HGR.01: Holdrengések Geoinformatikai Rendszere

Lázár Lajos[1,2], Kiszely Márta[3], Földváry Lóránt[2,3]
[1]Budapest Közút Zrt.
[2]Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, Székesfehérvár
[3]MTA 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 eredményéül kapott geoinformatikai rendszert részletesebben az [1] tanulmány mutatja be.

Bevezetés

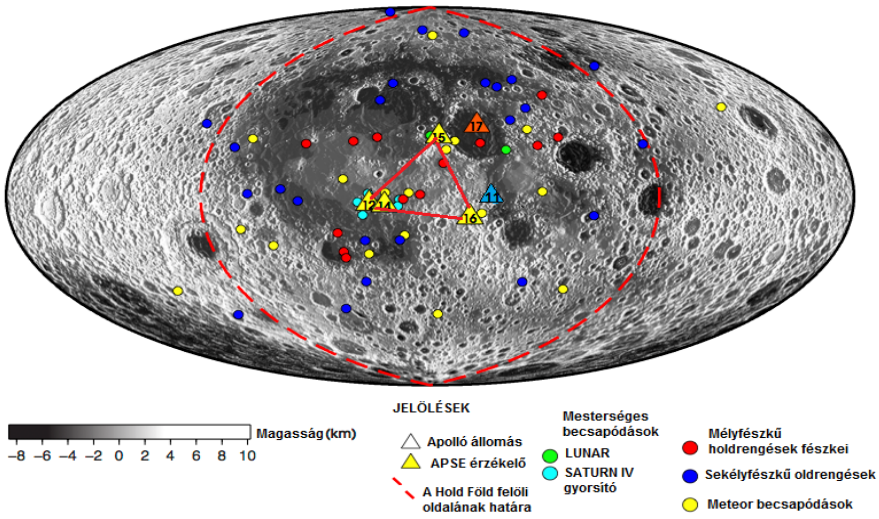
A holdrengések egészen az ember Holdra történő leszállásig nem voltak ismertek. Az Apollo asztronautái számoltak be először a jelenségről. A küldetések során úgynevezett ALSEP egységeket helyeztek el a Hold felszínén (*Apollo Lunar Surface Experimental Package* = Apollo holdi felszínvizsgáló műszercsomag). 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 holdrengések 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 másmás 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 érzékeltek. 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 darabból álló műszercsoportot, hármat egymástól 90 méterre, egyenlő szárú háromszögek csúcsaiban 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 hajtotta 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 fejleszett webes alkalmazás alapjául ezen oldalon fellelhető adatokat használtuk fel.

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

(1) Mélyfészkű 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 fészekben jöttek létre.

(2) Sekélyfészkű holdrengések: nagyon ritka, ámde annál erősebb rengések. Nincsenek összefüggésben az árapállyal, ezért sejthető, 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 információveszteségek 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 megfeleltetett mélyfészkű holdrengési osztály	

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

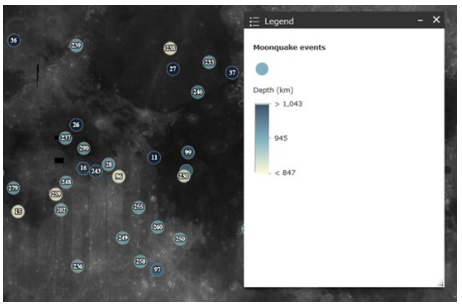
A HGR.01 webtérkép

A fejlesztett térinformatikai rendszer az alábbi linken elérhető:

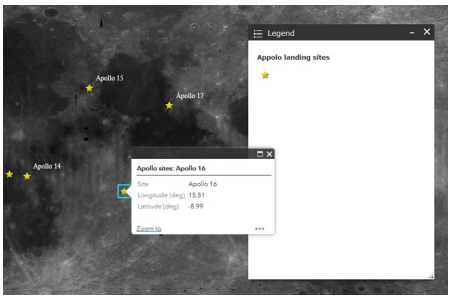
http://arcg.is/2hnp5F5

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

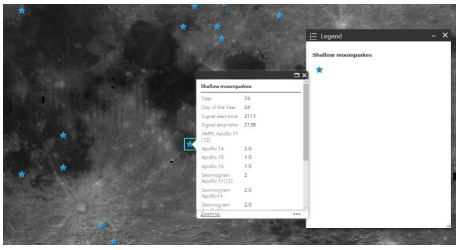
Moonquake events (mélyfészkű holdrengés-adatok): Ezen a rétegen a Nakamura-féle holdrengés katalógusból kinyert és egyértelműen azonosított mélyfészkű holdrengések találhatók az epicentrumban ábrázolva, feliratozva a fészek számával és tematizálva, az epicentrum mélysége alapján.



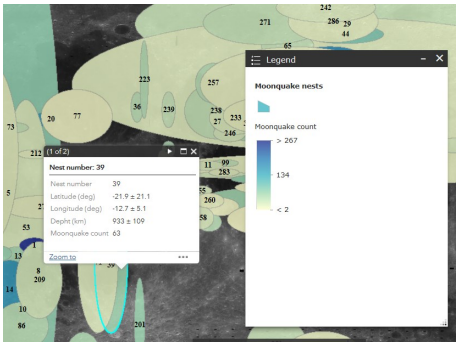
Apollo landing sites (Apollo leszállási helyek): A rétegen megtalálhatóak az Apollo program által kijelölt leszállási helyek, feliratozva a program számával.

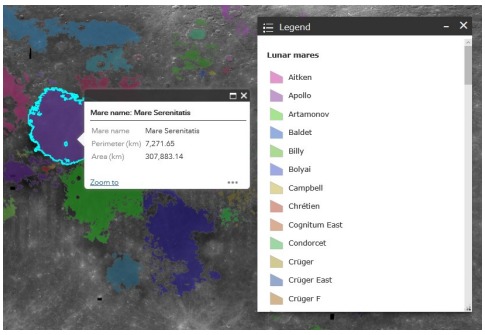


Shallow moonquakes (sekély fészkű holdrengés adatok): a holdrengések közül a sekély fészkű rengések hasonlítanak legjobban a földrengésekhez. Ezek a legritkább rengések, évente maximum négy-öt került rögzítésre az Apollo programok során. 100 km-nél nem mélyebben keletkeznek.

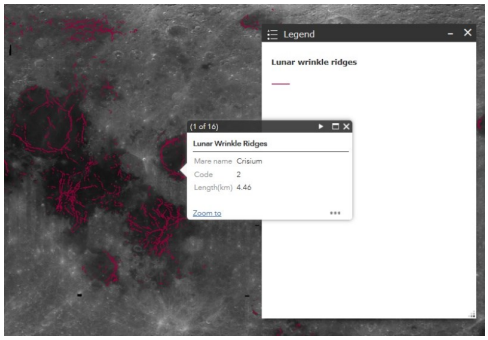


Moonquake nests (holdrengés fészkek): Ezen a rétegen a mélyfészkű holdrengésfészkek találhatók. Az ellipszisek középpontja a források feltételezhető középpontja, a kis- és nagytengelyek pedig meghatározásukkor előállt hosszúsági és szélességi bizonytalanságok. A rétegen feliratozva vannak a fészekszámukkal,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

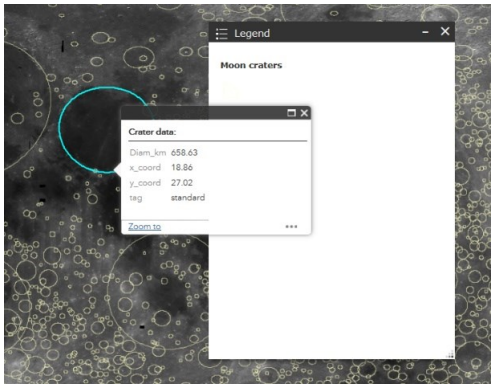




Lunar mares (holdtengerek): A Hold felszínét borító nagy sötét foltokat – melyek valójában megszilárdult lávasíkságok – holdtengereknek nevezik. Nevüket a korai csillagászok adták, akik azt hitték, tengereket látnak. A rétegen megtalálhatóak a holdtengerek fontosabb adatai (nevük, kerületük és területük).

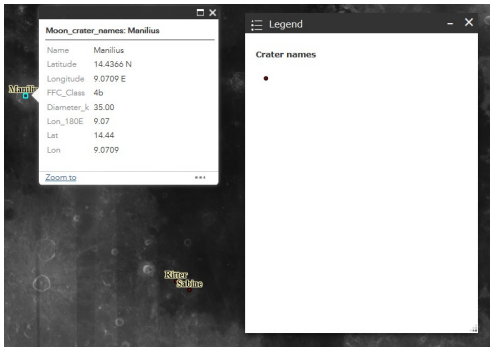


Lunar wrinkle ridges (holdi vetődések): Jellemzően a holdtengerek közelében található képződmények, szorosan kötődnek a Sinus-rianásokhoz. Tektonikus eredetűek, akkor jöttek létre, amikor a bazaltos láva kihűlt és megszilárdult. Gyakran hívják őket a Hold ereinek, mert mint ahogy a bőr alatti erek dudorodnak ki és hálózzák be az emberi testet, úgy ezek a felszín alatt hálózzák be a Holdat. Hosszuk, nevük és tengerhez köthető nevük található meg a rétegen.

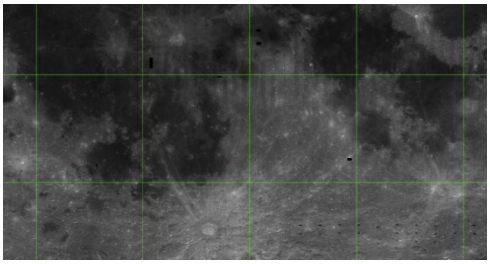


Moon craters (holdkráterek): A Hold krátereinek megfigyelése és felfedezése egészen 1609. november 30-ig nyúlik vissza, amikor Galilei először tekintett a Holdra saját készítésű távcsövével. Ekkor fedezte fel, hogy a Hold alakja nem tökéletes gömb, felszínét hegységek és edényszerű mélyedések borítják. A képződményeket krátereknek nevezzük, a görög krater (Κρατήρ = edény, melyben bort és vizet kevertek) szó után. A kráterek eredetén a tudományos világ egészen az Apollo programig vitatkozott, mikor végül a kézzel fogható bizonyítékok mindenkit meggyőztek, hogy a kráte-

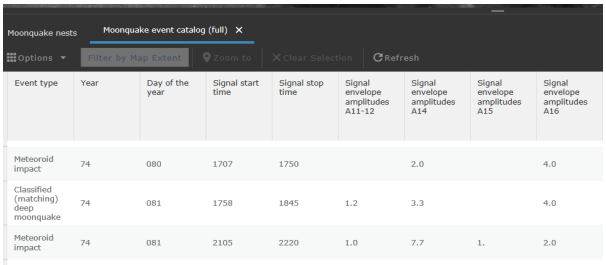
rek nagy része meteorit-becsapódások következménye. A kráterek teljes számbavételére 1978-ig várni kellett, amikor Chuck Wood és Leif Andersson kidolgozott egy a kráterek kategorizálására szolgáló rendszert. A megjelenített rétegen a kráterek legtöbb elérhető adata megtalálható: átmérőjük, középponti 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 férfineveket kapnak (Robert, Jose, stb), a nagyobb kiterjedésűek a hozzájuk kapcsolódó eseményekét pl.: Apollo program színterei. 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.



Moonqake 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.

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 fészekszám 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 idősávot 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 (Mélyfészkű holdrengésadatok) 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 mélyfészkű földrengések fészekszámainak szűrése (pl.: 35–38-as számú fészkek szűrése), a másik fészkeken 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.

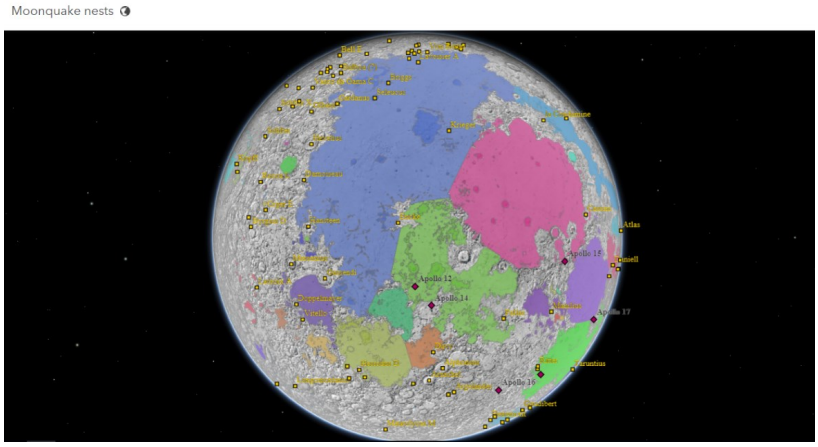
Summary (Összegzés): a funkció a Moonquake events (mélyfészkű holdrengésadatok) rétegen a Nest number (fészek szám) mező alapján összegzi a jelenségek átlagos mélységét, minimum és maximum évét. Az összegzések dinamikusan változ-

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 tekinthetőek meg gömbfelületen ábrázolva; Moon craters (Holdkráterek); Lunar mares (Hold-tengerek); Apollo landing sites (Apollo leszállási helyek); Moonquake nests (Holdrengés fészkek)



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