

HGR.01: Holdrengések Geoinformatikai Rendszere

Lázár Lajos^{1,2}, Kiszely Márta³, Földváry Lóránt^{2,3}

¹Budapest Közút Zrt.

²Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, Székesfehérvár

³MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

Célunk egy olyan térinformatikai rendszer létrehozása volt, ami mindenki számára elérhető, kézzel fogható, és könnyen értelmezhető módon mutatja be a holdrengések világát. A fejlesztés eredményeül kapott geoinformatikai rendszert részletesebben az [1] tanulmány mutatja be.

Bevezetés

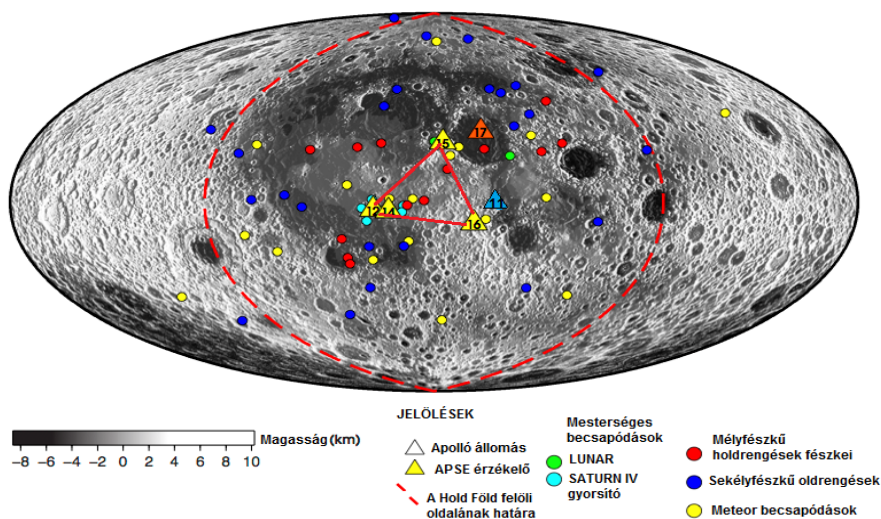
A holdrengések egészen az ember Holdra történő leszállásig nem voltak ismertek. Az Apollo asztronautái számoltak be először a jelenségről. A küldetések során úgynevezett ALSEP egységeket helyeztek el a Hold felszínén (*Apollo Lunar Surface Experimental Package* = Apollo holdi felszínvizsgáló műszercsomag). Ezeknek a csomagoknak az alábbi kérdésekre kellett választ adniuk [2]:

- Milyen a Hold belső szerkezete?
- Milyen a Hold pontos alakja?
- Milyen az összetétele a holdi felszínnek?
- Mik voltak azok alapvető folyamatok, melyek kialakították a Hold jelenlegi alakját?
- Van-e tektonikus aktivitás?
- Vannak-e szerves anyagok a Holdon?
- Milyen idős a Hold?
- Mi az előzménye a Hold és Föld kapcsolatának?

Az első ilyen csomagot az Apollo-11 helyezte el (bár ez még csak csekély számú műszert tartalmazott, ezért az angol elnevezése EASEP, *Early Apollo Surface Experiments Package* volt). A programok során folyamatosan bővítették az ALSEP-eket 1969-től egészen 1977-ig, amelyek összesen nyolc éven keresztül működésben voltak [2]. A műszerek között található a *Passive Seismic Experiment Package*, a *Lunar Active Seismic Experiment* és a *Lunar Seismic Profiling Experiment Package* is.

A *Passive Seismic Experiment Package* (passzív szeizmikus kísérletcsomag) műszerei működésének célja az volt, hogy vizsgálja a Hold felszín alatti tulajdonságait és mérje a hihetetlenül

kicsi rezgéseket is, melyeket az emberi beavatkozások (robbantások, űrhajók részeinek becsapódása) vagy távoli hold-rengések okoznak. Ha a szeizmikus eseményeket három vagy több szeizmométer érzékeli, megállapítható a rengés időpontja és helye. Éppen ezért az Apollo küldetések során a szeizmométereket egyenlő oldalú háromszögekben telepítették (lásd az alábbi ábrán: Apollo-12, -14, -15, -16) [3].



Ezeknek a műszereknek köszönhetően (1) megismertük a Hold belső szerkezetét: sikerült meghatározni a Hold belső felépítését (kéreg, köpeny, mag); (2) feltérképeztük a Hold szeizmikus aktivitásának forrásait, elkülöníthetővé váltak az egyes típusok: sekély és mélyrengések, meteorit-becsapódások, mesterséges esetek, hőmérséklet-változással kapcsolatos termikus események. Rájöttünk (3) a hullámok csillapodásának okaira: a Hold belső szerkezetének tagolódása miatt a szeizmikus hullámok más-más módon csillapodnak különböző mélységekben, így következtetni lehet azok anyagára [2].

A Lunar Active Seismic Experiment (holdi aktív szeizmikus kísérlet) műszer pont az ellentéte volt a passzívnak, mind méretében, mind működésében [2]. Míg a passzív műszerek a Hold szeizmicitását vizsgálták, addig az aktív műszerek mesterségesen gerjesztett lokális rengéseket érzékelték. Ezeket a hullámokat robbantásokkal idézték elő: kisebbekkel, amiket az asztronauták maguk végeztek, illetve nagyobbakkal, amiket azután hajtottak végre, miután elhagyták a felszínt. Ezeknek a műszereknek a segítségével sikerült igazolni a passzív műszerek által gyűjtött jelek elemzéséből nyert feltételezéseket.

A Lunar seismic profiling experiment (holdi szeizmikus profil kísérlet) lényege az volt, hogy felállítottak egy négy daraból álló műszer csoportot, hármát egymástól 90 méterre, egyenlő szárú háromszögek csúcaiban elrendezve, a negyediket pedig a háromszög közepébe téve [2]. Ezután robbantásokat végeztek, így az aktív műszerekhez képest pontosabban tudták meghatározni a keltett rengések paramétereit. A kísérletet az Apollo-17 legénysége hajtott végre.

Felhasznált adatok, holdrengések fajtái

A szeizmométerek által rögzített adatokat a NASA mágnesszalagokra rögzítette, a digitalizálásuk és feldolgozásuk (Yoshio Nakamura professzor vezetésével) 1980-ig tartott. Az eredeti szeizmogramok mikrofilm másolatai, illetve a feldolgozott katalógus kikérhető az amerikai *National Space Science Data Center*től. Az adatok egy része digitálisan is elérhető, letölthető a <http://darts.jaxa.jp/planet/seismology/apollo/PSE.html> oldalon. Az oldalon az Apollo programok passzív mérési adatai, illetve a profil kísérlet eredményei is elérhetők, valamint az eredeti kódolt és digitalizált mágneskazetták és a katalógusba vett eredmények. Lehetőség van az adatokat térképes megjelenítéssel is megtekinteni (<http://darts.jaxa.jp/planet/seismology/apollo/app/>). Az általunk fejlesztett webes alkalmazás alapjául ezen oldalon fellelhető adatokat használtuk fel.

A katalógusba vett holdrengéseket négy nagy csoportra lehet bontani [4][3]:

(1) Mélyfészkes holdrengések: a leggyakoribb holdrengés típus. Kis erősségű rengések (a földi maximum 3-as erősségnek megfelelőek), melyek kipattanási mélysége a mag és a felszín között van. Ezek a rengések erősen korrelálnak az árapály jelenséggel. Több mint 300 jól elkülöníthető fészkekben jöttek létre.

(2) Sekélyfészkes holdrengések: nagyon ritka, ámde annál erősebb rengések. Nincsenek összefüggésben az árapállyal, ezért sejtethető, hogy tektonikai mozgásra vezethetőek vissza. Összesen 28-at regisztráltak, és nagyban hasonlítanak a földi rengésekre.

(3) Termikus rengések: nagyon kis erősségűek, csak a szeizmométerek közvetlen közelében voltak észlelhetőek. Ezen holdrengések oka valószínűleg hőtágulás lehet, mivel számuk hirtelen megemelkedik 2 nappal a holdi napfelkelte után, naplemente után pedig megszűnnek.

(4) Meteor-becsapódások: igazából nem tekinthetőek holdrengéseknek, mert külső forrásból származnak. Mégis segítségükkel jobban megismerhetjük a bolygóközi környezetet. A

Holdat ért meteoritok mérete igen széles skálán mozog: 0,5–50 kg közötti tömegűek is lehetnek a becsapódó objektumok.

Felhasznált térinformatikai eszközök

A HGR.01 holdrengés térinformatikai rendszer az Esri cég által kiadott ArcGIS Online alkalmazással készült [5]. Az ArcGIS Online egy teljes, az összes eddigi ArcGIS funkciót ellátó felhő-alapú, teljesen webes megoldás, melynek nincs szüksége kliens telepítésére helyi számítógépre. Lehetőséget nyújt online térképek készítésére és megosztására, ezen kívül rengeteg előre elkészített, konfigurált eszközt, webalkalmazást felkínálva, melyek tetszés szerint alakíthatóak a saját igényeinkhez.

Az FME egy önálló, platformfüggetlen program, amelyet az adatkonverziók során felmerülő információvesztések csökkentésére alakítottak ki; használatával különböző forrásokból származó adatokkal lehet hatékonyan dolgozni, legyen szó akár CAD rajzokról, térinformatikai adatbázisról, LiDAR adatról, Python scriptekről, stb.

A HGR.01 térinformatikai rendszer adatmodellje

A holdrengés adatbázis a Hold szeizmográfok észlelési adatait tartalmazza és az alábbi attribútumokból épül fel:

| Attribútum neve | Elnevezés | Értékkészlet |
|------------------------|--|---------------------|
| ID | Az esemény egyedi azonosítója | |
| Year | Az észlelés éve | |
| Day of the Year | Az észlelés napja adott évben | |
| Signal start time | Az észlelés kezdésének időpontja, órában és percben | |
| Signal stop time | Az észlelés végének időpontja, órában és percben; 9999 az értéke, ha a jel folytatódott a következő észlelésig | |

| Attribútum neve | Elnevezés | Értékkészlet |
|--|---|--|
| Availability of seismograms in expanded time scale | Elérhető-e bővített időre vonatkozó szeizmogram, ha igen milyen, állomásonként külön-külön attribútumban tárolva. | 1 = Calcomp incremental plotter plot 2 = Versatec matrix plotter plot |
| Data quality code | A jelek minőségi leírása. | 1 = az adott állomástól nincs adat 2 = zajos adat 3 = a jelet egy másik nagyobb jel zavarhatta 4 = megvágott adat, az eredeti digitális adat talán nem vágott 5 = comments attribútumot 6 = az adathoz rögzített idő számítógép által generált, így nem a legmegbízhatóbb) |
| Comments | A jelhez kapcsolt megjegyzések | |
| Event type | Az esemény típusa | A = osztályozott, mélyfészkű holdrengés M = osztályozatlan mélyfészkű holdrengés C = meteoritbecsapódás H = sekély fészkű holdrengés Z = rövid periódusú esemény L = NASA küldetés által keltett esemény S = Szovjet küldetés által keltett esemény X = Speciális esemény |
| Matching deep moon quake class | A megfelelőített mélyfészkű holdrengési osztály | |

| Attribútum neve | Elnevezés | Értékkészlet |
|---|---|---------------------|
| Additional entries for event | Kiegészítő információk az eseményhez | |
| Nest A | A fészkek száma | |
| Latitude deg N | A fészkek szélességi foka és a meghatározásának középhibája | |
| Longitude deg E | A fészkek hosszúsági foka és a meghatározásának középhibája | |
| Depth b km | A fészkek mélysége km-ben és a meghatározásának középhibája | |
| Deep Moon-quake Nests Located on the Nearside | A mélyfészkes holdrengés a Hold Föld felőli oldalán található-e | |

A HGR.01 webtérkép

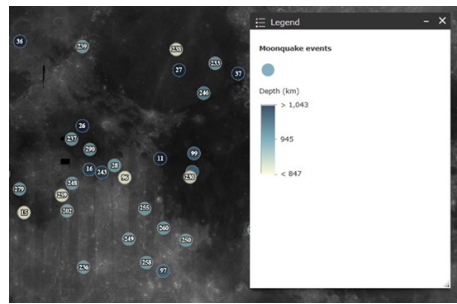
A fejlesztett térinformatikai rendszer az alábbi linken elérhető:



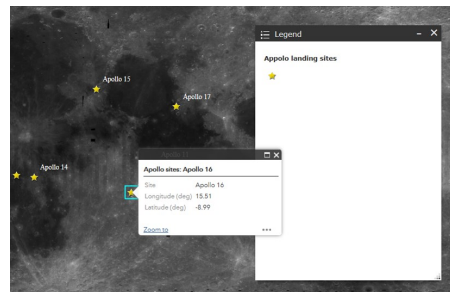
<http://arcg.is/2hnp5F5>

A webes térkép létrehozásánál a holdrengéseket kutató szakemberek munkájának segítségét, könnyítését tartottuk szem előtt: a nem közvetlenül a holdrengésekhez kapcsolódó kiegészítő adatokat összegyűjtve, rendszerezve, tematikusan ábrázolva egy közös térinformatikai rendszerben tesszük elérhetővé. A térképen fel-lelhető rétegek

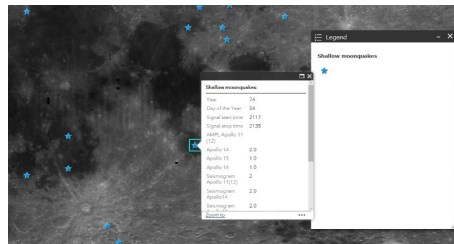
Moonquake events (mélyfészki holdrengés-adatok): Ezen a rétegen a Nakamura-féle holdrengés katalógusból kinyert és egyértelműen azonosított mélyfészki holdrengések találhatóak az epicentrumban ábrázolva, feliratozva a fészkek számával és tematizálva, az epicentrum mélysége alapján.



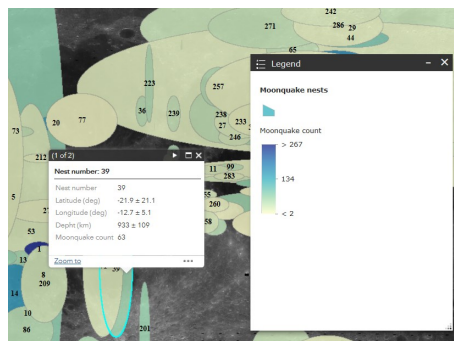
Apollo landing sites (Apollo leszállási helyek): A rétegen megtalálhatóak az Apollo program által kijelölt leszállási helyek, feliratozva a program számával.

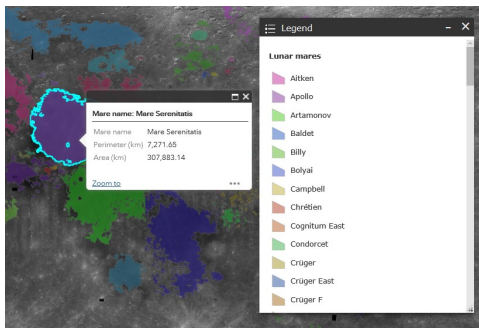


Shallow moonquakes (sekély fészki holdrengés adatok): a holdrengések közül a sekély fészki rengések hasonlítanak legjobban a földrengésekhez. Ezek a legkritkább rengések, évente maximum négy-öt került rögzítésre az Apollo programok során. 100 km-nél nem mélyebben keletkeznek.



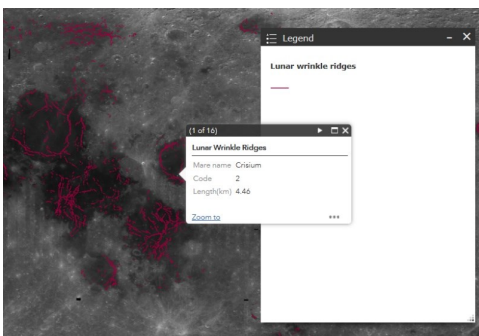
Moonquake nests (holdrengés fészkek): Ezen a rétegen a mélyfészki holdrengésfészkek találhatóak. Az ellipszisek középpontja a források feltételezhető középpontja, a kis- és nagytengelyek pedig meghatározásukkor előállt hosszúsági és szélességi bizonytalanságok. A rétegen feliratozva vannak a fészekszámukkal, és tematizálva a fészkekben azonosított holdrengések darabszámával.





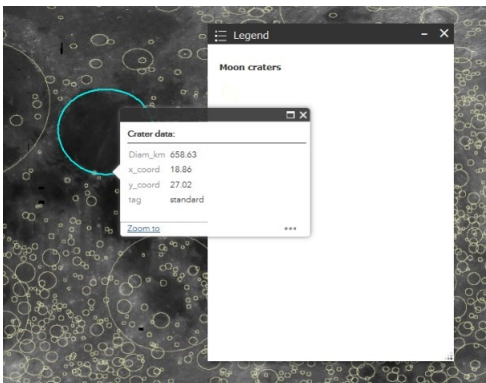
sabb adatai (nevük, kerületük és területük).

Lunar mares (hold-tengerek): A Hold felszínét borító nagy sötét foltokat – melyek valójában megszilárdult lávasíkságok – holdtengereknek nevezik. Nevüket a korai csillagászok adták, akik azt hitték, tengereket látnak. A rétegen megtalálhatóak a holdtengerek fontosabb adatai (nevük, kerületük és területük).



mert mint ahogy a bőr alatti erek dudorodnak ki és hálózják be az emberi testet, úgy ezek a felszín alatt hálózják be a Holdat. Hosszuk, nevük és tengerhez köthető nevük található meg a rétegen.

Lunar wrinkle ridges (holdi vetődések): Jellemzően a holdtengerek közelében található képződmények, szorosan kötődnek a Sinus-rianásokhoz. Tektonikus eredetűek, akkor jöttek létre, amikor a bazaltos láva kihűlt és megszilárdult. Gyakran hívják őket a Hold ereinek,

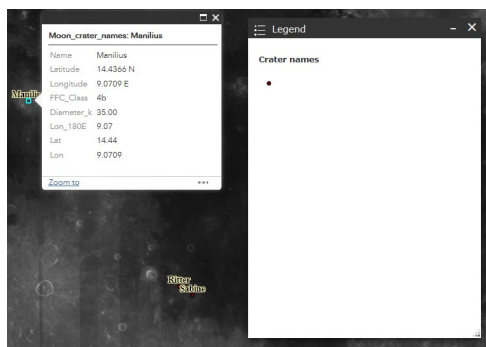


krátereknek nevezzük, a görög krater (Κρατήρ = edény, melyben bort és vizet keverték) szó után. A kráterek eredetén a tudományos világ egészen az Apollo programig vitatkozott, mikor végül a kézzel fogható bizonyítékok mindenkit meggyőztek, hogy a kráte-

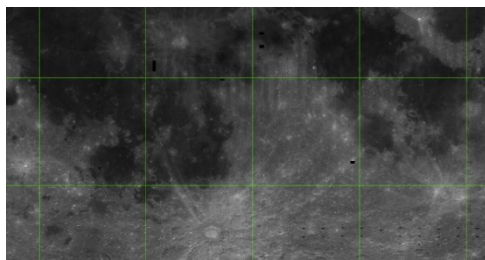
Moon craters (hold-kráterek): A Hold krátereinek megfigyelése és felfedezése egészen 1609. november 30-ig nyúlik vissza, amikor Galilei először tekintett a Holdra saját készítésű távcsövével. Ekkor fedezte fel, hogy a Hold alakja nem tökéletes gömb, felszínét hegységek és edényszerű mélyedések borítják. A képződményeket

rek nagy része meteorit-becsapódások következménye. A kráterek teljes számbavételére 1978-ig várni kellett, amikor Chuck Wood és Leif Andersson kidolgozott egy a kráterek kategorizálására szolgáló rendszert. A megjelenített rétegen a kráterek legtöbb elérhető adata megtalálható: átmérőjük, középponti koordinátájuk és típusuk.

Crater names (kráter nevek): A Holdon fellelhető kráterek neveiket általában elhunyt tudósok és felfedezők után kapják. Ez a tradíció 1651-től él, amikor is Giovanni Battista Riccioli elkezdte elnevezni őket. 1919 óta a Nemzetközi Csillagászati Unió (*International Astronomical Union, IAU*) végzi ezt a feladatot. A különösen érdekes kisebb kráterek férfinameket kapnak (Robert, Jose, stb), a nagyobb kiterjedésűek a hozzájuk kapcsolódó eseményeket pl.: Apollo program szinterei. A rétegen feltüntetésre kerültek a kráterek nevei, illetve földrajzi adataik.



Coordinate grid (koordináta rácsháló): A réteg a könnyebb tájékozódás céljából került a térképre; egy egységes 15 fokos oldalhosszúságú, négyzetes rácsháló, mely nem tartalmaz lekérdezhető adatokat.



Moonquake event catalog (holdrengés katalógus): A térképre felkerült a teljes Nakamura-féle katalógus, táblázatos formában. Ezek az adatok átfedésben vannak a már megjelenített rétegekkel, de nagy részükhöz nem köthető pontos földrajzi hely, viszont kereshetőek, exportálhatóak a holdrengések eseményei.

| Event type | Year | Day of the year | Signal start time | Signal stop time | Signal envelope amplitudes A11-12 | Signal envelope amplitudes A14 | Signal envelope amplitudes A15 | Signal envelope amplitudes A16 |
|--------------------------------------|------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Meteoroid Impact | 74 | 080 | 1707 | 1750 | | 2.0 | | 4.0 |
| Classified (matching) deep moonquake | 74 | 081 | 1758 | 1845 | 1.2 | 3.3 | | 4.0 |
| Meteoroid Impact | 74 | 081 | 2105 | 2220 | 1.0 | 7.7 | 1. | 2.0 |



Moon basemap (Hold alaptérkép): A térképen felhasznált alaptérkép egy az USGS által szolgáltatott Holddal kapcsolatos WMS szolgáltatások közül. Link: http://planetarymaps.usgs.gov/cgi-bin/mapserv?map=/maps/earth/moon_simp_cyl.map

A HGR.01 webes alkalmazás használata

A webes alkalmazás teljes mértékben a webtérképre épül, plusz funkciókkal és interaktivitással ellátva azt. A webes alkalmazás a WebAppbuilder for ArcGIS-szel készült. Az alkalmazás funkció:

Search (Keresés): a funkció használatához kattintsunk a kereső sávba, válasszuk ki a keresési réteget, majd enter billentyű megnyomásával vagy a nagyító ikonra kattintva megkapjuk a keresésünk eredményét.

Query (Lekérdezés): a funkció ikonjára való kattintás után, három előre definiált lekérdezés közül választhat a felhasználó:

(1) Moonquake events by nest number (Holdrengések fészeksám alapján: a felhasználó egy fészekben történt eseményeket kérdezheti le, választható paraméter a fészkek száma pl.: 214)

(2) Moonquake events by time (Holdrengések idő alapján: a felhasználó egy időszávot tud megadni, amik között történt eseményeket tudja listázni pl.: 77–78 évek közötti, vagy 200–205 napok közötti rezgések)

(3) Moonquake events by type (Holdrengések típusuk szerint: a lekérdezésnél a felhasználó az érzékelt adat típusára tud szűrni, pl.: meteorit-becsapódások, vagy sekély rengések. Ez az adatlekérés csak a táblázatos katalóguson fut le, geometriai adat nem tartozik az eredményekhez)

Chart (Diagram): a funkció ikonjára kattintva két előre elkészített diagram közül lehet választani: a holdrengések száma fészkek alapján (moonquake events number by nest) és holdrengések epicentrumának mélységei, fészkek alapján (moonquake events depth by nest). Mindkét diagram a holdrengés fészkek réteget használja. A kiválasztott diagramra kattintva, a következő párbeszédpanel a diagramok alapadatának mennyiségére kérdez rá. Ezt többféleképp adható meg: vagy az összes, rétegen lévő adat felhasználásra kerül, vagy területi lehatárolást (use spatial filter to limit features) adható meg. Ha a felhasználó a

területi lehatárolást választja, újabb lehetőségek közül választhat: vagy a képernyőn látható adatokat használja, vagy manuálisan körbekerítheti/ metszheti azokat. Az apply gomb megnyomásával az exportálható diagram elkészül.

Select (Kijelölés): a kijelölés használatához a funkció ikonra kattintva, a bal egérgombbal téglalapot formázva képes a felhasználó kijelölni. A kijelölés a bepipált rétegeken valósul meg. Ha szükséges, a clear gombbal a kijelölés megszüntethető. A kijelölés után a felhasználó a kijelölt elemekkel az alábbi műveleteket hajthatja végre (a réteg mellett található „...” jelzésre kattintva): ránagyíthat, odamozoghat, felvillanthatja azokat, exportálhatja különböző formátumokba (CSV, FC, JSON); statisztikát kérhet a kijelölt elemekről, megtekintheti az attribútum táblát, külön réteget hozhat létre a kijelölésekből.

Attribute table (Attribútum tábla): alapértelmezetten a Moonquake nest (Mélyfészkes holdrengés adatok) réteg attribútumai jelennek meg. A mezők rétegtől függetlenül rendezhetőek, eltüntethetőek, illetve szűrhetőek is.

Measurement (Mérés): a felhasználó először a kívánt mérési típust választja ki, majd a mérés mértékegységét, ezután körbekeríthetjük, vagy lemérhetjük az adott elemet.

Filter (Szűrés): alapértelmezetten két rétegre futtatható le. Az egyik lehetőség a mélyfészkes földrengések fészkeszámainak szűrése (pl.: 35–38-as számú fészkek szűrése), a másik fészkekben belül történt rengések számának szűrése (pl.: azon fészkek, ahol 2000-nél több rengés történt). A szűrés a fogaskerék ikon melletti pipával törölhető.

Layer list (Réteg lista): az ikonra kattintva a pipákat használva kapcsolhatóak ki-be a rétegek. Az egyes rétegekhez tartozó pluszszolgáltatások: zoomolás rétegre, áttetszőség állítása, felugró ablakok tiltása/engedélyezése, réteg sorrend változtatása, tulajdonságok.

Legend (Jelmagyarázat): a funkcióval megjeleníthetjük a rétegekhez tartozó jelmagyarázatot.

Print (Nyomtatás): az ikonra kattintás után a térkép címe, mérete és a nyomtatás formátuma adható meg. A haladó beállítások között olyan paraméterek szerepelnek, mint a felhasználó nevének megadása, a nyomtatás mérete és minősége, illetve a feliratok meghagyása.

Summary (Összegzés): a funkció a Moonquake events (mélyfészkes holdrengés adatok) rétegen a Nest number (fészkek szám) mező alapján összegzi a jelenségek átlagos mélységét, minimum és maximum évét. Az összegzések dinamikusan változ-

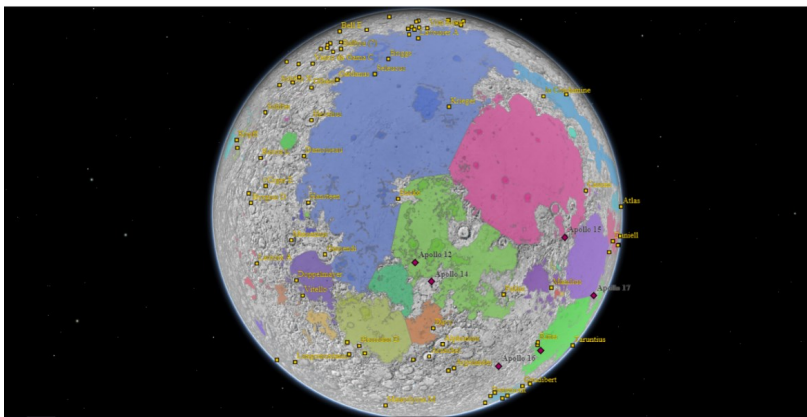
nak, attól függően, hogy a felhasználó hogyan mozog a térkép tartalmán.

About (Információ): Az információ gomb alatt az alkalmazás verziószáma, készítője és forrásai találhatóak meg.

3D Scene alkalmazás

A 3D-s holdtérkép az alsó menüsor 3D-s ikonjára kattintva indítható el. Az alábbi rétegek tekinthetők meg gömbfelületen ábrázolva; Moon craters (Holdkráterek); Lunar mares (Holdtengerek); Apollo landing sites (Apollo leszállási helyek); Moonquake nests (Holdrengés fészkek)

Moonquake nests



Irodalomjegyzék:

- [1] Lázár L. (2016): A Hold szeizmikus aktivitásának bemutatása és elemzése térinformatikai módszerekkel, szakdolgozat, Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet, pp. 50
- [2] NASA Headquarters. Apollo Lunar Surface Journal – ALSEP Apollo Lunar Surface Experiments Package. [Online] <http://www.hq.nasa.gov/alsj/HamishALSEP.html>
- [3] Kiszely M. (2016): Holdrengések. *Élet és Tudomány*, 71(40), 1254
- [4] Nakamura Y., Latham G.V., Dorman H.J. (1982): Apollo lunar seismic experiment – final summary. *Proceedings of the Lunar and Planetary Science Conference*, 87, A117
- [5] ArcGIS. Mapping without Limits. [Online] <http://www.arcgis.com/features/index.html>