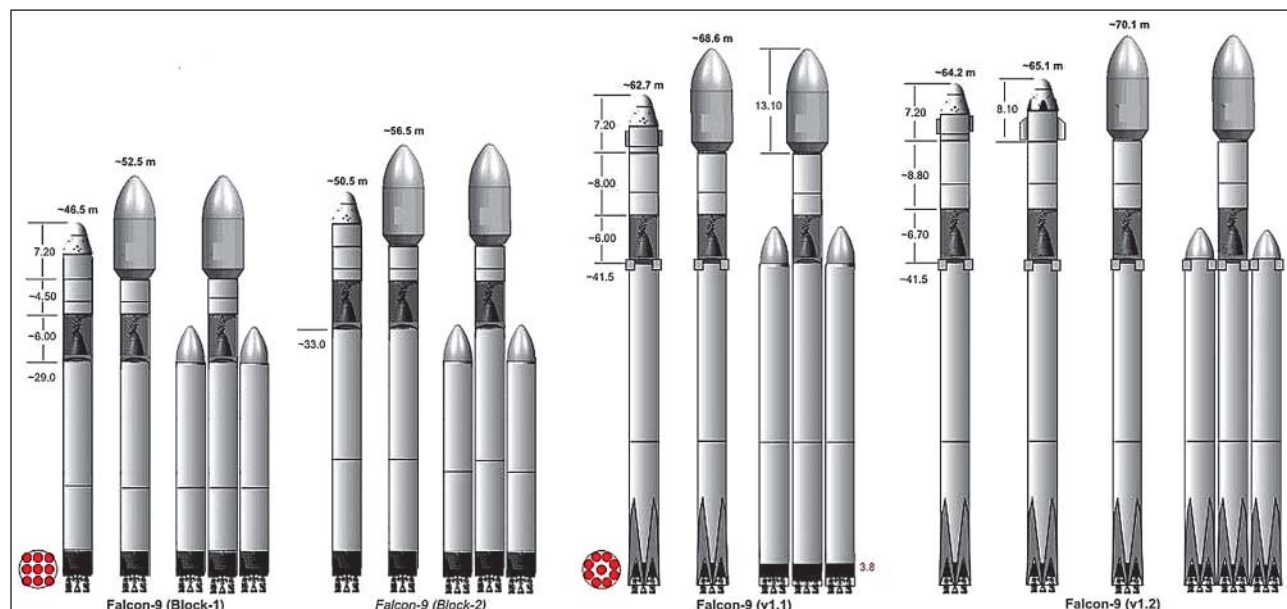


Repül a SpaceX Falcon–9-es rakétája



1. ábra. A komplett Falcon-család. Az első fokozat hajtómű-elrendezése a Block-1-estől (három soros) kezdve megváltozott körkörösre. A középső hajtómű biztosítja a leszállást (Space Launch Vehicles)

Az űrkutatás jellege a XXI. század elején kezdett megváltozni. A nem állami vállalatok egyre nagyobb szellemet követeltek és követelnek maguknak az „úrtorból”. Ezek a cégek az űrkutatás eredményeit felhasználva, a gazdasági folyamatokra helyezték a hangsúlyt. Az ún. űrturizmus is jelentős hasznot hajtott a vállalkozó cégeknek, de az igazi nagy üzlet a saját űrhajók és saját hordozórakéták kifejlesztésében rejlett. A NASA szerződéséért versengő űripari cégek közül is kiemelkedik a SpaceX, rendkívüli vezérigazgatója, Elon Musk vezetésével. A Haditechnika korábbi számaiban már foglalkoztunk a Falconnal (Fél percig repült a Sólóyom, HT 2006/5., „A Sárkány éve”, HT 2011/3., A Dragon próbarepülése, HT 2012/3., „A Dragon–C2 űrrepülése”, HT 2013/1), ezért most – a táblázatok kivételével – csak az azóta történt eseményeket követjük.

MEGSZÜLETIK AZ ÚJ FALCON

A Falcon–9-es folyékony hajtóanyagú hordozórakétát a SpaceX (Space Exploration Technologies Corporation) fejlesztette ki közepes és nehéz változatban. Ebben a ka-

tegóriában újdonságnak számított, hogy az első fokozat potenciálisan újra felhasználható volt a B1, illetve a v1.0 sorozatban. (A Space Shuttle gyorsítórakétája szilárd hajtóanyagot tartalmazott.) A továbbfejlesztés során – Falcon–9 v1.1 – megvalósították a hajtóműves leszállást az ejtőernyős módszer helyett, és ezekbe a típusokba a SpaceX által épített Merlin–1D hajtóművek kerültek a Merlin–1C felváltására, regeneratív hűtéssel. A második fokozat egyetlen Merlin–1D hajtóművet tartalmaz. A Falcon–9-es orrkúpja 3,10 × 5,20 m méretű. A Falcon–9-es v1.2 rakétába pedig a 16%-kal erősebb Merlin–1D+ került beszerelésre. Ennél is újdonságnak számít, hogy a vákuumban bekapcsoló Merlin 1D+ meghosszabbított fúvóka-kialakítással rendelkezik, ami további 1%-os tolóerő növekedést ad. Az új hajtóművek rugalmasabb küldetési profilt biztosítanak a beépített fojtószelepek segítségével. A korábbi Merlin-változatok vagy nem rendelkeztek ilyen szelepekkel, vagy nem használták azokat; két teljes hajtóművet kellett leállítani a művelet végrehajtásához. A hajtóanyag-tartályok kapacitása is megnövekedett az alkalmazott hűtés változása következtében. A folyékony oxigén most kb. 23°C-kal lett hidegebb, mint a forráspontja, ami nagy-

ÖSSZEFOGLALÁS: Egyéb üzleti tevékenysége után, a Falcon (Sólóyom) rakéta alapozta meg Elon Musk világhírnevét. A SpaceX rakétája ma már a NASA szerződésében szolgál, nemsokára a Dragon űrhajóval nemcsak utánpótlást, hanem űrhajósokat is fog szállítani a Nemzetközi Űrállomásra.

KULCSSZAVAK: űrkutatás, SpaceX, Falcon-9, hordozórakéta, polgári űrrepülés

ABSTRACT: Following his activities in other business fields, it was the Falcon rocket that established Elon Musk's international reputation. The rocket of the SpaceX company servicing now NASA under a contract will transport soon not only new supplies but also astronauts to the International Space Station, using the Dragon spacecraft.

KEY WORDS: space research, SpaceX, Falcon-9, launching rocket, civil spaceflight



2. ábra. Az első fokozat visszatérési próbáihoz használt példányok. A Falcon-9-es hajtóműves visszatérési változatai, balról:
 „Szöcske” – csak kis magasságú, „földi” próba,
 Falcon-9-es „Full-Thrust” teszt-példány,
 Falcon-9 FT starthelyzetben (leszállólábak zárt állapotban),
 Falcon-9 FT visszatérési helyzetben (leszállólábak nyitott állapotban)

jából 9%-os sűrűség-növekedést eredményezett. A kerozin kevésbé hűl le; -6° C hőmérsékleten a sűrűsége körülbelül 2%-kal nő. A második fokozat kb. 1,6 m-rel, a két fokozat közötti gyűrű pedig kb. 0,8 m-rel lett hosszabb.

Az újra felhasználható 1. fokozat 2016. április 8-a után, 2017. március 30-án indult másodszor a világűrbe, és sike-

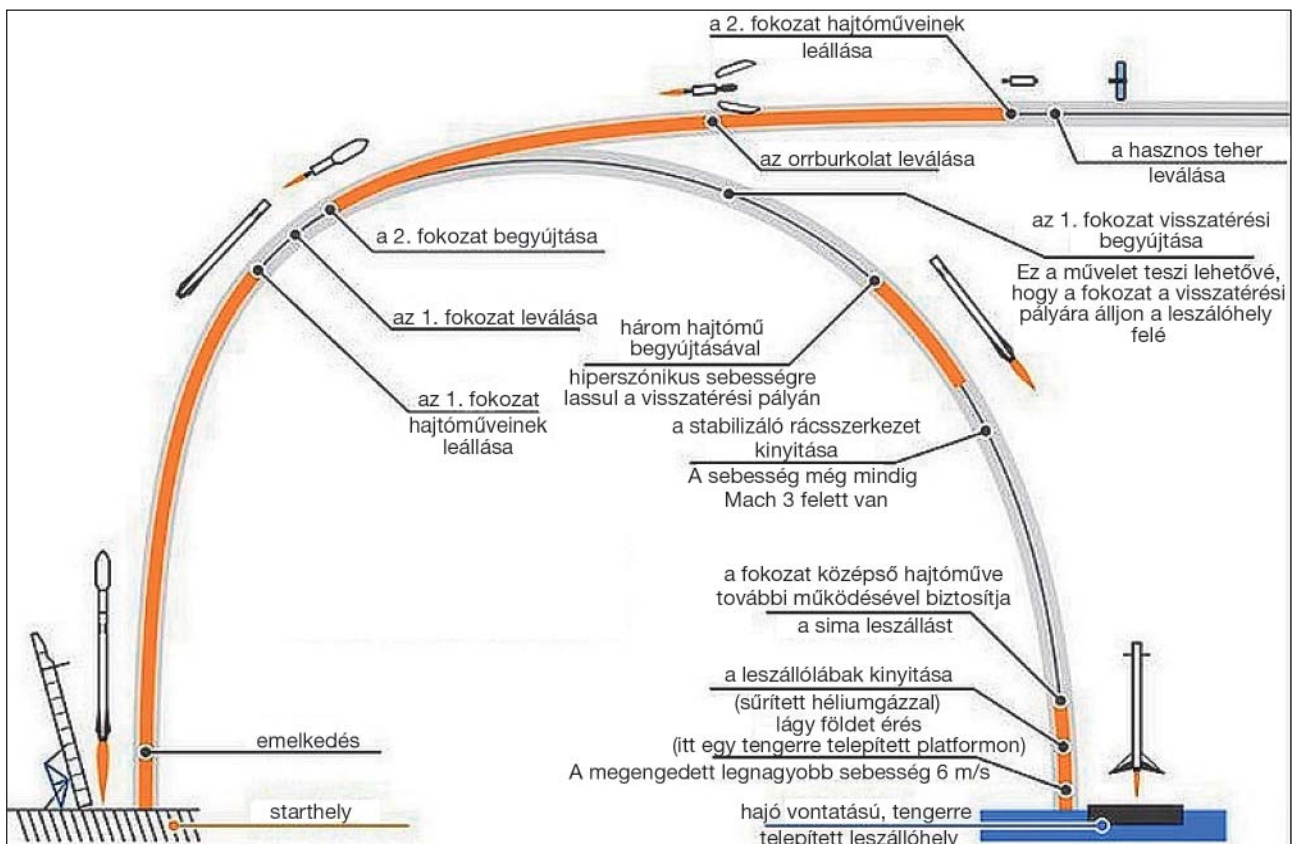
resen vissza is tért a Földre. (A 2. táblázatban a szériaszám utáni szám jelenti, hogy hány alkalommal használták fel.)

2015 januárjában Martin Halliwell, a SES (Société Européenne des Satellites, Európai Műhold Társaság) műszaki vezérigazgatója jelentette be, hogy az ő műholdjuk – SES-9-es – fog elsőként startolni az új Merlin-1D hajtóművekkel ellátott Falcon-9-es rakétával. Tavaszra azonban megváltozott a helyzet; március 9-én az Aviation Week & Space Technology című szaklap számolt be arról, hogy a SES úgy döntött, hogy másnak engedi át az elsőség dicsőségét. A SES-9-es startja előbb 2015 második, később harmadik negyedévére toldott. Végül 2016. március 4-én sikeresen kijutott a Föld körüli pályára.

2015. március 17-én a SpaceX elnöke, Gwynne Shotwell részletesen beszámolt az újdonságokról, és egyben felajánlotta a frissített rakétát a megrendelőknek. Ő azt mondta, hogy a SES egyszerűen visszalépett az új Merlin-1D extra teljesítményének az igazolásától. Néhányan felfigyeltek arra, hogy a SpaceX elnöke egyetlen egyszer sem mondta ki a rakéta nevét: - Nem tudom, hogyan fogjuk hívni: lehet Enhanced (felfokozott teljesítményű) Falcon 9-es vagy Full-Performance (teljes működésű) Falcon-9-es, esetleg „full-thrust” (teljes tolóerejű) Falcon-9-es. A SpaceX elnökének szavai jelezték, hogy a cég még mindig nem döntött véglegesen a rakéta nevééről. A problémát az okozta, hogy ezek a kifejezések nem adták pontosan vissza azt a funkciót, amely az első fokozat hajtóműves visszatérését és leszállását jelentette. Shotwell azt is elmondta, hogy a korszerűsített Falcon-9-es első fokozatát fogják a Falcon Heavy oldalsó rakétájaként is felhasználni, de a központi magja másfajta lesz.

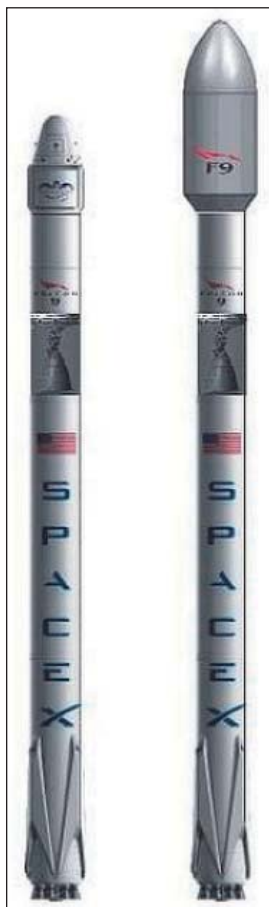
2015 nyarán a SpaceX továbbra is ingadozott a rakéta nevével kapcsolatban; az egyik bemutatón „Falcon-9 Up-

3. ábra. A Falcon-9-es repülési, és az első fokozatának visszatérési profilja (SpaceX)



1. táblázat. A Falcon-9-es rakéta fokozatai és hajtóművei (Space Launch Vehicles)

Falcon-9 alap	Falcon-9 Heavy		1. fokozat		2. fokozat	
	Darab/Név	Darab/Típus	Darab/Név	Darab/Típus	Darab/Név	Darab/Típus
Block-1	2 db L-254	9 db Merlin-1C	1 db L-254	9 db Merlin-1C	1 db L-55	1 db Merlin-1CV
Block-2	2 db L-254	9 db Merlin-1C	1 db L-310	9 db Merlin-1C+	1 db L-55	1 db Merlin-1C+V
v1.1	2 db L-389	9 db Merlin-1D	1 db L-388	9 db Merlin-1D	1 db L-89	1 db Merlin-1DV
v1.2	2 db L-393	9 db Merlin-1D+	1 db L-393	9 db Merlin-1D+	1 db L-109	1 db Merlin-1D+V



4. ábra. A Falcon-9 v1.2 rakéta két változata: a bal oldali a Dragon űrhajóval, a jobb oldali a megnövelt orrkúppal (ex) látható (SpaceX)

grade” (Frissített Falcon-9-es) volt az azonosítása, majd szeptemberben „Falcon-9 v1.1 Full Thrust” (Teljes Tolóerejű Falcon-9 v1.1) névvel illették. 2016 elején végül is a „Falcon-9 v1.2” javára döntöttek. Ezt a nevet nyújtották be az FAA-nak (Federal Aviation Administration – Szövetségi Légügyi Igazgatóság) jóváhagyására.

MEGKEZDŐDNEK A PRÓBÁK

A Merlin-1D+ hajtóművek első próbáját a texasi McGregorban bonyolították le, és a nyár végére be is fejezték. A második szakasz első darabja, a „Full Thrust” szakasz 21-es gyártási számú példánya szintén augusztus végén hagyta el a SpaceX Hawthorne-i gyárat, és néhány nappal később McGregor-ba érkezett.

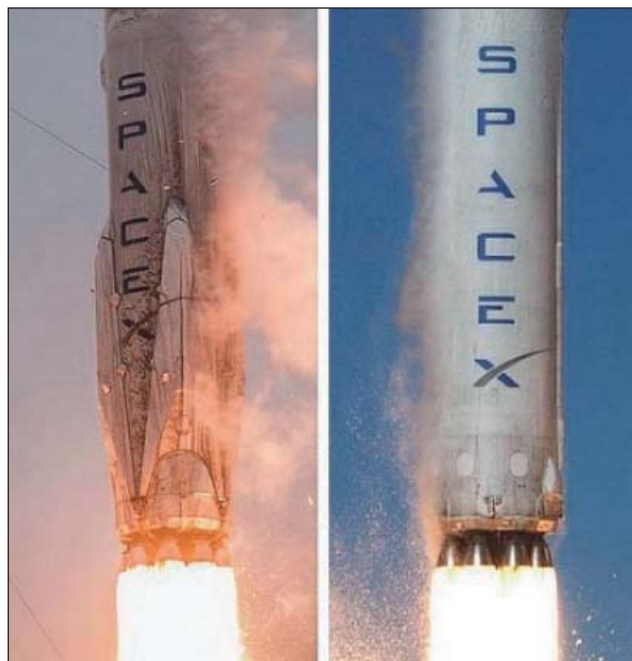
2015. szeptember 8-án került sor az installálására a 2013-ban átadott, új földszintes próbaállomáson, amelyet alsó lángterelővel láttak el, ezáltal csökkentve a vizsgálatok során kibocsátott zajokat. Ezt a próbaállomást fogják használni a Falcon Heavy hot-fire vizsgálatánál is.

Szeptember 21-én az ugyanilyen számú példány első fokozatán 15 sec-es égetési próbát hajtottak végre, míg a teljes

időtartamú vizsgálatot november 19-én végezték el. A második fokozat próbája november 22-én zajlott le.

A bevizsgált első fokozat november 20-án reggel érkezett meg Cape Canaveral-re. Alig egy hónappal később, december 18-án az összeszerelt, komplett rakétával az Orbcomm-G2-es műholddal a tetején, egy rövid égetési próbát végeztek a 40-es indítóálláson. Egy váratlan hiba a földi rendszere terelte a szakemberek gyanúját, ami a kiértékelés során be is igazolódott. A hiba okát abban jelölték meg, hogy a statikus próba az indítópadon alaposan megrázta az új szuperhűtő berendezést.

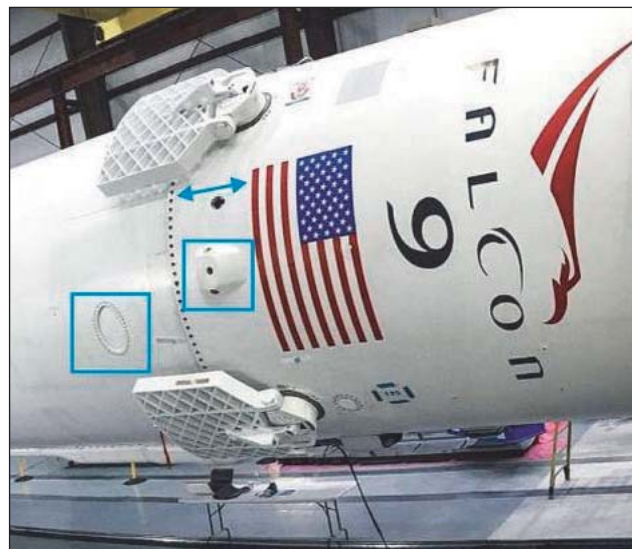
Ezt a hűtőberendezést és a rakétát szállító-emelő eszközt két helyre telepítették a Falcon-9 v1.2 és a tervezett Falcon Heavy részére; Vandenberg AFB, SLC-4E (Space Launch Complex, East) és Cape Canaveral LC-39/A. Ez



5. ábra. A hajtóműves visszatérésre alkalmas első fokozat (bal) és a korábbi változat emelkedés közben (SpaceX)

utóbbi, legendás startkomplexumot (Apollo, Space Shuttle) teljes egészében átépítették mindkét típus részére. Ezekon kívül további változást jelent a Kennedy Űrközpontban egy új, vízszintes szerelőcsarnok – inkább hangár – felépítése. Innen egy pár vasúti sín vezet az indítópadhoz, azon az

6. ábra. Falcon-9 v1.2 interstage a HIF hangárban (SpaceX)



2. táblázat. A Falcon-9-es rakéta starttáblázata

Sor.össz.	Sor.típ.	Típus	Szériaszám	Dátum	Starthely	1. fokozat visszatérés
1	1	Falcon-9 v1.0	B0003	2010.06.04.	CC SLC-40	kudarcc (ejtőernyős)
2	2	Falcon-9 v1.0	–	2010.12.08.	CC SLC-40	kudarcc (ejtőernyős)
3	3	Falcon-9 v1.0	–	2012.05.22.	CC SLC-40	nem tervezett
4	4	Falcon-9 v1.0	–	2012.10.08.	CC SLC-40	nem tervezett
5	5	Falcon-9 v1.0	–	2013.03.01.	CC SLC-40	nem tervezett
6	1	Falcon-9 v1.1(ex)	–	2013.09.29.	Va SLC-4E	kudarcc
7	2	Falcon-9 v1.1(ex)	–	2013.12.03.	CC SLC-40	nem tervezett
8	3	Falcon-9 v1.1(ex)	–	2014.01.06.	CC SLC-40	nem tervezett
9	1	Falcon-9 v1.1	–	2014.04.18.	CC SLC-40	siker
10	2	Falcon-9 v1.1	–	2014.07.14.	CC SLC-40	siker
11	4	Falcon-9 v1.1 (ex)	–	2014.08.05.	CC SLC-40	nem tervezett
12	5	Falcon-9 v1.1 (ex)	–	2014.09.07.	CC SLC-40	nem tervezett
13	6	Falcon-9 v1.1 (ex)	–	2014.09.21.	CC SLC-40	siker
14	3	Falcon-9 v1.1	–	2015.01.10.	CC SLC-40	kudarcc
15	4	Falcon-9 v1.1	–	2015.02.11.	CC SLC-40	siker
16	7	Falcon-9 v1.1 (ex)	–	2015.03.02.	CC SLC-40	nem tervezett
17	5	Falcon-9 v1.1	–	2015.04.14.	CC SLC-40	kudarcc
18	8	Falcon-9 v1.1 (ex)	–	2015.04.27.	CC SLC-40	nem tervezett
19	6	Falcon-9 v1.1	–	2015.06.28.	CC SLC-40	T+2 perckor felrobbant
20	1	Falcon-9 v1.2	B1019-1	2015.12.22.	CC SLC-40	siker
21	7	Falcon-9 v1.1	–	2016.01.17.	Va SLC-4E	kudarcc
22	2	Falcon-9 v1.2	B1020-1 ?	2016.03.04.	CC SLC-40	kudarcc
23	3	Falcon-9 v1.2	B1021-1	2016.04.08.	CC SLC-40	siker
24	4	Falcon-9 v1.2	B1022-1	2016.05.06.	CC SLC-40	siker
25	5	Falcon-9 v1.2	B1023-1	2016.05.27.	CC SLC-40	siker
26	6	Falcon-9 v1.2	B1024-1 ?	2016.06.15.	CC SLC-40	kudarcc
27	7	Falcon-9 v1.2	B1025-1	2016.07.18.	CC SLC-40	siker
28	8	Falcon-9 v1.2	B1026-1 ?	2016.08.14.	CC SLC-40	siker
29	9	Falcon-9 v1.2	B1028-1 ?	2016.09.01.	CC SLC-40	felrobbant a padon
30	10	Falcon-9 v1.2	B1029-1	2017.01.14.	Va SLC-4E	siker
31	11	Falcon-9 v1.2	B1031-1	2017.02.19.	CC LC-39A	siker
32	1	Falcon-9 v1.2 (ex)	B1030	2017.03.16.	CC LC-39A	nem tervezett
33	12	Falcon-9 v1.2	B1021-2	2017.03.30.	CC LC-39A	siker
34	13	Falcon-9 v1.2	B1032-1	2017.05.01.	CC LC-39A	siker
35	2	Falcon-9 v1.2 (ex)	B1034	2017.05.15.	CC LC-39A	nem tervezett
36	14	Falcon-9 v1.2	B1035-1	2017.06.03.	CC LC-39A	siker
37	15	Falcon-9 v1.2	B1029-2	2017.06.23.	CC LC-39A	siker
38	16	Falcon-9 v1.2	B1036-1	2017.06.25.	Va SLC-4E	siker
39	3	Falcon-9 v1.2 (ex)	B1037	2017.07.05.	CC LC-39A	nem tervezett
40	17	Falcon-9 v1.2	B1039-1	2017.08.14.	CC LC-39A	siker
41	18	Falcon-9 v1.2	B1038-1	2017.08.24.	Va SLC-4E	siker
42	19	Falcon-9 v1.2	B1040-1	2017.09.07.	CC LC-39A	siker
Tervezett indítások:						
		Falcon-9 v1.2	–	2017.10.02.	Va SLC-4E	tervezett
		Falcon-9 v1.2	B1031-2	2017.10.04.	CC LC-39A	tervezett

Rövidítések: ex = nem újra felhasználható CC = Cape Canaveral; Va = Vandenberg AFB





7. ábra. Cape Canaveral SLC-40-es (SpaceX)

8. ábra. Startol a Falcon-9 v1.1 rakéta 2014.09.07-én (SpaceX)



9. ábra. Már a legendás LC-39A startkomplexumról is indulnak Falcon rakéták (America Space)



10. ábra. Az X-37B katonai mini űrrepülőgépet az eddigi négy alkalommal Atlas-V rakéta vitte fel Föld körüli pályára. Az ötödik alkalommal Falcon-9 v1.2 vette át a hordozórakéta szerepét. E sorok írásakor még csak a statikai teszt zajlott Cape Canaveral-en (SpaceX)

úton, amin 2011-ig az űrrepülőgépeket szállító MLP (Mobil Launch Platform, mozgó startasztal) haladt; az 5 km-es utat 9 óra alatt tette meg.

AZ ELSŐ ODA-VISSZA ÚT

2015. december 22-én, 11 db 172 kg-os Orbcomm műhold várta a Falcon-9 v1.2 rakéta tetején az indulást. A start az SLC 40-ről 01:29 UTC-kor történt. Az SLC-40-et 1965 és 2005 között használták; az USAF 55 db Titan-III-as és Titan-IV-es rakétát indított onnan. A 69,799 m (229 láb) magas rakéta 6926 kN tolóerejét kilenc Merlin-1D+ hajtómű biztosította. Ez 15%-kal nagyobb érték a korábbi, v1.1 változaténál. Az első fokozat 140 sec-ig működött, majd 4 sec-cel később levált. A második fokozat a start utáni 155. sec-ben gyújtott be, és közel 8 min-es működés következtében, sikeresen elérte a 620-660 km-es, 47°-os Föld körüli pályát. A 11 db Orbcomm műhold egymás után, a start utáni 15. és 20. min között vált le a középre szerelt tartóoszlopról.

Nagyjából 3 min 50 sec-cel az indítás után következett a nagy esemény. Újból begyűjtötték az első fokozat hajtóműveit 30 sec-ig, majd kb. 8 min-nel a start után, 20 sec-ig. Mindkét alkalommal csak három hajtóművet használtak a kilencből. Egy utolsó, nagyjából 32 sec-es – csak a középső hajtóművel – de teljes erővel végrehajtott fékezés után, az első fokozat négy leszállólábát kiengedve lassan,



11. ábra. Nem sokkal, 8 perccel a start után már vissza is érkezik az első fokozat (SpaceX)

egy körkörös céltáblára emlékeztető leszállóhely központjához közeledett, majd függőleges helyzetben sikeresen le is szállt. A központi hajtóműből egy kis láng kb. fél percig még továbbra is látható volt, miután a Merlin-1D+ leállt.

A sikeres visszatérés után a leszállóhely platformját hajóval az indítóhelyének közelébe vontatták, és kirakták a Landing Zone 1-esre. Ez, az egykori LC-13-as helyén létesült, ahonnan 51 db Atlas és Atlas-Agena rakéta startolt

12. ábra. Egy sikeresen visszatért első fokozat, 2016. május 6-án (SpaceX)



13. ábra. Jól látható, hogy a rakéta milyen pontosan érte el a leszállóhely platformját (SpaceX)



14. ábra. Hajóval az új hangárhoz vontatják az első fokozatot, 2016. május 27-én (America Space)

1958–1978 között. A mobil szerviztornyot 2005-ben, a blokkházat 2012-ben bontották le. Ide építette a SpaceX az 86 m (282 láb) átmérőjű leszállóplatformot a koncentrikus körökkel, pontosan oda, ahol a szerviztorony parkolt az Atlas rakéták felemelkedése során.

Elon Musk sajtótájékoztatót tartott, ahol bejelentette, hogy „bár a visszatért első fokozatot újra fel lehetne használni, de erre most nem fog sor kerülni”. Át is szállították az LC-39A új vízszintes összeszerelési csarnokába (Horizontal Integration Facility), ahol fényképezés és állapotfelmérés után, alaposan megvizsgálták. Bár az eredmények nem voltak teljes mértékben kifogástalanok, 2016. január 12-én

15. ábra. A hangárban alaposan átvizsgálják a sikeresen visszatért első fokozatot, amely újra felhasználható (SpaceX)





16. ábra. Startol a Falcon-9 v1.2 az NROL-76-os katonai holddal (SpaceX)

– teljesen váratlanul – a fokozatot átszállították az SLC-40-esre. A szokásos szállító-emelő szerkezet helyett egy daru állította fel a padra a fokozatot. Két nappal később, egy előre be nem jelentett statikus hajtóműpróbát tartottak, de a kísérletet 2-3 sec elteltével megszakították. Elon Musk, a próba utáni twitter üzenetében az egyik külső hajtómű kimaradásairól adott hírt, „olyan volt, mintha lenyelt volna valamit”. Nem sokkal később a fokozatot visszavitték a HIF hangárba.

MIT HOZHAT A JÖVŐ?

A Falcon-9-es rakéta sikereit – műholdak, a Dragon teherűrhajó felbocsátása – egy katasztrófális robbanás szakította meg. 2016. szeptember 3-ára tervezték az 5,5 tonnás AMOS-6 távközlési műhold felbocsátását, de két nappal előtte a hajtóanyag-betöltési és tűzoltási próbán tűz ütött ki. A korai jelentések szerint már majdnem végeztek a hajtóanyag betöltésével, amikor körülbelül 13:07-kor (UTC) egy erőteljes robbanás elpusztította a rakétát és a 200 millió dolláros műholdat. A következő percekben kisebb robbanások sorozata lepte el az SLC-40-est, hatalmas tűz tombolását kiváltva. Egy óriási füstcsík sodródott át az egész floridai űrközponton. Ez volt a legnagyobb robbanás indítópádon Cape Canaveral történetében.

Néhány órával a robbanás után Elon Musk twitter üzenetében kifejtette, hogy a meghibásodás a 2. fokozat oxigéntartályában keletkezett. A károk felmérésekor az is kiderült, hogy az SLC-40-es olyan súlyosan megsérült, hogy helyreállítása legalább egy évet fog igénybe venni. Egy nappal később a SpaceX be is jelentette, hogy az LC-39/A-hoz költöznek. A négyhónapos hibaelhárítás befejezése után a SpaceX Corporation Falcon-9 v1.2 rakétája 2017. január 14-én tért vissza a szolgálatba; 10 db IridiumNEXT műholdat állított Föld körüli pályára.

(Fotók a szerző gyűjteményéből.)



17. ábra. Sikeres visszatérés Cape Canaveral-re (SpaceX)

2016. április 30-án a SpaceX kiadta az új teljesítményadatokat a továbbfejlesztett rakétáról. A kétlépcsős Falcon-9 v1.2 starttömege – a hasznos teher nélkül – 564 tonnára emelkedett, tolóereje 7609 kN-ra nőtt. Ez a rakéta már 22,8 tonna hasznos terhet tud 28,5°-os alacsony Föld körüli pályára, 8,3 tonnát 27°-os geoszinkron átmeneti pályára 5,5 tonnát ugyanilyen pályára állítani; ez utóbbit az 1. fokozat visszatérése esetén. A Falcon-9 v1.2 felbocsátási költsége 62 millió dollár.

2017 elejére világossá vált, hogy a SpaceX ezt a továbbfejlesztett változatot „Falcon-9 Block 5”-nek nevezte el. A Block 5 fokozattal ellátott rakéta alkalmas a Dragon Commercial Crew űrhajó Föld körüli pályára való állítására – pl. a Nemzetközi Űrállomáshoz – azaz a Dragon űrhajón üzleti céllal utazhatnak hivatásos és fizető űrhajósok, űrutasok. Az első Falcon-9 Block 5 felbocsátása 2017 végén megtörtént.

Megfigyelők szerint 2017 elejéig „Falcon-9 Block 3”-asak repültek, azaz a Block 3-as a Falcon-9 v1.2 változatának volt tekinthető. A „kimaradó” Block 4-es azonosítása 2017 elejéig nem történt meg, valószínűleg még csak a SpaceX mérnökei ismerik.

Elon Musk hangzatos kijelentése között szerepelt a Mars utazás lehetősége is. Ami figyelemre méltó ebben az, hogy az ő rakétaival juthatnak el az első emberek a vörös bolygóra. Tény, hogy a Falcon-9-es első fokozatának hajtóműves visszatérése előrelépést jelent a marsi leszállás megvalósításában. Azt pedig, hogy ki fogja először elérni a Marsot, nagyjából 15-20 év múlva tudhatjuk meg.

FORRÁSOK

Space Launch Vehicles – http://www.b14643.de/Spacerockets_2/United_States_1/Falcon-9/Description/Frame.htm;
Günter Space Page - http://space.skyrocket.de/doc_lau/falcon-9.htm.