



**Budapesti Műszaki, és Gazdaságtudományi Egyetem**  
**Vasúti járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék**

**Az Apollo program**

**Hadas Ádám**  
**Járműmérnöki MSc szak**  
**Vasúti járműmérnök szakirány**

**Konzulens:**  
**dr. Beneda Károly**  
**Egyetemi adjunktus**

## Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	1
2.	Út az Apollo programig.....	2
2.1	Embent az űrbe: Mercury – program .....	2
2.2	Kísérletezés az űrben: Gemini – program .....	4
3.	Napisten szekere a Holdra megy: Apollo – program .....	6
3.1	Gépek a Holdon .....	7
3.1.1	Saturn V-ös rakéta.....	7
3.1.2	Apollo parancsnoki és műszaki egysége (CSM).....	15
3.1.3	Holdkomp (LEM).....	19
3.1.4	Holdautó (Rover).....	20
3.2	Az Apolló program részletei.....	21
3.2.1	Út a Holdhoz és vissza .....	23
3.2.2	Készülés a küldetésekre .....	26
3.2.3	Tűz a kabinban (Apolló-1) .....	26
3.2.4	Első emberek a Holdnál (Apolló-8) .....	28
3.2.5	Kennedy álma teljesül (Apolló-11) .....	29
3.2.6	„Failure is not an option” (Apolló-13) .....	29
3.2.7	Utolsó ember a Holdon (Apolló-17) .....	32
3.3	Az Apollo program utóélete .....	33
3.3.1	Apollo – Szojuz tesztrepülés .....	33
3.3.2	A Skylab program .....	34
4.	Összefoglalás.....	36
5.	Irodalomjegyzék.....	37

## 1. BEVEZETÉS

A 2. világháború lezárását követően a két szuperhatalom egy láthatatlan, a technikai eszközök háborújába kezdett, ami nem volt más, mint a hidegháború. Ennek a háborúnak az egyik „frontja” volt az űrért folytatott csata.

1957-ben mindenki egy „bip-bip” hangot figyelt a rádión keresztül. Ez a hang a Szputnyik-1 nevű műholdtól érkezett. Ezzel a nappal egy új korszak kezdődött, mégpedig az űrkorszak, valamint a szovjetek megnyerték a világűr meghódításáért folytatott versenyt. 1959-ben további elsőségeket orosztak el az amerikaiak elől, mint az első ember az űrben, első nő a világűrben, első több személyes űrhajó indítása. Természetesen az amerikaiak is megtették ezeket a lépéseket (kivéve a női űrhajóst). Így először a Mercury programot indították el, melynek célja volt, hogy embert juttassanak a világűrbe, majd a Gemini küldetésekkel kövezték ki az utat a Holdig, melyet az Apollo programmal vittek véghez és 1972-ben le is zártak.

Talán ez az első 20 év volt a legizgalmasabb időszaka az űrkutatásnak, mellyel megalapozták a jelenünket. A dolgozatban ennek az időnek a történetét kívánom bemutatni, az amerikaiak szemszögéből. Valamint, hogy milyen utat bejárva sikerült eljutnia a NASA-nak a Holdra továbbá a közel jövőben milyen lehetőségek és törekvések vannak, hogy ismét ember léphessen a Holdra és tovább lépve a Marsra.

## 2. ÚT AZ APOLLO PROGRAMIG

Jelen nagy fejezetben rövid összefoglalót kívánnak nyújtani, hogy milyen kihívások előtt álltak a NASA szakemberei, és ezeket végül hogyan oldották meg.

### 2.1 Embert az űrbe: Mercury – program

„Original seven” [1]. Így hívták azt a hét űrhajóst, akik az 1. ábrán láthatók. Őket választotta ki arra a feladatra, hogy hódítsák meg a világegyetert. Walter 'Wally' Schirra, Donald 'Deke' Slayton, John Glenn, Scott Carpenter, Alan Shepard, Virgil 'Gus' Grissom és Gordon Cooper.



1. ábra: Eredeti hetek [13]

Mind a heten berepülő pilóták voltak a Légierőnél vagy a Haditengerészetnél. A NASA úgy gondolta, hogy a különböző tervezési feladatokat – mellyel működőképes űrhajót képesek építeni – az űrhajósaira bízta. Az első emberes űrrepülésre 1961. május 5-én került sor, ekkor Shepard egy 15 perces űrgrást hajtott végre. Ennek volt az oka, hogy az addig fejlesztett interkontinentális ballisztikus rakétáknak (Redstone) nem volt akkora teljesítménye, hogy az atomtöltetekhez képest nehéz Mercury kapszulát Földkörüli pályára állítsa. Az Atlas rakéták kifejlesztésével már rendelkezésre állt olyan tolóerejű hordozó eszköz, ami képes volt megbirkózni a feladattal és elsőként 1962. február 20-án John Glennt képes volt orbitális

pályára állítani. Őt még további négy küldetés (1. táblázat) követte, melynek során megbizonyosodhattak, hogy az ember képes életben maradni a súlytalanságban.

Az űrhajó (2. ábra) és a program nem tette lehetővé a komolyabb manővereket az űrben, valamint a Holdhoz több embert kellett juttatni, így a sikeres Holdraszállás érdekében életre hívták a Gemini programot.



*2. ábra: Mercury űrkapszula*

Itt meg kell emlékezni két betegség miatt repülés képtelen űrhajósról, név szerint Donald Slaytonról és Alan Shepardról. Slaytonnál egy centrifuga kísérlet során szívrendellenességet diagnosztizáltak, ezáltal kikerült a repülőképes személyzetből, és a többiek őt választották főnöküknek, így aztán a Gemini és Apollo küldetések során az ő feladata volt kijelölni a legénységet. Shepardnál pedig egy fülbetegség miatt elvesztette a koordinációs képességeit, így az első repülése után ő is személyzeti ügyekkel foglalkozott. Mindketten szerencsésen felépültek a betegségükből és az Apollo programban repülhettek.

<b>Küldetés</b>	<b>Start ideje</b>	<b>Parancsnok</b>	<b>Űrhajó neve</b>
<b>I</b>	1961. május 5.	Alan Shepard	Freedom-7
<b>II</b>	1961. július 21.	Gus Grissom	Liberty Bell-7
<b>III</b>	1962. február 20.	John Glenn	Friendship-7
<b>IV</b>	1962. május 24.	Scott Carpenter	Aurora-7
<b>V</b>	1962. október 3.	Wally Scirra	Sigma-7
<b>VI</b>	1963. május 15.	Gordon Cooper	Faith-7

*1. táblázat: Mercury küldetések*

## 2.2 Kísérletezés az űrben: Gemini – program

A küldetések célja az volt, hogy minden olyan manővert és feladatot begyakoroljanak az űrhajósok, amik egy Holdutazás során előfordulhat. A Gemini [1] űrhajókat Titan hordozórakéták segítségével álltak orbitális pályára. Ennél a rendszernél vált fontossá, hogy az űrhajót külön parancsnoki és külön műszaki egységgé válasszák szét, így visszatérés során csak a könnyebb parancsnoki modul tért vissza. Az első emberes küldetésre 1965-ben került sor, melyet még 11 követett. A program keretében sor került az első amerikai űrsétára (Ed White) és sikeresen dokkoltak az Agena céltárggyal [3]. Ez nem volt más, mint egy távirányítású rakétafokozat, ami dokkoló szerkezettel volt ellátva, és képes volt a Gemini űrhajó azt vezérelni. Ennek segítségével ki tudták próbálni a nagy sebességű visszatérést. A Gemini-6 és Gemini-7 volt az első olyan űrhajó páros, ami Föld körüli pályán sikeres űrrandevút hajtott végre, ez látható a 2. ábrán.



*3. ábra: Gemini VI-A és VII [14]*

Edwin Aldrin segítségével olyan kapaszkodókat és lábtartókat szereltek fel a jármű külsejére, ami segítségével az utolsó küldetésen könnyűszerrel elvégezhette a feladatait. Korábban a hasonló műveletek végrehajtása során az asztronauták annyira túlterhelték a szervezetüket, hogy idő előtt be kellett fejezni a járművön kívüli tevékenységüket.

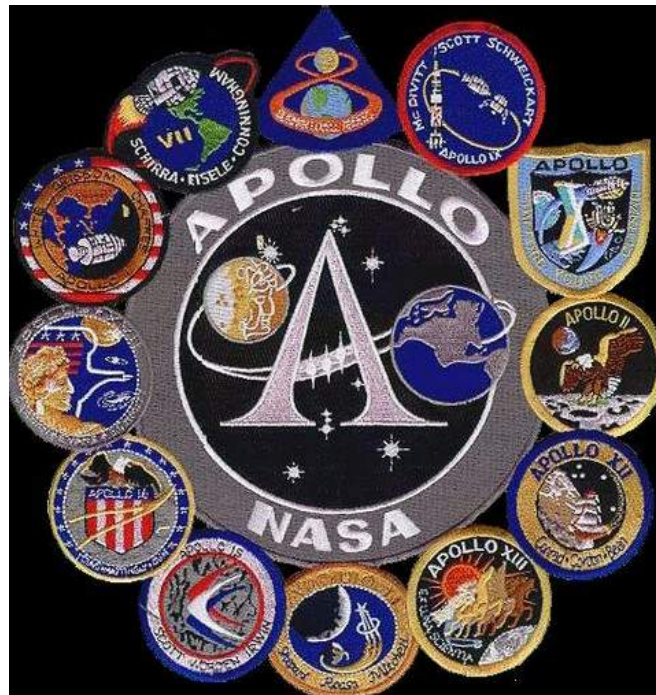
A program bebizonyította, hogy képes az ember a hosszú időtartamú űrutazásokat túlélni és az űr viszontagságos körülményeiben elvégezni a feladataikat (2. táblázat). Ezek után nem állt semmilyen akadály annak érdekében, hogy elindulhasson az Apollo program, és ember lépjen a Hold felszínére.

<b>Küldetés</b>	<b>Start ideje</b>	<b>Időtartam</b>	<b>Parancsnok</b>	<b>Pilóta</b>
<b>III</b>	1965. március 23.	1 nap	Gus Grissom	John Young
<b>IV</b>	1965. június 3.	4 nap	James McDivitt	Ed White
<b>V</b>	1965. augusztus 21.	8 nap	Gordon Cooper	Pete Conrad
<b>VI-A</b>	1965. december 15.	2 nap	Frank Borman	Jim Lovell
<b>VII</b>	1965 december 4.	14 nap	Walt Sciarra	Tom Stafford
<b>VIII</b>	1966. március 16	2 nap	Neil Armstrong	Dave Scott
<b>IX-A</b>	1966. június 3.	3 nap	Tom Stafford	Gene Cernan
<b>X</b>	1966. július 18.	4 nap	John Young	Mitchael Collins
<b>XI</b>	1966. szeptember 12.	3 nap	Pete Conrad	Richard Gordon
<b>XII</b>	1966. november 11.	4 nap	Jim Lovell	Buzz Aldrin

*2. táblázat: Gemini küldetések*

### 3. NAPISTEN SZEKERE A HOLDRA MEGY: APOLLO – PROGRAM

Nem sokkal Alan Shepard űrgrását követően, 1961-ben John F. Kennedy a kongresszus előtt elmondta a híres beszédét: „... hiszem, hogy Nemzetemnek el kell köteleznie magát a cél előtt, hogy még az évtized vége előtt embert juttatunk a Holdra, és biztonságosan visszahozzuk Őket a Földre...”. Ezzel a beszéddel hívta életre az elnök az emberiség egyik legnagyobb kihívását, az Apollo programot (4. ábra). A NASA számára hatalmas kihívást jelentett, hogy nem egész 10 év alatt ki kell fejleszteni egy űrhajó rendszert, amivel három űrhajós képes eljutni az égi kísérőkhöz, majd leszállni a felszínére (ide már csak két ember megy), majd onnan felszállni, dokkolni az anyaűrhajóval, kilépni a Hold vonzásmezejéből és biztonságosan landolni az óceánban. Ezekhez a feladatokhoz egy teljesen új űrkapszula kell, ami megfelelő teret biztosít az űrhajósoknak akár két hétig, egy olyan űrhajóra is szükség van, ami képes két embert a Hold felszínére juttatni, és onnan startolni. Egy olyan rakéta komplexumot is ki kellett fejleszteni, ami képes ezeket a hasznos tömegeket a második kozmikus sebességre felgyorsítani, hogy elhagyhassák a Föld vonzás szféráját. Valamint kellett egy olyan űrruha és életfenntartó berendezés, ami az asztronautákat életben tudja tartani a Holdon, és benne el tudják végezni a rájuk bízott feladatot. A program előrehaladtával a szakértők rájöttek, hogy a gyalogosan nem tudnak nagy területet felfedezni az űrhajósok, így szükségessé vált egy Holdautó kifejlesztése is. A következőkben részletesen bemutatásra kerülnek ezen eszközök.



4. ábra: Küldetések jelvényei, középen az Apollo program logójával [15]



## 3.1 Gépek a Holdon

### 3.1.1 Saturn V-ös rakéta

A világ legnagyobb és legerősebb rakétáját [8] fejlesztette ki Werhner von Braun és tervezőcsapata. A három fokozatú szerkezet képes volt 118 t hasznos terhet alacsony Föld körüli pályára állítani és 48 t hasznos terhet a Holdig juttatni. Természetesen elsődleges feladata a Holdra juttatni az űrhajót, de más képességeit is kihasználták. Az Apollo-1 és Apollo-7 parancsnoki és műszaki egységét a Saturn IB kétfokozatú komplexum juttatta (volna) Föld körüli pályára, hogy a legénység berepülje az új űrhajót. Ez a rakétacsalád a Saturn V-ös (5. ábra) „kistestvére”, mely csak a 2. és 3. fokozatot tartalmazza. Valamint a harmadik fokozatából lett kialakítva az amerikaiak első űrállomása a SkyLab, melyet szintén Saturn IB rakétával látogattak meg az oda utazó asztronauták. A következőkben a rakéta komplexum indítási szimulációja tekinthető meg.



5. ábra: Saturn V rakéta a mobil indítóállványon [16]

### Indítási szimuláció

A számításhoz [7] a 3. táblázatban szereplő bemenő paraméterek szükségesek:

$m_d$	fokozat(ok) szerkezeti tömege	[kg]
$m_p$	fokozat(ok) hajtóanyag tömege	[kg]
$F_t$	tolóerő	[N]
$\dot{m}$	hajtóanyag fogyasztás	[kg/s]
$\theta(t)$	tolóerő a függőlegessel bezárt szöge	[°]
$K_F$	Föld gravitációs mutatója	[m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> ]
$\varphi'$	Geocentrikus szélesség	[°]
$R_F$	Föld sugara (indítás helyén)	[m]
$p_a$	környezet légnyomása	[Pa]
$T_a$	környezet hőmérséklete	[K]
$R$	Specifikus gázállandó	[J/kgK]
$A$	Jármű felülete	[m <sup>2</sup> ]
$\gamma$	Levegő adiabatikus kitevő	[–]
$T_{sl}$	Tolóerő a tengerszinten	[N]
$T_{vac}$	Tolóerő a vákuumban	[N]
$I_{sp}$	Impulzus, vákuumban	[s]

3. táblázat: Számításhoz szükséges adatok [7]

1. Lépcső tömegének meghatározása

$$(01) \quad m_t = m_d + m_p$$

2. Fogyasztás

$$(02) \quad \dot{m} = \frac{T_{vac}}{9,80665 \cdot I_{sp}}$$

3. Gravitációs gyorsulás

$$(03) \quad g = \frac{K}{R_0^2}$$

4. Látszólagos függőleges gyorsulás meghatározása

$$(04) \quad a_{Av} = \frac{v_{h0}^2}{R_0}$$

5. Függőleges gyorsulás a tolóerőből

$$(05) \quad a_{Tv} = \frac{T_0}{m_{t0}} \cdot \sin(\theta_0)$$

6. Függőleges gyorsulás a tömegből

$$(06) \quad a_{Dv} = \frac{D}{m_t} \cdot \sin(\varphi_{ef})$$

7. Összes függőleges gyorsulás

$$(07) \quad a_{v0} = -g + a_{Av} + a_{Tv} - a_{Dv}$$

8. Látszólagos vízszintes gyorsulás

$$(08) \quad a_{Ah} = -V_h \cdot \frac{v_v}{R}$$

9. Vízszintes gyorsulás a tolóerőből

$$(09) \quad a_{Th} = \frac{T}{m_t} \cdot \cos(\theta)$$

10. Vízszintes gyorsulás a tömegből

$$(10) \quad a_{Dh} = \frac{D}{m_t} \cdot \cos(\varphi_{ef})$$

11. Összes vízszintes gyorsulás

$$(11) \quad a_h = a_{Ah} + a_{Th} - a_{Dh}$$

12. Űrhöz viszonyított függőleges sebesség

$$(12) \quad v_{vi} = v_{v(i-1)} + \frac{a_{v(i-1)} + a_{vi}}{2} \cdot \Delta t$$

13. Űrhöz viszonyított vízszintes sebesség

$$(13) \quad v_{hi} = v_{h(i-1)} + \frac{a_{h(i-1)} + a_{hi}}{2} \cdot \Delta t$$

14. Eredő Űrhöz viszonyított sebesség

$$(14) \quad v_{sfi} = \sqrt{(v_{vi}^2 + v_{hi}^2)}$$

15. Űrhöz viszonyított repülési pálya szöge

$$(15) \quad \varphi_{sf} = \operatorname{atan}\left(\frac{v_v}{v_h}\right)$$

16. Föld forgási sebessége

$$(16) \quad v_r = \frac{2\pi R_0}{86164} \cdot \cos(\varphi')$$

17. Földhöz viszonyított sebesség

$$(17) \quad v_{ef} = \sqrt{(v_v^2 + (v_h - v_r)^2)}$$

18. Földhöz viszonyított repülési pálya szöge

$$(18) \quad \varphi_{ef} = \operatorname{atan}\left(\frac{v_v}{v_h - v_r}\right)$$

19. Magasság

$$(19) \quad h_i = h_{i-1} + \frac{v_{v(i-1)} + v_{vi}}{2} \cdot \Delta t$$

20. Sugár a járműhöz

$$(20) \quad R = R_e + h$$

21. Levegő sűrűsége

$$(21) \quad \rho = \frac{P_a}{R_s \cdot T_a}$$

22. Hangsebesség

$$(22) \quad c = \sqrt{(\gamma * R_s * T_a)}$$

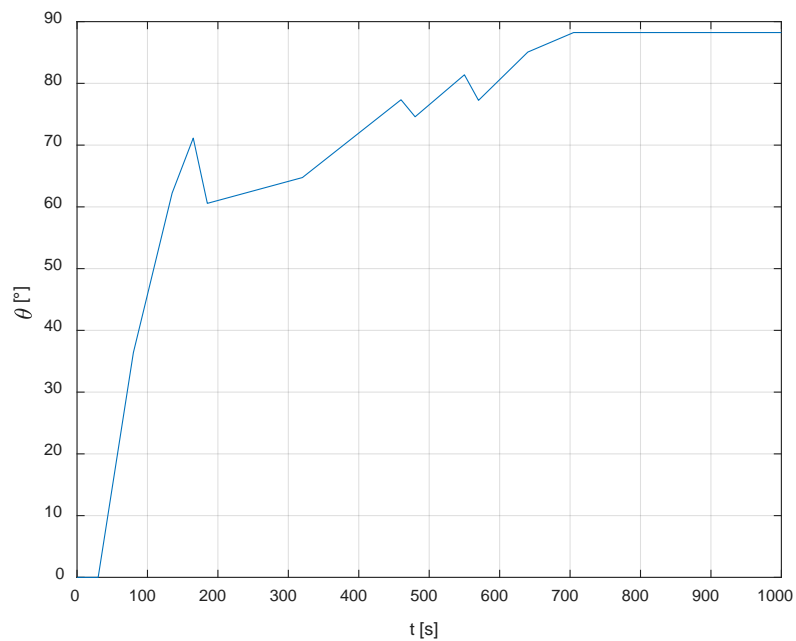
23. Mach szám

$$(23) \quad Ma = \frac{v_{ef}}{c}$$

24. Légellenállás

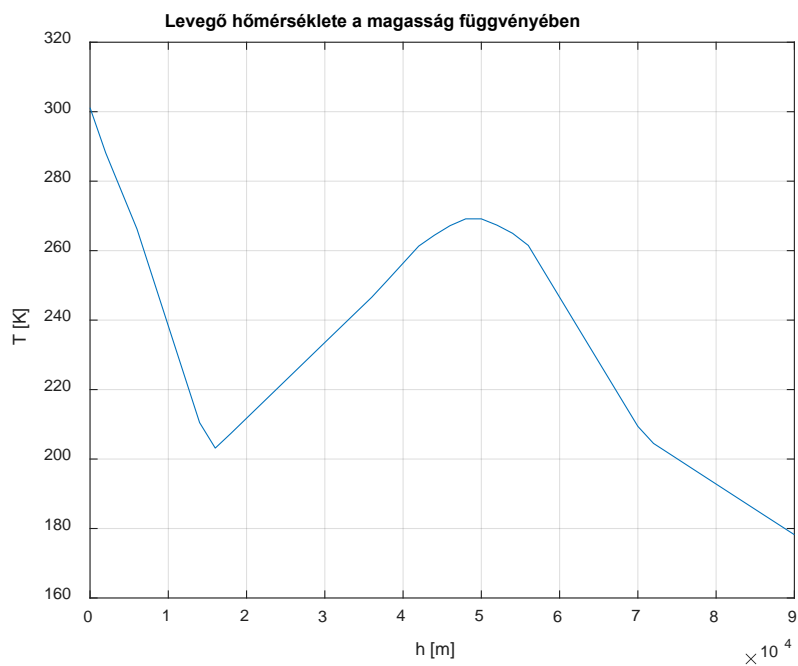
$$(24) \quad D = \rho \cdot v_{ef}^2 \cdot C_d \cdot \frac{A}{2}$$

25. Repülési irányyszög ( $\theta$ )

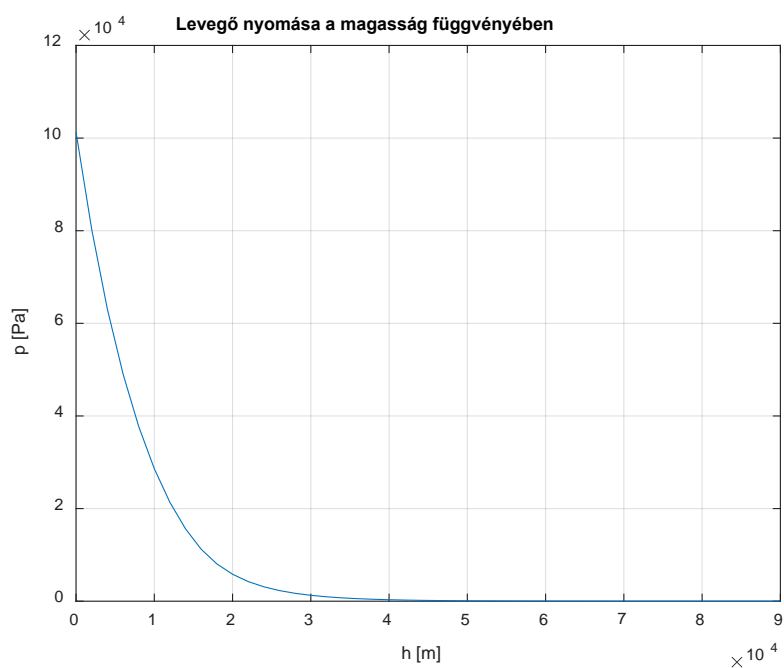


**6. ábra:** Repülési irányyszög az idő függvényében

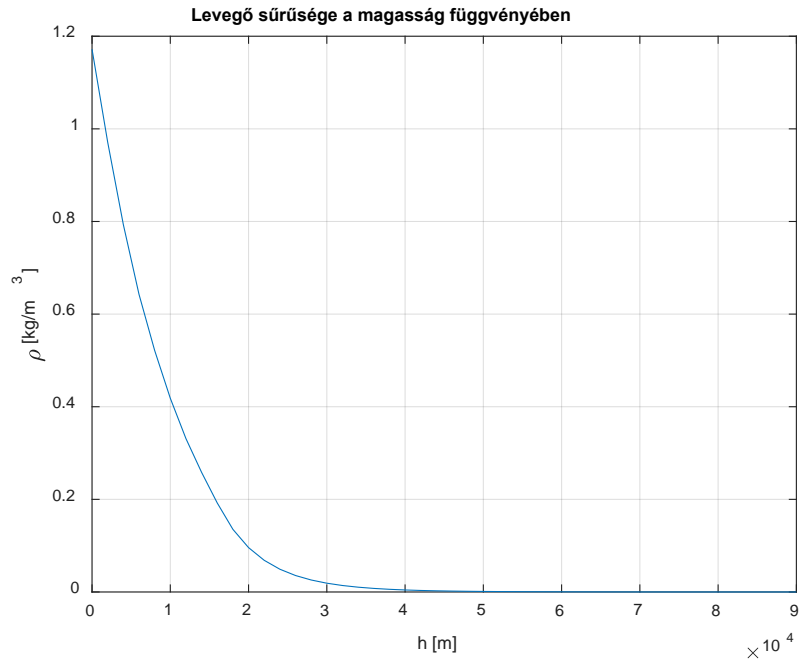
26. Apollo-11 repülése során rögzített légköri adatok



**7. ábra:** Levegő hőmérséklete a magasság függvényében



**8. ábra:** Levegő nyomása a magasság függvényében

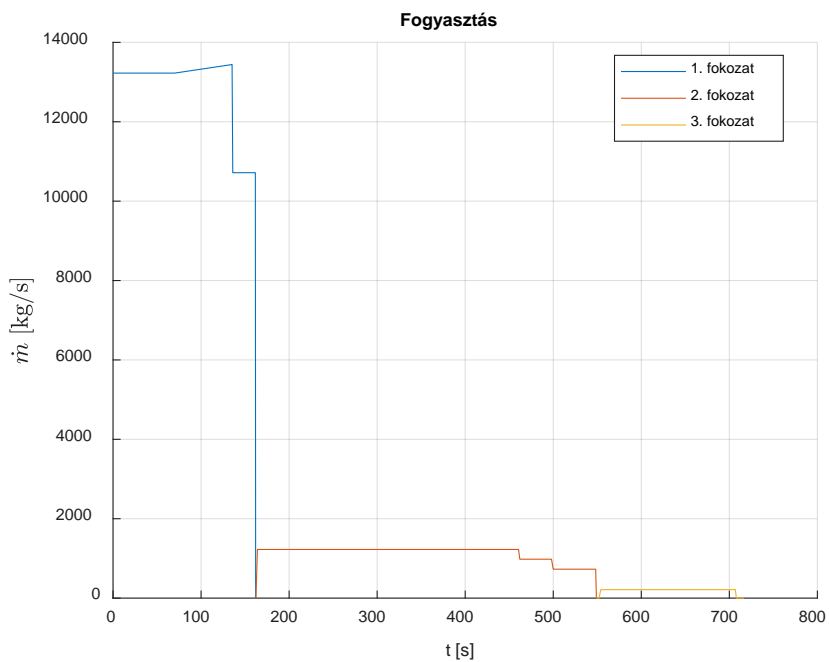


9. ábra: Levegő sűrűsége a magasság függvényében

## 27. Saturn V-ös rakéta tulajdonságai

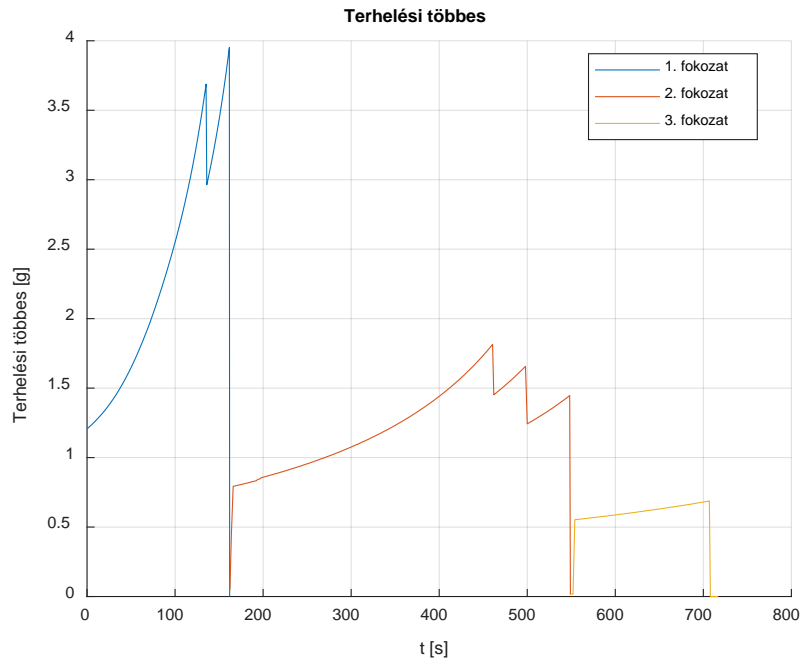
	<b>Teljes tömeg (t)</b>	<b>Hajtóanyag tömege (t)</b>	<b>Szerkezeti tömeg (t)</b>
1. fokozat	2200	2059	151
2. fokozat	440	405	35
3. fokozat	110	90	20

4. táblázat: Saturn V rakéta fokozatainak adatai [9]



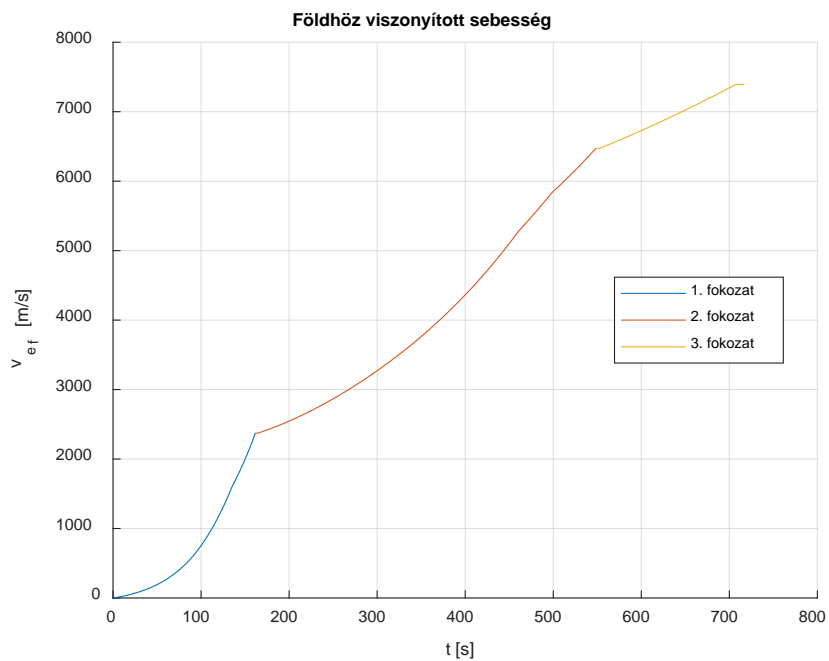
10. ábra: Saturn V rakéta fogyasztása

Az 1-24 egyenleteket, a 6.-11. ábrák és az 1. táblázat felhasználásával készült MATLAB szimuláció alapján a következő mozgásviszonyok szemléltethetők az indítástól kezdve az orbitális parkolópályára állásig. Elsőként az űrhajósokat érő terhelési többlest lehet megtekinteni a 11. ábrán.

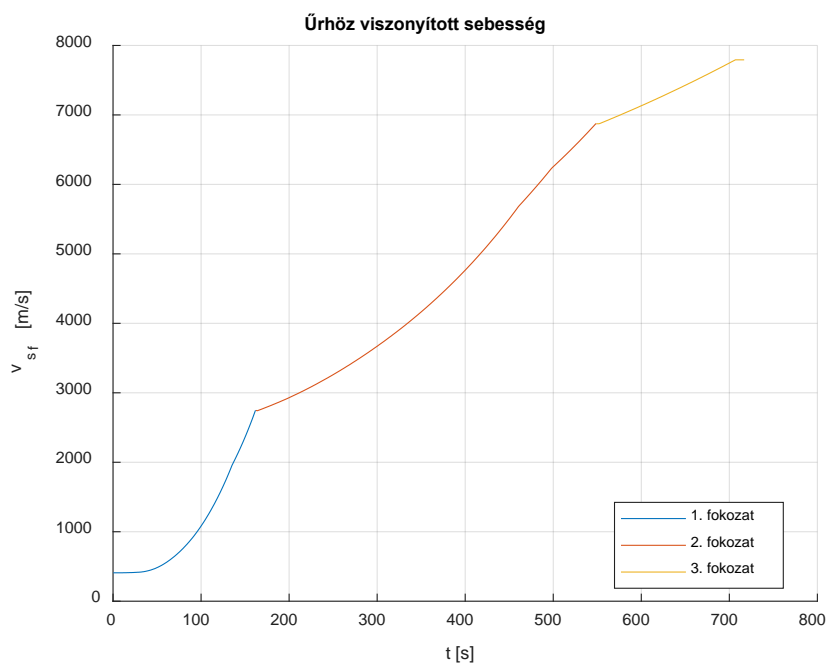


11. ábra: Saturn V rakéta indítása során fellépő terhelési többlet értékei

A küldetés 135. másodpercében a S-IC fokozatának középső hajtóművét leállítják, így a 162. másodpercig a maradék négy hajtómű gyorsítja a komplexumot, amikor is megtörténik a fokozat leválasztása. Ezt követően a 166. másodpercben indították be a S-II fokozat 5 darab J-2 típusú hajtóművét. A 406. másodpercben ennek a fokozatnak a középső hajtóművét is leállították, majd az 550. másodpercig csak 4 hajtóművel emelkedik a rakéta, ezt követően ezt a fokozatot is leválasztották. Az S-IVB fokozatot az 556. másodpercben indították be, majd a 708. másodpercben állították le. Ennek a fokozatnak a másodszeri begyűjtésével érték el a második kozmikus sebességet. Ennek megfelelően a sebesség viszonyok a következő képen alakulnak (12., 13. ábra):



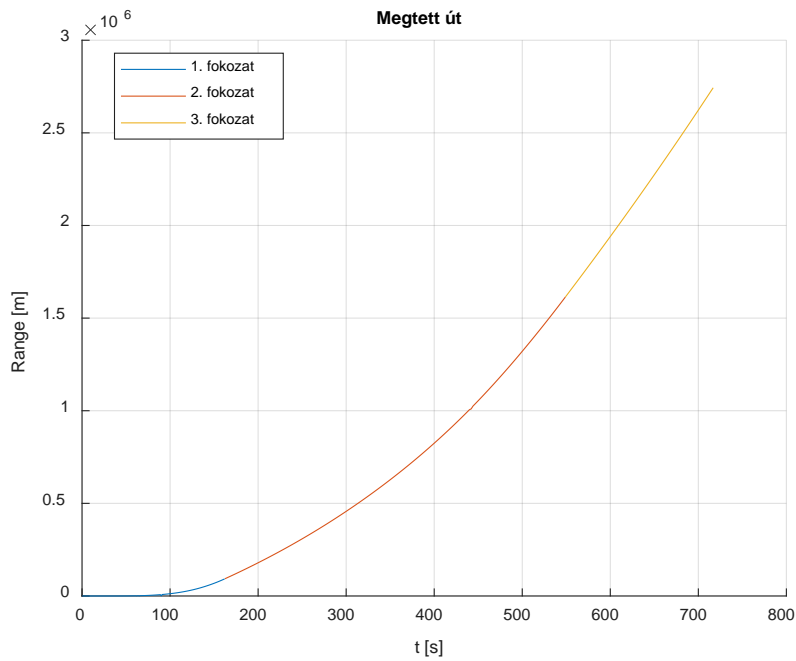
12. ábra: Földhöz viszonyított sebesség



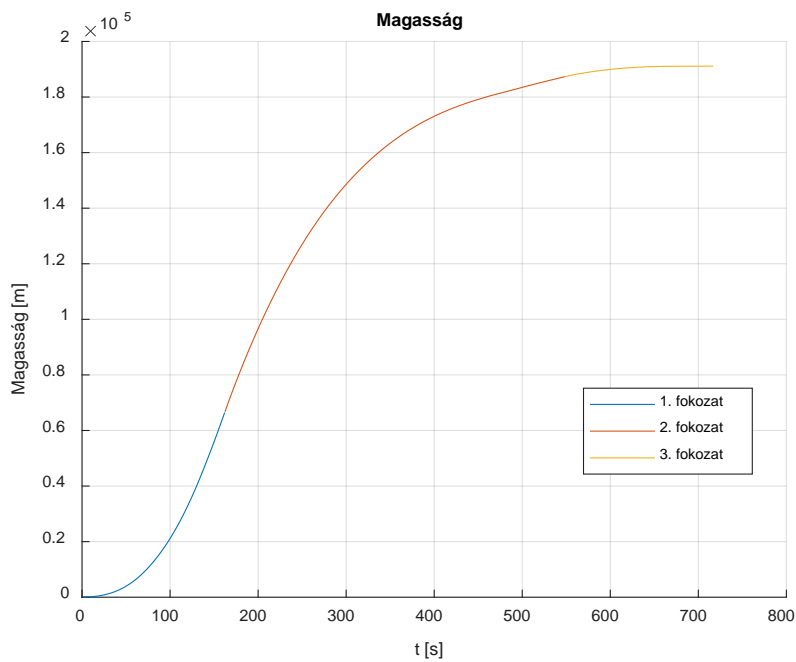
13. ábra: Űrhöz viszonyított sebesség

Továbbá ábrázolható még az indítás óta megtett összes út és az elért magasság (14., 15. ábra).





14. ábra: Összes megtett út



15. ábra: Elért magasság

A rakéta komplexum összesen 2743,391 km-es utat tett meg, míg 191,130 km-es orbitális pályára állt.

### 3.1.2 Apollo parancsnoki és műszaki egysége (CSM)

A súly kérdése fontos szempont a mai napig az űrhajózás során. Elsőként az induláskor, másodsorban pedig a visszatérésnél. Előbbinél a rakéta teljesítménye, az utóbbinál pedig az űrhajót védő hőpajzs védő képessége a korlátozó szempont. Így már a Gemini programnál a

mérnökök külön választották az űrhajót műszaki egységre (SM) és parancsnoki egységre (CM). A műszaki egység tartalmazta a létfenntartó berendezéseket, az energia ellátó üzemanyag cellákat és az űrhajó meghajtásául szolgáló rakétahajtóművet és az üzemanyag tartályokat. Míg a parancsnoki modul csak a visszatéréshez szükséges energiát biztosító akkumulátorokat, létfenntartó berendezéseket és a navigációs számítógépet tartalmazta. Ezzel a megoldással könnyű visszatérő kapszulát hoztak létre a mérnökök [1]. A Mercury és Gemini küldetések során a legénység a teljes idő alatt a székbe volt szíjazva, ami egy több hetes misszió során nem lett volna kényelmes, így az új kapszulában űrruha nélkül, szabadon foglaltak helyet az űrhajósok. Első ránézésre igen szűkösnek tűnt a belső tere, ám súlytalanságban már igen tágassá vált. Mind a három űrhajósnak külön ágya volt (igaz, egyszerre sohasem aludhatott mindenki, egy embernek mindig ügyeletben kellett lennie).



*16. ábra: Apollo-9 CSM modulja [17]*

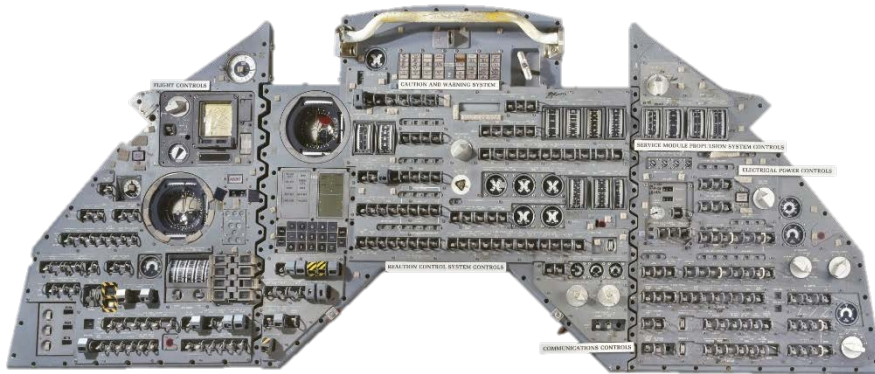
A korábbi űrhajóktól eltérően szükségessé vált két űreszköz közötti biztonságos átjárhatóság. Ezt egy úgynevezett dokkoló alagúttal oldották meg, amin keresztül, űrséta nélkül lehetett megvalósítani a közlekedést. Meg kell jegyezni, hogy dokkolás közben szkafandert kellett viselniük az űrhajósoknak, az esetlegesen fellépő dehermetizációnak ne legyen súlyos következménye.

A tervezők minden apró részletre odafigyeltek. Grissom parancsnok „Liberty Bell-7” űrhajójával történt balesetéből tanulva befele nyíló kabin ajtót építettek be, nehogy idő előtt kinyíljon (ezt az Apolló 1 balesete miatt kifelé nyíló kivitelűre cseréltek, de erről később lesz szó). A vízre történő landolás miatt megfelelő úszási képességűnek kellett lennie. A mélyűri

küldetés miatt pedig pontos és gyors navigációs és vezérlő számítógépre volt szükség. Ezt a Raytheon építette az MIT tervei alapján. Cél az volt, hogy egy olyan kis tömegű, megbízható számítógépet építsenek be az űrhajóba, ami képes a pontos helymeghatározásra és a rendszerek felügyeletére és vezérlésére, de kezelése ne legyen túl bonyolult. Így született meg az AGC, vagyis az Apollo Guidance Computer (Apollo Navigációs Számítógép).

### *Apollo Guidance Computer [5]*

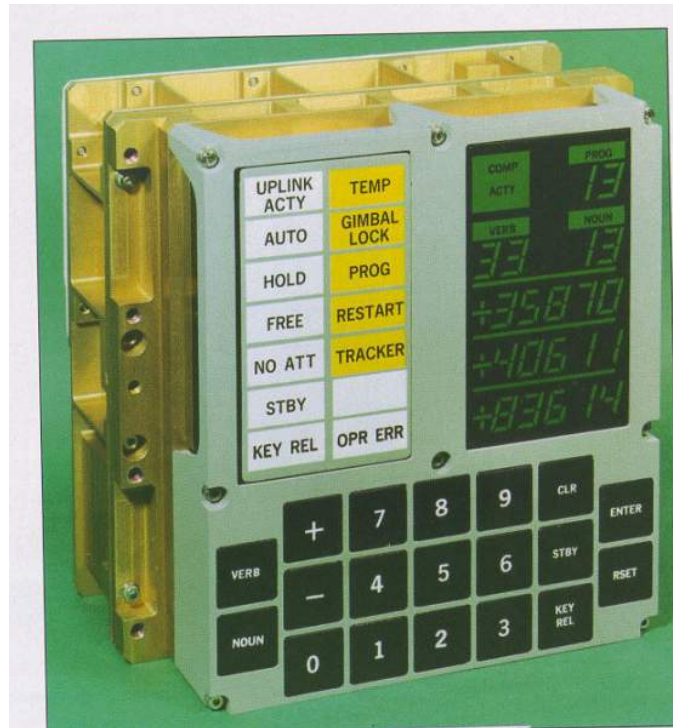
A számítógép egy speciális szóvezérlésű eszköz volt, 16 bites szóhosszal. Az utasításszó 1 paritásbitből, 3 utasítás bitből és 12 címbitből épült fel. Elméletileg 8 utasításszóval lehetséges bármilyen feladathoz programot írni, ám azok igen terjedelmesek lennének, és az akkori ROM és RAM memóriák igen csak csekély tároló képességűek voltak, így kompromisszumos megoldást kellett keresni az utasítások száma és a memória mérete között. Végül 34+10 utasítást építettek be a computer utasítás készletébe, melyeket 1kBit-es ROM és 256 szavas RAM memória lapokra (bank) mentettek és két lépésben címeztek meg. A gép 20 különböző célú regiszterrel rendelkezett, többek között a memóriacím-regiszter, a ROM-bank regiszter és a RAM-bank regiszter.



*17. ábra: CM fő műszer panelje [18]*

Feladata volt az űrhajó pontos helyzetének meghatározása és kijelzése. A helyzet adatokat egy háromtengelyű elektrodinamikus szögkompenzációs pörgettyűből, vagyis giroszkópból (IRIG, Internal Reference Integrating Gyro) és három egymásra merőleges gyorsulás jeladóból (PIPA, Pulsed Integrating Pendulous Accelerometer) érkezett a központi egység felé. A giroszkóp jele nem csak a számítógép kapta meg, hanem a műszarfalba épített, a kabin térbeli helyzetét mutató eszközbe a FDAI (Flight Direction Attitude Indicator), ami hasonlít a repülőgépekbe elhelyezett műhorizonthoz. Ezt a giroszkóp platformot az utazás során többször be kellett tájolni, amit a

parancsnoki modul pilótának kellett elvégeznie egy szkennelőteszkóp és egy szextáns segítségével. Ezen adatok elemzésével vezérelte a SM főhajtóművét és a kormányfűvókáit, visszatérés során a CM helyezetszabályzó fűvókáit. Átadta az információkat a telemetria felé (Uplink) és fogadta a beérkező adatokat (Downlink). Utóbbi csatornán az irányítók is képesek voltak adatot küldeni az űrhajó felé.



18. ábra: DSKY interface egység [25]

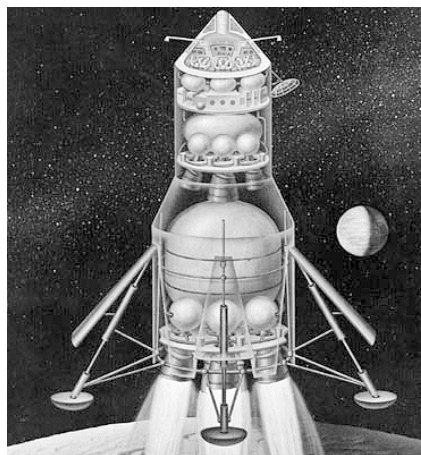
Az AGC fő interface egysége a DSKY (DiSplay and KeYboard) volt (18. ábra), ami a fő műszerfalon (17. ábra) volt elhelyezve, aminek kezelésén nem volt nehezebb, mint egy négy alaplüveletes zsebszámológépé. A kijelző bal felső sarkában egy zöld indikátor fény jelezte a számítógép működését, mellette az éppen futó program számát (a küldetés alatt a futtatandó programok kódja kötött volt, ám be lehetett avatkozni a sorrendbe). A következő sorban a főnév (NOUN) és ige (VERB) két-két számjegyet jelenített meg. Egy parancs végrehajtásához be kellett írni a főnév és az ige kódját végül enterrel lenyomásával lehetett elindítani a programot. Néhány egyszerűbb utasítást végre tudott hajtani az ige és az enter lenyomásával is. Például a küldetés óta eltelt időt a következő kóddal lehetett kijelezni; Ige: „Írd ki” (16), Főnév: „A start óta eltelt időt” (36), ENTER, vagy ahogy az ellenőrző listában szerepelt: V16N36E. A panelen helyezkednek el a program futtatásához szükséges billentyűzet és 14 ablakból álló jelzőpanel. A fehér fények a státuszt jelezte, a sárga fények pedig valamilyen figyelmeztetést jeleztek, amiket a RESET gombbal lehetett törölni. Itt meg kell jegyezni, hogy a parancsnoki egység az addigi legbonyolultabban kezelhető űrhajó volt, ami több száz nyomógombot, kapcsolót és

kijelző műszert tartalmazott (a mutatók műszerek nem hagyományos elven működtek, hanem szervomotor állította be az értékeket).

Végezetül pedig néhány szót kell ejteni a különleges kialakítású ROM és RAM memóriáról. Az írható-olvasható memória kemény mágneses anyagból készült mátrix volt (ferrit gyűrűs). A gyűrűket huzalokra fűzték fel, és így helyezték egy keretbe őket. Az adatokat olvasásig tartották meg, azokat utána vissza kellett írni (frissíteni). Egy keretben  $16 \times 16 = 256$  db gyűrű alkotta, ami kétféle mágnesezettségi állapotba kerülhetett. A csak olvasható memóriához is hasonló ferrit gyűrűs memóriát készítettek, ugyanis akkoriban ez volt a legmegbízhatóbb és a feladat ellátása szempontjából a legkönnyebb alkatrész. Ebben a Core Rope Memory-ban (magnífűzéses memória) tárolták az operációs rendszert, a vezérlő-, felügyeleti- és a navigációs segédprogramokat. Ezt az egységet volt textilipari munkások számítógépes segítség mellett készítették el (beleszótták a programot a memóriába).

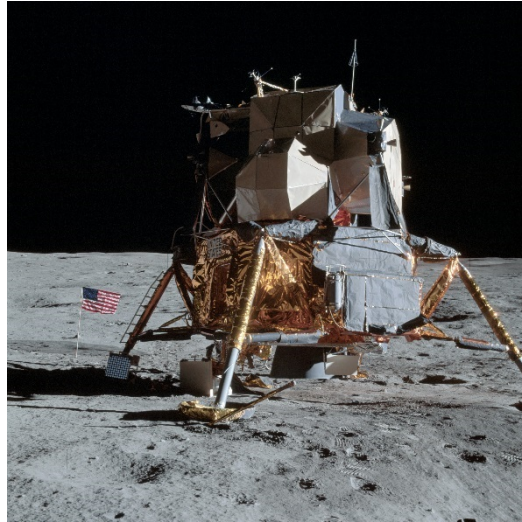
### 3.1.3 Holdkomp (LEM)

Hivatalos megnevezése a *Lunar Excursion Module* (LEM) vagy *Lunar Module* (LM) [1]. Feladata a Holdra szállás, holdi menedéknyújtás az űrhajósoknak a tartózkodásuk teljes időtartamára, a megfelelő berendezések és eszközök a szállítása a Hold felszínére és a biztonságos felszállás az űrhajósokkal és a gyűjtött mintákkal, majd dokkolás az Apollo kapszulához. Ez volt az első olyan jármű, amit kifejezetten csak űrbéli utazáshoz használtak, ezért a légkörbe visszatérést segítő hőpajzzsal nem rendelkezett. Többféle koncepciót találtak ki a tudósok, például, hogy az anyaűrhajó száll le, majd indul el ismét a Hold felszínéről (19. ábra). Ám a megvalósításához túl sok üzemanyag kellett volna, és nagyon magas is lett volna a szerkezet, ami instabillá válhat a nem teljesen vízszintes talajon, továbbá az űrhajósoknak túlságosan magasra kellett volna mászniuk, ami szintén balesetveszélyes.



19. ábra: Holdraszállás eredeti koncepciója [19]

Ám egy Hubolt nevezetű úriember a következő ötlettel állt elő [3]: egy olyan hajót kell építeni, aminek a feladata csupán annyi, hogy leszáll a Holdon, majd az űrhajósokat visszajuttatja a Hold körüli pályán keringő anyaűrhajóhoz. Ennek az elképzelésnek a LOR nevet adták, vagyis Lunar Orbit Rendezvous (Hold Körüli Randevú). Ennek megfelelően a Grumman cég neki látott kifejleszteni a nagyon könnyű holdkompot (20. ábra). A komp két részből állt, a leszálló fokozatból, ami egy hajtóműből és a hozzá tartozó hajtóanyag tartályokból állt. Ez a rész a felszállás során indító állásként szolgált.



20. ábra: Apollo 14 holdkompja [20]

A hajtóművei változtatható teljesítményűek voltak, ugyanis az ereszkedés során ezek biztosították, hogy ne zuhanjon a Hold felszínére, ami megkívánta ezt a képességet. Felszállás során a dokkolási manővernél volt fontos a változtatható teljesítmény. A hajtóanyaga  $N_2O_2$  (Aerozin) volt, ami erősen korrozív hatású, ezért nem volt lehetőség arra, hogy a Földön teszteljék őket, ezért az első indításuk a Hold körüli pályán történt. Két esemény hiúsíthatta meg a leszállást, az egyik, ha nem indul be a hajtómű, a másik, meg ha a leszálló lábak nem nyílnak ki, ezt a parancsnoki egységben maradt személynek kellett megfigyelnie, és jelezni a lábak helyzetét. A holdkomp vezérlő számítógépe nagyban hasonlított az AGC-hez, azzal a különbséggel, hogy a szoftverét és a hardverét a holdi feladatokhoz illesztették.

#### 3.1.4 Holdautó (Rover)

Az Apollo-14-ig bezárólag az űrhajósok gyalogosan fedezték fel az égi kísérőnk felszínét. Ám ezzel csak igen kis távolságokat tudtak megtenni, részben biztonsági, részben fizikai okok miatt. Szükség volt egy olyan járműre, ami képes közlekedni a Hold felszínén, ezzel megkönnyítve a felfedező munkáját és megnövelve a tartózkodási időt a felszínen. Ezt a feladatot a General Motors kapta, ahol egy magyar mérnök, Pavlics Ferenc lett a fő konstruktőr.

A holdi üzem csak a jéghegy csúcsa volt, ugyanis, ha nem lehet oda szállítani, akkor ez a képessége semmit sem ér, így könnyűnek és kompaktnak kellett lennie, hogy a holdkompra fel lehessen szerelni. A mérnöki zsenialitás ennél a szerkezetnél is megmutatkozott, ugyanis egy 1,5x1,5x1,5-ös téglatestbe összehajtogatva került a komp oldalán elhelyezett tároló rekeszbe.



*21. ábra: Rover, a Holdautó [21]*

A Rover (21. ábra) egy összkerék meghajtású villamos autó volt, melynek lehetett kormányozni az első és a hátsó kerékpárjait is. Normál üzemben az első kerekeket lehetett kormányozni, ám szükség esetén a hátsóval is lehetett manőverezni. Az energiát akkumulátorban tárolták, és 4 villanymotor gondoskodott a meghajtásról. A kerekek kifejezetten a holdi körülményekre lettek tervezve, egy különlegesen kialakított drótháló helyettesítette a gumit. Erre azért volt nagy szükség, hogy elkerüljék a defekt lehetőségét, és a finom regolitba se süppedjen el a jármű. Olyan navigációs rendszert építettek bele, ami képes volt visszavezetni az asztronautákat a Holdkomphoz. Az autó tartozéka volt még egy távirányítású kamera is, melyet a földi személyzet és a legénység egyaránt tudott vezérelni, ennek köszönhető az Apollo-17 felszálló holdkompjáról készült felvétel.

### **3.2 Az Apolló program részletei**

Az 5. és 6. táblázat foglalja össze az Apollo küldetések főbb részleteit.

	<b>Parancsnok</b>	<b>Parancsnoki Modul Pilóta</b>	<b>Holdkomp Pilóta</b>
<a href="#">Apollo-1</a>	Virgil "Gus" Grissom	Ed White	Roger Chaffee
Apollo-7	Walter "Wally" Schirra	Donn Eisele	Walter Cunningham
<a href="#">Apollo-8</a>	Frank Borman	James "Jim" Lovell	William "Bill" Anders
Apollo-9	James McDivitt	David "Dave" Scott	Russell "Rusty" Schweickart
Apollo-10	Thomas "Tom" Stafford	John Young	Eugene "Gene" Cernan
<a href="#">Apollo-11</a>	Neil Armstrong	Michael Collins	Edwin "Buzz" Aldrin
Apollo-12	Charles "Pete" Conrad	Dick Gordon	Alan "Al" Bean
<a href="#">Apollo-13</a>	James "Jim" Lovell	John "Jack" Swigert	Fred Haise
Apollo-14	Alan Shepard	Stuart "Stu" Roosa	Edgar "Ed" Mitchell
Apollo-15	David "Dave" Scott	Alfred "Al" Worden	James "Jim" Irwin
Apollo-16	John Young	Thomas "Tom" Mattingly	Charles Duke
<a href="#">Apollo-17</a>	Eugene "Gene" Cernan	Ronald "Ron" Evans	Harrison "Jack" Schmitt

5. táblázat: Apolló program legénységei [12]

	<b>CSM hívójele</b>	<b>LEM hívójele</b>	<b>Landolás helye</b>	<b>Küldetés időtartama</b>
<a href="#">Apollo-1</a>	-	-	"Tűz a kabinban"	-
Apollo-7	CSM-101	-	Apolló rendszer berepülése	
<a href="#">Apollo-8</a>	CSM-103	-	Első emberes küldetés a Holdhoz	6 nap 3 óra 0 perc 42 mp
Apollo-9	Gumdrop	Spider	Holdjomp berepülése	10 nap 1 óra 0 perc 54 mp
Apollo-10	Charlie Brown	Snoopy	Holdraszállás főpróbája	8 nap 0 óra 3 perc 23 mp
<a href="#">Apollo-11</a>	Columbia	Eagle	Nyugalom tengere	8 nap 3 óra 19 perc
Apollo-12	Yankee Clipper	Intrepid	Viharok óceánja	10 nap 4 óra 36 perc 24 mp
<a href="#">Apollo-13</a>	Odyssey	Aquarius	- (Fra Mauro)	5 nap 22 óra 54 perc 41 mp
Apollo-14	Kitty Hawk	Antares	Fra Mauro	9 nap 0 óra 1 perc 58 mp
Apollo-15	Endeavour	Falcon	Hadley-hegység	12 nap 7 óra 11 perc 53 mp
Apollo-16	Casper	Orion	Descartes-fennsík	11 nap 1 óra 51 perc 5 mp
<a href="#">Apollo-17</a>	America	Challenger	Taurus-Littrow	

6. táblázat: Apollo küldetések főbb részletei [12]



### 3.2.1 Út a Holdhoz és vissza

Ahhoz, hogy eljuthassunk a Holdra, első lépésben el kell hagynunk a Föld gravitációs vonzást, ehhez pedig fel kell gyorsítani az űrhajót a második kozmikus sebességre [9]. Az űrhajósok 210 km-es pályáról indultak, ahol ez az érték:

$$(25) \quad v_{k2} = \sqrt{2 \cdot g(R) \cdot R} = 10,9370 \left[ \frac{km}{s} \right]$$

Ennél egy kicsit magasabb  $v = 10,95 \left[ \frac{km}{s} \right]$ -mal indultak. Ennek megfelelően, míg be nem léptek a Hold hatássférájába a sebességük csökkent.

Hold hatássférájának a távolsága, a Hold középpontjától:

$$(26) \quad H_{Hold} = R_{F-H} \cdot \left( \frac{m_{Hold}}{m_{Föld}} \right)^{\left( \frac{2}{5} \right)} = 384400 [km] \cdot \left( \frac{7,35 \cdot 10^{22} [kg]}{5,97 \cdot 10^{24} [kg]} \right)^{\left( \frac{2}{5} \right)} = 66190,458 [km]$$

Hold hatássférájának távolsága a Föld középpontjától:

$$(27) \quad R_{hszf} = R_{F-H} - H_{Hold} = 384400 [km] - 66190,458 [km] = 318209,541 [km]$$

$$(28) \quad r = 318209,541 [km]$$

$$(29) \quad r_0 = R_{Föld} + H = 6371 [km] + 210 [km] = 6581 [km]$$

A hatássférához az amerikai űrhajósok

$$(30) \quad v_{hszf} = \sqrt{v_0^2 - \frac{2K_f}{r_0} \cdot \left( 1 - \frac{r_0}{r} \right)}$$

$$(31) \quad v_{hszf} =$$

$$\sqrt{\left\{ 10,95 \left[ \frac{km}{s} \right] \right\}^2 - \frac{2 \cdot 398600 \left[ \frac{km^3}{s^2} \right]}{6581 [km]} \cdot \left( 1 - \frac{6581 [km]}{318209,541 [km]} \right)} = 1,127 \left[ \frac{km}{s} \right]$$

érkeztek. Innentől az űrhajó gyorsulni kezdett.

Feltételezve, hogy az űrhajósok a Holdhoz 314 km-es magasságba érkeztek, meghatározható az érkezési sebesség.

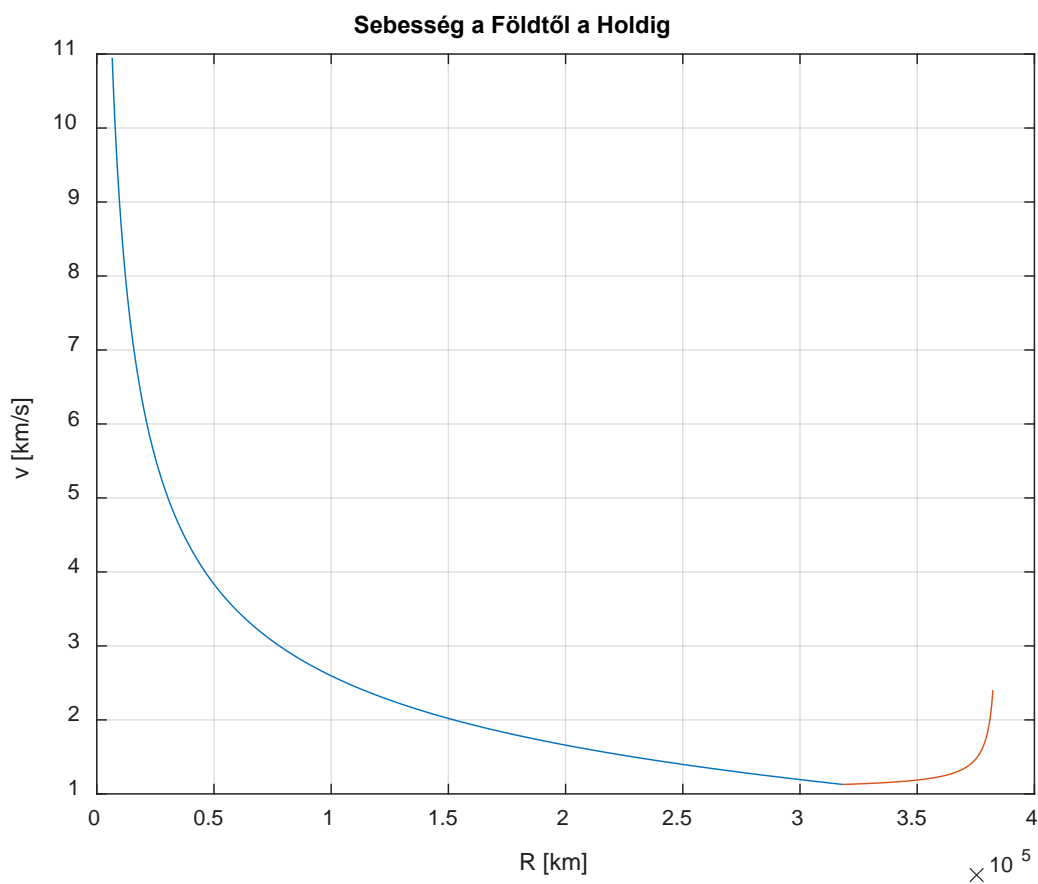
$$(32) \quad v_e = \sqrt{v_{hszf}^2 + \frac{2K_H}{r_0'} \cdot \left( 1 - \frac{r_0'}{r'} \right)}$$

$$(33) \quad v_{\dot{e}} =$$

$$\sqrt{\left\{1,127 \left[\frac{\text{km}}{\text{s}}\right]^2 + \frac{2 \cdot 4903 \left[\frac{\text{km}^3}{\text{s}^2}\right]}{2052 \text{ [km]}} \cdot \left(1 - \frac{2052 \text{ [km]}}{66190,458 \text{ [km]}}\right)\right\}} = 2,4294 \left[\frac{\text{km}}{\text{s}}\right]$$

Ahhoz, hogy sikeresen pályára állhassanak az űrhajót le kellett lassítani az első kozmikus sebességre, vagyis a körpálya sebességre. Erre a műveletre a Hold túloldalán, rádiócsendben került sor minden egyes küldetésén.

$$(34) \quad v_{k1} = \sqrt{g_H(R) \cdot R} = \sqrt{1,16 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right] \cdot 2052 \cdot 10^3 \text{ [m]}} = 1,545 \left[\frac{\text{km}}{\text{s}}\right]$$



22. ábra: Apollo űrhajó sebességének alakulása a Földtől a Holdig

A 22. ábra szemlélteti az űrhajó sebességét az orbitális pálya elhagyását követően.

Feltételezve, hogy 93,5 km-es pályamagasságról történt az indítás a Föld irányába, a hatássféra határára a következő sebességgel érkeztek,  $2,3 \left[\frac{\text{km}}{\text{s}}\right]$ -os indítási sebességgel. Ezen a pályamagasságon a második kozmikus sebesség:

$$(35) \quad v_{k2} = \sqrt{2 \cdot g_H(R) \cdot R} = \sqrt{2 \cdot 1,16 \left[ \frac{m}{s^2} \right] \cdot 1831,5 \cdot 10^3 [m]} = 2,313 \left[ \frac{km}{s} \right]$$

$$(36) \quad v_{hszf} =$$

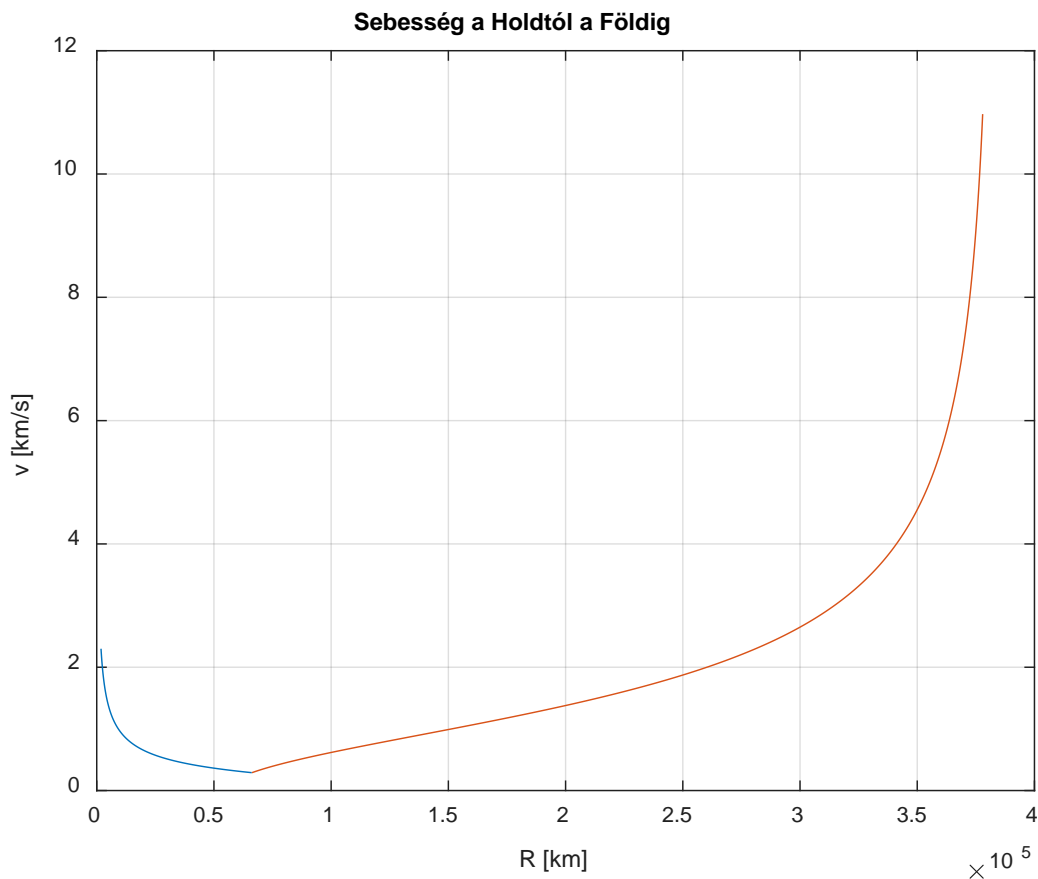
$$\sqrt{\left\{ 2,3 \left[ \frac{km}{s} \right] \right\}^2 - \frac{2 \cdot 4903 \left[ \frac{km^3}{s^2} \right]}{1831,5 [km]} \cdot \left( 1 - \frac{1831,5 [km]}{66190,458 [km]} \right)} = 0,2899 \left[ \frac{km}{s} \right]$$

Így a Földhöz, 100 km-es magasságba a következő sebességgel érkeztek:

$$(37) \quad v_{\acute{e}} =$$

$$= \sqrt{\left\{ 0,2899 \left[ \frac{km}{s} \right] \right\}^2 + \frac{2 \cdot 398600 \left[ \frac{km^3}{s^2} \right]}{6471 [km]} \cdot \left( 1 - \frac{6471 [km]}{318209,541 [km]} \right)}$$

$$v_{\acute{e}} = 10,547 \left[ \frac{km}{s} \right]$$



23. ábra: Űrhajó sebessége a Hold - Föld út során

A 23. ábrán megtekinthető a hazafele tartó úton az űrhajó sebessége.

### 3.2.2 Készülés a küldetésekre

A manőverek készség szintre fejlesztésén és a legénység összeszokásán múltott egy-egy küldetés sikere. Ezért az űrhajósoknak számtalan órát kellett eltölteni a szimulátorokban [6]. A küldetés különböző fázisaihoz más és más típusú szimulátorban gyakorlatozott a legénység. Külön szimulátor volt a dokkoláshoz, a Holdhoz tartó útra és a Holdraszálláshoz. A következőkben bemutatásra kerülnek ezek a szimulátorok.

A Holdra szállás szimulálásánál a pontos holdi táj megismerése az űrhajósokkal. Ugyanis nekik pontosan tudniuk kellett, hogy hol vannak. Ehhez a NASA egy léptékhelyes Hold felszín modellt épített két méretarányban is, amit a Hold körüli pályán és a leereszkedés során egy mozgó kamera vetítette az LM ablakaihoz elhelyezett monitorra. A Hold béli táj képe a beeső napsugarak szögétől igen erősen függ, így a mérnököknek a „mű Hold” -at a megfelelő szögből és intenzitással kellett megvilágítaniuk, hogy pontos képet kaphassanak mi vár odalenn az asztronautákra. A küldetés bizonyos részeit pedig egy úgy nevezett EIG (Electronic Image Generator – Elektronikus Kép Generátor), melyben a céltárgy (dokkoláshoz) meg van rajzolva és a számítógép állítja be a képet a megfelelő pozícióba, melyet az űrhajó irányító szervének a megfelelő irányba való mozgatása vált ki. Ebben a fázisban nem számított az adott céltárgy részletes ábrázolása, csupán az adott feladathoz szükséges részletek voltak rajta kidolgozva. Érdekességként meg kell említeni, hogy az út során többször is meg kellett határozniuk az űrhajósoknak a helyzetüket, amit a központi számítógépéhez (AGC) tartozó perifériával (szextáns) a megadott csillagokra kellett tájolni. A navigációs feladatot is be kellett gyakorolniuk az feladatra kijelölt űrhajósnak. A csillagokat méretarányos fém golyókkal reprezentálták egy erre a célra összeállított sötét térben, ahol a golyókat világították meg, így látszottak fényesnek.

### 3.2.3 Tűz a kabinban (Apolló-1)

Gyorsaság, ezzel a szóval lehetett jellemezni 1967-ben a NASA-t. Minél hamarabb ki kell próbálni az új űrhajórendszert. Ennek jegyében két típusú Apollo kapszula épült, a Block-I és a Block-II. Az előbbi csak az orbitális pályához szükséges rendszereket tartalmazta, dokkoló szerkezetet és radart nem tartalmazott. Az utóbbival terveztek a Holdra menni. 1966-ra elkészült a két Block-I – es típusú kapszula, mellyel megtörtént volna a rendszer berepülése.

1967 január a földi tesztekkel zajlott[2]. Az elsődleges legénység január 27-én az indítási szimulációra készült a 34-es indítóálláson álló űrhajójukban. A terv az volt, hogy egy teljes startot szimulálnak, de nem indulnak el. Az űrhajósok teljesen beöltözve, a kabin lezárva és

nyomás alá helyezve állt készen a teszthez. A gondok már a próba elején előjöttek, ugyanis a kommunikáció az űrhajó és az indító terem között folyamatosan szakadozott. Grissom parancsnok ekkor a következőket mondta, ingerülten: „*Jézus Krisztus! Hogy akarunk a Holdra jutni, ha már két-három épület között sem tudunk kommunikálni?*”. Nem sokkal később a szakadozó adásban az irányítók a következőt hallották: „*Tűz van idebenn*”. Kívül, a kabinablakot figyelő kamera narancssárga színű lángokat vett fel. A „fehér szobának” hívott helységben a technikusok minden erejüket beleadva próbálták meg kinyitni a kabinajtót, mindhiába. A tűz keletkezésétől öt percükbe telt kinyitni az ajtót, amit azért sikerült, mert a tűz miatt megnövekedő nyomást nem bírta elviselni a kapszula és az oldala felhasadt, így lecsökkent annyira a nyomás, hogy a befele nyíló ajtót ki lehetett nyitni. Ekkora már a légénység nem élt. A vizsgálatok kimutatták [1], hogy a halálukat nem közvetlenül a tűz okozta, mert az ellen a ruhájuk valamilyen szinten megvédte őket, hanem a tűzben eléggő oxigén csövek következtében belélegzett mérgező gázok okozták a halálukat.



**24. ábra:** Apollo 1 kiégett kabinja [22]

Az esetet követően, másnap megkezdődött az eset teljes körű kivizsgálása. Az ügynökség mindent lefoglalt, ami a tűzzel kapcsolatba hozható volt, többek között a North American repülőgépgyár területén lévő másik Block-I – es kabint (24. ábra). A szakemberek két kérdésre keresték a válaszokat: Miért keletkezett a tűz, és hogy miért tartott ilyen hosszú ideig kinyitni a kabinajtót.

Az idő kérdésére gyorsan fény derült, a hibásan megtervezett kabinajtó miatt nem tudták időben kimenteni a legénységet. A befele nyíló kabinajtó még a Mercury programban történ baleset miatt lett kialakítva, ugyanis Grissom ajtaja idő előtt robban ki, és a bezúduló víz miatt a kabin elsüllyedt, és a parancsnokot is majdnem a mélybe húzta. Ennek kiküszöbölésére a mérnökök befele nyíló kivitelűre tervezték, hogy ne fordulhasson elő egy hasonló eset meg egyszer. Ám azt csak akkor lehetett kinyitni, ha a kabin nyomása megegyezett a külső légköri nyomással, ha belül nagyobb a nyomás (ami a küldetések során folyamatosan fenn állt) lehetetlen volt azt kinyitni. Ezért a Block-II – es típuson a mérnökök kifele nyíló kivitelűre cserélték azt.

A tűz okának kiderítése sokkal nehezebb feladatnak bizonyult. A kiváltó ok és a keletkezésének pontos helye a mai napig nem ismert. Azt azonban sikerült felfedni, hogy a sietség miatt a gyártó átengedte az ellenőrzésen a tűzveszélyes anyagokat, ami felett a NASA is szemet hunyt. Továbbá szigetetlen vezetékek és korrózió védelem nélküli csővezetékeket építettek be, amikben erősen korrozív közegek keringtek. Továbbá a kabinban növelt nyomású tiszta oxigén légkör volt, ami szintén a tűznek kedvezett. A kiváltó ok feltehetően egy elektromos zárlat miatt keletkezett szikra volt, tűzbe borította az egész űrhajót. Az esetet követően a North American sokkal szigorúbban ellenőrizte a beépített anyagokat, és a légkört az indításig oxigén és nitrogén összetételűre változtatta, amit az indítás után fokozatosan cserélt le tiszta oxigénre.

A baleset miatt felmerült a gyár cseréje, de a sürgető idő miatt erre nem került sor. A Kongresszus az egész űrprogramot törölni tervezte, ám Jim Webb a NASA akkori igazgatója meggyőzte őket, hogy a küldetéseket folytatni kell, az űrkutatásban van a jövő.

#### **3.2.4 Első emberek a Holdnál (Apollo-8)**

Kennedy halálát követően és az Apollo-1 tragédiája ellenére sem állt le a program. Öt emberek nélküli tesztrepülést követően az Apollo-7 feladata volt, hogy visszaszerezze a bizalmat a programba, amit maradéktalanul teljesített a legénység. A következő lépés a teljes rendszer Föld körüli tesztelése volt, ami az Apollo-8 küldetés [2] teljesített volna. Ám műhold felvételekből kiderült, hogy a szovjetek is célba vették a Holdat, ezért a NASA megcserélte a 8-as és 9-es útját és legénységét. Így 1968 decemberében eljött az idő, hogy a teljes Apollo-Saturn rendszer bemutassa a képességeit (ekkor még nem vittek holdkompot magukkal). A cél nem volt más, mint elsőként embereket juttatni kísérőnkhez, és biztonságosan hazatérni onnan. Borman, Lovell és Anders volt az első trió, aki láthatta a Hold túlsó oldalát. Feladatuk volt, hogy felvételeket készítsenek a felszínről, a későbbi leszállások helyszíneinek kiválasztásához. Több TV-adást sugároztak a Földre, hogy mindenki megismerhesse közlről a Holdat.

Sikeres küldetésük után következhetett a Föld körüli berepülése a Holdmodulnak, [1] majd a Holdraszállás főpróbája. Ezek után nem maradt más, mint leszállni a Holdra.

### 3.2.5 Kennedy álma teljesül (Apolló-11)

Már csak egy év maradt hátra a kitűzött dátumig. A NASA munkatársai mindent megtettek azért, hogy a néhai elnök és az országuk álma valóra váljon. Donald Slayton Neil Armstrongot jelölte ki az első holdraszálló legénység parancsnokául, Michael Collinsot a parancsnoki modul pilótájának és Edwin Aldrint pedig a holdkomp pilótájának.

A startra 1969 július 16-án került sor, néhány hónappal a határidő előtt [3]. A három napig tartó utazás után és a sikeres pályára állást követően kerülhetett sor a várva várt pillanatra, a két űrhajó szétválására és leereszkedés a felszínre. Az első problémát egy komputeres hiba jelenség okozta, ugyanis annyi adat érkezett a számítógépbe, hogy annak túlcsoportulását okozta, ennek ellenére folytathatták az ereszkedést Armstrongék. A következő probléma akkor jelentkezett, amikor a számítógép egyenesen egy kráter közepére irányította őket, ami felborulással fenyegette holdkompot, így kézi irányítással tette le egy megfelelőnek vélt helyen (csupán fél percre elegendő üzemanyag maradt a tartályban). Ezek után kerülhetett sor a kabin elhagyására és az első lépések megtételére. Elsőként a parancsnok, Neil lépett ki, miután megbizonyosodott, hogy minden rendben van, akkor lépett ki Aldrin is. Armstrong ekkor mondata a híressé vált mondatát: *„Kis lépés ez egy embernek, de hatalmas ugrás az emberiségnek”*.

A küldetés során 21 kg Holdport és közetmintát gyűjtöttek össze, felállítottak egy lézer tükröt, aminek segítségével a Földről centiméter pontossággal megállapítható a Föld – Hold távolsága. Továbbá a leszálló fokozat lábán elhelyezett plakettet lepleztek le, kitűzték az amerikai zászlót és beszélgetést folytattak Nixon elnökkel. A járművön kívül összesen 2 óra 41 percet töltöttek el, és a felszínen 21 óra 40 percet. Ezek után a leszálló fokozatról levált a felszálló rész, majd sikeresen dokkoltak a Columbia űrhajóval. 8 nappal a start után a parancsnoki kabin szerencsésen vízre szállt a Csendes-óceánban.

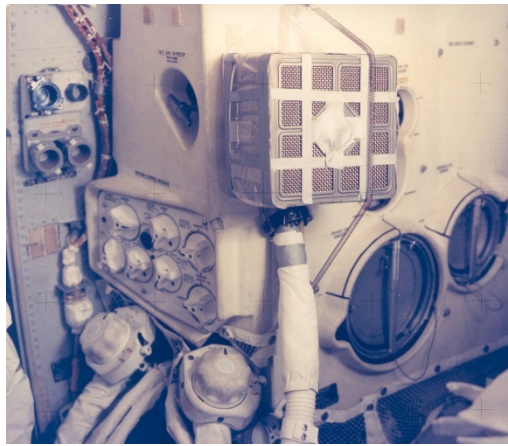
### 3.2.6 „Failure is not an option”<sup>1</sup> (Apolló-13)

Sokan baljós küldetésnek gondolták, ám a legénység nem törődött a babonával. A legénység kijelölése közben már elkezdődtek a problémák. Ugyanis Alan Shepardtól egy fülbetegség miatt elvették a repülési engedélyét, így Slaytonhoz hasonlóan ő is adminisztratív ügyekkel foglalkozott, de nem törődött bele a sorsába, és egy kockázatos műtéttel visszaszerezte az

---

<sup>1</sup> Gene Kranz, az elsődleges repülési igazgató mondta az balesetet követően

engedélyét és rögtön jelöltette magát a következő küldetés legénységének (Apollo-13). Ám a sok éves kihagyások miatt a veterán űrhajós tapasztalatlanak számított és az sem segített neki, hogy két újoncot választott társának. Így aztán az a kompromisszum született, hogy Shepardék kapják a 14-est, és Lovellék a 14-es küldetésről előrébb lépnek a 13-masra [2]. A start előtti héten a tartalék személyzet parancsnoki egység pilótája Charles Duke kanyaró fertőzött lett, és mivel a két legénység együtt készült, az orvosok kivizsgálták mindenkit. A teszteken kiderült, hogy Mattingly nem immunis a fertőzésre, ezért nem engedték, hogy repüljön. Így Swigert lépett a helyére, ami miatt még többet kellett készülniük, hogy összeszokjon a csapat. Ezen ok miatt az új legénységről csak öltönyös kép készült, mert nem maradt idő arra, hogy beöltözzenek az űrruhájukba.



25. *ábra:* Apollo 13 módosított széndioxid szűrője [23]

A Holdhoz vezető út során több TV közvetítést tartottak, ám a sajtó nem találta elég érdekesnek már a programot, ezért nem került be egyik csatorna adásába sem. Az adásokhoz megszüntették az űrhajó hőkiegyenlítő forgását, hogy az antenna mindig a megfelelő pozícióba lehessen a megfelelő minőségű adás eléréséhez. A küldetés harmadik napi adás után újra indították a forgást, valamint az irányítók utasítására megkeverték az oxigén tartályokat, hogy a pontos nyomást mérhessék. A ventilátorok elindítása után egy hatalmas robbanás rázta meg a parancsnoki modult. Lovell parancsnok teljes higgadtsággal tájékoztatta az irányítókat: „Van egy kis problémánk” („We have had a problem”). Ez a „kis” probléma azt jelentette, hogy elkezdett csökkenni a nyomás a tartályból, és a hidrogén cellák feszültsége is elkezdett esni. Először mindenki arra gondolt, hogy meteor találat érte az űrhajó rendszert, ám az ablakon kinézve törmelék és gáz felhőt látott a parancsnok, ami egyértelművé tette, hogy az oxigén tartály robbant fel. Az irányítók utasították a csapatot, hogy kezdjék meg az átköltözést a még üzemen kívül helyezett holdmodulba, és a parancsnoki egységet helyezték üzemen kívülre, erre a feladatra körülbelül fél óra állt rendelkezésükre. Ennél a küldetésnél már a gyorsabb, ám



kevésbé biztonságos hibrid transzfer pályán haladtak, így vissza kellett térni a szabad visszatérési pályára, ugyanis nem volt elég energiája a rendszernek, hogy visszaforduljanak a Föld felé, ezért a Hold gravitációját kellett használni a visszatérésre. A bajt tovább tetézte, hogy a műszaki egységet nem használhatták, ugyanis nem lehetett tudni, hogy az milyen mértékben rongálódott meg. Ezért csak a holdkomp hajtóművére támaszkodhattak (ami ellen a Grmman képviselői hevesen tiltakoztak, mondván nem erre a célra készült a szerkezet). A robbanás után öt és fél órával sikeres pályakorrekciót hajtottak végre. A Hold árnyékából kiérve az irányítás utasítására az Aquarius minden olyan fogyasztót le kellett kapcsolni, amit csak lehetett, többek között a navigációs számítógépet és a fűtést, csak a kommunikációs és létfenntartó berendezések maradhattak üzemben, mivel az akkumulátorok csak 30 órás üzemet tettek lehetővé, ám az út hosszabb volt vissza a Földre. A következő igen súlyos gond a levegő széndioxid szintjének a növekedése okozta (már majdnem halálos szintet ért el), ugyanis a szűrőket két ember 30 órás használatára tervezték. Ugyan volt a parancsnoki modulban tartalék szűrő, de az nem volt kompatibilis a holdkomp szűrőjével, ezért a mérnökök az űrhajókon található anyagok és eszközök segítségével kompatibilissé tették a szűrőket (25. ábra). Ezek után még egy pályamódosításra volt szükség, amit ismét a holdkomppal kellett elvégezni, szinte vakon, ugyanis a számítógépet nem lehetett visszakapcsolni. A küldetés utolsó óráiban a legénység engedélyt kapott arra, hogy visszaköltözzenek sérült űrhajóba, és elkezdjék visszakapcsolni a rendszereit, amit a megfelelő sorrendben kellett végrehajtaniuk. Ezt a sorrendet a földi szimulátoron tesztelték le, nehogy kifogyjanak a szűkös energiából, de még így sem maradt annyi áram, hogy a hőpajzsot fel tudják fűteni, valamint még a holdkomp megmaradt energiáját is áttöltötték a parancsnoki modul akkumulátoraiba. Ezek után leválasztották az Aquariusnak elnevezett holdkomptól és a sérült műszaki egységtől. Ekkor látszódtak a károsodás mértéke. Egy egész oldalleméze hiányzott, és nem lehetett tudni, hogy a hőpajzs megsérült-e. Az utolsó pályakorrekció tökéletesen sikerült, ugyanis az űrkapszula a megfelelő szögben lépett be a légkörbe. Sikeres leszállásuk után a legénységet egyből orvosi kezeléseknak vetették alá, ugyanis fejenként napi 2 dl vizet ihattak meg az út hátra levő részében, (a vizet a hidrogén cellák „égésterméke”-ként nyerték, ám mivel azok nem működtek szigorú korlátozásokat kellett bevezetni, hogy maradjon elég víz a rendszerek hűtésére is). Valamint a fűtés hiányában a legénység szervezete nagyon legyengült, több hétig tartott a felépülésük.

A vizsgálat azonnal elkezdődött, mely rengeteg tervezési és kivitelezési hibát tárt fel. Megállapították, hogy a 28V-os ventilátort tervezési hibából 65V-tal táplálták. A túlmelegedett

vezetékekről a szigetelés könnyűszerrel le tudott olvadni, ami zárlatos lehetett, és a tartály robbanását okozhatta. Mivel a műszaki egység a légkörben elégett, a pontos okok és a sérülés valódi mértéke soha sem ismerhető meg, csak feltételezni lehet azokat. Továbbá a beépített és felrobbant oxigén tartályt egy korábbi egységbe tervezték beépíteni, ám azt egy munkás leejtette és eldeformálódott (a súly csökkentése érdekében csak a szükséges falvastagságúra építették a tartályokat, ezért a mechanikai hatásokat nem viselték el). Ezt a deformációt ugyan kijavították, de ezzel lecsökkent az egész szilárdsága, így könnyebben fel tudott robbanni.

Az esetből tanulva a következő műszaki modulokba egy a fő oxigén tartályoktól eltérő helyre egy biztonsági tartályt építettek be és a ventilátorokat kicserélték 72V-osra. Az esetet követően a Kongresszus csak a 17-es küldetésig adott pénzt a NASA-nak, de azt is csak azért, mert az összes szükséges eszköz le lett gyártva. Így az utolsó három Holdraszállást törölni kellett. A következő küldetéseknek be kellett bizonyítaniuk, hogy a rendszer biztonságos és nem veszélyezteti az asztronauták életét. A feszült helyzetet a Grumman cég azzal próbálta oldani, hogy egy számlát nyújtott be a North American-nak ami a vontatás és szállás költségeit tartalmazta, ám azt a műszaki egységet gyártó cég könyvelői elutasították [1].

Ha egy hasonló baleset történt volna az Apollo-8 útján, az könnyen a legénység életébe került volna, ugyanis nem volt velük a „mentőcsónak”. Sokak szerint a lehető legjobb időben történt a robbanás, ugyanis, ha előbb történik, akkor nem maradt volna elég energia a hazatéréshez, ha később, akkor pedig akár Hold körüli pályán maradhattak volna Lovellék.

### **3.2.7 Utolsó ember a Holdon (Apolló-17)**

Az Apollo-14-es repülése ismét visszaadta a hitet a programba, ám Nixon elnök ennek ellenére is megvonta a támogatásokat, így a hivatal kénytelen volt törölni az utolsó három küldetést. Ilyen hangulatban érkezett el az Apollo-17 [1] útja, melyre nagyon felkészült a NASA. Minden eddigi rekordot meg akartak dönteni, még több tudományos eredményt terveztek elérni, valamint éjszakai starttal terveztek elköszönni a programtól. Már a küldetések tervezésének korai szakaszában felmerült a gondolat, hogy egy geológus is jusson el a Holdra, mert a berepülő pilótákból kiképzett geológusok nem ismerik annyira a tudományágot, mint egy hivatásos szakember. Ennek fényében Slayton azt az utasítást kapta, hogy a már kiválasztott tudósokból álló csapatból Jack Smith-t a tartalék legénységből helyezze át a repülők közé.

A startra 1972 december 6-át jelölték ki, de egy kis műszaki hiba miatti pár órás késés az indulást december 7.-re tette át. Az indítást ismét hatalmas figyelem kísérte, ezzel búcsúztatva ez űrkutatás és a bolygóközi utazás fénykorát. Az indulás után három eseménymentes nap várt

az űrhajósokra, ezek után történ meg a Hold körüli pályára állás, és a landolás a Hold felszínén. Három űrhajón kívüli tevékenységre került sor, melynek során 110 kg kőzetet gyűjtöttek össze, 8 km távolságba mentek a Roverrel, és Jack szakszerű kommentálásával mindaddigénél pontosabb leírást kaphattak a Földön maradt tudósok a Hold felszínén lévő geológiai formációkról. Továbbá az eddig készült legkorszerűbb műszerekkel felszerelt ALSEP (*Apollo Lunar Surface Experiments Package*) egységet állították fel, amivel képesek voltak mérni a regolit vezetőképességét, különböző rengéseit stb... Az utolsó séta alkalmával Cernan parancsnok biztos távolságba parkolt le az autóval a holdkomptól, hogy az irányítás meg tudja örökíteni az utolsó Apollo küldetésének felemelkedését a felszínről.

A szerencsés vízre szállásuk után egy világot rengető korszak zárult le az emberiség életében. Ezzel a NASA a következő feladataira készülhetett, a SkyLab űrállomás és a Space Shuttle űrrepülőgépek megalkotására.

### **3.3 Az Apollo program utóélete**

Az 1972-es utolsó holdraszállást követően maradt hadra fogható eszközei a NASA-nak amivel fel tudott használni, így életre kelt az „Apollo Application” projekt. Ezen projekt keretén belül kerülhetett az első nemzetközi űrrepülésre és pályára állhatott az első amerikai űrállomás is. Ezek rövid összefoglalóiról szól a jelen fejezet.

#### **3.3.1 Apollo – Szojúz tesztrepülés**

A hidegháború enyhülésével lehetőség nyílt arra, hogy a két űrhatalom közös repülést [1] hajtson végre. A Szovjetunió részéről a Szojuz-19 parancsnoka Alekszej Leonov, míg pilótája Valerij Kubaszov volt. Az USA részéről (a jelzés nélküli Apollo küldetés) a parancsnok Thomas Stafford, főmodul pilóta Vance Brand és a dokkoló modul pilóta pedig Donald Slayton volt. Itt meg kell emlékezni Deke-ről. Őt még az Eredeti hetekbe választották be, ám szívritmus zavara miatt kikerült a repülő státuszából, így kinevezték az űrhajósok főnökének. Az Apollo program végére szerencsésen meggyógyult, és visszaszerezte a repülő engedélyét, így válva a legidősebb újoncává.



26. ábra: Apollo - Szojuz tesztrepülés makettje a Smithsonian múzeumban (Washington DC)

Két probléma tárult a küldetést tervezők szemébe. Az egyik a nyelv kérdése, a másik pedig a két űrhajóban alkalmazott eltérő légkör és dokkoló szerkezet volt. Utóbbira a megoldást egy dokkoló modul megalkotása volt (26. ábra). A nyelvi nehézségeket pedig úgy oldották meg, hogy a két légénység megtanulta a másik nyelvét, és dokkoláskor a másik nyelven lépnek egymással kapcsolatba.

A startra 1975 július 15-én került sor, míg az összekapcsolódásra 17-én. Ez után a két parancsnok a másik nyelven mutatta be az űrhajójukat, közös tudományos kísérleteket hajtottak végre és közös vacsorát is elfogyasztottak.

Talán ez a repülés vezetett a hidegháború végére és a Shuttle-MIR küldetések megszervezésére.

### 3.3.2 A Skylab program

Az oroszok a Holdért vívott harcban alul maradtak, így nekiálltak megvalósítani a Szaljut programot. Ennek keretében több (egyszer vagy többször használatos) űrállomást állítottak pályára. Ám ezen a téren a NASA lemaradásban volt, és már az Apollo program sem élvezett nagy állami prioritást, így nekiláttak von Braun tervei alapján megalkotni a saját űrállomásukat [4]. A költségcsökkentés jegyében a Saturn V-ös rakéta 3. fokozatából alakították ki magát az űrállomás fő egységét. Ezt egészítette ki egy légszilip, dokkoló egység és a Nap obszervatórium. A légszilipnek köszönhetően az űrsétákhoz nem kellett leereszteni az űrállomás teljes levegőjét.

1973 május 14-én indult el az űrállomás a Kennedy Űrközpont 39A indítóállásáról (ahonnan a legtöbb Holdexpedíció is indult). Ám a repülés 63. másodpercében egy erőteljes vibráció futott végig a rakéta törzsén, aminek során levált az űrállomás külső borítása, és ez a darab magával sodorta az egyik napelem táblát is, továbbá a törmelékek miatt a másik napelem szárny nem tudott kinyílni. Így csak a napobszervatórium kis méretű napelemei termeltek áramot, de az

még a minimális igényeket sem tudta kielégíteni. Ezek ellenére az állomást sikeresen pályára tudták állítani (27. ábra). A helyzetet nehezítette, hogy a levált hőpajzs miatt az űrállomás belsejében a hőmérséklet rohamosan emelkedni kezdett, így a másnapra tervezett startot el kellett halasztani, hogy a mérnökök egy ideiglenes megoldást ki tudjanak dolgozni.



27. ábra: A Skylab űrállomás orbitális pályán [24]

Az első legénység 1973 május 25-én indult Pete Conrad, dr. Joseph Kevin és Paul Weitz trió, hogy megmentse az új munkahelyüket. Ám a gondokat tetézte, hogy nem sikerült a dokkolás, így rögtön a dokkoló egység kijavításával kellett kezdeni, ezek után kerülhetett sor az ideiglenes hőpajzs felszerelésére és a ki nem nyílt napelem kinyitására. Az energiaellátás és a hőmérsékleti gondok megszűnése után kezdődhetett el a tudományos munka. Az első legénység 28 napig lakta az űrállomást. A váltás személyzet Al Bean, dr. Owen Garriott és Jack Lousma érkezett július 28-án, hogy a következő 59 napban folytathassák a Conradék által megkezdett munkát. A gondok ennél a küldetésnél is jelentkeztek, ugyanis az űrhajójuk meghibásodott, ezért neki álltak a földön átalakítani egy Apollo űrhajót öt férőhelyessé, hogy vész esetén így hozzák le a legénységet. A harmadik, egyben utolsó legénység (Gerry Carr, Edward Gibson, William Pogue) november 16-án indult el, hogy rekord ideig, 84 napot töltsenek el. Velük zárult le az űrállomás program, ugyanis az űrsikló rendszerbe állítása késett, és a hajtómű nélküli objektumot nem lehetett magasabb pályára állítani, így 1979 július 11-én irányítatlanul belépett a légkörbe. Az el nem égett darabjai Ausztrália lakatlan területére zuhantak.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozatban bemutatásra került az emberiség eddigi legnagyobb vállalkozása, melyben a NASA ember juttatott a Holdra és onnan biztonságosan vissza is hozta őket. Az egész vállalkozás alig tartott öt évig, ennek ellenére a tudósok jobban megismerhették a Holdat, a Föld keletkezést és a Föld – Hold rendszert. Az utazásoknak köszönhetően nem csak az űripar fejlődött hatalmasat, de a hozzá kapcsolódó iparágak, mint például a számítás technológia és az anyagtudományok. A program a nemzetnek nagy anyagi terhet jelentett és az Apollo-13 útja a politikai vezetést arra a döntésre juttatta, hogy egy másik jövedelmezőbb és kevésbé kockázatos küldetéseket kell végrehajtani. Így született meg a SkyLab űrállomás, ami keretében csillagászati és orvostudományi kísérleteket hajtottak végre az oda érkező legénységek. Az űrállomás vesztét a SpaceShuttle program csúszása okozta. Az Űrsikló rendszer sikerét mi sem mutatja jobban, hogy 30 évig megbízható eszköze volt a NASA-nak. Az Apollo-Szojuz repülése pedig a nemzetközi összefogás mintapéldája volt.

Bemutatásra került két MATLAB szimuláció, az egyik a Saturn V rakéta indítási szimulációja volt, a másik pedig az űrhajó sebességének az alakulása a Föld – Hold – Föld viszonylatban. Az indítási szimuláció eredményi az űrhajósokat ért terhelési többes értékei, a különböző viszonyítási rendszerhez képesti sebesség viszonyok és az elért magasság volt. A második szimuláció során azzal a feltételezéssel lehetett élni, hogy a Föld – Hold a legideálisabb helyzetben van, így a legrövidebb idő alatt el lehet jutni. Ezt azzal lehetne kiegészíteni, hogy megvizsgálva a Hold helyzetét, kiszámítható legyen a szükséges indítási sebesség. Valamint hasonló szimulációt elvégezni más bolygóközi utazásokra.

Ilyen előzmények után jöhetett létre a Nemzetközi Űrállomás, mely már több mint tíz éve a kutatók égi laboratóriuma. És további törekvések vannak az irányában, hogy egy hasonló összefogás keretében ismét ember léphessen a Holdra. Ennek első lépése lenne egy amerikai-orosz űrállomás [25] a Hold körül, ennek a programnak a *Deep Space Gateway* (DSG) nevet adták, jelezve, hogy ez lenne az ugródeszka a további bolygóközi utazásokhoz. Ennek az állomásnak a megépítését a 2020-as évek közepére tervezik. Ám egyik nemzet sem rendelkezik olyan eszközzel, amivel egy Holdutazás megvalósítható lenne. A NASA SLS hordozó eszköz (*Space Launch System*) és az Orion űrhajó rendszerbe állítása legkorábban 2019-ben várható.

## 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Alan Shepard and Deke Slayton with Jay Barbree: *Moon Shot, The Inside Story of Americans Moon Landings*, Open Road Integrated Media, New York (NY), 2011, 16-366. oldal
- [2] Jim Lovell – Jeffry Kluger: *Apollo 13*, First Mariner Books, Boston (MA), 2006, 27-56, 74-335. oldal
- [3] Jay Barbree: *Neil Armstrong – Az első ember, aki a Holdra lépett*, Akkord kiadó, Budapest, 2015, 115-345. oldal
- [4] David Shayler: *Around The World in 84 Days*, An Apogee Books Publication, Burlington, Canada, 2008, 93-114. oldal
- [5] Pálinkás Tibor: *A holdutazás fedélzeti számítógépe*, Folyóirat: A rádiótechnika évkönyve, 2012, Rádióvilág Kft, Budapest, 115-126. oldal
- [6] C. H. Woodling, Studey Faber, John J. Van Buckel, Cbades C. Olasky, Wayae K. Williams, John L. C. Mire, and Jumes R. Homer: *Apollo Experience Report - Simulation of Manned Space Flight for Crew Training*, Manned Spacecraft Center (NASA), Houston, Texas (USA), 1973
- [7] <http://www.braeunig.us/space/pdf/SimEquations.pdf>, letöltve: 2017. október 28.
- [8] <http://www.braeunig.us/apollo/Saturn V.htm>
- [9] BME, KJK, VRHT: Úrdinamika 3. óravázlat: [http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki\\_letoltheto\\_anyagok/Tantargyak\\_anyagai/Ur\\_dinamika/003\\_urdinamika.pdf](http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Tantargyak_anyagai/Ur_dinamika/003_urdinamika.pdf) , letöltve: 2017. október 28.
- [10] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Mercury-program>
- [11] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Gemini-program>
- [12] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Apollo-program>
- [13] <https://www.nasa.gov/sites/default/files/gpn-2000-000651.jpg>
- [14] [https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/163810main\\_image\\_feature\\_709\\_ys\\_full.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/163810main_image_feature_709_ys_full.jpg)
- [15] [http://www.spacecollection.info/us\\_apollo/apollo\\_logo.jpg](http://www.spacecollection.info/us_apollo/apollo_logo.jpg)
- [16] [https://www.nasa.gov/sites/default/files/apollo\\_4\\_at\\_pad-full\\_0.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/apollo_4_at_pad-full_0.jpg)
- [17] [https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/337147main\\_pg44\\_AS09-24-3641HR\\_full.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/337147main_pg44_AS09-24-3641HR_full.jpg)
- [18] <https://airandspace.si.edu/sites/default/files/images/collection-objects/record-images/A19770320000CP03.jpg>
- [19] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/17/Apollo\\_Direct\\_Ascent.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/17/Apollo_Direct_Ascent.png)
- [20] <https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/apollo/apollo14/hires/as14-66-09277.jpg>
- [21] [https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/171016main\\_image\\_feature\\_74\\_ys\\_full.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/171016main_image_feature_74_ys_full.jpg)

- [22] <https://www.universetoday.com/wp-content/uploads/2010/04/apollo-1-fire-580x439.jpg>
- [23] [https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/9460197120\\_1573df540b\\_o.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/9460197120_1573df540b_o.jpg)
- [24] [https://www.nasa.gov/sites/default/files/sl4-143-4706\\_1.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/sl4-143-4706_1.jpg)
- [25] [http://www.urvilag.hu/urpolitika/20171027\\_kapu\\_a\\_tavoli\\_vilagur\\_fele](http://www.urvilag.hu/urpolitika/20171027_kapu_a_tavoli_vilagur_fele)
- [26] [https://airandspace.si.edu/sites/default/files/styles/slideshow\\_sm/public/images/collection-objects/record-images/a19720316000d.JPG?itok=a83VT-rg](https://airandspace.si.edu/sites/default/files/styles/slideshow_sm/public/images/collection-objects/record-images/a19720316000d.JPG?itok=a83VT-rg)