

Barna Péter, Nagy Rudolf

AZ APOLLO 1 ŰRHAJÓ TÚZESETE

Az 1960-as években az Amerikai Egyesült Államok hatalmas energiát és pénzt fektetett abba, hogy az űrversenyben utolérje és megelőzze a Szovjetuniót. Jurij Alekszejevics Gagarin első emberként hajtott végre űrutazást 1961. április 12-én a Vosztok-1 űrhajó fedélzetén. A nemzete büszkeségének helyreállítása érdekében John F. Kennedy 1961. május 25-i beszédében jelentette be, hogy az USA az évtized végéig embert juttat a Holdra. A NASA a rendelkezésére álló 9 év alatt tervezte teljesíteni a kitűzött célt. A Mercury és Gemini-program tapasztalataira hagyatkozva hozták létre az Apollo-programot, melynek űrhajóival az idegen égitestre történő landolás volt a kitűzött cél. A kísérleti repüléseknél gyakran fordulnak elő balesetek, nem tervezett veszélyhelyzetek. Ezek nem kerülhették el az amerikai űrprogramot sem. Az Apollo 1 fedélzetén kialakult tűz három asztronauta életét követelte és másfél évvel késleltette az Apollo-program első repülését. A tüzeset vizsgálata arra keres választ, hogy miként történhetett meg ez a tragikus baleset a szigorúan ellenőrzött körülmények ellenére.

Kulcsszavak: űrverseny, tüzeset, túlnyomásos kabin, oxigénindex, turbulens áramlás, anyagok éghetősége

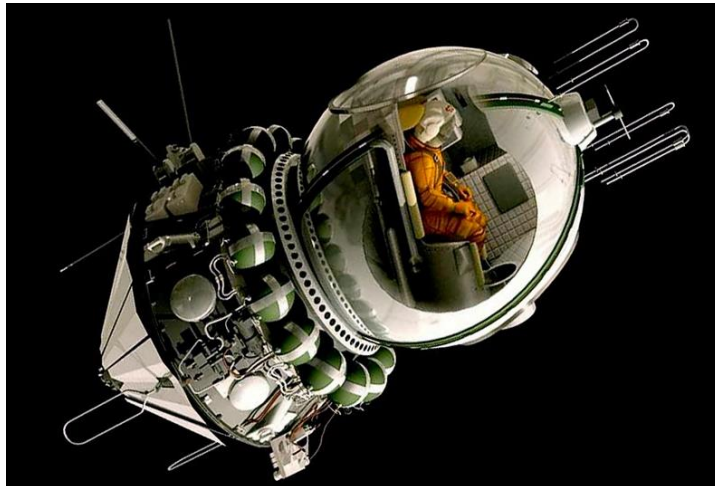
AZ ŰRVERSEN

Németország 1945. május 8-i kapitulációjával Európában véget ért a II. világháború. Az amerikai és szovjet haderő sietve kezdte begyűjteni egymás elől a Wehrmacht hátrahagyott kísérleti fegyvereit és az azokat kifejlesztő tudósokat. Ekkor került az Egyesült Államokba Wernher von Braun és az általa tervezett V-2 rakéta. Az új folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek segítségével 1947. október 14-én Charles E. "Chuck" Yeager lépte át elsőként a Bell X-1 típusú repülőgépével a hangsebességet. Amerika ekkor úgy érezte, hogy technológiai fölényt sikerül kialakítania az általa visszamaradottnak vélt szovjet iparral szemben. 1949-ben viszont a CIA¹ titkos szovjet atomrobbantást észlelt, és jelentéseik szerint ennek az új fegyvernek a hordozására az orosz tudósok egy interkontinentális ballisztikus rakéta fejlesztésébe kezdtek. Az új fenyegetésre válaszul a Pentagon von Braun-t bízta meg azzal a feladattal, hogy a V-2 továbbfejlesztésével hozzon létre egy hasonló fegyvert. Az amerikai atomfegyverek hordozására szolgáló B-36 Paecemaker és B-47 Startojet stratégiai bombázókat végül a Redstone ballisztikus rakéták váltották fel [1][2].

A Redstone rakéta repülési pályája elérte az űr elméleti határát és ez egy új gondolatot ébresztett az amerikai tudósokban. Dwight D. Eisenhower elnök bejelentette, hogy az USA 1957 és 1958 között a Vanguard-program keretében egy műholdat fog juttatni a világűrbe. Ekkor már a CIA tudott a szovjet ballisztikus fegyverek fejlettségéről, de semmi jel nem utalt arra, hogy azokkal lenne a kozmoszt megcélzó bármilyen tervük. 1957. október 4-én azonban ők állították földkörüli pályára a világ első műholdját a Szputnyik 1-et. A gömb alakú űreszköz antennáiból egyszerű rádiójeleket bocsátott ki, miközben 98 percenként kerülte meg a földet. Ezzel a világ tudtára adták, hogy atomfegyvereikkel képesek elérni a bolygó bármely pontját. Amerika válaszul 1957. decemberében indította volna el a Vanguard-ot, de az az indítóállványra visszazuhanva felrobbant. 1957. november 3-án Lajka kutya űrrepülésével a szovjetek bizonyították, hogy az

¹ CIA- Central Intelligence Agency- Központi Hírszerző Ügynökség

életkörülmények fenntartására képes űreszközt is létre tudnak hozni. Végül az USA 1958. január 31-én jutott fel az űrbe az Explorer 1 nevű mérőműszereket szállító műholdat, majd ezt követően hozta létre 1958. október 31-én a NASA-t². Ennek célja az volt, hogy a források és szakértelem központosításával a leghatékonyabban szerezzék meg az előnyt az űrversenyben, és hogy elkerüljék a párhuzamos fejlesztésekből adódó hátrányokat [1].



1. ábra Gagarin és a Vosztok-1 űrhajó [3]

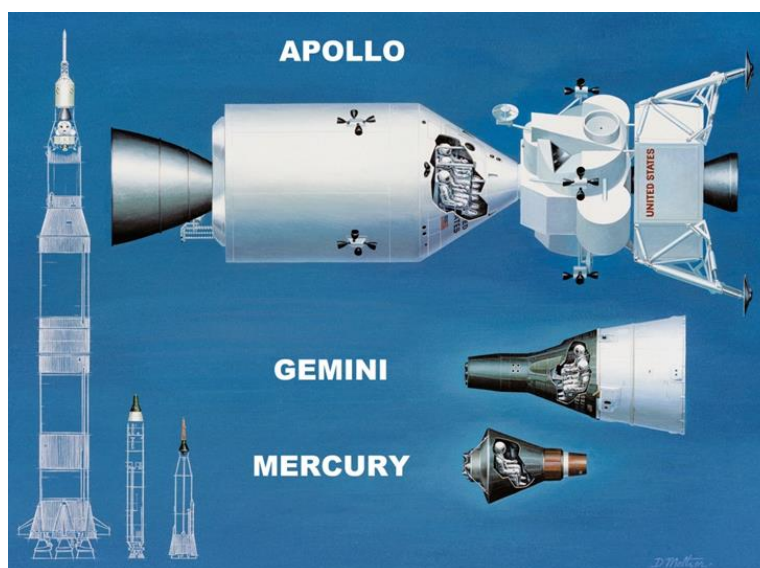
Jurij Gagarin, a szovjet kozmonauta által 1961. április 12-én végrehajtott első sikeres földkörüli pályán történt űrrepülés elkápráztatta az egész világot (1. ábra). Ez az esemény egyben ráébresztette az Amerikai Egyesült Államok vezetőit, köztük John F. Kennedy amerikai elnököt, hogy a hidegháborús ellenfelük tetemes előnnyel rendelkezik a kozmosz meghódításáért folytatott versenyben. 1961. május 5-én Alan Shepard volt az első amerikai, akinek sikerült űrúgrást végrehajtania a Mercury-Redstone-3 „Freedom 7”³ nevű űrhajójának fedélzetén, de ennek mértéke nem vetekedett Gagarin orbitális pályán történt repülésével. Kennedy 1961. május 25-i kongresszusi beszédében jelentette be, hogy az USA az évtized végéig embert szándékozik juttatni a Hold felszínére, ezzel helyreállítva a nemzet büszkeségét és előnyét az űrversenyben. A beszéde így szólt: *„Úgy döntöttünk, hogy eljutunk a Holdra. A Holdra szállunk még ebben az évtizedben, azután továbblépünk. Nem a dolgok könnyebb végét fogjuk meg, hanem a nehezebbet”* [1][4].

A NASA első lépése az űr felé az 1958. október 7-én kezdődő Mercury-program volt. A fő céljuk, hogy embert juttassanak a világűrbe a szovjetek előtt, de Jurij Gagarin repülése és John F. Kennedy bejelentése után ez tapasztalatgyűjtésre módosult a későbbi Apollo-program számára. A huszonhat tesztrepülés során hat alkalommal vittek embert a fedélzetén a McDonnell Repülőgépgyár által létrehozott Mercury kapszulák. Az első húsz pályára állítás vagy üresen, vagy állattal a fedélzetén történt. Az űrúgrásokhoz a NASA a fentebb említett Redstone hordozórakéta módosított változatát használta, a földkörüli pálya eléréséhez pedig az erősebb Atlas rakétát. A Mercury-Atlas-6 „Friendship 7” fedélzetén John Glenn volt az első amerikai asztronauta, akinek sikerült orbitális pályára állnia 1962. február 20-án. A program utolsó repülését 1963. május 15-én Gordon Cooper hajtotta végre a Mercury-Atlas-9 „Faith 7” fedélzetén [1][4].

² NASA – National Aeronautics and Space Administration – Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal

³ A Mercury űrhajók elnevezése: Program-Hordozórakéta-Sorszám „A kapszula pilótától kapott neve”

A Gemini-program 1961. december 7-én kezdődött. A cél tapasztalatgyűjtés volt a párhuzamosan folyó, és a Holdat megcélzó Apollo-program (2. ábra) számára az űrben elvégzendő bonyolultabb műveletekről. A McDonnell Repülőgépgyár a Mercury űrhajók tapasztalatai alapján fejlesztette ki a két személyes Gemini kapszulát. Az orbitális pálya eléréséhez a Titan II interkontinentális hordozórakéta módosított változatát használták. A program elsőként az űrséták lebonyolításával kísérletezett, melynek során az asztronauták az űr vákuumában hajtanak végre műveleteket az űrhajón kívül. A Szovjetunió tartotta az előnyét az űrversenyben, mivel 1965. március 18-án Alekszej Leonov már végrehajtotta egy ilyen a feladatot, melynek során 12 percet töltött a világűrben elhagyva Voszhod-2 űrhajóját. A NASA a Gemini 4 küldetésén végezte el első űrsétáját, hogy a szovjetek diktálta tempót tarthassa. Az 1965. június 3. kezdődő 4 napos küldetés során James McDivitt parancsnok és Edward White pilóta tartózkodott a kétszemélyes űrhajó fedélzetén. Az utóbbi hajtott végre az első amerikai űrsétát a repülés első napján, továbbá ő volt az Apollo 1 személyzetének egyik tagja, aki a baleset során az életét veszítette. Második lépésként egy sikeres űrrandevú lebonyolítása volt a program célja, melynek során két űrjármű irányítottan találkozik a világűrben. Több kudarcba fulladt próbálkozás után 1965. december 15-én a Gemini 6 sikeresen megközelítette a Gemini 7 űrhajót, végrehajtva a világ első irányított űrrandevúját. Ezzel az USA utolérte és megelőzte a Szovjetuniót a versenyben. Tizenkettő Gemini űrhajót juttattak az űrbe, amiből tíz fedélzetén repült ember. Az űrsétákról és az űrrandevúkról szerzett tapasztalatok nagyban hozzájárultak az Apollo-program sikeréhez [1][4], mely John F. Kennedy bejelentését követően 1961-ben kezdődött, és a Holdról hazatérő Apollo 17 1972. december 17-én történt sikeres visszatéréssel zárult.



2. ábra A Mercury, Gemini, Apollo konstrukciója⁴ [5]

Az űrhajó építésével egyszerre több beszállító céget bíztak meg. A NASA célja az volt, hogy biztonságosan embert juttasson a Hold felszínére, és onnan vissza a Földre. Elsőként az Apollo 11 leszállóegységének sikerült ez a manőver 1969. július 20-án. Neil Armstrong lépett ki elsőként a Sas elnevezésű kompból, és ekkor hangoztak el híressé vált szavai: „Kis lépés ez egy embernek, de óriási ugrás az emberiségnek” [6]. A küldetések során tizenhét Apollo űrhajót juttattak a világűrbe.

⁴ Szerkesztették a szerzők a forrás nyomán.

Ebből hatnak sikerült végül landolni a Holdra, és onnan biztonságosan hazatérnie. Tizenkét amerikai asztronauta léphetett az idegen égitest felszínére, akik felbecsülhetetlen értékű közetmintákkal és mérési eredményekkel tértek vissza, ezekkel segítve a tudomány fejlődését.

A program egy tragédiával kezdődött, melynek során az indítóállvány mellett álló Apollo 1 űrhajón végrehajtott tesztek során a parancsnoki modulban tűz ütött ki, ami a három űrhajós életét követelte. A későbbi repülések során a feltárt hibákat kijavították, de így is következtek be nem tervezett események. Közülük a legsúlyosabb az Apollo 13 balesete, melynek során egy hibás tekercselés miatt került veszélybe a legénység élete. Az űrrepülések során a pilóták életének védelme a legfontosabb. Ennek érdekében a NASA mindent meg is tett, de ezek az űrutazások többnyire kísérleti repüléseknek voltak tekinthetők, így előfordulhattak olyan események, amikre a jól képzett szakemberek sem lehettek felkészülve [1][2][4].

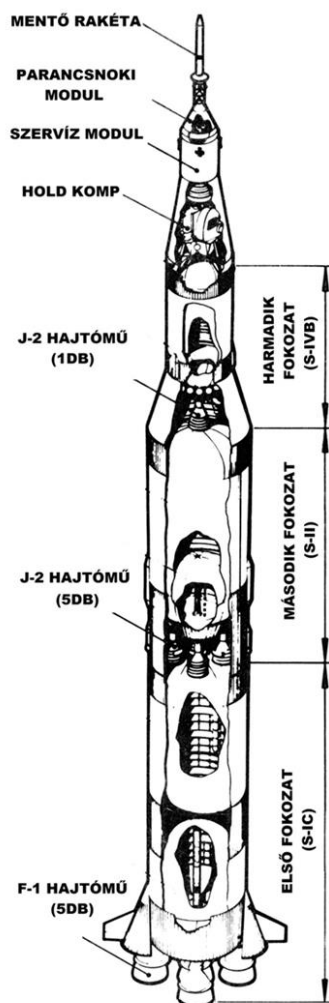
AZ ŰRHAJÓ ÉS HORDOZÓRAKÉTÁJA

Az Apollo űrhajók földkörüli, majd a Holdat célzó pályára állításához a NASA-nak ki kellett fejleszteni egy megfelelően nagy, mégis hatékony hordozóeszközt. Wernher von Braun-t bízta meg a feladattal, aki Kennedy 1961-es beszéde után hozzá is látott a munkához. A korábbi tapasztalatok alapján épült kétfokozatú Saturn I rakéta először 1961. október 27-én emelkedett a levegőbe. Ennek továbbfejlesztése már 1962-ben megkezdődött. A Saturn IB az elődje módosított hajtóműveivel már képes volt az Apollo parancsnoki és szerviz moduljának űrbejuttatására. A kivitelezés elhúzódása, és a fellépő problémák miatt az első felszállásra csak 1966. február 26-án került sor. A Holdat megcélzó Saturn V a rakétacsalád korábbi fokozatainak összeépítéséből született (3. ábra). A 111 m magas hordozórakéta 2 800 000 kg-ot nyomott és három fokozattal 43 500 kg hasznos terhet tudott a Holdra szálláshoz az űrbe juttatni. A rakéta felépítésének részletes megismerésében a Holdséta című könyv [1] és a Gépek a Holdon című sorozat [2] voltak segítségemre. A rakéta tulajdonságainak és repülési karakterisztikájának pontosításához a NASA hivatalos weboldalán található információkra hagytam [7][8].

Az első S-IC fokozat a korábbi Saturn IB rakéták első fokozatával volt megegyező. 5 db F-1 hajtóműve 34 046 kN tolóerőre volt képes. Működése során 1 311 160 l kerozint és 805 709 l folyékony oxigént égetett el az indítást követő 2,5 percen. Ez idő alatt 61 km-es magasságig jutatta az űreszközt, majd leállása után robbanótöltetekkel vált le az űrhajó többi részétől. A fokozat célja légkör sűrű, alsó légrétegein történő átjutás volt.

A következő S-II fokozat 5 darab J-2 hajtóműve 4 982 kN tolóerőt biztosított a pályára állítás második, 6 perces fázisában. Eközben 1 069 586 l folyékony hidrogént és 325 443 l folyékony oxigént égetett el. Működésének 6 perce alatt az űrhajót 6,84 km/s-es sebesség fölé gyorsította és 185 km-es magasságig emelte. A hajtóművek leállása és az űrhajóról történő leválás után fékezőrakéták indultak be. A lassítás nélkül az elhasznált fokozat ballisztikus pályán elérhette volna Európát, de így az Atlanti óceánba zuhant. A fokozat az elért magassággal túlhaladt az űr 100 km magasan elhelyezkedő hivatalos határán. Ezt az elméleti magasságot Kármán Tódor határozta meg, és az ő tiszteletére Kármán-vonalnak nevezték el. A FAI⁵ az e fölött végzett repülést végrehajtókat ismeri el űrhajósként.

⁵ FAI – Fédération Aéronautique Internationale- Nemzetközi Repülősport Szövetség

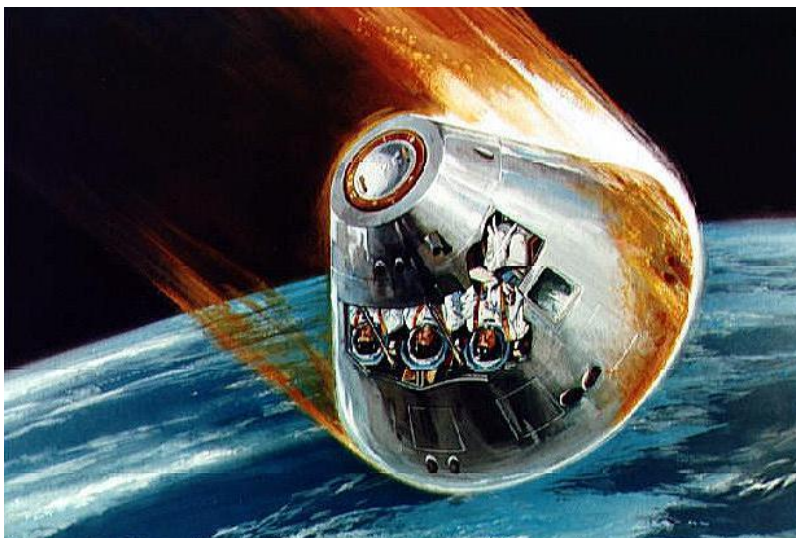


3. ábra A Saturn V rakéta [9]

Az utolsó S-IVB fokozat már csak egy darab J-2 hajtóművet használt. Ennek feladata a 7,91 km/s első kozmikussebesség elérése volt, mellyel az űrhajó stabilizálta a Föld körüli pályáját. A hajtómű konstrukciója lehetővé tette annak újraindítását, és másodszor a Föld-Hold pályára történő átállás során indították be. A kívánt irányváltoztatás után a meghajtás leállt, elengedte a holdkompot, és a parancsnoki és szervíz modult. A feleslegessé vált fokozatot a Hold vagy a Nap felé irányították, és adatok gyűjtésére használták fel annak pusztulásáig. A konstrukciót korábban már a Saturn I rakétákon is használták.

A rakéta tetején kapott helyet az Apollo űrhajó és alatta a holdkomp. A Föld körüli pályát elhagyva levált róluk a védőborítás és az űrkabin elején található mentőrakéta, melynek feladata a parancsnoki modul katapultálhatóságnak, és a hangsebesség feletti optimális áramlási viszonyok biztosítása volt. Ezután 180°-os fordulatot téve csatlakozott az űrhajó a leszálló egységhez, és így folytatták útjukat a Hold felé. Az űrhajó két részből állt. Az elején volt a kúp alakú parancsnoki modul, ahol az asztronauták az indítás és a visszatérés idején tartózkodtak. E mögé a hengeres szervíz modult rögzítették. Ebben a részegységben volt elhelyezve a Hold körüli pályája elhagyásához szükséges hajtómű és hajtóanyag, a kéthetes küldetés során a három asztronautát életben tartó rendszerek és az elektromos ellátást biztosító üzemanyagcellák. Az összekapcsolódás után az erre alkalmas parancsnoki modulból tudott a legénység egy dokkoló

alagúton keresztül átszállni a leszállóegységbe.⁶ A holdkomp feladata volt, hogy két asztronautával biztonságosan landoljon a Hold felszínén, majd onnan felszállva és Hold körüli pályára állva űrrandevú során csatlakozni a parancsnoki egységhez. A szervizmodul és a holdkomp üzemanyagául hidrazin és nitrogén-tetroxid szolgált.



3. ábra A légkörbe visszatérő parancsnoki modul [10]

A Hold hatássféráját elhagyva majd a Föld orbitális pályáját ismét elérve a parancsnoki modul levált az űrhajó többi részéről és megkezdte a visszatérést. A magukra hagyott részegységek a Föld légkörébe érve elégték. Visszatéréskor a légkör súrlódásából adódó magas hőmérséklet (4. ábra) veszélyeztette az űrhajó szerkezeti szilárdságát, ezért az Apollo parancsnoki moduljait hővédőpajzzsal borították. A fenolgyantából készült pajzs szublimációja során hőt vont el, így akadályozta az űrkabin túlmelegedését. A sűrűbb légrétegeket elérve érve stabilizáló és fékező ernyők lassították tovább az űrkabint. A vízreszállást követően az Amerikai Haditengerészet egyik kijelölt repülőgép-hordozójának fedélzetére emelték az asztronautákat és a parancsnoki egységet.

Az előrehaladott rakétafejlesztések korlátozták a mérnökök tervezési szabadságát. A már meglévő hajtóművek és fokozatok teljesítménye meghatározta a Saturn V rakéta által hordozható maximális terhet. Emiatt a mérnökök az Apollo űrhajó kialakításánál a tömegtakarékos megoldásokat preferálták.

AZ ŰRHAJÓSOK ÉS A BALESET RÖVID BEMUTATÁSA

Az űrhajósok

A három asztronauta (5. ábra), aki a baleset során életét veszítette, hatalmas repülési tapasztalattal és műszaki tudással rendelkezett. A kimagasló képességeik alapján válogatták be őket az amerikai űrprogramba. Az első legénység, amely az új Apollo űrhajót tesztelhette, úgy lett kiválasztva, hogy az asztronauta képzés mind három fázisából kerüljön egy pilóta a kabinba. A veterán űrhajósok így átadhatták tapasztalataikat a frissen kiképzett Apollo kadétoknak.

⁶ Az Apollo 9 előtti parancsnoki modulokon még nem volt kialakítva dokkoló gyűrű, mivel azok még nem vittek magukkal holdkompot.



4. ábra Az Apollo 1 személyzete: Ed White, „Gus” Grissom, Roger Chaffee [14]

A Virgil Ivan „Gus” Grissom 1923. április 3-án született Mitchellben, Indiana államban. 1944-ben lett a légierő pilótája, majd a koreai háború során F-86 Sabre vadászpilótaként több mint 100 bevetésen vett részt. 1956-ban szerzett tesztpilótai jogosítást az Edwards Légibázison. A következő évben a Wright-Patterson támaszponton kezdte meg tesztpilóta szolgálatát. 1958-ban választották be a Mercury-program űrhajósai közé. Ő volt a második amerikai, akinek sikerült szuborbitális pályára állnia a Mercury-Redstone-4 „Liberty Bell 7” fedélzetén. Később ő volt a parancsnoka a Gemini-3 repülésének, és a Gemini-6 tartalékparancsnokaként számított rá a NASA [11].

Edward Higgins White, II 1930. november 14-én San Antonio-ban született. 1952-ben végzett a West Point Akadémiáján, majd repülőmérnöki diplomát szerzett. A légierőnél pilótaként szolgált a Német Szövetségi Köztársaság területén F-86 és F-100 típusú repülőgépeken. 1959-ben végezte el a tesztpilóta képzést az Edwards Légibázison, később a Wright-Patterson támaszponton teljesített szolgálatot. 1962-ben beválogatták a Gemini-program űrhajósai közé, és a Gemini 4 fedélzetén ő hajtotta végre a NASA első űrsétáját [12].

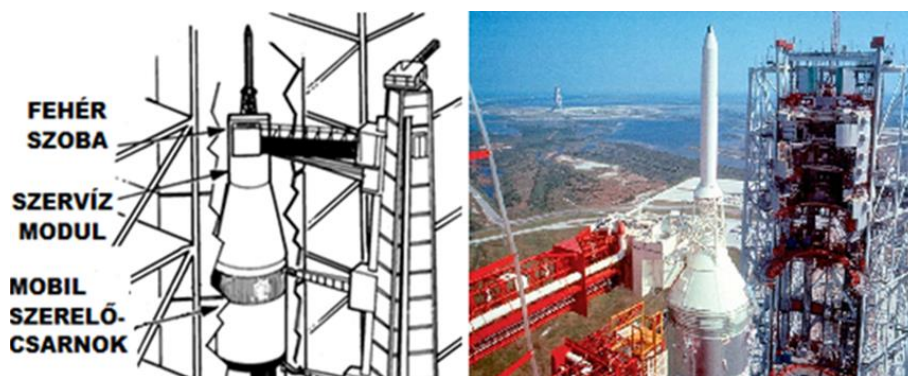
Roger Bruce Chaffee 1935. február 15-én született Grand Rapids-ban. A Purdue Egyetemen szerzett repülőmérnöki diplomát, majd 1957-ben az Egyesült Államok Haditengerészetének tisztje lett. RA-3 Skywarrior felderítőgépen szolgált, majd a kubai rakétaváltás idején végrehajtott felderítő repülései, és az itt készített felvételek bizonyították kiváló képességeit. 1963. 10. 17-én választotta ki a NASA az Apollo-programba [13].

A baleset

A baleset egy tesztorozat alatt következett be. 1967. január 27-én a NASA repülésirányítói, mérnökei és technikusai dolgoztak a NASA John F. Kennedy Űrközpontjának 34-es indítóállásán (6. ábra).

A vizsgálat rutineljárásnak számított a korábbi űrprogramok alapján. A plombás-próba célja az volt, hogy ellenőrizzék a már beszerelt rendszereket az indítás előtti időszakot szimulálva, amikor az űrhajó és az állvány között megszűnik minden közvetlen összeköttetés. A három asztro-nauta az ebédet követően elkezdett beöltözni az űrruhájába. Helyi idő szerint tizenhárom óra után értek az indítóállványhoz, ahol egyből be is fektették őket az üléseikbe. A parancsnoki modul lezárása után megkezdődött a kabin és az űrruhák feltöltése tiszta oxigénnel. Ez a lépés

azért volt fontos, mert a világűrben is ilyen környezetben kellett mindennek működnie. Az előzetes jelentésekből már kiderült, hogy a hajó 88 alrendszere még nem működött teljesen hibátlanul, ennek ellenére belekezdtek a kísérletsorozatba. Az űrhajósok sikeresen végigmentek az ellenőrző listán, és várták a szimulált visszaszámlálás megkezdését. Ekkor jelentkeztek az első problémák. A kommunikációs rendszerben fellépett hiba miatt akadozott a vétel a torony és parancsnoki modul között, de a hajó többi rendszere a műszerek szerint hibátlanul működött. A NASA emberei nehezen találták meg a hiba okait, ezért a kísérletek elhúzódtak. A technikusok óránként váltották egymást, hogy folyamatosan kipihent állapotú szakemberek foglalkozhassanak a felmerülő problémákkal, de az űrhajósoknak erre nem volt lehetőségük. Nekik az ülésükbe szíjazva kellett feküdniük a tesztek végéig [1][4].



5. ábra Az Apollo indítóállása és a mobil szerelőcsarnok⁷ [16]

Helyi idő szerint 18:30-kor „Gus” Grissom gúnyosan meg is jegyezte: „*Hogyan akarunk a Holdra menni, ha két vagy három épület között sem tudunk kommunikálni?!⁸*” Ekkor még a műszerek normális paramétereket mutattak. Közben már úton voltak a technikusok a 34-es torony teteje felé, akiknek a teszt befejezése utáni teendőket kellett volna ellátniuk [1][4].

18:31-kor a rádión újra Grissom hangja hallatszott. Kétségbeesetten kiáltotta: „*Tűz van idebenn!⁹*” Ekkor észlelte a légénység először a tüzet. A kabin belsejében elkezdett nőni a hőmérséklet és a nyomás. A torony karján álló két szakember döbbenten vette észre az égett szagot és a lángokat a kabin belsejéből. Rögtön segítségért kiáltottak. A kétségbe esett Roger Chaffee rádiózása hallatszott: „*Hatalmas tűz a kabinban¹⁰*” Az űrhajó rázkódott a személyzet mozgásától. Vészesen ingadozott a kabin és az űrruhák oxigénellátása. Roger Chaffee ekkor rádiózott utoljára: „*Égünk, vigyetek ki minket!¹¹*” Ezután a rádió összeköttetés megszakadt [1][15].

A kabint körülvevő szerelőcsarnokban tartózkodó szakemberek a tűz észlelése után rögtön riasztották a repülésirányítást, és megkezdtek a pilóták mentését. A parancsnoki modul külsejét is elborító tűz és füst ellen a fehérszobából¹² tudtak kézi oltókészülékeket és gázálcokat magukhoz venni. A lángok és az égéstermékek a mentést végzőkre is veszélyt jelentettek. Rövid időközönként el kellett hagyniuk a mentés területét, hogy friss levegőhöz jussanak. A kabin

⁷ Szerkesztették a szerzők a forrás nyomán.

⁸ Idézet: [1], 140 p.

⁹ Idézet: [1], 140 p.

¹⁰ Idézet: [15], 50 p.

¹¹ Idézet: [15], 50 p.

¹² Fehérszoba: A kilövőállás felső rámpája végén lévő helyiség, amelyből a légénység beszállását felügyelik.

külső burkolatának eltávolítása és az ajtók külső nyitása a riasztás után körülbelül öt és fél perccel sikerült. Az érkező további technikusok, mentők és tűzoltók ekkor már semmit sem tehettek. Az orvosok megállapították a pilóták halálának beálltát [1][4].

ÉGÉSELMÉLET

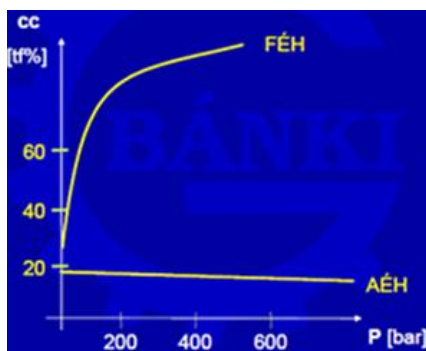
A tüzeset vizsgálatához elengedhetetlen az Apollo 1 kabinjában kialakuló speciális viszonyok égéselméleti hátterének ismerete. Az égés alapfeltétele, hogy az éghető anyag, az oxidálószer és a gyújtóforrás térben és időben egy helyen legyenek. A továbbiakban éghető anyagként a műanyagokat, gyújtóforrásként az elektromos szikrákat és ívet vizsgálom, valamint a tiszta oxigénes légkör és a turbulencia égésre gyakorolt hatásait elemzem.

Az égés definíciója

Az égés definícióját a tudomány fejlődése során különböző módok és elvek alapján fogalmazták meg. A tűz- és robbanásvédelem szempontjából az égés leírását legpontosabban annak károsító hatásai szerint érdemes meghatározni: „Az égés a tüzelőanyag és oxidálószer kölcsönhatásának hő-felszabadulással és fényjelenséggel együtt járó összetett fizikai-kémiai folyamata” [17][18]. ISO szabvány szerint a gyorság és tulajdonságai alapján: „Olyan égés, amely térben és időben szabályozatlanul terjed” [19] Az égés és robbanás során hasonló kémiai és fizikai folyamatok zajlanak le, de különbségeik alapján érdemes külön kezelni ezeket a jelenségeket. Az égés lángterjedése 1 m/s alá tehető, míg a robbanás ezt minden esetben meghaladja. Hozzá kell tenni, hogy a robbanások lejátszódhatnak kémiai folyamatok nélkül, csupán fizikai jelenséggé is [17].

A gyulladás

A gyulladás az égés folyamatának első tapasztalható jelensége. A szilárd anyagok így a műanyagok égése során egyszerre jelentkezik homogén és heterogén égés. A gyulladás legtöbbször homogén gáz állapotban következik be. Lánggal történő égés esetén tehát a műanyag felmelegedéséből származó bomlógázok és égést tápláló gázok keveréke gyullad meg, de csak egy meghatározott intervallumban, melynek kezdeti és végpontja az alsó és felső gyulladási koncentrációhatár. Az ezt befolyásoló tényezők közé tartozik a keverék kezdeti nyomása és hőmérséklete, a gyújtóforrás teljesítménye és inert gázok hozzáadása. A nyomás vagy a hőmérséklet emelkedése a gyulladási koncentrációhatárt kiszélesítheti (7. ábra) [17][20].



6. ábra A nyomás hatása a gyulladási koncentrációhatárra¹³ [21]

¹³ Szerkesztették a szerzők a forrás nyomán.

A gyulladás kétféleképpen következhet be. Öngyulladásnak nevezzük, ha egy éghető rendszerben lejátszódó hőtermelő folyamat miatt következik be gyulladás. Kényszergyulladásakor pedig az éghető rendszer külső hőhatására kap lángra. Az anyagok meggyulladásai hajlandóságát az ahhoz szükséges legkisebb hőmérséklet, az ún. gyulladáspont jellemezi [20].

Az égés fennmaradása

Az égés fennmaradása és kiterjedése abban az esetben lehetséges, ha az abból származó energia egy részét képes a még nem égő anyagrészekbe visszatáplálni, és így meggyújtani azt. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a meggyulladás után az anyag akkor is tovább ég, ha a gyújtóforrást eltávolítjuk. Továbbterjedéséről pedig akkor beszélhetünk, ha az anyag azon része is elég, melyet a gyújtóforrás nem melegített előzőleg fel. A lángterjedés sebességét az égéstermékek kezdeti hőmérséklete növelheti. A fennmaradáshoz éghető anyag, elegendő oxigén és megfelelő hőmennyiség szükséges. Utóbbi helyett gyakorlatban az égéshőmérséklet mérhető. A rendelkezésre álló oxigén mennyiségét pedig az anyagot körülvevő légkör határozza meg [17][20].

Kialvás és oltás

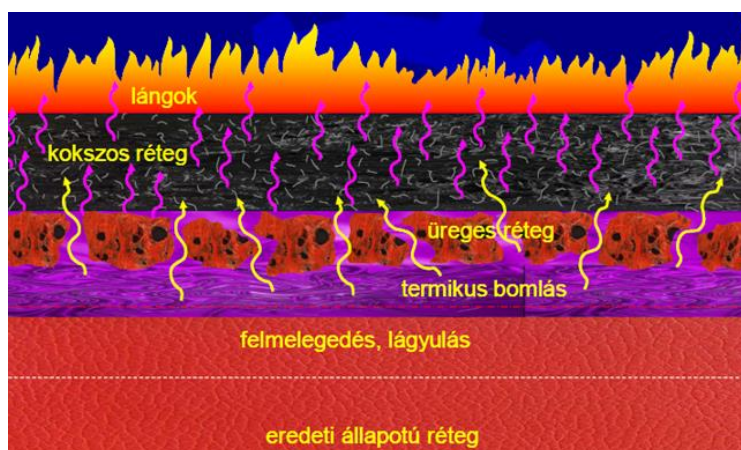
A kialvás fázisában a fennmaradásához szükséges tényezők közül egyre kevesebb fog az égés rendelkezésére állni. Oltáskor az égés alapfeltételei közül legalább egyet meg kell szüntetni.

Elektromos szikra és ív, mint gyújtóforrás

A elektromos szikra és ív a legtöbb esetben villamos készülékek és eszközök meghibásodásakor, vagy ritkább esetben azok üzemszerű működésénél jelentkezik. Ezen kívül létrejöhetnek természetes módon is, például villám vagy statikus kisülés hatására. Gyújtóforrásként alapvetően kétféleképpen viselkedhet. Villamos ív és szikra képződésével, valamint a melegedő készülék falának érintkezésével [20].

Műanyagok égése

A műanyagok égése során azok rétegeiben egyszerre jelennek meg az égés különböző szakaszai (8. ábra).



7. ábra A műanyagok égésének rétegei¹⁴ [22]

¹⁴ Szerkesztették a szerzők a forrás nyomán.

A legalsó réteget még nem éri olyan mértékű hőhatás, hogy abban az égés szempontjából meghatározó változás jöjjön létre, ezért ez a kezdeti anyaggal megegyezőnek tekinthető. A felette elterülő rétegben megkezdődnek a fizikai változások, mint a felmelegedés és a lágyulás. A következő a termikus bomlás zónája, amely közvetlen kapcsolatban áll a rajta elterülő durva üreges résszel. Ezekben a pórusokban gyűlnek össze bomlástermékek és a felettük lévő finom porózus, kokszos rétegen keresztül haladva és azzal reagálva jutnak az égő felületre. Ez a felső zóna a szilárd maradvékből áll. A kokszosodás mértéke nagyban függ az égés körülményeitől, mint például a rendelkezésre álló oxigén mennyisége és a felmelegedés sebessége. A műanyagok égése során többnyire egyszerre figyelhető meg a szilárd fázisú parázslás és a gáz fázisú lánggal égés [17][20].

A hagyományos műanyagok hőállósága és éghetősége elkülönül egymástól. A vizsgálati hőmérséklet az előbbinél 60–250 °C közé, míg utóbbinál 250 °C fölé tehető. A hőálló műanyagoknál ez a két érték nem különböztethető meg. Ezeknél a vizsgálatoknál a hőmérséklet a normál műanyagokhoz képest többszörös is lehet. A teszt során az anyag tömegének és mechanikai tulajdonságainak változását figyelik [17].

A műanyagok égése során felszabaduló mérgező gázok

A műanyagok égésének egyik legveszélyesebb járulékos jelensége a hőbomlásból származó füstképződés. „A füst szerves anyagok égésekor lejátszódó kémiai és fizikai folyamatok eredményeképpen keletkező gázok, folyékony és szilárd részecskék levegővel alkotott elegye.”¹⁵ Ezek az égéstermékek leronthatják a látási viszonyokat, ezzel akadályozva a menekülést és mentést. A bennük megtalálható még éghető anyagok okozhatnak további tűz és robbanásvesélyt. A tüzesetek többségében az áldozatokkal nem a közvetlen tűzzel való érintkezés végez, hanem a füstmérgezés [17].

A műanyagok égése során a bennük található szén (C) és hidrogén (H), bizonyos fajtáinál klór (Cl), bróm (Br), kén (S) és nitrogén (N), oxigénnel (O) és egymással egyesült részecskéi szabadulnak fel. A szén elégetésekor oxigén dús környezetben szén-dioxid (CO₂) keletkezik. Ez az anyag nem közvetlenül mérgező, viszont növeli a légzésszámot, ami miatt más mérgező anyagok belélegzésének intenzitása nőhet. A 10% fölé növekedett szén-dioxid szint hipoxiához vezethet. Tökéletlen égés során szén-monoxid (CO) keletkezik. Ez az anyag gátolja a vér oxigénfelvételét, így oxigénhiányos állapotot és fulladást okozhat. A kén-dioxid (SO₂) nagy koncentrációban bőrirritáló hatású, és károsíthatja a légutakat. A hidrogén-cianid (HCN) az egyik leg erősebben mérgező hatású anyag, amely műanyagok égése során felszabadulhat. Megjelenése felgyorsíthatja a légzésszámot, és így a mérgezés bekövetkeztét. Idegbénító és sejtlegzést gátló hatása miatt, megakadályozhatja a tüdőt az oxigénfelvételben. Belélegzése zavartságot, fejfájást, hányingert, görcsöket, eszméletvesztést és végül halált okoz. Hidrogén-klorid (HCL) és –bromid (HBr) a légutakat irritálja, nagyobb mennyiségben megbéníthatja a légzőrendszert [17].

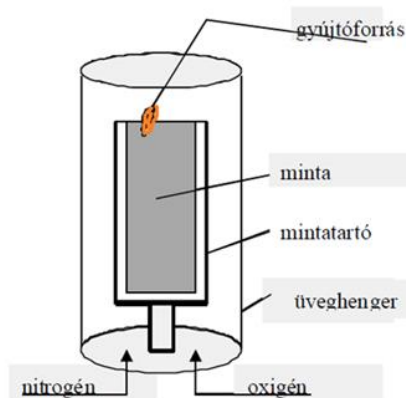
Oxigénindex

Az oxigénindex mérése az anyag tulajdonságát jellemző olyan módszer, amely annak éghetőségét a légkörítőltől eltérő atmoszférában vizsgálja. Elsősorban a szabadlevegőn rosszul éghető műanyagok mérhetőségére fejlesztették ki. Az oxigénindex azaz LOI¹⁶ azt a minimális oxigén

¹⁵ Idézet: [17], 241p.

¹⁶ LOI – Limited Oxygen Index

arányt mutatja meg egy nitrogén-oxigén atmoszférában, ahol a vizsgált anyag minimum 3 percig ég, vagy legalább 5 cm hosszon elég. A meghatározás módszerét az MSZ 10200-1989, ISO 4589 és ASTM 2863 szabványok írják le. A vizsgálat egy hőálló üvegből készült edényben történik (9. ábra). Az edény alján szabályozható módon történik a nitrogén és oxigén adagolása. Az elegy elkeveredését az edénybe töltött gázelosztó töltet biztosítja, amire helyezhető rácsos talpú tartóba helyezik a próbatestet, majd gázégővel meggyújtják. Fóliák és textíliák vizsgálatahoz speciális keret alkalmazható. A megemelkedett oxigénszint növeli az anyagok gyúlékonyságát, valamint javítja az égés minőségét [23].



8. ábra LOI vizsgálat berendezései [23]

A gázok turbulens áramlásának hatásai az égésre

A folyadékok és gázok részecskéinek mozgásától függően két féle áramlás alakulhat ki. Lamináris áramlás során a közeg végtelen számú rétegre oszlik, melyeknek mozgása rendezett, és iránya az áramlással párhuzamos. Turbulens áramlás során ezeknek a rétegeknek az áramvonalai rendezetlenné és örvénylővé válik. A kétfajta áramlás jellege a Reynolds-számmal határozható meg. Ez egy viszonyszám, amely zárt térben áramló közeg esetén a vizsgált cső átmérőjének, a közeg sűrűségének és sebességének szorzatával egyenesen arányos, valamint annak viszkozitásával fordítottan arányos. Jelölése Re . Amennyiben a lángok körül kialakuló áramlásokat vesszük figyelembe és $Re < 1100$, akkor az áramlás jellege lamináris, amennyiben $Re > 2300$, akkor az áramlás turbulens (10. ábra) [20].

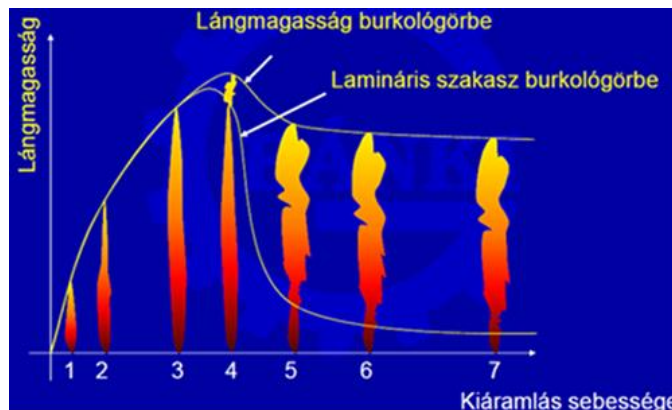


9. ábra A turbulencia kialakulása a sebesség függvényében¹⁷ [24]

Lánggal égéskor az oxigén reakciózónába áramlásának két fajtája különböztethető meg. *Kinetikai*, vagyis kevert égés esetén, az éghető és az égést tápláló gázok tökéletesen elkeverednek a gyulladást megelőzően. Ez legtöbbször robbanásoknál figyelhető meg. *Diffúziós égéskor* e a feltételek nem teljesülnek, az éghető anyag gázait és gőzeit az oxigéntartalmú légkör veszi körbe. Ilyenkor a gyulladást követően az oxigén utánpótlás ellenáramlásban történik az égés

¹⁷ Szerkesztették a szerzők a forrás nyomán.

fennmaradásához a felszabaduló égéstermékekkel szemben. Ez a folyamat végbemehet laminárisan, a réteges diffúziós láng esetében és turbulens módon, az örvénylő diffúziós lángok kialakulásakor. A Reynolds-számot befolyásoló tényezők közül látható, hogy egy adott anyag meghatározott légkörben történő égése során a diffúz láng jellegét és annak magasságát az áramló gázok sebessége fogja meghatározni [20].



10. ábra A lángmagasság változása különböző áramlási viszonyok között¹⁸ [25]

AZ APOLLO 1 BALESETÉNEK VIZSGÁLATA

A plombás próba bevett eljárásnak számított az űrhajók tesztjei során. Korábban alkalmazták azt a Mercury és Gemini-programban is. A tesztek során a visszaszámlálás közbeni állapotokat szimulálták. A hermetikusan lezárt kabinban kialakult tüzeset, és a bent lévő űrhajósok halála megdöbbentette a közvéleményt. A berepülések során a tesztpilótákkal ebben az időben aránylag gyakran előfordultak balesetek. Viszont a földi tesztek során bekövetkező tragédia korábban elképzelhetetlen volt a holdprogramban résztvevő szakemberek számára. A baleset elemzése során főként a Holdséta [1] című könyvre hagyatkoztam, és a NASA weboldalán megtalálható vizsgálati anyagokat [26] dolgoztam fel.

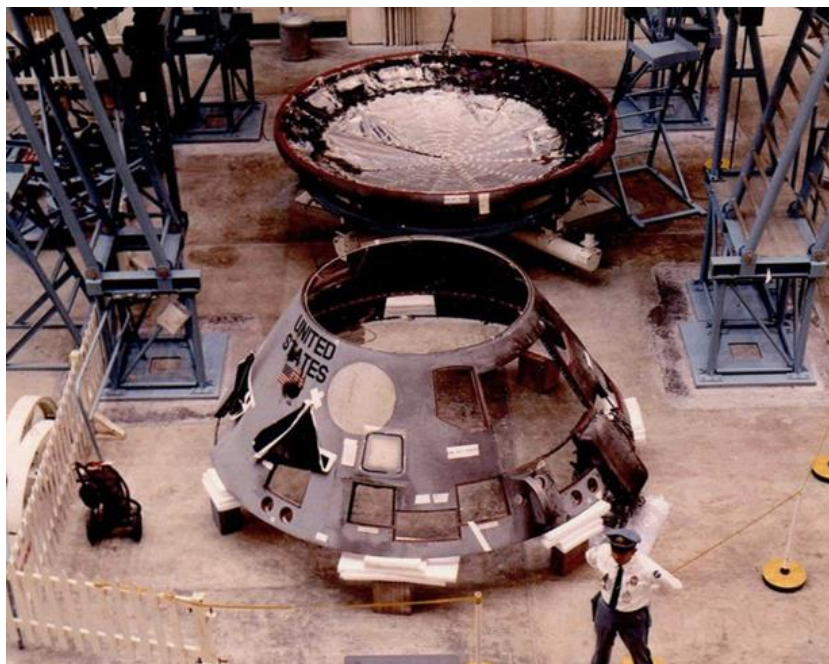
A NASA belső vizsgálata

A teszt sorozat megkezdésekor a szervizmodul és a hordozórakéta nem voltak feltöltve üzemanyaggal, mivel azokat csak a indítást megelőző órákban tankolták fel. A Grumman Aircraft által gyártott holdkomp ekkor még nem készült el, így az nem volt a hordozórakétán. Tehát a fedélzetén ekkor nem voltak üzemanyag, így az legalább nem is súlyosbíthatta a baleset kimenetelét.

A vizsgálatokhoz a kiegészített modult a NASA John F. Kennedy Űrközpontjának egyik hangárjába szállították és ott a NASA mérnökei, asztronautái és a gyártó North American Aviaton szakemberei szétszerelték azt (12. ábra). A kiszertelt alkatrészeket egyesével műanyag tasakokba helyezték és lefénnyképezték, közel 5000 kép készült a vizsgálat során. Ekkor találtak a gyártótól származó csövkulcsot az egyik oldalsó rekeszben, amely hónapok óta ott hevert. Ebből a tényből kikövetkeztethető, hogy a NASA által szabott szűk határidők miatt az ellenőrzések szigorúsága nem mindig érte el az elvárt szintet. A North American emiatt gyakran keveredett nézeteltérésbe a NASA-val, mert többször előfordult, hogy az előírásokat és határidőket a gyártás közben

¹⁸ Szerkesztették a szerzők a forrás nyomán.

módosította a megrendelő. Az űrhajósok többször jelezték, hogy az igényeiket nem minden esetben voltak hajlandóak megvalósítani [4].



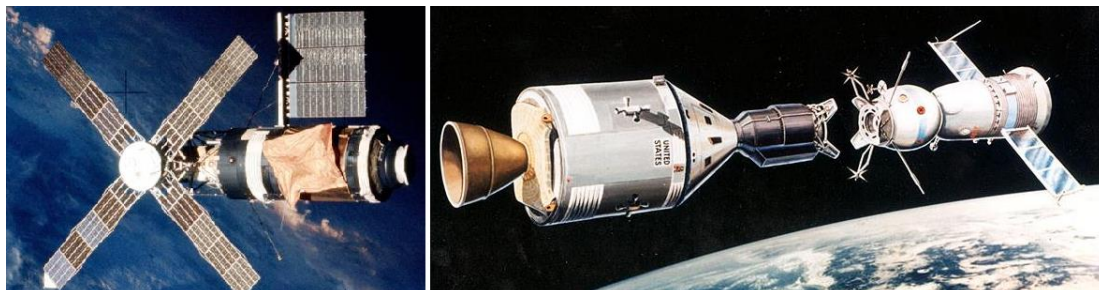
11. ábra A szétszerelt kabin [27]

A kabin levegőellátása

A holdprogram űrhajóit a NASA úgy tervezte, hogy azok küldetéseik során tiszta oxigén biztosítsa az asztronauták számára a légzést. Az űrruhák légzőpalackjait is ugyanezzel töltötték fel a felszállás és az űrhajók elhagyása idején történő használatra. A NASA praktikusán azért választotta ezt a megoldást, – ismerve fokozott tűzveszélyességét is – mivel levegő összetevőiből (21% oxigén, 78% nitrogén és 1% egyéb gázok) a létfenntartáshoz csak az oxigén szükséges. Ráadásul így elég a földfelszíni 14.8 psi¹⁹ légköri nyomás helyett annak csak parciális oxigén összetevőjét, 5 psi-t nyomás biztosítani. E megoldással számottevő szerkezeti tömegcsökkenés volt elérhető, mivel az űrhajónak nem kellett magával vinnie felesleges gázokat. Elegendő volt egy kisebb szerkezet alkalmazása, amely kiszűrte az űrhajósok által kilélegzett szén-dioxidot és vízpárát. A kisebb belső nyomás miatt elegendő volt vékonyabb fülke-falvastagság alkalmazása is. Így tehát nőtt a hordozórakéta által szállítható hasznos teher. Másik előnye a tiszta oxigénes környezetnek, hogy nyomáscsökkenés esetén nem kellett tartani a keszonbetegség veszélyeitől. Nitrogénes légkör alkalmazása során külön nyomáskiegyenlítő kamrát kellett volna létrehozni az űrhajó és a holdkomp fedélzetén. A Holdra lépés előtt hosszú időt vett volna igénybe a vérben oldott nitrogén eltávolítása. A tűzveszély elkerülése érdekében a nyomás alatt lévő kabinokban a NASA megrendelésére kevésbé tűzveszélyes anyagokat alkalmaztak a beszállítók, és betartották a gyújtóforrásoktól való biztonsági távolságot. A szovjet mérnökök a kezdetektől fogva, a NASA az Apollo-program végétől kezdte a földihez hasonló légkör alkalmazását az űreszközökön. Az 1973-ban kezdődő Skylab-program, és az 1975-ben megvalósult Szojuz-Apollo küldetés lebonyolításához a NASA a korábban leállított holdprogramból megmaradt öt Apollo űrhajót alkalmazta a

¹⁹ 1 bar = 760 Hgmm = 29,92 Hginch = 101325 Pa $\approx$ 14 psi (psi – Pounds per square inch – font per négyzethüvelyk)

repülésekhez.²⁰ Mindkét esetben el kellett hárítani a belső nyomáskülönbségből és a nitrogén jelenlétéből származó problémákat. A Skylab-nál ezt a fedélzeten kialakított nyomáskiegyenlítő kamrával, míg a Szojuz-19 esetében a holdkomp helyén szállított zsilipkamraként is szolgáló dokkoló modullal oldották meg (13. ábra).²¹ A NASA az űrsikló és a Nemzetközi Űrállomás amerikai moduljainak tervezésekor már eleve a földivel megegyező légkörrel számolt [15].

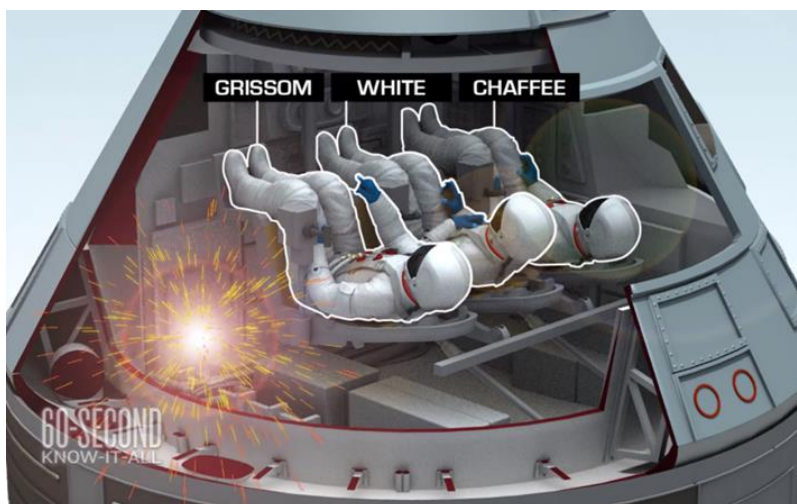


12. ábra A Skylab és a Szojuz-Apollo küldetés²² [28]

Az űr vákuumában tehát 5 psi nyomású tiszta oxigén terheli az Apollo parancsnoki moduljának belső falát. A kísérletek viszont tengerszintnek megfelelő 14,8 psi nyomáson történtek. Ahhoz, hogy a külső és belső nyomáskülönbséget szimulálni tudják, a NASA szakemberei 17 psi-re növelték az oxigénnyomást a parancsnoki modulban, ami így az abban elhelyezett anyagok gyulladási hajlandóságát tovább növelte.

„A tűz”²³

A tűz az űrkabin bal oldalán keletkezett. Az itt található külső szerelőnyílás mögött egy kábelköteg volt, aminek ajtaját tesztek során többször kinyitották és becsukták. Feltehetően ekkor sérült meg az egyik kábel teflon szigetelése. Ez viszont teljes bizonyossággal nem megállapítható. Következtetni abból lehet erre, hogy a tűz itt okozta a legnagyobb sérülést a kabinban, tehát feltehetően itt állt fenn a legtovább. A megsérült kábel szikrája, vagy elektromos íve lehetett a gyújtóforrás.



²⁰ 3 Apollo űrhajót a Skylab programhoz használtak fel, 1-et 5 személyes mentőhajóvá alakítottak át, 1-et a Szojuz-Apollo küldetéshez használtak fel.

²¹ A tervezésénél meg kellett oldani, hogy a modul mindkét fajtájú Szojuz kabin ajtajával kompatibilis legyen.

²² Szerkesztették a szerzők a forrás nyomán.

²³ A NASA-nál egy ideig nagybetűvel emlegették az esetet. „The Fire” [1]

13. ábra A gyújtóforrás és a pilóták elhelyezkedése a kabinban [29]

Helyi idő szerint *18 óra 31 perc 12 másodperckor* jelentek meg az első lángok a baloldalon, Grissom lábánál. A parancsnoki modul műszerei szerint ekkor még a tűz nem volt túl intenzív, de a belső nyomás és a hőmérséklet lassú emelkedett. A gyújtóforrás közelében kevés éghető anyag volt, így a lángok kezdetben lassan fejlődtek, illetve emelkedtek és a kabin fala mentén. Amint a légénység észlelte a tüzet, megkezdte a vészelhagyási folyamatot. Grissom parancsnok feladata volt ilyenkor a baloldalon található külső nyomáskiegyenlítő kapcsoló működésbe hozása, ám ekkora azt már lángok borították. Számítások szerint a nyomáskiegyenlítéssel is csak másodperceket nyerhettek volna, mivel a szellőzés mértéke jóval a belső nyomásfejlődés alatt volt. Az elhagyási folyamat részeként White felkelt a középső üléséből és megkezdte a belső ajtó nyitását. Ez az ajtó befelé nyílt, így a bent lévő megemelkedett nyomás miatt azt lehetetlen volt kinyitni. A hibás konstrukciót szerencsétlen módon Grissom javasolta a kivitelezőnek. A „Libert Bell 7” vízreszállásakor az ajtajában lévő biztonsági robbanózár spontán módon lépett működésbe és az űrkabint elárasztotta a víz. Grissom-ot még éppen sikerült helikopterrel kimenteni, mielőtt az űrruhája is megtelt volna. Az Apollo 1 esetében, a szemtanúk állításai szerint az ajtó ablakán keresztül, a tűz árnyékában az űrhajósok mozgását lehetett látni. Ezt a tényt a belső navigációs rendszer adatai is alátámasztják. A kabin kilengését az asztronauták mozgása okozta. Chaffee az ülésébe szíjazva várta, hogy társai végrehajtsák a zár nyitását (14. ábra).

18 óra 31 perc 19 másodperckor a nyomás megrepesztette a parancsnoki modul burkolatát a jobb oldalon. A sérüléskor a kabinban uralkodó nyomás elérte a 29 psi-t^{24} . A lángok a nyomáskiegyenlítőds során létrejövő turbulens áramlás miatt terjedhettek át a tűz kiindulási pontjától a jobb oldalra. Ezt alátámasztja az a tény, hogy baloldalon található gombok és kapcsolók teljesen szétolvadtak, míg az ellenkező oldalon lévők csak deformálódtak. A hőség akkora volt, hogy megolvadtak tőle a szkafanderek oxigénellátását biztosító alumínium csövek. A tesztek során, az űrhajó padlóján alkalmazott műanyag védőhálók mentén gyorsan terjedt a tűz²⁵. Ugyanebben az időben kapott lánggra a kabin belsejében található Velcro²⁶ is. Ez egy nejlon alapanyagú tépőzár (15. ábra), amely normál légköri viszonyok között nem éghető. Felhevül és megolvad, de közvetlen tüzet nem okoz. Oxigén indexe 24–29 közé tehető. Tiszta oxigén környezetben viszont erősen tűzveszélyessé válik. Ilyenkor a kialakításából adódóan nagyobb veszélyt jelenthet a megszokotthoz képest. A rajta megtalálható kis szálok nagyobb olvadási felületet képeznek, mint a hagyományos műanyagok. A kabinban ekkor a hőmérséklet meghaladta az 500°C-t^{27} . A megnövekedett nyomás, magas hő és oxigénszint kiszélesítette a bomlógázok gyulladási határát. A turbulencia miatt az égést tápláló és éghető gázok örvényszerűen keveredtek el egymással. Az így megnövekedett diffúziós felület is hozzájárult a Velcro meggyulladásához után tapasztalható gyors és heves lángterjedésnek. A tépőzárak esetében ugyan megvolt az elektromos gyújtóforrásoktól való 4 inch^{28} biztonsági távolság, de az előírásokhoz képest sokkal többet helyeztek el belőle a kabin belsejében. Az űrhajósok kérésére 500 inch^2 helyett 5000 inch^2

²⁴ $29 \text{ psi} = 2 \text{ bar}$

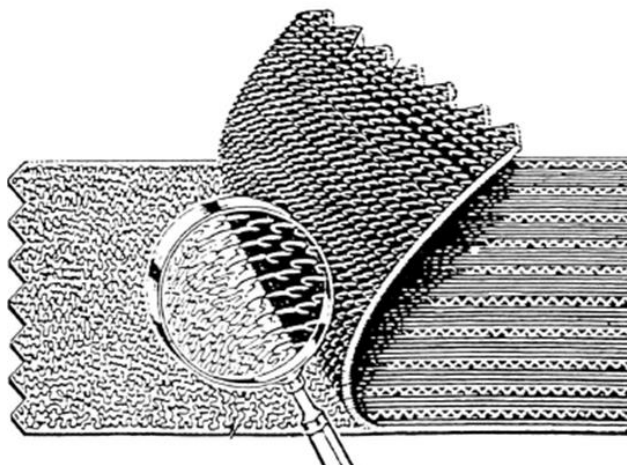
²⁵ Ezeket a nejlon védőhálókat a tesztek a során a kabinba eső tárgyak ellen alkalmazták.

²⁶ Velcro – tépőzár, a gyártó után kapta a nevét

²⁷ A pontos érték csak becsülhető, mivel a tűzben megsérültek a kabinban lévő műszerek [14].

²⁸ 1 inch (hüvelyk) = $2,54 \text{ cm}$, $4 \text{ inch} = 10,16 \text{ cm}$

került belőle a kabinba²⁹. Erre szerintük azért volt szükség, mert a súlytalanság állapotában a lehető legtöbb mindent rögzíteni akartak, hogy azok lebegése ne zavarja őket a munkájuk során.



14. ábra A velcro szerkezete [30]

18 óra 31 perc 25 másodperc körül állt meg a kabin nyomáskiegyenlítődése. Ekkorra már az oxigén ellátó rendszer tönkrement. Az égést tápláló gáz és a nyomás lényegesen lecsökkent a tűz korábbi szakaszaihoz képest. Az így kialakuló tökéletlen égés szén-monoxid és korom képződéshez vezetett. A megolvadt űrruhájú asztronauták számára ez a folyamat végzetes volt. Az oxigén-ellátó rendszer sérülésein keresztül a szkakandereikbe csak a parancsnoki modulban tomboló füstöt tudták belélegezni, és ez a fulladásukhoz vezetett. Nagyjából 5 másodperccel a füst megjelenése után a tűz kezdett kialudni. Az utolsó égő rész a tűz keletkezési zónája közelében lévő környezet szabályozó rendszer volt. A korom lerakódás is jól szemléltette a tűz terjedésének irányát és időtartamát. Bal oldalon a tűz keletkezésének helyén volt a legvastagabb a lerakódott koromréteg. A középső és jobboldali ülés alatt lényegesen kevesebb égéstermék volt található.

A kabin mellett lévő fehér szobából a 34-es torony vezetője, egy rendszer technikus és egy műszaki technikus hallotta a segélykiáltásokat, ezért értesítették a repülésirányítást a vészhelyzetről. Négyen siettek az asztronauták mentésére, de addigra a nyomás és hőmérsékletnövekedés miatt megsérült űrkabin lángokba borult. Ketten visszarohtak kézi oltókészülékekért és gázálcokért. A pilóták megközelítéséhez ki kellett nyitniuk a külső ajtót, de előtte el kellett távolítani róla a védőborítást (16. ábra). A fehérszobát előntötte a hő, a füst és a forróság. A mentést végzőknek a nehéz körülmények mellett öt és fél perc eltelte után sikerült kinyitni a kabint. Időközben megérkeztek a lifttel a technikusok, és további szakemberek próbáltak segíteni a bajbajutott űrhajósokon. A felnyitott kabinból ömlő füstben mozgás ekkor már nem volt látható. Egy mentős próbálta kitapogatni a pilótákat, de ő sem észlelt életjeleket. Az érkező tűzoltók már nem tudtak segíteni. További öt perc telt el, mire eloszlott a füst annyira, hogy biztonságosan megközelíthessék az űrkabin belsejét. Grissom és White felismerhetetlené szenedett űrruháját találták az ajtó alatt, Chaffee az ülésébe szíjazva feküdt. A riasztás után tizennégy perccel is érkeztek segítők, de hiába. Az orvosok ekkorra megállapították a halál beálltát. A holttesteket csak nehezen sikerült elszállítani, mivel az űrruhák a nagy hőtől hozzáolvadtak a padlóhoz. A boncolás során megállapították, hogy a halál oka a füstmérgezés volt.

²⁹ 1 inch² (négyzethüvelyk)=6.45cm², 500 inch²=0.32 m², 5000 inch²=3.23 m²



15. ábra A kiégett parancsnoki modul ajtaja a fehérszobából [31]

Utóhatások

A három űrhajóst katonai tiszteletadás mellett temették el. Az AS-204 jelzésű űrhajó ekkor kapta meg az Apollo 1 elnevezést és a pilóták tiszteletére a NASA hivatalos repüléssé nyilvánította a balesetet. A katasztrófa után az USA űrrepüléseit szüneteltették. Sokan gondolták az Egyesült Államok Kongresszusából, hogy az űrprogram csak pénzkidobás. A tárgyalások során sem a NASA-t, sem a kivitelező North American Aviation céget nem találták felelősnek. Végül az Apollo-program másfél év csúszással indult újra. A vizsgálatok során feltárt hiányosságokat és konstrukciós hibákat orvosolták. A már félkész űrhajók miatt a tisztaoxigénes légkört használták továbbra is, viszont a földön a nagy nyomás alatt végzett tesztekhez már nitrogén-oxigén légkört alkalmaztak. Végül 1969. július 20-án az Apollo 11 sikeres leszállást hajtott végre a Hold felszínére, ezzel teljesítve John F. Kennedy ígéretét. Az Apollo űrhajókat követő konstrukciókban a földivel megegyező összetételű légkört alkalmaztak a továbbiakban [4].

KÖVETKEZTETÉSEK

Az 51 éve történt tragédia tanulságos lehet napjaink mérnökei számára is. Bizonyítja a hamis biztonságérzetből fakadó veszélyeket, hiszen még egy olyan jelentős szaktudással rendelkező szervezetnél is, mint a NASA, bekövetkezhetnek a szigorúan ellenőrzött körülmények ellenére is nem várt események. A balesethez több, magában mérsékelt kockázatosnak megítélt körülmény szerencsétlen együttállása vezetett. A John F. Kennedy által meghatározott 9 éves határidő feszített munkatervet, tömegtakarékos megoldásokat, és a megrendelő és kivitelező közötti nézeteltéréseket eredményezett. A baleset egyik fő oka az előbb említett tényezőkből fakadó rossz kommunikáció volt. A kivitelezés során a North American Aviation mérnökei számára nehézséget jelentettek a NASA által sűrűn változtatott repülési előírások és az űrhajósok igényei. A gyakori módosítások miatt előfordult, hogy a már meglévő kialakítások tucatjait kellett módosítani egy frissen érkező utasítás miatt. Ez feszültséget okozott a gyártó és az amerikai űrugynökség között, ami miatt olyan javaslatok találtak süket fülekre mindkét fél között, amelyek megelőzheték volna az űrhajósok halálát. Az űrkabin kivitelezésében több olyan hiba is észrevehető, amely

a pilóták kérései alapján módosított előírások miatt felelhetett meg a NASA követelményeinek. A befelé nyíló ajtó, az űrhajóban lévő tiszta oxigénes nagynyomású belső légkör külön-külön megfelelt az érvényben lévő előírásoknak. Az asztronauták utasítására elhelyezett nagymennyiségű Velcro nem okozhatott volna problémát, mivel a vélt gyújtóforrásoktól a tépőzáraknak megvolt a biztonsági távolsága. A tényezők különleges együttes hatása vezetett oda, hogy ez az ártalmatlannak vélt eszköz lángba boríthatta az egész kabint, és égésgázaival megfojthatta a pilótákat. A vizsgálatokban résztvevő Frank Borman³⁰ asztronauta szerint, a szerencsétlenséget a képzelőerő hiánya okozta. Az űrhajók kialakításánál az űrben bekövetkező tüzesetek megelőzésével számoltak. Az senkinek sem jutott eszébe, hogy a Földön a szakemberekkel körülvett asztronautákkal is történhet olyan vészhelyzet, ahol a beavatkozás lehetetlen. A hivatalos vizsgálatok során is kiderült, hogy a szakemberek nem hibáztak. A baleset a körülmények szerencsétlen alakulásának lett betudva. A vizsgálatok végeztével az Apollo-program folytatódott [1][4].

Az űrverseny során létrejött innovációk napjainkban is tetten érhetők az űrrepülésben. Az orosz és kínai űrprogram a mai napig az akkor tervezett Szojuz űrhajók modernizált változatait használja. Az Apollo-program számára kifejlesztett technikák, (mint a több fokozatú hordozórakéta és az űrrandevű) segítettek a Skylab és a Nemzetközi Űrállomás létrehozásában. A szovjet Buran és az amerikai Űrsikló-program az űrutazás történetében zsákutcának bizonyult. A Challenger 1986-ban történt balesete során az indítást megelőző hideg időjárás miatt az egyik szilárd hajtóanyagú rakéta rideggé vált szigetelése mellett kitörő csóva miatt robbant fel. A Columbia 2003-ban a légkörbe való visszatérése során égett el a belépőélén megsérült hőpajzs miatt. Az űrrepülőgépek hasán elhelyezett hőálló szilícium-dioxid csempék túl sérülékenynek bizonyultak egy többször felhasználható űreszközhöz. Az ellenőrzésük és karbantartásuk túl sok időt vett igénybe, így ez is fokozta az amerikai űrrepülőgépflootta gazdaságtalanságát. A program 2011. július 21-i leállítása után a NASA az Orion űrhajók (17. ábra) létrehozásával kíván a jövőben újra, saját, ember szállítására alkalmas űreszközt kifejleszteni. Ehhez Apollo űrhajók számos tapasztalatát, műszaki megoldását hasznosítják³¹.



16. ábra A NASA Orion űrhajójának látványterve [33]

A XXI. században a magánszektor egyre nagyobb szerepet kíván vállalni az űrutazásban. Az űrturizmus megjelenése hasonló veszélytényezőkkel jár, mint amelyek az Apollo-program során is

³⁰ A kivizsgálásba bevont asztronauta. Korábban a Gemini 7 parancsnokaként járt az űrben. Később az Apollo 8-cal sikeresen megkerülte a Holdat. [1][4]

³¹ Az Orion űrhajóról bővebben: [32]

felléptek. A dollármilliókat fizető utasok türelmetlensége, és az őket elcsábítani képes konkurencia siettetheti a gyártókat. A cégek haszonelvőségük miatt hajlamosabbak lehetnek a költségkímélőbb megoldások preferálásában. A még kipróbálatlan anyagok és technikák veszélyt jelenthetnek a fedélzeten tartózkodókra. A Virgin Galactic cég SpaceShipTwo kísérleti űrrepülőgéppel több tucat sikeres repülés után történt emberéletet követelő baleset 2014. október 30-án [34]. Az Antares 130 és SpaceX Falcon magánűrrakétákkal előforduló balesetek során több tonnányi tudományos műszer és felszerelés semmisült már meg, melynek úti célja a Nemzetközi Űrállomás lett volna [35]. Az utóbbi vállalat felajánlotta a NASA számára, hogy módosított Dragon teherszállító űrhajóival szállítson asztronautákat a Nemzetközi Űrállomásra az Orion űrhajók 2021 utánra tervezett üzembeállításáig. A hordozórakétájukon nem tudták biztosítani, hogy annak feltöltése biztonságosan megvalósítható legyen a legénység beszállása előtt órákkal, mivel nem rendelkeztek a folyékony hajtóanyagok szakszerű tárolásához szükséges technológiával [36]. Emiatt az amerikai űrhajósok napjainkban az orosz Szojuz rendszereket kénytelenek igénybe venni. A felsorolt esetek alátámasztják, hogy a magán szektornak még sokat kell fejlődnie, amíg eléri az állami űrügynökségek technológiai, biztonsági színvonalát. Az űrverseny során történt balesetek vizsgálati anyagai jó alapot szolgálnak arra, hogy mely kockázati tényezők azok, amelyek esetlegesen elkerülhették e magánvállalatok a figyelmét.

Polgári repülőgépeken bekövetkezett fedélzeti tüzeknél több olyan eset is előfordult, amely során az Apollo 1 kabinjához hasonló végzetes körülmények alakultak ki. 1980-ban a Canadair 797-es járatának túlnyomásos kabinjában a műanyagok égéséből származó forró füst a vészkijáratok nyitása után gyulladt meg, a beáramló friss levegő biztosította a műanyag égésének oxigénellátását. Számos utas halálát ugyanúgy a füstmérgezés okozta, mint az Apollo űrhajó esetén. [37] 2016-ban az Emirates Airlines Boeing 777-300 típusú repülőgépe gyulladt ki a leszállást követően. A kanadai esethez hasonlóan a kabint itt is sűrű füst borította el. Az azóta fejlődött vészelhagyási és a repülőtéri tűzoltási folyamatoknak köszönhetően, itt az összes utast sikerült még időben kimenekíteni. [38] A modern repülőgépeken a duralumínium szerkezeti elemeket egyre gyakrabban váltják fel a modern kompozit anyagokból készült helyettesítőik. Ezen elemek égése során keletkező bomlógázok megjelenése az utastérben okozhat a jövőben az említett balesetekhez hasonló vészhelyzeteket. Mindezek tanúságai a hazai és NATO repülési és űrorvostani tudományban is markánsan megjelentek [42].

A kíváncsiság következtében a felfedezők olyan körülmények közé merészkedhetnek, amely veszélyesek számukra. Az Apollo 1 balesete előtt „Gus” Grissom-mal készült interjúban elhangzottak tökéletesen jellemzik az űrhajósok hozzáállását az előre nem látható veszélyekhez: *„A program megvalósítása nem késhet. A világűr meghódításáért még az életemet is kockára tenném. Az Úr adta kíváncsiság kényszerít, hogy magunk menjünk, ugyanis kizárólag ember tudja úgy leírni a Holdat, hogy azt a többi ember is megértse.”* [4] A földi élettértől a lehető legkülönbözőbb környezet a világűr. Az ezt kutató pilóták ennek tudatában is vállalják útjaikat, hogy az emberiség számára értékes tudományos felfedezésekkel térhessenek vissza a Földre.



17. ábra A pilóták emlékére [39]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dancsó Béla: Holdséta. Novella Kiadó, 2004.
- [2] Discovery Science: Gépek a Holdon – Saturn V. Eredeti cím: Moon Machines - Saturn V. Angol dokumentumfilm, 2008.
- [3] https://cs4.pikabu.ru/post_img/big/2016/07/29/6/146978628915440116.jpg
- [4] HBO: A végtelen szerelmesei - Az Apolló-program. Eredeti cím: From earth to the Moon. Amerikai filmsorozat, 1998.
- [5] <https://archive.org/download/S64-22331/S64-22331.jpg>
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=a48XIQYYSTo>
- [7] JOHNSON SPACE CENTER: (nasa.gov) SATURN V LAUNCH VEHICLE. (online) url: https://www.jsc.nasa.gov/portal_pdfs/saturnV.pdf
- [8] W. David Woods- Kenneth D. MacTaggart- Frank O'Brien: (nasa.gov) The Apollo 11 Flight Journal. 2016.03.01. (online) url: <https://history.nasa.gov/afj/ap11fj/index.html>
- [9] <http://heroicrelics.org/info/saturn-v/saturn-v-general/saturn-v-apollo-4-press-kit.jpg>, Szerkesztették a szerzők a forrás nyomán
- [10] <http://www.mysocalledsensorylife.com/wp-content/uploads/2011/02/apollo-re-entry-702078.jpg>
- [11] Mary C. White: Detailed Biographies of Apollo I Crew - Gus Grissom. (online) url: <https://www.history.nasa.gov/Apollo204/zorn/grissom.htm>
- [12] Mary C. White: Detailed Biographies of Apollo I Crew - Ed White. (online) url: <https://www.history.nasa.gov/Apollo204/zorn/white.htm>
- [13] Mary C. White: Detailed Biographies of Apollo I Crew - Roger Chaffee. (online) url: <https://www.history.nasa.gov/Apollo204/zorn/chaffee.htm>
- [14] https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/16216814090_874868c8f6_o.jpg
- [15] Remes Péter: Űrbalesetek, űrkatasztrófák- 3. rész. Aranyas, 2015/11, pp. 50-55.
- [16] <http://motherboard-images.vice.com/content-images/contentimage/41597/1485470896702592.png>, http://apollolaunchcontrol.com/v20test/http___www.apollolaunchcontrol.com/_Mobile_Service_Structure_files/MSS%20Skylab%20%20with%20Skylab%201%20in%20background%20mssarrive.jpg
- [17] Dr. Pál Károlyné, Dr. Macskásy Hugó: A műanyagok éghetősége. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [18] Hamburger W: Möglichkeiten zur Einschränkung der Brandgefahren bei der Verwendung von Plastwerkstoffen. Plaste und Kautschuk, 24, Nr. 3. 163-168. (1977).
- [19] Glossary of Fire Terms and Definitions Guide 52 (1stedn.) ISO and IEC. Geneva, Switzerland, 1990.
- [20] Dr. Kompolthy Tivadar- Szalay László: Tűz és robbanásvédelem. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
- [21] Beda László, Kerekes Zsuzsanna: Égés és oltásmélet II. Főiskolai jegyzet, 2006, ISBN 978-963-9483-21-2, 22 p.
- [22] Dr. Pál Károlyné, Dr. Macskásy Hugó: A műanyagok éghetősége. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980, p 65.
- [23] Dr. Kerekes Zsuzsanna: Oxigénindex szerepe az oxidált-és szénszálak éghetőségében. Doktori (PhD) értekezés, Gödöllő, 2012, pp. 39-40.
- [24] <https://www.youtube.com/watch?v=LylMRupw4iE>
- [25] Абдурагимов И. М.: Процессы горения, высшая инженерная пожарно-техническая школа, Москва 1984, 136p.

- [26] NASA Historical Reference Collection: (nasa.org) Apollo 204 Review Board Final Report Table of Contents/Part V. Investigation and Analyses. (online) url: <https://history.nasa.gov/Apollo204/invest.html>
- [27] <http://www.spacesafetymagazine.com/wp-content/uploads/2015/01/apollo-1-disassembly.jpg>
- [28] https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width/public/sl2-7-633a.jpg?itok=u5tPcSWy,
- [29] http://today-trivia-puzzles-sudoku.com/content/Apollo_Soyuz.jpg
- [30] <https://www.youtube.com/watch?v=7cN6P1xtdz8>
- [31] Sandra L. Olson- Raymond G. Sotos: Combustion of Velcro in Low Gravity. Lewis Research Center, Cleveland- Ohio, 1987, 10p.
- [32] <http://www.spacesafetymagazine.com/wp-content/uploads/2015/01/apollo-1-interior-after-fire.jpg>
- [33] Flint Wild: (nasa.org) What Is Orion? (online) url: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-orion-k4.html>
- [34] <https://liquidat.files.wordpress.com/2016/02/orion-568635.jpg?w=825&h=510&crop=1>
- [35] Indóház: (iho.hu) SpaceShipTwo: pilótahiba, konstrukciós probléma (online) url: <http://iho.hu/hir/spaceship-two-pilotahiba-konstrukcios-problema-150730>
- [36] Indóház: (iho.hu) Elveszett űrhajó, letartóztatott űrfőnök, van-e összefüggés? (online) url: <http://iho.hu/hir/elveszett-urhajo-letartoztatott-urfonok-van-e-osszefugges-161202>
- [37] Indóház: (iho.hu) Ősszel üresen, jövőre már emberekkel indulna a Dragon űrhajó. De előbb át kell tervezni a tüzelőanyag-tartályokat és az indítási eljárást is (online) url: <http://iho.hu/hir/visz-e-jovore-utasokat-a-sarkany-a-nasa-aggodik-170116>
- [38] National Geographic: Légikatasztrófák (Tűz a fedélzeten) s04 e03. Eredeti cím: Air Crash Investigation (Disaster in the Air)
- [39] Bödör Balázs: A Forrestal tüzeset vizsgálata és a hazai reptéri mentő-tűzvédelmi feladatok. Szakdolgozat, Óbudai Egyetem - Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, 2017
- [40] <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/s67-19766.jpg>
- [41] Barna Péter: Az Apollo 1 űrhajón bekövetkezett tüzeset vizsgálata. Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat, Óbudai Egyetem - Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, 2017.
- [42] Barna Péter: A repülésbiztonság tűzvédelmi kérdéseinek vizsgálata az Apollo 1 űrhajó balesetének tükrében. Szakdolgozat, Óbudai Egyetem - Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, 2018.
- [43] Szabó Sándor András: A NATO repülőorvosi harmonizációs törekvései a hadműveleti tapasztalatok és a repülésbiztonsági adatok tükrében. Repüléstudományi Közlemények 2010/2. p. 21.
- [44] http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Szabo_Sandor.pdf

THE FIRE ACCIDENT OF THE APOLLO 1 SPACECRAFT

In the 1960s, the United States of America invested a huge amount of money and energy in the Space Race, to catch and outrun the Soviet Union. 12 April 1961 Yuri A. Gagarin performed a space travel on the board of Vostok-1 as the first man in space. The Soviet's lead shocked the US public opinion. For the pride of the United States 25 May, John F. Kennedy announced in his congress speech that by the end of the decade, the United States will send people to the Moon. The first step was the Mercury-program, after that the Gemini-program, and for approaching and landing on the Moon, the Apollo-program. During experimental flights many accidents happen, non-planned emergency situations. These accidents could not be avoided by the Apollo-program. In the Apollo 1 fire 3 astronauts lost their lives, and the first Apollo flight was delayed for 1.5 year. This paper reveals the answer how these losses, which were the heaviest in NASA's history, could happen despite the well-regulated environment.

Keywords: Space Race, fire accident, cabin pressure, oxygen index, turbulent flow, combustibility of materials

Barna Péter (BSc) hallgató Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet Biztonságtechnikai Intézeti Tanszék barna.peter08@gmail.com orcid.org/0000-0001-9781-5449	Barna Péter (BSc) student Óbuda University Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engi- neering Faculties Institute of Mechanical Engineering and Security Sci- ences Department of Safety and Security Engineering barna.peter08@gmail.com orcid.org/0000-0001-9781-5449
Dr. Nagy Rudolf (PhD) adjunktus Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet Biztonságtechnikai Intézeti Tanszék nagy.rudolf@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0001-5108-9728	Dr. Nagy Rudolf (PhD) adjunct Óbuda University Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engi- neering Faculties Institute of Mechanical Engineering and Security Sci- ences Department of Safety and Security Engineering nagy.rudolf@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0001-5108-9728



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_2/2018-2-20-0455_Barna_Peter-Nagy_Rudolf.pdf

