

STOPY NA MĚSÍCI

Antonín Vitek



RADI SEANIS



*Prběhy posadek kosmických lodí Apollo
Vydje se po stopách nejvyššího vesmírného dobrodružství 20. století...*

LEONARDO
© Český Rozhlas

Stopy na Měsíci

Příběhy posádek
kosmických lodí Apollo

Antonín Vítek

Věnování

Tuto knihu věnuji členům klubu SPACE, kteří spolu se mnou shromažďovali od počátku kosmické éry lidstva informace o dění ve vesmíru a dělili se o ně s veřejností, v době totality jinak příliš jednostranně informovanou. Zvláštní dík pak patří mým přátelům Karlu Pacnerovi a Josefu Krupičkovi, bez nichž by tyto kapitoly nikdy nespátřily světlo světa.

Předmluva

V době vrcholícího projektu Apollo začala v naší zemi nastupovat normalizace a běžné sdělovací prostředky – noviny, rozhlas a televize – přestaly o amerických úspěších ve vesmíru obsírněji informovat. Přesto díky pochopení, a hlavně odvaze redakce populárně-technického čtrnáctideníku Letectví a kosmonautika mohly vycházet rozsáhlé reportáže o všech expedicích projektu Apollo, které – v mírně upravené formě – nyní souhrnně naleznete v této knize. Jejich věcný obsah byl založen nejen na podkladových materiálech pro novináře, které Národní úřad pro letectví a vesmír (NASA) před letem vydával a k nimž jsme my, členové klubu SPACE, měli přístup díky laskavosti tiskového atašé amerického velvyslanectví v Praze, ale hlavně z rozmnožených prepisů magnetofonových záznamů hovorů amerických astronautů s řídicím střediskem v texaském Houstonu. Jejich zaslání do Prahy zařídil redaktor rubriky vědy a techniky v deníku Mladá Fronta Karel Pacner. Ten se osobně zúčastnil jako zvláštní zpravodaj startu Apolla 11 z floridského kosmodromu a o několik dní později sledoval rozhodující fáze první expedice pozemšťanů na Měsíc v houstonském středisku. Díky tomu byly zveřejněné články maximálně autentické. Můj bohužel již dávno zesnulý přítel Josef Krupička mi velice pomohl se stylistickými úpravami originálních článků, zejména tam, kde jsem sklouzával do příliš odborného technického žargonu.

Na závěr mi dovoluť ještě jednu poznámku. O úřadu NASA se říká, že jeho zkratkové označení vlastně znamená „Národní Agentura Samý Akronym“, protože její materiály se hemží zkratkami, pro nezasvěceného zcela nepochopitelnými. To samé platí i o hovorech astronautů s řídicím střediskem. Proto je na konci knihy připojen seznam většiny zkratek, se kterými se čtenář v textu setká.

Můj dík patří redakci Českého rozhlasu Leonardo, která navrhla vydání tohoto souboru článků v knižní formě, a redaktorovi nakladatelství Radioservis Milanu Pokornému za pečlivé zpracování rukopisu.

Antonín Vitek

Předehra poznamenaná tragédií

„Jestliže zemřeme, chceme, aby to lidé přijali. Děláme nebezpečnou práci, ale doufám, že ať už se stane cokoli, program to nezdrží. Dobývání vesmíru stojí za to, riskovat život.“

V. I. Grissom, březen 1965

Od prvního přistání člověka na Měsíci v roce 1969 letos uplynulo čtyřicet let. Prezident Kennedy pronesl svůj památný projev o dosažení tohoto cíle až v květnu 1961, ale kořeny programu Apollo, který vznikl v atmosféře nesmiřitelné rivality americké demokracie se sovětskou diktaturou, sahají ještě hlouběji do minulosti.

Americký Národní úřad pro letectví a kosmický prostor (NASA) zahájil první studie mnohem dříve, nežli rozhodnutí na nejvyšší politické úrovni vytvořilo z expedice na Měsíc národní prestižní projekt prvořadého významu. Dne 29. července 1960 oznámil tehdejší náměstek administrátora NASA pro pilotované lety George M. Low na konferenci zástupců průmyslu, že se připravuje nový rozsáhlý projekt pilotovaných letů, který má být završen přistáním člověka na Měsíci.

Velkým propagátorem této myšlenky byl v prvé řadě německý technik Wernher von Braun, který i se svým týmem přešel v roce 1960 z pravomoci armády do kosmické agentury NASA. Tady mohl realizovat svoje představy o obřích raketách, pro které vojáci neměli ani porozumění, ani použití. Na rýsovacích prknech Marshall Space Flight Center v Huntsville v Alabamě postupně vznikaly studie nosných raket – počínaje Saturnem A-1 přes verze řady B a C až po obří Novu, která měla zajistit přepravu člověka na trase Země–Měsíc přímým letem.

Technické řešení takové nosné rakety ovšem přesahovalo tehdejší možnosti. Proto není divu, že vědci a technici v NASA hledali alternativní cesty k dosažení cíle. Sám von Braun byl ochoten ustoupit od konstrukce Novy a změnit celkový scénář letu. Předpokládal, že měsíční loď bude sestavena z dílů na oběžné dráze kolem Země. V té době se ovšem do kosmického prostoru nedostal ještě žádný americký kosmonaut, a nebylo tedy známo, zda člověk bude schopen plnit ve vesmíru tak složité operace, jakými mělo být spojení konstrukčních prvků.

Dva suborbitální a šest orbitálních letů amerických kosmonautů v kabinách Mercury dalo na tuto otázku jen základní odpověď: Ano, člověk může žít a pracovat v prostředí bez pozemské přitažlivosti. Na provádění složitých pilotážních manévřů s kosmickou lodí však dosavadní poznatky nestačily.

V době letů Mercury se již rozbíhaly detailní studie projektu Apollo. Byl vybrán i hlavní výrobce kosmické lodi, koncern North American Aviation (později Rockwell International, dnes součást koncernu Boeing). Firma Rocketdyne horečně vylepšovala a zesilovala motory na kapalný kyslík a kerosin, aby je mohla nabídnout pod označením H-1 von Braunovi pro první stupeň rakety Saturn C-1 (později označované jako Saturn I a IB). Tato firma také připravovala motor nové generace typu F-1 pro výkonnější Saturn

C-5 (později známý jako Saturn V). Firma Pratt & Whitney adaptovala kyslíkovodíkový motor LR-10 pro druhý stupeň Saturnu C-1. Ten prodělal křest ohněm v nosiči Atlas Centaur. Do třetice firma Rocketdyne na kalifornském pobřeží zahájila konstrukční práce na nejsilnějším kryogenním motoru světa J-2.

Všechny tyto konstrukční a projektové práce probíhaly souběžně s neutuchajícími diskusemi o strategii a taktice letu. Šokem pro nejvyšší bossy v NASA byl návrh tehdy neznámého mladého inženýra z Langley Research Center Johna C. Houbolta, který navrhl použít metodu „výsadkového člunu“. Výpočty dokládaly, že tato metoda, při níž mateřská loď zůstane s částí osádky na kruhové oběžné dráze kolem Měsíce a na povrchu Luny přistane pouze lehký výsadkový modul, je z čistě hmotnostního hlediska bezkonkurenční. Houboltův názor se prosazoval velmi těžko. Zejména myšlenka na setkávací manévry v takové vzdálenosti od Země byla pro odpovědné činitele těžko stravitelná, ne-li vůbec nepřijatelná.



Posádka Apolla 1 (zleva E. H. White II, V. I. Grissom, R. B. Chaffee)

V té době však již končily přípravné práce na projektu Gemini. Jeho hlavním cílem bylo ověřit pilotážní schopnosti člověka ve vesmíru a metody setkávacích manévru na oběžné dráze. Kosmická loď použitá k těmto pokusům a původně označovaná jako Mercury Mk. 2 byla již dvoumístná a vybavená manévrovacími motory, které jí umožňovaly měnit oběžnou dráhu.

Přes řadu obtíží a částečných nezdarů se v rámci projektu Gemini podařilo dosáhnout toho hlavního. Pokusné lety prokázaly, že setkání a spojení dvou těles ve vesmíru není nijak zvláště obtížné. Navíc NASA získala vyškolený a prověřený kádr kosmonautů, schopných plnit i ty nejobtížnější úkoly.

Vzhledem tomu, že se nakonec prosadila Houboltova idea výsadkového člunu, objevil se na scéně další významný partner, firma Grumman Aerospace. Jejím úkolem bylo onen podivuhodný člun navrhnout a vyrobit. Pokřtili ho jako LEM čili Lunar Excursion Module, ale později byl název zjednodušen na LM – Lunar Module.

Také jeho mateřská loď již dostávala definitivní podobu. Byla rozdělena na dvě samostatné funkční části: velitelský modul CM (Command Module), v podstatě vlastní kabinu osádky, obsahující veškerou elektroniku, a služební modul SM (Service Module). Jeho nejdůležitější částí byl silný raketový motor na skladovatelné kapalné pohonné látky, s jehož pomocí se měla loď dostat na oběžnou dráhu kolem Měsíce a z ní posléze zpět na přeletovou dráhu k Zemi. V SM byly umístěny také hlavní zdroje elektrické energie – palivové články spolu s nezbytnými zásobami vodíku a kyslíku. Ten navíc sloužil pro doplňování atmosféry v kabině CM.

Obě uvedené části budoucího kosmického korábu procházely zátěžovými zkouškami v aerodynamických tunelech a při balistických skocích malých raket Little Joe II na tuhé pohonné látky.

Práce pokračovaly také na nosné raketě Saturn I. Na rozdíl od předchozích velkých amerických raket, které během zkušebních letů mnohokrát havarovaly, dopadly tentokrát všechny testy Saturnu I na výbornou. Koncem roku 1966 bylo vše připraveno k prvnímu pilotovanému letu CM a SM kolem Země. Obě tyto části prodělaly svůj kosmický křest při prvních dvou startech nové, silnější modifikace nosné rakety Saturn IB (výrobní číslo SA-201 a SA-202), které se uskutečnily 26. února a 25. srpna 1966. Později byly lety označeny jako Apollo 2 a 3. Přišel čas, aby se na palubě kosmické lodi vydali do vesmíru i lidé. Měli jimi být Virgil I. Grissom, Edward H. White a Roger B. Chaffee. Jejich start byl stanoven na únor roku 1967.

Na rampě 34 na Cape Canaveral stál připraven kompletní nosič Saturn IB s lodí výrobního čísla 012. Simulované odpočítávání sestavy začalo 26. ledna 1967. O den později, za stavu T –10 min, v době, kdy bylo odpočítávání přerušeno, aby technici mohli odstranit problémy zvukového spojení s osádkou, se ozval hlas kosmonauta Chaffeea:

„Máme oheň v lodi!“

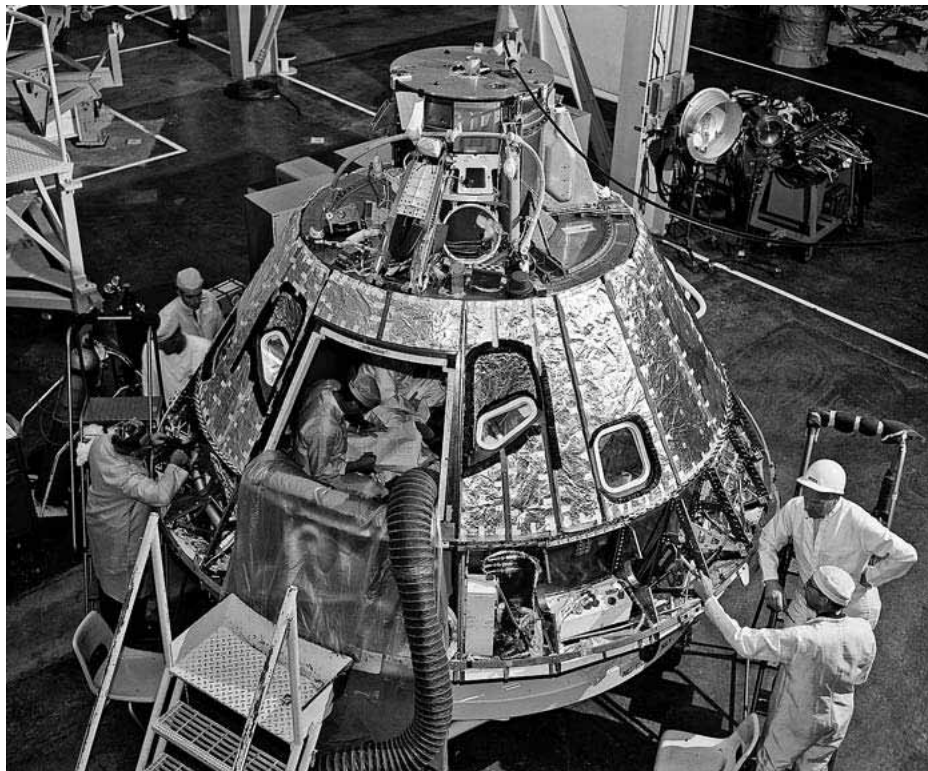
Bylo 23:31:03 UTC.

White, ležící na prostředním křesle, natáhl ruku nad hlavu a začal podle předpisu odjížďovat vstupní průlez. K jeho otevření bylo bohužel zapotřebí nejméně půldruhé minuty.

„Vypukl tady požár,“ opakoval White Chaffeeovo hlášení. Inerciální plošiny lodi zaregistrovaly otřesy, způsobené pohyby osádky.

„Dostaňte nás odtud!“ zaslechli pracovníci řídicího střediska. Byl to poslední

zoufalý výkřik kosmonauta Chaffeea. Pak už se spojení s lodí přerušilo a nastalé ticho se prohlubovalo.

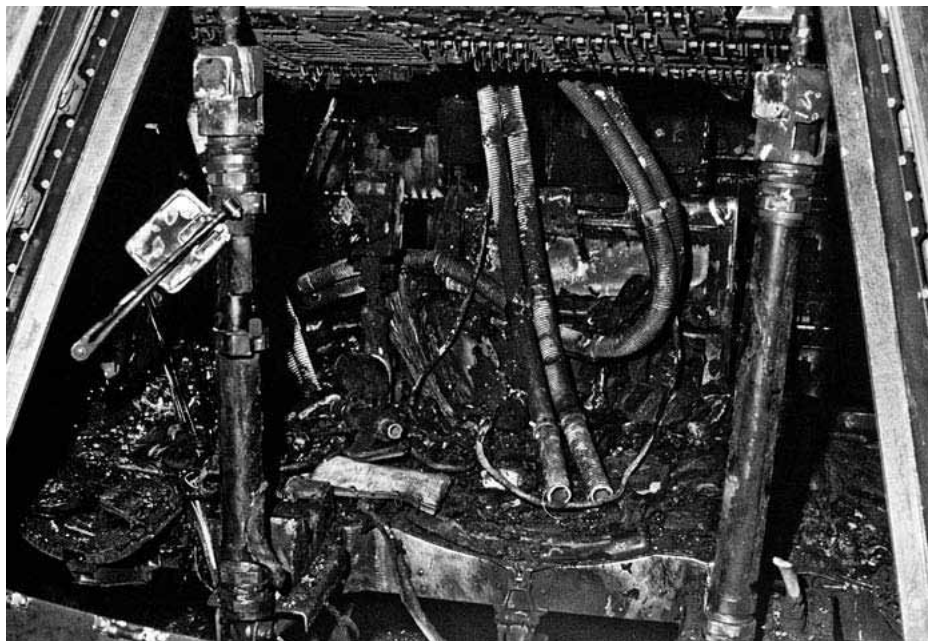


Velitelský modul lodi Apollo 1 před montáží tepelného štítu

Ve velitelském modulu prudce stoupal tlak i teplota. Čtvrt minuty po ohlášení katastrofy kabina vnitřním přetlakem praskla a Apollo 1 se zahalilo do oblaku čpavého dýmu, takže z techniků, kteří přispěchali na pomoc, se jich sedmadvacet přiotrávilo zplodinami hoření. Přesto se záchranným týmům, vybaveným dýchacími přístroji, podařilo během pěti minut kabinu otevřít. Bohužel již pozdě. Všichni tři kosmonauti leželi mrtví v křeslech, udušení oxidem uhelnatým.

Vyšetřovací komise zjistila, že požár způsobil elektrický oblouk, který vznikl v poškozeném kabelu hlavního rozvodu elektřiny v levé spodní části lodi, pod křeslem velitele Grissoma. Stalo se to přibližně osm sekund před ohlášením požáru, přesně ve 23:30:55 UTC. Vzhledem k tomu, že během předstartovních příprav byla obytná prostora lodi naplněna čistým kyslíkem pod mírně zvýšeným tlakem (1151 hPa), šířil se požár v kabině velice rychle. K postupu ohně přispívalo i příliš velké množství hořlavých

předmětů, jako byla například polyamidová síť, určená pro ukládání drobných předmětů za letu.



Vnitřek lodi Apollo 1 po požáru

Tato tragédie měla samozřejmě negativní vliv na časový harmonogram celého projektu Apollo. U dalších exemplářů kosmických lodí bylo třeba změnit vnitřní vybavení s ohledem na použití hořlavých materiálů. Kromě toho došlo k rozhodnutí, aby se před startem v lodi používala atmosféra složená ze dvou třetin kyslíku a jedné třetiny dusíku.

Přesto však plánované bezpilotní zkoušky pokračovaly dál. Na řadu přišla premiéra největší americké nosné rakety všech dob, Saturnu V.

Je čtvrtek, 9. listopadu 1967. Na rampě 39A na ostrově Merritt, odkud dnes běžně startují raketoplány, stojí 111 metrů vysoký kolos s výrobním číslem AS-501. Ostrý vítr odtrhává od štíhlého trupu obláčky sražené vodní páry. Z amplionu v prostorách vyhrazených pro sdělovací prostředky a veřejnost zní hlas mluvčího NASA Paula Haneye: „Zde řídící středisko startu. Je T -30 s a počítá se. Všechny systémy rakety jsou

v pořádku.“

Zbývá tedy ještě půl minuty času na poslední kontrolní měření. Vládu nad Saturnem V přejímají počítače a čas se nezadržitelně krátí.

„T minus dvacet, devatenáct...“

Počítače právě předaly autopilotu nosné rakety poslední informace. Inerciální plošiny jsou odblokovány.

„10, 9... Start zážehové sekvence ...“

Pět mohutných turbočerpadel motorů F-1 v prvním stupni nosné rakety se rozbíhá.

„5, 4... Zážeh!“

Otevírají se hlavní ventily kapalného kyslíku a kerosinu. Pod narůstajícím tlakem v palivovém potrubí praskají membrány, dosud chránící samozápalný trietylhliník před stykem se vzdušným kyslíkem. To je okamžik pro zážeh motoru a motory naskakují. Nejprve první čtyři po dvojicích, naposledy pátý, prostřední.

„Všechny motory v chodu!“

Pod raketou vyrážejí mohutné jazyky žlutooranžového ohně.

„Start!“

Pomalou, nesmírně pomalou se zdvíhá kolos o hmotnosti přes 2700 tun z rampy ochlazené miliony litrů vody. Řízení se ujímá středisko Mission Control Center v Texasu.

„Zde MCC Houston,“ ohlašuje se. „Máme start v 7 hodin východoamerického standardního času.“

Trvá plných osm sekund, než zád' rakety mine poslední patro obslužné věže. Saturn V stoupá dál. „Osmnáct sekund. Manévr náklonu zahájen!“

Špice rakety se pomaloučku sklání směrem k Atlantiku a Saturn nabírá kurz na východoseverovýchod.

První stupeň šlape jako hodinky.

„T +2 minuty 31 sekund. Vnější motory vypnuty. Oddělení stupňů.“

Zapalují se brzdící motory prvního stupně. Současně s tím se rozbíhají pomocné motory APS druhého stupně S-II, jejichž tah sráží pohonné látky ke dnu nádrží, odkud turbočerpadla ženou kapalným kyslík a vodík do pětice motorů J-2.

„Druhý stupeň v chodu!“

Odděluje se prstencový mezistupňový adaptér. Celý proces zaznamenává šestnáctimilimetrová kamera umístěná v pouzdře, které je později odhozeno a vyloveno z moře.

Také druhý stupeň pracuje dobře. Před koncem jeho činnosti se sice vyskytnou drobné závady ve funkci jednoho z motorů, ale na celkový výkon nosiče to nemá vliv.

Řídící středisko v Houstonu pokračuje: „T +8 minut 40 sekund. Druhý stupeň vypojen... Stupně odděleny... Zážeh třetího stupně. Tah třetího stupně v pořádku!“

Dvě minuty hoření stupně S-IVB stačily k tomu, aby raketa Saturn V dosáhla vyčkávací dráhy.

„T +11 minut. Čekáme vypojení třetího stupně... Sledovací loď Vanguard potvrzuje vypojení v T +11:06. Rychlost 25 568 stop za sekundu.“

Těleso o hmotnosti 127 021 kilogramů se žene prostorem rychlostí 7793,1 m/s, jen o 0,6 m/s pomaleji, než vyžaduje plán. Je vyhráno.

Plánované dva oběhy na parkovací dráze proběhly ve znamení opakovaných prověrek nosné rakety a také kosmické lodi Apollo 4, umístěné na její špičce.

„Zde MCC Houston. T +3 hodiny 12 minut 32 sekund. Zahajujeme restart třetího stupně!“

Povedlo se. Třetí stupeň tentokrát pracoval 5 minut a 25 sekund. Pouze necelá minuta hoření navíc by stačila k tomu, aby se kosmická loď ocitla na dráze k Měsíci. To však prozatím není v plánu. Deset minut po dohoření motoru J-2 se odděluje Apollo 4 od zbytku nosiče. Je na dráze s apogeem 18 104 kilometrů. Šestnáct sekund hoření motoru SPS umístěného ve služebním modulu posunulo nejvyšší bod této dráhy na 18 229 kilometrů. Perigeum leží osmdesát kilometrů nad povrchem Země, takže kosmická loď se vlastně nachází na suborbitální dráze, ale její rychlost se blíží druhé kosmické rychlosti. Té je zapotřebí pro vyzkoušení vlastností tepelného štítu za podmínek, za nichž by se Apollo 4 vracelo od Měsíce.

Proto se v T +8:10:54 znovu zapaluje motor SPS a zvyšuje se rychlost až na 11 139 m/s. Loď se již blíží pomyslné hranici vrchních vrstev atmosféry, kterou NASA klade do výše 400 000 stop, v hantýrce řídicího střediska 400 kilo, tedy 122 kilometrů.

„400 K minus 270 sekund,“ hlásí Houston zbývající čas k dosažení hranice atmosféry. „R tečka radar 6868 stop za sekundu.“ Rychlost, kterou se kabina přibližuje k radiolokátoru na Zemi, je tedy v tomto okamžiku 2093 m/s.

U ředitele letu se shromažďují všechny potřebné údaje.

„Okruh A trysek velitelského modulu aktivován. Systém B v záloze. Tlak v systému v mezích normy.“

„Návratová baterie A zapojena, napětí 28 voltů. Návratová baterie B zapojena...“

„400 K... Ted! Minus 230 sekund.“

„Teplota v kabině 65 Fahrenheita.“

Kosmická loď se vrací k hustým vrstvám atmosféry.

„Okruh do radiátoru ECS uzavřen. ECS přepojen na CM systémy. ECS připraven na oddělení SM.“

„Minus 90 sekund.“

„Elektrické oddělení. Ted! SM odhozen... SM telemetrie ztracena. Oddělení dokončeno.“

Minutu před vstupem do atmosféry se oddělil již nepotřebný služební modul a rozplynul se v ní na oblak žhavých plynů.

Velitelský modul se otáčí dnem proti směru letu a vstupuje opět do ovzduší rodné planety.

„Spojení ztraceno.“

Ne, není se čeho obávat. To jen oblak žhavé plazmy zahalující kosmickou loď přerušil rádiový kontakt. Radary ji však sledují dál. Loď vstoupila do atmosféry sice s vyšší rychlostí, nežli počítal plán, ale pod ostřejším úhlem. Díky tomu bylo maximální přetížení jen 7,3 G místo očekávaných 8,3 G. Naproti tomu tepelné namáhání bylo podstatně vyšší. Počítač však neplánované odchylky korigoval během sestupu tak výtečně, že kabina přistála v T +8 hodin 37 minut na třech bílooranžových padácích jen necelých šest kilometrů od připravené letadlové lodi USS Bennington.

Vylovený velitelský modul teď dostali do rukou technici. Ti označili let Apolla 4

i Saturnu V za stoprocentní úspěch, třebaže se v jeho průběhu vyskytlo jednadvacet drobných závad.

Osiřelá raketa Saturn IB (výrobní číslo SA-204), která měla původně posloužit trojici uhořelých kosmonautů, byla mezitím pověřena novým úkolem. Šlo o vynesení bezpilotní verze měsíčního modulu LM (výrobní číslo LM-1) s cílem ověřit funkce jeho raketových motorů u přistávacího i u vzletového stupně v podmínkách kosmického vakua na oběžné dráze kolem Země. Původně se tato zkouška měla uskutečnit v létě roku 1967, ale technické obtíže při dokončovacích pracích v závodě firmy Grumman, jakož i snaha zabudovat již do prvního, byť bezpilotního modelu Apollo 5 co nejvíce změn doporučených komisí vyšetřující požár Apollo 1 odsunuly start až na začátek roku 1968.

Po dalších drobných zdrženích se vzlet konečně uskutečnil v pondělí 22. ledna ve 22:22:48 UTC.

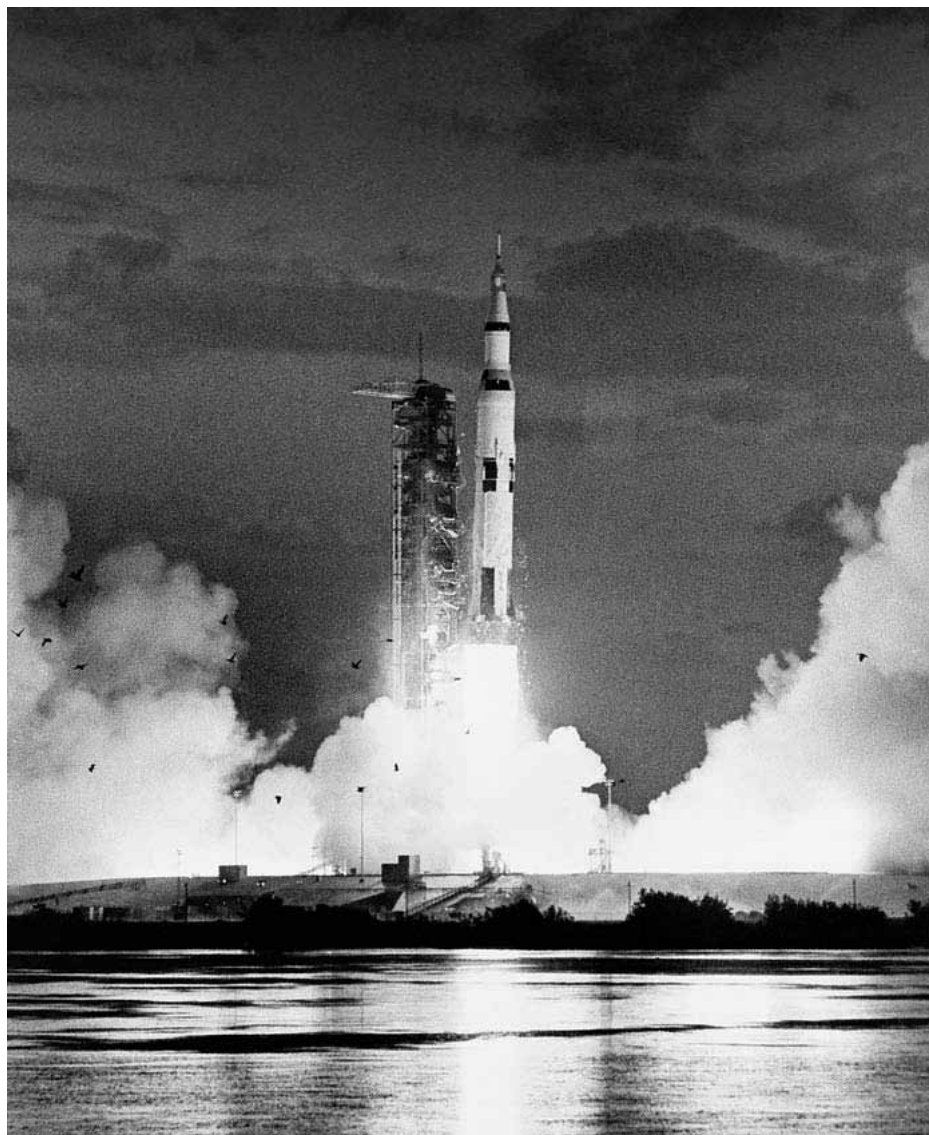
Po dvou minutách a devatenácti sekundách ukončily svoji činnost motory prvního stupně a o pět sekund později se zažehl motor J-2 druhého stupně. VT +9 min 58 s bylo už dvaatřicetunové těleso na oběžné dráze ve výši 161 až 220 kilometrů, se sklonem 34° k rovníku a s dobou oběhu 88,3 minut.

Po padesáti minutách letu dala stanice Canberra v Austrálii povel k zahájení první části operace. Kuželový kryt, který během letu nahrazoval velitelský a služební modul, byl odhozen a pyrotechnika rozevřela čtyři panely adaptéru SLA, takže připomínal obří květ, v jehož středu zatím nehnutě seděl LM-1 jako veliký čmelák. Pak se na deset sekund zažehly manévrovací motorky RCS a čtrnáctitunový měsíční modul vyplul ven rychlostí asi 1,2 m/s.

V průběhu operace zpracovávaly pozemní stanice pilně telemetrická data, aby získaly co nejvíce informací, než loď i její nosná raketa zmizí za horizontem nad Tichým oceánem.

V T +3 hodin 58 minut začala druhá fáze pokusu. Počítače daly povel přistávacímu motoru DPS k prvnímu zážehu. Ale co se nestalo: místo aby motor hořel s desetiprocentním výkonem po dobu 26 sekund a pak vystupňoval tah na maximum, zhasl po necelých čtyřech sekundách hoření.

Vyhodnocování příčin nezdaru trvalo plné dvě hodiny. Nakonec řídicí středisko dospělo k závěru, že počítače zjistily rozpor mezi nastavením škrticích ventilů a dosaženým tahem motoru. Do palubních počítačů LM byly tedy nahrány nové upravené údaje a pokus se opakoval, tentokrát zcela úspěšně.



Start první rakety Saturn 5 (výr. č. 501) s kosmickou lodí Apollo 4

Zkoušky motoru APS vzletového stupně se uskutečnily v T +6 hodin 15 minut a T +7 hodin 40 minut po předchozím oddělení přistávací části. Byly sledovány s větší obavou než prověrky motoru DPS vzhledem k nestabilitě jeho hoření, kterou zjistili technici

u výrobce, firmy Bell Aerosystems, v létě předchozího roku. Obě zkoušky však proběhly hladce, i když při druhé se LM na okamžik vymkl kontrole. Bylo to způsobeno tím, že nedošlo k přečerpání pohonných látek z hlavních nádrží vzletového stupně do nádrží stabilizačního systému RCS.

Po ukončení zkoušek byl LM-1 ponechán svému osudu. S jeho návratem zpět na Zemi se nepočítalo a v podstatě nebyl ani proveditelný. Vzletový stupeň shořel v atmosféře Země již 24. ledna 1968, přistávací o měsíc později, 22. února téhož roku.

S postupem času se také chystal vzlet druhého exempláře nosné rakety Saturn V (AS-502), rovněž jen s velitelským a služebním modulem (výrobní číslo 020), která nesla označení Apollo 6. Cílem tohoto dalšího pokusu bylo opětovně odzkoušet návrat lodi do atmosféry druhou kosmickou rychlostí.

Zatímco let prvního Saturnu V byl vynikající, nelze říci totéž o jeho repríze. Po řadě odkladů odstartoval nosič 4. dubna 1968 v 12:00:01 UTC z rampy 39A. Obtíže se objevily již v závěru činnosti prvního stupně S-IC. Šlo o toto: Vlastní frekvence pulzování tlaku ve spalovací komoře motorů F-1 (5,3 Hz) se přenáší převážně sloupcem kapalných pohonných látek v přívodním potrubí na konstrukci nosiče. Podobně jako u sklenky naplněné kapalinou mění se i u nádrží raket jejich rezonanční frekvence postupně s tím, jak ubývá pohonných látek.

U Saturnu V činila rezonanční frekvence celé rakety při startu asi 4 Hz; do okamžiku dohoření prvního stupně vystoupala na 6 Hz. Přibližně v okamžiku T +126 s se dostala raketa do rezonance s motory a intenzita těchto kmitů v kabině překročila povolené limity pro pilotované lodi.

Ještě horší problémy nastaly u druhého stupně S-II, který byl zapálen v T +2 min 30 s. Kyslíkovodíkové motory J-2 jsou vybaveny předzážehovou komůrkou se zážehovými elektrickými svíčkami, do které je přiváděn vodík a kyslík pružnými trubkami z niklové slitiny Inconel. Ta je sice velmi houževnatá, ale vlivem vysoce podchlazeného vodíku křehne. Několik desítek sekund po zážehu druhého stupně praskla trubka přivádějící zkvalněný plyn k motoru č. 2 a vodík začal unikat do okolí. Vakuum v motorovém prostoru – raketa se již pohybovala ve výši kolem sedmdesáti kilometrů – sice zabránilo požáru, ale uvnitř předzážehové komůrky plamen změnil svůj charakter z redukčního na oxidační, asi tak, jako když do hořáku autogenu pustíte nadbytek kyslíku. Takový plamen pak dokáže řezat kov.

Není tedy divu, že netrvalo dlouho a stěna spalovací komory v T +5 min 18 s prohořela. Následovalo pronikavé snížení pracovního tlaku v motoru č. 2, který řídicí počítače zaregistrovaly a zahájily uzavírání ventilů v potrubí vedoucím k poškozenému motoru. K všeobecnému údivu se však vypořil také sousední motor č. 3.

Co bylo příčinou tohoto podivného chování?

Jeho důvod odhalila vyšetřovací komise poměrně brzy.

Na základě vyhodnocení výsledků letu AS-501 se konstruktéři rozhodli přesunout spínací relátka, ovládající kyslíkové a vodíkové ventily, z bezprostřední blízkosti motorů J-2