

Sen několika generací konstruktérů se stává realitou. Rakety Falcon 9 rutinně startují a přistávají. Zatím navrátilivši se stupně prochází důkladnými prověrkami, ale první z nich už se chystá na opakovaný start. Cílem firmy SpaceX je vytvořit model „po přistání co nejrychleji natankuj a leť znovu“, a to s minimálními nároky na údržbu.



Falcon 9 startuje z rampy na Floridě



Velká kosmická revoluce

Společnost SpaceX se chystá přepsat podobu kosmických letů

Když podnikatel a vizionář Elon Musk v září 2011 oznámil, že plánuje více-násobnou použitelnost svých raket a jejich motorické přistávání přímo na kosmodromu, mnozí se jen potutelně usmívali. Dnes už se nesměje nikdo: Musk vrací rakety zpět na Zemi jako na běžícím pásu a první z nich chystá již v březnu na opakovaný start.

Kosmické rakety mají historicky jednu velkou kouli na noze. Vyvinuly se totiž z raket vojenských, u kterých se z principu s vícenásobnou použitelností nepočítalo. A tak pro každou misi vznikala nová raketa, což samozřejmě znamenalo obrovské náklady na výrobu i testování.

Pak je tu ale ještě technický problém. Znovupoužitelnost znamená vyšší technologickou náročnost a především hmotnost. Ať v podobě padáku, pohonných látek pro přistávací motory, tepelné ochrany, robustnější konstrukce, nafukovacích airbagů tlumících dosed-

NA ZELENÉ LOUCE

Elon Musk se přesto rozhodl na znovupoužitelnost vsadit. Kromě technické invence a schopnosti sehnat pro svoji firmu SpaceX investory, měl i jednu obrovskou výhodu: začínal na zelené louce. Jiná kosmická technika má za sebou určitou genezi a historii. Na ni se pak obtížně „roubuje“ nové nápady nebo technologie.

kých silnicích přepravovat bez speciálního povolení. SpaceX má totiž výrobní haly v Hawthorne, což je předměstí Los Angeles (Kalifornie). Zkušební stavy pak v McGregoru (Texas) a startovací rampy na Floridě i v Kalifornii (další pak buduje v Texasu).

Srdcem nosiče jsou každopádně motory Merlin 1D, které by teoreticky měly vydržet až 40násobné použití (podle jiných zdrojů je bude možné využít až 100krát, ale to ukáže až reálný pro-



První majitel servisní knížky, nebrouzané... Použité stupně raket Falcon 9 jsou připraveny v hangáru SpaceX

Společnost SpaceX vsadila na motory FAULHABER



Motor FAULHABER zajišťují řízení dodávky paliva do motorů

Ovšem stejně nejde o nic jednoduchého. Po zvážení všech pro a proti se SpaceX rozhodla pro návrat prvního stupně (uvažovala také o druhém, ale ten je tak technologicky náročný, že ho odložila na vzdálenější budoucnost) ve vertikální poloze: k přistání dochází ze zapnutými motory na vyložené podvozkové nohy. Sice to vypadá jednoduše, ale skutečnost je úplně jiná. Sám Elon Musk říká: „Přistát s prvním stupněm je stejně jednoduché, jako pokusit se vybalancovat v hurikánu gumové koště na špičce prstu.“

Odměna za „vybalancování koštěte“ je ovšem více než lákavá. Cena pohonných látek totiž v případě rakety Falcon 9, která je vlnkovou lodí SpaceX, představuje jen asi 0,3 procenta ceny nosiče. Čistě teoreticky se tak bavíme o zhruba 300násobném snížení nákladů na cesty do vesmíru. Realita je pochopitelně jiná a SpaceX dnes nabízí let na „reparované“ raketě se slevou 10 až 30 procent (katalogová cena Falconu 9 je 65 mil. USD). I tak je ale řeč o nezanedbatelných úsporách v řádu stovek milionů korun na jednu misi.

SCÉNÁŘ ZÁCHRANY

Celá raketa Falcon 9 má výšku 70 m, hmotnost při startu zhruba 550 t a maximální nosnou kapacitu 22 t. První i druhý stupeň mají průměr 3,7 m: je to přesně průměr nákladu, který lze po americk-

zahodí, uděluje druhému stupni a vynášenému nákladu rychlost cca 3,4 km/s. Pokud se ale vrací, dosahuje rychlosti jen 2,0 km/s. Část pohonných látek totiž potřebuje na sérii brzdících manévřů, část jeho hmotnosti pak tvoří přistávací systém (roštová kormidla, stabilizační motory, přistávací podvozky).

První stupeň každopádně pracuje do výšky cca 80 km, pak uvolňuje stupeň druhý. Setrvačností ještě dosáhne zhruba

100 km, poté se začne vracet. V tuto chvíli je zapotřebí provést jeden ze zážehů motorů. To proto, aby stupeň vstupoval do atmosféry co nejmenší rychlostí a tepelné namáhání tak bylo minimální.

Další motorické manévry pak záleží na tom, zdali stupeň směřuje na plošinu v oceánu (typicky 320 km od místa startu) nebo míří zpět na kosmodrom (což je sice jednodušší z hlediska logistiky, ale mnohem náročnější energeticky).
Finální fáze záchrany začíná tím, že padající stupeň stabilizují a na cíl nasměrují roštová kormidla. SpaceX uvádí, že bez nich by přesnost byla plus mínus 1 km, s nimi je o dva až tři řády lepší. Na posledních 10 až 15 s se pak zapalí jeden až tři motory (podle profilu sestupu). Pět sekund před dosednutím se začne vyklápat podvozek se čtyřmi vzpěrami, na které stupeň rychlostí 2 m/s dosedá. Přistává se každopádně „na doraz“. V raketě většinou zůstávají pohonné látky na 1 až 3 s letu.

Testování při ostrém provozu
Aby si životaschopnost této koncepce ověřila, vyrobila SpaceX dva testovací stupně, které zalétala na své základně v texaském McGregoru. Druhý z nich byl sice kvůli technické závadě autodestrukčním systémem za letu zlikvidován, ale i tak se během zkoušek podařilo získat množství cenných dat. Firma pak při-

cročila k ostrým zkouškám během startů do vesmíru.
Pokud je to v silách rakety a pokud s tím zákazník souhlasí, instaluje SpaceX na Falcon 9 návratové systémy a o přistání se pokouší. Zkušenosti tak získává na hardwaru, který je zaplacený - a který by se bez tak bez užítku po splnění úkolu odhodil. Další výhodou je, že se testuje v reálných podmínkách.

První fáze zkoušek probíhala od září 2013 do září 2014 a jejich cílem nebylo zachránit stupeň. Studovalo se jeho chování, stabilita, citlivost řízení, ladil se autopilot. První pokus o záchranu stupně proběhl v lednu 2015, kdy ale hydraulika roštových kormidel předčasně spotřebovala pracovní kapalinu. Raketa se pak těsně nad přistávací plošinou naklonila, převrátila a explodovala. Následovaly další zkoušky. Pokaždé se objevila nějaká „malíčkost“, která nadějně vypaďající pokus zhatila.

Až v prosinci 2015 se první stupeň Falconu 9 bezpečně vrátil na Zemi. Dosedl jen 1,3 m od středu cílové oblasti. V loňském roce pak bylo učiněno 8 pokusů o záchranu, z toho 5 úspěšných. A za první dva měsíce letošního roku má SpaceX za sebou dva pokusy a dva úspěchy.

DOČKÁME SE REVOLUCE?

Jedna věc je ale záchranu stupně, druhá pak jeho skutečná znovupoužitelnost. Jeden ze zachráněných stupňů loni postavila firma SpaceX na zkušební stav a 8krát ho otestovala na stejnou dobu a stejný tah, jako při letu do vesmíru (z toho třikrát ve třech po sobě jdoucích dnech). Ovšem reálné podmínky letu do vesmíru jsou něco jiného. Již brzy ale budeme znát odpověď, když už koncem března má odstartovat Falcon 9 s telekomunikačním družicí SES-10. První stupeň přitom není žádným nováčkem: loni v dubnu pomohl vynést na Mezinárodní kosmickou stanici zásoby v lodi Dragon. Pokud uspěje, proloží SpaceX další technologickou (i psychologickou) bariéru při dobývání vesmíru.

Tomáš Příbýl, foto: SpaceX

Pohled, který je stále častější: z prahu vesmíru se vrací zpět na Zemi první stupeň Falconu 9



nutí, křídla či jakéhokoliv jiného systému. Tato hmotnost je přitom na úkor nosnosti rakety. V případě dvoustupňové konstrukce znamená u prvního stupně každých 6 kg nákladu hmotnosti navíc snížení nosnosti o 1 kg. U druhého stupně je to přitom jedna ku jedné: každý kilogram tepelného štítu, podvozku či čehokoliv jiného rovná se snížení nosnosti právě o 1 kg.