

Az ember, aki rakétát épített a káposztaföldön

ROBERT GODDARD
ÉS AZ ŰRKORSZAK SZÜLETÉSE



AZ EMBER, AKI RAKÉTÁT ÉPÍTETT A KÁPOSZTAFÖLDÖN

Robert Goddard és az űrkorszak születése

© Háttérgyár, 2026

Minden jog fenntartva.

Kiadó: Háttérgyár

Kiadás éve: 2026

hattergyar.hu

Ez a mű szerzői jogi védelem alatt áll. Részleteinek bármilyen formában való sokszorosítása, terjesztése vagy nyilvánosan elérhetővé tétele a kiadó előzetes írásbeli engedélye nélkül tilos.

A borító mesterséges intelligencia felhasználásával készült.

Tartalom

Előszó	5
1. A fiú, aki fel akart mászni az égbe	9
2. A rakéta hosszú előtörténete	12
3. Worcesterből a Clark Egyetemig	15
4. A Smithsonian ötezer dollárja	18
5. A New York Times és a vákuum	21
6. Miért folyékony hajtóanyag?	24
7. 1926. március 16.	27
8. Egy családi vállalkozás a világűrért	30
9. A hangos robbanás és a rendőrség	33
10. Roswell, a rakéták sivataga	35
11. A titkolózás ára	37
12. Oberth, Berlin és a rakétaláz	40
13. Peenemünde: mérnöki áttörés diktatúrában	43
14. A feltaláló és a háború	46
15. A német rakéták Amerikában	48
16. A szovjet út: Ciolkovszkijtől Koroljovig	51
17. Szputnyik után Amerika felébred	54
18. Saturn V: amikor a rakéta iparaggá válik	56
19. Apollo-11 és az 1920-as újságcikk árnyéka	59
20. A rakétaegyenlet könyörtelensége	61

21. A rakéta mint fegyver	63
22. Műholdak: Goddard csendesebb győzelme	65
23. A Space Shuttle és az újrahasználatosság ígérete	67
24. A magánűripar megjelenése	69
25. SpaceX: Goddard örököse vagy új történet?	71
26. Mi maradt Goddard találmányaiból?	74
27. Az ember a legenda mögött	76
28. Az emlékezet gyártása	78
29. A századik évforduló	80
30. Újra a Hold felé	82
31. Mars: az ifjúkori álom visszatér	84
32. A rakéta környezeti ára	87
33. Rakéták a kultúrában	89
34. Kudarcc mint módszer	91
35. A finanszírozás láthatatlan technológiája	93
36. Kié a világűr?	95
37. Mit jelent ma az, hogy űrkorszak?	97
38. A következő száz év	99
39. A rakéta mint rendszer	101
40. Mit tanít Goddard az innovációról?	104
41. A káposztaföldtől az indítótoronyig	107
Függelék	110

42. A rakéta mint tudományos műszer	114
Utószó - Két és fél másodperc	117
Kronológia	120
Források és további olvasmányok	127

Előszó

1926. március 16-án Massachusetts államban, Auburn mellett hó borította Effie Goddard farmját. A táj semmiben sem emlékeztetett arra, amit később űrközpontnak neveztek: nem volt beton indítóállás, irányítóterem, több száz mérnök, telemetria hálózat vagy visszaszámlálást közvetítő rádió. Egy magas, furcsa szerkezet állt a mezőn, mellette néhány ember, akik folyékony oxigénnel és benzinnel próbáltak életet lehelni egy olyan gépbe, amelyhez hasonló addig senki sem repített sikeresen. Robert Hutchings Goddard rakétája végül alig két és fél másodpercet töltött a levegőben. Mintegy tizenkét és fél méteres magasságot ért el, és nagyjából ötvenhat méterrel távolabb ért földet. A repülés rövidebb volt, mint amennyi idő alatt ma egy utasszállító repülőgép végiggurul egy kisebb repülőtéri kaputól a gurulóútig. Történelmi jelentősége mégis egy másik rövid kísérlethez, a Wright fivérek 1903-as első repüléséhez mérhető.

A századik évforduló alkalmat ad arra, hogy ezt a jelenetet kiszabadítsuk a technikatörténeti legendákból. Goddard történetét sokáig úgy mesélték el, mint egy magányos zseni diadalát: a kinevetett professzor előre

látta a világűr meghódítását, a kortársak nem értették meg, majd a későbbi rakétamérnökök megvalósították mindazt, amit ő már évtizedekkel korábban kigondolt. Ebben sok igazság van, de a történet így túlságosan egyenes vonalúvá válik. A modern rakétatechnika egyszerre több országban és több hagyományból született. Konsztantyin Ciolkovszkij Oroszországban, Hermann Oberth Európában, Goddard az Egyesült Államokban egymástól részben függetlenül jutott el ugyanahhoz a felismeréshez: a világűr elérésének reális eszköze a rakéta lehet. A német hadsereg későbbi programja nem Goddard műhelyének egyszerű folytatása volt, a szovjet és amerikai űrprogram pedig még kevésbé vezethető vissza egyetlen emberhez.

Goddard mégis központi alak. Nem azért, mert minden későbbi rakéta közvetlenül tőle származott, hanem mert olyan korban ragaszkodott a rakéta tudományos és gyakorlati lehetőségéhez, amikor a világűrutazást a művelt közvélemény jelentős része fantasztikus irodalmi témának tartotta. Matematikát, laboratóriumi kísérletet, szabadalmat és tényleges repülést kapcsolt össze. Megmutatta, hogy a folyékony hajtóanyag nem pusztán elméleti lehetőség. Kidolgozott vezérlési eljárásokat, giroszkópokat, égéstereket, szivattyúkat, többfokozatú

megoldásokat. Ugyanakkor titkolózó volt, nehezen dolgozott nagy szervezetekben, és kutatási eredményeinek jó részét nem olyan módon közölte, hogy azok széles mérnöki közösség részévé válhassanak. Élete ezért legalább annyira szól a modern innováció korlátairól, mint a zsenialitásról.

A könyv nem hősi életrajz és nem rakétamérnöki kézikönyv. Goddard életén keresztül azt vizsgálja, miként alakult át a világűr az irodalmi képzelet teréből mérnöki problémává, majd katonai versennyé, végül állami és magánvállalati iparággá. A káposztaföldtől Peenemündén és White Sandsen át Huntsville-ig, Bajkonurig, Cape Canaveralig és a modern kereskedelmi űrrepülésig vezető út nem egyenes. Tele van párhuzamos felfedezésekkel, kisajátított tudással, háborús kényszerrel, politikai propagandával és olyan erkölcsi kérdésekkel, amelyeket a technikai siker önmagában nem old meg.

A rakéta különös találmány. Ugyanaz a fizika emel tudományos műholdat a Föld körüli pályára, visz embert a Holdra, és juttat robbanófejet egy távoli város fölé. Goddard pályája még azelőtt kezdődött, hogy ez a kettősség teljes történelmi súlyával megmutatkozott volna, de életének utolsó éveiben már láthatta, hogy a

rakéta a hadviselés egyik új fegyverévé válik. Halála után néhány héttel véget ért a második világháború, majd egy évtizeden belül megkezdődött az interkontinentális rakéták és az űrverseny korszaka. A huszadik század közepére a rakéta egyszerre lett a pusztítás és a kozmikus remény jelképe.

Száz évvel az auburni indítás után a világ ismét egy rakétaforradalom közepén él. A részben újra felhasználható hordozórakéták rutinszerűen térnek vissza a Földre, magánvállalatok több ezer műholdból álló rendszereket építenek, új Hold-programok készülnek, és ismét komolyan beszélünk emberes Mars-utazásról. A technika természetesen összehasonlíthatatlanul fejlettebb Goddard tízlábnyi szerkezeténél. Az alapkérdés azonban felismerhető maradt: hogyan lehet elegendő energiát ellenőrzött módon felszabadítani ahhoz, hogy egy jármű legyőzze a gravitációt, majd irányíthatóan eljusson oda, ahová küldjük? Ez a könyv annak a pillanatnak a történetével kezdődik, amikor erre a kérdésre egy hóval borított massachusettsi farmon először adott sikeres, folyékony hajtóanyagú választ egy repülő szerkezet.

1. A fiú, aki fel akart mászni az égbe

Robert Hutchings Goddard 1882. október 5-én született Worcesterben, Massachusettsben. A város a tizenkilencedik század végének amerikai ipari világához tartozott: gyárak, vasutak, műhelyek és gyorsan növekvő középosztály formálták. Nem olyan hely volt, amely természetes előszobájának tűnt volna a világűrnek. Goddard gyermekkorának azonban fontos eleme lett a technikai kíváncsiság. Az elektromosság, a mechanika és a kor új találmányai ugyanúgy izgatták, mint a fantasztikus történetek. A fiatal Robert egészsége gyenge volt, iskolai tanulmányait betegségek szakították meg, ezért sok időt töltött olvasással és saját kísérletekkel. A később kialakuló önállósága részben ebből a magányos tanulási helyzetből eredt.

A rakéta iránti érdeklődésének történetében különös jelentőséget kapott 1899. október 19-e. Goddard később úgy emlékezett erre a napra, mint személyes fordulóra. A családi ház közelében egy cseresznyefára mászott fel, és miközben a tájat nézte, elképzelte, milyen szerkezettel lehetne eljutni a Marshoz. Tizenhét éves volt. Ezt a napot élete végéig saját külön

ünnepeként, „anniversary day”-ként tartotta számon. Egy ifjúkori kép természetesen nem magyarázza meg önmagában egy tudósi pálya kialakulását, de fontos, mert megmutatja Goddard gondolkodásának egyik maradandó vonását: a képzeletet nem az elmélettel szemben álló dolognak tekintette, hanem a kutatási kérdések forrásának.

A tizenkilencedik század végén a bolygóközi utazás már nem volt teljesen ismeretlen gondolat. Jules Verne regényei és H. G. Wells történetei új közönséget teremtettek a tudományos-fantasztikus képzelet számára. A művek technikai megoldásai sokszor nem állták ki a fizikai vizsgálatot, de hozzájárultak ahhoz, hogy az űrutazás elképzelhető kulturális témává váljon. Goddard élete különös példája annak, hogyan válhat egy ilyen fantázia mérnöki kutatási programmá. A döntő lépés nem az volt, hogy hitt a Mars elérhetőségében, hanem az, hogy megkérdezte: milyen fizikai feltételek mellett lehetne valóban eljutni oda?

A kérdés első akadály a korabeli repülés állapota volt. A Wright fivérek első motoros repülése csak 1903-ban történt. A légcsavaros repülőgép számára a levegő nem akadály, hanem szükséges közeg: a szárny felhajtóerőt hoz létre, a légcsavar a levegőt mozgatja. A

világűr azonban éppen a levegő hiányával kezdődik. Sokan ezért úgy gondolták, hogy vákuumban a rakéta sem működhet, mert nincs mihez „nekifeszítenie” magát. Goddard egyik korai érdeme az volt, hogy kísérletileg és elméletileg világossá tette: a rakéta nem a levegőt tolja, hanem a saját tömegének egy részét nagy sebességgel hátrafelé dobja ki, és az impulzusmegmaradás miatt maga előre felé gyorsul. Vákuumban tehát nem rosszabbul, hanem bizonyos értelemben kedvezőbben működik, mert nincs légellenállás.

Goddard számára ez több volt fizikai különlegességnél. Ha a rakétának nincs szüksége légkörre, akkor nincs olyan elvi határ, amely a légkör tetején megállítaná. A kérdés ezután már az energiáról, a tömegről, az anyagokról és a vezérlésről szólt. A fiatalember, aki egy fáról a Marsot nézte képzeletben, lassan felismerte, hogy álmát részekre lehet bontani. Egyetlen nagy csoda helyett sok kisebb mérnöki problémát kellett megoldani.

2. A rakéta hosszú előtörténete

Goddard nem a semmiből találta fel a rakétát. A rakéta évszázadokkal idősebb nála, és története sokáig sokkal szorosabban kapcsolódott a háborúhoz és a látványossághoz, mint a tudományhoz. A lőpor kínai felfedezése után különféle rakétaszerű fegyverek jelentek meg Ázsiában, majd európai hadseregekben is. A tizennyolcadik és tizenkilencedik század fordulóján az indiai Mysore rakétái, majd az azokból tanuló brit Congreve-rakéták bizonyították, hogy a rakétának lehet katonai szerepe. Pontatlanok voltak, de pszichológiai hatásuk és hatótávolságuk figyelmet keltett.

A tüzérség fejlődése később háttérbe szorította őket. A huzagolt csövű ágyúk pontosabbak és megbízhatóbbak lettek. A rakéta hosszú időre megmaradt különleges katonai eszköznek, jelzőfegyvernek, mentőfelszerelésnek és tűzijátéknak. Ahhoz, hogy üreszközzé váljon, új elméleti keret kellett. Ezt a keretet a tizenkilencedik század végén és a huszadik elején több, egymástól távol dolgozó gondolkodó kezdte felépíteni.

Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij, az orosz tanár és autodidakta kutató 1903-ban publikált munkájában

matematikailag vizsgálta a rakétával történő űrutazást. Nevéhez kötjük a klasszikus rakétaegyenletet, amely megmutatja, milyen kapcsolat van a rakéta tömegaránya, a kiáramló gáz sebessége és az elérhető sebességváltozás között. Az egyenlet nem csupán számítási formula, hanem a rakétatechnika egyik könyörtelen törvénye. A járműnek üzemanyagot kell vinnie ahhoz, hogy felgyorsuljon, ám az üzemanyag tömegét is gyorsítani kell, ehhez pedig további üzemanyag szükséges. Innen ered a többfokozatú rakéták logikája és a tömegcsökkentés megszállott fontossága.

Ciolkovszkij folyékony hajtóanyagokban gondolkodott, mert azok nagyobb teljesítményt és szabályozhatóságot ígértek. Munkái Oroszországon kívül sokáig korlátozottan váltak ismertté. A német nyelvterületen Hermann Oberth lett a rakéta és az űrutazás egyik legfontosabb elméleti szószólója. Az 1920-as években megjelenő könyvei mérnöki nemzedékeket inspiráltak, és hozzájárultak a német rakétaegyesületek kialakulásához. Goddard ezzel párhuzamosan Amerikában dolgozott. A három történet nem olvasható össze egyetlen mester-tanítvány láncá. Inkább azt mutatják, hogy a korszak fizikája, technológiája és kulturális képzelete

egyszerre több helyen érlelte ugyanazt az ötletet.

A modern rakéta tehát nem egyetlen feltalálói pillanat terméke. Elmélet, kémia, anyagtudomány, precíziós megmunkálás és vezérléstechnika találkozásából született. Goddard jelentőségét akkor értjük meg pontosan, ha nem kizárólagos alapítóként, hanem a három nagy korai úttörő egyikeként látjuk. Az ő sajátossága az volt, hogy az elméleti számításokat következetesen összekapcsolta a laboratóriummal és a repülési próbákkal. A kérdést újra és újra ugyanarra a formára egyszerűsítette: működik-e ténylegesen az, ami papíron lehetségesnek látszik?

3. Worcesterből a Clark Egyetemig

Goddard 1904-ben, viszonylag későn fejezte be középiskolai tanulmányait, majd a Worcester Polytechnic Institute hallgatója lett. A mérnöki környezet fontos átmenetet jelentett számára. Korábbi érdeklődése itt találkozott a laboratóriumi fegyelemmel és a műszaki számításokkal. 1908-ban szerzett diplomát, később a Clark Universityn folytatta tanulmányait, ahol 1911-ben fizikából doktorált. Rövid időt Princetonban is töltött kutatói ösztöndíjjal, de egészségi problémái ismét közbeszóltak. Visszatért Worcesterbe és a Clarkhoz, amely élete egyik állandó intézményi háttere lett.

A Clark Egyetem akkoriban fiatal, ambiciózus kutatóegyetem volt. Goddard itt tanárként és kutatóként egyaránt dolgozott. Fizikusként az elektromossággal, rádiótechnikával és más területekkel is foglalkozott, miközben egyre több időt fordított a rakétára. Korai kísérleteinek egyik kulcskérdése a hatásfok volt. A hagyományos puskaaporos rakéták korlátozott teljesítménye nem adott reális utat nagy magasságok felé. Goddard ezért a hajtóanyagok és égési folyamatok mérésébe kezdett.

1914-ben két jelentős amerikai szabadalmat kapott. Az egyik a többfokozatú rakéta gondolatához, a másik a folyékony hajtóanyag alkalmazásához kapcsolódott. A több fokozat nem pusztán praktikus trükk. Ha a rakéta repülés közben eldobja azokat a tartályokat és szerkezeti elemeket, amelyekre már nincs szüksége, a következő fokozatnak kisebb holt tömeget kell gyorsítania. Ez a felismerés később minden nagy hordozórakéta alapelvévé vált, a V-2 utáni kísérleti rendszerektől a Saturn V-ig és a modern űreszközökig.

Goddard pályájának korai szakasza ugyanakkor rámutat arra, mennyire nehéz intézményi támogatást szerezni egy olyan kutatásra, amelynek gyakorlati haszna még nem látható. A felsőlégkör tanulmányozása tudományosan értelmezhető cél volt, a világűr viszont sok döntéshozó szemében túlságosan távoli lehetőségnek tűnt. Goddard ezért gyakran óvatosan fogalmazott. Nem mindig a bolygóközi utazással érvelt, hanem olyan eszközzel, amely meteorológiai vagy légköri műszereket emelhet a ballonok számára elérhetetlen magasságba.

Ez a stratégia több volt pusztán kommunikációs fogásnál. A felsőlégkör kutatása valóban fontos tudományos feladatot kínált, és Goddard rakétái később műszereket is vittek. De a háttérben ott maradt a

nagyobb cél. Jegyzeteiben és terveiben újra felbukkant a világűr. Kutatói személyiségének egyik érdekes ellentmondása éppen az, hogy a nyilvánosság előtt sokszor visszafogott volt, miközben magánfeljegyzéseiben rendkívül messzre tekintett.

4. A Smithsonian ötezer dollárja

1916 őszén Goddard olyan levelet írt a Smithsonian Institutionnak, amely később az amerikai tudománytámogatás egyik híres dokumentuma lett. Rakétakísérleteit ismertette, és támogatást kért. Charles Greeley Abbot, a Smithsonian vezető kutatója és későbbi főtitkára komolyan vette a javaslatot. A projektet műszakilag megalapozottnak látta, és azt ajánlotta, hogy az intézmény finanszírozza a további munkát. 1917 elején Goddard ötezer dolláros támogatást kapott a Hodgkins-alapból. Az összeg a korszakban jelentős volt, és lehetővé tette, hogy a kutatás ne pusztán szabadidős kísérletezés maradjon.

A Smithsonian támogatása azért is fontos, mert cáfolja azt a leegyszerűsítő képet, amely szerint Goddardot minden kortársa kinevette és teljesen magára hagyta. Valóban sok értetlenséggel találkozott, és pénzügyi problémái évtizedeken át elkísérték. Mégis voltak olyan tudományos intézmények és magánpártolók, amelyek felismerték munkájának értékét. Abbot szerepe különösen jelentős. Nem kellett elfogadnia minden távoli víziót ahhoz, hogy belássa: a rakéta új eszköz lehet a

felsőléggör kutatására.

1919-ben a Smithsonian jelentette meg Goddard A Method of Reaching Extreme Altitudes című munkáját. A tanulmány matematikai és műszaki érvekkel tárgyalta a nagy magasságot elérő rakéták lehetőségét. Tartalmazta azt a gondolatot is, hogy megfelelő rakéta eljuttathatna egy terhet a Holdig; a becsapódáskor keletkező fényjelenséget nagy távcsövekkel talán meg is lehetne figyelni. A felvetés a sajtó számára sokkal érdekesebbnek bizonyult, mint a tanulmány számításai.

Goddard ezzel váratlanul a nyilvánosság elé került. A világűrbe tartó rakéta ötlete egy olyan korban vált újsághírré, amikor a legtöbb ember számára a repülőgép is új technológiának számított. A tudós visszafogott stílusa és a média logikája nehezen találkozott. Az újságok nem a hajtóanyag-hatékonyságról akartak írni, hanem arról, hogy egy professzor rakétát küldene a Holdra. Ez a feszültség hosszú időre meghatározta Goddard viszonyát a sajtóhoz.

A Smithsonian és Goddard kapcsolata azonban kitartott. Az intézmény pénzzel, publikációs lehetőséggel és intellektuális támogatással segítette. Goddard később hálás levélben hangsúlyozta, mennyire fontos volt

számára ez a bizalom azokban az években, amikor kevesen láttak jelentőséget vállalkozásában. Az innováció történetének gyakran elfelejtett szereplői az ilyen közvetítők: azok, akik nem maguk találják fel az új eszközt, hanem felismerik, hogy egy furcsának tűnő ötlet megérdemli a kísérleti esélyt.

5. A New York Times és a vákuum

1920 januárjában a New York Times szerkesztőségi cikke élesen bírálta Goddard világűrről szóló elképzeléseit. A lap abból indult ki, hogy a rakéta nem működhet a világűrben, mert nincs levegő, amelyhez képest elrugaszkozhatna. Fizikailag ez tévedés volt. A rakétahajtás lényege nem a környező közeggel való kölcsönhatás, hanem a hajtóanyagból keletkező gáz nagy sebességű kiáramoltatása. A reakcióerő vákuumban is fellép. A történet azért vált híressé, mert látványosan megmutatja, hogy a tekintélyes sajtó is képes magabiztosan rosszul megítélni egy új technológia alapelvét.

A későbbi legendák azonban ezt az epizódot is hajlamosak eltúlozni. Nem az történt, hogy a tudomány egésze tagadta volna Newton törvényeit, miközben egyetlen zseni ismerte az igazságot. Fizikusok számára a rakéta vákuumbeli működése levezethető volt a klasszikus mechanikából. A vita inkább azt jelezte, milyen messze állt az űrutazás gondolata a hétköznapi technikai intuíciótól. A sajtó kritikája ráadásul mély nyomot hagyott Goddardban, aki ezután még

bizalmatlanabb lett a nyilvánossággal szemben.

A tudós személyisége eleve hajlott a titkolózásra. Szabadalmait gondosan védte, műhelyét nem szívesen nyitotta meg idegenek előtt, eredményeit gyakran késve vagy szűkszavúan publikálta. Ennek volt racionális oka: félt, hogy ötleteit mások használják fel. A probléma az volt, hogy a modern mérnöki tudás rendszerint közösségekben fejlődik. A publikáció, a vita, a reprodukálható mérés és a nagyobb csapatok együttműködése gyorsítja az innovációt. Goddard zárkózottsága bizonyos értelemben megvédte szellemi tulajdonát, ugyanakkor elszigetelte attól a mérnöki hálózattól, amely később Németországban, a Szovjetunióban és az Egyesült Államokban hatalmas rakéta programokat épített.

A New York Times 1969. július 17-én, az Apollo-11 útjának második napján visszatért a régi cikkhez, és elismerte, hogy 1920-as álláspontja téves volt. A gesztus szép lezárása lett a történetnek, de Goddard ezt már nem érthette meg. Huszonnégy éve halott volt. A rakéta, amelyről azt írták, hogy a világűrben nem működhet, addigra embereket vitt a Hold közelébe.

A sajtóvita Goddard életében inkább figyelmeztetésként működött, mint ösztönzésként. Egyre inkább úgy gondolta, hogy eredményei önmagukért beszélnek majd. A következő nagy lépéshez azonban nem elég egy helyes fizikai elv. Olyan hajtóművet kellett építeni, amelyben a folyékony üzemanyag és az oxidálószer ellenőrzött módon jut az égéstérbe, meggyullad, és elegendő tolóerőt termel ahhoz, hogy az egész szerkezet saját tömegét felemelje. A problémát nem lehetett újságcikkkel megoldani. Hegesztés, szelepek, csövek, tartályok, gyújtás és újabb kísérletek kellettek hozzá.

6. Miért folyékony hajtóanyag?

A rakéta működésének legegyszerűbb magyarázata könnyen félrevezetően egyszerűvé válik. Ha egy zárt tartályból nagy sebességgel gáz áramlik ki az egyik irányba, a tartály az ellenkező irányba gyorsul. A valódi rakétahajtómű problémája azonban nem az elv, hanem az, hogyan lehet ezt a folyamatot nagy teljesítménnyel, kis tömeggel és ellenőrizhetően megvalósítani. A korai szilárd hajtóanyagú rakéták lőporhoz hasonló keverékeket égettek. Egyszerűek voltak, de a teljesítményük és szabályozhatóságuk korlátozott maradt. Goddard ezért fordult egyre határozottabban a folyékony hajtóanyag felé.

A folyékony rendszer két összetevőt használ: üzemanyagot és oxidálószeret. A földi motorok a levegő oxigénjét használhatják az égéshez, a rakéta azonban magával viszi azt is, ami az égés fenntartásához szükséges. Goddard első sikeres rendszerében benzin volt az üzemanyag és folyékony oxigén az oxidálószer. A folyékony oxigén kezelése a húszas években különösen nehéz feladat volt. Rendkívül alacsony hőmérsékleten marad folyékony, gyorsan párolog, és oxigéndús

környezetben számos anyag gyulladásveszélyessé válik. A kísérlet tehát nemcsak hajtóműtervezési, hanem tárolási és biztonsági kihívás is volt.

A folyadékok nagy előnye a szabályozhatóság. Elméletileg lehet változtatni az áramlási sebességet, le lehet állítani a hajtóművet, és megfelelő rendszerben újra is lehet gyújtani. A különálló tartályok lehetővé teszik az üzemanyag és az oxidálószer adagolását. Ez a lehetőség később alapvetővé vált a rakétatechnikában, különösen olyan küldetéseknél, ahol pontos pályamódosításokra van szükség. A folyékony hajtómű ára a bonyolultság: vezetékek, szelepek, szivattyúk, gyújtás, égéstér, hűtés és vezérlés egész rendszere szükséges.

Goddard 1921 körül kezdett komolyabban folyékony hajtóanyagú rendszerekkel kísérletezni. Korai szivattyúi, égésterei és fúvókái ma múzeumi tárgyként primitívnek tűnhetnek, de mérnöki kérdéseik ismerősek minden modern rakéta számára. Hogyan keverjük a két komponenst úgy, hogy az égés stabil legyen? Hogyan akadályozzuk meg, hogy az égéstér megolvadjon? Hogyan építsünk olyan fúvókát, amely hatékonyan alakítja át a forró gáz energiáját irányított sebességgé? Hogyan legyen a szerkezet könnyű, de elég erős a

nyomás elviseléséhez?

A rakétamotor egyik különösen kegyetlen tulajdonsága, hogy saját teljesítménye önmaga ellen dolgozik. Minél több energiát szabadít fel az égéstérben, annál nagyobb hő- és mechanikai terhelést kell elviselnie. A motor falát tehát védeni kell attól a folyamattól, amely a rakétát hajtja. A későbbi folyékony rakéták regeneratív hűtése úgy oldotta meg ezt, hogy a hajtóanyagot az égéstér vagy a fúvóka falában kialakított járatokon vezette át, mielőtt az égésbe került. A folyadék közben hőt vett fel, a szerkezet pedig kevésbé melegedett túl. Goddard maga is végzett önhűtő égésterekkel kapcsolatos úttörő munkát.

A technikai fejlődés történetében gyakran a látványos indításra emlékezünk, de a siker mögött több száz földi próba áll. Egy szelep, amely befagy, egy csatlakozás, amely szivárog, vagy egy égéstér, amely néhány tizedmásodperc után kiég, ugyanúgy része a történetnek, mint a rekord. Goddard laboratóriumában a rakéta fokozatosan vált romantikus elképzelésből olyan géppé, amelynek minden alkatrésze külön mérési problémát jelentett.

7. 1926. március 16.

Az első sikeres folyékony hajtóanyagú rakéta indítása nem ünnepélyes nyilvános esemény volt. Goddard évek óta dolgozott a rendszeren, és a kísérleti eszköz inkább hasonlított csövekből épített állványra, mint a későbbi rakéták áramvonalas hengerére. A motor felül helyezkedett el, a hajtóanyag-tartályok alatta. Goddard úgy gondolta, hogy ez az elrendezés segíti a stabilitást. A későbbi próbák során hamar felismerte, hogy a motor alulra helyezése egyszerűbb és megfelelően stabil konstrukciót tesz lehetővé.

A március 16-i rakéta benzinnel és folyékony oxigénnel működött. Az indítás előtt a hideg idő, a folyékony oxigén kezelése és a szerkezet megbízhatósága is bizonytalanságot jelentett. Amikor a hajtómű végül működésbe lépett, a rakéta nem ugrott azonnal magasra. Néhány pillanatig úgy tűnt, mintha a szerkezet inkább küzdene saját tömegével. Aztán elemelkedett. Két és fél másodperc múlva már véget is ért a repülés.

A mért eredmény mai szemmel szerény: körülbelül 41 láb, vagyis 12,5 méter magasság, 184 lábnyi, nagyjából 56 méteres távolság. Az egész szerkezet körülbelül tíz láb hosszú volt. Egy mai nagy hordozórakéta első

fokozata másodpercenként több tonna hajtóanyagot fogyasztthat; Goddard gépe ehhez képest műhelymodellnek látszik. A történeti jelentőség azonban nem a magasságból következik. A kísérlet azt mutatta meg, hogy folyékony üzemanyaggal és folyékony oxidálószerrel önállóan repülő rakéta építhető.

A helyszín később a populáris történetben „káposztaföldként” rögzült. Az auburni farm valóban mezőgazdasági terület volt, és a rakéta a hóval borított földön zuhant le. A kép azért erős, mert egyetlen jelenetben foglalja össze a technológiai forradalmak egyik visszatérő sajátosságát: a jövő fontos eszközei gyakran méltatlanul hétköznapi körülmények között jelennek meg először. Nincs még hozzájuk infrastruktúra, iparág vagy közönség. A környezet a régi világ része, miközben a kísérlet már az újhoz tartozik.

Goddard nem azonnal kezdte ünnepelni magát. A mérnöki munka következő problémája érdekelte. Májusban új konstrukcióval próbálkozott, amelyben a motor már a rakéta aljára került. Ezek az indítások nem sikerültek: a hajtómű nem termelt elegendő tolóerőt. A ma Smithsonian-gyűjteményben őrzött májusi szerkezet mégis különleges, mert ez a legrégebbi fennmaradt folyékony hajtóanyagú rakéta, és valószínűleg az első

sikeres jármű fűvókájának elemeit is felhasználta.

Az 1926-os siker tehát nem egy kész rendszer bemutatása volt. Inkább ajtónyitás. A folyékony rakéta ezután sem vált egyik napról a másikra megbízható járművé. Goddardnak még több mint egy évtizednyi kísérletezés állt előtte, és a világ más részein is most gyorsult fel igazán a fejlesztés. De már nem lehetett azt mondani, hogy a folyékony hajtás csak papíron működik.

8. Egy családi vállalkozás a világűrért

A magányos feltaláló képe Goddard esetében csak részben igaz. Kis létszámú csapatban dolgozott, és életének legfontosabb munkatársa felesége, Esther Christine Kisk Goddard lett. 1924-ben házasodtak össze. Esther nem rakétamérnökként került a történetbe, mégis nélkülözhetetlen szerepet játszott a kísérletek dokumentálásában, szervezésében és később férje örökségének megőrzésében. Fényképeket készített, feljegyzéseket kezelt, adminisztratív feladatokat végzett, és Goddard halála után évtizedeken át dolgozott azon, hogy a dokumentumok, szabadalmak és történeti emlékek fennmaradjanak.

A Goddard-házasság a kutatás sajátos mikrointézményévé vált. Robert rendkívül koncentráltan, időnként megszállottan dolgozott. Titoktartása miatt a csoport kicsi maradt. Ez előnyt jelentett abban, hogy gyorsan és kevés bürokráciával lehetett változtatni egy szerkezeten, ugyanakkor korlátozta a párhuzamos fejlesztést és a tudás megosztását. A későbbi állami rakéta programok több száz, majd több ezer szakember együttműködésére épültek. Goddard laboratóriuma

ehhez képest kézműves műhely maradt.

Esther szerepe különösen Goddard halála után vált láthatóvá. A tudós 1945-ben hunyt el, amikor az Egyesült Államokban már megjelentek a német rakétatechnika eredményei, de még nem alakult ki a későbbi Goddard-kultusz. Özvegye rendezte és segítette a hagyaték kezelését, közreműködött szabadalmi ügyekben, és támogatta férje írásainak kiadását. Az amerikai állam később jelentős összeget fizetett Goddard szabadalmainak felhasználásával kapcsolatos követelések rendezésére. A történet így a feltalálói jog és az állami technológiafejlesztés kapcsolatának példájává is vált.

A házaspár személyes története azért fontos, mert a nagy technológiai narratívák hajlamosak eltüntetni a háttérmunkát. Egy rakétaindítás fényképén a jármű látszik, ritkán az, aki a dokumentumokat rendszerezte, beszerzést intézett vagy a finanszírozókkal levelezett. Goddard kis csapata a modern kutatás előtti korszak utolsó műhelymodelljei közé tartozott. Az eredmények személyekhez kötődtek, a tudás sokszor kézírásos jegyzetekben és saját készítésű alkatrészekben élt.

Ez a rendszer egy pontig működött. Ahogy a rakéták mérete, sebessége és bonyolultsága nőtt, egyre világosabbá vált, hogy az űrrepülés nem egyetlen feltaláló technológiája lesz. Anyagtudósok, vegyészek, elektronikai szakemberek, ballisztikusok, meteorológusok, gyártómérnökök és szervezők együttműködése kellett hozzá. Goddard tragikus iróniája, hogy ő bizonyította egy új technológiai rendszer lehetőségét, miközben saját munkamódszere egyre kevésbé illett ahhoz a mérethez, amelyen ez a rendszer később igazán sikeressé vált.

9. A hangos robbanás és a rendőrség

1929. július 17-én Goddard újabb fontos kísérletet végzett Auburnben. Rakétája tudományos műszereket, köztük barométert és kamerát vitt. A repülés technikai szempontból előrelépést jelentett: a rakéta többé nem önmagáért repült, hanem hasznos terhet emelt. A kísérlet azonban olyan zajjal és látvánnyal járt, hogy a környéken riadalmat keltett. A helyi hatóságok figyelme is a furcsa kísérletekre irányult.

A történetet gyakran anekdotaként mesélik: a világűr úttörője annyira megelőzte korát, hogy a szomszédok bombarobbanásnak hitték a rakétáját. A helyzet prózaibb és tanulságosabb volt. Nagy energiájú kísérleteket egyre nehezebb volt sűrűbben lakott területen végezni. Ahogy nőtt a rakéták teljesítménye, nőtt a biztonsági távolság és a tesztterület iránti igény is. Goddardnak olyan helyre volt szüksége, ahol több kilométernyi nyitott tér áll rendelkezésre.

Ekkor lépett életébe Harry Guggenheim. A Guggenheim család a repülés fejlesztésének jelentős támogatója volt, és Charles Lindbergh is érdeklődést mutatott Goddard munkája iránt. Lindbergh 1927-es

Atlanti-óceán átrepülése után világhírű lett, és személyes tekintélye megnyitott olyan ajtókat, amelyek a visszahúzódó fizikustól zárva maradhattak volna. A Guggenheim-támogatás végül lehetővé tette, hogy Goddard a jóval ritkábban lakott Új-Mexikóba költöztesse kísérleteit.

A döntés technikatörténeti szempontból kulcsfontosságú. A modern rakétafejlesztés földrajza mindig összefügg a veszéllyel. Peenemünde a Balti-tenger partján, White Sands a sivatagban, Bajkonur a kazah sztyeppén, Cape Canaveral az Atlanti-óceán partján kínált nagy, viszonylag üres biztonsági területeket. Goddard Roswell környéki munkája ennek az infrastruktúrának korai amerikai előképe lett.

A költözés a tudós életmódját is megváltoztatta. A keleti egyetemi közegből egy száraz, nyílt tájra került, ahol a rakétát nem laboratóriumi eszközként, hanem repülő járműként lehetett fejleszteni. A következő évtizedben a kísérletek magassága és összetettsége jelentősen nőtt. Goddard rakétái még nem közelítették meg a világűrt, de a program ekkor vált igazán rendszeres repülési fejlesztéssé.

10. Roswell, a rakéták sivataga

Roswell neve ma leginkább az 1947-es UFO-történetek miatt ismert, Goddard azonban jóval korábban tette a környéket a rakétakísérletek helyszínévé. 1930-ban kezdte új-mexikói munkáját. A száraz éghajlat, a ritka lakosság és a nagy nyílt területek ideális környezetet kínáltak. A program finanszírozását nagyrészt a Guggenheim család támogatása tette lehetővé. Ez a magánfilantrópia különös átmenetet képviselt az egyéni feltalálói korszak és a későbbi állami „nagy tudomány” között.

Goddard itt hosszabb, nehezebb és erősebb rakétákat épített. Kísérletezett a hajtómű táplálásával, a turbószivattyúk előzményeivel, az égéstér hűtésével és az irányítással. A magasság növelése önmagában nem lett volna elegendő. A rakétának stabilan kellett repülnie. Egy kis eltérés a függőlegestől nagy sebességnél gyorsan veszélyes pályává nőhet. Az irányítás tehát a rakétatechnika egyik központi problémája lett.

Goddard giroszkópokat használt a jármű helyzetének érzékelésére, és olyan rendszereket fejlesztett, amelyek a fúvóka vagy aerodinamikai felületek segítségével

korrigálták a pályát. A giroszkóp alapelve egyszerűen úgy fogalmazható meg, hogy egy gyorsan forgó test megőrzi forgástengelyének irányát. Ez referenciát ad a jármű számára akkor is, amikor a földhöz képest gyorsan változik a helyzete. Későbbi rakétákban az inerciális navigáció sokkal kifinomultabb formában ugyanerre a gondolatra épült.

Roswellben az adatgyűjtés is fejlődött. A rakéta többé nem csupán felrepült és lezuhant. Mérni kellett a gyorsulást, nyomást, hajtóműműködést, repülési irányt. A kudarcokból csak akkor lehetett tanulni, ha rekonstruálható volt, mi történt. Ez a szemlélet a későbbi repülési és űrprogramok alapelve: a próba nem akkor értékes, ha feltétlenül sikeres, hanem akkor, ha elegendő információt termel a következő változathoz.

Goddard legjobb rakétái több kilométeres magasságot értek el, de soha nem jutottak a világűr közelébe. A Smithsonian 2026-os centenáriumi értékelése éppen ezért óvatosságra int a „modern rakétatechnika atyja” cím használatában. Goddard számos elsőbbsége vitathatatlan, de programja nem alakult át nagy teljesítményű, sorozatban gyártható rendszerbe. Roswell mégis olyan mérnöki laboratórium volt, ahol a modern folyékony rakéta több kulcseleme együtt jelent meg.

11. A titkolózás ára

Goddard munkamódszerének egyik legvitatottabb vonása a titoktartás volt. Érthető módon félt attól, hogy mások átveszik találmányait. Az amerikai szabadalmi rendszerben jelentős értéket látott, és pályája során több mint kétszáz szabadalom kötődött hozzá, közülük sokat csak halála után jegyezték be. A szabadalom azonban nem azonos a tudományos publikációval. A jogi védelem célja az elsőbbség és a felhasználás szabályozása, a tudományos közlés célja pedig az eredmények ellenőrizhető terjesztése. Goddard az előbbit gyakran fontosabbnak tartotta az utóbbinál.

Ez a döntés különösen akkor vált hátránnyá, amikor Európában szervezett rakétaközösségek alakultak ki. Németországban amatőrök, mérnökök és katonai szakemberek találkoztak, vitáztak, közösen kísérleteztek. Az együttműködés időnként kaotikus volt, de felgyorsította a tudás terjedését. A német hadsereg a harmincas években nagy léptékű programot hozott létre, amely pénzzel, ipari kapacitással és több száz szakemberrel dolgozott. Goddard ezzel szemben kis csapatával, külső betekintést korlátozva folytatta saját útját.

A későbbi amerikai emlékezet hajlamos volt abból kiindulni, hogy a német fejlesztők lényegében Goddard eredményeit használták fel. Bizonyos német szakemberek ismerték munkáit és szabadalmait, Wernher von Braun pedig később elismerően beszélt róla. Ebből azonban nem következik, hogy a V-2 Goddard rakétájának közvetlen leszármazottja volna. A német programnak saját elméleti és kísérleti hagyománya volt Oberthtól a Verein für Raumschiffahrt mozgalmán át a hadsereg fejlesztőcsoportjáig. A nagyméretű ballisztikus rakétához ráadásul olyan problémákat kellett megoldani, amelyekkel Goddard soha nem dolgozott ipari léptékben.

A titkolózás tehát paradox eredményhez vezetett. Goddard sok alapelvet korán felismert, de éppen ő maga akadályozta, hogy azok széles mérnöki iskola alapjává váljanak. A történész számára ez azért fontos, mert megkérdőjelezi a technikai haladás individualista képét. Egy zseniális ötlet önmagában ritkán alakít át iparágat. Kell hozzá szabványosítás, utánpótlás, intézményi tudás, gyártási tapasztalat és olyan közösség, amely képes továbbfejleszteni.

A mai technológiai világban az ellentmondás tovább él. Vállalatok szabadalmakkal és üzleti titkokkal védik eredményeiket, miközben a nyílt tudomány, a publikáció

és a szakmai mobilitás nélkül a fejlődés lelassulna. Goddard története korai példája annak, hogy az innovációban a védelem és a megosztás között nincs egyszerű egyensúly.

HÁTTÉRGYÁR

12. Oberth, Berlin és a rakétaláz

Miközben Goddard Új-Mexikóban dolgozott, Európában a rakéta kulturális mozgalommá vált. Hermann Oberth 1923-ban megjelent műve, A rakéta a bolygóközi térben mérnöki komolysággal tárgyalta az űrutazást. Németországban az első világháború utáni években különös közönség alakult ki a rakéták körül. Az elvesztett háború, a technikai modernizmus, a tudományos-fantasztikus irodalom és a jövő iránti vágy olyan közegben találkozott, amelyben a világűr egyszerre jelentett menekülést és nemzeti technikai ambíciót.

1927-ben létrejött a Verein für Raumschiffahrt, az Űrutazási Társaság. Tagjai között később ismert mérnökök és népszerűsítők tűntek fel. Berlin közelében kísérleti rakétatelepet működtettek, ahol viszonylag nyílt, közösségi módon fejlesztettek folyékony hajtóműveket. A csoport egyik fiatal tagja Wernher von Braun volt. A német rakétaláz nem csupán szakmai körökre korlátozódott. Fritz Lang 1929-es Frau im Mond című filmje látványos módon vitte vászonra a Hold-utazást, és Oberth technikai tanácsadóként részt vett a produkcióban.

A film és a valós fejlesztés közti határ ekkor még átjárható volt. A visszaszámlálás látványos filmes eszközként jelent meg, majd később valódi indítási rituálévá vált. A rakéta képe a modernitás egyik emblémája lett. Goddard ezzel szemben távol maradt a tömegkultúrától. Nem szerette a túlzó reklámot, és korábbi sajtóélményei miatt gyanakvó volt minden olyan bemutatással szemben, amelyben a tudományos pontosság háttérbe szorult.

A két modell közti különbség később jelentősnek bizonyult. A német mozgalom sok embert vonzott, vitákat és versengő megoldásokat termelt. Amikor a hadsereg felismerte a rakéta katonai lehetőségét, már létezett olyan szakemberhálózat, amelyre építhetett. Goddard rendelkezett korábbi eredményekkel, de nem állt mögötte hasonló közösség. Az amerikai hadvezetés a harmincas évek nagy részében sem hozott létre az ő munkájára épülő, átfogó ballisztikus rakétaprogramot.

Ez nem jelenti azt, hogy a német út szükségszerűen jobb lett volna. A nyitott rajongói kultúra végül egy diktatórikus állam katonai rendszerébe olvadt be. Az együttműködés és a nagy finanszírozás olyan fegyvert hozott létre, amelynek fejlesztése és gyártása tömeges emberi szenvedéshez kapcsolódott. A rakétatechnika

története e ponton elveszti az ártatlan futurizmus hangulatát.

HÁTTÉRGYÁR

13. Peenemünde: mérnöki áttörés diktatúrában

A német hadsereg a versailles-i korlátozások miatt is érdeklődött olyan fegyverek iránt, amelyek nem tartoztak a hagyományos tüzérségi kategóriákba. A harmincas évek elején Kummersdorfbán indultak szervezettebb folyékony rakétakísérletek. Wernher von Braun és Walter Dornberger vezetésével a program gyorsan nőtt. A fejlesztők előbb kisebb A-sorozatú rakétákkal kísérleteztek, majd Peenemündében létrehozták azt a kutatóközpontot, amely az A-4, későbbi nevén V-2 megszületésének helye lett.

Az A-4 technikai léptéke messze meghaladta Goddard rakétáit. Folyékony oxigént és alkoholt használt, turbószivattyú táplálta a hajtóművet, giroszkópos vezérlés irányította, és nagyjából egy tonnás robbanófejet szállíthatott. 1942 októberében egy A-4 sikeres tesztrepülése több mint nyolcvan kilométeres magasságot ért el. A gép olyan tartományba jutott, amelyet akkor már a világűr határának közelében lehetett tekinteni. A rakéta először vált valóban nagy hatótávolságú ballisztikus fegyverré.

A technikai teljesítmény azonban nem választható el a rendszertől, amely létrehozta. A náci Németország a V-2-t „megtorló fegyverként” vetette be brit, belga és más városok ellen. 1944 őszétől több ezer rakétát indítottak. A fegyver rendkívül gyorsan érkezett: a hangsebességnél gyorsabb zuhanás miatt a becsapódást nem előzte meg figyelmeztető motorhang. Katonai pontossága korlátozott volt, terrorfegyverként azonban jelentős pszichológiai hatást keltett.

A V-2 legnagyobb emberi ára nem is a célterületeken jelentkezett. A sorozatgyártást a Mittelwerk föld alatti üzemeibe telepítették, ahol koncentrációs tábori foglyokat dolgoztattak embertelen körülmények között. Ezrek haltak meg a kényszermunka, éhezés, betegségek és kivégzések következtében. A modern úrkorszak egyik technikai előzménye így közvetlenül kapcsolódik a náci rabszolgamunkához. Ezt semmilyen későbbi Hold-program sikere nem teheti mellékessé.

Goddard és a V-2 kapcsolatáról éppen ezért különösen pontosan kell beszélni. A két program ugyanazokkal az alapvető fizikai problémákkal foglalkozott, és több hasonló technikai megoldás jelent meg bennük. A német mérnökök ismerték Goddard bizonyos publikációit és szabadalmait. A V-2 azonban hatalmas állami program

eredménye volt, saját fejlődési vonallal. A háború után az Egyesült Államokban kialakult emlékezet politikailag is érdekelt volt abban, hogy egy amerikai úttörőhöz kapcsolja a modern rakéta eredetét. A valóság többközpontú és kényelmetlenebb.

14. A feltaláló és a háború

Goddard pályájának utolsó szakaszát a második világháború árnyékolta be. Az Egyesült Államok katonai szervei érdeklődtek rakétás megoldások iránt, de nem alakították Goddard munkáját a némethez hasonló stratégiai ballisztikus program alapjává. A tudós a haditengerészet számára dolgozott, többek között repülőgépek felszállását segítő rakétás rendszereken. Ezek a JATO, vagyis jet-assisted takeoff rendszerek azt a célt szolgálták, hogy nehéz terhelésű vagy rövid pályáról induló repülőgépek kiegészítő tolóerőt kapjanak.

Goddard számára a katonai feladat egyszerre jelentett elismerést és csalódást. Évtizedeken át nagy magasságú és űrrepülésre alkalmas rakétákról gondolkodott, miközben az állam akkor fordult komolyabban a technológia felé, amikor az közvetlen háborús hasznot ígért. A rakéta kettős felhasználásának dilemmája itt már teljesen látható. Egy erős hajtómű számára nincs morális különbség tudományos műszer és robbanófej között; ezt a különbséget az intézmény és a cél teremti meg.

A háború végére Goddard egészsége súlyosan megromlott. Dohányzott, és torokrákot diagnosztizáltak nála. Munkáját még betegsége alatt is folytatta. 1945.

augusztus 10-én halt meg Baltimore-ban, egy nappal Nagaszaki bombázása után és öt nappal Japán kapitulációjának bejelentése előtt. Nem érhetette meg a háború utáni rakétaverseny kibontakozását.

Halálának időpontja szimbolikus határ. A rakéta addigra bizonyított fegyver volt, de még nem indított műholdat Föld körüli pályára. A német V-2 program mérnökei és eszközei éppen ekkor váltak a győztes hatalmak zsákmányává. Az Egyesült Államok és a Szovjetunió egymással versengve igyekezett megszerezni a technikai tudást. Goddard saját kísérleti vonala lezárult, miközben az általa képviselt probléma minden korábbinál nagyobb állami erőforrást kapott.

A későbbi amerikai kultúra Goddardból posztumusz nemzeti úttörőt formált. Nevét NASA-központ viseli, iskolák, díjak és emlékművek őrzik. Ez a megbecsülés részben indokolt, részben a hidegháborús nemzeti narratíva terméke. A történelmi Goddard ennél érdekesebb: kivételesen eredeti mérnök volt, aki több döntő problémát korán megoldott, ugyanakkor nem ő építette fel azt a szervezeti modellt, amely a rakétát tömegével gyártható, megbízható rendszerként a világűrbe juttatta.

15. A német rakéták Amerikában

1945 tavaszán az európai háború vége nem jelentette a rakétatechnika történetének lezárását. Az amerikai és szovjet csapatok versenyt futottak a német dokumentumokért, alkatrészekért és szakemberekért. Az Egyesült Államok Operation Paperclip keretében Wernher von Braunt és több mint száz közvetlen munkatársát vitte át. V-2 rakéták, alkatrészek és dokumentumok is Amerikába kerültek. Az új helyszín részben különös módon ugyanaz az Új-Mexikó lett, ahol Goddard korábban dolgozott.

White Sands Proving Groundon a zsákmányolt V-2-eket tudományos és katonai kísérletekre indították. A rakéták felsőlégköri méréseket, kozmikus sugárzási vizsgálatokat és fényképező berendezéseket vittek. Az a gondolat, amelyet Goddard évtizedekkel korábban a magaslégkör kutatásával indokolt, most nagy teljesítményű német haditechnikával valósult meg. A történet tele volt iróniával: az amerikai rakétakutatás egyik következő nagy lépését nem Goddard saját fejlesztéseinek felnagyítása, hanem a legyőzött diktatúra fegyvereinek átvétele adta.

Von Braun és csapata 1950-ben Huntsville-be, Alabama államba költözött, ahol a hadsereg Redstone Arsenaljában ballisztikus rakétákat fejlesztettek. A Redstone és Jupiter programok közvetlenül a katonai rakéta korszakához tartoztak, de egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy megfelelő felső fokozatokkal műholdakat is pályára lehet állítani. A fegyver és az űreszköz technikailag továbbra is közeli rokon maradt.

Az amerikai döntéshozók erkölcsi kompromisszumot kötöttek. A Paperclip keretében olyan szakemberek kaptak új pályát, akik a náci rendszer alatt dolgoztak; egyesek párttagok voltak, és a program összefüggött a kényszermunkával működő hadiiparral. A hidegháborús versenyben a mérnöki tudás értéke gyakran erősebbnek bizonyult az elszámoltatás igényénél. Von Braun későbbi amerikai hírneve hosszú ideig sokkal inkább a Hold-programot és a televíziós űrnépszerűsítést hangsúlyozta, mint Peenemündét vagy Mittelbau-Dorát.

Goddard története ebben a közegben új funkciót kapott. Egy tisztán amerikai, civil tudományos úttörő képe segített olyan nemzeti eredettörténetet létrehozni, amely kevésbé függött a német előzményektől. Ez nem teszi semmissé Goddard eredményeit, de megmagyarázza, miért vált az ötvenes-hatvanas években

különösen fontos szimbólummá.

HÁTTÉRGYÁR

16. A szovjet út: Ciolkovszkijtől Koroljovig

A rakéta története könnyen amerikai-német történetté szűkül, ha a hidegháború nyugati emlékezetét követjük. A Szovjetunió azonban önálló elméleti és gyakorlati hagyománnyal rendelkezett. Ciolkovszkij munkái már a cári Oroszországban megfogalmazták a rakétás űrutazás alapelveit. Az 1920-as és 1930-as években szovjet mérnökök és rajongók szerveződtek kutatócsoportokba, ahol folyékony és szilárd hajtású rendszerekkel egyaránt dolgoztak. A sztálini terror azonban több kulcsszereplőt elért. Szergej Koroljovot 1938-ban letartóztatták, Gulag-táborba került, majd speciális börtön-tervezőirodában dolgozott. Később ő lett a szovjet űrprogram meghatározó főtervezője.

A háború után a Szovjetunió is megszerezte a V-2 technológiájának egy részét és német szakembereket. A korai szovjet ballisztikus rakétákon jól látszott a német örökség, de a program gyorsan önálló útra tért. A hatalmas szovjet földrajzi távolságok és a nukleáris fegyverkezés logikája különösen erős ösztönzést adott az interkontinentális rakétáknak. Koroljov R-7 rakétája eredetileg nukleáris robbanófej szállítására készült. A

konstrukció katonai szempontból nehézkes volt, műholdindítóként viszont történelmet írt.

1957. október 4-én a Szputnyik-1 pályára állt. A kis fémgömb rádiójele néhány hét alatt többször változtatott a világ politikai képzeletén, mint évtizednyi elméleti úrkutatás. A Szovjetunió bebizonyította, hogy képes mesterséges égitestet Föld körüli pályára juttatni. A technikai tény mögött azonnal ott állt a stratégiai következtetés: ha egy rakéta műholdat emel pályára, akkor nagy távolságra robbanófejet is képes eljuttatni.

Az Egyesült Államokban a Szputnyik sokkhatást váltott ki. Az oktatás, a kutatás, a rakétafejlesztés és az állami tudománypolitika egyszerre került nyomás alá. A Goddard-életrajzokban ekkor kezdett különösen fontossá válni az a történet, hogy Amerika már évtizedekkel korábban rendelkezett saját rakétaúttörővel. A nemzeti önbecsülés számára vigasztaló volt azt állítani, hogy a tudományos alapokat egy amerikai rakta le, még ha az ország intézményei nem is építettek időben nagy programot az eredményeire.

A szovjet fejlődési vonal ugyanakkor megmutatja, miért félrevezető a rakéta történetét egyetlen feltalálóhoz kötni. Ciolkovszkij, Koroljov, Glusko és

számos más mérnök nélkül a Szputnyik és Gagarin repülése nem magyarázható meg. A világűr meghódítása nem nemzeti staféta, amelyben egy ember átadja a botot a következőnek. Párhuzamos tudományos kultúrák, háborúk és állami programok fonódtak össze.

17. Szputnyik után Amerika felébred

Az Egyesült Államok 1957-ben nem volt rakétatechnikai értelemben fejletlen ország. A hadsereg, a légierő és a haditengerészet több programon dolgozott, a Jet Propulsion Laboratory komoly tapasztalatot szerzett, és von Braun csoportja működő ballisztikus rakétákat épített. A Szputnyik mégis azt az érzést keltette, hogy Amerika elvesztette a jövőért folyó versenyt. A szovjet műhold egyszerre jelentett technológiai, katonai és ideológiai kihívást.

A válasz intézményi volt. 1958-ban létrejött a NASA, amely magába olvasztotta a NACA repüléskutatási szervezetét és más űrrrel kapcsolatos egységeket. Ugyanebben az évben az Explorer-1 lett az első amerikai műhold. A Jupiter-C hordozórakéta a von Braun-csoport katonai fejlesztéseiből nőtt ki, a műhold tudományos műszerei pedig felfedezték a Van Allen-sugárzási öveket. A katonai és tudományos cél ismét ugyanabban a rendszerben találkozott.

Robert Goddard neve ebben az új korszakban intézményi rangot kapott. 1959-ben az új űrügynökség egyik központját, a marylandi Greenbeltben létrehozott

Goddard Space Flight Centert róla nevezték el. A gesztus egyszerre volt tudományos tiszteletadás és történetpolitika. A NASA saját amerikai előtörténetet kapott, amely jóval a Szputnyik és a német mérnökök érkezése előtt kezdődött.

A Goddard Space Flight Center profilja ráadásul különösen jól illett névadójához. A központ a tudományos űreszközök, műholdak és földtudományi missziók egyik fontos helyszíne lett. Goddard eredeti álma nem elsősorban emberek Holdra juttatása volt, hanem az, hogy rakétákkal műszereket lehessen nagy magasságba és végül a világűrbe vinni. Ebben az értelemben a műholdas földmegfigyelés, csillagászat és légkörkutatótalán közvetlenebb örököse az ő korai céljainak, mint a látványos emberes expedíciók.

A hidegháború azonban a nagyszabású demonstrációkat jutalmazta. 1961-ben Jurij Gagarin lett az első ember a világűrben. Néhány héttel később John F. Kennedy elnök bejelentette a célt: az Egyesült Államok még az évtized vége előtt embert juttat a Holdra és biztonságosan visszahozza. Az addigi rakétatörténet legnagyobb mérnöki programja kezdődött el.

18. Saturn V: amikor a rakéta iparággá válik

A Saturn V nem egyetlen mérnök rakétája volt. Wernher von Braun a Marshall Space Flight Center igazgatójaként és a nagy hordozórakéta egyik kulcsfigurájaként fontos szerepet játszott, de a rendszer vállalatok, NASA-központok és több százezer ember munkájából született. Boeing, North American Aviation, Douglas, IBM és számos beszállító építette a fokozatokat, hajtóműveket, vezérlést és földi rendszereket. Ez a lépték jól mutatja, milyen messz került az űrrepülés Goddard kis műhelyétől.

A Saturn V három fokozatból állt. Első fokozatának öt F-1 hajtóműve kerozint és folyékony oxigént égetett, a második és harmadik fokozat J-2 motorjai folyékony hidrogént és folyékony oxigént használtak. A hajtóanyag megválasztása önmagában egész mérnöki filozófiát tükrözött. A kerozin nagy tolóerőt és kezelhető sűrűséget kínált a felszállás első perceiben, a hidrogén pedig kiváló fajlagos impulzust a felső fokozatokban, ahol minden kilogramm különösen értékes.

Goddard felismerte a folyékony hajtóanyag és a több fokozat jelentőségét, de a Saturn V nem tekinthető

egyszerűen elképzelései felnagyításának. Olyan turbógépek, hegesztési technológiák, elektronikus vezérlőrendszerek, kriogén tartályok és minőségbiztosítási módszerek kellettek hozzá, amelyek az ő korában még nem léteztek. A hasonlóság a fizikai alapelvek szintjén valós, a mérnöki rendszer szintjén hatalmas a távolság.

1967 novemberében az Apollo-4 küldetés során először indult teljes Saturn V. A rakéta több mint száz méter magas volt. A rezgés, hangnyomás és hőterhelés olyan nagyságrendű problémákat teremtett, amelyek megoldásához külön tesztlétesítmények épültek. A Mississippi Test Facilityn teljes fokozatokat járattak, Marshallban szerkezeti és hajtóműtesztek zajlottak, Floridában pedig új indítókomplexum épült. A rakéta többé nem egy tárgy volt, hanem országos infrastruktúra.

Az Apollo-program sikere így nem cáfolta, hanem újraértelmezte a magányos feltaláló mítoszát. Goddard megmutatta, hogy egy ember képes új technológiai irányt nyitni. A Hold eléréséhez azonban egy egész állam gazdasági, ipari és tudományos erőforrásainak összehangolása kellett. Az űrkorszak egyik tanulsága éppen az, hogy a nagy víziók akkor válnak történelemmé,

amikor intézmények képesek tartósan megszervezni köréjük a munkát.

HÁTTÉRGYÁR

19. Apollo-11 és az 1920-as újságcikk árnyéka

1969. július 16-án az Apollo-11 Saturn V rakétája felszállt Floridából. Négy nappal később Neil Armstrong és Buzz Aldrin leszállt a Holdra, Michael Collins pedig holdkörüli pályán maradt. A küldetés a huszadik századi technológia egyik legnagyobb demonstrációja lett. Az eseményhez Goddard emléke is látványosan visszatért.

A New York Times 1969. július 17-én rövid szerkesztőségi helyreigazítást közölt régi, 1920-as cikkéről. A lap csaknem fél évszázaddal korábban tévesen gúnyolta Goddard azon elképzelését, hogy a rakéta vákuumban is működik. Most, amikor a Hold felé tartó űrhajó rakétahajtóművei éppen vákuumban végeztek pályamódosításokat, a tévedés ironikusan nyilvánvalóvá vált. A helyreigazítás a modern tudománytörténet egyik legismertebb sajtógesztusává vált.

A történetben azonban van egy mélyebb réteg. A Holdra szállás nem azért igazolta Goddardot, mert minden részletet előre látott. Inkább azért, mert egy alapvető állítást következetesen komolyan vett: a világűr technikai úton elérhető. A huszadik század elején ez

kulturálisan radikálisabb gondolat volt, mint 1969-ben visszatekintve látszott. A technológia sikere utólag természetessé teszi azt, ami előtte valószínűtlennek tűnt.

Buzz Aldrin egy apró Goddard-emléket is vitt magával a Holdra, jelezve, hogy az amerikai űrprogram tudatosan saját elődjének tekintette a fizikust. Az ilyen szimbolikus gesztusok nem pontos technológiai leszármazást bizonyítanak, hanem történeti identitást teremtenek. Az Apollo-programnak szüksége volt úttörőkre, akikhez kapcsolhatta önmagát, és Goddard erre különösen alkalmas volt.

Az 1969-es nyár ezért egyszerre zárta le és nyitotta újra Goddard történetét. A Holdra jutás megvalósította azt a fajta utazást, amelyről ifjúkorában álmodott, ugyanakkor a siker újra előhívta a kérdést: mekkora része volt ebben ténylegesen? A válasz nem egyetlen százalék vagy cím. Goddard nélkül is lett volna modern rakétatechnika, mert Ciolkovszkij, Oberth, a német, szovjet és amerikai mérnökök párhuzamos munkája erős technológiai sodrást alkotott. De az amerikai tudománytörténetből kivéve Goddardot egy alapvető kísérleti láncszem és egy különleges intellektuális példa tűnne el.

20. A rakétaegyenlet könyörtelensége

Ahhoz, hogy megértsük, miért volt olyan nehéz a káposztaföldtől a Holdig eljutni, érdemes röviden megállni a rakéta alapvető matematikájánál. A Ciolkovszkij-féle rakétaegyenlet azt fejezi ki, hogy a rakéta elérhető sebességváltozása az effektív kiáramlási sebességtől és a kezdeti, illetve végső tömeg arányának logaritmusától függ. A képlet első látásra száraznak tűnik, következménye viszont drámai: minél gyorsabban akarunk menni, annál nagyobb részben kell a járműnek hajtóanyagból állnia.

A Föld körüli pályára álláshoz nem elég egyszerűen „felmenni”. A járműnek oldalirányban is rendkívül nagy sebességet kell elérnie, hogy folyamatos szabadesésben maradjon a Föld körül. Ehhez több kilométer per másodperces sebességváltozás szükséges, és a légellenállás, illetve gravitációs veszteségek tovább növelik az igényt. Egyetlen fokozattal elméletileg is rendkívül nehéz olyan rakétát készíteni, amely elegendő hajtóanyagot visz, mégis marad benne hasznos teher.

Innen érthető Goddard korai érdeklődése a többfokozatú rakéta iránt. A kiürült tartály és elhasznált

hajtómű holt tömeg. Ha repülés közben leválasztható, a következő fokozatnak már nem kell tovább gyorsítania. A Saturn V három fokozata, a szovjet hordozórakéták összetett felépítése és a modern rendszerek döntő többsége ugyanennek a tömegproblémának a megoldása.

A rakétaegyenlet azt is megmagyarázza, miért olyan értékes a nagyobb kiáramlási sebesség. A folyékony hidrogén-oxigén hajtóművek például nagy fajlagos impulzust kínálnak, ezért felső fokozatokban különösen előnyösek. Ugyanakkor a hidrogén kis sűrűségű, rendkívül hideg, nagy tartályt igényel és nehezen kezelhető. A rakétatervezés szinte minden döntése kompromisszum.

Goddard korában a mérnökök még nem rendelkeztek digitális szimulációkkal, nagy teljesítményű számítógépekkel vagy több évtizedes repülési adatbázissal. Számításaikat kézzel végezték, kísérleteik pedig gyakran egyetlen példányt pusztítottak el. Az a tény, hogy Goddard ilyen körülmények között működő folyékony hajtóművet, vezérlést és repülő rendszert épített, önmagában magyarázza történeti rangját.

21. A rakéta mint fegyver

A huszadik század második felében a rakéta legnagyobb társadalmi jelentősége nem az űrkutatásból, hanem a nukleáris elrettentésből következett. Az interkontinentális ballisztikus rakéta percek alatt képes kontinensek között robbanófejet szállítani. A hidegháború stratégiai egyensúlya nagyrészt azon alapult, hogy mindkét szuperhatalom megőrizte a megtorló csapás képességét. A világűr romantikája mögött rakétasilók, tengeralattjárók és állandó készség állt.

A technológiai rokonság közvetlen volt. A nagy hatótávolságú katonai rakéták hajtóművei, irányítórendszerei, szerkezeti megoldásai és gyártási tapasztalatai űrhordozókban is megjelentek. A korai amerikai emberes programok Redstone és Atlas rakétái katonai eredetűek voltak. A szovjet R-7 egyszerre lett interkontinentális rakéta és a Szputnyik hordozója. A világűr békés felfedezése és a nukleáris fegyverkezés tehát nem két egymástól független technikatörténet.

Goddard maga nem dolgozott atomfegyver-hordozó rendszeren. Mégis olyan technológiai család alapjait kutatta, amely erre alkalmassá vált. Ez felveti a feltaláló

felelősségének klasszikus kérdését. Mennyiben felelős egy tudós a későbbi felhasználásokért, amelyeket nem ő választott és sokszor nem is láthatott előre? Egyszerű válasz nincs. A technika nem erkölcsi értelemben semleges, mert kialakítása bizonyos használatokat megkönnyít, másokat kizár. Ugyanakkor a rakéta különösen jól mutatja, hogy ugyanaz a rendszer bolygókutató szondát vagy fegyvert is hordozhat.

A második világháború után a rakétamérnökök társadalmi státusza ezért különösen ellentmondásos lett. Von Braun egyszerre lehetett a V-2 fejlesztésének vezető alakja és az Apollo-program ünnepelelt arca. Koroljov egyszerre dolgozott katonai rakétákon és Gagarin repülésén. Az amerikai és szovjet program költségeit részben a katonai verseny igazolta. A világűrbe vezető út nem a fegyverkezés ellenére, hanem sok esetben annak infrastruktúráján keresztül nyílt meg.

Goddard életében ez a kettősség még csak körvonalazódott. Talán ezért is lehetett később könnyebben tiszta civil úttörőként bemutatni. A káposztaföld képe ártatlanabb, mint a rakétasilóé. A kettő között azonban technikatörténeti folytonosság húzódik, amelyet nem érdemes eltakarni.

22. Műholdak: Goddard csendesebb győzelme

Ha kizárólag az emberes űrrepülést tekintjük az űrkorszak csúcspontjának, könnyen alábecsüljük a műholdak jelentőségét. Pedig a mindennapi életet mélyebben változtatták meg, mint a Holdra szállások. Időjárás-előrejelzés, navigáció, távközlés, földmegfigyelés, pénzügyi idősinkronizáció, mezőgazdasági monitoring és katasztrófavédelem támaszkodik űreszközökre. Goddard eredeti elképzelése, hogy rakétákkal tudományos műszereket juttassunk a légkör fölé, ebben a világban teljesedett ki a legközvetlenebbül.

Az első műholdak kicsik és korlátozottak voltak. A Szputnyik rádiójelet sugárzott, az Explorer-1 sugárzásmérője tudományos felfedezést tett. Néhány évtized alatt azonban a Föld körüli pálya összetett infrastruktúrává vált. Geostacionárius műholdak televíziós és kommunikációs kapcsolatokat biztosítottak, alacsony pályán földmegfigyelő rendszerek fényképezték a bolygót, navigációs konstellációk pedig méteres, majd ennél jobb pontosságú helymeghatározást tettek lehetővé.

A rakéta itt nem végcél, hanem szállítóeszköz. Ez fontos szemléleti változás. Az indítás látványos, de az űripar gazdasági és társadalmi értékének jelentős része a pályára juttatott hasznos teherből származik. Goddard 1929-es műszeres rakétája ezért kis léptékben olyan logikát képviselt, amely később az egész űrtevékenységet meghatározta: a jármű feladata az, hogy egy érzékelőt oda vigyen, ahonnan új információ szerezhető.

A műholdas korszak ugyanakkor új függőségeket hozott létre. A modern társadalmak sebezhetővé váltak az űridőjárással, ütközésekkel, kibertámadásokkal és katonai zavarásokkal szemben. A Föld körüli tér egyre zsúfoltabb, az űrszemét pedig növekvő kockázat. Az űrkorszak századik évfordulóján ezért a rakéta sikere már nem csupán azt jelenti, hogy el tudunk indulni. A kérdés az is, hogyan használjuk fenntarthatóan azt a környezetet, amelyet elértünk.

Goddard álma a felsőlégkör kutatásáról így ma szinte hétköznapi infrastruktúrában él tovább. A mobiltelefon térképe, a műholdas időjárási kép vagy egy erdőtűz űrfelvétele mögött ugyanaz az alapvető áttörés áll: képesek vagyunk műszereket a légkör fölé juttatni és tartósan ott működtetni.

23. A Space Shuttle és az újrahasználatosság ígérete

Az Apollo után az Egyesült Államok olyan űrrendszert keresett, amely rutinszerűbbé és olcsóbbá teheti a világűr elérését. A Space Shuttle részben újra felhasználható rendszerként született. Az orbiter és a szilárd gyorsítórakéták visszatértek, a külső üzemanyagtartály elveszett. A program technikailag rendkívül sokoldalú volt: műholdakat indított, javította a Hubble űrtávcsövet, laboratóriumot vitt pályára és kulcsszerepet játszott a Nemzetközi Űrállomás építésében.

Gazdasági értelemben azonban nem teljesítette azt az ígéretet, hogy a repülés olcsó, repülőgépszerű rutinná válik. Az űrsikló összetettsége, hővédő rendszere és intenzív karbantartási igénye miatt egy-egy küldetés között hatalmas földi munka zajlott. A Challenger 1986-os és a Columbia 2003-as katasztrófája pedig megmutatta, hogy a részleges újrahasználatosság önmagában nem jelent biztonságot.

Goddard számára az újrahasználatos rakéta nem vált központi gyakorlati programmá, de a költség problémája már az ő idejében is jelen volt. Minden kísérleti jármű

elvesztése pénzt és időt jelentett. A huszadik század végére a hordozórakéta egyik legnagyobb gazdasági sajátossága az maradt, hogy rendkívül drága, precíz gépeket néhány percnyi működés után eldobtak.

A Shuttle tapasztalata két ellentétes tanulságot hagyott hátra. Az egyik szerint az újrahasználatosság túlságosan bonyolult ahhoz, hogy valóban olcsó legyen. A másik szerint nem maga az elv hibás, hanem az adott rendszer. A huszonegyedik század magánűripara a második értelmezést választotta, és újra megpróbálta megoldani azt a kérdést, hogyan lehet egy rakéta drága részeit gyorsan visszaszerezni és újra repültetni.

A történeti ív itt ismét Goddard módszerére emlékeztet: nem egyetlen végleges konstrukciót kell keresni, hanem repülési kísérletek sorozatában javítani a rendszert. A különbség az, hogy a modern vállalatok digitális irányítással, korszerű anyagokkal, nagy tőkével és ipari gyártással végzik ugyanazt az iteratív folyamatot.

24. A magánűripar megjelenése

Az űrrepülés első évtizedeiben az állam volt a meghatározó szereplő. Ennek egyszerű oka volt: rakéták és űreszközök fejlesztése rendkívül drága, a piac pedig kezdetben kicsi és bizonytalan volt. Katonai, tudományos és presztízscélok indokolták a költségeket. A huszadik század végére azonban kialakult a kereskedelmi műholdpiac, és egyre több magánvállalat kezdett önálló hordozórakéta-fejlesztésbe.

A nagy fordulatot nem az jelentette, hogy magáncég rakétát épít. Ilyen vállalatok korábban is részt vettek az állami programokban. Az újdonság az volt, hogy cégek saját tőkével, saját üzleti modellel és részben saját fejlesztési kockázattal próbálták csökkenteni az indítás költségét. A SpaceX a kétezres években ennek leglátványosabb szereplőjévé vált.

A Falcon-1 első három indítása kudarcot vallott, a negyedik 2008-ban sikeresen pályára állt. A vállalat ezután a nagyobb Falcon-9-re koncentrált, amelynek első fokozatát fokozatosan úgy alakították ki, hogy önállóan visszatérjen és leszálljon. 2015 decemberében egy orbitális küldetés után a Falcon-9 első fokozata sikeresen

függőlegesen leszállt Cape Canaveral területén. Ez nem az első függőleges rakétaleszállás volt a történelemben, de döntő lépést jelentett egy nagy, orbitális hordozórakéta első fokozatának rendszeres újrahasználatára felé.

Az új modell gazdasági hatása jelentős lett. Egy első fokozat többszöri repültetése csökkentheti a gyártási igényt és lehetővé teszi a magasabb indítási gyakoriságot. A költség szerkezet összetett, és nem minden megtakarítás vezet automatikusan alacsonyabb ügyfélárhoz, de a technikai bizonytalanság megszűnt: nagy rakétafokozatot lehet irányítottan visszahozni, ellenőrizni és újra repültetni.

Goddard ezt a rendszert aligha ismerné fel saját gépeinek közvetlen utódaként. Mégis felismerné a központi elemeket: folyékony hajtóanyag, szabályozható tolóerő, inerciális irányítás, tömegoptimalizálás és kísérleti iteráció. A káposztaföld és a drónhajóra érkező rakéta között száz év mérnöki fejlődése feszül, de a fizika nem változott meg.

25. SpaceX: Goddard örököse vagy új történet?

A modern technológiai kultúra szereti az egyszerű leszármazási vonalakat. Goddard után von Braun, utána NASA, majd SpaceX: ez látványos történet, de történelmileg pontatlan. A SpaceX mérnöki tudása a teljes huszadik századi rakétaiparból, számítástechnikából, anyagtudományból és gyártástechnológiából táplálkozik. Nem egy ember szellemi örökségét viszi tovább, hanem egy hatalmas közös technológiai rendszert.

Goddarddal mégis vannak érdekes párhuzamok. Az egyik a gyors kísérletezés. Goddard nem elégedett meg az elmélettel: épített, indított, mért, javított. A modern magánűripar is gyakran vállalja a látványos tesztkudarcokat, ha azok gyors adatgyűjtést tesznek lehetővé. A másik párhuzam a távoli cél. Goddard Marsról álmodott, amikor még folyékony hajtóanyagú rakéta sem repült. A modern Mars-tervek szintén jóval megelőzik azokat az infrastruktúrákat, amelyek a megvalósításukhoz szükségesek.

A különbségek legalább ilyen fontosak. Goddard titkolózó kis csapatban dolgozott, a modern nagy

űrvállalatok több ezer embert foglalkoztatnak, globális beszállítói láncsal és szabályozási környezettel. Goddard számára a finanszírozás személyes levelezések és mecénások kérdése volt; ma milliárdos tőkebefektetések, állami szerződések és kereskedelmi bevételek kapcsolódnak össze. Az űrtevékenység már nem periférikus kísérlet, hanem stratégiai iparág.

A SpaceX sikere ráadásul nem törli el a NASA és más állami intézmények szerepét. A kereskedelmi személyszállítás, műholdindítás és Hold-programok állami megrendelése fontos piacot teremtenek. A modern modell inkább új munkamegosztás, mint az állam egyszerű leváltása. A Goddard-korszakhoz képest a legnagyobb változás az, hogy az űrrepüléshez ma már létező piacok, biztosítás, szabályozás és ipari ökoszisztéma kapcsolódik.

Az örökség ezért nem személyes, hanem problémátörténeti. Goddard azt kérdezte, lehet-e folyékony hajtású rakétával olyan magasságot elérni, amely korábban lehetetlennek tűnt. A modern ipar azt kérdezi, lehet-e ugyanezt olcsóbban, gyakrabban és részben újra felhasználható eszközökkel megtenni. Mindkét korszakban az a technológia nyer jelentőséget, amely egy korábbi kivételes teljesítményt rutinná tud

alakítani.

HÁTTÉRGYÁR

26. Mi maradt Goddard találmányaiból?

Goddard több mint kétszáz szabadalomhoz kapcsolódó öröksége könnyen azt az érzést keltheti, hogy a modern rakéta alkatrészről alkatrészsre az ő találmányaiból áll. A valóság összetettebb. Számos elvet és megoldást korán alkalmazott: folyékony hajtóanyag, többfokozatú elképzelések, giroszkópos stabilizáció, kormányzás, égéstérhűtés, különféle táplálórendszerek. Sok hasonló megoldás azonban más fejlesztési vonalakon is megszületett vagy radikálisan átalakult.

A technológiai elsőbbség és a történeti hatás nem ugyanaz. Valaki először leírhat vagy szabadalmaztathat egy ötletet úgy, hogy a későbbi iparág mégsem az ő konkrét megoldását használja. Más esetben egy kevésbé eredeti mérnöki csoport azért gyakorol nagyobb hatást, mert szabványosítható, gyártható és dokumentált rendszert hoz létre. Goddard értékelésénél ezt a különbséget fontos megtartani.

A legbiztosabb állítás az 1926-os repülés. A világ első sikeresen repülő folyékony hajtóanyagú rakétája Goddard nevéhez kötődik. Ez történeti mérföldkő. Ugyancsak jelentős az 1919-es elméleti munka, a nagy

magasságú rakéták következetes vizsgálata és a vezérlés terén végzett kísérletek sora. Ezek együtt olyan programot alkotnak, amely a rakétát tudományos-fantasztikus ötletből laboratóriumi és repülési technológiává tette.

A modern rakéták ugyanakkor már más mérnöki világ termékei. Nagy teljesítményű turbószivattyúk, számítógépes vezérlés, fejlett ötvözetek és kompozitok, kriogén rendszerek, precíziós gyártás és komplex szoftver nélkül ma nem létezne űripar. Goddard öröksége ezért leginkább a kérdésfeltevésben, a kísérleti bizonyításban és néhány alapelv korai gyakorlati megvalósításában keresendő.

Ez talán kevesebb, mint amit a „modern rakétatechnika atyja” cím sugall, de történetileg érdekesebb. A valós innováció ritkán egyetlen apától származik. Inkább nagy családfa, amelyben párhuzamos ágak találkoznak, elhalnak, újra felfedeződnek és időnként politikai okokból utólag át is rajzolják őket.

27. Az ember a legenda mögött

Goddard nyilvános képe sokáig két véglet között mozgott. Az egyik a kinevetett próféta: a magányos tudós, akinek mindenben igaza volt, de kortársai nem értették meg. A másik a történészek józanabb képe: kiváló kísérletező, aki titkolózása és szervezeti korlátai miatt kevesebb közvetlen hatást gyakorolt a későbbi rakétatechnikára, mint a legenda állítja. Mindkét kép akkor torzul, ha kizárja a másikat.

Goddard valóban előrelátó volt. Mars-utazásról, nagy magasságú műszerekről és rakétás űrrepülésről gondolkodott jóval azelőtt, hogy ezek közeli technikai lehetőségnek tűntek. Valóban elszenvedett értetlen és gúnyos reakciókat. Ugyanakkor nem volt teljesen támogatás nélkül: a Smithsonian, Guggenheimék, Lindbergh és a Clark Egyetem fontos segítséget nyújtott. Nem is minden technikai útja bizonyult optimálisnak, és programja számos zsákutcát tartalmazott.

Személyiségének zárkózottsága egyszerre adott erőt és okozott hátrányt. Hosszú időn át képes volt kitartani egy cél mellett, amelyet mások túl távolinak tartottak. Ehhez bizonyos fokú makacsság nélkülözhetetlen volt.

Ugyanez a makacsság nehezítette az együttműködést és a tudás széles terjesztését. A zseni romantikus képének egyik veszélye, hogy erényként mutat minden izolációt. Goddard története azt mutatja, hogy az önállóság és az együttműködés között valódi feszültség létezik.

A magánember életében Esther stabilitást jelentett. A közös munka, a dokumentáció és a későbbi hagyatékgondozás nélkül Goddard történetének sok részlete elveszhetett volna. A tudós emlékezetét ezért nemcsak saját találmányai, hanem felesége több évtizedes munkája is formálta.

Goddard 1945-ben úgy halt meg, hogy céljai nagy részét nem látta megvalósulni. Nem ért el világűrt, nem állított pályára műholdat, és nem látott embert rakétával repülni. Története ettől nem kudarc, hanem különösen tiszta példa arra, hogy a technikai áttörések időskálája gyakran hosszabb az emberi életnél. Valaki megoldhat egy problémát, amelynek teljes jelentőségét csak a következő generáció érti meg.

28. Az emlékezet gyártása

A hősök nemcsak megszületnek, hanem utólag meg is szerkesztik őket. Goddard emlékezetének kialakulása jól követhető a második világháború utáni Amerikában. Özvegye, Esther gondozta hagyatékát; tudományos intézmények gyűjteményeket hoztak létre; a NASA központot nevezett el róla; tankönyvek és ismeretterjesztő művek pedig egyre gyakrabban mutatták be a modern rakétatechnika atyjaként.

A cím politikailag kényelmes volt. A hidegháború idején az Egyesült Államok saját nemzeti rakétahagyományt akart hangsúlyozni. Von Braun és csapata eredményei nélkülözhetetlenek voltak, de náci múltjuk kellemetlen kérdéseket vetett fel. Goddard viszont amerikai egyetemi tudós volt, akinek története összeillett az egyéni találékonyság és szabadság nemzeti mítoszával. A káposztaföld képe szinte tökéletes amerikai eredettörténet lett: egy ember, egy farm, néhány alkatrész, és megnyílik a világűr.

A történészek később árnyalták ezt a képet. Rámutattak, hogy Goddard elszigeteltsége korlátozta közvetlen hatását, és a német, szovjet, illetve amerikai programok saját intézményi fejlődési vonallal

rendelkeztek. A korrekció azonban nem igényli a korábbi hős teljes lerombolását. A történelem célja nem az, hogy egyik egyszerű mítoszt egy másikkal helyettesítse.

2026 századik évfordulója éppen ezért alkalmas új mérlegre. A Smithsonian National Air and Space Museum centenáriumi írásai hangsúlyozták a modernebb értelmezést: Goddard jelentősége vitathatatlan, de inkább az űrrepülés lehetőségének legitimálásában és több úttörő kísérletben áll, mint abban, hogy minden későbbi rakétatechnika közvetlen technikai forrása lett volna. Ez a megközelítés nem kisebbíti, hanem történeti helyére teszi.

A Clark University centenáriumi megemlékezése ugyanakkor joggal emeli ki az 1926-os repülést. Az első siker nem utólagos legenda. A dokumentumok, fényképek, eszközök és feljegyzések megmaradtak. Az emlékezet legjobb formája az, amikor az ünneplés és a kritikai pontosság nem zárja ki egymást.

29. A századik évforduló

2026. március 16-án száz év telt el az auburni indítás óta. A Clark University külön centenáriumi programmal emlékezett meg egykori professzoráról és a kísérletről. A Smithsonian National Air and Space Museum szintén újraértékelte Goddard helyét a rakétatörténetben. Az évforduló különös pillanatban érkezett: a rakétaindítások gyakorisága világszerte gyorsan nőtt, az újra felhasználható fokozatok megszokott látvánnyá váltak, és új állami, illetve magán Hold-programok készültek.

Száz év technikatörténeti távlatban egyszerre hosszú és rövid idő. 1926-ban Goddard tíz láb körüli rakétája néhány másodpercet repült. Egy évszázaddal később több tíz méteres járművek rutinszerűen állítanak pályára tonnákban mérhető hasznos terhet. A navigáció centiméteres pontosságú lehet, hajtóműveket repülés közben többször újragyújtanak, első fokozatok önállóan térnek vissza, és egyetlen indítással több tucat műhold kerülhet pályára.

A változás még látványosabb, ha a társadalmi környezetet nézzük. Goddardnak mecénások támogatását kellett keresnie egy olyan eszközre, amelynek értelmét sokan kétségbe vonták. Ma az űripar

állami költségvetések, tőzsdei vállalatok, kockázati tőke és nemzetközi szolgáltatási piac része. Az űr nem egzotikus laboratórium, hanem a globális infrastruktúra egyik rétege.

A centenárium azonban figyelmeztetés is. A rakétatechnika sikere nem oldotta meg a hozzá kapcsolódó politikai és erkölcsi problémákat. Ballisztikus rakéták ma is a nukleáris arzenálok alapvető eszközei. Rakétákat használnak hagyományos háborúkban, műholdak katonai felderítést szolgálnak, és az űr egyre nyíltabban válik stratégiai versenytérre. A technika ugyanúgy hordozza Goddard tudományos álmát és a V-2 örökségét.

Az évforduló jelentősége ezért nem az, hogy száz év elteltével kijelenthessük: Goddardnak mindenben igaza volt. Inkább az, hogy megfigyelhetjük, miként alakul át egy valószínűtlen elképzelés társadalmi rendszerré. Az első repülés két és fél másodperce nem azért fontos, mert közvetlenül tartalmazta volna a későbbi száz évet, hanem mert bizonyította: az addig elképzelt jövő egy darabja működő géppé építhető.

30. Újra a Hold felé

A huszonegyedik század harmadik évtizedében a Hold ismét központi cél. Az Egyesült Államok Artemis-programja, Kína növekvő holdprogramja, India és más országok sikerei, valamint kereskedelmi leszállóegységek megjelenése azt jelzi, hogy a Hold többé nem kizárólag egy hatvanas évekbeli presztízverseny emléke. Tudományos, technológiai és geopolitikai célok egyszerre kapcsolódnak hozzá.

A mai holdrakéták nem ismétlik egyszerűen a Saturn V-et. Új hajtóművek, részben újra felhasználható rendszerek, kereskedelmi beszállítók és nemzetközi együttműködések jelennek meg. Ugyanakkor néhány alapprobléma változatlan. Hatalmas energiát kell rövid idő alatt felszabadítani, a szerkezet tömegét minimalizálni kell, a hajtóanyagokat biztonságosan kell kezelni, és a repülést rendkívül pontosan kell vezérelni.

Goddard Holdra vonatkozó korai elképzelése a saját korában nevetségesnek tűnhetett. Ma a Hold technikailag elérhető, de fenntartható jelenlétet kiépíteni továbbra is nehéz. A különbség jól mutatja, hogy a „lehetséges” és a „rutinszerű” között hatalmas tér húzódik. Egyszer eljutni valahová nem ugyanaz, mint

gazdaságosan, biztonságosan és ismételten odajárni.

A következő rakétaforradalom ezért talán kevésbé látványos, mint az első. Nem az a kérdés, hogy képes-e egy rakéta elhagyni a Földet; ezt száz év tapasztalata bizonyítja. Az a kérdés, hogyan lehet az indítások költségét, környezeti terhét és kockázatát olyan mértékben csökkenteni, hogy az űrtevékenység szélesebb és tartósabb legyen.

Ebben a történetben Goddard neve továbbra is jelképes. Nem azért, mert megoldást adott minden későbbi problémára, hanem mert az első sikeres folyékony rakétával megmutatta, hogyan kezdődik egy technológiai korszak: kicsiben, bizonytalanul, sok hibával és olyan eredménnyel, amelyet a kortárs mérce alapján könnyű alábecsülni.

31. Mars: az ifjúkori álom visszatér

Goddard tizenhét évesen a Marsra gondolt, amikor felmászott a családi ház melletti fára. A bolygó azóta sem vesztette el különleges helyét az űrkutatás képzeletében. A Hold közel van, és néhány nap alatt elérhető; a Mars hónapokra van, légköre ritka, felszíne hideg, sugárzási környezete veszélyes, és egy emberes expedíció logisztikai nehézsége összehasonlíthatatlanul nagyobb. Mégis ez az a bolygó, amelyet a modern űrprogramok a leggyakrabban említenek hosszú távú emberes célként.

A Mars-utazás rakétatechnikai problémája Goddard korai felismerését nagyítja fel: a jármű nem vihet tetszőleges mennyiségű hajtóanyagot. Minden plusz kilogramm újabb hajtóanyagot, nagyobb tartályt és erősebb szerkezetet igényelhet. Ezért merül fel a pályán történő tankolás, a helyi erőforrások használata és a nagyobb hatékonyságú meghajtások kérdése. A klasszikus kémiai rakéta kiválóan alkalmas nagy tolóerő létrehozására, de fajlagos teljesítményének fizikai határai vannak.

A Mars körüli modern tervek egy része ezért két technológiai réteget kapcsol össze. A Föld felszínéről való felemelkedéshez továbbra is nagy tolóerejű kémiai rakéta szükséges, az űrbeli hosszú utazáshoz azonban elektromos, nukleáris vagy más meghajtási módok is szerepet kaphatnak. Az űrhajózás jövője nem feltétlenül egyetlen „jobb rakétáról” szól, hanem különböző rendszerek kombinációjáról.

A Mars kulturális jelentősége legalább ilyen erős. Goddard számára a bolygó távoli cél volt, amely személyes kutatói identitását segítette kialakítani. A huszonegyedik században a Mars részben ugyanígy működik: olyan távoli cél, amely indokolja a jelenben szükséges fejlesztéseket. Nem biztos, hogy minden bejelentett időpont tartható, de a cél kijelöli azokat a problémákat, amelyek megoldása más területeken is hasznos lehet.

A történelem óvatosságra int a menetrendekkel. Goddard ifjúkori víziójától közel hetven év telt el az első Holdra szállásig, miközben a Marsra ember még száz év elteltével sem jutott el. A technológiai optimizmus gyakran alábecsüli a rendszer összetettségét. Ugyanakkor az is igaz, hogy ami egyszer mérnöki problémává válik, az már más kategóriába tartozik, mint

a puszta fantázia. Goddard legfontosabb öröksége talán éppen ez a váltás.

HÁTTÉRGYÁR

32. A rakéta környezeti ára

Az űrrepülés sokáig annyira ritka tevékenység volt, hogy környezeti hatása kevés figyelmet kapott. Ahogy azonban az indítások száma növekszik, egyre fontosabbá válik a hajtóanyagok, égéstermékek, gyártás, infrastruktúra és visszatérő fokozatok ökológiai mérlege. A rakéta sajátos közlekedési eszköz: egyetlen indítás rövid idő alatt hatalmas energiát szabadít fel, ráadásul az égéstermék egy része közvetlenül a felső légkörbe jut.

A különböző hajtóanyagok eltérő problémákat okoznak. A folyékony hidrogén és oxigén égésének fő terméke vízgőz, de a hidrogén előállításának energiaforrása meghatározza a teljes életciklus környezeti terhét. A kerozinalapú rakéták szén-dioxidot és koromrészecskéket termelnek. Egyes történelmi és katonai rendszerek erősen mérgező hipergolikus hajtóanyagokat használnak, amelyek kezelése komoly kockázattal jár. A szilárd hajtóanyagú gyorsítók más típusú részecskéket és vegyületeket juttathatnak a légkörbe.

A probléma nagyságrendje ma még nem hasonlítható a közúti vagy légi közlekedés globális kibocsátásához, de az indítási gyakoriság gyors növekedése miatt nem

hagyható figyelmen kívül. Az újrahasználatosság önmagában sem jelent automatikusan környezetbarát működést. Csökkentheti a gyártási igényt, ugyanakkor ha olcsóbbá teszi az indítást, sokkal több repülést ösztönözhet. A technológiai hatékonyság és az összes környezeti terhelés nem mindig ugyanabba az irányba mozog.

Goddard korában ilyen kérdések természetesen nem kerültek előtérbe. A fő probléma az volt, hogy a rakéta egyáltalán működjön. A technológiák érettségének egyik jele azonban éppen az, hogy a társadalom már nem csak a lehetőséget vizsgálja, hanem a következményeket is. A repülés, autózás és energiatermelés története hasonló ívet mutatott.

A következő száz év rakétatechnikájának ezért egyik mércéje nem pusztán a nagyobb tolóerő vagy az alacsonyabb ár lesz. Az is számítani fog, hogy egy rendszer mennyire fenntartható, milyen anyagokat használ, mennyi infrastruktúrát igényel, hogyan kezeli az űrszemetet, és milyen gyakran lehet biztonságosan üzemeltetni. A káposztaföldön még csak az volt a kérdés, felszáll-e. A globális űriparban már az is, milyen világot hagy maga után.

33. Rakéták a kultúrában

A rakéta technikai tárgy, de kezdettől kulturális jelkép is. A tizenkilencedik századi fantasztikus irodalom még ágyúval vagy különös szerkezetekkel küldte hőseit az égitestek felé. A huszadik század elején a rakéta lassan átvette az űrutazás vizuális nyelvét. Hegyes orr, hosszú test, tűzcsóva: olyan szimbólum született, amelyet gyerekrajzoktól politikai plakátokig mindenütt felismerünk.

Az 1920-as évek német űrrajongása, Fritz Lang filmjei, amerikai ponyvaregények és később a képregények együtt formálták ezt a képet. A valós rakéták sokszor kevésbé elegánsak voltak. Goddard első szerkezete csupasz csövek és tartályok összessége volt. A V-2 viszont már olyan formát kapott, amely később a populáris rakétaképet is meghatározta. A hidegháborúban ugyanez a sziluett egyszerre jelentette az űrutazást és az atomhalált.

A rakéta különös optimista tárgy lett az ötvenes-hatvanas években. Kiállítások, játékok, reklámok és televíziós műsorok azt sugallták, hogy az emberiség hamarosan természetes módon jár majd más bolygókra. Von Braun Walt Disney műsoraiban magyarázta az

űrállomások és Mars-expedíciók jövőjét. Az Apollo sikere után azonban a kulturális lelkesedés egy része kifulladt. A világűr elérhetőnek bizonyult, de drága és nehéz maradt.

A huszonegyedik században a rakéta újra látványos tömegkulturális esemény. Élő internetes közvetítések milliós közönséget vonzanak, kamerák követik a fokozatok visszatérését, és a sikertelen tesztek is azonnal globális képekké válnak. A rakéta ismét a jövő egyik fő vizuális jelképe, csak most állami űrügynökségek mellett vállalati márkák is kapcsolódnak hozzá.

Goddard maga valószínűleg ambivalensen nézné ezt a kultúrát. Vágyott arra, hogy a világűr komolyan vehető cél legyen, ugyanakkor tartott a szenzációhajhász nyilvánosságtól. A rakéta története azt mutatja, hogy a kettő nem választható szét teljesen. A nagy technológiai projektekhez társadalmi képzelet és politikai támogatás kell; ehhez pedig történetekre, képekre és jelképekre van szükség.

34. Kudarc mint módszer

A rakétafejlesztés történetét gyakran a sikeres indítások dátumaival meséljük el. Ez torzít. Goddard munkájának nagy része sikertelen próbákból állt: hajtóművek nem gyulladtak be, rakéták nem emelkedtek fel, szerkezetek eltértek a pályától, alkatrészek túlmelegedtek. A német A-sorozat, az amerikai Vanguard, a szovjet holdrakéta vagy a modern magánrakéták fejlesztése ugyanígy tele volt robbanásokkal és hibákkal.

A mérnöki kudarc nem automatikusan értékes. Egy rosszul dokumentált hiba csak veszteség. Akkor válik tudássá, ha megérthető az oka. Ezért fejlődött a rakétatechnika együtt a mérés, telemetria, nagysebességű fényképezés, anyagvizsgálat és később a számítógépes adatfeldolgozás módszereivel. A teszt célja nem az, hogy látványosan sikerüljön, hanem hogy bizonytalanságot csökkentsen.

Goddard jegyzeteinek részletessége mutatja, hogy ösztönösen értette ezt. Minden repülés adatforrás volt. A március 16-i siker után sem tekintette késznek a rakétát. A májusi módosítások kudarcot vallottak, de új információt adtak a motor elhelyezéséről és a tolóerőről.

A roswelli évek sorozatos fejlesztései ugyanilyen iteratív logikát követtek.

A modern űriparban a „gyorsan hibázni” jelszava divatos lett, de csak akkor értelmes, ha a hibából való tanulás szervezeti képessége is megvan. A személyzetet veszélyeztető rendszerben ráadásul a kísérleti szabadság határai szűkebbek. A Challenger és Columbia tragédiái arra figyelmeztetnek, hogy a normalizált kockázat és a szervezeti önbizalom halálos lehet.

Goddard története ezért nem merül ki a kitartás példázatában. A kitartás csak akkor erény, ha a rendszer változik a tapasztalatok alapján. A makacs ismétlés nem innováció. Az ő legjobb éveiben a kísérletek sorozata valóban fejlődést mutatott: a folyékony hajtóműtől a vezérlésig egyre több részprobléma került mérnöki ellenőrzés alá.

35. A finanszírozás láthatatlan technológiája

Egy rakéta nemcsak fémből és hajtóanyagból épül. Pénzből is. Goddard pályáján különösen jól látszik, hogy a finanszírozási modell maga is meghatározza a technológia formáját. A Smithsonian néhány ezer dolláros támogatása laboratóriumi kísérleteket tett lehetővé. A Guggenheim család magánpénze nagyobb és hosszabb roswelli programot finanszírozott. A második világháború katonai költségvetése pedig már más nagyságrendet képviselt.

A V-2, az interkontinentális rakéták és az Apollo-program létrejötte azt mutatta, mire képes az állam, ha stratégiai prioritássá tesz egy technológiát. Ilyenkor nem csupán a fejlesztőcsapat kap pénzt. Új gyárak, teszttelepek, utak, számítógépek, kutatóintézetek és beszállítói hálózatok épülnek. A technikai eredmény mögött egész gazdasági rendszer áll.

A magánűripar ezt a képletet nem szüntette meg, csak átrendezte. A kockázati tőke, milliárdos alapítók, tőkepiacok és állami megrendelések együtt finanszírozzák az új programokat. A NASA kereskedelmi szerződéseinek sok esetben éppen azt a piacot teremtik meg,

amelyen magánvállalatok fejleszteni tudnak. Az állam és a piac közti határ ezért kevésbé éles, mint a vállalati kommunikáció gyakran sugallja.

Goddard számára a pénzszerzés személyes teher volt. Leveleket írt, beszámolókat készített, támogatókat próbált meggyőzni. A titkolózás részben itt is visszaütött: nehéz széles támogatást kérni úgy, hogy a projekt részleteit nem akarjuk megmutatni. A modern tudomány egyik intézményi újítása éppen az lett, hogy a finanszírozás és értékelés szabványosabb csatornába került.

A rakéta tehát mindig az adott társadalom prioritásait is megmutatja. Ahol hatalmas pénz jut rá, ott rendszerint katonai, presztízs-, tudományos vagy gazdasági érdek áll mögötte. A „tisztá technológiai haladás” önmagában ritkán fizeti ki a számlát.

36. Kié a világűr?

Amikor Goddard a Marsról álmodott, a világűr jogi státusza nem volt gyakorlati kérdés. A műholdak és holdszondák korában azonban gyorsan szükségessé váltak nemzetközi szabályok. Az 1967-es Világűrszerződés alapelve szerint a világűr kutatása és használata minden ország érdekében történik, az égitestek pedig nem sajátíthatók ki nemzeti szuverenitással. Ugyanakkor az űrtevékenységet államok felelősségéhez köti, még akkor is, ha magánszereplők végzik.

A huszonegyedik század kereskedelmi programjai új kérdéseket vetnek fel. Ki rendelkezhet a Holdról vagy aszteroidáról kitermelt erőforrással? Hogyan lehet elkerülni, hogy egymást zavaró rádiórendszerek, holdi leszállóhelyek vagy pályák konfliktust okozzanak? Ki felel egy magánvállalat űrszemetéért? A rakéta technikailag lehetővé teszi a hozzáférést, de a hozzáférés szabályai politikai döntések.

A történelem itt is figyelmeztet. A szárazföldi és tengeri terjeszkedés kora gyakran úgy kezdődött, hogy új technológiák megnyitottak korábban nehezen elérhető térségeket, majd a gazdasági és katonai érdekek gyorsan

kövezték őket. A világűr természetesen nem ismétli egyszerűen a gyarmatosítás történetét, de a nyelvben már megjelennek a „frontier”, „település” és „erőforrás” fogalmai.

Goddard víziójában a világűr alapvetően tudományos és emberi lehetőség volt. A modern korszakban ehhez üzleti és geopolitikai dimenzió társul. A rakéta hozzáférést ad egy új térhez; az, hogy ott milyen normák alakulnak ki, nem mérnöki kérdés.

Száz évvel az első folyékony rakéta után ezért az űrpolitika éppolyan fontos, mint a hajtómű. A technika képes kaput nyitni, de nem dönti el, ki léphet át rajta és milyen szabályok szerint.

37. Mit jelent ma az, hogy űrkorszak?

Az „űrkorszak” kezdetét gyakran 1957. október 4-éhez, a Szputnyik indításához kötjük. Más értelemben 1926. március 16. is kezdőpont: ekkor repült először folyékony hajtóanyagú rakéta. Még korábbra is mehetünk Ciolkovszkij elméletéhez, vagy későbbre Gagarin és az Apollo korszakához. A kezdőpont attól függ, mit értünk űrkorszakon.

Ha azt a pillanatot keressük, amikor az emberiség ténylegesen tárgyat állított Föld körüli pályára, a Szputnyik a logikus dátum. Ha azt, amikor a világűr elérésére alkalmas rakétatechnika egyik alapvető formája repülésben bizonyított, Goddard napja fontosabb. Ha pedig azt, amikor a világűr a mindennapi társadalom infrastruktúrájává vált, nincs egyetlen dátum: a műholdas kommunikáció, navigáció és földmegfigyelés fokozatosan épült be életünkbe.

2026-ban talán újabb átmeneti korszakot élünk. Az indítás gyakorisága, a magánvállalatok szerepe és a műholdkonstellációk mérete olyan szintre jutott, amely közelebb viszi az űrtevékenységet az ipari rutinhoz. Ugyanakkor az emberes mélyűri utazás még mindig ritka

és költséges. A rakéta tehát egyszerre vált hétköznapiabbá és maradt rendkívüli gép.

Goddard története azért alkalmas ennek megértésére, mert végigkíséri a fogalom első átalakulását. Az ő ifjúkorában az űr irodalmi távolság volt. Pályája végére katonai rakéták már átlépték a légkör felső tartományait. Halála után tizenkét évvel műhold keringett a Föld körül, huszonnégy évvel később emberek jártak a Holdon.

Az űrkorszak tehát nem egyetlen technológiai pillanat. Inkább olyan hosszú társadalmi folyamat, amelyben az elérhetetlen fokozatosan infrastruktúrává válik. A káposztaföld ennek a folyamatnak egyik legjobb jelképe, mert egyszerre nevetségesen kicsi és történelmileg óriási kezdőpont.

38. A következő száz év

A technikatörténeti könyvek végén könnyű beleesni a jóslás csapdájába. Goddard története különösen csábít erre, hiszen ő maga is távoli jövőről gondolkodott. A századik évfordulón mégis érdemes különbséget tenni vízió és előrejelzés között. Vízióra szükség van ahhoz, hogy új kutatási kérdéseket tegyünk fel. Pontos dátumokat és biztos fejlődési vonalakat azonban a technológia története ritkán igazol.

A következő száz évben valószínűleg tovább csökken az űrbe jutás költsége, nő az újrahasználatosság és egyre több automatizált rendszer működik majd a Holdon, Mars körül vagy aszteroidák közelében. Az emberes Mars-utazás technikailag elképzelhető, de megvalósításának időpontja politikai, gazdasági és egészségügyi tényezőktől is függ. Ugyanilyen bizonytalan, hogy milyen új meghajtási technológiák válnak gyakorlativá.

A kémiai rakéta valószínűleg még sokáig megőrzi szerepét a bolygófelszínekről való indulásnál. Nagy tolóereje nehezen helyettesíthető. Az űrben viszont elektromos hajtások, napvitorlák, nukleáris rendszerek vagy ma még kevésbé kiforrott módszerek vehetnek át

feladatokat. A jövő űrhajója talán éppen úgy többféle meghajtást kombinál majd, ahogy a modern közlekedési rendszer különböző járműveket kapcsol össze.

A legnagyobb változás lehet, hogy az űr többé nem külön világ lesz. Ha navigáció, kommunikáció, energia, tudomány és ipari tevékenység egyre mélyebben függ tőle, az űrinfrastruktúra a földi civilizáció kiterjesztésévé válik. Ekkor Goddard 1926-os kísérlete olyan történelmi helyet foglalhat el, mint az első gőzgépek vagy korai elektromos generátorok: kezdetleges tárgy, amelyben egy későbbi rendszer alapelve már felismerhető.

A következő száz év legfontosabb kérdése mégsem feltétlenül az, meddig jutunk. Az is számít, milyen célból. A rakéta története megtanította, hogy a technikai képesség önmagában sem békét, sem tudományos haladást nem garantál. Ugyanaz a gépcsalád segített megismerni a Naprendszert és tette lehetővé a nukleáris fegyverek gyors célba juttatását. A jövő minőségét ezért nem a tolóerő, hanem a döntések határozzák meg.

39. A rakéta mint rendszer

Goddard pályája azért is tanulságos, mert megmutatja, hogyan változik meg egy találmány természete, amikor rendszer lesz belőle. Az 1926-os rakéta még szinte teljes egészében egy kis műhely logikájában értelmezhető. Egy ember és néhány segítő megtervezhette, összeszerelhette, feltölthette és elindíthatta. A modern hordozórakéta ezzel szemben csak egy hatalmas technikai hálózat egyik látható eleme. Indítóállás, gyártóüzem, kriogén ellátás, kommunikációs hálózat, radarrendszer, pályaszámítás, időjárési előrejelzés, biztonsági körzet, biztosítás és szabályozás kapcsolódik hozzá.

Ez a változás nem pusztán méretbeli. A rendszer megbízhatósága olyan alkatrészekben is múlik, amelyek önmagukban jelentéktelennek látszanak. Egy szelep, tömítés, kábel vagy szoftverhiba egy több százmillió dolláros küldetést semmisíthet meg. A rakétamérnökség ezért a részletek fegyelmére épül. Az űrprogramok történetében újra és újra kiderült, hogy a katasztrófák ritkán egyetlen látványos hibából születnek; gyakran apró műszaki eltérések és szervezeti döntések láncolata vezet hozzájuk.

Goddard kis csapatában ez a rendszerjelleg még személyesen kezelhető volt. Ő maga ismerte a hajtóművet, a tartályokat, az irányítást és a kísérlet célját. A nagy programokban viszont senki sem ismeri az egész jármű minden részletét. A bizalom dokumentációra, ellenőrzési eljárásokra és szervezeti kommunikációra épül. Ez az a pont, ahol a technikatörténet szervezettörténétté válik. A rakéta sikere nemcsak a fizika helyességén múlik, hanem azon is, hogy egy intézmény képes-e több ezer ember részleges tudását koherens egésszé szervezni.

A NASA Apollo-korszakának egyik legfontosabb eredménye éppen ez a rendszerintegráció volt. A Saturn V első fokozatát más vállalat építette, mint a másodikat, az irányítórendszert ismét más szervezet, miközben a holdkomp, a parancsnoki modul és a földi infrastruktúra külön fejlesztési vonalat képviselt. A sikerhez közös interfészek, tesztek és követelmények kellettek. A modern kereskedelmi űripar ezt a komplexitást részben vertikális integrációval próbálja csökkenteni, de maga a rendszerjelleg nem tűnt el.

Az űrrepülés történetének egyik paradoxona, hogy minél fejlettebb a technika, annál kevésbé fér bele egyetlen zseni történetébe. A kezdeteknél még lehet

Goddardról beszélni úgy, hogy szinte az egész projektet látjuk. A Saturn V vagy egy mai újra felhasználható hordozórendszer esetében már szükségszerűen kollektív a történet. Ezért is félrevezető, amikor a modern technológiai kultúra továbbra is egyetlen alapító vagy főmérnök nevéhez köt összetett rendszereket.

Goddard jelentősége éppen ebben a kontrasztban válik világossá. Ő még az a feltaláló volt, aki saját kezével is alakította azt a gépet, amelynek elvét kiszámolta. A következő korszakban a rakéta már nem fért el egy ember fejében. A káposztaföldön kezdődő történet végül a modern társadalom egyik legösszetettebb technológiai szervezéséhez vezetett.

40. Mit tanít Goddard az innovációról?

Goddard életét gyakran a kitartás példázataként idézik: az ember higgyen az ötletében akkor is, amikor mások kételkednek. Ez inspiráló, de önmagában veszélyesen egyszerű tanulság. A világ tele van olyan ötletekkel, amelyekben alkotóik rendületlenül hittek, mégsem működtek. Goddardot nem a hite különböztette meg, hanem az, hogy állításait kísérletileg próbálta ellenőrizni. Nem azért lett úttörő, mert nem hallgatott a kétkedőkre, hanem azért, mert mérhető eredményekkel tudta eldönteni, mely elképzelései helyesek.

A második tanulság a hosszú időtáv. A technológiai áttörések gyakran évtizedekig nem hozzák meg azt az eredményt, amelyet feltalálójuk elképzel. Az 1926-os rakéta és az első műhold között harmincegy év telt el, a Holdra szállásig negyvenhárom. Egy kutatás értékét ezért nem mindig lehet a következő költségvetési év vagy üzleti ciklus alapján megítélni. A Smithsonian 1917-es ötezer dolláros támogatása azért vált történelmileg jelentőssé, mert olyan munkát finanszírozott, amelynek teljes értelme csak jóval később mutatkozott meg.

A harmadik tanulság éppen Goddard hibáiból következik. Az innováció nem pusztán eredetiség, hanem kommunikáció és együttműködés is. Goddard titkolózása érthető volt, mégis csökkentette munkájának közvetlen hatását. A modern tudomány és mérnökség hálózatokban fejlődik. Aki minden információt magánál tart, megőrizheti az elsőbbséget, de elveszítheti azt a gyorsító hatást, amelyet mások kritikája és továbbfejlesztése ad.

A negyedik tanulság a finanszírozás szerepe. A zseni mítosza hajlamos úgy tenni, mintha az ötlet önmagát finanszírozná. Goddard történetéből az ellenkezője látszik. Smithsonian-támogatás, Guggenheim-pénz, egyetemi háttér, Lindbergh kapcsolatai és később katonai megrendelések nélkül kísérleteinek jelentős része nem valósulhatott volna meg. Az innováció társadalmi döntés arról is, mire fordítunk erőforrást.

Az ötödik tanulság az erkölcsi következmények kérdése. Egy technikai áttörés jövőbeli felhasználását ritkán lehet teljesen ellenőrizni. A folyékony rakéta egyszerre nyitotta meg a felsőlégkört és teremtetett új fegyverlehetőséget. Ez nem érv az alapkutatás ellen, de érv amellett, hogy a technológiai döntéseket ne válasszuk el a politikai és társadalmi felelősségtől. A mérnök feladata nem ér véget feltétlenül ott, ahol a gép működni

kezd.

Végül Goddard története a képzelet szerepéről szól. A technika nem pusztán meglévő igények kiszolgálása. Néha előbb jelenik meg egy elképzelt cél, és csak később alakul ki hozzá a mérnöki út. A Marsra néző tizenhét éves fiú gondolata önmagában nem volt tudomány, de kutatási irányt adott. A tudomány ott kezdődött, amikor a vágy kérdéssé, a kérdés számítássá, a számítás pedig kísérletté vált.

Ez a folyamat ma is felismerhető. A következő száz év legfontosabb találmányai közül néhány talán jelenleg is túl merésznek, túl drágának vagy fölöslegesnek látszik. Goddard példája nem azt tanácsolja, hogy minden futurista ígéretet higgyünk el. Azt tanácsolja, hogy különböztessük meg a puszta ígéretet attól az elképzeléستől, amelyet következetesen át lehet fordítani ellenőrizhető mérnöki kérdésekre. A káposztaföldön végül nem a képzelet repült fel, hanem egy megépített gép.

41. A káposztaföldtől az indítótoronyig

A rakétatechnika százéves történetének egyik leglátványosabb változása az infrastruktúra növekedése. Goddard auburni indításához néhány ember, egy egyszerű állvány és a farm nyitott területe elegendő volt. A kísérlet veszélyes volt, de a körülötte lévő rendszer még belátható maradt. A nagy rakéták megjelenésével maga a földi környezet is mérnöki feladattá vált. Nem elég erős járművet építeni; olyan helyet kell létrehozni, amely képes feltölteni, ellenőrizni, indítani és szükség esetén biztonságosan megsemmisíteni.

Peenemünde már külön kutatóváros volt. White Sands hatalmas lötere a lakott területektől távol biztosított repülési folyosót. Cape Canaveral földrajzi helyzete azért kedvező, mert kelet felé az Atlanti-óceán fölé lehet indítani, és a Föld forgása is segíti az orbitális sebesség elérését. Bajkonur a szovjet program számára hasonlóan nagy, ritkán lakott térséget kínált. A rakétaindítóhelyek földrajza tehát a fizika, a biztonság és a politika találkozásából született.

Az indítóállás maga is összetett géppé vált. A kriogén hajtóanyagokat nagy tartályokban tárolják, csővezetékek

juttatják a rakétába, elektromos és adatkapcsolatok százai ellenőrzik a rendszereket. A hajtóművek begyújtásakor keletkező hang és forró gáz kezelésére lángárkok, vízzel működő hangcsillapító rendszerek és hővédő megoldások szükségesek. A Saturn V vagy a modern nehéz hordozórakéták indításakor nem csupán maga a jármű dolgozik: az egész földi komplexumnak összehangoltan kell működnie.

A visszaszámlálás ezért nem pusztán színházi elem. A különböző műveleteket időrendbe rendezi: hajtóanyag-feltöltés, navigációs rendszer inicializálása, kommunikációs ellenőrzés, biztonsági rendszerek élesítése, személyzet elhelyezése, időjárási feltételek vizsgálata. A modern indítás egyik fontos tulajdonsága, hogy a döntés az utolsó pillanatig visszafordítható. Ha egy érzékelő hibát jelez, a rendszer automatikusan vagy emberi döntés alapján megszakíthatja a folyamatot.

Goddard korai indításainál a biztonság sokkal személyesebb volt. A kis csapat saját szemével figyelte a csöveket és tartályokat, és tapasztalat alapján ítélte meg, mikor áll készen a rakéta. Ez a kézműves tudás nélkülözhetetlen volt, de nehezen skálázható. A nagy programokban a személyes érzékelést műszerek, ellenőrzőlisták és redundáns rendszerek váltották fel. Az

űrrepülés története így egyben a formalizált biztonsági kultúra története is.

Az infrastruktúra politikai jelentőséget is kapott. Egy indítóközpont munkahelyeket, közlekedési hálózatot és regionális identitást teremt. Huntsville a rakétaprogram miatt „Rocket City” lett, Florida Space Coast térsége egész gazdaságot épített az űrtevékenység köré. Az egykori titkos katonai telepekből múzeumok, látogatóközpontok és nemzeti emlékhelyek lettek. A rakéta tehát nemcsak az eget, hanem földi tájakat is átalakított.

A modern kereskedelmi korszak újra módosítja ezt a térképet. Hagyományos állami központok mellett magán-indítóhelyek, tengeri platformok és új űrkikötők jelennek meg. Az újrahasználható fokozatok miatt a leszállóhely is az infrastruktúra része. A rakéta nem feltétlenül egyszer hagyja el az indítóhelyet, hanem visszatérhet ugyanabba a rendszerbe, amely előkészítette.

Függelék

A rakéta működésének tíz alapfogalma

A könyv nem műszaki kézikönyv, de néhány fogalom segít abban, hogy a történeti fejlesztések súlya érthető legyen. A rakétatechnika nyelve időnként bonyolultnak tűnik, miközben alapelveinek jelentős része közérthetően megfogalmazható.

Tolóerő. A hajtómű által létrehozott erő, amely a rakétát gyorsítja. Nagysága attól függ, milyen gyorsan és milyen sebességgel távozik a gáz a fúvókán, valamint a fúvóka kilépő nyomásától. A felszállás pillanatában a rakéta összes tolóerejének meg kell haladnia a jármű súlyát, különben nem emelkedik el. Goddard első rakétájánál ez a különbség kicsi volt, ezért a felszállás sem tűnt látványosnak.

Hajtóanyag. A rakéta által magával vitt anyag, amelyből a hajtómű energiát és nagy sebességű kiáramló tömeget hoz létre. Kémiai rakétáknál rendszerint üzemanyagból és oxidálószerből áll. A „fuel”, vagyis üzemanyag ezért nem teljesen azonos a teljes hajtóanyaggal. Goddard 1926-os rakétája benzint és folyékony oxigént használt.

Oxidálószer. Az égéshez szükséges reakciópartner. A repülőgép motorja a légkör oxigénjét használhatja, a rakéta azonban olyan magasságban és vákuumban is működik, ahol nincs felhasználható levegő. Ezért viszi magával az oxidálószer. A folyékony oxigén ma is számos nagy teljesítményű rakéta alapvető komponense.

Fajlagos impulzus. A rakétahajtómű hatékonyságának egyik fontos mérőszáma. Közérthetően azt jelzi, mennyi tolóerőt tud előállítani adott hajtóanyag-fogyasztás mellett. A nagyobb fajlagos impulzus általában kedvezőbb, de önmagában nem dönti el, melyik hajtóanyag a legjobb, mert a sűrűség, tárolhatóság, ár és szükséges tolóerő is számít.

Fúvóka. Az égéstérből érkező forró, nagy nyomású gázt irányított, nagy sebességű sugárrá alakítja. A rakétahajtómű jellegzetes harang alakú fúvókája nem dísz, hanem a termodinamikai energia hatékony mozgási energiává alakításának eszköze. A fúvóka mérete és alakja attól is függ, milyen külső nyomási környezetben működik.

Turbószivattyú. Nagy teljesítményű szivattyúrendszer, amely az üzemanyagot és oxidálószer nagy nyomással az égéstérbe juttatja. A nagy rakétahajtóművek egyik

legösszetettebb alkatrésze. Goddard korai pumpakísérletei ugyanennek az alapvető problémának a kezdeti megoldásai voltak, de a későbbi turbógépek teljesítménye nagyságrendekkel meghaladta azokat.

Giroszkóp. Forgó vagy modern változatában elektronikus érzékelő rendszer, amely segít meghatározni a jármű helyzetét és forgását. Goddard korán felismerte a giroszkópos stabilizálás fontosságát. A rakéta nagy sebességnél nagyon gyorsan eltérhet a kívánt pályától, ezért folyamatos helyzetérzékelésre és korrekcióra van szükség.

Fokozat. A rakéta olyan része, amely saját hajtóművel és hajtóanyaggal rendelkezik, majd feladata végeztével leválik. A többfokozatú rendszer azért hatékony, mert nem kell végig gyorsítani az üres tartályokat és elhasznált hajtóműveket. Goddard már korán szabadalmaztatott többfokozatú elképzeléseket, a későbbi orbitális rakéták pedig széles körben alkalmazták az elvet.

Delta-v. A fogalom nem a pillanatnyi sebességet jelenti, hanem azt, mekkora összes sebességváltoztatási képesség áll a jármű rendelkezésére. Egy űrmissziót gyakran „delta-v költségvetésként” is lehet értelmezni:

mennyi szükséges a felszálláshoz, pályára álláshoz, pályamódosításhoz, leszálláshoz vagy visszatéréshez. A rakétaegyenlet megmutatja, milyen tömegarány kell ehhez.

Hasznos teher. Minden, amit a rakéta nem saját működéséhez visz: műhold, tudományos műszer, űrhajó, ember vagy katonai robbanófej. A rakétatervezés egyik célja, hogy adott induló tömeg mellett minél nagyobb hasznos terhet juttasson a kívánt pályára. Goddard 1929-es műszeres rakétája kicsiben már ezt a logikát követte.

E fogalmak együtt megmutatják, miért nem egyetlen találmány a rakéta. Hajtómű, szerkezet, irányítás, energia, tömeg és küldetési cél egyszerre határozza meg. Goddard történeti jelentősége abban áll, hogy e problémák közül meglepően sokat már a technológia gyermekkorában felismerhető, működő formában kapcsolt össze.

42. A rakéta mint tudományos műszer

A rakéta történetében a fegyver és az űrhajó között létezik egy harmadik, kevésbé látványos szerep: a tudományos hordozóeszközé. Goddard első indítékai között a felsőlégkör vizsgálata kiemelt helyen állt. Ballonokkal csak bizonyos magasságig lehetett megbízhatóan műszereket emelni, repülőgépekkel pedig még alacsonyabb tartomány volt elérhető. A rakéta olyan rétegeket nyithatott meg a közvetlen mérés számára, amelyek addig csak közvetett megfigyelésekkel voltak kutathatók.

Az 1929-es műszeres Goddard-rakéta ebből a szempontból fontos előzmény. Barométert és kamerát vitt, vagyis a repülés célja már nem csupán a hajtás és stabilitás bizonyítása volt. A járműnek hasznos információt kellett szállítania. A későbbi sounding rocket, magyarul kutatórakéta-programok ugyanezt az alapelvet fejlesztették professzionális rendszerré. Ezek a járművek rövid időre a légkör magasabb rétegeibe vagy a világűr határán túlra emelik műszereiket, majd nem állnak pályára.

A kutatórakéták egyik előnye az egyszerűség és az ár. Egy orbitális műholdhoz hatalmas sebesség kell, egy szuborbitális méréshez ennél jóval kevesebb. Így olyan kísérletek is elvégezhetők, amelyekhez nem érdemes vagy nem lehet teljes műholdat építeni. A légkör összetétele, a Nap ultraibolya és röntgensugárzása, a kozmikus sugárzás vagy mikrogravitációs jelenségek mind vizsgálhatók ilyen repülésekkel.

A második világháború után a zsákmányolt V-2-k meglepő módon tudományos eszközzé is váltak. Az Egyesült Államokban a White Sandsről indított német rakéták műszereket emeltek addig elérhetetlen magasságokba. A háborús fegyver így a felsőlégkör és a Nap kutatásának platformja lett. Ez a szerepváltás jól példázza a rakétatechnika kettős felhasználását: a hordozórendszer funkcióját a hasznos teher és a küldetés határozza meg.

Az első műholdak megjelenése után a kutatórakéta nem vált feleslegessé. Éppen ellenkezőleg, kiegészítő eszköz maradt. Egy műhold hónapokig vagy évekig működhet, de fejlesztése hosszú és drága. Egy rövid rakétarepülés gyorsabban előkészíthető, új műszerek tesztelésére és diákprogramokra is alkalmas. A tudományos rakéta ezért ma is élő technológia, noha a

nyilvánosság sokkal kevesebbet lát belőle, mint a nagy orbitális indításokból.

Goddard eredeti tudományos célja ebben a hagyományban különösen tisztán tovább él. Nem kellett azonnal embert a Marsra küldeni ahhoz, hogy a rakéta megváltoztassa a világról szerzett tudásunkat. Elég volt műszereket olyan helyre juttatni, ahová korábban nem értek hozzá. A modern bolygókutató szondák, űrtávcsövek és földmegfigyelő műholdak ugyanennek a gondolatnak sokszorososan felnagyított változatai.

A tudomány történetében az új eszköz gyakran legalább olyan fontos, mint az új elmélet. A távcső, mikroszkóp, részecskegyorsító vagy rádióteleszkóp új jelenségeket tett láthatóvá. A rakéta különlegessége, hogy magát a megfigyelőt viszi új helyre. Nem erősebb szemmel nézünk ugyanonnan, hanem elhagyjuk azt a környezetet, amely korábban korlátozta a mérést. Goddard felsőlégköri tervei ezért az űrtudomány egyik alapvető módszertani gondolatát előlegezték meg.

Utószó - Két és fél másodperc

Ha Robert Goddard 1926. március 16-i repülését pusztán a teljesítmény alapján értékeljük, jelentéktelennek tűnik. Tizenkét és fél méter. Ötvenhat méter távolság. Két és fél másodperc. Egy mai sportoló rövid futásának ideje, egy kisebb épület magassága. Az űrrepüléshez szükséges sebességek és távolságok mellett szinte mérési zaj.

A történelemben azonban nem minden teljesítmény nagysága azonos történelmi súlyával. A Wright fivérek első repülése sem vitt utasokat óceánon át. Az első tranzisztor nem hasonlított okostelefonhoz. Az első digitális számítógépek kevesebb műveletet végeztek, mint egy mai zsebeszköz. A kezdet jelentősége abban áll, hogy megszüntet egy bizonytalanságot: lehetséges-e egyáltalán?

Goddard folyékony hajtóanyagú rakétája erre adott igent. Ettől a pillanattól kezdve a kérdés már nem az volt, lehet-e ilyen járművet repíteni, hanem az, hogyan lehet magasabbra, gyorsabban, pontosabban és megbízhatóbban repíteni. A következő száz év mérnökei erre a második kérdésre adtak egyre nagyobb válaszokat.

A történet közben elveszítette ártatlanságát. A V-2 megmutatta, hogy a rakéta városok ellen fordítható, és gyártása maga is tömeges bűncselekmény részévé válhat. Az interkontinentális rakéta a nukleáris elrettentés oszlopa lett. Ugyanakkor ugyanebből a technológiai családból nőttek ki a műholdak, bolygószondák, időjárási rendszerek és a Holdra induló járművek. A rakéta nem eldöntötte, hanem felnagyította az emberi célokat.

Goddard élete szintén ellenáll az egyszerű tanmesének. Nem volt magányos látnok, akit mindenki elutasított, de nem is csupán egy volt sok ügyes mérnök közül. Elméletet, kísérletet és jövőképet kapcsolt össze olyan következetesen, ahogy Amerikában előtte senki. Számos kortársa támogatta, mások értetlenül álltak munkája előtt. Sok technikai megoldása úttörő volt, mások zsákutcának bizonyultak. Titkolózása védte munkáját és egyben korlátozta hatását.

Talán éppen ezért maradt érdekes száz év után. A valós Goddard nem hibátlanabb, hanem emberibb a legendánál. Beteges gyerekből lett fizikus, fantasztikus történetekből indult, szabadalmakat írt, pénzért levelezett, hideg mezőkön szerelt, szelepekkel küszködött, kudarcokat jegyzett fel, és időnként túlzottan

ragaszkodott saját útjához. Nem látta a Szputnyikot, Gagarint vagy az Apollo-11-et. Nem tudhatta, hogy nevét űrközpont fogja viselni.

A századik évfordulón ezért nem az a legérdekesebb kérdés, hogy Goddard „atyja” volt-e a modern rakétának. Az ilyen címek kevesebbet mondanak, mint amennyit eltakarnak. Fontosabb, hogy 1926-ban működő gépet épített egy korábban többnyire elméleti lehetőségből. A káposztaföldön nem az űrkorszak teljes technológiája született meg. Az a bizonyosság született meg, hogy az egyik legfontosabb út valóban járható.

Kronológia

1882. október 5.

Robert Hutchings Goddard megszületik Worcesterben, Massachusetts államban.

1899. október 19.

A tizenhét éves Goddard későbbi visszaemlékezése szerint egy cseresznyefán ülve határozza el, hogy a világűr elérésének lehetőségével foglalkozik. A napot később személyes évfordulóként tartja számon.

1903

Konsztantyin Ciolkovszkij publikálja rakétás űrutazásról szóló alapvető munkáját, amelyben a folyékony hajtóanyag és a rakétaegyenlet jelentősége is megjelenik.

1908

Goddard diplomát szerez a Worcester Polytechnic Institute-ban.

1911

Fizikából doktorál a Clark Universityn.

1914

Goddard amerikai szabadalmakat kap többfokozatú, illetve folyékony hajtóanyagú rakétamegoldásokra.

1916

Támogatást kér a Smithsonian Institutiontól rakétakísérleteihez.

1917

A Smithsonian Hodgkins-alapjából 5000 dolláros támogatást kap.

1919

A Smithsonian kiadja A Method of Reaching Extreme Altitudes című munkáját.

1920. január

A New York Times szerkesztőségi cikke tévesen bírálja Goddardot a rakéta vákuumbeli működésének kérdésében.

1923

Goddard folyékony hajtóanyagú rakétamotorokhoz kapcsolódó szivattyúkkal és más alkatrészekkel kísérletezik.

1924

Házasságot köt Esther Christine Kiskkel.

1926. március 16.

Auburnben, Massachusettsben sikeresen elindítja a világ első repülő folyékony hajtóanyagú rakétáját. A benzin és folyékony oxigén hajtotta szerkezet körülbelül

12,5 méter magasra emelkedik, 2,5 másodpercig repül és mintegy 56 méterrel távolabb ér földet.

1926. május

Új, alul elhelyezett motorral készült rakétával próbálkozik. A fennmaradt szerkezet ma a Smithsonian gyűjteményében található.

1927

Németországban megalakul a Verein für Raumschiffahrt, az Űrutazási Társaság.

1929. július 17.

Goddard tudományos műszereket, köztük barométert és kamerát szállító rakétát indít.

1930

A Guggenheim-támogatás segítségével Roswell környékére, Új-Mexikóba helyezi át kísérleteinek jelentős részét.

1930-as évek

Goddard folyékony hajtóműveket, giroszkópos vezérlést, irányítást és hűtési megoldásokat fejleszt és tesztl Új-Mexikóban.

1932-1934

A német hadsereg Kummersdorfbán folyékony hajtóanyagú rakétákkal folytat szervezett kísérleteket.

1936-1937

Peenemündében nagy rakétakutató központ épül ki.

1942. október 3.

Az A-4 rakéta sikeres peenemündei repülése a nagy hatótávolságú ballisztikus rakéta fontos mérföldköve.

1944

A náci Németország megkezdi a V-2 rakéták hadműveleti alkalmazását.

1940-es évek eleje

Goddard az amerikai haditengerészet számára repülőgépek felszállását segítő rakétás rendszereken dolgozik.

1945. augusztus 10.

Robert Goddard Baltimore-ban meghal.

1945

Az Egyesült Államok Operation Paperclip keretében német rakétamérnököket, köztük Wernher von Braunt visz Amerikába. A Szovjetunió szintén német szakembereket és technikai anyagokat szerez meg.

1946-1950-es évek

White Sandsen zsákmányolt V-2 rakétákat használnak katonai és tudományos kísérletekre.

1957. október 4.

A Szovjetunió pályára állítja a Szputnyik-1-et, az első mesterséges holdat.

1958. január 31.

Az Explorer-1 az első sikeres amerikai műhold.

1958. október 1.

Megkezdí működését a NASA.

1959

A NASA marylandi központját Robert H. Goddardról nevezi el.

1960

Létrejön a Marshall Space Flight Center; Wernher von Braun az első igazgatója.

1961. április 12.

Jurij Gagarin az első ember, aki Föld körüli pályára jut.

1961. május 25.

John F. Kennedy meghirdeti az amerikai Hold-program évtized végi célját.

1967. november 9.

Az Apollo-4 küldetés során először repül a teljes Saturn V.

1969. július 16.

Elindul az Apollo-11.

1969. július 20.

Neil Armstrong és Buzz Aldrin leszáll a Holdon.

1969. július

A New York Times visszatér az 1920-as Goddard-cikkhez, és elismeri korábbi fizikai tévedését.

1981

Elindul az első Space Shuttle küldetés, az STS-1.

1986. január 28.

A Challenger űrsikló a start után megsemmisül, hét űrhajós meghal.

2003. február 1.

A Columbia űrsikló visszatérés közben szétesik, hét űrhajós meghal.

2008

A Falcon-1 negyedik repülése sikeresen pályára áll; a SpaceX eléri első orbitális sikerét.

2015. december 21.

Egy Falcon-9 első fokozata orbitális küldetést követően sikeresen függőlegesen leszáll Cape Canaveralban.

2026. március 16.

A Clark University és más amerikai intézmények megemlékeznek Goddard első folyékony hajtóanyagú rakétájának századik évfordulójáról.

HÁTTÉRGYÁR

Források és további olvasmányok

A könyv megírásához felhasznált fő intézményi és történeti források:

National Aeronautics and Space Administration (NASA), History Office: Robert H. Goddardról, az amerikai rakéta- és űrprogram történetéről, a Marshall Space Flight Centerről, az Apollo-programról, a Saturn rakétákról és az Explorer-1-ről közölt történeti anyagok.

NASA, „95 Years Ago: Goddard’s First Liquid-Fueled Rocket”. Az 1926. március 16-i indítás műszaki adataihoz és történeti körülményeihez.

NASA Glenn Research Center, „Brief History of Rockets”. A korai rakétatörténet, Ciolkovszkij, Goddard és Oberth összefüggéseinek áttekintéséhez.

NASA Science, Basics of Space Flight, „The Rocket Equation”. A klasszikus rakétaegyenlet és a delta-v fogalmának közérthető műszaki hátteréhez.

NASA, Marshall Space Flight Center History. A Saturn-program, a von Braun-csoport és a Marshall intézményi történetéhez.

NASA, „Sputnik Biographies – Wernher von Braun”. Operation Paperclip, Fort Bliss, Redstone Arsenal és a későbbi NASA-pálya összefoglalásához.

Smithsonian Institution Archives, „Robert H. Goddard: American Rocket Pioneer”. Goddard életrajzához, a Smithsonian támogatásához, az 1919-es publikációhoz, az 1926-os indításhoz és a szabadalmi örökséghez.

National Air and Space Museum, Michael J. Neufeld és Frank H. Winter, „Robert Goddard: Secret Space Visionary”, 2026. A centenáriumi, kritikai történeti értékeléshez és Goddard tényleges technikai hatásának árnyalásához.

National Air and Space Museum, Damond Benningfield, „Who Was the Original Rocket Man?”, 2026. Goddard modern történeti megítéléséhez, a centenáriumhoz és a „modern rakétatechnika atyja” cím kritikai vizsgálatához.

Smithsonian National Air and Space Museum Collections: az 1926. március 16-i rakéta modellje, az 1926. májusi fennmaradt Goddard-rakéta és a korai folyékony hajtóműalkatrészek tárgyleírásai.

Clark University, Robert H. Goddard Centennial, 2026. A centenáriumi programhoz, Goddard Clarkhoz fűződő kapcsolatának bemutatásához és az egyetemi archívum anyagaihoz.

Clark University Archives and Special Collections, Robert H. Goddard Collection. Goddard kéziratos és tárgyi hagyatékának intézményi háttéréhez.

Smithsonian Institution Archives, a Goddard-Smithsonian levelezés digitalizált dokumentumai. Az 1916-1917-es támogatási folyamat és a Smithsonian szerepének rekonstruálásához.

National Air and Space Museum, V-2 gyűjteményi és történeti anyagok. A német A-4/V-2 program műszaki fejlődéséhez és háborús alkalmazásához.

United States Holocaust Memorial Museum: Mittelbau-Dora és a V-2 gyártásához kapcsolódó kényszermunka történeti anyagai. A rakéta-program emberi és erkölcsi háttérének értékeléséhez.

NASA Jet Propulsion Laboratory, History. A korai amerikai rakétakutatás, az Explorer-1 és a hadsereg-JPL együttműködés történetéhez.

A Goddard-életmű klasszikus elsődleges forrásai közé tartozik Robert H. Goddard *A Method of Reaching Extreme Altitudes* című, 1919-ben a Smithsonian által kiadott munkája, valamint a később rendezett naplók, jelentések, szabadalmak és levelezés. Ezeket a későbbi történeti szakirodalommal együtt érdemes olvasni, mert a húszas-harmincas évek dokumentumai természetesen nem tartalmazhatják a későbbi rakéta-programok összehasonlító értékelését.

A rakétatörténet szélesebb összefüggéseihez fontosak a Ciolkovszkij, Oberth, Koroljov és von Braun munkásságát feldolgozó tudomány- és technikatörténeti monográfiák, valamint a NASA History Series kötetei. Különösen hasznosak azok a munkák, amelyek a rakétatechnika fejlődését nem nemzeti hőstörténetként, hanem egymással párhuzamos, időnként összekapcsolódó amerikai, német és szovjet fejlesztési vonalként tárgyalják.

A V-2 és az amerikai űrprogram kapcsolatának vizsgálatánál elengedhetetlen a technikai eredmények mellett a kényszermunka, a náci rendszer és Operation Paperclip erkölcsi-politikai összefüggéseinek figyelembevétele. A könyv ennek megfelelően nem kezeli a Peenemündétől az Apollo-programig vezető történetet

semleges mérnöki stafétaként.

A 2026-os centenáriumi Smithsonian-írások különösen fontosak, mert a korábbi amerikai népszerűsítő hagyománynál visszafogottabban értékelik Goddard közvetlen hatását. A történeti konszenzus ma inkább úgy fogalmazható meg, hogy Goddard több alapvető technikai elsőbbséget ért el és döntő módon legitimálta a rakétás űrrepülés lehetőségét, de a későbbi nagy rakéta programok nem tekinthetők egyszerűen az ő munkája lineáris folytatásának.

A századik évforduló ezért nem csupán ünnepi alkalom. Lehetőség arra, hogy Goddardot egyszerre lássuk úttörőnek és történeti szereplőnek: olyan embernek, aki rendkívül korán mutatott meg egy járható utat, miközben az űrkorszak tényleges létrejöttéhez rajta kívül egész országok, intézmények, mérnöki közösségek és gyakran egymással versengő politikai rendszerek munkája kellett.

Egy kis rakéta, amely nagyobb jövőt nyitott az emberiségnek

1926. március 16-án egy amerikai mérnök, Robert H. Goddard a Massachusetts állambeli Auburnban felbocsátotta a világ első folyékony hajtóanyagú rakétáját. A kísérlet mindössze néhány másodpercig tartott, a rakéta 12,5 méter magasra emelkedett, majd 184 lábnyira ért földet. Mégis ez a rövid repülés nyitotta meg az utat egy új korszak felé.

Ez a könyv Robert Goddard életének és munkájának történetén keresztül mutatja be, hogyan lett az emberiség régi álma, az űr elérése mérnöki valóság. Megismerhetjük gyermekkori kíváncsiságát, úttörő kísérleteit, a sajtó gúnyolódását, a tudományos elismerésért folytatott küzdelmét és azt, hogyan hatott munkája a későbbi rakétaprogramokra.

A könyv Goddard történetét összekapcsolja a 20. század nagy fordulópontjaival: Tsiolkovszkij elméleteivel, Oberth vízióival, a V-2 megjelenésével, a szovjet és amerikai űrversennyel, a Holdra szállással és a mai SpaceX-korszakkal. Külön fejezetek mutatják be a rakétatechnika műszaki alapjait, az űrprogramok politikai és társadalmi hátterét, valamint azt is, hogyan változtatta meg az űrkorszak a mindennapi életünket.

Az ember, aki rakétát épített a káposztaföldön nemcsak egy tudós életrajza, hanem egy izgalmas utazás az ötlettől a megvalósításig. Arról szól, hogyan lesz a képzeletből technológia, a kísérletből forradalom, és hogyan vezet egy auburni káposztaföldtől induló rakéta útja végül a Holdig – és azon is túlra.



ISBN 978-615-6789-01-2



9 786156 789012



HÁTTÉRGYÁR
KÖNYVESBOLT

A borító képe AI segítségével készült.