esa

Tudományos és Technológiai Minisztérium

Hungary esero

földrajz, fizika

tanítsunk a világűrrel!

→ A KRUMPLI ALAKÚ FÖLD

a Föld alakja az űrből

tanári útmutató és tanulói munkalapok

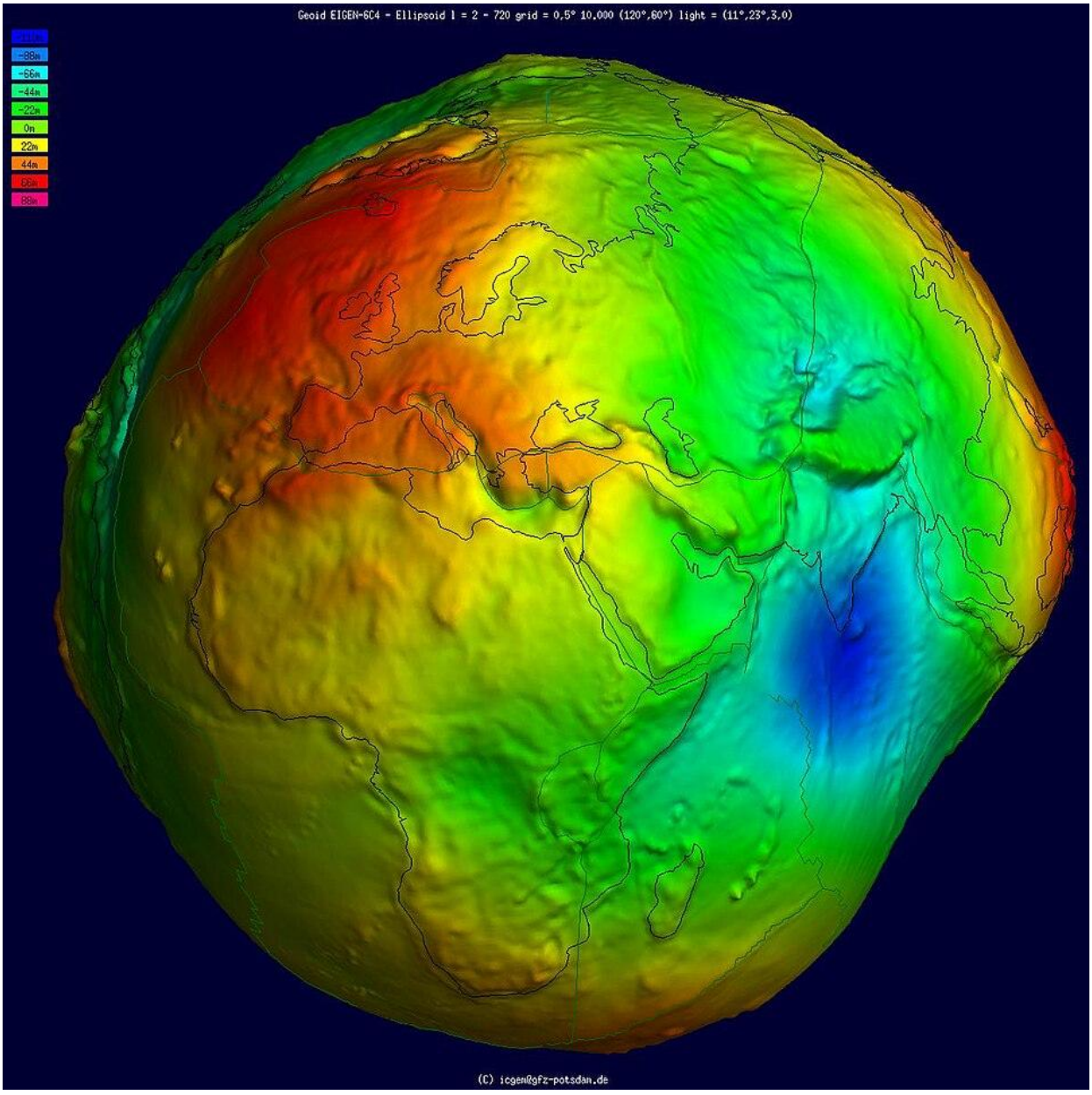
European Space Agency

civitta HU

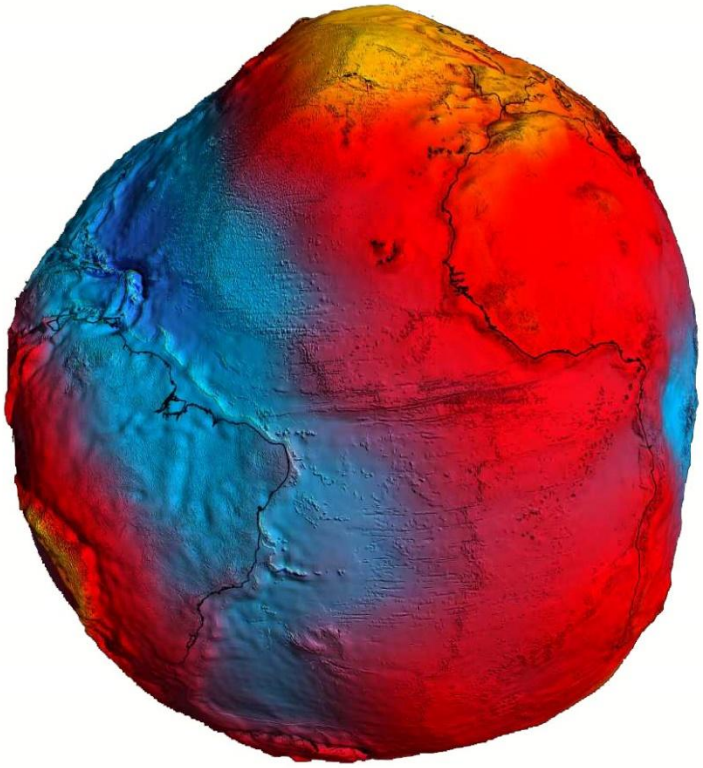
MŰEGYETEM 1782

MANT

GSIKard



↑ Forrás: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Geoid#/media/File:Geoid_undulation_10k_scale.jpg



Tanári útmutató

Alapadatok 5. oldal
A tevékenységek áttekintése 6. oldal
Bevezetés a Föld alakjának fogalmába 7. oldal

1. tevékenység: Gömb, ellipszoid vagy valami bonyolultabb? 12. oldal
2. tevékenység: Gravitációs detektív 12. oldal
3. tevékenység: Földalak a gyakorlatban 15. oldal
4. tevékenység: Mi a Föld alakja? (opcionális) 19. oldal

Tanulói munkalapok 20. oldal

Linkek 23. oldal

tanítsunk a világűrrel! – a krumpli alakú Föld | PXX
www.esa.int/education

Az Európai Ürügynökség (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

→ A KRUMPLI ALAKÚ FÖLD

a Föld alakja az űrből

ALAPADATOK

Tantárgy: földrajz, fizika

Korosztály: 12—16 év

Nehézségi fok: közepes

Tanári felkészülési idő: 1 óra

Tanítási idő: 1 óra

Költség: alacsony (0—10 euró)

Helyszín: tanterem, iskolaudvar vagy közeli nyílt terület

Kulcsszavak: fizika, matematika, földrajz, geofizika, földalak, GPS, tengerszint feletti magasság

Rövid ismertetés

A tevékenységek keretében a tanulók megismerik a Föld fizikai (potenciálelméleti) alakját: a tengerszint fogalmát a szárazföldeken. Az ESA GOCE programba bepillantással megismerik, hogy a földalak meghatározása ma már űrkísérletekkel történik.

Tanulási célok

- A Föld alakjának modelljei, közelítése
- Az egyes modellek pontosságának és alkalmazhatóságának ismerete
- Álláspont tengerszint feletti magasságának leolvasása mobil és online eszközökön
- Az ellipszoid és a geoid (tengerszint) feletti magasság közti különbség megértése
- A geoid bonyolult alakját keltő fizikai okok megértése

→ A tevékenységek áttekintése

A tevékenységek áttekintése					
	Cím	**Leírás**	**Eredmény**	**Szükséges előzmények**	**Időtartam**
1	Gömb, ellipszoid, vagy valami bonyolultabb?	Beszélgetés a Föld alakjáról, tudománytörténeti felvillantások	Megismerjük a Föld alakjára vonatkozó fő modelleket és azok pontosságát	Nincs	15 perc
2	Gravitációs detektív	A GOCE-modell megjelenítése videón, kapcsolódó feladatlappal	A földi gravitációs tér és egyes földrajzi objektumok (óceán, hegységek) kapcsolatának felismerése	Az 1. tevékenység elvégzése.	15 perc
3	Földalak a gyakorlatban	A tanulók meghatározzák álláspontjuk tengerszint feletti magasságát OpenStreetMap alapján és telefonos GPS alkalmazással ellenőrzik azt	A geoidmagasság mint az ellipszoid és a tengerszint közti eltérés gyakorlati megismerése	A 2. tevékenység elvégzése.	15 perc
4	Mi a Föld alakja? (opcionális)	Csoportos beszélgetés az előző feladatban készült kép alapján	Új ismeret: a Föld alakját a tengerszint rajzolja ki, de az nem szabályos	A 3. tevékenység elvégzése.	15 perc

→ Bevezetés a Föld alakjának fogalmába

1. A legegyszerűbb alakleírás: gömb.

Ha megkérdeznénk valakit az utcán, milyen alakú a Föld, a legtöbben azt mondanák: gömb. Ez nem véletlen. Ha az űrből nézzük a Földet, valóban majdnem tökéletesen gömb alakúnak látszik. A gravitáció – az az erő, amely minden anyagot egymás felé vonz – természetes módon gömb alakot hoz létre. Ezért gömbölyűek a nagy égitestek: a bolygók és a csillagok.

Már Arkhimédész úgy tartotta, hogy a szabad folyadékfelszínek: egy pohár víz, egy tó vagy akár a tenger felszíne mind egy-egy óriási gömb felületének egy darabja, amely gömbök közös középpontja a „világ középpontjában", mai értelmezésünk szerint a Föld tömegközéppontjában van.

Fontos megfigyelés: A gömb jó közelítés a Föld alakjára, de nem teljesen pontos. Ha a Föld egy labda lenne, minden irányban pontosan ugyanakkora lenne az átmérője. De vajon tényleg így van?

2. Egy pontosabb leírás: forgási ellipszoid.

A Föld nemcsak „van", hanem forog is – mégpedig a tengelye körül, naponta egyszer. Ez a forgás apró, de mérhető hatással van az alakjára: nemcsak a gravitációs erő, de a tengely körüli forgás okozta centrifugális erő is hat a Föld részecskéire és mindannyiunkra, akik a Földön járunk.

A forgás miatt az Egyenlítő környékén a Föld egy kicsit „kidagad", a pólusoknál pedig kissé „lapultabb". Ez az alak nem gömb, hanem egy kicsit lapított forma, amit forgási ellipszoidnak nevezünk. Az Egyenlítő menti sugár kb. 21 km-rel nagyobb, mint a pólusok felé mért sugár, ez az eltérés nagyon kicsi a Föld méretéhez képest, ezért szabad szemmel nem látszik.

Miért fontos az ellipszoid?

- jól használható térképezéshez,
- egyszerű matematikai alak,
- a GPS és sok térképészeti számítás alapja.

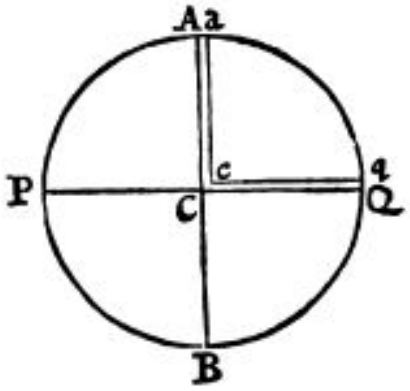
De az ellipszoid, bár a gyakorlatban jól használható, mégsem a teljes igazság. Egy zavarba ejtő kérdés. Képzeld el a következőt: Ha a tengereket és óceánokat nem zavarná sem szél, sem áramlás, és csak a Föld gravitációja és a centrifugális erő hatna rájuk, milyen alakú lenne az óceán felszíne?

Ez a kérdés elvezet minket a Föld valódi alakjához.

Prop. XIX. Prob. II.

Invenire proportionem axis Planetæ ad diametros eidem perpendiculares.

Ad hujus Problematis ſolutionem requiritur computatio multiplex, quæ facilius exemplis quàm præceptis addiſcitur. Inito igitur calculo invenio, per Prop. IV. Lib. I. quod vis centrifuga partium Terræ ſub æquatore, ex motu diurno oriunda, ſit ad vim gravitatis ut 1 ad $290\frac{4}{5}$. Unde ſi $APBQ$ figuram Terræ deſignet revolutione Ellipſeos circa axem minorem PQ genitam; ſitque $ACQqca$ canalis aquæ plena, à polo Qq ad centrum Cc, & inde ad æquatorem Aa pergens: debebit pondus aquæ in canalis crure $ACca$ eſſe ad pondus aquæ in crure altero $QCcq$ ut 291 ad 290, eò quòd vis centrifuga ex circulari motu orta partem unam è ponderis partibus 291 ſuſtinebit & detrahet, & pondus 290 in altero crure ſuſtinebit partes reliquas. Porrò (ex Propoſitionis XCI. Corollario ſecundo, Lib. I.) computationem ineundo, invenio quod ſi Terra conſtaret ex uniformi materia, motuque omni privaretur, & eſſet ejus axis PQ ad diametrum AB ut 100 ad 101: gravitas in loco Q in Terram, foret ad gravitatem in eodem loco Q in ſphæram centro C radio PC vel QC deſcriptam, ut $126\frac{2}{15}$ ad $125\frac{2}{5}$. Et eodem argumento gravitas in loco A in Sphæroidem, convolutione Ellipſeos $APBQ$ circa axem AB deſcriptam, eſt ad gravitatem in eodem loco A in Sphæram centro C radio AC deſcriptam, ut $125\frac{2}{15}$ ad $126\frac{2}{15}$. Eſt autem gravitas in loco A in Terram, media proportionalis inter gravitates in dictam Sphæroidem & Sphæram, propterea quod



↑ Isaac Newton (1687): *Philosophiae naturalis principia mathematica* (A természetfilozófia matematikai alapjai; „természetfilozófia” alatt Newton korában a fizikát értették). Ez a Föld ellipszoid alakjának első irodalmi formája.

3. A Föld valódi alakja: a geoid

A geoid a Föld egyik legfontosabb, de legkevésbé ismert alakfogalma. A geoid olyan felület, amely mentén mozogva a gravitációs és centrifugális erő ellen nem kell munkát végezni (potenciálfelület). Földünknek végtelen sok ilyen felülete van, a geoid ezek közül az, amely a nyugalmi középtengerszinthez a legjobban illeszkedik. Ez a definíció egyben magyarázat arra, miért a hajóval történő, tengeri szállítás vitte és viszi a legtöbb árut a történelem során mindig.

Másképp fogalmazva: ez az a képzeletbeli felszín, amelyen az óceánok nyugalmi állapotban lennének, ha csak a gravitáció (és a forgás miatti centrifugális erő) számítana.

Ez a felszín: nem szabályos, nem gömb, nem ellipszoid, hanem hullámos, egyenetlen. Olyan, mint a krumpli, de a függőleges eltérések a legjobban illeszkedő forgási ellipszoidtól alig haladják meg a 100 métert.

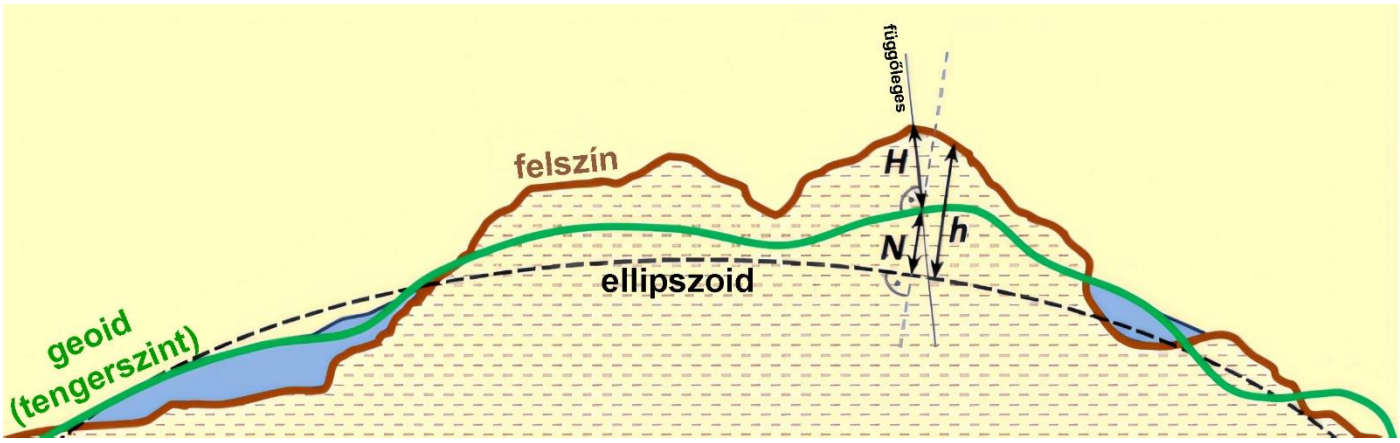
Miért hullámos a geoid?

Mert a Föld belseje nem egyforma sűrűségű: vannak sűrűbb kőzetek, ritkább anyagok, hegységek, mélytengeri árkok, és ezek a különböző anyagi minőségük miatt eltérő mértékben járulnak tömegvonzáshoz a különböző sűrűségű kőzetek által keltett vonzás helyenként kicsit erősebb, máshol kicsit gyengébb. A geoid ezeket az apró különbségeket „rajzolja ki”.

4. A geoid és a „szint” fogalma

Amikor azt mondjuk: „vízszintes”, „tengerszint feletti magasság”, valójában a geoidhoz viszonyítunk. Például: egy vízmérték mindig a geoidra „áll rá”.

A tengerszint nem egy egyszerű gömbfelület, hanem a geoid egy része. Egy hegy magasságát a geoidhoz képest mérjük:



↑ A földfelszín, az ellipszoid és a geoid magassági helyzete (Wikimedia alapján). A tenger felszíne helyi hatások (áramlások, légnyomás, sótartalom) miatt 1-2 méterrel eltérhet a geoidtól. A „függőleges” irány a geoidra, vagyis a vízszintes felületre merőleges. A tengerszint feletti magasságot a „H” betűjel mutatja.

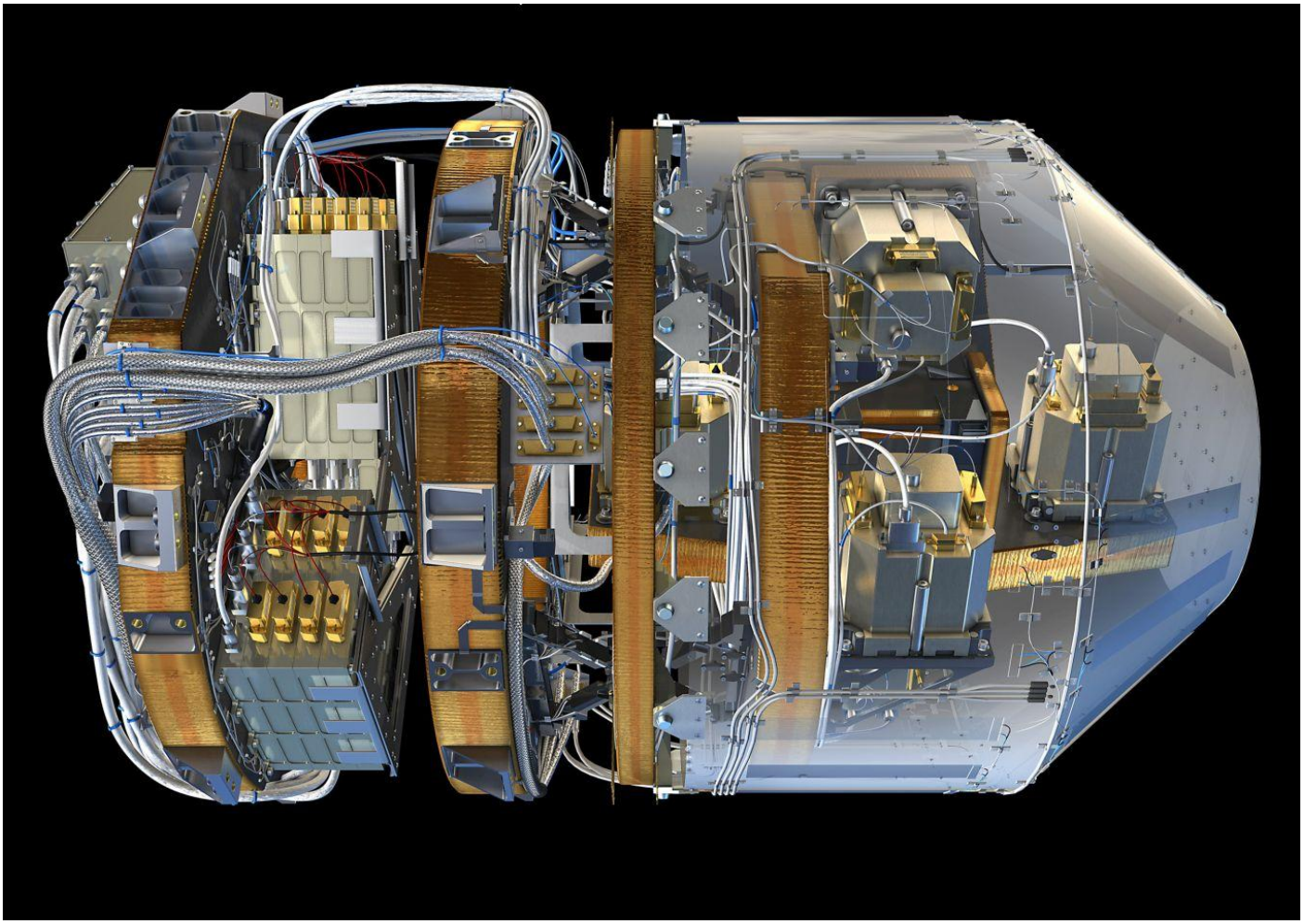
5. Hogyan mérjük meg a geoidot az űrből?

A geoidot nem lehet egyszerűen „lefényképezni”. Ezért műholdak segítenek. Az ESA GOCE műholdja:

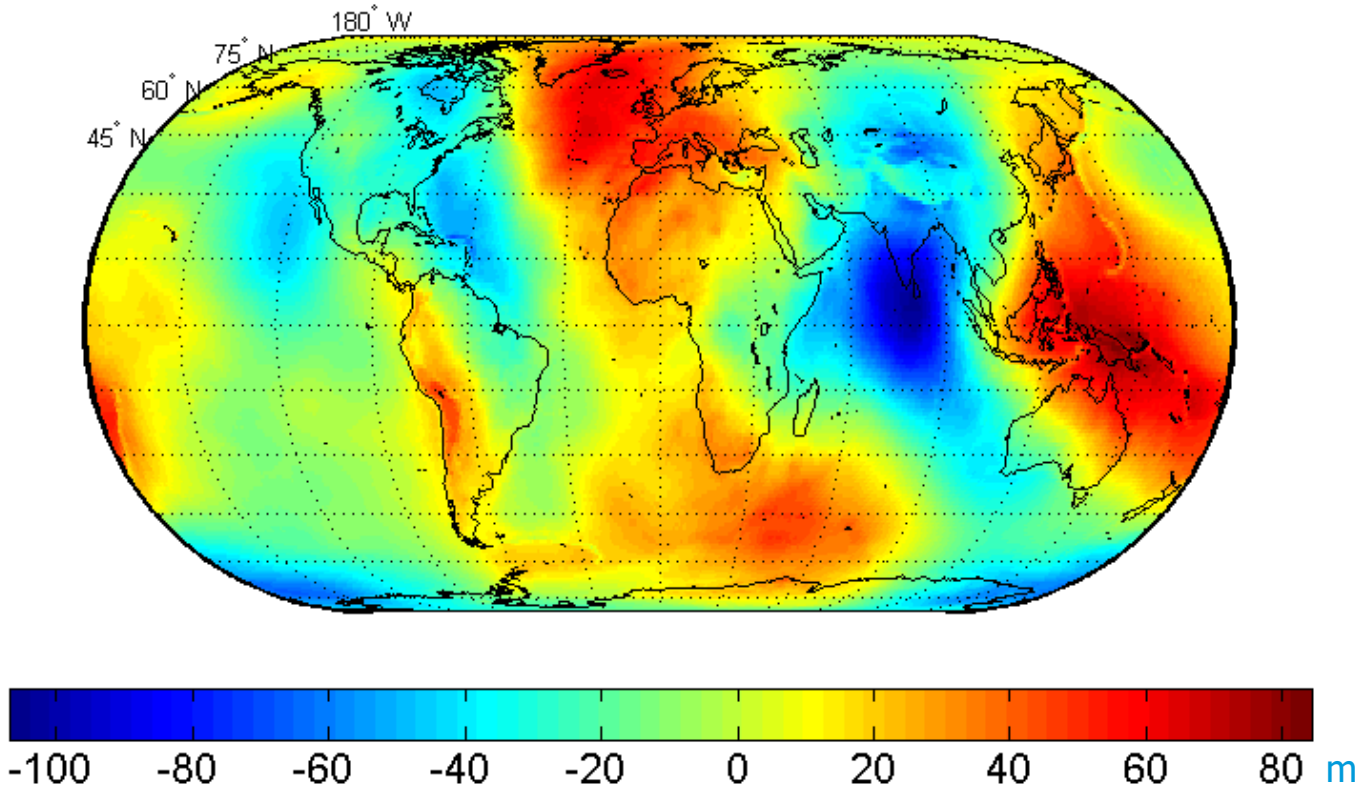
- rendkívül pontosan mérte a Föld gravitációját,
- a Föld körül keringve,
- apró gyorsuláskülönbségeket érzékelve.

Ezekből az adatokból elkészíthető a Föld gravitációs térképe, és ebből a geoid alakja.

A GOCE és más műholdas gravimetriai kísérletek alapján készült geoidmodellek mutatják meg igazán, hogy a Föld „krumpliszerű” alakja nem vicc, hanem a fizikai valóság.



↑ A GOCE műholdon elhelyezett gradiométer, vagyis a gyorsulás változásának mérésére szolgáló műszercsoport (Forrás: ESA).



↑ Globális geoidmodell, a geoid és a legjobban illeszkedő ellipszoid függőleges távolsága méterben – a 9. oldal ábráján „N”-nel jelölt távolság. (Forrás: Wikimedia, Lemoine et al., 1998).

A Föld alakjára vonatkozó modellek összefoglalása:

Fogalom	**Mit ír le?**
Gömb	egyszerű, közelítő alak
Ellipszoid	figyelembe veszi a forgás miatti lapultságot is
Geoid	a gravitáció által meghatározott valódi alak

Összefoglalva: **a Föld alakja attól függ, mire használjuk: a látványt jellemezzük (földgömb), a számításra (ellipszoid) vagy a fizikai valóság, pl. tengerszint feletti magasság leírására (geoid).**

→ 1. tevékenység: Gömb, ellipszoid vagy valami bonyolultabb?

A tevékenység keretében a tanár ismerteti a Bevezető részben leírtakat. A Tanulói munkalapon is megtalálható ennek egy kivonata.

Egy kapcsolódó kérdés: a Föld felszínének melyik pontja van a legtávolabb a tömegközépponttól?

A helyes válasz a Chimborazo (Andok/Kordillerák) csúcsa. A válasz megértésének alapja az ellipszoid és a gömb közötti különbség. A Csomolungma (Mt. Everest) van legmesszebb a tengerszinttől (a geoidtól). A geoid és az ellipszoid távolsága azonban sehol nem nagyobb 100 méternél, így nyugodtan használhatjuk az ellipszoidot, amelyről viszont tudjuk, hogy az Egyenlítőn 21 kilométerrel messzebb van a középponttól, mint a pólusokon.

Bár a Chimborazo tengerszint feletti magassága „csak" 6263 méter, nagyon közel (1,5° földrajzi szélesség) van az Egyenlítőhöz. Az Andok legmagasabb csúcsa, a Huascarán (6768 m) földrajzi szélessége déli 9°, a Csomolungmáé (8848 m) pedig északi 28°: ezek a csúcsok az Egyenlítőtől való nagyobb távolságuk miatt „maradnak le", hiszen az ellipszoid itt már nem annyira „hasas".

Eszközök

- Az előző részben ismertetett tananyag
- Tanulói munkalap

→ 2. tevékenység: Gravitációs detektív

A tevékenység keretében a tanulók videó megtekintésével megismerik a GOCE kísérletben meghatározott geoid-alakot (a geoid-ellipszoid távolságot), és tanulói adatlapjukon megválaszolják, hogy

- **a magassági eltérés hol a legnagyobb pozitív és negatív értelemben, és**
- **a különböző földrajzi objektumok jellemzően pozitív vagy negatív eltérést eredményeznek ebben a környezetükhöz képest.**

Eszközök

- Tanulói adatlapok
- Számítógép, telefon, vagy bármilyen, videó vetítésére alkalmas eszköz

Gyakorlat

A tevékenység során ezt a videót kell bekapcsolniuk a tanulóknak:

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2021/03/The_geoid

Erről a linkről teljes képernyős üzemmódban is nézhető vagy vetíthető a videó:

https://dlmultimedia.esa.int/download/public/videos/2021/03/061/2103_061_AR_EN.mp4

3-4 fős csoportokban vagy egyenként is végrehajtható a tevékenység. A videó a 48 másodperces futási idő alatt egy teljes fordulatot mutat be a forgó Földön. Hívjuk fel a figyelmet arra, hogy a Föld geoid-alakja mintegy tízezerszeresen túl van magasítva. A feladatok megoldásához a videót kb. 5-6 alkalommal el kell indítani. Amennyiben nem akarjuk újra és újra kézzel elindítani, a második linken feljövő weblapra jobb gombbal klikkelve az „Oldal mentése" pontot kell kiválasztani, helyi állományba is menthető a videó, amely pl. ezzel az alkalmazással „végtelenítve", ismétlődően is lejátszható:

https://mpc-hc.org/

A tanulóknak a munkalapjukon a következő kérdésekre kell válaszolniuk:

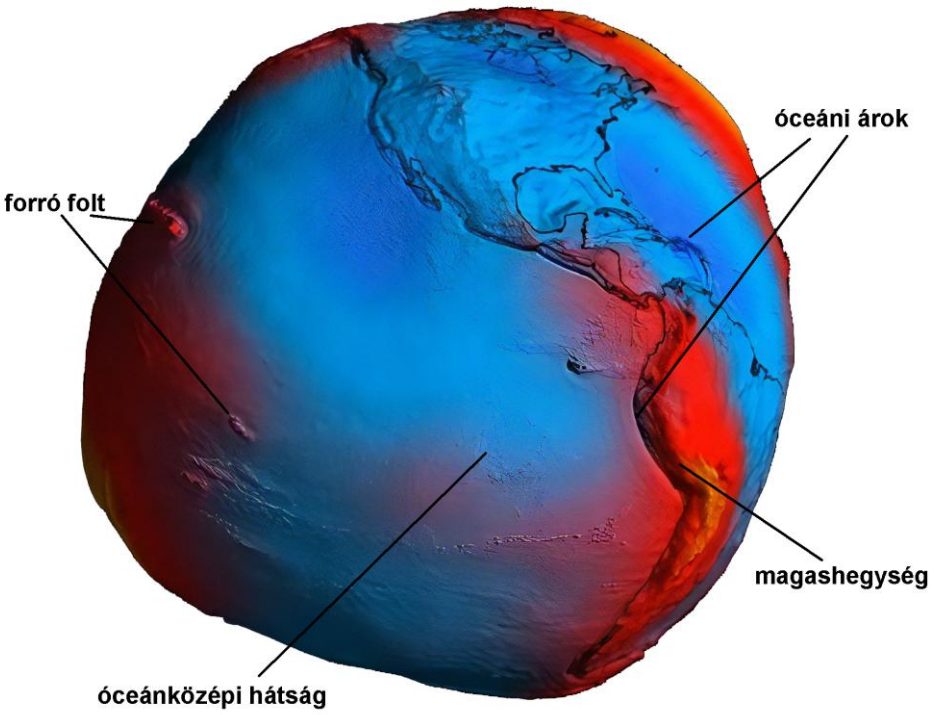
Hol „dudorodik ki" legjobban a geoid-alak a Földön? – a helyes válasz Indonézia térsége, de Európa és az észak-atlanti térség is egy kisebb „kidudorodást" alkot: sárga szín.

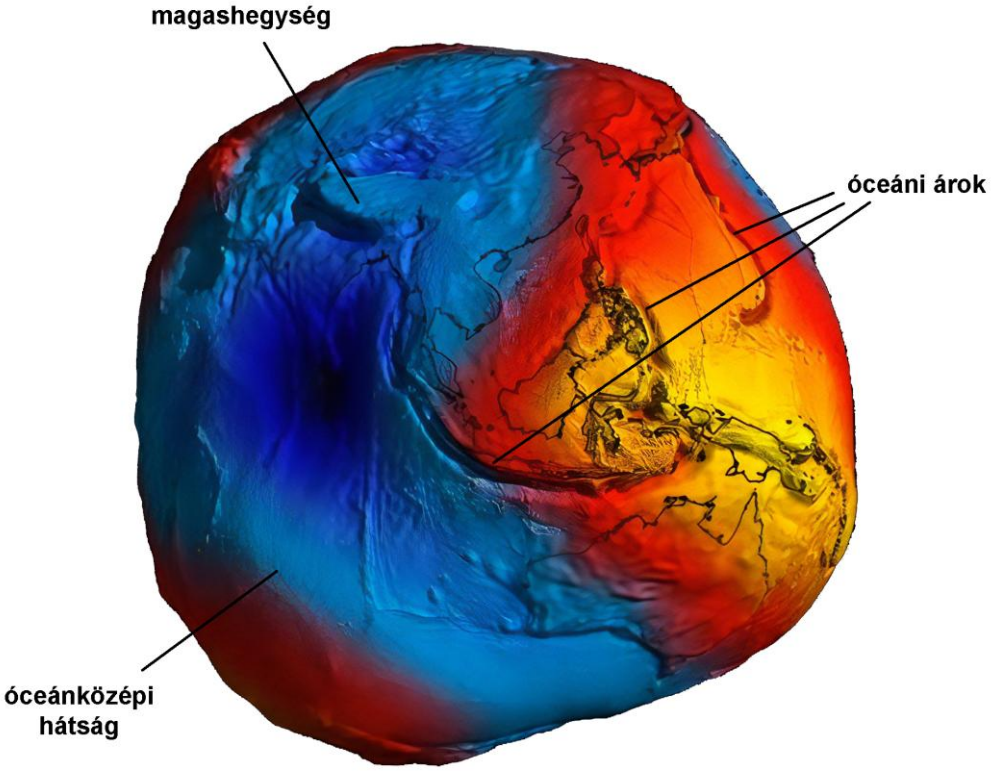
Hol „horpad be" legjobban a geoid-alak a Földön? – A helyes válasz az Indiai-óceán térsége, a „behorpadás" központja az indiai szubkontinens déli végénél van: mélykék szín.

A következő földrajzi objektumokról el kell dönteni, hogy inkább növelik vagy csökkentik a geoid helyi (a szomszédos területekhez képest mért) magasságát, vagy nincsenek hatással arra:

- kontinensek határa (nincs érdemi változás: a kontinensek oldalán kicsit magasabban fut a geoid)
- magashegységek (növelik a geoid-magasságot)
- óceánközépi hátságok (nincs érdemi változás, minimális növekedés)
- óceáni árkok (csökkentik a geoid-magasságot)
- forró foltok (növelik a geoid-magasságot)

A munkalapok összehasonlításánál megbeszéljük, hogy a növekedést mindenütt a többlet-tömeg (hegyek, forrófoltos vulkánok), a csökkenést a tömeghiány (mély árokban kőzet helyett víz) okozza. A fő kidudorodások és behorpadások oka viszont a Föld mélyebb rétegeiben: az alsó köpeny sűrűségében mutatkozik.


óceáni árok
forró folt
magashegység
óceánközépi hátság


magashegység
óceáni árok
óceánközépi
hátság

→ 3. tevékenység: Földalak a gyakorlatban.

A tevékenység során a tanulók internetes alkalmazásokkal megbecsülik saját álláspontjuk (pl. az iskola) tengerszint feletti magasságát, és mobiltelefonos GPS-alkalmazásban beállítják a geoidmagasság figyelembe vételét, annak helyi értékét és az alkalmazás helyes beállítását a tengerszint feletti magasság leolvasásához.

Eszközök

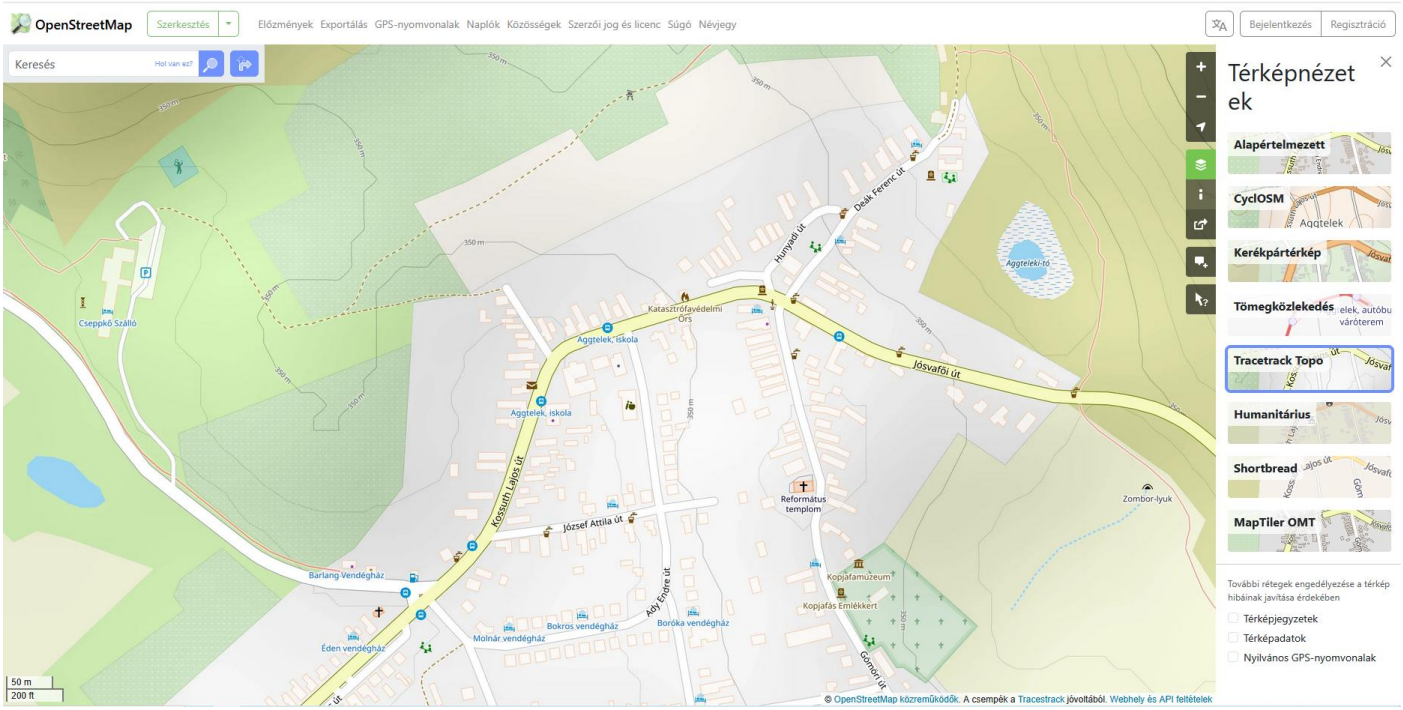
- Számítógép OpenStreetMap weboldallal vagy mobiltelefonok OSM alkalmazással
- GPS-képes mobiltelefon „GPS Test” alkalmazással

Tevékenység

Alakítsunk 3-4 fős csoportokat (akár az előző tevékenységben alakított csoportok megtartásával). Számítógépen nyissuk meg ezt a weboldalt:

https://www.openstreetmap.org

A jobb egérgombot nyomva tartva, az egeret mozgatva a térkép tologatható, a görgővel lehet nagyítani és kicsinyíteni. Jobb oldalon, a „Rétegek” közül válasszuk ki a Tracetrack Topo-t, majd keressük meg az iskolánkat a térképen:



A *Tracetrack Topo* réteg tartalmazza a szintvonalakat is, így le tudjuk olvasni, hogy pl. az Aggteleki Általános Iskola tengerszint feletti magassága kb. 340-350 méter. (10 méteres leolvasási pontosság elegendő ehhez a feladathoz).

(Megjegyzés: ha úgy kényelmesebb vagy ismertebb, Google Earth-ben is megtudhatjuk egy pont tengerszint feletti magasságát).

A térkép vetíthetően is bemutatható, de ekkor az osztály vagy csoport közös munkával, akár „bekiabálással” együtt találja meg a magasságot – ez az időtakarékos megoldás. Lehetőség van arra is, hogy saját mobiltelefonon nyissuk meg az OSM Viewer alkalmazást:

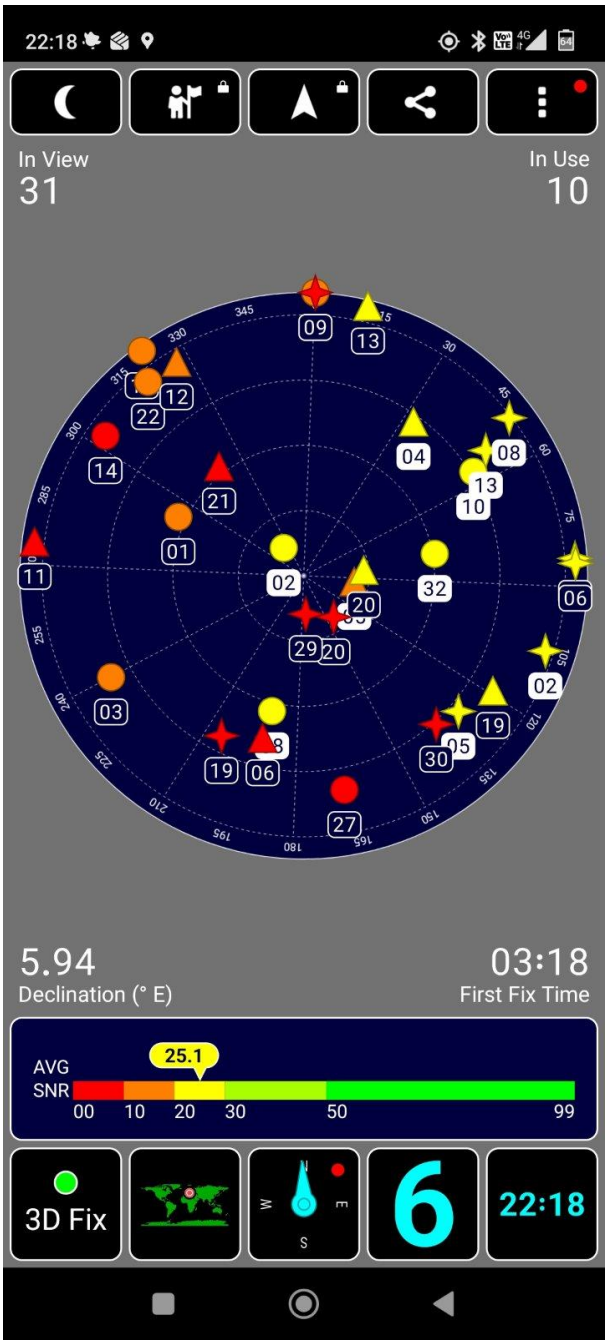
https://play.google.com/store/search?q=osm%20viewer&c=apps

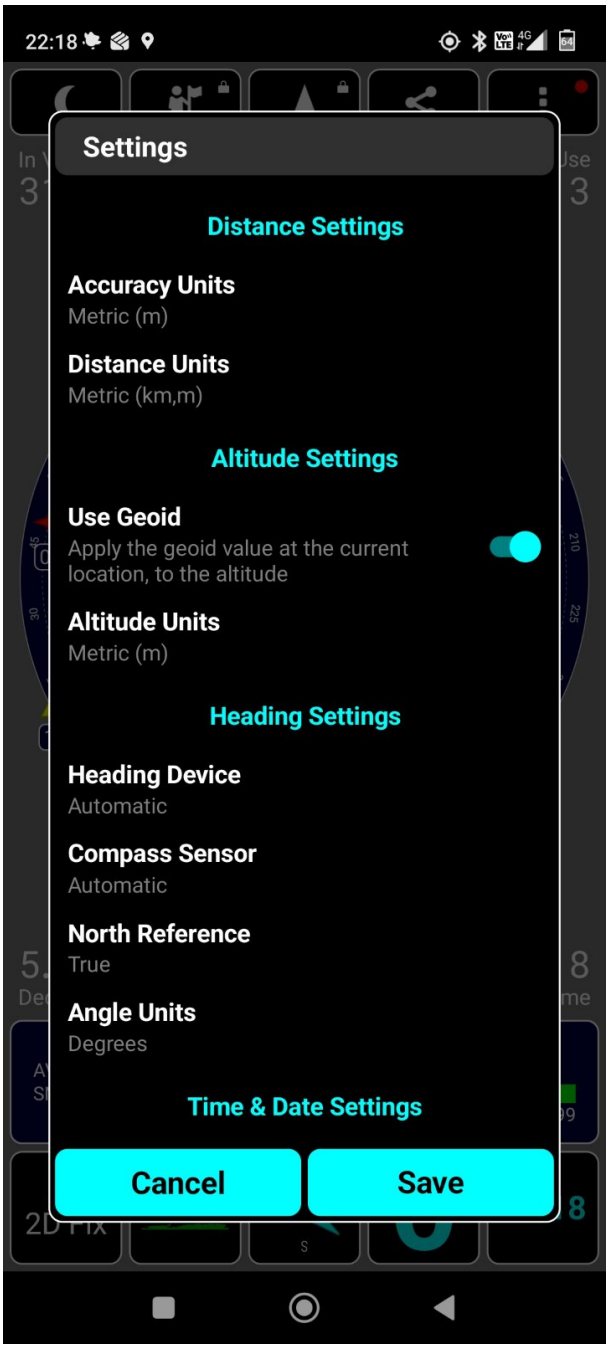
Ebben az esetben a jobb oldali ikonok közül alulról a harmadikkal lehet az alapállapot (amelyben nincsenek szintvonalak) és a topográfiai/turista változat közt váltani: utóbbira van szükség, amit ez a kép is mutat.

Ha a tanulók ezt az alkalmazást az órai tevékenység közben töltik le a telefonra, akkor ez 3-4 perc többlet-időt és ellenőrzést is kíván, ezért a közös, vetítéses megoldás jobb az órán, és ezt a linket később megkaphatják, otthoni használatra.

Egy másik alkalmazás viszont szükséges a feladathoz:

https://play.google.com/store/search?q=gps%20test&c=apps





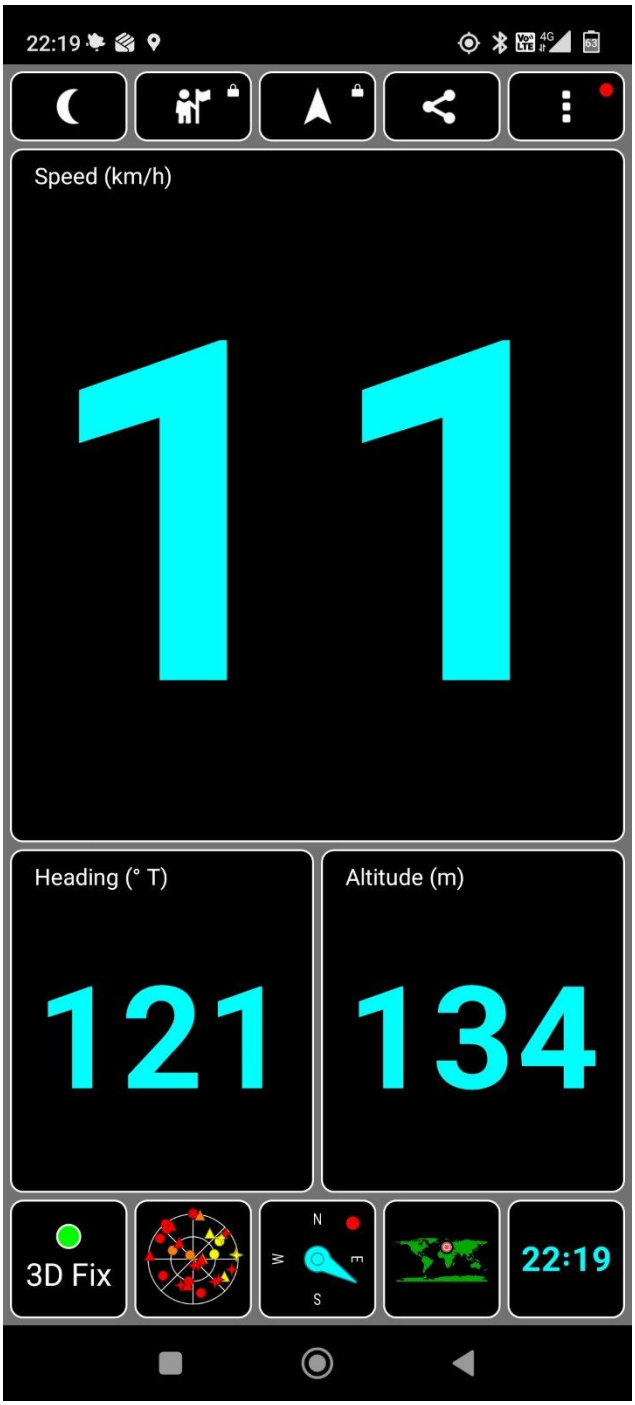
Az alkalmazást célszerű nyílt téren (pl. iskolaudvar) futtatni, ahol jó kilátás nyílik az égre. Ennek hiányában az ablakban kell próbálkozni, hogy lássunk annyi GPS-műholdat, hogy a bal alsó sarokban a „3D Fix” felirat jelenjen meg. A jobb felső sarokban levő „három egymás alatti pont” gombra legördülő menüből válasszul ki a „Settings”-t, és ott lefelé görgetve az „Altitude Settings / Use Geoid” pontnál a csúszkát állítsuk balra (kikapcsolt állapot).

A GPS „magától” nem ismeri a geoidot, és ahogy a bevezető részben tárgyaltuk, a számításokhoz legalkalmasabb ellipszoiddal számol. Emiatt viszont alaphelyzetben, ahová most állítottuk az „Use Geoid” kikapcsolásával, nem a tengerszint feletti magasságot, hanem az ellipszoid feletti magasságot fogja mutatni: a 9. oldal ábráján látható „N” hozzáadódik a tengerszint feletti magassághoz.

Magyarországon az „N” értéke (ezt a geofizikusok „geoidmagasságnak” vagy csúnya szóval „geoidundulációnak” nevezik) a keleti határszélen 39-40 méter, az Alpokalján 46 méter, a középső

országrészben, pl. Budapesten kb. 43 méter. **Ez annak a „krumplinak” az országunkra eső finomszerkezete, amelyet az előző feladat videójában néztünk meg.**

Kikapcsolt „Use Geoid” állásban tehát a GPS-alkalmazás a korábban leolvasott tengerszint felett magassághoz képest 40-45 méterrel nagyobb értéket fog mutatni, amelyet a fő képernyőn alul, a jobbról második nagy gombra (az előző ábrán ennek a helyén egy „6” látszik) kell kattintani:



A magasság itt az „Altitude (m)” ablakban jelenik meg. Amennyiben az eredményt nem méterben kapjuk, akkor a Settings-ben épp a geoidbeállítás alatt, az „altitude units”-t metrikusra kell állítani.

Kikapcsolt geoidkerrekcióval tehát a szintvonalakról leolvasott magassághoz képest 40-45 méterrel magasabb értékeket, bekapcsolt korrekcióval pedig kb. a tengerszint feletti értékeket kell kapjuk.

Ezt a ki-bekapcsolható korrekciót nem a GPS-műszer, hanem az alkalmazás tudja: gyakorlatilag az előző feladatban megnézett videón bemutatott értékeket tárolja egy szélesség-hosszúsági rácshálóban, és abból becsüli meg adott helyre a korrekciós értéket, kb. 1 méter pontossággal.

Figyelem: a GPS-vevő által mutatott magasság pontossága függ az észlelt műholdak számától. A magassági helyzet a GPS által szolgáltatott legkevésbé pontos adat – a mindennapi használatban ez 5-15 méter pontosságot jelent! Emiatt is fontos, hogy pont felfelé jó összeköttetést találjon telefonunk a műholdakkal: ebből azirányból érkezik a magasság meghatározásához legfontosabb mérési adat.

→ 4. tevékenység: Mi a Föld alakja? (opcionális)

Itt nyílik lehetőség arra, hogy

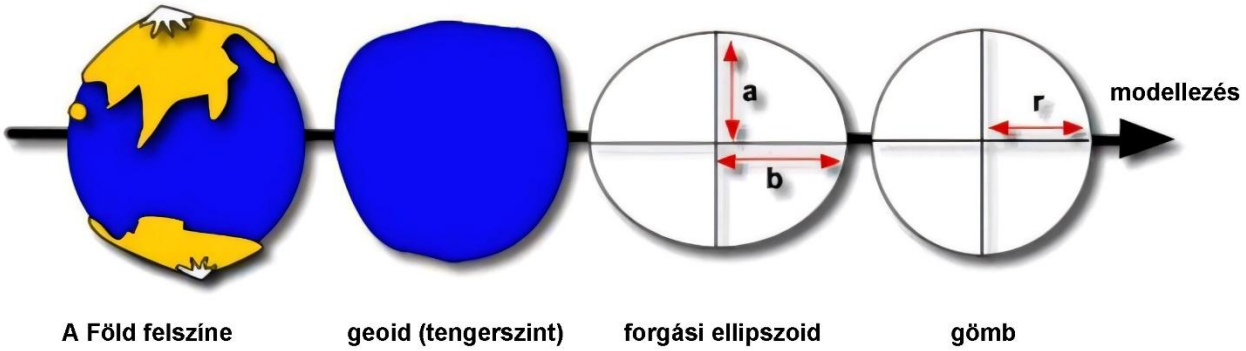
összekapcsoljuk

- **a 2. tevékenységnél megismert globális képet, és**
- **a 3. tevékenységnél megismert helyi hatást.**

A globális képet a Föld belső tömeg-eloszlásának egyenetlenségei (a gömbszimmetriától való geológiai, geodinamikai eltérések) alakítják. Így ezek közvetlenül hatással vannak a GPS-vevőnk által szolgáltatott magassági mérésekre is.

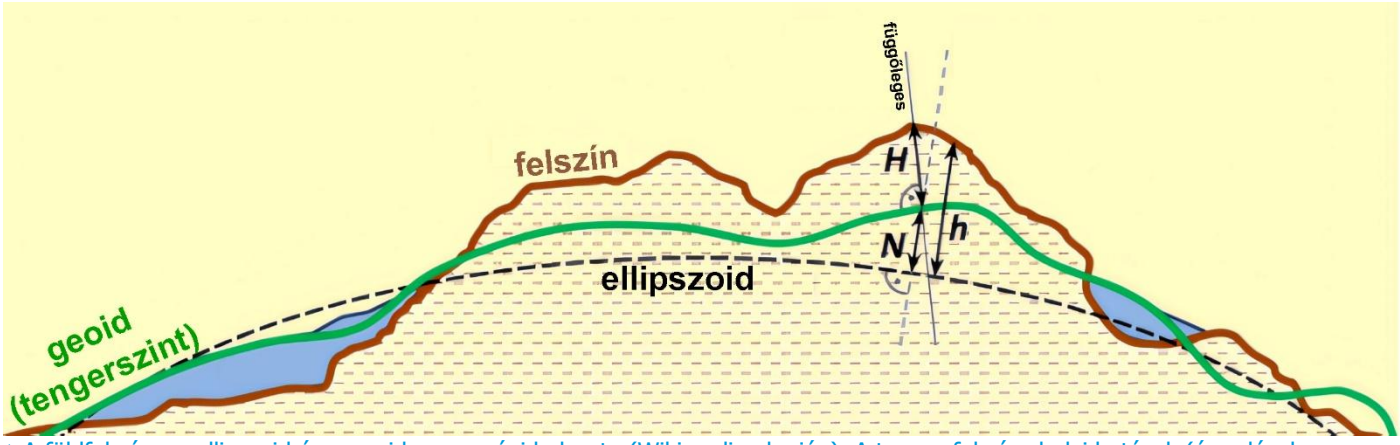
→ A KRUMPLI ALAKÚ FÖLD

→ 1. tevékenység: Gömb, ellipszoid, vagy valami bonyolultabb?



↑ A Föld alakjának modelljei. Minél egyszerűbb, annál kevésbé pontos, de számos alkalmazáshoz ez is elegendő (Wikimedia)

A modellezés pontosan azt jelenti, mint pl. a terepasztalon: a jelenségek számunkra fontos lényegi részét megtartjuk, a többit az adott modellben elhanyagoljuk. A gömb egy számmal, a sugárral jól megmondja a Föld méretét, ezzel tudunk számolni pl. fizikaórán, amikor $R \approx 6400$ kilométer adattal számolunk (miközben az átlagos sugár ennél kevesebb, $R=6371$ kilométer). Térképészeti és geodéziai alkalmazásokban a forgási ellipszoid a jó modell, ebben az egyenlítői sugár 6378 km, a sarki kb. 6356 km. A tényleges tengerszint azonban ettől is eltér, kb. ±100 méterrel függőleges értelemben. Ezt az eltérést a Föld belső sűrűségének változásai, a csak a mélységtől függő sűrűségtől való eltérések okozzák.



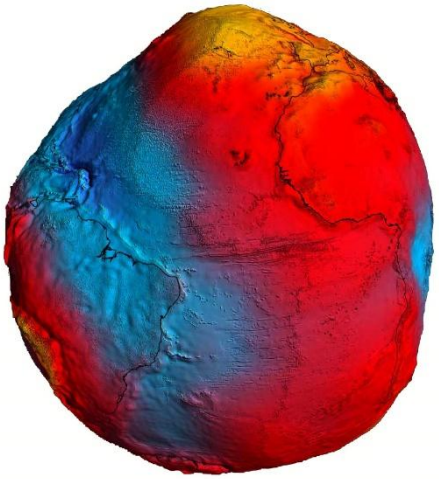
↑ A földfelszín, az ellipszoid és a geoid magassági helyzete (Wikimedia alapján). A tenger felszíne helyi hatások (áramlások, légnyomás, sótartalom) miatt 1-2 méterrel eltérhet a geoidtól. A „függőleges" irány a geoidra, vagyis a vízszintes felületre merőleges. A tengerszint feletti magasságot a „H" betűjel mutatja.

A Föld egy adott pontján, pl. ott, ahol a mi iskolánk áll, a felszín, a geoid (a tengerszint) és az ehhez legjobban illeszkedő ellipszoid magassága helyzete eltérő. Az ábrán „H"-val jelölt távolság a tengerszint feletti magasság. A geoidot, vagyis a Föld alakjára vonatkozó legpontosabb modellünket az ellipszoidtól vett „N" távolság adja meg, amely a Földön ±100 méteren belül marad, Magyarországon átlagosan 43 méter (keleten 39, a nyugati határszélen 46 méter). Ezt a modellt használják a GPS-alkalmazások, mivel a műszer az ellipszoid feletti magasságot méri, abból az „N" értéket (ez a Budapesten kb. 43 méter) levonva kapjuk a tengerszint feletti magasságot.

Tudtad?

A geoidnak az ellipszoidhoz képest vett magassági helyzetét korábban felszíni gravitációs és csillagászati mérésekkel becsülték meg. 1958 óta műholdak fedélzetére telepített jeladók rádiójeleinek Doppler-torzulását mérve ez a feladat sokkal egyszerűbbé vált.

A 2000-es évektől a becslést tovább pontosította, ha nem egy, hanem több műhold észlelt egyszerre, folyamatosan mérve a köztük mutatkozó távolságot (GRACE kísérlet). Az ESA **GOCE kísérletében** nemcsak a gravitációt, de a tér finom eltéréseit is közvetlenül mérik, hasonlóan ahhoz, ahogy azt Eötvös Loránd tette a torziós mérleg alkalmazásával.



Az ESA GOCE modellje, kb. tízezerszeres túlmagasítással→

→2. tevékenység: Gravitációs detektív

Miközben nézzük a vetített, vagy a mobiltelefonon nézett videót:

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2021/03/The_geoid

becsüld meg, hogy ez a „földi krumpli” hol dudorodik ki és hol horpad be a legjobban, illetve hogy bizonyos földrajzi objektumok a környezetükhöz képest inkább kiemelkedést vagy behorpadást okoznak az alakján. Válaszolj a következő kérdésekre: minden kérdésre csak egy helyen kell karikát tenni.

A GOCE kísérletben meghatározott geoidmagasságok hol térnek el legjobban az ellipszoidtól POZITÍV IRÁNYBAN? (Kidudorodás és sárga szín)

◯ Dél-Amerika ◯ Afrika ◯ Indonézia
◯ Japán ◯ Indiai-óceán ◯ Alaszka

A GOCE kísérletben meghatározott geoidmagasságok hol térnek el legjobban az ellipszoidtól NEGATÍV IRÁNYBAN? (Behorpadás és sötétkék szín)

◯ Európa ◯ Dél-Afrika ◯ Japán
◯ Ausztrália ◯ Indiai-óceán ◯ Szibéria

A következő földrajzi formák térségében hogyan változik meg a geoidmagasság a környezetükhöz képest?

Tengerpartok, kontinens-határok

◯ megnő ------- ◯ lecsökken ------- ◯ nincs vagy alig észrevehető hatás

Magashegységek (Himalája, Andok)

◯ megnő ------- ◯ lecsökken ------- ◯ nincs vagy alig észrevehető hatás

Óceáni árkok (pl. Mariana-árok, Karibi-árok, Tonga-árok)

◯ megnő ------- ◯ lecsökken ------- ◯ nincs vagy alig észrevehető hatás

Óceánközépi hátságok (pl. az Atlanti-óceán közepe)

◯ megnő ------- ◯ lecsökken ------- ◯ nincs vagy alig észrevehető hatás

Forró foltok (pl. Hawaii)

◯ megnő ------- ◯ lecsökken ------- ◯ nincs vagy alig észrevehető hatás

→ Linkek

GOCE geoid videók

ESA bemutató videó:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2021/03/The_geoid

ESA bemutató videó nyers, letölthető változata:

https://dlmultimedia.esa.int/download/public/videos/2021/03/061/2103_061_AR_EN.mp4

Az Európai Űrügynökség ismertetői

ESA GOCE projekt:

https://www.esa.int/esatv/Videos/2012/12/GOCE_mapping_gravity_as_never_before

ESA GOCE projekt áttekintés fellövés után:

https://www.youtube.com/watch?v=-rf0LQCWbys

ESA GOCE gradiométer:

https://www.esa.int/esatv/Videos/2021/03/GOCE_gradiometer

Oktatási segédanyagok:
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

ESA Galileo (az „európai GPS”) ismertetője:

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