

# Dravec v oboru kosmonautiky: SpaceX

*Kosmická loď Dragon 1. generace u Mezinárodní kosmické stanice (ISS).*

**Když vody aerokosmického průmyslu rozvířila společnost SpaceX (Space Exploration Technologies Corporation) Elona Muska, mnozí odborníci nevěřili, že by se v této oblasti výzkumu mohla soukromá výrobní společnost udržet. Nyní, když jejich kosmická loď bezpečně vynesla k ISS dvojici astronautů (a také je dopravila zpět) se situace změnila. Navíc SpaceX dokázala téměř nemožné – snížit finanční náklady na starty díky opakovanému použití některých konstrukčních prvků.**

O výrobním programu SpaceX i vizích Elona Muska jsme hovořili s **Dušanem Majerem**, popularizátorem kosmonautiky a držitelem ocenění Akademie věd ČR za popularizaci vědy.

**Když se řekne SpaceX, většina z nás si představí Elona Muska. Kto je Elon Musk? Čím je pro SpaceX?**

„Elon Musk je bezpochyby vůdčí osobností SpaceX. A není to dáno jen tím, že firmu založil. SpaceX žije právě z jeho nápadů a vizí. Pokud bych to měl shrnout, řekl bych: vytrvalý cílevědomý člověk, který se nenechá odradit dílčími neúspěchy.“

**Jak tento vizionář začínal?**

„Narodil se v Pretorii a spolu s bratrem a sestrou žili v Jihoafrické republice. Jeho dětství poměrně zásadně ovlivnil rozvod rodičů, se kterým se těžko smířoval. Velmi rád četl a již v deseti letech se začal zajímat o počítače. Naučil se programovat podle manuálu. Jeho zájem vyvrcholil ve 12 letech tím, že v jazy-

ce Basic naprogramoval hru Blastar, kterou výhodně zpeněžil. Už tehdy byl zdatným obchodníkem.“

**Jeho oblíbenou knihou byla Nadace od Issaaca Asimova a velmi jej ovlivnila jedna z myšlenek knihy: „Měli byste se pokusit podniknout řadu akcí, které pravděpodobně prodlouží civilizaci, minimalizují pravděpodobnost temného věku a zkrátí délku temného věku, pokud existuje“. Myslíte, že to byl důvod, proč se přestěhoval do Kanady?**

„Musk zcela jistě tušil, že Amerika je – jak se často říká – zemí velkých možností. Navíc jeho matka pocházela z Kanady. Také díky její pomoci se mu podařilo tam odcestovat již před dovršením osmnácti let, i když s tím jeho otec nesouhlasil.“

**Z Kanady pak Musk odcestoval do USA. Čím se tam zabýval?**

„Nejprve vyvinul a spoluvlastnil internetový platební systém PayPal, který je velmi úspěšný dodnes. Z peněz, které vydělal na prodeji svého podílu v PayPal, založil kosmickou společnost SpaceX. V současné době vede taktéž automobilku Tesla Inc. a je předsedou společnosti SolarCity, ve které je ředitelem jeho bratranc Lyndon Rive.“

**Kdy Musk založil SpaceX a jak se zařadila mezi ostatní výrobce v kosmickém programu?**

„SpaceX vznikla v roce 2002 a pak se jako dravá štika velmi rychle vrhla do poklidného 'rybníčku kosmických programů', kde plavali

spokojení kapři – dosavadní výrobci aerokosmického programu. A kde ani nebyl vyvíjen tlak na snižování cen, protože všichni již byli smířeni s tím, že levněji to dělat nejde. Pak ale přišel někdo, kdo nevěděl, že to levněji dělat nejde – a udělal to.“



*Elon Musk.*



Crew Dragon se blíží k ISS.

### Jakou pozici ve firmě zastává a jaké ideje do ní vnesl?

„Působí jako výkonný ředitel a hlavní technolog. Firma má více než 7 000 zaměstnanců a jejím hlavním cílem je vyvolat revoluci v kosmonautice razantním snížením cen za vynášení nákladů. Musk se netají ani tím, že jeho nejvyšší metou je dostat lidi na Mars. Chce také zlevnit kosmický program a dosáhnout, aby se daly některé raketové součásti použít znovu. Velmi dobře si uvědomuje, že výsledná cena výroby je velmi podstatná. Dosud v této oblasti kralovala NASA a ta udávala cenovou politiku.“

### SpaceX začala s vývojem a výrobou lehkého raketového nosiče Falcon 1. Jaké měl parametry a k čemu byl primárně určen?

„Byl to lehký dvoustupeňový raketový nosič na kapalné pohonné látky s motorem Merlin 1A a později 1C. Raketa mohla na nízkou oběžnou dráhu vynést až 670 kg nákladu, v plánu bylo také jeho znovupoužití po přistání na padácích. V reálném provozu se ho však zachránit nikdy nepodařilo.“

### Čím jsou motory Merlin zajímavé?

„Space X je vyvinula s vizí opakovaného použití. Pohonnou směsí je kapalný kyslík a speciálně upravený letecký petrolej RP-1, přičemž motor pracuje v otevřeném cyklu. Zajímavostí je, že vstřikovače v srdci Merlinu, které jsou čepového typu, měly už v programu Apollo, konkrétně šlo o přistávací motor lunárního modulu. Motor má několik vývojových typů, ve Falconu 1 byl nejprve použit Merlin 1A a poté Merlin 1C.“

**V souvislosti s Falconem 1 bylo o SpaceX poměrně dost slyšet, ale zprvu spíše v negativních souvislostech (havárie nosičů). Tato překerní situace prý přivedla firmu téměř do stavu klinické smrti. Čím to, že se jim nedařilo?**

„Při testech tohoto nosiče pro Muska skutečně nastalo poměrně krušné období, protože z pěti startů z kosmodromu Omelek Island

byly hned první tři neúspěšné. K první havárii došlo 24. 3. 2006 v čase T+0:25, kdy začal hořet motor Merlin 1A, což následně vedlo k pádu rakety na nedaleké korálové útesy. O rok později, 21. 3. 2007, havaroval Falcon 1 v čase T+7:30 a na vině byly oscilace. Při rozdělení prvního a druhého stupně niobový prstenec trysky motoru Kestrel 'tuhnul' do mezistupně na 1. stupni. Vzniklé vibrace postupně narůstaly a přidalo se k nim i související šplouchání paliva v nádrži druhého stupně. Tyto dva vlivy způsobily, že motor na druhém stupni zhasnul asi o minutu a půl dříve, než měl. Při havárii 3. 8. 2008 pak došlo ke kolizi 1. a 2. stupně. Způsobil to zbytkový tah motoru na prvním stupni, protože SpaceX tehdy ještě nevěděla, že po vypnutí motoru musí chvíli počkat a pak teprve provést oddělení stupňů. Po předchozích třech neúspěšných startech se čtvrtý let 28. 9. 2008 konečně podařil a raketa úspěšně dosáhla nízké oběžné dráhy kolem Země. Při svém pátém startu 14. 8. 2009 se stala historicky první zcela soukromě financovanou kosmickou raketou na kapalné pohonné látky, která zdárně vynesla na oběžnou dráhu Země umělou družici RakSAT o hmotnosti 180 kg.“

### Musk trpělivě a cílevědomě pracoval na odstranění nedostatků. Co bylo dál?

„SpaceX potřebovala silnější nosič, který by zvládl vynášet nákladní lodě Dragon. Pustila se proto do vývoje zbrusu nového, silnějšího nosiče Falcon 9. První verze 1.0 disponovala devíti motory Merlin 1C. To bylo poměrně výhodné v situaci, v níž by nějaký motor vypověděl funkci. Výška nosiče byla 55 m a z pěti startů všechny splnily primární část mise. První start proběhl 4. 6. 2010 a jen jeden let z pěti měl částečný neúspěch.“

### Následující verze 1. 1. už disponovala inovovanými motory Merlin 1D. Jaká další vylepšení tato raketa měla?

„Stále šlo o motory poháněné speciálně upraveným leteckým petrolejem a kapalným

kyslíkem s otevřeným pracovním cyklem, jen měly vyšší tah. Došlo také k prodloužení nádrží rakety a taktéž byl upraven řídicí systém. Nosnost Falconu 9 byla zvýšena na 13,5 t a výška nosiče vzrostla na 68 m. První start tohoto nosiče proběhl 29. 9. 2013, a z patnácti startů došlo jen k jedné jediné havárii.“

### V roce 2015 byla testována další verze Falconu 9 – 1.2.(1.1 FT) na podchlazené palivo. Došlo tím k očekávanému zvýšení výkonu motorů?

„Šlo skutečně o velmi důležitou inovaci. Podchlazením paliva (letecký petrolej) z dřívějších 22 °C na -6 °C a oksylichovadla (kapalného kyslíku) z dřívějších -183 °C na -206 °C byl o 15 % zvýšen tah motorů a společně s prodloužením nádrží se o 30 % zvýšil také výkon. Nádrže horního stupně v této verzi musely být prodlouženy o 10 %, takže výška nosiče vzrostla na 70 m. Vynikající je, že z celkových 37 startů nedošlo k žádné havárii, pouze k jedné nehodě před startem.“

### Po 1.1. FT přichází vývoj a výroba finální verze Falconu 9 – Block 5. Bylo ještě vůbec co vylepšovat?

„Určitě ano. Tato verze v sobě totiž využívá všech nasbíraných poznatků. Jedná se o vysoce bezpečný nosič s vylepšenými sklopnými nohama. Má vyšší výkon motorů a vylepšený octaweb, tedy konstrukci, do které jsou usazeny motory na prvním stupni. Ale asi největší devizou je jednoduchá a opakovaná použitelnost. Letová premiéra se odehrála 11. května 2018 a všech 39 startů bylo zatím úspěšných.“

### Zastavme se ještě u Muskovy vize opakovaného použití jednotlivých součástí. Jak se vlastně SpaceX učila 'chytat' použité stupně?

„Po zkouškách s testovacím zařízením Grasshopper, na kterém SpaceX sbírala první zkušenosti s motorickým přistáváním, přešla na zkoušky se skutečnými prvními stupni, které vynášely náklad a běžně by končily na mořském dně. Začínalo se zvolna, vybraly se souřadnice v moři a sledovalo se, zdali se tam stupeň 'trefí'. Pak se přidala další úroveň: vyklopit nad daným místem nohy a v nulové výšce zkusit dosáhnout nulové rychlosti.“

### Musk avizoval, že finanční náročnost zachycení a následná repase prvního stupně činí méně než polovinu ceny výroby stupně nového a údržba po letu je poměrně levná, což je opakem raketoplánů. Jak drahé bylo naučit první stupeň přistávat?

„Zhruba miliardu dolarů. Ale s každou zkouškou se SpaceX posouvala dál. Když už měla dost zkušeností, povolala do služby přistávací plošiny přibližně s rozměry fotbalového hřiště. Přistání se dlouho nedařilo, ale byly vidět posuny, například měkké přistání u mise Jason – 3. Bohužel pár sekund po přistání toto takřka ideální dosednutí prvního stupně skončilo kvůli nezajištěné aretační západce neslavně.“

### Musk jde ještě dál a snaží se zachytit a následně znovu použít aerodynamické kryty. Daří se mu?

„Chytání aerodynamických krytů, respektive jejich polovin, je dalším logickým krokem ve snaze dosáhnout maximální recyklace a snížit tak náklady na start. Polovina krytu stojí asi 3 miliony dolarů, navíc se nevyrabí snad-

no. Jde o uhlíkový kompozit, který se vypéká v obří peci – v autoklávu. Výroba není jenom drahá, ale i zdoluhavá. Jelikož je kryt velký (vešel by se do něj pohodlně americký školní autobus), musí být obří i autokláv. A pokud se má zvyšovat frekvence startů, mohla by být právě výroba krytů tím úzkým hrdlem.“

**Jak lze aerodynamický kryt chytit, když nemůže přistát sám?**

„SpaceX začala systém testovat pomocí vrtulníku, ze kterého se poloviny krytu shazovaly a poté na říditelném padáku klesaly do sítě lodi Mr. Steven. Nácvik vypadal dobře, ale v ostrém provozu se nedařilo. SpaceX tedy prodloužila ramena lodi, aby mohla mít síť téměř 4x větší plochu. Stále však nešlo kryt zachytit a podařilo se to teprve tehdy, když už byla loď Mr. Steven přejmenována na GO Ms Tree. Ani dnes není celý proces ještě vyladěný. Někdy se nepodaří zachytit ani jednu polovinu krytu, občas se zachytí jedna polovina a jednou se stalo, že každá loď zachytila svou polovinu krytu.“

**Po úspěchu Falconu 9 se SpaceX zaměřila na vývoj těžkotonážního nosiče Falcon Heavy. Na co bude potřeba?**

„Falcon Heavy je nejsilnější v současnosti užívanou raketou, navíc je schopna zachránit všechny stupně (kromě horního) včetně aerodynamického krytu. Raketa se skládá z centrálního stupně, což je konstrukčně zesílený první stupeň rakety Falcon 9 a ze dvou postranních stupňů, které jsou lehce modifikovanými prvními stupni Falconu 9. Centrální stupeň i postranní stupně jsou navrženy k autonomnímu vertikálnímu motorickému přistání po splnění misi. Oba postranní stupně přistávají na zemi, zatímco centrální stupeň přistává na oceánské plošině.“

**Co bylo úkolem Falcon Heavy při prvním letu do vesmíru?**

„První start proběhl 6. 2. 2018 a to s oběma již použitými bočními stupni. První komerční let tohoto nosiče odstartoval 12. 4. 2019 opět z mysu Canaveral. Cílem mise bylo vynést na oběžnou dráhu saúdskoarabskou telekomunikační družici ArabSat 6A, mise byla zcela úspěšná. Družice skončila na oběžné dráze a na Zemi zdárně přistály jak oba pomocné stupně, tak centrální stupeň rakety. Centrální stupeň se však nepodařilo v pořádku dopravit na pevninu, když se kvůli vysokým vlnám na oceánské plošině převrátil.“

**Dalším počinem SpaceX je nákladní loď Dragon, která má dopravovat materiál na ISS a z ISS na Zem. Proč je tak náročné vozit náklad zpět?**

„Dragon je komerční kosmická nepilotovaná loď, kterou SpaceX vyvinula v rámci programu COTS. Dnes je to jediná nákladní kosmická loď, která létá k ISS a může dopravit náklad ze Země na oběžnou dráhu a zpět. K návratu na Zem potřebuje nejen tepelný štít, aby neshořela při vstupu do atmosféry, ale také padáky, aby mohla měkce přistát. To vše něco váží a jde to na úkor vneseného nákladu. První zkušební let lodi Dragon proběhl 8. 12. 2010 a bylo to poprvé, co se soukromá kosmická loď dostala na oběžnou dráhu a vrátila se na Zem. V říjnu 2012 již plně naložený Dragon odstartoval k ISS.“

**Je tato loď znovu použitelná? Kolik úspěšných startů již zaznamenala?**

Vícenásobné použití je už vlastně standardem, vždyť z devatenácti úspěšných letů Dragonů proběhlo osm s použitou lodí. Ze všech dvaceti startů zaznamenal Dragon jedinou havárii a poslední start se uskutečnil 7. 3. 2020.“

**SpaceX vyrábí také loď Dragon 2. Jaké má hlavní poslání?**

„Dragon 2 existuje jak v nepilotované variantě označované jako Cargo Dragon 2, tak v pilotované verzi Crew Dragon. Ta je primárně určena k dopravě astronautů na ISS, k níž má podle kontraktu vykonat asi 6 pilotovaných letů. Může být případně využita i k dopravě k soukromým vesmírným stanicím, například k plánované stanici společnosti Bigelow Aerospace, nebo ke kosmické turistice.“

**První pilotovaný let Crew Dragon máme v živé paměti, když jsme 27. května 2020 seděli u počítačů a sledovali tento očekávaný start. Můžete nám přiblížit některá zajímavá technická řešení této rakety?**

„Je jich tam hned několik. Loď je vybavena jiným stykovacím uzlem než první verze nákladních Dragonů. Jde o dokovací systém na



Musk u motoru Merlin 1.



Přistání prvního stupně rakety Falcon 9.



Starship SN-5 při skoku.

bázi NDS (NASA Docking System), umožňující automatické zadokování u orbitální stanice přes adaptér International Docking Adapter (IDA). Na rozdíl od jiných současných lodí měl Dragon 2 původně přistávat bez padáků s pomocí osmi motorů SuperDraco, které nahrazují klasickou únikovou věžičku pro rychlou záchranu posádky z rampy nebo při poruše během letu; nebyla by při tom potřebná žádná nákladná záchraná operace a pro posádku by byl pohodlnější. Tento systém však firma kvůli složitému certifikačnímu procesu opustila a Crew Dragony tak přistávají na padácích do moře.“

**Revoluce v kosmickém programu se tedy Elonu Muskovi zdařila. Nyní zbývá naplnit druhou část jeho idejí a vycestovat k Marsu. Kterou raketou se tam poletí?**

„Elon Musk má tyto vize velice jasné. Pro Mars plánuje raketu Super Heavy a kosmickou loď Starship. Rozhodně vidí potřebu snížit finanční náklady na let k Marsu. Opakované použití je v tomto případě taktéž samozřejmostí. Tankování lodí uvažuje Musk na oběžné dráze a ve hře je také výběr správného paliva, to znamená, že by měly být po-

užity kyslíkometanové motory Raptor. Musk uvažuje o výrobě paliva na Marsu, a tedy i o obousměrném letu, a to nejen na Mars, ale také na jiná tělesa Sluneční soustavy.“

**Super Heavy je první stupeň, který vynese loď Starship na oběžnou dráhu a poté přistane na přistávací ploše. Jaké bude mít vybavení?**

„Vysoký bude 70 metrů a pohánět jej bude zatím neupřesněný počet motorů Raptor, spalujících podchlazený kapalným metanem a kapalným kyslíkem. Sedm řídicích motorů umístěných uprostřed bude schopných náklonu, ostatní motory budou po obvodu umístěny na pevně.“

**Druhým stupněm bude kosmická loď Starship. Jaké má parametry?**

„Výška Starship bude lehce přes 50 metrů, bude rovněž znovu použitelná a má být schopná přistát jak na kosmickém tělese s atmosférou, tak i bez ní, tedy například na Měsíci. Vybavena bude celkem šesti motory Raptor, tři z nich budou určeny pro použití ve vakuu a tři pro použití v atmosféře. Bude sloužit k přepravě až 100 lidí nebo jako nákladní loď. Počítá se zde také s možností dotankování nádrží

na oběžné dráze Země, takže Starship dokáže létat na velké vzdálenosti.“

**A na závěr nejdůležitější otázka. Kdy se konečně na Mars poletí?**

„Podle původních plánů se měl první testovací let na oběžnou dráhu uskutečnit v roce 2020, nicméně v tomto roce došlo zatím pouze ke dvěma skokům do výšky 150 metrů. Pro počáteční testování byl použit technologický demonstrátor Starhopper, na kterém byly provedeny první statické zážehy motoru Raptor a 26. 7. 2019 úspěšně proběhl první neupoutaný 'skok' do výšky kolem 20 metrů. Druhý a poslední pokus proběhl 27. 8. 2019, tentokrát Starhopper vystoupal do výšky 150 metrů a poté měkce přistál. Pokud tedy odložíme růžové brýle, člověka na Marsu nečekám před rokem 2040, ale rád se budu mýlit.“

Jana Žďárská, Fyzikální ústav AV ČR

Foto – archiv



Nácvik zachycení krytu.



Mořská přistávací plošina.



**Dušan Majer (\*1987)** se narodil v Jihlavě a vystudoval soukromé všeobecné gymnázium AD FONTES. Od roku 2009 popularizuje kosmonautiku formou videí, článků a přednášek. Založil webový portál kosmonautix.cz, kde denně vychází minimálně dva články o kosmonautice, které se věnují historii, současnosti i blízké budoucnosti kosmonautiky, ať už státní či soukromé; dodnes redakci řídí. Sedm let tvořil pro Stream.cz pořad Dobývání vesmíru, který několikrát v rámci soutěžní přehlídky propagace vědy SCI-AP (SCIENCE APPROACH) ocenila Akademie věd české republiky. V roce 2019 přešel na internetovou televizi Mall.tv, kde lze vidět jeho pořady Vesmírné zprávy, Krátké vesmírné zprávy, Vesmírná technika a Vesmírné starty.

Foto: Lukáš Kladníček