

Apollo Hold-expedíciók 1969–1972^{*}

Az Apollo program történetét 13 cikkben ismertettük az AeroMagazin hasábjain 1999 júliusa és 2004 májusa között. Befejezésül összefoglaljuk a program legfontosabb aspektusait és eredményeit. Nagyon fontos szem előtt tartani, hogy az emberiség tudománytörténetének ez a kivételes fejezete a politikai világrendszerek versengésének eredménye volt.

Az Apollo programot, amelynek célja a Hold meghódítása volt, 1961. május 25-én jelentette be *John F. Kennedy* amerikai elnök.

Politika

Ez a **Hold-expedíciós program** kétségkívül politikai megfontolásból született: az Egyesült Államok elsőként akart embereket juttatni a Holdra, és ezáltal felülmúlni a korábbi látványos szovjet űrsikereket. A terv szinte vakmerően merész volt, hiszen ne feledjük, hogy az amerikaiak ekkor még csak *Alan Shepard* „űrgrásán” voltak túl. A bejelentés rendkívüli hatást tett: a NASA dolgozói később elmondták, hogy munkába menet önfeledten bámulták a Holdat. Hatalmas szervezőmunka indult meg, a munkálatokban 25 000 vállalat és kutatóintézet vett részt, egy időben 400 000 ember dolgozott a programon. Az anyagi fedezetet a törvényhozás és a költségvetés a hidegháborús helyzet miatt szinte korlátlanul biztosította: a program összköltsége akkori árfolyamon kb. **25 milliárd dollár** volt! A kitűzött cél eléréséig azonban békeidőben addig példátlan szisztematikus tervezésre, óriási szervezőmunkára és rendkívüli precizitású kivitelezésre volt szükség – és ennek véghezvitele a Kennedy elnök által kitűzött határidőig, azaz 1970-ig, az Apollo program egyik legnagyobb eredménye. A feladat nagyságára és bonyolultságára jellemző példa, hogy csak az Apollo parancsnoki kabin több mint 2 millió alkatrészből állt! 1968–69-ben az amerikaiak megnyerték a Hold meghódításáért folytatott versenyt a Szovjetunió titkos holdprogramjával szemben. Ezután következett az Apollo program tudományos része, de az amerikai közvélemény érdeklődése és ennek következtében a politikusok támogatása gyorsan csappanni kezdett. A demokrata Kennedy és Johnson után a republikánus Nixon került hatalomra, akinek nem volt szívügye a Hold-program. Már 1969-ben, az első sikeres Holdra szállás évében bejelentették, hogy a program az *Apollo–20* után nem fog folytatódni. Később még további 3 repülést töröltek, így az *Apollo–17* volt az utolsó expedíció 1972-ben.

Technika

A Hold eléréséhez szükséges **Saturn** (Szaturnusz) elnevezésű hordozórakéta-család fejlesztését már 1958-ban megkezdte a Peenemündéből átmenekített német rakétakonstruktőr csoport, *Wernher von Braun* vezetésével a huntsville-i *Marshall Űrközpont*ban. Az előkísérletek és próbarepülések után két fő típust alakítottak ki. A kisebb, kétfokozatú rakéta a *Saturn-IB* jelzést kapta. 16 t-nyi hasznos terhet lehetett vele alacsony Föld körüli pályára juttatni. Ebből a típusból 18 db készült el. A nagyobb változat a *Saturn-V* jelzésű, háromfokozatú, 110 m magas óriásrakéta volt, ezt használták a holdutazásokhoz. Föld körüli pályára 135 t, a Hold irányába 48 t hasznos terhet lehetett vele indítani. Ebből a típusból 15 db-ot építettek.

^{*} Dr. Mészáros Istvánnak ez a cikke, számos képpel illusztrálva, eredetileg az *Aeromagazin* 2004. júliusi számában jelent meg.

Az *Apollo űrhajórendszer* össztömege kb. 45 tonna volt. A háromszemélyes *parancsnoki egység (CM)* a Földre való visszatérésig össze volt kapcsolva a *műszaki egységgel (SM)* – ez volt az *anyaűrhajó* (más néven *Apollo CSM*). A kétszemélyes *holdkomp (LM)* *leszálló fokozata (DS)* a talajt érést biztosította, felszálláskor indítóállványként szolgált, míg a *felszálló fokozat (AS)* hermetizált kabinjában tartózkodott a leszállást végző két űrhajós, akik – a holdfelszíni munka befejeztével – ezzel az egységgel tértek vissza az anyaűrhajóban a Hold körül keringő harmadik társukhoz.

1. táblázat Az Apollo űrhajórendszer főbb adatai

Egység	Tömeg (t)	Magasság (m)	Átmérő (m)	Légtér (m ³)
CM	5,94	3,2	3,9	5,94
SM	24,53	7,4	3,9	-
LM	15,06-16,44	6,98	9,5	4,5

A végleges menetrend kialakításhoz választani kellett a Holdra történő leszállás három lehetősége közül. Ezek egyike a direkt leszállás volt, ehhez azonban akkora rakétát kellett volna építeni, amihez képest még a Saturn-V is eltörpült volna. A következő lehetőség a Holdra induló űrszerelvénnyel összeállítás a Föld körüli pályán, ez azonban legalább két Saturn rakéta startját igényelte volna. A harmadik lehetőség, amelyet *John Houbolt* vetett föl, eleinte szinte örültségnek tűnt: randevú Hold körüli pályán (*Lunar Orbit Rendezvous, LOR*). Ennek hátránya és veszélye az volt, hogy az összes fontos manővert a Hold körzetében kellett végrehajtani. De igen fontos előnyei is voltak: egyrészt az Apollo űrhajórendszer elemeivel meg lehetett valósítani a Hold-expedíciót, másrészt csak egyetlen Saturn-V rakéta indítására volt hozzá szükség. A NASA végül 1962. július 11-én jelentette be, hogy a LOR módszert választották.

Sajnos 1967. január 27-én az indítópadon álló Apollo űrhajóban tűz ütött ki, és az első személyzet (*Gus Grissom, Edward White és Roger Chaffee*) életét veszítette. A balesetet követő vizsgálat eredményeképpen számos javítást és átalakítást hajtottak végre. Közben *Owen Maynard* vezetésével kidolgozták az Apollo program repüléseinek lépcsőzetes tervét. Először az űrszerelvénnyel egyes elemeit próbálták ki, űrhajósok részvétele nélkül. A következő szakaszban – amely elsősorban technikai jellegű volt – eljutottak az első Hold-leszállásig. A befejező fázisban a tudományos kutatásé volt a főszerep. Az űrhajórendszer továbbfejlesztésével az amerikai űrkutatók a program utolsó 3 repülésén (a J típusú expedíciókon) hatalmas minőségi változást értek el. A *holdautó (LRV)* és az *anyaűrhajó tudományos kutatóegysége (SIM)* segítségével maximálisan kihasználták a rendszer lehetőségeit.

Tudomány

Az Apollo program során hatalmas mennyiségű tudományos anyagot gyűjtöttek a Holdról. Ennek feldolgozása az egyes űrrepülések után azonnal megkezdődött és még jelenleg is tart! Az eredmények igen sok tudományágra kiterjednek, így részletezésük szinte lehetetlen. Az egyes expedíciók legfontosabb eredményeit a róluk szóló cikkek végén ismertettük. Az amerikai űrkutatók az *Apollo program 10 legfontosabb tudományos eredményének* a következőket tartják:

1. A Hold nem primordiális égitest, hanem fejlett, Föld típusú bolygó, a Földéhez hasonló belső zónákkal. A Hold kőzetekből épül fel, amelyek változó mértékben olvadtak meg; vulkánkitörések és meteorit-beesések alakították. A Holdat vastag kéreg (60 km), litoszféra (60–1000 km) és részben olvadt asztenoszféra (1000–1740 km) alkotja,

valószínűleg kis vasmagot is tartalmaz. Egyes kőzetek ősi mágnesesség nyomait mutatják, bár a Holdnak saját mágneses tere ma már nincs.

2. táblázat Az Apollo űrrepülések típusai

<i>Típus</i>	<i>Célkitűzések, feladatok: eszközök</i>	<i>Repülés</i>
A	Anyaurhajó – ember nélküli – műszaki próbája: CSM + Saturn-V	Apollo–4, –6
B	Holdurhajó – ember nélküli – műszaki próbája: LM + Saturn-IB	Apollo–5
C	Alacsony földi pályán anyaurhajó próbája: CSM + Saturn-IB	Apollo–7
C'	Első Hold körüli pálya, anyaurhajó próbája: CSM + Saturn-V	Apollo–8
D	Föld körüli pályán holdurhajó próbája: CSM + LM + Saturn-V	Apollo–9
E	Magas Föld körüli pályán: CSM + LM + Saturn-V	Ø
F	Holdurhajó próbája Hold körüli pályán: CSM + LM + Saturn-V	Apollo–10
G	Első leszállás a Holdra, 1 EVA, EASEP	Apollo–11
H	Hold-expedíció, 2 gyalogos EVA, ALSEP	Apollo–12, (– 13), –14
I	Hold körüli tudományos repülés	Ø
J	Hold-expedíció, 3 EVA, holdautó, ALSEP, SIM	Apollo–15, –16, –17

2. A Hold ősi égitest, ma is őrzi az első 1 milliárd év történéseit, amelyek az összes Föld típusú bolygón hasonlóak lehetnek. A becsapódásos kráterek korát a visszahozott kőzetminták elemzésével állapították meg. Ez kulcsot jelent a Merkúr, a Vénusz és a Mars geológiai fejlődésének megértéséhez is.

3. A legfiatalabb holdkőzetek azonos korúak a legrégebb földi kőzetekkel. A korai történések nyomai ma már csak a Holdon tanulmányozhatók. A holdkőzetek kora 4,6 milliárd évtől (terra) 3,2 milliárd évig (mare) terjed. A Földön a lemeztektonika és az erózió már eltüntette az ősi kőzeteket.

4. A Hold és a Föld közös eredetű, de a közös ősi anyaghalmaz elemeit különböző arányban tartalmazzák. A holdi és a földi kőzetek hasonló oxigénizotóp-összetétele világosan mutatja a közös eredetet. A Hold azonban sokkal szegényebb vasban és illékony elemekben, mint a Föld.

5. A Hold élettelen égitest. Nem tartalmaz élő organizmusokat, kővületeket, szerves vegyületeket. Az igen alapos vizsgálatok nem találták az élet semmilyen nyomát. (De a Surveyor–3 Földre visszahozott tévékamerájának hőszigetelő habgumijában *Streptococcus mitis* baktériumokat találtak, amelyek túléltek a szonda felbocsátása előtti hősterilizálást és a Holdon eltöltött 31 hónapot!)

6. A holdkőzetek magas hőmérsékletű folyamatokban keletkeztek, amelyekben víz jelenléte nem, vagy alig volt kimutatható. A Hold kőzetei 3 fő típusra oszthatók: anortozitok, bazaltok, breccsák. Az anortozitok világos színű kőzetek, melyek a felföldek anyagát alkotják. A bazaltok a medencéket kitöltő sötét láva kőzetek. A breccsák keverék kőzetek, melyek az összes többiből keletkeztek töredezés, keveredés, a meteoritok okozta becsapódások során.

7. Korai korszakában a Holdat egy megolvadt „magmaóceán” borította. A holdbéli felföldeket a magmaóceán felszínére emelkedett kis sűrűségű kőzetek alkotják. A holdbéli felföldek 4,6–4,2 milliárd évvel ezelőtt a magmaóceán tetejére emelkedő, földpátokban

gazdag kéregből alakultak ki. A számtalan becsapódás miatt az ősi kéreg ma már csak főleg a medencéket övező ívelt hegyláncokban található meg.

8. *A későbbiekben hatalmas aszteroidák (kisbolygók) becsapódása alakította ki a medencéket, melyeket aztán lávafolyások töltöttek ki.* A hatalmas becsapódásos medencéket (mint pl. a Mare Imbrium) főleg vízszintesen terjedő lávafolyamok töltötték ki, kb. 3,9–3,2 milliárd évvel ezelőtt.

9. *A Hold kissé aszimmetrikus, mivel a Föld gravitációs hatása alatt alakult ki. A Hold túlsó oldalán vastagabb a kéreg, a medencék többsége az innenső oldalon van.* A Hold tömegeloszlása egyenetlen. Nagy tömeg-koncentrációk (*masconok*) észlelhetők a medencék alatt, föltehetően a sűrű, nehéz lávarétegek miatt.

10. *A Hold felszínét közettörmelékből és porból álló réteg: a regolit takarja, amely a Nap sugárzási tevékenységének történetét is őrzi, így jobban megérthetjük a földi klímaváltozásokat is.* A néhány méter vastag regolitréteget a számtalan meteorit-becsapódás alakította ki. A napszélből származó elemek és izotópok megtalálhatók a felszíni szikláknak és porszemcsékben, így a Hold felszíne egyedülálló módon őrzi a Nap 4,6 milliárd éves történetét.

Ez a 10 pontos összefoglaló azért is nagyon hasznos, mert bemutatja a Hold fejlődéstörténetét és legfontosabb jellemzőit.

Epilógus

Az Apollo program az emberiség tudománytörténetének legragyogóbb fejezete, hiszen a Hold volt az első „idegen” égitest, amelyet meghódítottunk. Szinte hihetetlen, hogy az űrhajózás hőskorában ilyen, csaknem hibátlan teljesítményre volt képes az Apollo programban résztvevő több százezer ember, akiknek jelképe *Deke Slayton*, az amerikaiak vezető űrhajója lehet, aki a program legfontosabb eleméért, az emberekért volt felelős. A híresen szűkszavú *Gus Grissom* egyszer beszédet mondott a programon dolgozó munkásoknak. A „beszéd” így szólt: *Végezzetek jó munkát!* Nos, jó munkát végeztek.

Dr. Mészáros István

Az első holdi geológus, Dr. Harrison Schmitt a holdautón (Apollo–17). (Kép: NASA)



3. táblázat A holdkompok adatai

<i>LM</i>	<i>Apollo</i>	<i>Hívójel</i>	<i>CDR, LMP</i>
01	Apollo-5	o	o
02	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
03	Apollo-9	Spider	McDivitt, Schweickart
04	Apollo-10	Snoopy	Stafford, Cernan
05	Apollo-11	Eagle	Armstrong, Aldrin
06	Apollo-12	Intrepid	Conrad, Bean
07	Apollo-13	Aquarius	Lovell, Haise
08	Apollo-14	Antares	Shepard, Mitchell
09	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
10	Apollo-15	Falcon	Scott, Irwin
11	Apollo-16	Orion	Young, Duke
12	Apollo-17	Challenger	Cernan, Schmitt
13	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
14	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
15	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>

<i>LM</i>	<i>Leszállóhely (DS)</i>	<i>AS becsapódás</i>
01	próbarepülés	földi légkör
02	<i>National Air and Space Museum, Washington</i>	
03	próbarepülés	földi légkör
04	ismeretlen	heliocentrikus pálya
05	0°41' É, 23°25' K: Mare Tranquill.	ismeretlen
06	03°11' D, 23°23' Ny: Oc. Procell.	03°56' D, 21°12' Ny
07	baleset miatt a leszállást törölték	földi légkör
08	03°40'D, 17°27'Ny: Fra Mauro-krát	03°56' D, 19°40' Ny
09	<i>Kennedy Space Center, Florida</i>	
10	26°06' É, 03°39' K: Hadley-árok	26°22' É, 0°15' K
11	08°59' D, 15°30' K: Descartes-krát.	ismeretlen
12	20°09' É, 30°45' K: Littrow-kráter	19°58' É, 30°30' K
13	<i>Cradle of Aviation Museum, Long Island</i>	
14	<i>Franklin Institute, Philadelphia</i>	
15	<i>szétszerelték</i>	

A táblázatban megadott koordináták a Holdra vonatkoznak.

Az Apollo-11 leszállóhelyének koordinátáit M. Grolier geológiai térképe (1970) szerint adtuk meg.