a felhőket a hótól.	A tevékenység tanulsága, hogy a vizuális tartományban a hó és a felhő is fehér, de ha infravörös csatornát is bevonunk, akkor megkülönböztethetők.	A3. tevékenység elvégzése.	20 perc

→ Bevezetés

1. Néhány szó a távérzékelésről

A **távérzékelés** (angolul: **remote sensing**) valójában évszázados múltra tekint vissza: a különböző helyzetekben igyekszünk a „nagy képet” (big picture) átlátni, áttekintést szerezni azon környezetben vagy objektumokra vonatkozóan, amit éppen vizsgálni akarunk. Elsődlegesen a **katonai felhasználás** motiválta a különböző megoldásokat: Kínában teherbíró sárkányokon emeltek fel kistermetű megfigyelőket, később léghajókat használtak erre a célra. De a hadi alkalmazáson felül a különféle **haváriahelyzetek** (pl. árvizek, tűzvészek) állapotát vagy következményeit is igyekeztek felmérni: pl. a tűztoronyok is tulajdonképpen a távérzékelést szolgálták. A távérzékelés relatíve olcsó, és nagy területről tud szinte pillanatszerűen információt szolgáltatni. Emellett általában ismételhető is, ezáltal a **változások megfigyelésére** is alkalmas.

Nem gondolnánk, de a távérzékelés legfontosabb tulajdonsága az, hogy **érintésmentes**. Talán meglepőnek tűnik, hogy ezt kihangsúlyozzuk, hiszen a légi- és űrtávérzékelés, vagy az igen gyorsan kifejlődött drónos távérzékelésnél nem is lehet másról szó. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a távérzékelés sok fajtája közül egy a **közei távérzékelés** (close-range remote sensing), ahol éppen azt használjuk ki, hogy a megfigyelt környezet vagy objektum **nem érintkezik** a megfigyelő műszerrel. Miért? Sok oka lehet, a legtipikusabb az, hogy a **tárgy értékes vagy nagyon érzékeny** (pl. műtárgy: régészeti lelet, szobor, festmény, antik bútor), és ezért nem szabad hozzáérni, de az is lehet az ok, hogy valamiért **veszélyes lenne az érintés**, pl. mérgező vagy fertőző az objektum (pl. elpenészedett freskók), vagy pedig nem tudunk a közelébe menni, pl. a haváriahelyzetet kell gyorsan dokumentálni (pl. autóbalesetnél vagy tűzesetnél).

A következő tisztázandó fogalom a **kétféle távérzékelés** témája: **aktív és passzív távérzékelés** szétválasztása. A **passzív távérzékelés** esetén vagy a vizsgálandó tárgynak van valamilyen módon érzékelhető **saját sugárzása van** (pl. lávafolyam hőt és fényt bocsát ki) vagy **egy külső forrás világítja meg** az objektumot vagy a környezetet, legtipikusabban a Napból érkező különféle hullámhosszú elektromágneses sugárzás, pl. a természetes fény. Az **aktív távérzékelés** esetén éppen fordított a helyzet: **mi magunk világítjuk meg** a valamilyen módon vizsgált objektumot, pl. radar- vagy fényhullámokkal, ezek a radar- illetve LiDAR-módszerek. A műszerünk kibocsátja az adott hullámhosszú sugárzást, és a visszaverődő jelet észleljük, ami alapján az objektumot (pl. szobor, hegy vagy erdő) vagy környezetet, tájat leképezzük.

2. A műholdas távérzékelés

A műholdas távérzékelés több tekintetben sajátos. Itt most a Föld-megfigyelésre (Earth Observation, EO) összpontosítunk, a Naprendszer objektumainak különféle módszerekkel történő vizsgálatára itt terjedelmi korlátok miatt nem térhetünk ki.

A távérzékelés az utóbbi három-négy évtizedben a földtudományok, környezetvédelem és éghajlatkutatás egyik legfontosabb eszközévé vált. A modern földmegfigyelő műholdak — mint a Sentinel-2 vagy a Landsat-8/9 — naponta szolgáltatnak nagy mennyiségű adatot, ami:

- segíti az erdők, vizek és városok változásának megértését, a termés előrejelzését,
- támogatja a katasztrófavédelmet (árvizek, tűzesetek, viharok állapot- és kárfelmérése),
- lehetővé teszi a meteorológiai előrejelzést és a klímaváltozás hatásainak nyomon követését,
- a fejlett adatintegráció és a térinformatikai eszközök révén bárki EO projektbe kezdhet,
- hozzájárul a globális gondolkodás és lokális cselekvés pedagógiai céljaihoz.

2.1. Valós színes (RGB), multispektrális és hiperspektrális leképezés

A műholdas távérzékelés lehetővé teszi a **nagy tömegű, nagy területre szinte pillanatszerű adatnyerést** valamely földfelszíni területre, valamilyen megcélzott **felbontással és időbeli ismétlődéssel**, és gyakran multi- vagy akár hiperspektrális jelleggel. A szokványos digitális képek (pl. digitális kamerák, okostelefonok által készített képek) a látható tartományban készülnek, vörös-zöld-kék (RGB) háromsávós adatként. A **multispektrális** képek viszont 4-36 sávban – tipikusan a látható és az **infravörös** (IR) hullámhossz-tartományban – változó spektrális felbontásban készülnek. A **hiperspektrális** képek viszont igen sok, több száz, vagy akár több ezer sávban tartalmaznak adatot, és általában az egyes hullámsávok szélessége is kicsi, azaz kiváló a spektrális felbontásuk is. A multi- és hiperspektrális adatokat gyakran kísérik nagy felbontású **pankromatikus** (széles hullámhossz-tartományban készülő) csatornák is.

Nyilvánvaló, hogy minél jobb térbeli és minél jobb spektrális felbontást szeretnénk, az eredményképeink annál nagyobbak lesznek. Ugyanakkor a műholdak keringésének fizikája miatt, a nagyobb területi felbontás általában azt is jelenti, hogy ugyanannak a területnek az **ismétlési ideje meghosszabbodik**. Például a meteorológiai műholdak egy része az adott műholdról látható egész földtányért leképezi 15 percenként, viszont ezen képek térbeli felbontása kicsi. Ezzel szemben a Landsat- és Sentinel-műholdak térbeli felbontása sokkal jobb, de ugyanarról a területről csak ritkábban (napok múlva) tudnak pontosan ugyanúgy ismételt képet készíteni.

A műholdas távérzékelés a kezdeti katonai súlypontból és az USA és a Szovjetunió által dominált helyzetből mára rendkívül széleskörűvé vált mind a felhasználási területek, mind pedig a működtető országok, sőt üzleti alapon működő cégek tekintetében. Mint említettük, léteznek gyors képismétlésre képes rendszerek, a másik végletben pedig kifejezetten nagy térbeli felbontású (akár méteres), illetve nagy spektrális felbontású rendszerek. A felhőborítottság problémájának kezelésére – alkalmazhatóságtól függően – radaros rendszerek is elterjedtek. Az adatok üzleti alapon megvásárolhatók, megrendelhetők, egy jelentős részük pedig díjtalanul is elérhető (pl. Sentinel-adatok).

2.2. Adatfeldolgozás

A távérzékelési rendszerünknek olyannak kell lenni, hogy a műszeresen megfigyelt fizikai jelből a célfelhasználó számára használható adatot teremtsünk. Ehhez számos fizikai, elektronikai és informatikai lépésre van szükség. Az átláthatóság végett feldolgozási fázisokat vezettek be annak érdekében, hogy a felhasználó tudja, hogy milyen feldolgozási lépéseken ment át a jel, amit használ.

Fizikai jelből számadat: Maga távérzékelés fizikai folyamatokon alapszik: passzív esetben valamely sugárzás (pl. napfény) (vagy aktív esetben az általunk kibocsátott jel) áthalad a légkörön, ez éri a megfigyelendő objektumot (esetleg saját sugárzása van) és visszaverődik róla, ismét áthalad a közegen, majd a detektorunkba jutva szintén fizikai jelenségek segítségével mérjük ezt, amit aztán elektronikus jellé, végül számadattá alakítunk. Minden egyes lépésben tudnunk kell a dolog fizikáját, de sajnos még ez sem elég.

Korrekciók: Az eredetileg érzékelt jel számos torzító hatást szenvedett el, és ezt a legtöbb felhasználási cél érdekében lehetőség szerint a jelből el kell távolítani. Beszélhetünk például légköri, spektrális, geometriai korrekciókról, utóbbi számítások egy részét georeferálásnak szokás nevezni.

Georeferálás: Az űrfelvételek esetén nemcsak azt kell ismernünk, hogy MIT mérünk, hanem azt is, hogy az HONNAN jön. Ezért tudnunk kell az objektum–detektor geometriáját, hiszen tudni akarjuk, hogy mi verte vissza a jelet. Tovább bonyolítja dolgot, hogy a földfelszín geometriája önmagában is bonyolult, sok különféle vetületi rendszert dolgoztak ki, hogy az egyébként síkba nem fejthető felszínből térképek készülhessenek. Itt is ez a feladat, hiszen az eredményeinket térinformatikai rendszerekbe szeretnénk behozni, hogy a felhasználó már a korrigált adatot tudja használni.

2.3. Miért fontos a távérzékelés az iskolai oktatásban?

Az általános és középiskolában a távérzékelés különösen jól illeszthető a földrajz, a természetismeret, a fizika, az informatika, a biológia, a digitális kultúra oktatásához, mivel egyszerre fejleszti a digitális kompetenciákat, az adatelemzést és a természettudományos gondolkodást. Különösen alkalmas olyan iskolanapok tematikájára, amikor több tantárgyat egyszerre, egységesítve oktatunk, hiszen pl. a földrajztanár, a fizika (hullámterjedés), a biológia (növényzet), a meteorológia (természetismeret) tanára kiválóan együtt tud működni az informatikatanárral ebben a projektben. Emellett vizuális élményt is nyújt a különféle felszínborítottságú (sivatag, őserdő, tengerpart, magashegység, stb.), illetve földhasználati kategóriájú (szántóföld, település, kifutópálya, út, vasútvonal, stb.) felszínek megismeréséhez és felismeréséhez.

2.4. Miért jó eszköz a Google Earth Engine (GEE)?

A Google Earth Engine egy teljesen böngészőből használható, felhőalapú geoinformatikai platform, amely:

- több petabájtnyi nyers és előfeldolgozott műholdképet biztosít, köztük Sentinel–2, Landsat, MODIS adatokat,
- minden úrfelvétel georeferált, ezért térképekkel, az úrfelvételek egymással és más adatokkal (pl. terepi GPS) integrálhatók,
- csak minimális előismeret szükséges (internet- és böngészőhasználat, alapvető logikai gondolkodás, alap matematika és fizika), **programozási tudás nem szükséges** (mert kialakul),
- nem igényel telepítést, hardverigénye minimális,
- ingyenes oktatási célokra, regisztráció után azonnal elérhető,
- a kódok megoszthatók, időzíthetők, dokumentálhatók,
- nagy mennyiségű adatot képes kezelni saját gép terhelése nélkül.

Ezért a GEE ideális tanárok számára, akik:

- valós műholdadatokkal szeretnének dolgozni az órán,
- szeretnék a diákok digitális és STEM-kompetenciáit fejleszteni,
- el akarják érni, hogy a témára fogékony diákok maguktól is tudjanak továbbfejlődni,
- gyors, látványos eredményeket szeretnének elérni földrajz, földtudományi, illetve informatikai területen.

→ Háttérinformációk

Ahogy a bevezetőben említettük, a műholdas távérzékelés az elmúlt fél évszázadban rohamos fejlődésen ment keresztül, és ma az államigazgatásban, az önkormányzatok, a hatóságok munkájában nélkülözhetetlen, sőt a mindennapi életben is gyakran használjuk az ebből származó adattermékeket (pl. meteorológia). Fontos lenne erről a fejlődéstörténetről, a műholdak, a műszerek és technológiák sajátosságairól átfogó áttekintést adni, de terjedelmi korlátok miatt erre itt nem vállalkozhatunk. Az érdeklődő Olvasó kiváló összefoglalókat találhat a témáról, de két kivételt mindenképpen teszünk. Az egyik fontos, mindenképpen megemlítenünk a Landsat-műholdsorozat, amit méltán tekinthetünk a legsikeresebb Föld-megfigyelő műholdsorozatnak, hiszen 1972 óta – folyamatos fejlesztés mellett – a mai napig széles körben használt adatokat produkáló, és a szakterületet lényegében évtizedekre meghatározó műhold-sorozatról van szó. Ezen belül is – részben kényszerből – a Landsat- 5 műhold csaknem 30 évig szolgáltatott adatot, ami a jelenlegi (és vélhetően sokáig fennmaradó) rekord.

A másik műholdrendszer, amiről feltétlenül szó kell esnie, az ESA Sentinel-műholdsorozata. Sok okból ma meghatározó ez az infrastruktúra, ezért az **1. mellékletben** egy információcsomagot találunk a témáról. A jelen projektben pedig az ESA Sentinel-2 műholdak adatait fogjuk használni, ezért erről itt adunk részletesebb információt.

3. Az ESA Sentinel-2 műholdak

Az ESA Sentinel-műholdcsalád adatai közül talán a leggyakrabban használtak a Sentinel-2 műholdak által gyűjtött adatok, nem mellesleg azért, mert a rendszer eleve úgy volt tervezve, hogy az adatokat díjtalanul lehessen használni. Ehhez jött még az a logikus lépés is a Google Earth Engine (GEE) részéről, hogy – mivel az adatok díjtalanok – a Sentinel-2 adatok is a GEE-ben közvetlenül elérhetők.

A rendszer jelenleg (2025) három azonos műholdból áll: Sentinel-2A (2015), Sentinel-2B (2017), Sentinel-2C (2024). Egy további műhold felbocsátását tervezik 2028-ra.

3.1. A Sentinel-2 küldetés céljai

A Sentinel-2 célja:

- pontos, nagy felbontású optikai képek készítése,
- a látható, közeli infravörös és rövidhullámú infravörös tartomány pásztázása,
- vegetáció, talaj, geológiai egységek és vízfelületek állapotának monitorozása,
- visszamenőleges kompatibilitás a korábbi műholdprogramokkal, a már korábban kidolgozott távérzékelési indexek további használhatósága érdekében.

3.2. A Sentinel-2 műholdak műszaki részletei

A rendszer előnyei:

- **5 napos** globális újralátogatási idő (közép-európai szélességeken kb. 3 nap),
- **13 spektrális sáv**,
- 10 / 20 / 60 méteres pixelméret (csatornafüggő),
- nagy lefedettség (290 km széles sáv),
- díjtalan elérés nyersadatként és feldolgozva.

A fő szenzora a 13 csatornás MultiSpectral Instrument (MSI):

Sáv	Hullámhossz (nm)	Felbontás	Fő alkalmazás
B1	443	60 m	Aeroszol, légkör
B2	490	10 m	Kék – vízvizsgálat
B3	560	10 m	Zöld – vegetáció
B4	665	10 m	Vörös – vegetáció, talaj
B5–B7	705–783	20 m	Red-edge – biomassza
B8	842	10 m	NIR – vegetáció
B8A	865	20 m	Vegetáció
B9	945	60 m	Vízgőz
B10	1375	60 m	Cirrus felhő
B11–B12	1610–2190	20 m	SWIR – hó, jég, talajnedvesség

1. táblázat. A Sentinel-2 műholdak csatornakiosztása

Ez a sok sáv lehetővé teszi például:

- a vegetációanalízist (NDVI, EVI, stb. spektrális indexek),
- a vízminőség becslését,
- a felszíni égetések, tűzkárok kimutatását,
- különféle geológiai vizsgálatokat.

A Sentinel-2 adatok két alapvető előfeldolgozási szinten érhetők el:

- Level-1C: nem atmoszférusan korrigált képek (TOA = top of atmosphere)
- Level-2A: atmoszférus korrekció utáni képek (BOA = bottom of atmosphere), benne:
 - SCL (Scene Classification Layer),
 - felhő- és árnyékmazsk.

A GEE alapértelmezés szerint Level-2A adatokat használ — ez a tanárok számára különösen hasznos, mert a legtöbb alapvető korrekció már el van végezve.

4. A műholdképek jellemző problémái — fókuszban a felhőborítás

A műholdképek készítésekor a fény előbb áthalad a légkörön, aztán visszaverődik a felszínről, és visszaúton ismét áthalad a légkörön. Ez torzulásokat okoz: Rayleigh-szórás (főként rövid hullámhosszakon), aeroszolhatás, vízgőz elnyelése, és cirrus felhők torzítása révén. Ezért fontos a Level-2A előfeldolgozás során végrehajtott légköri korrekció.

4.1. Miért jelentenek problémát a felhők?

A felhők a légkörben lebegő víz-/páracseppekből vagy jégtűkből állnak. A radar alapú távérzékelés szempontjából nem jelentenek problémát, de a látható és az infravörös tartományban annál inkább, ugyanis a felhők a műholdképeken:

- eltakarják a felszínt,
- magas fényvisszaverésűek (nagy albedó),
- kiterjedt homogén foltokként jelennek meg,
- árnyékokat vetnek, amelyek sötét, összetéveszthető területeket hoznak létre.

Ezért gyakran lehetetlen a felszín állapotát értelmezni, ha nincs megfelelő felhőszűrés.

4.2. A felhők hatása az elektromágneses spektrumban

A Sentinel–2 optikai sávjai alapján a felhők maguk:

- **látható tartományban:** nagyon világosak (fehérek),
- **NIR tartományban:** továbbra is nagyon magas reflektanciát mutatnak,
- **SWIR tartományban:** általában világosak, de variábilisak,
- **cirrus felhők** (nagyon vékonyak): B10 sávban kimagasló értékekkel jelennek meg.

A **felhőárnyékok** ezzel szemben:

- minden tartományban **nagyon sötétek**,
- könnyen összekeverhetők vízfelületekkel, erdős területek árnyékos részeivel vagy a domborzat önárnyékával.

4.3. A felhők felismerése Sentinel–2 adatokban

A Sentinel–2 Level-2A fájlok tartalmazzák:

- QA60 sáv (bitmaszk a felhőkre és cirrusra),
- SCL (Scene Classification Layer):
 - tömör felhő,
 - vékony felhő,
 - felhőárnyék,
 - víz,
 - növényzet,
 - talaj, stb.

A GEE ezeket beépítve tartalmazza, így könnyen elérhető.

A felhőmaszk készítése nem egyszerű, mert

- a felhők optikailag összetettek,
- a cirrus szinte átlátszó,
- az árnyék megtévesztően sötét,
- a fényviszonyok, évszakok és napállásszög változik,
- a felszíntípusok (hó, jég, kopár talaj) hasonlóak lehetnek.

Ezért a felhőszűrés valójában osztályozási feladat, amit:

- a Sentinel–2 gyártó (ESA),
- a Google Earth Engine fejlesztői

különböző algoritmusokkal támogatnak (SCL, QA60, CLOUD_PROBABILITY).

5. Bevezetés a Google Earth Engine (GEE) használatába

A GEE bevezetés lépései:

- Regisztráció
- Az Earth Engine Code Editor
- GEE script alapok
- Az első script

5.1. A Google-fiók és Earth Engine hozzáférés

A Google Earth Engine használatához szükség van egy érvényes Google-fiókra. Ez lehet a munkáltató által biztosított edu-fiók, saját @gmail.com cím vagy bármilyen Google-azonosítóval ellátott fiók.

A regisztráció lépései

1. Weblap: <https://earthengine.google.com/>
2. Bejelentkezés: „**Sign up**” vagy regisztráció: „**Request access**”.
3. Regisztráció esetén a rövid űrlapot ki kell tölteni (név, email cím, szakmai kapcsolat (pl. pedagógus), felhasználási cél: „**Education / Teaching**”.

A jóváhagyás általában néhány óra – 1 nap, de sok esetben azonnali.

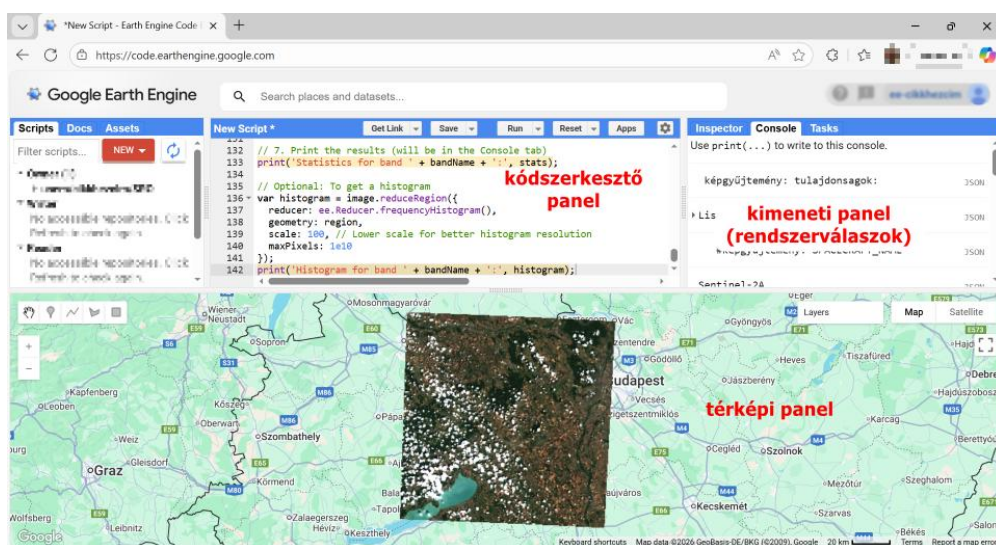
5.2. Az Earth Engine Code Editor

Elérés: <https://code.earthengine.google.com>

A felület négy panelből áll: bal, középső, jobb és alul a térképi panel. Utóbbi a térképi nézetről átváltható műholdkép-mozzaikra is.

1. Bal oldali panel: Scripts, Assets, Docs: a GEE funkciók dokumentációja
2. Kódszerkesztő (JavaScript-alapú, automatikus formázással, hibakezeléssel)
3. Kimeneti panel: Konzol (Console), Tasks, Inspector (a rétegekről ad információt)
4. Térképablak: mozgatható, nagyítható, rétegek ki-be kapcsolása (Layers)

A panelek az őket elválasztó csuszkákkal méretezhetők, akár nulla méretűre is.



↑ Az Earth Engine Code Editor átnézetes képe

5.3. Google Earth Engine alapok

A GEE a JavaScript egyszerűsített változatát használja. A scriptet a kódszerkesztő ablakba kell beírni vagy bemásolni. A kezdő script (Helló, világ!) így néz ki:

```
print("Helló világ!");
```

A kódszerkesztő ablakban találjuk a [Run] gombot (vagy Ctrl-Alt-Enter), az eredményt a Konzolon (jobb panel) láthatjuk. Ha megnyomjuk a [Run]-t, ezzel le is futtattuk az első scriptünket.

A kiíratáson felül három alapvető építőelemet érdemes megjegyezni:

Változó deklarálása:

```
var x = 30; // és így jelöljük a megjegyzést
```

Függvény meghívása (példa):

```
var terület = geometry.area()
```

Függvény deklarálása (pl. kollekciók feldolgozásához):

```
var fuggv = function(image) {  
  return image.select('B4');  
};
```

Legfontosabb típusok és fogalmak:

Típus	Jelentés
Image	Egyetlen raszterkép
ImageCollection	Képek sorozata (pl. Sentinel-2 archívum)
Feature	Vektoros objektum (pont/vonal/poligon)
FeatureCollection	Vektoros adathalmaz
Geometry	Saját kézzel rajzolt terület vagy a vektoros objektum alakzata

5.4. Az első GEE script

Példa: **jelenítsünk meg egy Sentinel-2 képet Magyarország felett!**

Első lépés: egy foktrapéz (hosszúság, szélesség sarokpontok) definiálása Budapest környékére:

```
var Budapest_area = ee.Geometry.Rectangle([18.8, 47.3, 19.3, 47.6]);  
// (Ez nagyjából Budapest környéke földrajzi koordinátákban)
```

Fontos, hogy a **tizedestörteknél** nem tizedesvesszőt, hanem **tizedespontot** használunk, a **dátumokat ÉÉÉÉ-HH-NN formátumban** írjuk.

Mozgassuk a térképet ennek a területnek a közepére (a 8-as egy megfelelő zoom skálát ad):

```
var Bpcentroid = Budapest_area.centroid()  
Map.centerObject(Bpcentroid, 8);
```

Gyűjtsünk össze néhány képet erről a területről 2022 nyaráról:

```
var kepgyujto = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')  
    .filterDate('2022-06-01', '2022-06-30')  
    .filterBounds(Budapest_area)  
print(kepgyujto.size())  
var egyLista = kepgyujto.toList(kepgyujto.size());
```

A `print()` utasítással kiíratjuk (→ jobb panel, azaz a Konzol), hogy hány képet találtunk (itt az eredmény 24), az `egyLista` változóban van a megtalált képek listája. Definiálunk egy indexváltozót (`k`), hogy kiválasszunk egy képet (`k_adik`) a sok közül, `k` értéke 0 és 23 között lehet:

```
var k = 20;  
var k_adik = ee.Image(egyLista.get(k));
```

Listázzuk (→ Konzol) a kép csatornáit és a kép tulajdonságait:

```
print(k_adik.bandNames());  
print(k_adik.propertyNames());
```

De lássunk is végre valamit a képből:

```
Map.addLayer(k_adik, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000}, 'Sentinel-2 RGB');
```

Tehát a 21. képet (`k = 20`, de nullától indul) egy réteggként jelenítjük meg (→ Layers gomb, Sentinel-2 RGB néven találjuk, hiszen így neveztük el), RGB színmodellben, B4 (665 nm →vörös), B3 (560 nm →zöld), B2 (490 nm →kék) csatornákból, ez nagyjából a természetes színeket adja.

Hogy mikori a kép? Írassuk ki (→ Konzol):

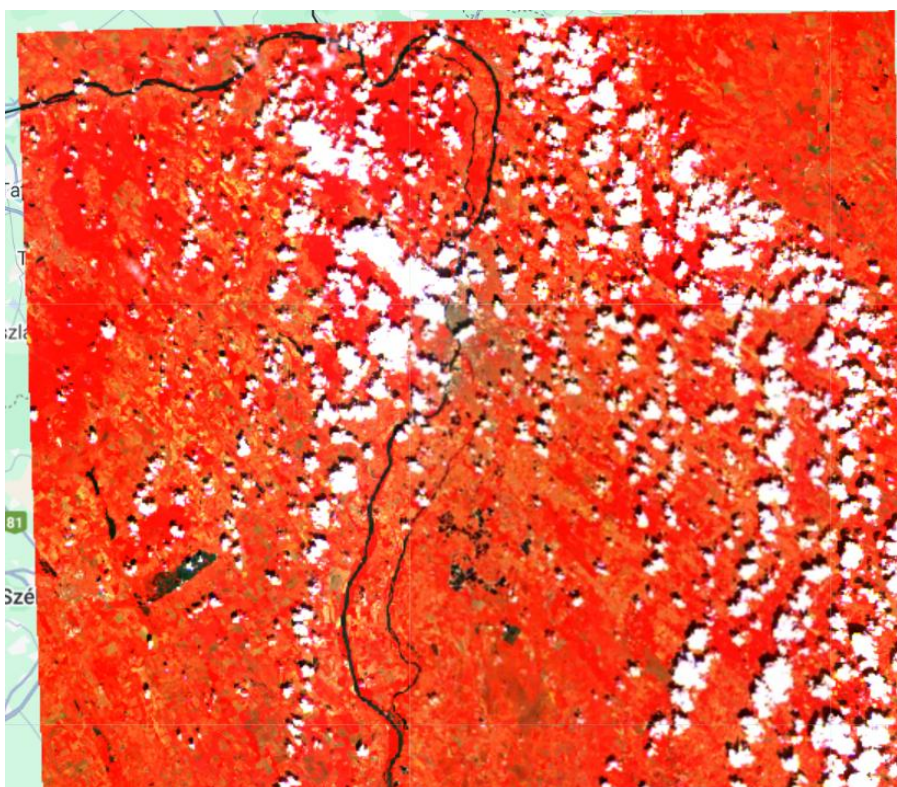
```
print(ee.Date(k_adik.get('system:time_start')));
```

5.5. Műholdképek hamisszínes megjelenítése

A többcsatornás műholdképek ún. hamisszínes megjelenítése már az 1970-es évektől elterjedt, akkor még elsősorban nem számítógép-képernyőn, hanem gyakran nyomtatásban, fényképminőségű megjelenítésben. A technika lényege az, hogy a három szokványos színcsatornára (vörös, zöld, kék), RGB sorrendben valamely tetszőlegesen kiválasztott sávokat tesszük pl. B7-B4-B1 vagy B5-B4-B1. A GEE-ben (a kép kiválasztását ld. fent) könnyen cserélgethetjük a csatornákat, pl.:

```
Map.addLayer(k_adik, {bands: ['B7', 'B4', 'B1'], min:0, max:3000}, 'Sentinel-2 7-4-1');
```

Bíztassuk a diákjainkat is, hogy képezzenek különféle csatornakombinációkat, illetve arra is, hogy egy kombináción belül cserélgessék a sávokat (pl. RGB → BGR). A [Layer] menüben még sok más módosítási lehetőség kínálkozik. Motiváljuk a minél kreatívabb változatok létrehozására a diákokat: feltétlenül biztosítsuk őket arról, hogy semmit nem tudnak „elrontani”. Arra is kérjük meg őket, hogy készítsenek jegyzeteket, hogy melyek voltak a szerintük jól sikerült kombinációk.



↑ Egy Sentinel-2 kép 7-4-1-es (RGB) hamisszínes megjelenítése. Figyeljük meg, hogy a vízfelületek mennyire jól elkülönülnek.

5.6. Távérzékelési indexek számítása

Az előzőekből láthattuk, hogy a sokcsatornás műholdképek különféleképpen jeleníthetők meg, az egyes csatornák szűrhetők, kombinálhatók. Nyilvánvaló, hogy további levezetett adatok is képezhetők belőlük, ezeknek a legalapvetőbb fajtái az ún. távérzékelési indexek. A legelső ilyen indexeket már az 1970-es években bevezették a Landsat MSS (Multispectral Scanner) képekre, és a következő évtizedben már általánosan használatba kerültek. A legszélesebb körben használt index egy vegetációs index, az NDVI (normalised differential vegetation index, Rouse *et al.* 1974¹), normalizált hányados vegetációs index, ami a növényzet állapotára vonatkozóan ad információt, illetve más felületeket pedig meg tud különböztetni, ha az értéke alacsony.

Az NDVI képzése bármilyen távérzékelte adatra lehetséges (légi-, műhold-, drón-, de akár speciális kamera felvételére), amely tartalmaz közeli infravörös (NIR) és vörös (RED) csatornákat.

¹ Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974): Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. NASA Special Publication, 351, 309.

Számítása egyszerű:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

A különböző szenzorokra meghatározzák, hogy mely csatornák jelentik a NIR és RED értékeket, innen az index számítása magától értetődik.

Az index $[-1, +1]$ intervallumot fedi le, a nagy értékek egészséges, fotoszintetizáló növényzet esetén jelentkeznek, a negatív irány tipikusan nem növényzettel fedett pixelekre jellemző.

Az NDVI-t számító függvény Sentinel-2 képekre így néz ki:

```
// NDVI számítás
function addNDVI(img) {
  var ndvi = img.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI');
  return img.addBands(ndvi);
}
```

egy új csatornaként a képhez fogja adni az NDVI-t. Így lehet használni (img1 egy Sentinel-2 kép, ld. következő pontban):

```
var img1_ndvi = addNDVI(img1);
```

Magáról az NDVI-ről és alkalmazásáról óriási mennyiségű szakirodalom létezik, itt terjedelmi okokból részletekbe nem bocsátkozhatunk.

5.7. Sentinel-2 adatlekérés a Google Earth Engine-ben

Ahogy a fentiekben láttuk, a GEE-ben az adatlekérés koncepciója a gyűjteményekre (Collection) alapul. A gyűjtemények igen gyakran akár több millió képet is tartalmazhatnak, amit a megfelelőképpen szűrünk: részben időintervallumra, részben térbelileg, illetve további sajátosságok, minőségi kritériumok szerint. A megjegyzéseket itt már a programkódban helyeztük el. Egyébként is általános tanács, hogy a saját scriptjeinket lássuk el bőségesen megjegyzésekkel: ma és holnap még emlékszünk rá, hogy mit miért írtunk bele, de a tapasztalat azt mutatja, hogy két hét vagy két hónap múlva a saját kódunkat is nehezen értjük meg megjegyzések nélkül.

Az alábbiakban tehát egyben közöljük a kódot, ami négy réteget hoz létre ugyanabból a gyűjteményből, ugyanabból az időintervallumból és ugyanarról a területről, a különbség csak a felhőfedettségben lesz.

```
// létrehozunk egy nagy gyűjteményt
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED');
// szűrjük időintervallumra
var s2_2023 = s2.filterDate('2023-06-01', '2023-07-01');
// szűrjük Budapest környékére
var Budapest_area = ee.Geometry.Rectangle([18.8, 47.3, 19.3, 47.6]);
var s2_area = s2.filterBounds(Budapest_area);
// a továbbiakban felhőborítottság alapján szűrünk, 4 feltétellel
// olyan képeket választunk ki, ahol
// (1) a felhőborítottság<5%
// (2) a 5%<felhőborítottság<10%
// (3) a 10%<felhőborítottság<20%
// (4) a felhőborítottság>60%
// ezekből külön-külön kiválasztjuk az első képet és réteget képzünk
// így 4 rétegünk lesz, amit a Layers menüben ki-be kapcsolgathatunk
//
// Magyarázat: .gt jelentése greater than(>); .lt = less than (<)
// 5%-nál kisebb
var s2_clean05 = s2_area
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 5));
```

```
// 5-10% közé eső
var s2_clean10 = s2_area
  .filter(ee.Filter.gt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 5))
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10));
// 10-20% közé eső
var s2_clean20 = s2_area
  .filter(ee.Filter.gt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10))
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 20));
// 60%-nál nagyobb
var s2_cloudy = s2_area
  .filter(ee.Filter.gt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 60));
// kiválasztjuk a csatornákat (sávokat), itt a látható tartományt
var vis = {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000};
// létrehozuk a rétegeket (mindegyikből az elsőt):
Map.addLayer(s2_clean05.first(), vis, 'RGB clean 05');
Map.addLayer(s2_clean10.first(), vis, 'RGB clean 10');
Map.addLayer(s2_clean20.first(), vis, 'RGB clean 20');
Map.addLayer(s2_cloudy.first(), vis, 'RGB cloudy 60');
```

Ha meg akarjuk tudni, hogy melyik szűrt gyűjtemény hány képet tartalmaz, akkor ezzel tudjuk a Konzolra kiíratni:

```
print('<5%:', s2_clean05.size());
print('5-10%:', s2_clean10.size());
print('10-20%:', s2_clean20.size());
print('>60%:', s2_cloudy.size());
```

Az egyes képeket (nem az elsőt) a `k` változónál fent ismertetett módszerrel tudjuk külön-külön megjeleníteni.

Természetesen más sajátosságok alapján is lehet szűrni a képeket, itt most a téma miatt a felhőborítottságra összpontosítunk.

→ 1. tevékenység: Műholdas távérzékelés, Sentinel–műholdak, GEE

Az alábbi tevékenység keretében (a tanár döntésétől függő mélységben) a tanári munka (bemutató, prezentáció) alapján a tanulók megértik a távérzékelés mibenlétét, megismerkednek a Sentinel–műholdcsaláddal, és néhány Sentinel–2 képet is megnéznék Google Earth Engine felületén.

Eszközök

- Stabil internet-kapcsolat, Google account és Google Earth Engine hozzáférés (a tanárnak), (előzetesen intézendő!),
- A bemutató számítógéphez kapcsolt vetítő (projektor)
- A diákoknak írószer, színesceruza.

Gyakorlat

A háttéranyag alapján a diákok kora, előképzettsége függvényében, egyéni tanári koncepciót követve, az egyes témákat különbözőképpen súlyozva

- magyarázzuk el a távérzékelés lényegét és hasznát, különös tekintettel a globális problémarendszer összefüggésében;
- mutassuk be a Sentinel–műholdrendszert, különösen a Sentinel–2 műholdakat és az általa gyűjtött adatokat;
- mutassuk be a Google Earth Engine felületet;
- mutassunk néhány vizuális tartományú (RGB) Sentinel–2 műholdképet Magyarország (és/vagy más földrajzi helyszín) területéről úgy, hogy legyen benne felhőmentes, kicsit felhős és nagyon felhős kép is;
- néhány hamisszínes kép segítségével mutassuk be, hogy a különféle csatornakombinációk hogyan jelennek meg;
- hívjuk fel a diákok figyelmét arra, hogy radar alapú műholdképeken a felhők nem zavarják, ezzel szemben a vizuális és infravörös tartományokban a felhők által takart felszín nem látható mivoltára, továbbá a felhők által vetett árnyékokra is;
- amennyiben a tanári döntés az, hogy a diákok maguk is tevékenykednek a GEE-ben, akkor ezen tevékenységekre is készítsük fel őket.

→ 2. tevékenység: Tájékozódás a GEE felületen

A tanári döntéstől függően a diákok (pl. fiatalabb diákok esetén) a tanár tevékenységét figyelik a GEE-ben (Google Earth Engine), vagy a tanulók követik a tanári munkát, és maguk is önállóan használják a GEE-t. (Ez felsőbbéves diákoknak javasolható, akiknek van saját Google-azonosítójuk.) Utóbbi esetben fontos, hogy a GEE-be személyenként regisztrálni kell, és a javaslat szerint ezt lépést a konkrét tanóra előtt (legalább egy nappal) érdemes a diákokkal megcsináltatni.

Eszközök

- Stabil internet-kapcsolat, Google account és Google Earth Engine hozzáférés (a tanárnak és döntés szerint a diákoknak), (előzetesen intézendő!)
- A bemutató számítógéphez kapcsolt vetítő (projektor);
- Egyéni munka esetén mindenkinek számítógép és megfelelő böngésző;
- Kinyomtatott tanulói munkalapok (tanulónként 1 db), írószer, színesceruza.

A végrehajtandó feladatok itt kettéválnak attól függően, hogy a tanulók önállóan végzik-e a GEE-ben a tevékenységet, vagy követik a tanárnak a projektoron látható munkáját. Ha a tanár végzi a munkát, akkor az előző tevékenység során a feladatok egy része már teljesített. Itt most az önálló tevékenységet fejtjük ki.

Gyakorlat

1. feladatként fontos, hogy a diákok a GEE paneljeinek funkcióit megismerjék, és megtanulják aktívan használni a Kódszerkesztő és a Térképi panelt, továbbá, hogy kísérjék figyelemmel a Konzolra kerülő információkat. Ez általában a mai diákoknak gyorsan tanulható.

Ennek érdekében jelöljünk meg 8 nagyvárost/világvárost (egyike legyen Budapest), a diákok ebből egyénenként válasszanak ki **2 nagyvárost + Budapestet**, és keressék ki a magyar vagy az angol Wikipédiából az adott városok földrajzi koordinátáit. (Ha egyszerűsíteni akarjuk a feladatot, akkor csak az északi féltekéről és Greenwich-től keletre lévő helyszíneket válasszunk, hogy a negatív (déli, illetve nyugati) koordinátákkal ne kelljen bajlódni.)

A háttéranyagban megtaláljuk, hogy egy adott pontra milyen kóddal lehet fókuszálni a Térképi panelt, ezt a két (a diákok által választott) várossal csináltassuk meg a gyerekekkel, utoljára pedig Budapesttel. Ügyeljünk rá, hogy a tanulók **tizedespontot** használjanak, ez egy tipikus hibaforrás.

A **2. feladat** egy Budapest környéki műholdkép megjelenítése a Térképi panelben. Ha lehet, használjunk **felhőszűrést** is, de a júniusi képek általában megfelelők lesznek. Hagyjuk, hogy a diákok tetszőleges képet válasszanak. Az ehhez szükséges kódok a Háttérinformációk szakaszban találhatók. **Ha a diákok maguk is használják a GEE-t, akkor a helyben szokásos informatikai platformot/információátadási módot kell alkalmazni az előre megírt kódok diákok számára történő átadására** (e-mail, fájlmegosztó, pendrive).

Azt a megoldást is használhatjuk, hogy a fent ismertetett kóddal legyűjtjük a kéttucatnyi képet, és a diákoknak a képkiválasztáshoz személyenként adunk egy k értéket, ezzel mindenkinek más-más képet adunk. Ez esetben célszerű **az egyes képeket előzetesen átnézni**, ugyanis bizonyos képek egy másik kép egy részét képezik. Általában is javasolt előzetesen átnézni a műholdképeket, ha például más évszak (pl. márciusi-áprilisi vagy őszi) képeket használunk, a felhőfedettség teljesen más lehet.

→ 3. tevékenység: Ez itt felhő vagy árnyékra vetődünk?

Az alábbi tevékenység keretében a tanulók a műholdképek felhőfedettségét vizsgálják, és különféle szűrésekkel megvizsgálják, hogy mely részeket fednek felhők, és a felhőárnyékok mennyiben befolyásolják az űrfelvételek felhasználását.

Eszközök

- Stabil internet-kapcsolat, Google account és Google Earth Engine hozzáférés (a tanárnak és döntés szerint a diákoknak);
- A bemutató számítógéphez kapcsolt vetítő (projektor);
- Egyéni munka esetén mindenkinek számítógép, internet-hozzáférés és megfelelő böngésző;
- Kinyomtatott tanulói munkalapok (tanulónként 1 db), írószer.

1. feladat

Az alábbiakban kihasználjuk, hogy a Level-2A feldolgozási szinten minden Sentinel-2 képhez található egy SCL-csatorna (Scene Classification Layer), ami egy osztályozás eredményét tartalmazza minden pixelre:

Kód	Jelentés	Szokásos színezés (HTML-kód)
0	nincs adat/hiányzó adat	fekete (#000000)
1	telített vagy hibás pixel	vörös (#ff0000)
2	domborzati árnyékok	sötétszürke (#2f2f2f)
3	felhőárnyékok	középbarna (#643200)
4	növényzet	zöld (#00a000)
5	növényzet nélküli terület	sárga (#ffe65a)
6	víz	kék (#0000ff)
7	nem osztályozott	középszürke (#808080)
8	közepesen valószínű felhő	világosszürke (#c0c0c0)
9	nagyon valószínű felhő	fehér (ffffff)
10	vékony cirrus*	világoskék (#64c8ff)
11	hó vagy jég	világoslila (#ff96ff)

* jégkristályokból álló, magas szintű felhőtípus

Ez természetesen a Level-2A feldolgozás eredménye, és nem vehető teljesen biztosra, de nagy a valószínűsége. Mivel ennek a csatornának az értékeit megbízhatónak tarthatjuk, ez alapján készíthetünk olyan maszkot vagy maszkokat, amelyeket alkalmazva csak az adott típusú pixelek jelennek meg. Fordítva is megtehetjük, hogy az adott (pl. felhős vagy felhőárnyékos) pixeleket szűrjük ki, és a többi tartjuk meg. Ehhez logikai függvényeket használhatunk: `.eq(SZÁM)` egyenlő, `.neq(SZÁM)` nem egyenlő. Például `scl.eq(3)` felhőárnyék esetén igaz (itt feltettük, hogy az `scl` az SCL-csatornát tartalmazza). Logikai függvények segítségével a fordítottját is elérhetjük: az `.and()` függvény logikai ÉS kapcsolatot teremt (ami akkor és csak akkor igaz, ha mind a két feltétel igaz).

Válasszunk kifejezetten felhős képet 2023 júniusából a már ismert módon (felhős % > 20% `.gt()`):

```
var k = 11
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED');
// időbeli leválogatás
var s2_2023 = s2.filterDate('2023-06-01', '2023-07-01');
// térbeli leválogatás
var Budapest_area = ee.Geometry.Rectangle([18.8, 47.3, 19.3, 47.6]);
var s2_area = s2.filterBounds(Budapest_area);
```

```
// legyen felhős >20%
var s2_cloudy20 = s2_area
  .filter(ee.Filter.gt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',20));
var egyLista = s2_cloudy20.toList(s2_cloudy20.size());
// kiválasztunk egy darab képet
var k_felhos = ee.Image(egyLista.get(k));
Map.addLayer(k_felhos, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min:0, max:3000}, 'Sentinel-2 eredeti');

// csinálunk egy függvényt felhőárnyékos pixelek kiválasztására: .eq(3)
function shadowSCL(img) {
  var scl = img.select('SCL');
  var mask = scl.eq(3)
  return img.updateMask(mask).copyProperties(img, img.propertyNames());
}
// csinálunk egy másik függvényt, ami mindent megtart, ami nem árnyék,
// nem felhő, nem cirrus és nem hó
// SCL maszkot használjuk
function maskSCL(img) {
  var scl = img.select('SCL');
  var mask = scl.neq(3) // nem árnyék
    .and(scl.neq(8)) // se nem felhő1
    .and(scl.neq(9)) // se nem felhő2
    .and(scl.neq(10)) // se nem cirrus
    .and(scl.neq(11)); // se nem hó
  return img.updateMask(mask).copyProperties(img, img.propertyNames());
}

var s2_arnyek = s2_cloudy20.map(shadowSCL);
var arnyLista = s2_arnyek.toList(s2_arnyek.size());
var k_arny = ee.Image(arnyLista.get(k));
// csak az árnyékpixelek maradnak benne
Map.addLayer(k_arny, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min:0, max:3000}, 'Sentinel-2 felhőárnyék');

var s2_SCL = s2_cloudy20.map(maskSCL);
var masLista = s2_SCL.toList(s2_SCL.size());
var kx_kep = ee.Image(masLista.get(k));
Map.addLayer(kx_kep, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min:0, max:3000}, 'Sentinel-2 felhőmentes');
```

A Térképi ablakban lesz három rétegünk:

```
'Sentinel-2 felhőmentes'
'Sentinel-2 felhőárnyék'
'Sentinel-2 eredeti'
```

Ezek ki-be kapcsolgatásával megtekinthetjük őket. Javaslat, hogy először az eredetit kapcsoljuk ki, mert akkor könnyebb megérteni a másik két képet.

A *k* értékeket teszteljük le előzetesen, hogy nehogy túlzottan felhős képekkel dolgozzunk.

Ha a diákok önállóan dolgoznak a GEE-vel, akkor a fenti scriptet juttassuk el a helyben szokásos módon minden diák által használt gépre. Ezután magyarázzuk el nekik, hogy a futtatás után a [Layers] menüben tudják ki-be kapcsolni az egyes rétegeket.

Ennek az eljárásnak a hátránya, hogy néha a vízfelszíneket is felhőként ismeri fel.

A **2. feladatban** kihasználjuk, hogy a Google és az ESA közösen a Sentinel–2 adatokra kifejlesztett egy gépi tanuláson alapuló felhőfelismerőt.

A kollekció neve: `COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY`. Ez minden Sentinel–2 képhez készít egy 0–100 közötti valószínűségi képet, vagyis %-ban adja meg, hogy az adott pixel milyen valószínűséggel tekinthető felhősnek.

Ezt úgy kombináljuk a következő scriptben, hogy

- van egy eredeti rétegünk,
- van egy maszkolt rétegünk, ahol csak ott van adat, ahol a beállított valószínűségnél (itt 40%, zölddel kiemelve) kisebb valószínűségű, hogy az adott pixel felhős,
- és van egy szürkeárnyaltos felhővalószínűségi képünk: minél fehérebb, annál valószínűbb, hogy az felhő, és fordítva minél feketébb annál kevésbé valószínű, hogy felhős.

A script futtatása után létrejönnek a rétegek, ezek ki-be kapcsolásával elemezhetjük az eredményeket. Ez a módszer általában robusztusabb, megbízhatóbb, mint az előző.

```
var k = 14
var vis = {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000};
var kezdodatum = '2023-06-10'
var zarodatum = '2023-07-01'
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED');
// időbeli leválogatás
var s2 = s2.filterDate(kezdodatum, zarodatum);
// térbeli leválogatás
var Budapest_area = ee.Geometry.Rectangle([18.8, 47.3, 19.3, 47.6]);
var s2 = s2.filterBounds(Budapest_area);
var s2Lista = s2.toList(s2.size());
//kiválasztjuk a képet
var k_s2 = ee.Image(s2Lista.get(k));
//kiválasztjuk a hozzá tartozó felhővalószínűséget
var felhovalsz = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY');
var felhovalsz = felhovalsz.filterDate(kezdodatum, zarodatum);
var felhovalsz = felhovalsz.filterBounds(Budapest_area);
var felhovalszLista = felhovalsz.toList(felhovalsz.size())
var k_felhovalsz = ee.Image(felhovalszLista.get(k))

var s2_with_clouds = ee.Join.saveFirst('cloud_mask').apply({
  primary: s2,
  secondary: felhovalsz,
  condition: ee.Filter.equals({
    leftField: 'system:index',
    rightField: 'system:index'
  })
});
var valsz = 30 // százalék
function maskClouds(image) {
  var cloudMask = ee.Image(image.get('cloud_mask')).select('probability');
  var mask = cloudMask.lt(valsz); // valsz% alatt megtartjuk
  return image.updateMask(mask);
}

var tiszta = ee.ImageCollection(s2_with_clouds)
  .map(maskClouds);
var tisztaLista = tiszta.toList(tiszta.size());

var k_tiszta = ee.Image(tisztaLista.get(k));
Map.addLayer(k_s2, vis, 's2 eredeti');
Map.addLayer(k_tiszta, vis, 'csak a tiszta pixelek');

var k_tiszta=k_tiszta.lt(10)
//print(k_clouds.get('system:band_names'))
Map.addLayer(k_tiszta, ['probability', 'felhővalószínűség');
```

A diákokat bátorítsuk, hogy felhőmaszk vágási szintjét (`valsz`, zölddel jelölve) bátran változtassák, illetve a képkiválasztást (`k`) is módosítsák, és írják le a tapasztalataikat.

→ 4. tevékenység: Nem mind felhő, ami fénylik

A tevékenység keretében a tanulók megtanulják, hogy noha a vizuális tartományban a felhő és a hó is fehérnek látszik, ha hamisszínes képet készítünk infravörös csatorna felhasználásával, akkor a kettő elkülöníthető.

Az előző tevékenység folytatása: a script is csak kevéssé tér el: két új sor van benne (színnel kiemelve), továbbá az időintervallum itt 2022 januárjától kezd és $k = 20$.

Eredményül még egy negyedik réteget is kapunk hamisszínes néven, ahol a vörös (R) csatornára nem a B4, hanem a B12 sáv kerül.

```
var k = 20
var vis = {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000};
var ho = {bands: ['B12', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000};
var kezdodatum='2022-01-01'
var zarodatum='2022-03-01'
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED');
// időbeli leválogatás
var s2 = s2.filterDate(kezdodatum, zarodatum);
// térbeli leválogatás
var Budapest_area = ee.Geometry.Rectangle([18.8, 47.3, 19.3, 47.6]);
var s2 = s2.filterBounds(Budapest_area);
var s2Lista = s2.toList(s2.size());
//kiválasztjuk a képet
var k_s2 = ee.Image(s2Lista.get(k));
//kiválasztjuk a hozzá tartozó felhővalószínűséget
var felhovalsz = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY');
var felhovalsz = felhovalsz.filterDate(kezdodatum, zarodatum);
var felhovalsz = felhovalsz.filterBounds(Budapest_area);
var felhovalszLista = felhovalsz.toList(felhovalsz.size())
var k_felhovalsz = ee.Image(felhovalszLista.get(k))

var s2_with_clouds = ee.Join.saveFirst('cloud_mask').apply({
  primary: s2,
  secondary: felhovalsz,
  condition: ee.Filter.equals({
    leftField: 'system:index',
    rightField: 'system:index'
  })
});
var valsz = 30 // százalék
function maskClouds(image) {
  var cloudMask = ee.Image(image.get('cloud_mask')).select('probability');
  var mask = cloudMask.lt(valsz); // valsz% alatt megtartjuk
  return image.updateMask(mask);
}

var tiszta = ee.ImageCollection(s2_with_clouds)
  .map(maskClouds);
var tisztaLista = tiszta.toList(tiszta.size());

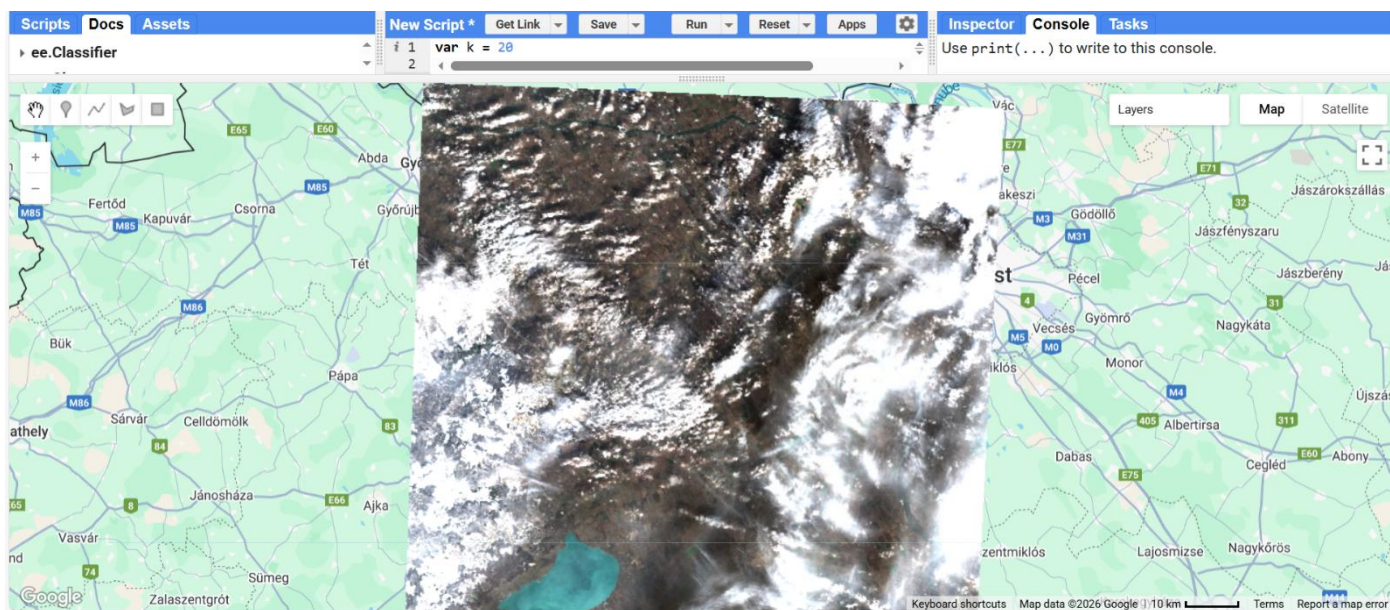
var k_tiszta = ee.Image(tisztaLista.get(k));
Map.addLayer(k_s2, vis, 's2 eredeti');
Map.addLayer(k_s2, ho, 's2 hamisszínes');
Map.addLayer(k_tiszta, vis, 'csak a tiszta pixelek');

var k_tiszta=k_tiszta.lt(10)
//print(k_clouds.get('system:band_names'))
Map.addLayer(k_tiszta, ['probability', 'felhővalószínűség');
```

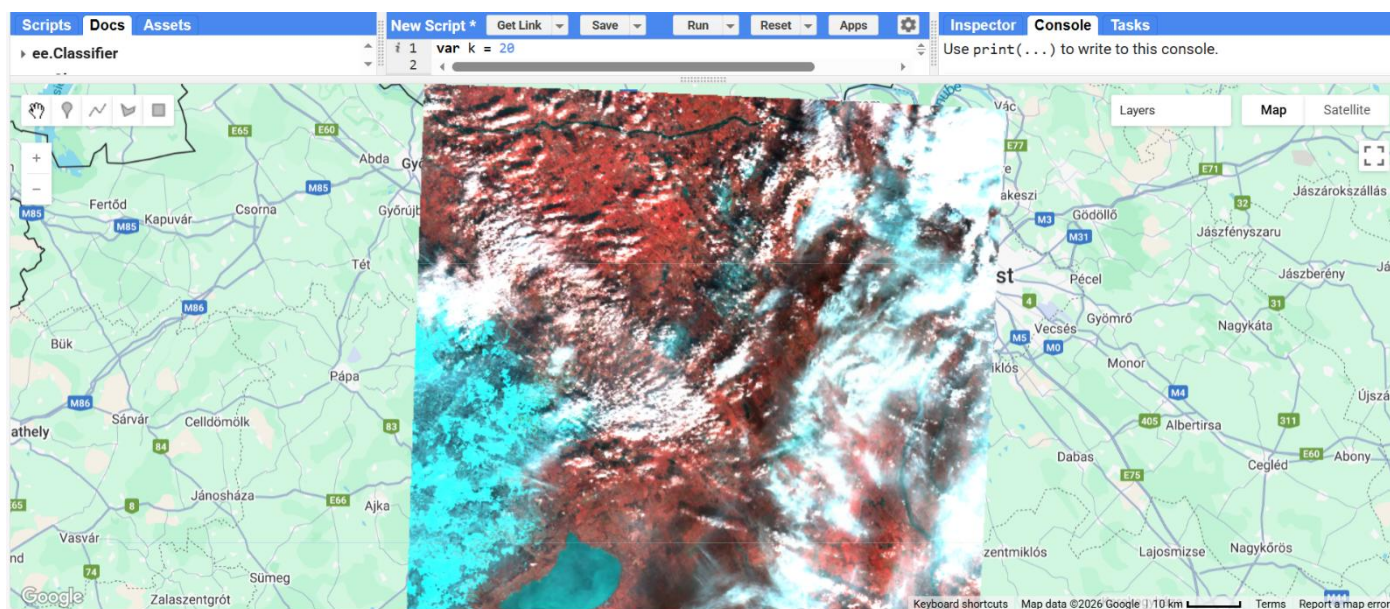
Itt lehetőséget kapnak a diákok arra, hogy észleljék, bár a hó is és a felhő is a látható fényt nagy százalékban visszaveri, ezért fehér színűek, infravörös csatornák felhasználásával külön lehet a két jelenséget választani.

Bátorítsuk őket, hogy más (de azért téli) időszakra több képen is nézzék meg a jelenséget. Sok olyan kép is lesz, ami tiszta, felhőtlen, ugyanakkor hómentes. Egyes képeken nagy felhőrétegek vannak, ott figyeljük meg, hogy a felhőárnyék mennyire el van tolódva a megfelelő felhőhöz képest, ez az alacsony téli napállásszög miatt van.

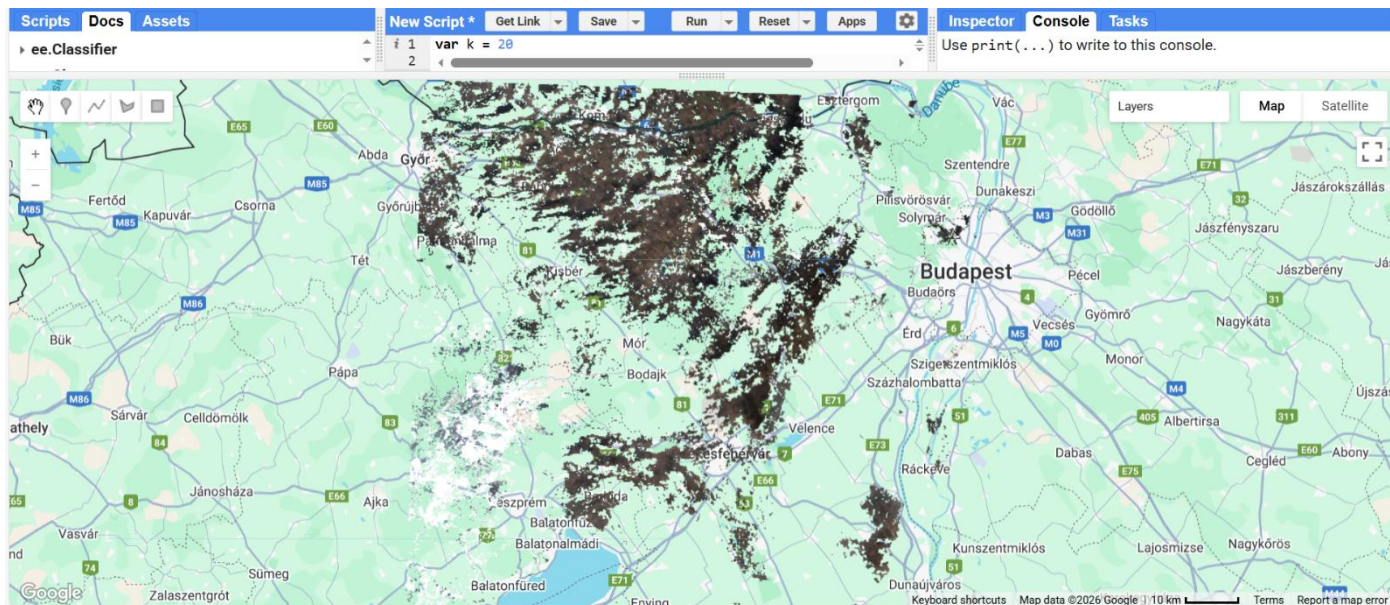
Ebből egyébként egy feladatot is generálhatunk az idősebb (vagy matematika iránt jobban érdeklődő) diákoknak: lemérve a felhőperem és a megfelelő felhőárnyék távolságát, a napállásszög ismeretében (lekérdezhető) a felhő magassága könnyen kiszámolható. Célszerű több távolságot lemérni. A téli képeken a napállásszög értelemszerűen laposabb, mint a nyáriaknál, ezt is beépíthetjük a feladatba.



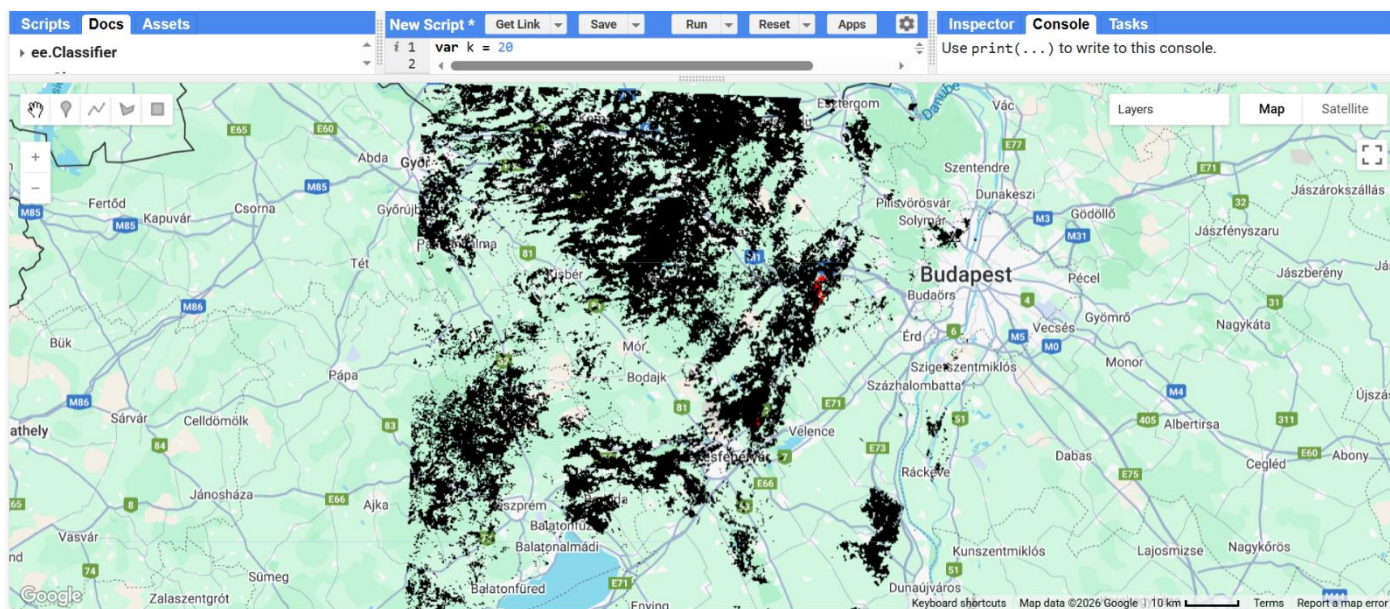
↑ Az eredeti műholdkép valós színes megjelenítésben.



↑ Ugyanaz a kép hamisszínes megjelenítésben a B12 csatorna felhasználásával. Figyeljük meg a felhők és hó elkülönülését.



↑ Az eredeti kép a felhőmaszk alkalmazása után (ahol felhő volt, ott nincs adat, a térkép látszik). Figyeljük meg Veszprémtől északra a havas tájat: fehér, de ez nem felhő, ezért megmaradt.



↑ A felhőmaszk (ahol fekete ott nem volt felhő) a vágási szint beállítása után.

→ ÉPÍTSÜNK FELHŐDETEKTORT!

A Google Earth Engine felhasználásával

→ 1. tevékenység: Műholdas távérzékelés, Sentinel-műholdak, GEE

Fogalmazd meg két mondatban, hogy mit jelent a **távérzékelés**:

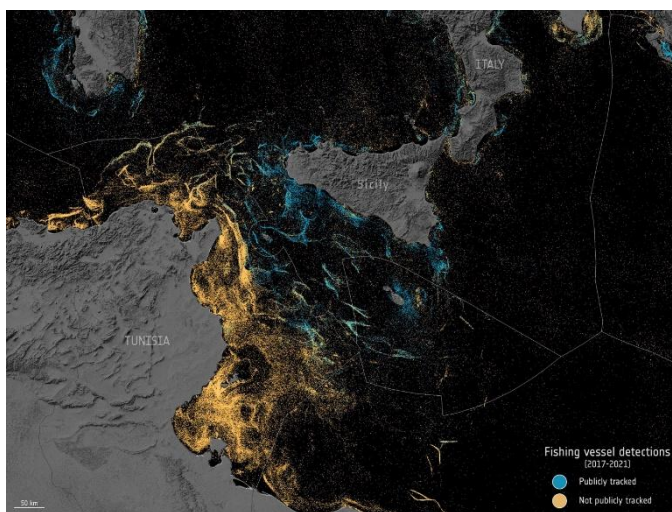
Tudtad?

A Sentinel-1 az Európai Űrügynökség (ESA) által üzemeltetett Copernicus Program első műhold-rendszere a Föld megfigyelésére. Ezek a radar-távérzékelési műholdak C-sávú szintetikus aper-túrájú radarműszert hordoznak. Az adatok díj-talanul elérhetők. A Sentinel-1A műholdat 2014-ban, párját az -1B-t 2016-ban bocsátották fel, de 2021-ben meghibásodott. A pótlásra az -1C-t 2024-ben, az -1D-t pedig 2025-ben lötték fel.



↑ A Sentinel-1 műholdak működési modellje.

A Sentinel-1C és -1D egyaránt rendelkezik egy további műszerrel, az ún. Automatikus Azonosító Rendszerrel (Automatic Identification System, AIS), amely a part menti területeken és az Északi-sarkvidéken közlekedő tengeri hajók jeleit veszi. Az AIS-eszközöket a hajókra szerelik fel, és olyan információkat sugároznak, mint a hajó egyedi azonosítója, pozíciója, iránya és sebessége. A hajók a Sentinel-1 radarfelvételein sötét háttér előtt világos objektumokként jelennek meg, így helyüket és mozgásukat az űrből is lehet követni.



↑ A műholdak által azonosított (●) és azonosítatlan (●) hajók.

Az **Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA)** működteti a **Sentinel-műholdcsaládot**. A tanári bemutató alapján írd egy-egy mondatot a Sentinel-műholdakról: mi a céljuk, mennyibe kerül beszerezni a műholdas adatokat, stb.:

A tanári bemutatóban a **Google Earth Engine (GEE)** működését láthattátok. A képernyőnek milyen részei vannak, és ezek mire szolgálnak?

Bal oldali panel:

.

Középső panel:

.

Jobb oldali panel:

.

Alsó panel:

.

Ide lerajzolhatod, hogy mit láttál a Google Earth Engine képernyőjén:

Mi az, ami számodra újdonság volt a tanári bemutató alapján?

.

.

.

.

→ 2. tevékenység: Tájékozódás a GEE felületen

1. feladat

A tanár által megadott városok közül én ezt a kettőt választottam (és Budapestet):

Város	Földrajzi hosszúság	Földrajzi szélesség
Budapest		

Egészítsd ki a kódot (sárgával jelölve), hogy a térképi nézet Budapestre fókuszáljon:

```
var Budapest_koord = ee.Geometry.Point([....., .....])
Map.centerObject(Budapest_koord, 10);
```

2. feladat

A tanár által adott k = írd bele a kódba is:

```
var k = .....
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED');
var s2_2023 = s2.filterDate('2023-06-01', '2023-07-01');
var Budapest_area = ee.Geometry.Rectangle([18.8, 47.3, 19.3, 47.6]);
var s2_area = s2.filterBounds(Budapest_area);
var s2_clean20 = s2_area
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',20));
var egyLista = s2_clean20.toList(s2_clean20.size());
var k_adik = ee.Image(egyLista.get(k));
Map.addLayer(k_adik,{bands: ['B4', 'B3', 'B2'],min:0,max:3000},
'Sentinel-2 RGB');
```

Mit állapítasz meg a képről? Milyen területet fed le? Hol milyen a felhőborítottság, stb.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Milyen tanulságokat tudnál levonni ezekből a kísérletekből? (Ha a tanár megengedi, a társaiddal is beszélj meg, és írástok le ide.)

.....

.....

.....

.....

→ 3. tevékenység: Ez itt felhő vagy árnyékra vetődünk?

Ebben a tevékenységben két feladat lesz, mindkettő az űrfelvételeken tapasztalható felhőkkel és felhőárnyékokkal kapcsolatos. A meteorológusok természetesen a felhőmintázatot is használják a munkájuk során, de a legtöbb felhasználónak a felhők és részben a felhőárnyékok zavaróak. Ahogy az már korábban elhangzott, a napsugárzás előbb áthalad a légkörön (ezáltal módosul), majd megvilágítja a környezetet, tárgyakat, onnan visszaverődik, ismét áthalad a légkörön, (ismét módosul), majd végül eljut a szenzorunkba, és digitális jellé alakítjuk.

Látható, hogy sok különböző hatás eredőjét fogjuk megkapni ezekben a digitális jelekben. Ha a felszín iránt érdeklődünk pl. a növényzet vagy a haszonnövények állapotát vagy geológiai formációkat akarjuk tanulmányozni, vagy a vizeket, az óceánokat vizsgáljuk, a felhők, a pára, a légköri aeroszol hatása a vizsgálatainkat zavarja. Ezért légköri korrekciót alkalmazunk, a felhőket (és részben a felhőárnyékokat) igyekszünk kiszűrni. A mostani tevékenységben kétféleképpen is megpróbálkozunk ezzel. Mind a két módszer arra alapul, hogy megfelelő feldolgozás esetén jó eséllyel a számítógép el tudja dönteni, hogy minden egyes pixel esetében milyen felszíni (vagy esetleg felhővel takart) elemről van szó.

1. feladat

A Sentinel-2 adatok feldolgozás során (ún. Level-2A feldolgozás) az egyik adatsávban létrejön egy 12 osztályt (számkódokat) tartalmazó adatrendszer (Scene Classification Layer, SCL), amiben a feldolgozási eljárás igyekszik megtippelni, hogy az adott pixel milyen felszínt ábrázol, pl. vizet, növényzetet vagy betonfelületet, vagy éppen felhőt. Ezt a GEE is készen tárolja.

A tanártól kapott script ezt használja fel. Futtasd le a scriptet.

Ennek eredményeként a Térképi ablakban lesz három rétegünk a [Layers] menüben:

```
'Sentinel-2 felhőmentes'  
'Sentinel-2 felhőárnyék'  
'Sentinel-2 eredeti'
```

Ezeket a rétegeket ki-be kapcsolgathatod, és külön is megnézheted őket. Először egyenként kapcsold be, kezdve legalsóval (a többit kapcsold ki), hogy jól elkülönüljenek, így könnyebben érthető.

Amikor a tanár jelzi, a k értéket kezd el módosítani (max. 23-ig), ezzel végiglapozol egy 24 képből álló űrfelvétel-gyűjteményt. Nézd meg, hogy hogyan változnak a képek, és ezzel együtt hogyan változik a felhőfedettség és a felhőárnyékok. (Használd a [Layers] menüt is. Bátran változtass! Ne aggódj, nem ronthatod el semmit.) Írd le a tapasztalataidat, mindent, amit fontosnak tartasz:

k =
.....
 k =
.....
 k =
.....
 k =
.....
 k =
.....

2. feladat

Ez a feladat lényegében hasonló az előzőhöz, de az elve kissé más. Itt nem kész osztályba sorolás alapján szűrjük ki a felhőket, hanem hogy a Google és az Európai Űrügynökség (ESA) közösen a Sentinel-2 adatokra kifejlesztett egy gépi tanuláson alapuló felhőfelismerőt.

A kollekció neve: `COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY`. A feldolgozás minden Sentinel-2 képhez készít egy 0–100 közötti **valószínűségi képet**, vagyis %-ban adja meg, hogy az adott pixel milyen valószínűséggel tekinthető felhősnek.

Itt mi fogjuk eldönteni, hogy mennyire hiszünk ennek, vagyis mi magunk fogjuk beállítani azt a **vágási szintet** (%-ot), ami felett már felhősnek tekintjük a pixelt.

Futtasd a tanártól kapott scriptet és jegyezd fel a tapasztalataidat.

k =

valsz =.....

.....

k =

valsz =.....

.....

k =

valsz =.....

.....

k =

valsz =.....

.....

k =

valsz =.....

.....

k =

valsz =.....

.....

.....

.....

.....

→ 4. tevékenység: Nem mind felhő, ami fénylik

Az előző tevékenységhez használt GEE-kódot csak kicsit módosítottuk, de ettől szinte egy új világ nyílik ki: új lehetőséget rejt az ún. hamisszínes megjelenítésre: ilyenkor a vörös (R), zöld (G) és kék (B) csatornákra nem a természetes színeket kapcsoljuk, hanem az adatokban meglévő más csatornákat, esetleg levezetett adatokat.

Itt lesz egy újabb réteg, de egyebekben az előzőekhez hasonló a feladat, csak hogy itt nemcsak felhők, de hó is van a képeken. Kérdés: hogyan tudjuk megkülönböztetni a kettőt?

A felhőket általában ki akarjuk szűrni, de a havat nem, mert lehet, hogy éppen azt akarjuk tudni, hogy hol a havas táj és hol nem, vagy a különböző napokon hogyan halmozódik fel a hó, hol miért nem marad meg, a szél hogyan tereli át a havat, illetve, hogy milyen ütemben olvad el.

Futtasd a tanártól kapott scriptet, írd le a tapasztalataidat, illetve dokumentáld, hogy mit és hogyan változtattál a scripten, és ennek mi volt a hatása. Bátran módosítsd, nem rontasz el semmit. Ha végképp elkavarodtál, kérd el újra az eredeti scriptet. Jó munkát!

k =

 k =

 k =

 k =

 k =

 k =

→ Linkek

Az Európai Űrügynökség segédanyagai

A Sentinel-missziók (angolul):

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions

Sentinel-1:

https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Introducing_Sentinel-1

Sentinel-2:

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2

Sentinel-2: Tények és számok:

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Facts_and_figures

Sentinel-3 Ocean and Land Colour Instrument

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3/Introducing_Sentinel-3

Sentinel-6:

<https://sentinels.copernicus.eu/missions/sentinel-6>

A Sentinel-1D indítása 2025 novemberében (video)

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2025/11/Sentinel-1D_is_launched_on_Ariane_6

Az európai műholdas navigáció jövője:

<https://www.youtube.com/watch?v=fVO1L0nTIAo>

Oktatási segédanyagok

[esa.int/Education/Classroom_resources](https://www.esa.int/Education/Classroom_resources)

Az Európai Űrügynökség űrprojektjei

SMART-1

<http://sci.esa.int/smart-1>

HERACLES

[esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Exploration/Landing_on_the_Moon_and_returning_home_Heracles](https://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Exploration/Landing_on_the_Moon_and_returning_home_Heracles)

További információk

Az Európai Űrügynökség interaktív Hold-útikalauza

<http://lunarexploration.esa.int/#/intro>

→ 1. MELLÉKLET

Az ESA Copernicus Sentinel-műholdjai – áttekintés

A Copernicus-program célja, hogy nyílt, folyamatos adatot biztosítson környezetünk állapotáról.

A programon belül a Sentinel-műholdak összességükben egymást kiegészítő műholdakból állnak, céljuk az Föld rendszerének folyamatos, globális megfigyelése különféle környezeti, éghajlati, légkör- és felszínmonitorozási feladatok támogatása céljából.

A műholdak különböző fizikai mérési elveket használnak: optikai képalkotást, radaros mérési technikát, spektrometriai megfigyelést és radaraltiméteres méréseket. A koncepció alapja, hogy minden adatnyersanyag ingyenesen hozzáférhető, és az ESA adatszolgáltatási hálózata világszerte biztosítja a felhasználást.

ESA Copernicus Sentinel műholdak – táblázatos áttekintés

1. Sentinel-műholdak alapadatai

Sentinel	Indítás	Mérési elv	Fő célterület
Sentinel-1A/B/C/D	2014–	Aktív radar (SAR)	Felszínmozgás, katasztrófák, jég
Sentinel-2A/B/C/(D)	2015–	Optikai multispektrális	Felszín, növényzet, víz
Sentinel-3A/B	2016–	Optikai + IR + radar	Óceán, felszín, klíma
Sentinel-5P	2017	Spektrometria	Légkör, légszennyezés
Sentinel-5	2025–	Spektrometria	Légkör (operatív)
Sentinel-6A/B	2020–	Radar altimetria	Tengerszint, klíma

2. Műszerek, hullámhosszak és csatornák

Sentinel	Műszer	Hullámhossz / frekvencia	Megjegyzés
Sentinel-1	C-SAR	C-sáv (~5.4 GHz)	Aktív radar
Sentinel-2	MSI	443–2190 nm (13 sáv)	VIS–NIR–SWIR
Sentinel-3	OLCI	400–1200 nm (21 sáv)	Szín, biooptika
Sentinel-3	SLSTR	VIS–TIR (0.55–12 µm)	Hőmérséklet
Sentinel-3	SRAL	Ku- és C-sáv	Radar altiméter
Sentinel-5P	TROPOMI	UV–VIS–NIR–SWIR	Gázspektroszkópia
Sentinel-6	Poseidon-4	Ku/C-sáv SAR	Precíz altimetria

3. Térbeli felbontás és lefedettség

Sentinel	Térbeli felbontás	Időbeli visszatérés	Megjegyzés
Sentinel-1	5–40 m	6 nap (konstelláció)	Felhőfüggetlen
Sentinel-2	10 / 20 / 60 m	5 nap	Optikai
Sentinel-3	300–1000 m	1–2 nap	Globális
Sentinel-5P	~7×3.5 km	napi	Légkör
Sentinel-6	szubszatellit	10 nap	Nagy pontosság

4. Tipikus alkalmazások

Terület	Sentinel(ek)	Példa
Árvíz	Sentinel-1	Elöntött területek
Erdőtűz	Sentinel-2, 3	Égési nyomok
Növényzet	Sentinel-2	NDVI, EVI
Jégmozgás	Sentinel-1, 3	Gleccsersebesség
Tengerszint	Sentinel-6	Globális emelkedés
Levegőminőség	Sentinel-5P	NO ₂ , O ₃ térképek

5. Mit „tanít” az adott Sentinel? (didaktikai fókusz)

Sentinel	Kulcsfogalom	Tanári összefoglaló – egy mondatban
Sentinel-1	Radar, interferometria	„A radar akkor is lát, amikor semmi más.”
Sentinel-2	Multispektrális elemzés	„A Föld színei több információt hordoznak, mint hinnénk.”
Sentinel-3	Föld-óceán-légkör kapcsolat	„Az óceán a klímarendszer motorja.”
Sentinel-5P	Spektroszkópia	„A levegőnek is van spektruma.”
Sentinel-6	Klímaváltozás mérése	„Milliméterekben mérjük a klímaváltozást.”

6. Melyik Sentinel mikor „jobb választás”?

Probléma	Legjobb Sentinel	Miért?
Felhős terület	Sentinel-1	Radar
Növényzet állapota	Sentinel-2	Red-edge sávok
Óceánhőmérséklet	Sentinel-3	SLSTR
Városi NO ₂	Sentinel-5P	TROPOMI
Tengerszint trend	Sentinel-6	mm-pontosság

7. Kapcsolat a Google Earth Engine-nel

Sentinel	GEE elérhetőség	Megjegyzés
Sentinel-1	✓	GRD, SLC
Sentinel-2	✓	L1C, L2A
Sentinel-3	✓ (korlátozott)	Tematikus
Sentinel-5P	✓	Gázkoncentrációk
Sentinel-6	✗ / korlátozott	Speciális feldolgozás

8. A Sentinel-holdak részletesebb leírása

8.1. Sentinel-1: Radaros felszínmegfigyelés

Fő tulajdonságok

- Műszerek: C-SAR (Synthetic Aperture Radar, szintetikus apertúrájú radar) – C-sávú radar.
- Műholdak:
 - o Sentinel-1A: 2014. április 3. → üzemel
 - o Sentinel-1B: 2016. április 25. (üzemelés vége: 2021)
 - o Sentinel-1C: 2024. december 5. → üzemel
 - o Sentinel-1D: 2025. november 4. → üzemel

- Műszaki részletek
 - C-sávú SAR radar, ~5,405 GHz középfrekvencia.
 - Működik éjjel-nappal, felhőtől függetlenül; nem igényel napsütést.
 - Felbontás: akár 5 m-es (üzemmód-függő).
- Használat
 - Felszíni deformáció észlelése (pl. földrengés utáni elmozdulások)
 - Árvíz, földcsuszamlás monitorozása
 - Hajóforgalom és olajfoltok követése
 - Földhasználat és jégmozgás elemzése

Fontosság:

A radaros megfigyelés akkor is működik, amikor a hagyományos optikai rendszer nem (pl. felhők, éjjel), így nagyon fontos minden időjárási körülmény esetén.

8.2. Sentinel-2: Optikai multispektrális képalkotás

Fő tulajdonságok

- Műszerek: Multispectral Imager (MSI) – optikai multispektrális kamera
- Műholdak:
 - o Sentinel-2A: 2015. június 23.
 - o Sentinel-2B: 2017. március 7.
 - o Sentinel-2C: 2024. szeptember 5.
 - o Sentinel-2D: tervezett (előreláthatóan 2028)

- Műszaki részletek
 - 13 spektrális sáv: látható (VIS), közeli infravörös (NIR) és rövidhullámú infravörös (SWIR); különböző felbontással (10 m, 20 m, 60 m).
 - Sávok között például vörös él-érzékelés is, amely kiváló növényzetvizsgálathoz.

- Használat
 - Nagy átfedésű sáv szélességű megfigyelés (~290 km sáv szélesség).
 - Növényzet állapotának monitorozása
 - Talaj- és vízborítás-elemzés
 - Termésbecslés és mezőgazdaság
 - Erdőgazdálkodás és katasztrófafelmérés (pl. erdőtüz, árvizek)

Fontosság:

A multispektrális adatokból különböző indexek (NDVI, EVI, stb.) számíthatók, amelyek a vegetáció egészségi állapotát jelzik, sok tekintetben kompatibilis a Landsat-műholdak műszereivel, de általában jobb a felbontás. Valószínűleg a legszélesebb körben használt adatrendszer.

8.3. Sentinel-3: Óceán és földfelszín megfigyelése

Fő tulajdonságok

- Műholdak:
 - o Sentinel-3A (2016. február 16.),
 - o Sentinel-3B (2018. április 25.).
 - o Sentinel-3C és 3D (tervezett)

Fő műszerek

- OLCI: Ocean and Land Colour Instrument – 21 sávós optikai spektrális mérés 400–1200 nm tartományban.
- SLSTR: Sea and Land Surface Temperature Radiometer – hőmérsékleti mérés VNIR és infravörös sávokban.
- SRAL: SAR altimeter – radaros magasságmérés (C és Ku-sáv) tengerfelszín és jég altimetriai adatokhoz.

- MWR: Microwave Radiometer – mikrohullámú radiometer az atmoszféra-korrekcióhoz.

Használat

- Tengerfelszín hőmérséklet és színelemzés → óceánok egészsége, algavirágzás
- Tengerszint-topográfia, hullámok, szélsőségek
- Földfelszín-hőmérséklet és klímaváltozás követése

Fontosság:

A Sentinel-3 azért különleges, mert ötvözi az optikai spektrumot, a hőmérsékleti infravöröst és az radar-altimetriát egyetlen platformon belül.

8.4. Sentinel-5P és Sentinel-5: Légműködés

Sentinel-5 Precursor (5P)

- Indítás: 2017. október 13.
- Műszer: TROPOMI – légköri gázok és aeroszolok spektrometriája.
- Használat: metán (CH₄), ózon (O₃), nitrogén-dioxid (NO₂) és más légszennyezők globális monitorozása.

Sentinel-5 (a MetOp-SG platformon)

- Folytatja a 5P légköri méréseket napi globális lefedettséggel, támogatva levegőtisztaság-előrejelzést és éghajlati vizsgálatokat.

Fontosság:

A spektrométeres adatok révén a diákok kapcsolatot láthatnak a gázkoncentrációk és az emberi/természetes folyamatok között.

8.5. Sentinel-6: Tengerszint- és klímaműködés

Fő tulajdonságok

- Sentinel-6 Michael Freilich: 2020. november 21.
- Sentinel-6B: 2025. november 17.
- Cél: rendkívül pontos tengerszint-mérés és óceáni radar-altimetria.

Műszerek

- Poseidon-4 dual-frequency SAR altimeter
- AMR-C mikrohullámú radiometer
- GNSS-RO rádió-okkultációs légkörprofil mérések

Használat

- tengerszint emelkedésének kvantitatív mérése
- hullám- és szélsebesség- becslés
- partmenti kockázatelemzés

Fontosság:

Erős nemzetközi együttműködés példája (ESA–NASA–NOAA), és történelmi folytonosság (TOPEX/Jason sorozat).

→ 2. MELLÉKLET

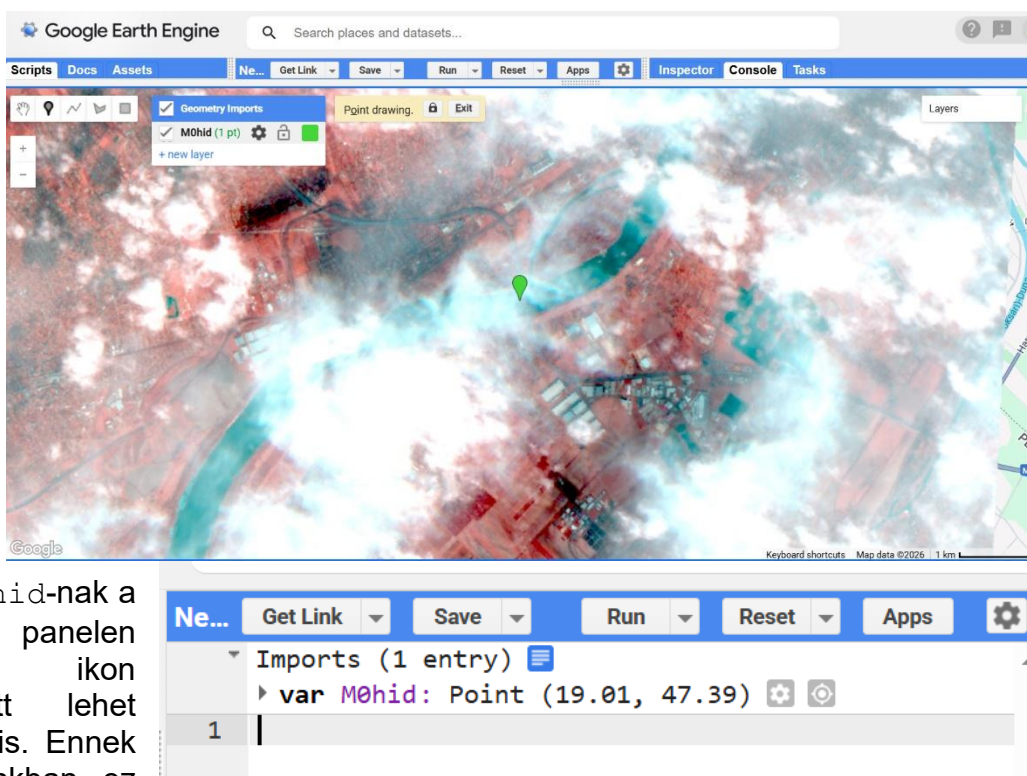
Apró tippek GEE scriptek fejlesztéséhez

- Ahogy minden programozási nyelvben, érdemes beszédes változóneveket adni, ami elárulja, hogy abban a változóban mit is akarunk tárolni.
- Itt is megjegyezzük, hogy sok bosszúságot és fejkavarást tudunk megtakarítani, ha a kód fejlesztésekor bőségesen kommentáljuk a saját kódunkat, ezt meg fogjuk köszönni magunknak két-három hónap múlva, vagy a következő tanévben, amikor újra akarjuk a kódjainkat használni.
- A GEE scriptek fejlesztése során előfordulhat (pl. ha más forrásból veszünk át script-részleteket), hogy a rendszer az adott megoldást „deprecated”-nek jelzi. Ennek nagyon érdemes utánanézni, és más kóddal helyettesíteni, mert előfordulhat, hogy a következő tanévben már nem fog a kódunk jól működni.
- Igen jó tanács az állománynevekben az ékezetes betűket és a szóközt mellőzni, az aláhúzás (_) karakter viszont a barátunk.
- Ne nagyon bízunk a rendszerben: mivel böngészőben dolgozunk, sok okból lefagyhat az oldal, és ha nem mentettük el a kódunkat... Javasolható, hogy kb. 15-20 percenként mentsük el a kódot, ekkor csak ennyi idő munkáját kockáztatjuk. Belebonyolódhatunk a fejlesztésbe, egy jól működő verziót nem őriztünk meg. Ezért célszerű verziókat is menteni, 2-3 óras fejlesztés eredményét új verzióval számozva elmentjük, és így szükség esetén vissza tudunk lépni egy korábban működő változatra.
- Javasolható, hogy a scriptjeinket ne csak a Google Drive-ra mentsük le, hanem a saját gépünkön is alakítsunk ki erre egy mappát. Magától értetődik, hogy ezeket a fájlokat mindig egy olyan alkalmazással írjuk/mentsük el, ami „plain text”-ben ment (pl. Notepad). Itt is problémába ütközhetünk a magyar karakterkészlet (különösen az Á, Í, ő, Ő, Ú, ű, Ű karakterek) használata esetében a kódlapokkal kapcsolatban, érdemes pl. az UTF-8 kódolást használni.

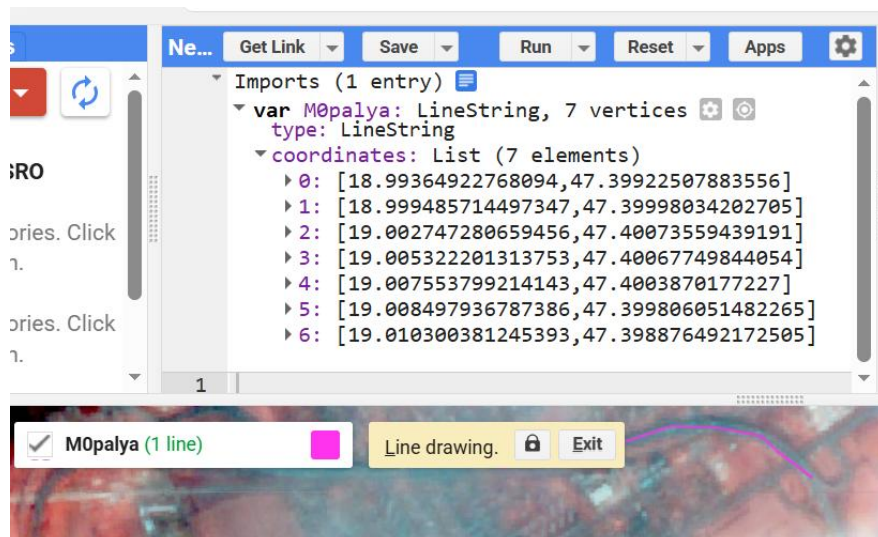
Tippek Sentinel–2 képek tulajdonságainak kinyeréséhez

Gyakran lehet szükségünk arra, hogy a térképen (a Térképi panelen bal oldali ikonokkal) általunk bejelölt pont, vonal vagy terület sajátosságait számszerűen is kinyerjük (lemérjük). A rendszer ezt megteszi számunk-ra: →

Ezen a műholdképen az M0-hidat jelöltük meg, és neveztük el M0hid-nak a [Geometry Imports] panelen látható fogaskerék ikon kattintásával. Ugyanitt lehet megadni a jelölő színt is. Ennek hatására a Script ablakban ez jelenik meg: →



Hasonlóan egy vonalat jelöltünk be (az M0-s autópálya egy szakaszát) és elneveztük M0palya-nak, ennek hatására a Script ablakban ezt látjuk:



A koordináták csak akkor jelennek meg, ha lenyitjuk a listát.

Ha például a vonal hosszára is szükségünk van:

```
var hossz=M0palya.length();
print(hossz);
```

Fontos megjegyezni, hogy az elemek elnevezésénél a változókra érvényes szabályok érvényesek: mindig betűvel kezdődik és betűkből és számokból állhat.

Szükségünk lehet a kép valamelyik sávjának statisztikai adataira vagy hisztogramjára.

```
// 1. Válasszuk ki a képet a törzsszövegben megadott módon
// Legyen a kiválasztott kép neve: kep1

// 2. Válasszuk ki azt a sávot, amelyre statisztikákat akarjuk (pl., 'B4')
var csatNeve = 'B4';
var csat = kep1.select(csatNeve);

// 3. Meg kell határozni a régiót, jelen esetben a teljes kép
var regio = csat.geometry();

// 4. Kombináljuk az átlagot, minimumot, maximumot, szórást egy operátorba
var reducer = ee.Reducer.mean().combine(ee.Reducer.minMax(), null, true);

// 5. Állítsuk be a méretarányt (felbontást) és a maxPixels értéket
// (opcionális, de ajánlott)
var scale = 30; // méterben, a Sentinel-2 felbontásnak megfelelően
var maxPixels = 1e10; //Nagy felületek esetén szükség szerint állítsuk be

// 6. Végezzük el a redukciót
var stats = csat.reduceRegion({
  reducer: reducer,
  geometry: regio,
  scale: scale,
  maxPixels: maxPixels
});

// 7. Kiírjuk az eredményeket (a Konzol fülön lesznek láthatók)
print('A(z)' + csatNeve + 'sáv statisztikája:', stats);

// 8. Hisztogram létrehozása
var hisztogram = csat.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.frequencyHistogram(),
  geometry: regio,
  scale: 100, // Alacsonyabb skála a jobb hisztogram felbontás érdekében
  maxPixels: 1e10
});

print('A(z)' + csatNeve + ' csatorna hisztogramja:', hisztogram);
```

A hisztogram lenyitása előtt nézzük meg, hogy hány elemről van szó, mert ha több ezer, és ezt lenyitjuk, akkor vélhetően le fog fagyni az oldal.