

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

SPACE X A JEJÍ ZAČLENĚNÍ DO VÝUKY FYZIKY NA STŘEDNÍ ŠKOLE
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Mgr. Martin Královec
Učitelství matematiky pro střední školy

Vedoucí práce: PhDr. Ing. Ota Kéhar, Ph. D.

Plzeň 2019

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 12. dubna 2019

.....
vlastnoruční podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování PhDr. Ing. Otovi Kéharovi, Ph.D. za jeho cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat za vstřícnost a pomoc při získání potřebných informací a podkladů.

OBSAH

Úvod	3
1 ELON MUSK – CESTA OD SNĚNÍ AŽ NA RUDOU PLANETU	4
1.1 DĚTSTVÍ STRÁVENÉ V JIHOAFRICKÉ REPUBLICCE.....	5
1.2 ŽIVOT V UNIVERZITNÍM PROSTŘEDÍ	8
1.3 ZALOŽENÍ SVÉ PRVNÍ SPOLEČNOSTI – ZIP2	12
1.4 PAYPAL.....	18
1.5 SNĚNÍ O MARSU.....	22
1.6 CESTA SPACEX NA VÝSLUNÍ.....	26
1.6.1 Testovací středisko McGregor, Merlin a ústředí SpaceX v Hawthorne	29
1.6.2 Výbuchy raket, atol Kwaj a první úspěšný start	33
1.6.3 Kontrakt s NASA, vývoj rakety Falcon 9 a ovládnutí trhu	40
1.6.4 Kosmická loď Dragon, Dragon 2 a Crew Dragon	46
1.6.5 Znovupoužitelnost, Grasshopper a záchrana prvních stupňů	51
1.6.6 Letový profil prvního stupně	54
1.7 BUDOUCNOST SPAXEX – FALCON HEAVY, STARSHIP A CESTA NA MARS	56
1.8 DŮLEŽITÍ LIDÉ VE SPACEX	61
1.8.1 Thomas Mueller.....	61
1.8.2 Gwynne Shotwellová.....	63
1.8.3 Hans Koeningsmann	65
2 DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ	68
2.1 NÁRODNÍ KOSMICKÝ PLÁN	68
2.2 VESMÍR V PŘEDSTAVÁCH ŽÁKŮ STŘEDNÍ ŠKOLY.....	68
2.2.1 Oblíbený film, oblíbená kniha žáků střední školy	69
2.2.2 Náзор na cestování do vesmíru	71
2.2.3 Kdy si myslíte, že člověk doputuje na Mars.....	73
2.3 SPACEX V PODVĚDOMÍ STŘEDOŠKOLÁKŮ.....	73
3 ÚLOHY ZAMĚŘENÉ NA VESMÍRNÉ LETY	76
3.1 VIDITELNÁ PLOCHA ZEMĚ V ZÁVISLOSTI NA VZDALUJÍCÍM SE POZOROVATELI	76
3.1.1 Plocha Země viditelná z Mezinárodní vesmírné stanice	78
3.1.2 Plocha Země viditelná z Mezinárodní vesmírné stanice – řešení pomocí Euklidovy věty	81
3.1.3 Plocha Země viditelná z geostacionární oběžné dráhy	81
3.1.4 Plocha Země viditelná z Měsíce.....	82
3.1.5 Plocha Země viditelná z nekonečné vzdálenosti	83
3.1.6 Plocha Země viditelná z Mezinárodní vesmírné stanice během jednoho obletu kolem Země.....	84
3.2 DRUŽICE NA OBĚŽNÉ DRÁZE KOLEM ZEMĚ	86
3.3 NAVSTAR GPS	87
3.3.1 Rychlost, výška a plocha Země snímatelná družicí GPS.....	87
3.3.2 Rozmístění družic GPS a určování polohy na Zemi.....	89
3.4 KOSMICKÉ RYCHLOSTI	91
3.4.1 Obecné odvození	91
3.4.2 1. kosmická rychlost – matematické odvození.....	92
3.4.3 2. kosmická rychlost – matematické odvození.....	93
4 VYUŽITÍ 3D TISKÁREN VE VÝUCE FYZIKY	95
4.1 FALCON 9 V1.2	95

4.2 DVOUPROUDÝ TURBO VENTILÁTOROVÝ MOTOR	96
ZÁVĚR.....	98
RESUMÉ	100
CITACE.....	101
SEZNAM LITERATURY A INTERNETOVÝCH ZDROJŮ	106
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ	119
PŘÍLOHA Č. 1 – DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ.....	I
PŘÍLOHA Č. 2 – MODEL RAKETY FALCON 9 v.1.2	III
PŘÍLOHA Č. 3 – MODEL TURBO VENTILÁTOROVÉHO DVOUPROUDÉHO MOTORU	IV

Úvod

Pro svou diplomovou práci jsem si vybral téma *SpaceX a její začlenění do výuky fyziky na střední škole*. Téma jsem si zvolil z důvodu osobního zájmu o kosmonautiku a zejména o společnost *SpaceX*, která je právem považována za revoluční společnost ve svém oboru. Mým cílem je vytvořit studijní text zabývající se počátky společnosti a jejími nejzásadnějšími úspěchy datovanými do počátku roku 2019. Dílčím cílem práce je také zjistit postoje a názory žáků střední školy ohledně dobývání vesmíru a kolonizace planet.

Dalším cílem je tvorba matematicko-fyzikálních úloh, které se zaměřují na vesmírnou tematiku a jsou aplikovatelné ve výuce fyziky na střední škole. Úlohy by měly být řešitelné za pomoci goniometrických funkcí a dalšími elementárními matematickými operacemi.

Práce je strukturovaná do čtyř bloků. První pojednává o těžkých začátcích Elona Muska a jeho cestě z Afriky do Spojených států amerických, kde založil společnosti *SpaceX* a *Tesla Motors*. Hlavní část tohoto bloku je zaměřena počátky společnosti, od prvních neúspěchů až po realizující se verzi marsovské kosmické lodi *Starship*.

Ve druhém bloku prostřednictvím dotazníkového šetření zjišťuji názory a postoje žáků středních škol na dobývání vesmíru, kolonizaci planet a bezpečnost těchto aktivit. Pro žáky, kteří znají společnost *SpaceX*, jsou připraveny otázky, jež se přímo dotýkají společnosti samotné.

Třetí blok obsahuje náměty na dlouhodobé seminární práce určené žákům střední školy. Tyto úlohy je také možné vhodně zařadit do samotné výuky. Hlavním kritériem byla aplikovatelnost a potenciál zařadit úlohy do samotné výuky fyziky na střední škole.

Poslední blok se zabývá aplikovatelností 3D tisku ve výuce fyziky na základní i střední škole. V rámci této diplomové práce je mým cílem vytvořit didaktické pomůcky do výuky fyziky, jejichž cena je zanedbatelná oproti komerčně prodávaným pomůckám.

1 ELON MUSK – CESTA OD SNĚNÍ AŽ NA RUDOU PLANETU

Elon Musk, zakladatel společností *PayPal*, *SolarCity*, *Tesla Motors*, *SpaceX* či *The Boring Company*, je právem považován za technologického vizionáře 21. století. Světově známý inovátor, konstruktér, podnikatel a také hollywoodský „playboy“ dlouhá léta balancoval na hranici osobního bankrotu. Jeho cílevědomost a notná dávka štěstí mu ale umožnila vybudovat společnosti, které dnes diktují tempo ve svých oborech.



Obrázek 1: Elon Musk^[98]

„Hodně pracuji, jakože opravdu hodně. Mám takovou teorii. Myslím si, že zde existuje dobrý rámec pro přemýšlení, a to je fyzika. Víte, ten typ primárních úvah. Obecně si myslím, že jde o to rozebrat problémy až k jejich základům a odtud postupovat, na rozdíl od snahy uvažovat pomocí analogie. I když většinu svého života pracujeme pomocí analogií, tedy vlastně kopírujeme s malými odchylkami myšlenky ostatních, musíme to dělat, protože bychom nebyli schopni projít každodenním životem. Pokud ale chcete přijít s něčím novým, musíte použít fyzikální přístup k věci. Fyzika je ve skutečnosti snaha objevit nové poznatky, které jsou kontra intuitivní. Třeba kvantová mechanika, která je opravdu kontra intuitivní.“ Elon Musk^[1]

Bohatství nabyt v době, kdy internet nebyl běžně dostupný, jako je tomu dnes. Přesto vsadil na bezkontaktní platební styk na internetu, což mu vydělalo 180 milionů dolarů. V té době měl dostatek financí, aby zabezpečil celou svou rodinu do konce života. On se ale rozhodl všechny peníze investovat do svých dalších společností. Zaujaly ho elektrické automobily, založil proto společnost *Tesla Motors*, která je trnem v oku mnohým klasickým automobilkám. Uchvátila ho také možnost rychlé přepravy lidí a nákladu mezi městy. V roce 2016 proto založil společnost *The Boring Company*, která v roce 2018 otevřela svůj první testovací podzemní tunel o délce 1,8 km.

Nejzvučnější jméno z řady Muskových společností má ale *SpaceX*¹, která v současné době zásobuje Mezinárodní vesmírnou stanici, vynáší komerční i tajné vládní družice a v roce 2019 bude jako první soukromá společnost na světě dopravovat americké

¹ Oficiální název SpaceX: Space Exploration Technologies Corporation

astronauty na stanici. Musk má v této společnosti funkci výkonného ředitele a hlavního konstruktéra, což nebývá obvyklé, podíváme-li se ke konkurenčním společnostem.

„Pracoval jsem pro mnoho šéfů, ale Elon Musk je dosud jediný, o kterém můžu říci, že tomu svému oboru rozumí.“ David Pavlík, první Čech pracující ve SpaceX^[2]

1.1 DĚTSTVÍ STRÁVENÉ V JIHOAFRICKÉ REPUBLICE

Elon Musk, celým jménem Elon Reeve Musk, se narodil 28. června 1971 v Jihoafrické republice. Jeho matkou je bývalá kanadská modelka Maye Musková. Otcem je Errol Musk, letecký inženýr a pilot. Musk má také dva mladší sourozence, úspěšného restaurátora Kimbala Muska a režisérku Toscu Muskovou.



Obrázek 2: Elon Musk v dětství. ^[99]

Vzhledem k politické situaci v Jihoafrické republice (JAR) v 80. letech 20. století, rozpadu rodiny a šikany neměl Musk šťastné dětství. V Africe ho provázel přízrak apartheidu². V roce 1976 proběhlo povstání v Sowetu³, kde byli zabití černošští studenti demonstrující proti bělošské vládě. Následující čtyři roky byly na Jihoafrickou republiku uvaleny sankce ze strany OSN kvůli rasistické politice.

V mládí hodně cestoval se svými rodiči do zahraničí a vnímal, jak svět negativně reaguje na dění v JAR, což mělo vliv na jeho osobnost. Neopomeňme ani bílou afrikánskou maskulinní kulturu⁴ rozšířenou v JAR. Vzhledem k jeho menším fyzickým proporcím byl ve společnosti outsiderem. Spojením cest do zahraničí, politické situace v JAR a kulturou v jeho domovině se stále utvrzoval v názoru, že se světem není něco v pořádku. Jako východisko viděl Spojené státy americké, které považoval za místo, kde by bylo možné splnit si všechny své sny.

² Apartheid je označení pro politiku rasové segregace, která byla oficiální státní politikou Jihoafrické republiky v letech 1948 až 1994. Projevovala se různými právy pro bělošské a tzv. barevné obyvatelstvo, jako například zamezený přístup černošského obyvatelstva do restaurací, kin, parků, pláží, škol, nemocnic a jiným pro bělochy veřejně přístupným zařízením.

³ Soweto je předměstí největšího Jihoafrického města Johannesburg, které bylo vybudováno jako gheto pro místní domorodce. V současné době tvoří celých 98,5 % obyvatel předměstí černoši. Oficiálně má Soweto 1,3 milionu obyvatel, ale vzhledem k velkému množství neregistrovaných přistěhovalců je toto číslo mnohem vyšší.

⁴ Maskulinní kultura odvozuje hodnoty od toho, čeho člověk dosáhl, od jeho výkonu, úspěchů a majetku.

Musk měl díky povolání svého otce blízko k technickým oborům. V deseti letech spatřil při návštěvě obchodního centra v Johannesburgu první počítač, který ho uchvátil.

„Bylo to jako – Teda! Ty vole! Přístroj, který se může naprogramovat tak, aby dělal, co člověk chce! Musel jsem ho mít. Otravoval jsem otce tak dlouho, až mi ho koupil.“

Elon Musk^[3]

Jednalo se o osmibitový domácí počítač *Commodore VIC-20* s pětikilobajtovou pamětí, který se začal prodávat v roce 1980. Otec byl vůči této nové technologii skeptický a místo toho razil tradicionalistický přístup a nové technologie odsuzoval.

„Prý je to jen na hraní her a nikdy se na tom nebudou moct dělat pořádné technické věci.

Říkal jsem jen, když myslíš.“ *Elon Musk^[4]*

Počítač byl dodáván s učebnicí programovacího jazyka *BASIC*. Výrobce předpokládal, že prostudování učebnice zabere přibližně půl roku, Musk to zvládl do týdne.

„Tři dny a tři noci jsem nespal a všechno se naučil. Připadalo mi to jako nejúžasnější věc, kterou jsem kdy viděl.“ *Elon Musk^[5]*

Poprvé o sobě dal Musk veřejně vědět ve dvanácti letech, kdy mu jihoafrický odborný časopis *PC and Office Technology* otiskl zdrojový kód jím vytvořené hry. Hra s názvem *Blastar* nebyla v informatice z programátorského hlediska převratnou, ale v té době náročnost naprogramování hry překračovala možnosti většiny dvanáctiletých chlapců. Od časopisu dostal odměnu pět set dolarů.

Ve dvanácti letech se postupně začal seznamovat s modely raket. Pro své spolužáky vyráběl funkční rakety, které plnil podomácku vyráběnými výbušninami a celou sadu následně prodával.

Ve čtrnácti letech se potýkal s existenciální krizí, se kterou se pokusil, jako mnoho nadějných mladých lidí, vyrovnat únikem k náboženství a četbě filozofických textů. Žádná ideologie ho ale nepřesvědčila a vrátil se opět na začátek, když ho uchvátila, dle jeho slov, kniha jeho života. Jednalo se o knihu Douglase Adamse⁵ *Stopařův průvodce Galaxií*.

⁵ Douglas Adams (11. 3. 1952, Cambridge, Velká Británie – 11. 5. 2001, Santa Barbara, USA) byl řečník, hudebník a spisovatel. Jeho nejznámější dílo je pětidílná série *Stopařův průvodce Galaxií*, kterého bylo prodáno více jak 15 milionů výtisků. Série byla vydána také ve verzi pro rádio, televizní seriál, PC hru, komiks a po smrti Adamse také v rámci celovečerního filmu.

„Upozorňuje tu, že jednou z nejtěžších věcí je vymyslet, na co se ptát. Jakmile vymyslíte otázku, je už odpověď relativně snadná. Došel jsem k závěru, že bychom se měli snažit zvýšit rozsah a hloubku lidských vědomostí, aby lidé uměli klást otázky správně. Jedinou věcí, která má smysl, je usilovat o větší kolektivní osvícení.“ Elon Musk^[6]

Po přesunu na střední školu nastalo období, na které by Musk nejraději zapomněl. Setkal se s psychickou a fyzickou šikanou, která způsobila, že vystřídal několik vzdělávacích institucí. Bohužel pro něj se ale v žádné neseťkal s absencí šikany. Nejzávažnější útok, po kterém skončil v nemocnici, se stal na schodech před školou. Spolužák se k němu a jeho bratrovi přikradl zezadu a kopl ho do hlavy. Skutálel se ze schodiště, kde ho další agresoři skopali a mlátili hlavou o zem.

„Vlastně jsem se před tím jeho gangem ukrýval. Nevím, proč po mně ti hajzlové pořád šli. Myslím, že jsem náhodou do toho kluka ráno vrazil a on se kvůli tomu děsně naštvál. Byla to banda vypatlaných dementů. Ztratil jsem vědomí.“ Elon Musk^[7]

„Vypadal, jako by ho právě vynesli z boxerského ringu. Elon pak šel do nemocnice. Do školy se mohl vrátit až za týden.“ Kimbal Musk^[8]

„Z nějakého důvodu si na mě zasedli a nonstop po mně šli. Několik roků nebylo úniku. Ve škole vás nahání banda magorů, co se z vás snaží vymlátit duši, pak přijdu domů a tam je to skoro stejně tak děsné. Byl to vlastně nepřetržitý teror.“ Elon Musk^[9]

Více klidu získal přestupem na veřejnou školu *Pretoria Boys High School*, která je dodnes považována za elitní školu v JAR. Škola je od založení určena pouze pro chlapce s vynikajícími studijními výsledky a její absolventi se pravidelně ucházejí o studium na prestižních školách, jako je *Oxford* nebo *Cambridge*.

Stále ale nezapadal do světa posedlého sportem, jeho fantazírování o dobývání planet a ubírání se k obnovitelným zdrojům energie k tomu nepřispívalo. Mluvit v JAR, v zemi známé těžbou fosilních paliv, o obnovitelných zdrojích bylo pro většinu lidí zvláštní.

Musk nebyl ve škole typickým premiantem. V přírodovědných a technických předmětech patřil vždy mezi nejlepší studenty, dokonce byl vybrán pro experimentální studijní program zaměřený na programovací jazyky *BASIC*, *COBOL* a *Pascal*. Z předmětů, které považoval za nevýznamné, procházel s horšími známkami.

„Díval jsem se na to tak – jaké známky potřebuji, abych se dostal tam, kam chci? Měli jsme různé povinné předměty, třeba afrikánštinu, a já prostě neviděl důvod, proč bych se je měl učit. Připadalo mi to směšné. Prošel jsem, a to bylo důležité. V předmětech jako fyzika nebo počítače jsem měl vždycky nejlepší známky. K dobré známce musí být důvod. Než se snažit dostat jedničku v předmětu, kde to podle mě nemělo smysl, raději jsem hrál videohry, psal programy nebo četl knížku.“ Elon Musk^[10]

V roce 1988, ve věku sedmnácti let, se naskytl jedinečná příležitost vycestovat z Jihoafrické republiky a usídlit se v Kanadě. Stalo se tak díky legislativní změně v Kanadě, která nově umožnila přenést kanadské občanství z matky nebo otce na dítě. Dalším důvodem opustit zemi, pomineme-li politickou situaci v JAR a kulturní odlišnosti, byla povinná vojenská služba, které se chtěl vyhnout. Po měsících vyřizování veškerých povolení od kanadských úřadů mohl v červnu 1988 odletět do Kanady a nadobro opustit Afriku.

1.2 ŽIVOT V UNIVERZITNÍM PROSTŘEDÍ

Po příletu do Kanady neměl Musk tušení, co zde bude dělat a kde bude bydlet. Spoléhal na rodinu z matčiny strany, která byla rozeseta po celé Kanadě. Jako prvního kontaktoval prastrýce, který žil dlouhá léta v Montrealu. Po příletu ale zjistil, že se přestěhoval do Minnesoty. Nezbyvalo nic jiného, než se vydat na tři tisíce kilometrů dlouhou cestu do městečka Swift Current a nalézt své další příbuzné. Na cestách vydržel přes rok a vystřídal pestrou paletu zaměstnání. Okopával zeleninu, čistil obilná pole nebo si vyzkoušel práci na pile ve Vancouveru, kde uklízel topeniště.

„Musíte si na sebe obléct takový ten ochranný protipožární oblek a protáhnout se dovnitř úzkým tunelem, do kterého se taktak vejdete. Pak popadnete lopatu a máte vyhazovat popel a zbytky, prostě všechnen ten sajrajt, co ještě doutná, tou samou dírou, co jste vlezli dovnitř, zase ven. Kdybyste vevnitř zůstali déle než půl hodiny, umřete horkem.“

Elon Musk^[11]

Po roce cestování napříč Kanadou se přihlásil na *Queen's University at Kingston*⁶. V roce 1989, téměř po roce cestování napříč Kanadou, se na severoamerickém kontinentu nacházel již také Muskův bratr Kimbal. Společný čas využívali velice originálně, a to kontaktováním lidí, se kterými by se chtěli seznámit. Vytipované osoby požádali, zda by jim nevěnovaly místo ve svém nabitém programu a zašly s nimi na oběd. Dle předpokladu většina z dotázaných odmítla. Výjimkou byl ekonomický publicista píšící pro deník *The Globe and Mail*, vedoucí marketingového oddělení torontského



Obrázek 3: Elon Musk na kolejích *Queen's University at Kingston*.^[100]

basseballového týmu *Blue Jays* a vysoký manažer *Bank of Nova Scotia*⁷ v jedné osobě, Peter Nicholson⁸.

„Bylo to neobvyklé, že se na vás někdo zničehonic obrátí s takovou žádostí. Líbilo se mi, že ti dva kluci měli odvahu, a tak jsem jejich pozvání neodmítl.“ Peter John Nicholson^[12]

Trvalo šest měsíců, než se v Nicholsonově nabitém harmonogramu uvolnilo místo, ale bratři se nakonec dočkali. Absolvovali tříhodinovou cestu vlakem, na jejímž konci je čekal oběd s Nicholsonem. Vzhledem k budoucím aktivitám bratrů to pro ně byl významný okamžik v jejich životě. Oba dostali nabídku na stáž v bance a Nicholson se stal jejich rádcem v otázkách financí na mnoho dalších let.

„Uměli se dobře prezentovat, byli zdvořilí. Ale Elon byl jasně ten ‚větší blázen‘, svým důraznějším projevem byl protikladem charismatického příjemného Kimbala. Jak jsme si

⁶Queen's University at Kingston je veřejná univerzita v kanadském Ontariu. Byla založena v roce 1841 královnou Viktorií 26 let před získáním nezávislosti Kanady na Velké Británii.

⁷Bank of Nova Scotia působící jako Scotiabank je kanadská nadnárodní banka s více jak 24 miliony klienty v 50 zemích světa a přes 88 tisíce zaměstnanců. Scotiabank obchoduje na burzách v Torontu a New Yorku. Byla založena v roce 1982 v Halifaxu v Novém Skotsku a své sídlo přesunula do Toronta v Ontariu.

⁸Peter John Nicholson (3. 5. 1942, Halifax, Nové Skotsko) je bývalý kanadský politik a vysoký manager v Bank of Nova Scotia. Absolvoval Stanford university s tituly bakalář a magistr v oblasti vědy a doktorský titul z filozofie (Ph.D.).

povídali, byl jsem pořád zaujatější, fascinovali mě. Byli tak odhodlaní.“

Peter John Nicholson^[13]

Na univerzitě v Kingstonu strávil Musk dva roky, během kterých získal stipendium na *University of Pennsylvania*⁹. Tam studoval současně dva obory, a to ekonomii a fyziku. Oba obory úspěšně vystudoval s titulem bakalář. Oproti studiu na základní a střední škole v Jihoafrické republice, které bylo ve znamení fyzické a psychické šikany, v univerzitním prostředí se setkal s diametrálně odlišným přístupem a poznával stále více lidí, kteří měli podobné uvažování jako on sám. Seznámil se zde také se svou první manželkou Justine Wilsonovou¹⁰, později Muskovou.

„Na Penn poznal lidi, kteří mysleli stejně jako on. Bylo tam pár technických fanatiků. Měl je fakt rád. Pamatuji, že jsem s nimi šla na oběd a oni se bavili ve stylu ‚A plus B se rovná pi na druhou‘ a podobně, ale pořád vybuchovali smíchy. Bylo skvělé ho vidět tak spokojeného.“ Justine Musková^[14]

Na *Pennsylvánské univerzitě* se Musk podrobně seznámil s tvorbou podnikatelských plánů, do kterých často zakomponoval myšlenku obnovitelné energie. V roce 1994 sepsal, na tu dobu odvážnou, práci s názvem *Jak je důležité mít soláry*. Předpověděl v ní vzestup technologie solárních panelů a postupné zdokonalení materiálů, ze kterých jsou panely vyrobeny. Předpokládal také, že lidstvo bude muset přistoupit k výrobě elektrické energie pomocí solárních panelů a zmínil možnosti vybudování solárních polí ve vesmíru, přičemž by energie z těchto polí byla dopravována na Zemi pomocí mikrovlnných paprsků, které by byly přijímány na Zemi anténami s průměrem přes sedm kilometrů. V práci také do detailu popsal princip fungování solárních panelů a možnosti, které by vedly ke zvýšení jejich účinnosti. Práce byla ohodnocena jako velmi zajímavá a dobře napsaná.

⁹ University of Pennsylvania (česky Pensylvánská univerzita, zkráceně Penn) je jednou z nejprestižnějších soukromých univerzit v USA. Byla založena v roce 1740 a je členem tzv. *Ivy League*, což je sdružení osmi elitních soukromých škol na východním pobřeží USA. Studoval na ní například současný prezident Spojených států amerických Donald Trump.

¹⁰ Justine Musková, narozena jako Jennifer Justine Wilsonová (2. 9. 1972), je kanadská spisovatelka a první žena Elona Muska. Narodila se v Peterborough v kanadském Ontariu a na Queen's University of Kingston získala titul z anglické literatury. V roce 2000 se provdala za Elona Muska a v roce 2002 mu porodila syna jménem Nevada, který ve věku 10 týdnů zemřel na *syndrom náhlého úmrtí dítěte*. V roce 2004 porodila dvojčata Griffina a Xaviera, o dva roky později trojčata Damiana, Saxona a Kaie. V roce 2008 oznámila rozvod s Elonem Muskem.

Jeho nadání v oblasti technologií uměl na univerzitě také zpeněžit, když zajišťoval prodej počítačových komponentů i samotných počítačů. Dále se zabýval vylepšováním herních konzolí nebo textových editorů, které v té době nebyly ani zdaleka na takové úrovni, jako je tomu nyní. Byl schopen vyřešit naprosto každý problém, se kterým za ním studenti univerzity přišli, a to za finanční poplatek daleko nižší, než by tomu bylo ve specializovaném obchodě.

Nebyl to ale jediný přivýdělek během studia. Ačkoli nebyl Musk typ studenta, který by se účastnil nočních studentských akcí, pořádal každý týden se svým spolubydlícím alkoholové večírky pro studenty. Tím spolubydlícím byl umělecky založený Adeo Ressi.



Obrázek 4: Jeden z mnoha večírků uspořádaný dvojicí Elon Musk a Adeo Ressi.^[101]

Muska společenský život nenaplňoval, ale Ressi ho přesvědčil, že je zde možnost zajímavého finančního zisku. Společně si proto pronajali dům s deseti pokoji mimo univerzitní kampus, ve kterém přes týden studovali, ale o víkendu proměnili nemovitost v noční klub. Okna zakryli pytli na odpadky a stěny pomalovali fosforeskujícími barvami.

„Byl to normální nelegální lokál a většinou nabitý. Měli jsme tam i pět set lidí. Vybírali jsme pět dolarů a pak mohli lidé pít, kolik chtěli – pivo, želé s vodkou a další věci.“

Adeo Ressi^[15]

Musk byl dobrým organizátorem studentských akcí. Měl na starosti průběh večírků, zejména pak zajištění dostatečného množství alkoholu.

„Někdo musel zůstat během těch flámů střízlivý. Na vysoké jsem platil všechno sám a za jednu noc jsem byl schopen vydělat na nájem za celý měsíc. Adeo měl na starosti dělat po domě jen blbosti, já se staral o provoz večírku.“ Elon Musk^[16]

Studentská léta ale pomalu končila a Musk se musel rozhodnout, jakým směrem se vydat. Od malička byly jeho vášní videohry. Naskytla se mu příležitost pracovat v herním průmyslu, jelikož v době studií absolvoval pracovní stáž ve vývojářské firmě. Jeho snem ale bylo změnit svět, a to by mu svět her nikdy nemohl dát. Budoucnost svou i lidstva viděl

v obnovitelné energii, internetu a astronautice. To jsou tři obory, které dle jeho slov skrývají obrovský potenciál pro uskutečnění významných změn a umožnily by nasměrovat lidstvo k lepším zítřkům.

„Mám počítačové hry opravdu rád, ale i kdybych vyráběl skvělé hry, jaký by to mělo účinek na skutečný svět? Nemělo by to velký vliv. I když jsou videohry mým velkým koníčkem, nějak jsem se nedokázal přimět udělat z nich svou práci.“ Elon Musk^[17]

1.3 ZALOŽENÍ SVÉ PRVNÍ SPOLEČNOSTI – ZIP2

Jak naložit s volným časem po vysoké škole a jak se stát pravým Američanem? Na obě otázky existuje jedna společná odpověď, a to absolvování klasického *road tripu* po Spojených státech amerických.

V roce 1994 se Elon a Kimbal vydali na tuto cestu ve dvacet let starém BMW 320i, které si pořídili



Obrázek 5: Logo společnosti Zip2.^[14]

za uspořené peníze z dob studií. Na cestu v neklimatizovaném autě se vydali v srpnu, v období největších veder. Vyrazili ze San Francisca směrem k východnímu pobřeží. Naskytla se jim jedinečná příležitost užít si bouřlivou zábavu, ale také přemýšlet o svých budoucích podnikatelských aktivitách.

V polovině devadesátých let začal být internet běžně dostupný pro širší veřejnost, a proto logicky uvažovali o společnosti, která by pracovala na bázi internetu. Napadlo je směřovat své aktivity do zdravotnictví, ve kterém by vytvořili informační síť pro lékaře, pomocí které by si mohli vzájemně předávat informace o pacientech.

„Zdálo se nám, že zdravotnictví je sektor, který by se dal razantně změnit. Zpracovával jsem podnikatelský plán a později i problematiku marketingu a prodeje, ale nerozjelo se to. Prostě nás to nechytlo“ Kimbal Musk^[18]

Před zmiňovanou cestou absolvoval Musk v Silicon Valley¹¹ dvě stáže. Tou první bylo studium ultra kondenzátorů v *Pinnacle Research Institute* v Los Gatos. Ultra kondenzátory

¹¹ Silicon Valley je oblast na jihu San Francisca v Severní Kalifornii známé jako světové centrum špičkových technologií, inovací a sociálních medií. Zeměpisně odpovídá zhruba údolí Santa Clara. Mezi města patřící do skupiny Silicon Valley patří San Jose, Palo Alto, Santa Clara, Mountain View a Sunnyvale.

považoval již v době studií na *Pensylvánské univerzitě* za revoluční zdroj energie, které bude možné využít pro elektromobily nebo jako napájecí zdroj raket.

Druhou stáž absolvoval v *Rocket Science Games* v Palo Alto, kde se vytvářely videohry s využitím nejmodernějších technologií. Cílem zdejších inženýrů bylo vytvořit nové paměťové médium, dnes známé jako CD, s větší kapacitou, než měly paměťové karty. Technologie zde vyvíjená si kladla za cíl posunout Hollywood do světa videoher. Musk se zde seznámil například s vývojářem iPodu a iPhoneu Tonym Fadelem a také s lidmi, kteří pracovali na originální trilogii *Star Wars*.

Po absolvování *Pensylvánské univerzity* se přihlásil na doktorské studium na *Stanford University*¹², obor materiálové inženýrství a fyzika. Jeho studium ale netrvalo ani celé dva dny. S bratrem se přestěhovali do Silicon Valley a společnými silami chtěli vybudovat internetový byznys.

Nápad mu vnukl jakýsi obchodní zástupce *Žlutých stránek*, který navštívil podnik, kde byl Musk zaměstnán. Nabízel možnost zařazení podniku do klasických papírových *Žlutých stránek* a nově i do online katalogu firem. Obchodní zástupce nebyl schopen vysvětlit, jaké výhody by to firmě přineslo, a proto se majitelé rozhodli neumísťovat svou společnost do online katalogu.

Bratři si uvědomili, že v polovině devadesátých let jen minimum firem chápe přínos internetu. Neschopnost dostatečně vysvětlit výhody bylo skulinou na trhu, které mohou využít. V roce 1995 založili společnost *Global Link Information Network*, později přejmenovanou na *Zip2*. Doufali, že právě jim se podaří přesvědčit majitele podniků a restaurací, aby umístili jména svých podniků na internet.



Obrázek 6: Elon Musk při práci ve své první společnosti (Zip2).^[99]

¹² Stanford University (česky Stanfordova univerzita) je soukromá výzkumná univerzita v Stanfordu v Kalifornii. Byla založena v roce 1885 a ze školních projektů tamní univerzity vznikl například Google nebo Cisco Systems. Mezi úspěšné absolventy lze uvést například H. Hoovera, prezidenta USA nebo Čandra Kumar Naranbhai Patela, vynálezce CO₂ laseru.

Musk naprogramoval primitivního předchůdce dnešních *Google Maps*. Podařilo se mu propojit adresář firem s mapami poskytnutými společností *Navteq*, která v té době investovala do digitálních map miliony dolarů. Bratři by samozřejmě neměli potřebné finance na zakoupení těchto map. Stála při nich štěstěna, a po telefonátu Elona Muska s ředitelem *Navteq* získali tyto mapy zdarma. Výsledná databáze obsahovala název, adresu a mapu, na které bylo vidět umístění podniku.

Naplnění databáze ale stále vyžadovalo staromódní prodej „dům od domu“. Bratři museli přesvědčit podniky o významu internetu a získat od majitelů peníze za něco, čemu většina z nich nerozuměla. Hlavním finančním příjmem *Global Link Information Network* byla zpoplatněná služba, ve které se firmy posunuly na přední pozice ve vyhledávání.

Společnost *Global Link* začínala v malé kanceláři poblíž fastfoodu, který pro bratry znamenal snídani, oběd i večeři. Ke konci roku 1995 začali poprvé najímat zaměstnance pracující za provizi. Stále se setkávali s názory, že platit za reklamu na internetu je ta největší hloupost, o jaké kdy slyšeli. Pro imponovanost celého systému dokonce v rámci propagace naložili klasický počítač na pojízdnou plošinu a zakryli ho ohromným boxem, což připadalo investorům působivé.

Začátek roku 1996 byl pro společnost klíčový. Došlo na schůzku s rizikovými investory *Mohr Davidow Ventures*¹³, později označenou jako „schůzka s ďáblem“. Výsledkem byla investice tří milionů dolarů a přejmenování společnosti na *Zip2*, což mělo evokovat rychlý pohyb „šup sem, šup tam“. Bratři se přestěhovali do větších kancelářských prostor na Cambridge Avenue č. 390 v Palo Alto a začali přijímat nové programátory.

Investoři požadovali rozšíření společnosti do celostátního měřítka. Změnil se také způsob prodeje, společnost se zaměřila na vytvoření softwarového balíku, který by poskytla tištěným médiím, a ty by si následně vybuodovaly své vlastní adresáře určené pro klasickou inzerci, pro prodej nemovitostí či automobilů. Takovýhle softwarový balík by pro tištěná média znamenal výrazné ušetření financí na vývoj vlastní technologie a *Zip2* by byla hlavním článkem v celostátní inzerci.

¹³ Mohr Davidow Ventures je společnost zabývající se rizikovými investicemi. Společnost obvykle investuje do finančních technologií, informačních technologií, energetiky a společností zabývajících se přírodními vědami. V oblasti informačních technologií investuje do internetových služeb včetně tvorby a marketingu webových aplikací.

Mohlo by se zdát, že investice přinesla jen pozitiva. Bylo tomu ale naopak. Investoři z *Mohr Davidow* výrazně ovlivnili Muskovo podnikatelské myšlení v jeho dalších budoucích společnostech. Spojením s *Mohr Davidow* přišel Musk o moc nad svou vlastní společností a byl sesazen z pozice generálního manažera, ve které ho nahradil zkušený Rich Sorkin¹⁴. Na Muska zbyla pouze funkce technického ředitele.

„Za celou dobu, co jsem s ním spolupracoval, Elon asi nejvíce litoval toho, že šel do té smlouvy s ďáblem, s investory z Mohr Davidow Elon nemohl rozhodovat o běžném fungování firmy, a on chtěl být generální manažer společnosti.“ Jim Ambras, viceprezident pro technologie v Zip2^[19]

Dalším faktorem, který Musk „ve své“ společnosti nemohl překousnout, byli mladí programátoři, kteří byli efektivnější a rychlejší než on sám. Neustále ho rozčilovalo, když tito nováčci začali přepisovat jeho dlouhé a nesystematické kódy do jednodušších a kratších variant.

V této době se setkáváme také s pojmem *Muskův koeficient*¹⁵, který vypovídá o jeho přehnaném optimismu v odhadu dodacích termínů. Ty nebylo možné stihnout. V důsledku toho nutil programátory pracovat nepřetržitě celé dny. Svou pracovní morálkou dováděl své podřízené k šílenství.

„Když jste se Elona zeptali, jak dlouho bude trvat něco udělat, nikdy neuvažoval v delším časovém horizontu než jedna hodina. Zvykli jsme si, že hodinu máme interpretovat jako den nebo dva, a pokud Elon někdy řekl, že něco bude trvat den, počítali jsme s jedním nebo dvěma týdny.“ Jim Ambras, viceprezident pro technologie v Zip2^[20]

Bratři postupně více a více ztráceli moc ve své firmě a negativa začala převažovat nad pozitivy. S jistotou lze ale říci, že si oba finančně polepšili a mohli si koupit věci, o kterých dříve jen snili. Automobil, ve kterém absolvovali po vysoké škole „road trip“, staré

¹⁴ Rich Sorkin je generálním ředitelem, předsedou a spoluzakladatelem společnosti Jupiter Technology Systems, Inc., která se zabývá změnou klimatu na Zemi. Od května 1996 do června 1998 působil jako generální ředitel společnosti Zip2. Jedná se o zkušeného podnikatele působícího v Silicon Valley, který se zaměřuje na finanční služby a technologie spjaté s umělou inteligencí a energií.

¹⁵ Muskův koeficient je číslo, kterým vynásobíme termín slíbený Elonem Muskem, abychom dosáhli reálného termínu. Žádné takové číslo nelze reálně zjistit, jde pouze o „vtípek“ vypovídající o Muskově pracovní morálce a přehnanému optimismu v termínech.

BMW 320i, vyměnili. Kimbal za BMW řady 3 a u Elona Muska poprvé propukla vášeň ke sportovním autům, když si pořídil Jaguár E-tyt.

Konec bratrů ve společnosti se přiblížil v dubnu 1998, kdy *Zip2* ohlásila fúzi v hodnotě 300 milionů dolarů s jejím hlavním konkurentem, společností *CitySearch*. Generálním ředitelem se měl stát Rich Sorkin, který dosud vedl *Zip2*. Spojením firem by došlo ke vzniku duplicitních míst a následnému propouštění zaměstnanců. To se samozřejmě nelíbilo manažerům v *Zip2*, kteří by mohli přijít o práci. Situace vygradovala při zkoumání účetnictví obou firem, které odhalilo špatnou finanční situaci *CitySearch*, než byla avizovaná. V *Zip2* se vytvořily dvě frakce, z nichž první požadovala zrušení a druhá dokončení fúze. Musk nejprve s fúzí souhlasil. Později ale změnil názor a postavil se proti Sorkinovi.

V květnu 1998 byla fúze zrušena a Musk vycítil příležitost vrátit se do vedení firmy. Požadoval po správní radě odvolání Sorkina z postu generálního manažera a dosazení jeho samotného do této pozice. Správní rada vyslyšela jeho slova pouze z poloviny. Sorkin byl skutečně odvolán, ale Musk se do čela společnosti nedostal. Správní rada zvolila raději rizikového investora z *Mohr Davidow* Dereka Proudiana. Tento krok znamenal další ránu pro jeho ego a blížící se konec ve společnosti, která začala také nerozumně utrácet své finanční prostředky a přestávala být konkurenceschopná.

„Byla tam spousta silných emocí a vzájemného obviňování. Elon chtěl být generální manažer, ale řekl jsem mu: ‚Podívej, tohle je tvoje první společnost. Pojďme najít kupce a vydělat na tom peníze, ať můžeš založit svoji druhou, třetí, čtvrtou společnost.‘

Derek Proudian^[21]

V únoru 1999 nabídla společnost *Compaq Computer* 307 milionů dolarů za *Zip2*. Elon Musk získal z prodeje 22 milionů dolarů pro rozjezd své další firmy, jeho bratr Kimbal 15 milionů dolarů. Investoři z *Mohr Davidow* na tom byli samozřejmě o poznání lépe a za svůj počáteční vklad 3 milionů dolarů získali 60 milionů dolarů.

Pro bratry to byla jejich první zkušenost s řízením firmy a naučila je umět jednat s lidmi. Zejména pro Elona Muska to byla důležitá zkušenost, protože v každé jeho další společnosti se zaměřoval na pozitivní stránky svých zaměstnanců a svým arogantním perfekcionistickým chováním už v budoucnosti nikdy neprodukoval neefektivní zaměstnance, jako tomu bylo v *Zip2*.

„Jednou jeden kluk sepsal na tabuli rovnici z kvantové mechaniky, něco o kvantové pravděpodobnosti, a měl to špatně. A já na to: ‚Jak můžeš něco takového napsat?‘ A opravil jsem mu to. Od té doby mě nenáviděl. Nakonec jsem si uvědomil: ‚No, tak jsem sice opravil rovnici, ale z toho člověka jsem udělal neproduktivního zaměstnance. Nebyl to vhodný způsob, jak podobné situace řešit.‘“ Elon Musk^[22]

1.4 PAYPAL

Internetový milionář ze Silicon Valley se po prodeji své první společnosti přestěhoval z pronájmu do vlastního bytu a pořídil si supersport McLaren F1 za více jak milion dolarů. Zajímavostí je, že právě tento kus měl původně patřit Ralphu Laurenovi¹⁶. Nově nabyté bohatství Muska natolik pohltilo, že se začal i jako milionář chovat. Na předávání supersportu dokonce pozval celonárodní televizi CNN, která měla podtrhnout jeho nově nabytý status milionářského playboye.



Obrázek 7: Logo společnosti PayPal. [102]

„Nezapadám do obrazu tradičního bankéře. Sehnat 50 milionu dolarů? Stačí jen pár telefonátů a peníze jsou tady. Jsem přesvědčený o tom, že X.com může být miliardový zlatý důl.“ Elon Musk pro CNN^[23]

Bylo, a ještě bude mnoho případů, kdy mladí milionáři své nově nabyté jmění utratí za závodní automobily a večírky. Musk ale naštěstí nepodlehli tomuto krátkodobému zlatému snu a investoval své peníze z prodeje Zip2 do vytvoření nové společnosti, která by odpovídala jeho vysokým ambicím. Zaměřil se na hledání oboru, ve kterém se nachází velké množství peněz a je zde možnost najít inovativní řešení generující obrovský finanční zisk. V tu dobu si vzpomněl na svou stáž v *Bank of Nova Scotia*, kde našel při procházení dluhů zemí třetího světa potenciál na vlastní zbohatnutí.

Na přelomu tisíciletí měla tato banka uchovány miliardy dolarů v bankovních společnostech v Jižní Americe, které ale na přelomu třetího tisíciletí krachovaly. *Bank of Nova Scotia* byla přinucena část těchto dluhů odepsat a Muskovým úkolem bylo tyto dluhy zanalyzovat a stanovit, jaká je jejich reálná hodnota.

Spojené státy americké se snažily snížit dluhovou zatíženost států třetího světa pomocí tzv. *Bradyho dluhopisů*¹⁷, zejména pak Argentiny a Brazílie. Musk zde spatřil možnost, jak uplatněním finanční arbitráže vydělat miliardy dolarů.

¹⁶ Ralph Lauren (14. 10. 1939, New York, USA) je americký módní návrhář vlastníci stejnojmennou módní společností Ralph Lauren.

¹⁷ Bradyho dluhopisy jsou pojmenovány po bývalém ministru financí USA Nicholasem Bradym. Cenové pohyby Bradyho dluhopisů poskytují přesný údaj o tržním sentimentu vůči rozvojovým zemím. Většina emitentů jsou země Latinské Ameriky.

„Spočítal jsem si cenu dluhu a vycházelo mi to kolem 50 centů na dolar, zatímco skutečný dluh se obchodoval za 25 centů na dolar. Byla to super příležitost, ale zdálo se, že si jí nikdo nevšiml.“ Elon Musk^[24]

Rozhodl se zavolat do globální investiční bankovní společnosti *The Goldman Sachs Group, Inc.*¹⁸ a dotázal se, jaké množství brazilského dluhu by bylo možné koupit za 25 centů. Investičního poradce zajímalo, jakou částku by byl ochoten na koupi vynaložit. Vymyslel částku deset miliard dolarů a investiční poradce mu potvrdil, že lze dluhopisy zakoupit za tuto cenu. Poté telefonický rozhovor Musk ukončil.

„Říkal jsem si, že se asi museli zbláznit, takhle se přeci daly jednoduše zdvojnásobit peníze. Všechno jistil Strýček Sam. Bylo to jasné jako facka.“ Elon Musk^[25]

Musk s tímto poznatkem šel za vedoucím banky a informoval ho o reálné možnosti vydělat miliardy dolarů bez rizika. Dostal za úkol sepsat podrobnou zprávu, kterou následně předal řediteli banky. Zde se utvrdil v názoru, že manažeři bank jsou hloupé ovce, které dělají pouze a jen to, co dělají jiní manažeři. Banka se již na jihoamerickém trhu jednou spálila a nehodlala v této oblasti znovu pokoušet štěstěnu, a to i přes ujištění, že zde není žádné riziko, jak přijít o vložené peníze. Celý obchod jistilo Ministerstvo financí Spojených států amerických a jediná možnost, jak by mohla banka přijít o peníze, by byla, kdyby zbankrotovalo. Bankéři ale dělali jen to, co dělali všichni ostatní.

„Pokud by viděli ostatní skákat z nějakého pitomého útesu, hned by se přidali a skočili by taky. Kdyby byla uprostřed místnosti hromada zlata a nikdo by si z ní nebral, nebrali by si ani oni.“ Elon Musk^[26]

Musk byl v roce 1995 na stáži také v bance *Pinnacle Research Group*, kde poprvé začal uvažovat o možnostech založení banky na internetu. Často se zmiňoval o budoucnosti bankovníctví, které viděl v online prostředí. V tu dobu ale nenašel podporu. Bankovní experti přes nové technologie byli toho názoru, že vytvoření takového systému důvěryhodného pro zákazníky bude běh na dlouhou trať a dosáhnout požadovaného zabezpečení by bylo velice obtížné.

¹⁸The Goldman Sachs Group, Inc. je investiční bankovní společnost zabývající se cennými papíry a investicemi. Sídli v New Yorku, kde byla založena v roce 1869. Mezi její klienty patří korporace, vlády a významní podnikatelé z celého světa.

Obava v důvěryhodnost systému byla oprávněná. Na konci devadesátých let byli lidé ochotni kupovat přes internet maximálně knižní publikace. Ale možnost internetového bankovníctví byla pro naprostou většinu z nich nepředstavitelná a nedůvěryhodná.

Technologie na přelomu tisíciletí umožňovaly vytvořit bankovní online instituci nabízející běžné účty, makléřské služby nebo pojištění. Největším problémem ale byly regulace bankovního sektoru, které chránily nové zákazníky před nekalými manipulacemi s jejich financemi. Pokud by systém měl trhliny vedoucí ke ztrátě financí obyčejných lidí, mělo by to velmi vážné následky.

V březnu roku 1999, měsíc po prodeji *Zip2*, založil Musk startup s názvem *X.com*, do kterého investoval 12 milionů dolarů. Byla to sázka do loterie, která z něj mohla udělat bezdomovce. Naprostá většina internetových milionářů na přelomu tisíciletí prožila jednorázový úspěch a získané finance vkládala do cizích projektů tak, aby jim generovaly peníze bez práce. Muska ale jeho ego hnalo do vlastní společnosti.

X.com měl být revolučním produktem a vystihoval hlavní Muskovu vlastnost – vstup do extrémně komplikovaného oboru, kterému minimálně rozumí, ale není tím znepokojen. Jak dříve řekl, bankéři jsou pouze hloupé ovce bez vlastního názoru. Vše, co dělají, zvládne efektivněji a lépe.

Oficiální založení firmy, ve které se ukázaly Muskovy silné a slabé stránky, jeho tah na branku, kreativita, ale také slabiny ve vedení týmu, proběhlo v listopadu 1999 kvartetem Edward Ho, Harris Fricker, Christopher Payne a Elon Musk. Všichni zakladatelé se shodovali v názoru na nutnost přesunu bankovního sektoru do online prostředí. Po technologické stránce nebyl problém takovýto systém vytvořit. Jedinou překážkou, a to dosti výraznou,



Obrázek 8: Elon Musk a Kimbal Musk.^[103]

byly regulace bankovního systému, které vytvoření bankovního online světa znemožňovaly.

Musk v médiích prezentoval nově vyvíjený systém jako přelomový, ale v prvních měsících společnosti nenastal sebemenší pokrok k naplnění těchto slibů. Muskův optimismus a počáteční neúspěchy stály za Frickovým pokusem o sesazení Muska z pozice šéfa *X.com*

necelých pět měsíců od založení společnosti. Fricker požadoval ředitelské křeslo, jinak ze společnosti odejde a vezme s sebou klíčové zaměstnance, kteří mu pomohou založit novou konkurenční společnost.

„Nemám rád vydírání. Řekl jsem: ‚Tak jdi a udělej to. A on to udělal.‘“ Elon Musk^[27]

Zůstali pouze ti nejuvěrnější a společnost byla na pokraji bankrotu. Přes špatné zkušenosti ze *Zip2* se musel opět obrátit na rizikové investory, tentokrát ze *Sequoia Capital*¹⁹. *X.com* začal opět nabírat nové zaměstnance a po dlouhých měsících vyjednávání získal bankovní licenci a uzavřel partnerství s bankou *Barclays PLC*²⁰.

V listopadu roku 1999 byla vytvořena první online banka s pojištěnými vklady u *FDIC*²¹ s možností výběru třech podílových fondů. Systém byl pro veřejnost spuštěn 26. listopadu 1999 a nabízel pro nové zákazníky dnes již standardní služby, jako je například bezplatná platební karta. Hlavní novinkou pro uživatele ale byla možnost přímé platby fyzické osobě na internetových stránkách *X.com* pouze na základě zadání e-mailu příjemce. Vše proběhlo v reálném čase, bez nutnosti chodit na přepážku banky. To byla podstatná novinka pro běžné uživatele a společnost během několika měsíců získala přes dvě stě tisíc zákazníků.

Netrvalo dlouho a začala se objevovat konkurence. Se svým platebním systémem přišli Max Levchin a Peter Thiel, kteří stáli ve vedení společnosti *Confinity*. Ta cílila na uživatele *PDA*, kterým chtěla nabídnout možnost převodu peněz přes infraport. Začala mediální bitva mezi *X.com* a *Confinity*, která stála obě strany miliony dolarů investovaných do reklam. Slibný rozjezd obou společností přilákal také hackery, kteří připravili obě společnosti o desítky milionů dolarů.

Společnosti *X.com* i *Confinity* si v březnu 2000 uvědomily, že tato mediální bitva vede pouze k finanční destrukci. Rozhodly se ke spojení sil a byla ohlášena fúze obou společností. *Confinity* měla produkt mezi lidmi populárnější, ale vyplácela statisíce dolarů denně jako

¹⁹ Sequoia Capital je americká společnost zaměřující se hlavně na rizikové investice v oblasti technického průmyslu. Společnost byla založena v roce 1972 a v současné době působí ve Spojených státech amerických, Číně, Indii a Izraeli. Od roku 1972 investovala do více jak 250 společností, např.: Apple, Google, YouTube, Instagram, Yahoo! Nebo WhatsApp.

²⁰ Barclays PLC je britská nadnárodní investiční banka se sídlem v Londýně založena v roce 1690. V roce 2018 zaměstnávala téměř 80 tisíc lidí.

²¹ FDIC (Federal Deposit Insurance Corporation) je korporace založena vládou Spojených států amerických v roce 1933 za účelem zajištění pojištění vkladů, které FDIC poskytuje svým členským bankám. FDIC vznikla v důsledkem Velké hospodářské krize.

bonusy pro nové zákazníky a finanční rezerva se rychle tenčila. *X.com* naproti tomu disponoval značnou finanční rezervou a také sofistikovanějšími bankovními produkty.

Fúze byla v květnu roku 2000 úspěšná a znamenala pro novou společnost se staronovým názvem *X.com* sto milionů dolarů od investorů z *Deutsche Bank AG*²² a *Goldman Sach*. Musk se stal největším akcionářem a šéfem společnosti. Netrvalo dlouho a opět se objevily vnitřní konflikty. Největším bodem sváru byl software, který měl být dle *Confinity* na bázi *Linuxu*, v té době symbol něčeho nového a moderního. Naproti tomu Musk preferoval *Microsoft*, který byl ale vnímán jako přežitek a symbol impéria získávajícího stovky milionů dolarů od těžce pracujícího lidu. Dva měsíce po uskutečnění fúze kolabovaly webové stránky pod náporem zákazníků a Musk činil jedno špatné rozhodnutí za druhým. Objevovalo se čím dál více hackerů a konkurence nezahálela.

Neúspěchy vedly k sesazení Muska správní radou z pozice šéfa společnosti a na jeho pozici nastoupil Peter Thiel²³. Pro mnohé zaměstnance to byla zrada, zároveň ale nepovažovali za dobrý nápad vystoupit ze slibně se rozvíjející společnosti. V červnu roku 2001 přišla pro Muska další rána, když se *X.com* přejmenoval na *PayPal*.

Internetová bublina spěla ke svému konci a Musk vycítil, že je čas své akcie ve společnosti prodat. Lidé v té době investovali velké peníze do všeho možného a stačilo pouze vyčkat na správnou nabídku. Ta přišla v červenci roku 2002, kdy *eBay* zaplatila za *PayPal* 1,5 miliardy dolarů. Musk z tohoto obchodu získal 250, resp. 180 milionů dolarů po zdanění.

1.5 SNĚNÍ O MARSU

Po prodeji *PayPalu* se Musk s manželkou přestěhoval do Los Angeles, které bylo od 20. let 20. století považováno za jedno z center leteckého průmyslu, a to zejména díky společností *Lockheed Aircraft*²⁴, *Boeing* či vládní organizaci *NASA*. Musk zpočátku

²² *Deutsche Bank AG* je největší německá banka sídlící ve Frankfurtu nad Mohanem. Byla založena v roce 1870 a v roce 2018 zaměstnávala téměř 98 tisíc zaměstnanců. Banka má pobočky po celém světě, mezi nejdůležitější lokality patří Londýn, New York, Singapur, Hongkong nebo Sydney.

²³ Peter Thiel (11. 10. 1967, Frankfurt, Západní Německo) je americký podnikatel, filantrop a politický aktivista. V současné době financuje prostřednictvím své vlastní nadace neziskové výzkumy v oblasti umělé inteligence a prodloužení života. Jako politický aktivista kritizuje vysoké vládní výdaje, vysokou míru zadluženosti a zahraniční války.

²⁴ *Lockheed Aircraft Company* byla americká letecká společnost založená v roce 1922. Podílela se na výrobě únikového systému pro lodě *Apollo*, stojí za hypersonickými letouny *X-17*, vojenskými raketami, bojovými vrtulníky, nezjistitelným letounem *F-117 Nighthawk* nebo transportním letounem *C-117 Herkules*. Společnost ukončila svoji činnost v roce 1995.

nevěděl, čeho konkrétně chce v kosmonautice dosáhnout, ale byl si vědom toho, že lokalita mu umožní ujasnit si směr a také získat dostatek kvalitních pracovníků. Od mládí ale směřoval svou pozornost k meziplanetárnímu cestování.

Kosmonautika zažila prudký rozvoj v 60. letech 20. století, kdy vrcholil souboj mezi Spojenými státy americkými a Sovětským svazem v dobytí Měsíce. Ústřední osobou byl německý konstruktér Wernher von Braun²⁵, který se do Spojených států amerických dostal v rámci projektu *PaperClip*²⁶. Mohl si tak splnit svůj dětský sen a umožnit lidstvu cestovat k cizím vesmírným tělesům. Pomohl Spojeným státům americkým stanout na Měsíci, v teoretické rovině se zaměřil i na vzdálenější tělesa. V roce 1952 publikoval knihu *The Mars Project*, ve které popisuje technické aspekty kosmických lodí určených ke kolonizaci Marsu. Jeho práce počítala s flotilou deseti kosmických lodí, které by přepravily na „rudou planetu“ až 70 lidí. Počítal také s tankováním na oběžné dráze kolem Marsu za pomoci tankerů a s pravidelným zásobováním nákladem pomocí nákladních lodí. Tato představa počítala s technologickým vývojem, zejména pak s možností vysílat na cizí vesmírná tělesa automatizované robotické mise. Jednalo se o první technickou studii zabývající se cestou na Mars.

Následovaly další studie zabývající se cestou na Mars, ale naprostá většina z nich ztroskotala na nedostatku financí. Jako přelomový ale můžeme považovat projekt z roku 1990 s názvem *Mars Direct* vytvořený Robertem Zubrinem²⁷ a Davidem Bakerem. V roce 1996 byl doplněn o Zubrinovu knihu *The Case for Mars*. Dodnes slouží *Mars Direct* jako propagační materiál NASA pro lety na Mars.

Robert Zubrin založil v roce 1998 neziskovou organizaci *Mars Society*, která se věnuje projektům zaměřeným na výzkum a osídlení Marsu. Musk se s touto organizací setkal poprvé v roce 2001 na benefiční akci pořádanou Zubrinem. Vstup na akci byl možný pouze pozvaným za poplatek 500 dolarů, Musk se o akci dozvěděl a poslal desetkrát více.

²⁵ Wernher Magnus Maximilian Freiherr von Braun (23. 3. 1912 – 16. 6. 1977) byl německý letecký inženýr a významná postava v americkém kosmickém programu. Ve 20. a 30. letech navrhl a vyvinul raketu V-2. Na konci 2. světové války byl převezen do Spojených států amerických a získal americké občanství. Jako hlavní konstruktér stál za vývojem rakety Saturn V.

²⁶ Během operace PaperClip byly na konci 2. světové války tajně převezeny do Spojených států amerických němečtí vědci. Za nejvýznamnějšího vědce převezeného do USA je považován Wernher von Braun, který stál v Německu za vývojem raket V-2 a umožnil Spojeným státům stanout na Měsíci.

²⁷ Robert Zubrin (19. 4. 1952, Lakewood, USA) je americký inženýr, novinář a spisovatel, jehož díla se převážně týkají cest na Mars.

„Poslal nám šek na pět tisíc dolarů. To nás opravdu zaujalo.“ Robert Zubrin^[28]

Okamžitě byl zařazen na seznam VIP hostů, mezi nimiž byl například režisér James Cameron²⁸ nebo vědkyně Carol Stokerová.²⁹ Na konferenci byl Musk zasypáván informacemi o vybudovaném výzkumném středisku v Antarktidě simulující podmínky na Marsu nebo o projektu *Translife Mission*, který předpokládal vyslání kosmické lodě na oběžnou dráhu kolem Země. Ta by rotovala kolem vlastní osy a vytvořila tak podmínky, které by simulovaly třetinovou gravitaci na Marsu oproti Zemi. Na palubě by se nacházely myši, které by byly pravidelně analyzovány.

Záměry *Mars Society* Muska uchvátily a okamžitě vstoupil do organizace. Stal se členem správní rady a investoval sto tisíc dolarů na provoz výzkumné stanice v poušti. *Mars Society* ale byla pouze teoretickou organizací a ani NASA neměla v tu dobu jasný plán, jak se na Mars dostat. Obával se také ztráty zájmu lidstva posouvat hranice nemožného. Jeho obavy se potvrdily při návštěvě webových stránek NASA, když hledal informace týkající se Marsu.

„Napřed jsem si myslel, páni, asi jsem na špatné stránce. Jak to, že tam nebyl žádný plán, žádný harmonogram? Nebylo tam nic. Nemohl jsem tomu uvěřit.“ Elon Musk^[29]

Díky *Mars Society* získal řadu kontaktů v leteckém průmyslu, které mu měly pomoci přijít s nápadem, který by v lidstvu opět probudil bádajícího ducha. V roce 2001 opustil *Mars Society* a založil svou vlastní nadaci *Life to Mars Foundation*. Na první setkání nově vzniklé nadace dorazil James Cameron, který měl dodat punc proslulosti, a Michael Griffin³⁰, odborník přes technologie letů do vesmíru. Výsledkem schůzky bylo vytvoření projektu s pracovním názvem *Oáza na Marsu*, ve kterém by Musk koupil raketu umožňující poslat na „rudou planetu“ robotický skleník. Ten by byl opatřen vybavením pro možnost odebrání povrchové horniny a pěstování rostlin, které by vyprodukovaly kyslík.

Okázalost plánu měla být podtržena videozáznamy z průběhu projektu. Každý by se tak mohl alespoň takovýmto způsobem zapojit do experimentu. Uvažovalo se také o rozeslání

²⁸ James Cameron (16. 8. 1954, Kapuskasing, Ontario, Kanada) je kanadský režisér a scénárista, jenž je autorem filmů jako *Terminátor* (1984), *Rambo II* (1985), *Vetřelci* (1986) nebo *Avatar* (2009). Část jeho filmů se zabývá novými technologiemi a jejich zneužitím.

²⁹ Carol Stokerová je americká vědkyně, která pracuje v NASA a zabývá se výzkumem planet, zejména Marsem.

³⁰ Michael Douglas Griffin (1. 11. 1949, Aberdeen, Maryland, USA) je letecký inženýr, elektroinženýr a stavební inženýr působící v současné době na pozici zástupce ministra obrany pro výzkum a inženýrství. Od 13. dubna 2005 do 20. ledna 2009 působil na pozici ředitele NASA. V roce 2001, kdy Elon Musk zakládal nadaci *Life to Mars Foundation*, pracoval pro Muska jako hlavní kosmický poradce.

souprav se semínky rostlin do škol, kde by studenti mohli pěstovat stejné rostliny, jaké by se pěstovaly na Marsu.

„Znamenalo by to: Ano, na Marsu je život, a my jsme ho tam založili. Doufali jsme, že by mohlo tisícům dětí dojít, že Mars není tak nepřátelské místo. A pak by si třeba řekly, možná bychom se tam měly vydat.“ Dave Bearde^[30]

Problémem celého projektu byla Muskova nízká počáteční investice 20 až 30 milionů dolarů, která by stačila pouze na vypuštění rakety. Reálný odhad ceny celého projektu se dle Beardena pohyboval okolo 200 milionů dolarů. Pokud by se ale podařilo skleník na Mars dopravit, nastal by problém s fyzickým odebráním půdy z povrchu planety. Pakliže by se i toto vyřešilo, jak se vypořádat s toxickým regolitem? Uvažovalo se o využití speciálního výživného gelu pro pěstování rostlin. Panovala ale oprávněná obava, zda by to lidé nebrali jako podvod. Dalším problémem by byl případný neúspěch mise v případě, že by v nehostinném prostředí „rudé planety“ rostliny nepřežily. Celý projekt mohl vyvolat v lidech opačný efekt než původně zamýšlený.

V roce 2001 přenechal Musk vytvoření návrhů skleníků najatým konzultantům a zaměřil se na koupi raketového nosiče. S Ressim, Cantrellem³¹ a Griffinem se vydal do Ruska jednat se zástupci závodu *ISC Kosmotras*³² o koupi rakety *ICMB R-36*³³, také známou jako *SS-18 Satan*. Proběhla tři setkání, která se nesla v tradičním ruském dekóru – hodinová společenská konverzace před zahájením obchodního jednání, dlouhé pauzy na cigaretu a všude přítomná vodka. Jednání byla ze strany Rusů brána spíše jako vtip a nebrali americkou výpravu vůbec vážně.

„Koukali na nás, jako bychom nebyli normální. Jeden z hlavních konstruktérů po nás s Elonem hodil sprostou nadávku, myslel si, že jen kecáme.“ Jim Cantrell^[31]

Když se konečně dostali k jednání, Musk se dotázal na cenu jedné rakety. Rusové požadovali osm milionů dolarů za kus, Musk nabídl osm milionů za dva kusy. Tím celé jednání skončilo.

³¹ Jim Cantrell je americký podnikatel, strojní inženýr a silniční závodník. Je také generálním ředitelem společnosti Vector Launch, Inc., která se zaměřuje na výrobu malých kosmických satelitů. Více jak 15 let byl konzultantem v NASA a byl u založení společnosti SpaceX.

³² ISC Kosmotras je společný projekt Ruska, Ukrajiny a Kazachstánu. V současné době provozuje Kosmotras rakety Dněpr na kosmodromu Baikonur.

³³ R-36 je mezikontinentální balistická střela navržená Sovětským svazem během studené války. V označení NATO nese jméno SS-18 Satan. Ruská federace plánuje nahradit po roce 2020 tento typ raket novou těžkou raketou ICBM RS-28 Sarmat.

Musk si uvědomil, že cílem Rusů je obrat ho o co největší množství peněz. Celá výprava nastoupila do letadla v Moskvě a letěla zpět do Spojených států amerických. Na konci několikahodinového letu Musk prohlásil:

„Myslím, že si tu raketu můžeme postavit sami“. Elon Musk ^[32]

Griffin a Cantrell brali jeho prohlášení pouze jako výkřik do tmy dalšího milionáře, který se chce rychle zbavit veškerého svého jmění. Nebyl by prvním ani posledním, kterého kosmický průmysl zruinoval. Jeho výpočty byly ale neskutečně detailní. Během letu zpracoval analýzu cen jednotlivých součástí potřebných k sestavení rakety a následnému odpálení. Oproti konkurenci chtěl dosáhnout snížení ceny startů menšími rozměry rakety a zaměřit se na komerční trh s malými satelity. Zpracoval také detailní analýzu výkonnosti raket.

Ke všem těmto informacím se Musk dostal několikaměsíčním studiem knih, jako *Rocket Propulsion Elements* nebo *Fundamentals of Astrodynamics*, zabývajícími se aerokosmickým průmyslem. Právě v této době opustil myšlenku skleníku na Marsu a myšl ve vesmíru. Jeho novým cílem bylo umožnit lidstvu zkoumat vesmír za výrazně nižší ceny, než tomu bylo doposud.

To prozatím nechávalo chladné zaběhlé firmy na poli leteckého a kosmického průmyslu. Bylo mnoho snů s miliony na účtech, kteří štedře dotovali vědce pod vidinou inovací v kosmickém průmyslu. Většina těchto milionářů ale vzdala své plány do dvou let a přišla o nemalé finanční částky. U Muska se rovněž předpokládalo selhání a ztráty většiny jeho majetku.

1.6 CESTA SPACE X NA VÝSLUNÍ

V zaprášeném skladišti na East Grand Avenue č. 1310 v El Segundo na předměstí Los Angeles se v polovině roku 2002 zrodila společnost *Space Exploration Technologies*, zkráceně *SpaceX*. Skladiště se zakulacenou střechou připomínající spíše hangár a disponující kancelářskými prostory pro zhruba padesát lidí zažilo v prvních týdnech společnosti razantní proměnu charakterizující dnešní *SpaceX*: lesklý epoxidový nátěr na podlahách a bílé stěny symbolizující pocit optimismu a čistoty. Pracovní stoly s počítači, na kterých pracovali špičkoví vědci a konstruktéři, byly rozmístěny po celé továrně hned u svářečů a mechaniků montujících strojní součásti. To byl diametrálně odlišný způsob řízení

společnosti oproti konkurenci, která vytvářela konstruktérské skupiny tisíce mil daleko od výrobních hal. Ty byly umístěny ve většině případů v lokalitách s nízkou cenou nemovitostí a levnou pracovní silou.

Od počátku si společnost kladla za cíl vyvíjet a vyrábět motory a většinu součástek rakety sama. Zefektivněním a zrychlením výroby raket chtěla *SpaceX* dosáhnout vysoké kadence startů v řádu jednotek měsíčně. Muskovi se nelíbil vývoj v kosmickém průmyslu za posledních padesát let. Zaběhlé společnosti zabývající se výrobou raket stavěly drahé a zbytečně silné nosiče a v důsledku absence konkurence využívající inovativní metody neměly důvod k razantní proměně kosmického průmyslu.

SpaceX pojmenovala svou první raketu po vesmírné lodi *Millennium Falcon*³⁴. Raketa *Falcon 1* měla být schopna vynést na nízkou



Obrázek 9: Raketa Falcon 1. [88]

oběžnou dráhu náklad o hmotnosti 630 kg za cenu přibližně 6,9 milionů dolarů, přičemž konkurence vynášela 250 kg nákladu za 30 milionů dolarů. I nyní se setkáváme s tzv. *Muskovým koeficientem*. Dle jeho smělých předpokladů měl být motor prvního stupně hotový v květnu roku 2003, motor druhého stupně pak v červnu, trup rakety v červenci a v srpnu téhož roku měla být zhotovená první raketa *Falcon 1*. V září by byla vyrobena odpalovací rampa a v listopadu roku 2003, tedy 15 měsíců od založení společnosti, měl letět první *Falcon 1* na oběžnou dráhu kolem Země.

Flexibilitu v kosmonautice prosazovala už nějakou dobu také armáda, které trvala stavba specializovaného satelitu několik let. Chtěla ale mít možnost v případě válečného konfliktu

³⁴ Millennium Falcon je název vesmírné lodi ze sci-fi ságy Star Wars. Můžeme se setkat také s alternativním názvem Malý Sokol. Loď patřila pašerákovi a později hrdinovi odboje Hanu Solovi a jeho wookijskému příteli Chewbaccovi.

vyslat okamžitě menší a levnější satelit softwarově rekonfigurovaný. Jednalo by se v podstatě o satelity na jedno použití.

„Byli bychom schopni v kosmu reagovat stejným způsobem, jako dokážeme reagovat na zemi, na moři a ve vzduchu.“ Pete Worden, specializovaný generál vzdušných sil^[33]

Nebyly to pouze ozbrojené složky, které měly zájem o levné a rychlé lety do vesmíru. Mezi další zájemce patřily farmaceutické společnosti nebo společnosti vyrábějící spotřební zboží, které zajímal vliv stavu beztláče na jejich produkty. Celý koncept levných letů do vesmíru zněl dobře, ale narážel na jeden problém – finance. V období mezi lety 1957 až 1966 vypustily Spojené státy americké více jak 400 raket, z nichž 25 % explodovalo. Většina z nich byly upravené balistické střely. Tyto rakety dnes létají s vysokou spolehlivostí, ale tato spolehlivost byla vykoupena dlouhými roky vývoje metodou *pokus – omyl*. Každá exploze stála daňové poplatníky desítky milionů dolarů. *SpaceX* se z těchto omylů mohla poučit. Měla špičkové experty, kteří získali zkušenosti z firem jako je *Boeing* nebo *TRW*³⁵. Na rozdíl od státních agentur si ale mohla dovolit tři, maximálně čtyři neúspěchy, poté by neměla finance na další start a zkrachovala by.

„V TRW jsem měl k dispozici armádu zaměstnanců a vládní finance. Teď jsme měli vyrobit nízkonákladovou raketu od základu sami, s malým týmem. Lidé prostě nevěřili, že se to dá zvládnout.“ Tom Mueller^{36[34]}

Musk se také poučil ze svých dvou předešlých společností, nad kterými ztratil kontrolu. Jeho investice přes sto milionů dolarů mu poskytla absolutní kontrolu nad *SpaceX* a pro zaměstnance to znamenalo jistotu práce ve střednědobém horizontu. Tato investice také znamenala zvýšení jeho image podnikatele a vizionáře, které využíval při svých jednání s představiteli Spojených států amerických či potenciálními subdodavateli a zákazníky.

Zpočátku se vyjednávání se subdodavateli nevyvíjela dobře. Z důvodu dlouhých dodacích termínů a cen součástí se Musk rozhodl přehodnotit své plány a naprostou většinu komponentů vyrábět raději sám.

³⁵ Společnost TRW Inc. byla americká společnost zabývající se leteckým a automobilovým průmyslem. Založena byla v roce 1901 a za sto let své existence vybudovala řadu kosmických lodí jako Pioneer 1, Pioneer 10, či několik vesmírných observatoří. Podílela se také na vývoji raket Atlas nebo Titan. Společnost zanikla v roce 2002.

³⁶ Více o Tomu Muellerovi v kapitole 1.8.1

„Společnost SpaceX navazuje na tradice předchozích vesmírných programů, od Apolla po X-34 Fastrac, a bude vlastními prostředky vyvíjet od základu celou raketu Falcon, včetně obou motorů, turbočerpadla, kryogenní nádrže a naváděcího systému. Kompletní interní vývoj zvýší náročnost výrobního procesu a nutné investice, ale žádný jiný způsob nezaručí potřebné snížení celkových nákladů na vstup do vesmíru.“ web SpaceX.com^[35]

Musk pro dosažení této vize najal hvězdný tým odborníků, z nichž většina z nich pracuje ve SpaceX doposud. Tyto experty doplnil, a stále doplňuje, mladými ambiciózními inženýry, které dodnes osobně verbuje na katedrách technických univerzit. SpaceX byla první společností, která nabízela mladým studentům možnost podílet se na stavbě raket.

Do inovativní společnosti začali nastupovat lidé z *Boeingu*, *Lockheed Martin* či *Orbital Sciences Corporation*³⁷.

„Byl jsem mrtvým únavou a duševně vyčerpaný. Ale brzy jsem si to zamiloval a totálně jsem SpaceX propadl“. Kevin Brogan, zaměstnanec SpaceX s osobním číslem 23^[36]

1.6.1 TESTOVACÍ STŘEDISKO MCGREGOR, MERLIN A ÚSTŘEDÍ SPACEX V HAWTHORNE

Gwynne Shotwellová, prezidentka SpaceX a pravá ruka Elona Muska, v listopadu roku 2018 v rozhovoru s Mattem Deschem, manažerem ze společnosti *Iridium*³⁸, zhodnotila pracovní tempo, které se ve SpaceX drží od založení společnosti následovně:

„Práce ve SpaceX je náročná a nejde se při ní moc flákat.“ Gwynne Shotwellová ^[37]

„Je důležité nespokojit se s aktuálním úspěchem. Je potřeba si vytyčit další extrémně ambiciózní cíl, o který lze usilovat. Nesmíte se ale soustředit na to, jak obtížný daný cíl je. Je potřeba si ho rozložit na menší kousky.“ Gwynne Shotwellová^[38]

„Nejhorší věc, kterou můžete Elonovi říct je, že něco nejde, protože se to zatím nikomu nepodařilo. Velmi rychle se pak ocitnete v jiném zaměstnání.“ Gwynne Shotwellová^[39]

³⁷ Orbital Science Corporation (OSC) byla společnost založená v roce 1982, která vyvinula systém protiraketové obrany a nosné rakety Minotaur, Pegasus a Taurus. V roce 2015 se společnost spojila s několika divizemi Alliant Techsystems a přejmenovala se na Orbital ATK Inc. Využitím systému Antares a bezpilotní lodi Cygnus zásobuje Mezinárodní vesmírnou stanici. V roce 2018 byla společnost odkoupena společností Northrop Grumman Corporation a přejmenována na Northrop Grumman Innovation Systems.

³⁸ Iridium Communications Inc. je americká společnost založená v roce 2001 provozující satelitní síť Iridium. Jedná se o celosvětovou datovou síť (včetně pokrytí světových oceánů, polárních oblastí a leteckých tras) poskytující hlasové, datové a satelitní služby. V současné době SpaceX vynáší satelity společnosti Iridium Communications Inc. v rámci projektu Iridium Next. Jedná se o druhou generaci satelitů Iridium.

Do jednoho z prvních projektů ve *SpaceX* se pustili Tom Mueller a Timothy Buzza, jejichž cílem bylo vyvinout plynový generátor, který by jim umožnil zkonstruovat nový typ raketového motoru. Vývoj probíhal v Mohavské poušti, která byla v minulosti hojně využívána



Obrázek 10: Gwynne Shotwellová a Matt Desch (2018). [104]

pro testování raket nebo proudových letounů. První test generátoru trval 90 sekund a výsledkem byl mrak usazeného černého kouře nad řídicí věží letiště. Za několik dní už prováděla *SpaceX* několik zážehů za den, což bylo do té doby na letišti nevídané tempo. Stačily dva týdny a generátor byl vyladěn do požadovaného stavu.

Nebyla to pouze Mohavská poušť, kam se *SpaceX* vydávala testovat své produkty. Využívala také Edwardovu leteckou základnu nebo letecké základny v Mississippi. Při těchto cestách narazili lidé ze *SpaceX* na testovací zařízení *McGregor* v Texasu. *SpaceX* tento areál odkoupila od Andrewa Beala³⁹, majitele společnosti *Beal Aerospace*⁴⁰, a výrazně jej rozšířila. V roce 2011 zde pracovalo 110 zaměstnanců, v roce 2017 již 550.

„Když Beal zjistil, že ho výroba rakety schopné vynést na oběžnou dráhu satelit bude stát tři sta milionů dolarů, oznámil, že končí, a zanechal tam pro SpaceX spoustu užitečné infrastruktury včetně devět metrů vysoké betonové trojnožky s nosníky silnými jako sekvojové kmeny.“ Novinář Michael Belfore v knize *Rocketeers* [40]

SpaceX doposud používá areál k testování a vývoje nových technologií. Ke konci roku 2018 zde započala stavba prototypu kosmické lodi *Starship*⁴¹ určené k cestě na Mars. V *McGregoru* probíhají také veškeré výstupní testy všech vyrobených motorů, a to buď samostatně, nebo integrované na prvním či druhém stupni rakety *Falcon*.

³⁹ Daniel Andrew Beal (29. 11. 1952, Lansing, Michigan, USA) je americký bankéř, podnikatel, investor a pokerový hráč. Své bohatství získal v oblasti bankovníctví a nemovitostí.

⁴⁰ *Beal Aerospace* byla společnost založená v roce 1997 Andrewem Bealem. Cílem společnosti bylo vyvinout a provozovat orbitální nosnou raketu. Společnost zanikla v roce 2000 v důsledku prohlášení NASA, která se rozhodla financovat výzkum a vývoj konkurenčních kosmických technologií.

⁴¹ Více o kosmické lodi *Starship* v kapitole 1.7.

Kromě Toma Muellera, který stojí za 3D modely motorů *Merlin* a *Kestrel*, pracoval v McGregoru také třiadvacetiletý absolvent *University of Southern California*⁴² Jeremy Hollman. Své první zkušenosti v kosmickém průmyslu získal u společnosti *Boeing*, kde se zabýval tryskovými letouny, raketami a kosmickými loděmi. Byl to Buzza, který se s Hollmanem znal z *Boeingu*, a půl roku po založení společnosti *SpaceX* ho přetáhl k Muskovi.

Hollman společně s Muellerem měli za úkol rozhodnout, které součástky do motorů *Merlin* a *Kestrel* si je schopna *SpaceX* vyrobit sama a které naopak musí zajistit u subdodavatele. Hollman absolvoval nespočet cest po nejrůznějších dílnách a společnostech po celých Spojených státech amerických, aby zjistil, jaké jsou jejich ceny a dodací lhůty. Velice často se stalo, že se pro určitou firmu nerozhodl právě kvůli jejich dlouhé dodací lhůtě součástek. Objevily se ale i společnosti, které se prezentovaly flexibilitou a pokusily se přizpůsobit své výrobky požadavkům *SpaceX*.

Po dokončení prvního motoru *Merlin* ho Hollman se spolupracovníky naložil na přívěs z půjčovny a vydali se na cestu z Los Angeles do McGregoru. Ve spalujícím horku odstartoval test v týmové spolupráci zaměstnanců *SpaceX*, kteří měli společně s Muellerem a Buzzem otestovat nově vyvinutý raketový motor. Byla otázka,



Obrázek 11: Test motoru Merlin v McGregoru. [105]

zda se malá skupinka techniků pracujících ve firmě s minimálními zkušenostmi v kosmickém průmyslu dokáže vyrovnat zaběhlým společnostem. Test prvního motoru trval deset dní. Následovaly ale testy dalších nově dovezených motorů a zaměstnanci trávili dlouhé měsíce v McGregoru s pracovní dobou dvanáct hodin denně.

Objevil se nespočet úsměvných momentů, kterými si zaměstnanci *SpaceX* zpříjemňovali den. Při testování měli k dispozici webové kamery, které sledovaly průběh testu. Ohlušující

⁴² University of Southern California (česky Univerzita Jižní Kalifornie) je soukromá výzkumná univerzita v Los Angeles založená v roce 1880. Jedná se o nejstarší soukromou univerzitu v Kalifornii. Mezi absolventy USC, jak se univerzitě přezdívá, patří například astronaut Neil Armstrong, herec Clint Eastwood nebo režisér George Lucas.

řev motoru nebyl pro místní obyvatelstvo problém. To samé se ale nedá říci o dobytku z blízké farmy, kterému se testování příliš nezamlouvalo.

„Krávy mají takový přirozený obranný mechanismus – shluknou se a začnou běhat dokola. Kdykoli jsme zažehli motor, krávy se rozprchly a pak vytvořily kruh s telaty uprostřed. Jednu z kamer jsme namířili na ně, abychom je mohli pozorovat, říkali jsme jí kravská kamera.“ Jeremy Hollman^[41]

Po měsících úprav se jim podařilo motory *Merlin* a *Kestrel* vyladit za pomoci komponentů vyrobených v McGregoru na soustruzích nebo pomocí běžně dostupných součástek objednaných na internetu v požadovaném stavu. Zdatnost zaměstnanců se ukázala nejen při konstrukci motorů, ale i v oblasti tvorby softwaru pro řízení motoru, který bylo nutné několikrát týdně přepracovávat.

Musk toleroval nezdary. Co ale netoleroval, byly výmluvy a neschopnost zaměstnanců ho okamžitě informovat o jejich dalších krocích v případě jakéhokoliv problémů. Přesvědčil se o tom samotný Hollman, který vedl mnoho hovorů s Muskem.

„Nejhorší byl hned první telefonát. Něco se pokazilo a Elon se mě zeptal, jak dlouho bude trvat, než zase budeme fungovat. A já nedokázal hned odpovědět. Vyštěkl: ‚Vy to ale musíte vědět. Je to důležité pro celou společnost. Všechno na tom závisí. Jak to, že neumíš odpovědět?‘ A dál mě bombardoval ostrými cílenými dotazy. Myslel jsem, že je důležité mu dát rychle vědět, co se stalo. Ale zjistil jsem, že důležitější je mít připravené všechny informace.“ Jeremy Hollman^[42]

Nezdarů bylo v průběhu vývoje motoru nespočet. Aby *Merlin* dosáhl stavu schopného letu, musel dosáhnout délky hoření 180 sekund. Bylo nutné překonat problémy s vibracemi, špatně zvolenými materiály či dokonce s výbuchy samotných motorů.

Do McGregoru pravidelně cestoval i Musk, aby osobně dohlížel na průběh testování. Často se nebránil ušpinit si ruce. Při jedné z návštěv dovezl několik chladicích komor v hodnotě 75 tisíc dolarů za kus. Podrobil je zkoušce tlaku vody, aby zjistil maximální limity. Dvě komory při testech praskly na stejném místě. Přes zděšení inženýrů, že takto plýtvá financemi, vyzkoušel i třetí komoru, která opět praskla ve stejném místě. Trosky naložil do svého auta a odvezl je do Kalifornie, kde se s několika techniky pokusil opravit komory

speciálním epoxidem. Po otestování komora opět praskla. Musk pověřil techniky, aby našli nové řešení. Takovéto metody *pokus – omyl* byly časté a Musk se jich často účastnil.

„Nebojí se sám si ušpinit ruce. Lehne si na zem v těch svých italských polobotkách a ohozu a všude se zasviní epoxidem.“ Tom Mueller^[43]

Rok od založení *SpaceX* se sídlo firmy v Hawthorne proměnilo na skutečnou továrnu určenou k výrobě raket. Otestované motory z McGregoru se sem dovážely a následně montovaly na první a druhý stupeň raket *Falcon*. Následně oba stupně technici spojili a jeřáby je přemístily na naváděcí koleje, které vedly po celé továrně. Tímto způsobem se raketa přesouvala od jednoho stanoviště k dalšímu.

1.6.2 VÝBUCHY RAKET, ATOL KWAJ A PRVNÍ ÚSPĚŠNÝ START

SpaceX získala v druhé polovině roku 2003 svého prvního zákazníka. Bylo jím Ministerstvo obrany Spojených států amerických, které chtělo vynést na polární oběžnou dráhu satelit *TacSat-1*. Startovat se mělo z Vandenbergovy letecké základny, ze které v minulosti startovaly rakety *Taurus* společnosti *Orbital ATK*. Start se měl uskutečnit počátkem roku 2014 a s blížícím se termínem pracovali zaměstnanci *SpaceX* šest dní v týdnu více jak dvanáct hodin denně. Musk si uvědomoval vysoké pracovní nasazení a pro odreagování povolil nainstalovat zaměstnancům do pracovních počítačů známé střílečky *Counter-Strike* či *Quake III Arena*. Sám se těchto pravidelných herních chvil účastnil a pod přezdívkou *Random9* doslova drtil své zaměstnance.

„Je v těchto hrách neskutečně dobrý, má šíleně rychlé reakce. Znal všechny triky, věděl, jak lidi zastihnout nepřipravené.“ Michael Colonna, zaměstnanec SpaceX^[44]

Termín startu se stále posouval a Musk usoudil, že by bylo vhodné veřejně ukázat, jak všichni zaměstnanci *SpaceX* usilovně pracují na stanovených cílech a vyvolat kolem společnosti rozruch. Stáhl zaměstnance z McGregoru a dal jim nový úkol – vytvořit maketu rakety *Falcon 1* a mobilní odpalovací rampy, celou sestavu naložit na tahač a vydat se na cestu přes celé Spojené státy americké do ředitelství *Federální letecké správy*⁴³ ve Washingtonu. Zaměstnanci nebyli nadšeni z nového úkolu. Skutečná raketa byla stále

⁴³ Federální letecká správa (Federal Aviation Administration, FFA) je agentura ministerstva dopravy Spojených států amerických s pravomocí regulovat a dohlížet na všechny aspekty civilní letecké dopravy nad územím Spojených států amerických. Jejím hlavním cílem je podporovat a rozvíjet leteckou civilní dopravu. Má pravomoc vydávat, pozdržet nebo obnovit pilotní certifikáty. Vytvírá a řídí systém letecké dopravy včetně navigace pro civilní a vojenská letadla.

v procesu výroby a nyní museli ještě navíc vyrobit maketu. Celá akce ale měla pozitivní dopad na *SpaceX*. Pár týdnů po této předváděcí akci uvedl Musk v prohlášení, že *SpaceX* plánuje postavit modernější verzi rakety *Falcon 1* s označením *Falcon 5*. To vše v době, kdy *SpaceX* neměla dosud za sebou ani jeden start.

Číslice 5 v názvu rakety představovala pětici motorů na prvním stupni, což by znamenalo možnost vynést na nízkou oběžnou dráhu náklad o hmotnosti 4 200 kg. Tento krok signalizoval nové Muskovy cíle, a to schopnost vynést náklad k Mezinárodní vesmírné stanici. To by přineslo *SpaceX* kontrakty s NASA a finanční zabezpečení dalšího vývoje raket. Tlak na zaměstnance se tímto ale ještě zvýšil. Stále ale byly najímány do *SpaceX* řady mladých, ale i zkušených inženýrů. Musk hledal také nové subdodavatele, kteří by byli schopni držet tempo se *SpaceX*. Nebyli to pouze subdodavatelé z oblasti leteckého průmyslu. Kreativitě se ve *SpaceX* meze nikdy nekladly. Palivové nádrže tvořící hlavní korpus rakety dodala firma *Spincraft* z Wisconsinu, která vyrábí mlékárenské nádrže.

Musk je známý tím, že v každé jeho společnosti potřebuje mít o všem přehled a zaměstnanci musí pracovat maximálním možným tempem. Často prováděl inspekce u svých subdodavatelů. Nejinak tomu bylo i se společností *Spincraft*, kam se vydal jednoho večera v očekávání, že v sídle firmy bude noční směna pracovat na dokončení palivových nádrží. Když zjistil, že se na nádržích nepracuje a firma je ve skluzu, řediteli společnosti *Spincraft* Davidu Schmitzemu řekl:

„Vy s námi normálně vyjebáváte a to se nám nelíbí.“ Elon Musk ^[45]

„Když Elon nebyl spokojený, dozvěděli jsme se to. Dovedl vám pěkně znepríjemnit život.“

David Schmitze^[46]

Po tomto incidentu se Musk zaměřil na zdokonalení svářečských schopností svých zaměstnanců a *SpaceX* si začala vyrábět své vlastní palivové nádrže. Po zkušenostech s externími dodavateli preferoval vlastní výrobu, která je efektivnější, rychlejší a levnější.

V roce 2004 *SpaceX* potřebovala elektromechanický ovladač pro druhý stupeň, který měl hodnotu 120 tisíc dolarů. Musk prohlásil, že takováto komponenta nemůže být složitější než mechanismus otevírání garážových vrat a stanovil maximální cenu 5 tisíc dolarů. Po devíti měsících jeho tým přišel se součástkou za necelé 4 tisíce dolarů.

Úspora financí se ale v průběhu let vývoje podařila v oblasti avioniky, která je běžně dodávána za cenu deseti milionů dolarů. *SpaceX* v současné době využívá systém, jehož cena je deset tisíc dolarů. Sečteme-li všechny tyto úspory, dostaneme odpověď na otázku, jak je možné, že v roce 2018 byl Musk schopný vynést náklad do vesmíru za 90 milionů dolarů, kdežto společnost *ULA*⁴⁴ není schopna vynést náklad do vesmíru, aniž by se dostala pod částku 380 milionů dolarů.

Na podzim roku 2004 Mueller oznámil, že je s vývojem motoru *Merlin* u konce. To znamenalo pro všechny zaměstnance jediné – zaměřit se na ostatní části rakety. Do té doby byly veškeré pohledy zaměřeny právě na vývoj motoru a mnozí zaměstnanci neměli tušení, co je to být kritickým článkem, kterým byl doposud Mueller. Začaly objevovat problémy s vývojem již zmíněné avioniky, s komunikačním systémem a se softwarem pro řízení rakety. Poslední zmiňovaný problém dal technikům nejvíce zabrat a trvalo více jak šest měsíců, než se podařilo takový software vytvořit.

V květnu roku 2005 byla na Vandenbergovu základnu převezena první raketa *Falcon 1* za účelem testovacího zážehu. Konkurence si v té době začala uvědomovat, co pro ni *SpaceX* může znamenat. Vandenbergova základna, odkud vysílaly do vesmíru své rakety zaběhlé společnosti *Boeing* a *Lockheed Martin*, neviděli rádi *SpaceX* v jejich domovském prostředí. Na možnost startu měl Musk čekat dlouhé měsíce, přičemž mu bylo jasné, že start se díky konkurenci nikdy neuskuteční.

Shotwellová s Koenigsmannem⁴⁵ začali hledat v Mercatorově zobrazení⁴⁶ místa v oblasti rovníku vhodná pro start *Falconu 1*. Shotwellová si všimla ostrova Kwajalein⁴⁷, zkráceně Kwaj, jenž byl dlouhá léta využíván armádou Spojených států amerických pro testování balistických střel, zejména pak v Reaganově období *Star Wars*⁴⁸, kdy armáda testovala

⁴⁴United Launch Alliance (ULA) je soukromá společnost provozující rakety Delta IV a Atlas V.

⁴⁵Více o H. Koenigsmannovi v kapitole 1.8.3

⁴⁶Mercatorovo zobrazení je úhlojevné válcové mapové zobrazení vytvořené v roce 1569 kartografem Gerhardem Mercatorem. Je využíváno zejména v námořních a leteckých navigačních mapách. Základním principem tohoto zobrazení je transformace povrchu koule na válec, který je následně rozvinut. Vznikne pravoúhlá síť poledníků a rovnoběžek, kde jsou jednotlivé poledníky od sebe vzdáleny konstantní vzdáleností, kdežto rozestup rovnoběžek vzrůstá směrem k pólům k nekonečnu.

⁴⁷Atol Kwajalein je součástí Marshallových ostrovů nacházejících se přibližně 3 900 km jihozápadně od Honolulu na Havaji.

⁴⁸Strategická obranná iniciativa, lidově pojmenovaná Star Wars, byla systémem navrženým prezidentem Spojených států amerických Ronaldem Reganem v roce 1983 s cílem vybudovat protiraketovou obranu proti útokům jaderných zbraní cizími mocnostmi, zejména pak Sovětským svazem. Systém nebyl nikdy plně vyvinut, ale posloužil jako základní kámen pro dnešní systémy protiraketové obrany.

kosmické zbraně. Velení základny bylo nakloněno záměrům SpaceX a v červnu roku 2005 začal přesun veškerého vybavení potřebného pro start na ostrov.

Zaměstnanci se dopravovali na ostrov Muskovým soukromým tryskovým letadlem nebo běžnými leteckými linkami přes Havajské ostrovy. Ubytování na ostrově Kwajalein připomínalo spíše kasárny, z nichž se každý den zaměstnanci vypravili motorovým člunem na 45 minut dlouhou cestu na ostrov Omelek. Tento tří hektarový ostrov se měl stát zanedlouho testovacím odpalovacím střediskem. Po nějaké době už někteří zaměstnanci ani nejezdili na ostrov Kwaj a udělali si z kanceláří na ostrově Omelek noclehárnu. Až zde se poprvé setkaly týmy, které pracovaly odděleně na motorech, avionice či jiné části rakety.

„Každá osoba na ostrově byla nějak šílená technická hvězda, pořád se vedly vysoce odborné diskuze o rádiích nebo raketových motorech. Bylo to vzrušující místo.“Walter Smith, technický expert^[47]

Co ale zaměstnancům nešlo na rozum, bylo Muskovo rozhodování, co zafinancuje a co ne. Často se stávalo, že Musk odmítl koupit drahý a potřebný přístroj pro raketu, na druhou stranu mu ale nedělalo problém stejnou finanční částku investovat do nátěru podlah a dalších, relativně zbytečných, věcí. Podobná, v jistém úhlu pohledu úsměvná situace,



Obrázek 12: Raketa Falcon 1 na ostrově Kwaj.^[107]

se stala na ostrově Kwaj, kde byla potřeba vybetonovat dvě stě metrů dlouhá cesta mezi hangárem a startovací rampou pro snadnější transport rakety. Musk tuto finanční položku zamítl, a tak museli zaměstnanci po vzoru Egypťanů pokládat na zem dřevěné fošny, po kterých s raketou popojížděli. Poslední fošnu přenesli dopředu a takto se pohybovali až k místu startu.

Po šesti měsících usilovné práce na ostrově byla SpaceX připravena na první zkušební start. Ten měl proběhnout 26. listopadu 2005 pod osobním dohledem Elona Muska a jeho bratra Kimbala. Armáda poskytla šestihodinové startovní okno, při kterém celá SpaceX doufala v úspěšný start rakety, na které si SpaceX chtěla otestovat výrobní postupy a systémy pro

plánovanou silnější raketu. Předletová kontrola ale objevila problém s ventilem na nádrži s kapalným kyslíkem. Tato chyba způsobila odpaření dvou tisíc litrů paliva za necelou hodinu. Problém se podařilo odstranit, ale ztráta paliva byla natolik velká, že *SpaceX* nestihla uskutečnit start v časovém okně.

Po dodání paliva z Havajských ostrovů byl další start naplánován na druhou polovinu prosince. Ten byl tentokrát přerušen z důvodu nevyhovujících povětrnostních podmínek. Další pokusy překazily vadné kondenzátory, ventily a mnoho závad, které ale malý tým expertů dokázal vyřešit. Jejich flexibilita ale nedokázala vykompenzovat nezkušenost a těžké podmínky na ostrově.

V roce 2006, konkrétně 24. března, byla připravena raketa *Falcon 1* na startovní rampě. První stupeň byl osazen jedním motorem *Merlin 1A*, druhý pak jedním motorem *Kestrel*. Raketa měla za úkol vynést družici *FalconSAT-2* agentury *DARPA*⁴⁹. Start se podařil a půl minuty pracovala



Obrázek 13: První start rakety Falcon 1.^[21]

raketa bezchybně, pak ale nastalo v důsledku úniku paliva selhání motoru prvního stupně. Minutu po startu raketa dopadla na zem a explodovala. Vyšetřování havárie ukázalo, že nehoda byla způsobena zrezlým šroubem umístěným v palivovém systému. Nejprve se vyšetřovatelé nehody přikláněli k variantě, že byl šroub špatně utažen. Později experti z agentury *DARPA* zjistili, že šroub selhal následkem koroze, která se vytvořila na šroubu v důsledku dlouhého pobytu rakety v tropickém prostředí.

„Je potřeba zmínit, že všechny dnes úspěšné kosmické společnosti musely na své cestě snášet kritiku a neúspěchy. Můj přítel mi připomněl statistiku, že pouze pět z prvních devíti startů rakety Pegasus bylo úspěšných, tři z pěti Ariane, devět z dvaceti Atlasu, devět z jedenadvaceti u Sojuzu a devět z osmnácti u Protonu. Nyní, když z vlastní zkušenosti vím, jak těžké je dostat se na oběžnou dráhu, mám velkou úctu k těm, kteří vytrvali a vyrobili

⁴⁹ DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) je agentura Ministerstva obrany Spojených států amerických zodpovědná za vývoj nových vojenských technologií. Jedná se o malou agenturu se zhruba 240 zaměstnanci a ročním rozpočtem 3,2 miliardy dolarů. Agentura se zaměřuje zejména na krátkodobé projekty, které jsou uskutečnitelné v horizontu 2 až 4 let.

nosiče tvořící ústřední pilíře dnešní kosmonautiky. SpaceX již urazila dlouhou cestu a teď se děje, co se děje, my svou práci dokončíme. “ Elon Musk, tiskové prohlášení k nehodě^[48]

Po roce příprav se SpaceX chystala na další start. Dne 15. března 2007 proběhl testovací zážeh, o šest dní později přišel druhý start rakety *Falcon 1*. Tato mise byla stejně jako první zakoupena Ministerstvem obrany Spojených států amerických, konkrétně agenturou *DARPA*. Raketa měla za úkol vynést na oběžnou dráhu kolem Země pouze maketu satelitu. První stupeň pracoval většinu času bezchybně. Při separaci prvního a druhého stupně ale došlo k vzájemnému nárazu. Toto lehké „drknutí“ mělo za následek nárůst harmonických oscilací na druhém stupni. Motor *Kestrel* zhasl zhruba minutu a půl před jeho plánovaným vypnutím. Pro dosažení oběžné dráhy bylo zapotřebí dosáhnout rychlosti $7,5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Druhý stupeň dosáhl rychlosti pouze $5,1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ a následně shořel v atmosféře.

I přes tento nezdar byl let charakterizován jako úspěšný, jelikož šlo o demonstrativní misi, při které bylo otestováno 95 % všech systémů. Zajímavostí je, že SpaceX již v té době začala experimentovat se záchranou prvních stupňů, které měly přistávat pomocí padáků. Při této misi se první stupeň rakety *Falcon 1* pokusil o přistání. Vlivem selhání GPS lokátoru ale dopadl do oceánu.

Hvězdný internetový milionář, playboy a kosmický kovboj v jedné osobě v té době zažíval jednu ránu za druhou. Výsledky jeho nově založené automobilky *Tesla Motors* byly znepokojivé a SpaceX na tom nebyla po dvou neúspěších lépe. Novináři začali rozebírat technické problémy modelu *Tesla Roadster*, přičemž bulvární blog *Valleywag* označil Teslu jako „Propadák č. 1 mezi technologickými společnostmi roku 2007“.

Elon Musk vlastnil na začátku roku 2008 dvě neúspěšné společnosti – *SpaceX* a *Teslu*. Práce sedm dní v týdnu pro něj znamenala stále častější odloučení od jeho pěti dětí. Byl odhodlán veškeré své finance vynaložit na splnění svých dětských snů, což ho stálo manželství. V červnu roku 2008 oznámil rozvod. Bulvární média ihned přispěchala s teoriemi, v nichž se vyskytuje milenka. Obraz Elona Muska, brilantního vizionáře, byl náhle pošramocen. Dnes již bývalá manželka Justin Musková se o životě s Muskem rozepsala na svém blogu.

„Rozvod byl pro mě jako bomba, kterou odpálíte, až když se vyčerpají všechny ostatní možnosti. Ještě jsem nevzdala šanci, že se nějak dohodneme, proto jsem o rozvod nezažádala. Chodili jsme do manželské poradny a měli jsme za sebou teprve tři sezení.

Ale Elon vzal věc do vlastních rukou – vždy má sklony takto věci řešit – a dal mi ultimátum: „Bud' to ještě dnes dáme do pořádku, nebo se s tebou zítra rozvedu.“ Justine Musková^[49]

Ten večer a znovu další den ráno se mě ptal, co chci dělat. Řekla jsem mu rozhodně, že nejsem připravená na nějaký divoký rozvod. Navrhla jsem, abychom spolu oficiálně zůstali ještě alespoň týden. Elon pokývl, pohládl mě po hlavě a odešel. Později dopoledne jsem byla něco nakupovat a zjistila jsem, že mi nefunguje kreditka. Tak jsem si uvědomila, že nečekal a požádal o rozvod. Jako obvykle mi to Elon neřekl přímo. Měl na to lidi, aby to udělali za něj.“ Justine Musková^[50]

Každé takovéto vyjádření bývalé manželky Justine vedlo společně s krizemi v Muskových společnostech ke zhoršování těžce budované image. Bulvární plátky podrobně sledovaly soudní líčení a boj o majetek. Předmanželská smlouva sice existovala, Justine ale tvrdila, že v době, kdy ji podepisovala, neměla čas a možnost zabývat se jejími důsledky. Justine požadovala po Muskovi dům, alimenty, šest milionů dolarů v hotovosti, deset procent Muskova obchodního podílu v *Tesle*, pět procent ve *SpaceX* a vůz *Tesla Roadster*. Problém byl, že veškeré Muskovy peníze byly vázány v *Tesle* a *SpaceX*. Po veřejné bitvě došli manželé k dohodě, která přinesla Justine dva miliony dolarů v hotovosti, osmdesát tisíc dolarů měsíčně po dobu sedmi let na výživném pro děti, dům a vůz *Tesla Roadster*.

V emočně náročném období klesl Musk na samotné dno. Jeho kamarád Bill Lee ho dokázal vymanit z nepříznivé reality výletem do zahraničí. Počátkem července vycestovali do Velké Británie, konkrétně do automobilky *Aston Martin*, ale ředitel společnosti se k Muskovi choval jako k amatérskému staviteli aut. Večer zakončili kamarádi na společenské akci, kde se seznámili s vycházející hereckou hvězdou Talulah Rileyovou, jeho budoucí druhou manželkou.

SpaceX měla finance do konce roku 2008, *Tesla* na tom nebyla o moc lépe. Obě společnosti nutně potřebovaly „finanční injekci“ a nebylo jasné, zda se to v době krize podaří.

„Máme přes tisíc dvě stě rezervací, což znamená, že jsme od našich zákazníků vybrali mnoho desítek milionů dolarů v hotovosti a prakticky všechno jsme utratili. Zatím jsme dodali ani ne padesát vozů. Sám jsem přesvědčil svého dobrého kamaráda, aby složil šedesát tisíc dolarů jako zálohu na Roadster. Nemohu již déle vědomě přihlížet, jak naše firma klame veřejnost a zpronevřuje peníze svých vážených zákazníků. Díky našim

zákazníkům a podpoře veřejnosti je společnost Tesla tak oblíbená. Není správné jim lhát.“

Zaměstnanec Tesly v e-mailu pro blog Valleywag^[51]

Počátkem srpna roku 2008 došlo k třetímu startu rakety *Falcon 1*, která měla za úkol vynést na nízkou oběžnou dráhu kolem Země satelit *Traiblazer* společnosti *SpaceDev*. Dále byly v nákladovém prostoru umístěny nanosatelity *PRESat* a *NanoSail-D*. První stupeň byl nově vybaven motorem *Merlin 1C*, který byl následně použit i u rakety *Falcon 9 v1.0*.

První stupeň fungoval bez problému. Při separaci prvního a druhého stupně ale došlo vlivem dodatečného tahu prvního stupně k nárazu do druhého a explozi rakety. Na vině byl nový motor *Merlin 1C*, který disponoval oproti variantě *Merlin 1A* regenerativním chlazením, jenž motor ochlazuje médiem protékajícím skrze kanálky v trysce. Jako médium se používá palivo, které způsobilo v reakci se zbytkovým množstvím kyslíku dodatečný tah a následný náraz prvního stupně do druhého. Tento problém byl velice rychle vyřešen, stačilo pouze prodloužit čas mezi vypnutím prvního stupně a následnou separací.

Elon Musk, který do *SpaceX* vložil sto milionů dolarů, měl v té době finanční prostředky na poslední start rakety. V případě úspěchu by společnost získala důvěru u *NASA* a dalších potencionálních komerčních zákazníků. V opačném případě by to znamenalo konec společnosti.

NASA nechtěla riskovat další ztrátu satelitu, a proto byla pod aerodynamickým krytem umístěna pouze maketa satelitu s hmotností 165 kg. V září roku 2008 raketa odstartovala a celý let proběhl bez problému. *SpaceX* se stala první soukromou společností, která dosáhla nízké oběžné dráhy.

“Dalo to pořádný kopanec do koulí těm, co říkali pořád, že to nedokážeme. Dostat se na orbitu je obrovský milník. Není mnoho zemí ve světě, které to dokázaly. SpaceX dostalo USA do pozice nejkonzurenceschopnější země ve světě ve vynášení nákladu na oběžnou dráhu. Místo abychom se zabývali drobkou na trhu, chceme na něm získat lví podíl.”

Elon Musk^[52]

1.6.3 KONTRAKT S NASA, VÝVOJ RAKETY FALCON 9 A OVLÁDNUTÍ TRHU

„To, čím si prošel v roce 2008, by kohokoliv položilo. Ale on nejenže to všechno přežil, on pokračoval se stejným zanícením dál. Většina lidí, když se dostane pod silný tlak, tak se rozsype. Dělalí špatná rozhodnutí. Elon se stává hyperracionálním. Je stále schopen činit

velice jasná dlouhodobá rozhodnutí. Čím horší je situace, tím lépe rozhoduje. Každý, kdo ho bezprostředně zažil, jak jedná během krize, musí mít k tomuto muži obrovský respekt.

Nikdy jsem u nikoho neviděl podobnou schopnost zvládat bolest a nepřízeň osudu.“

Antonio Gracias, Muskův přítel a investor Tesla Motors^[53]

Na konci roku 2008 se SpaceX naskytlá velice zajímavá nabídka ze strany NASA. Ta již v roce 2006 oznámila vypsání projektu COTS, ve kterém se zavázala poskytnout soukromým společnostem finance na vývoj technologií potřebných k zásobování Mezinárodní vesmírné stanice. V druhé vlně tohoto projektu pak měly vybrané soukromé společnosti umožnit Spojeným státům americkým opět posílat své astronauty na Mezinárodní vesmírnou stanici. To by pro Američany znamenalo nezávislost na ruských raketách a výraznou finanční úsporu, jelikož dnes jedno místo v raketě Sojuz stojí desítky milionů dolarů.

O kontrakt, který zahrnoval financování vývoje rakety a kosmické lodi, testování a certifikace technologií, se ucházely zaběhlé společnosti kosmického průmyslu jako *Boeing* či *Lockheed Martin*. NASA ale vybrala *SpaceX* a *Rocketplane Kistler*, přičemž druhá společnost byla později nahrazena z důvodu nespokojenosti ze strany NASA společností *Orbital Sciences Corporation*, dnes známé jako *Orbital ATK*⁵⁰.



Obrázek 14: Start mise COTS-1.^[26]

Orbital ATK získala finanční prostředky na vývoj nosné rakety *Antares* a kosmické lodi *Cygnus* ve výši 288 milionů dolarů. *SpaceX* od počátku neplánovala dlouhodobě vyvíjet raketu *Falcon 1* a považovala ji za předskokana konkurenceschopnější rakety, kterou označila *Falcon 9*. Ta měla být vybavena devíti motory *Merlin* na prvním stupni a jedním motorem *Merlin* na stupni druhém.

SpaceX se také rozhodla pro odlišný postup ve vývoji, než je tomu kupříkladu u *NASA* a její rakety *SLS*. Ta je vyvíjena dlouhé roky s cílem vytvořit superraketu se skvělými parametry a vysokou spolehlivostí. Na začátku roku 2019 ale stále není jisté, kdy a zda vůbec tato raketa poletí. *SLS* měla být v budoucnu použita například pro vynesení *teleskopu Jamese Webba*, nástupce *Hubbleova teleskopu*. *NASA* si ale nechala

⁵⁰ Společnost *Orbital Sciences Corporation* vznikla v roce 1982. Sloučením s několika divizemi *Alliant Techsystems* se v roce 2015 přejmenovala na *Orbital ATK*. Aby nedošlo k omylu, že se jedná o dvě různé společnosti, v textu nadále pracujeme s aktuálním názvem společnosti *Orbital ATK*.

vypracovat studii, v níž počítá se záložní variantou v podobě rakety *Falcon Heavy*⁵¹. Ve *SpaceX* se rozhodli postavit jednodušší raketu, tu pak postupným vývojem technologií a získanými zkušenostmi dále zdokonalovat.

V roce 2010 se k nebesům vydal první exemplář rakety *Falcon 9* ve verzi 1.0. První stupeň byl osazen devíti motory *Merlin 1C*, které využíval i *Falcon 1*. Během pěti misí ve verzi 1.0 dokázala *SpaceX* pokořit mnoho milníků. Stala se první soukromou společností, která se svou kosmickou lodí dosáhla nízké oběžné dráhy a bezpečně se vrátila na Zemi. Během třetího letu, mise *COTS-2*, jako první soukromá společnost spojila svoji kosmickou loď *Dragon*⁵² s Mezinárodní vesmírnou stanicí a splnila veškeré podmínky v rámci programu *COTS*. Při posledních dvou letech *Falconu 9 v1.0* se na palubě kosmické lodi *Dragon* nacházely zásoby potravin a vědecké přístroje určené pro astronauty na Mezinárodní vesmírné stanici.

Vývoj rakety ale dále pokračoval. Nejradikálnější změnu lze pozorovat při přechodu z verze 1.0 na verzi 1.1. Došlo k prodloužení rakety o 15 m. Z tohoto razantního prodloužení vyplynula i kompletní změna řídicího systému rakety. První stupeň byl osazen novými motory *Merlin 1D*, které zvýšily celkový tah rakety z 590 kN na 801 kN. Jejich uspořádání, které ve verzi 1.0 bylo do mřížky 3×3, bylo změněno na tzv. *octaweb*. Rozmístění devíti motorů do tvaru pravidelného osmiúhelníku s jedním centrálním motorem, který se mohl natáčet se do požadovaného směru. To je nutné pro řízení prvního stupně při přistávání, se kterým už *SpaceX* v blízké



Obrázek 15: Falcon 9 v1.1 před startem mise CRS-7.^[108]

budoucnosti počítala. Uspořádání motorů také zvýšilo nosnost rakety na nízkou oběžnou dráhu z 6,5 tuny na 13,5 tuny. To už byla zajímavá informace pro telekomunikační společnosti, které potřebují posílat své satelity na geostacionární oběžnou dráhu.

⁵¹ Více o raketě *Falcon Heavy* v kapitole 1.7

⁵² Více o kosmické lodi *Dragon* v kapitole 1.6.4

Z celkového počtu 15 startů rakety *Falcon 9* v1.1 bylo 14 misí úspěšných, pouze jeden let s kosmickou lodí *Dragon* skončil neúspěchem. Při misi *CRS-7* po 139 sekundách praskla vzpěra tlakovací nádoby uvnitř kyslíkové nádrže druhého stupně a uvolněná nádoba pak narazila do její horní části. Uniklé helium způsobilo přetlak, který roztrhal nádrž s kyslíkem, a celá raketa explodovala. Příčinu havárie se podařilo odhalit pomocí 3D modelu vytvořeného z mikrofónů umístěných po celé raketě. *SpaceX* zjistila, že společnost dodávající držáky pro tlakovací nádoby dodala „zmetky“, aby ušetřila peníze za materiál. *SpaceX* otestovala další exempláře zmíněné společnosti a zjistila, že držáky, které měly vydržet 1,4 nominálního namáhání, praskly dokonce před dosažením hodnoty nominálního namáhání. Nehoda znamenala zpoždění letů o šest měsíců.

Na konci roku 2015 mohla *SpaceX* opět létat a představila v rámci mise *Orbcomm-2* raketu *Falcon 9* v1.2. Opět se zvýšila nosnost rakety a prodloužila nádrže na druhém stupni o 10 %. První stupeň zůstal prakticky beze změny. Snížila se teplota paliva, konkrétně okysličovadla z 22 °C na -6 °C, a směsi kapalného kyslíku a leteckého petroleje z -183 °C na -206 °C. Snížení teplot umožnilo při zachování objemu zvýšit množství paliva v prvním stupni o 27 %⁵³. Na druhém stupni zvětšení nádrží přineslo prostor pro 16 tun paliva s okysličovadlem navíc. Tah motoru byl zvýšen o 15 % a celkový výkon rakety stoupl o úctyhodných 30 %. *Falcon 9* ve verzi 1.2 měl na výšku 70 m a ve srovnání s raketou *Sojuz*, která dopravuje astronauty na Mezinárodní vesmírnou stanici, byla o celých 18 m vyšší.

Zajímavý je průměr rakety *Falcon 9*, který má ve všech verzích pouze 3,66 m a v kontextu s výškou celé rakety vypadá



Obrázek 16: Přeprava prvního stupně rakety *Falcon 9*.^[115]

jako úzká tužka. *SpaceX* se pro tento průměr rozhodla z důvodu snazšího transportu rakety napříč Spojenými státy americkými. Jedná se o maximální průměr nákladu, který dovolují americké zákony převážet po silnicích bez speciálního povolení. Vzhledem k tomu, že

⁵³ Snížením teploty vzroste hustota látky. Poté je možné v tomtéž objemu skladovat více hmoty.

SpaceX má sídlo v Kalifornii, testovací středisko v Texasu a startovní rampy na Floridě a v Kalifornii, by bylo zařizování těchto povoleních u příslušných úřadů zdlouhavé.

Verze 1.2 disponovala také roštovými kormidly, která pomáhají při přistávání prvního stupně v hustších vrstvách atmosféry. Kormidla využívají proudící vzduch, takže jsou užitečná pouze v pozdější fázi návratu. Poprvé jsme se s nimi mohli setkat v lednu roku 2015 při



Obrázek 17: První Falcon 9 v1.2 během přípravy mise Orbcomm-2. Na snímku je první stupeň s roštovými kormidly. [110]

misí *CRS-5*⁵⁴. První roštová kormidla byla vyrobena z hliníku, který má nízkou hmotnost. Problémem je ale nízká tepelná odolnost a při náročnějších misích musela být natřena speciálním ablativním nátěrem bránícím roztavení kormidel⁵⁵. Z hlediska znovupoužitelnosti se ale jednalo o nepraktické řešení, protože se nátěr musel aplikovat po každé misi.

Aplikace nové barvy či výměna za nová roštová kormidla byl zdlouhavý proces. Proto se SpaceX rozhodla pro titan, který sice má vyšší hmotnost, ale mnohem vyšší tepelnou odolnost. Poprvé se titanová kormidla objevila při misi *Iridium-2* v červnu roku 2017 a SpaceX již nepočítá s dalším vylepšením dokonale fungujícího systému.



Obrázek 18: Detail nových roštových kormidel. [109]

„Iridium-2 poletí s většími a značně vylepšenými hypersonickými roštovými kormidly. Tvoří je jeden odlitý kus titanu. Dokážou přežít návrat bez tepelné ochrany. Jsou o něco těžší

⁵⁴ Roštová kormidla nejsou vynálezem SpaceX. Využívají je také kosmické lodi Sojuz či bomba MOAB.

⁵⁵ Ablativní nátěr je pasivní ochrana před vysokými teplotami. Při vysokých rychlostech dochází k tavení nátěru a proudící vzduch odnese vznikající teplo.

než ta stará, ale umožňují lepší ovladatelnost, což je důležité pro Falcon Heavy a zároveň to usnadňuje přistání Falconu 9 v silném větru.“ Elon Musk^[54]

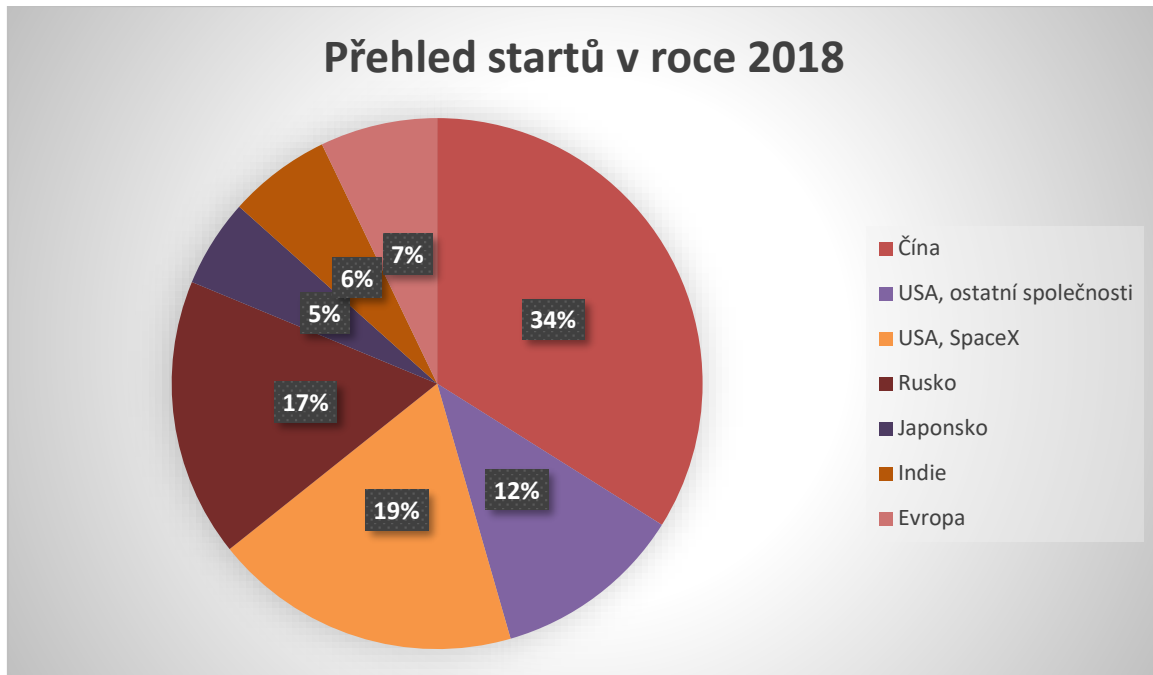
Z řady více jak padesáti startů ve verzi 1.2 během letu neselhal žádná raketa. K nehodě během přípravy ke startu ale došlo 1. září 2016 v rámci mise *Amos-6*. Raketa byla vyvezena na startovací rampu a měl být proveden zkušební třísekundový zážeh. Během tankování paliva došlo k explozi a ke zničení izraelského satelitu, který se nacházel na špici rakety.



Obrázek 19: Destrukce rakety Falcon 9 (mise *Amos-6*).^[116]

Výbuch byl způsoben prasknutím heliové nádoby umístěné v kyslíkové nádrži na druhém stupni. *SpaceX* využívá vysoce podchlazené palivo, což umožňuje pojmout více paliva, než by tomu bylo při vyšších teplotách. V heliové soustavě došlo k úniku a poškození kompozitového ovinutí těchto nádob. Silně podchlazený kyslík, který pronikl do ovinutí, změnil skupenství na pevné a způsobil prasknutí ovinutí. Následoval výbuch druhého stupně a následně ztrátu celé rakety.

SpaceX ke konci roku 2018 zaměstnávala přes sedm tisíc zaměstnanců a v roce 2018 provedla rekordních 21 startů. V tomtéž roce proběhlo na světě 114 orbitálních startů, což je nejvíce od roku 1950. Nejvíce startů provedla Čína, na druhém místě jsou Spojené státy americké, přičemž dvě třetiny startů má na svědomí právě *SpaceX*, která tak předčila i Rusko.



Graf 1: přehled startů do vesmíru v roce 2018.^[90]

1.6.4 KOSMICKÁ LOĎ DRAGON, DRAGON 2 A CREW DRAGON

V roce 2006 vypala NASA program *COTS*, v němž chtěla pomoci vyvinout soukromým kosmickým společnostem technologie pro dopravu nákladu na Mezinárodní vesmírnou stanici. Podmínky programu *SpaceX* splnila v letech 2010 a 2012, když nejprve několikrát s kosmickou lodí *Dragon* obletěla *Zemi* a poté se jako první soukromá kosmická loď spojila s Mezinárodní vesmírnou stanicí.



Obrázek 20: Kosmická loď *Dragon* během mise *CRS-14* při přiletu na ISS. *Dragon* byl již jednou použitý.^[111]

Ještě před dokončením programu *COTS* vypala NASA první fázi programu *CRS* (*Commercial Resupply Services*), ve kterém si od *SpaceX* objednala 12 misí za 1,6 miliardy dolarů. V roce 2015 rozšířila počet misí na 20.

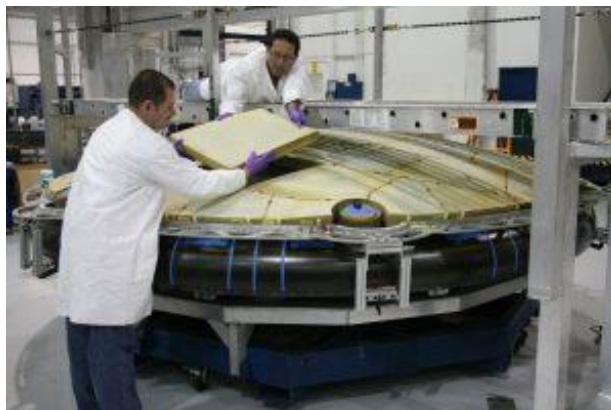
*Dragon*⁵⁶ se skládá z návratové kabiny a tzv. *trunku*⁵⁷, na kterém jsou namontované rozložitelné solární panely. *Trunk* dále obsahuje místo pro náklad, který nepodléhá působení vesmírného vakua. Přepřavoval se v něm například adaptér *IDA* využívaný na Mezinárodní vesmírné stanici k dokování kosmických lodí.



Obrázek 21: Kosmická loď *Dragon* s *trunkem*.^[120]

Návratová kabina o objemu 10 m³ je schopna pojmout 3 310 kg nákladu. Vně lodi je rozmístěno 18 korekčních motorů *Draco* určených k řízení lodi. Při návratu kosmické lodi na Zemi je *trunk* odhozen a společně s odpadem z Mezinárodní vesmírné stanice shoří v atmosféře.

Kosmická loď je chráněna tepelným štítem z materiálu *PICA-X*, který byl vyvinut *SpaceX*. Přesné vlastnosti materiálu, jako je hustota, teplotní vodivost nebo mechanická pevnost, nebyly nikdy uveřejněny. Z dostupných informací ale víme, že *SpaceX* vyvinula materiál, který má nízké pořizovací náklady. Oproti původnímu materiálu



Obrázek 22: Instalace segmentů *PICA-X* 1. generace na tepelný štít lodi *Dragon*.^[94]

*PICA*⁵⁸ vyrábí *SpaceX* tepelné štíty desetkrát levněji. Původní materiál byl také poměrně křehký. *PICA-X* je pružnější a je náchylnější k tvorbě trhlin během procesu výroby a průletu atmosférou. Největší výhodou vlastní výroby materiálu je ale nezávislost

⁵⁶ Můžeme se setkat také s označením *Dragon V1* nebo *Cargo Dragon*, přičemž od prvního zmíněného označení bylo z důvodu spojitosti s nechvalně známou raketou *V1* upuštěno.

⁵⁷ *Trunk* je nehermetizovaná část lodi. Dutý vnitřek je využíván pro přepravu nákladu, který je schopen přečkat podmínky vesmírného vakua. *Trunk* je využíván také k likvidaci odpadu z Mezinárodní vesmírné stanice.

⁵⁸ Materiál *PICA* vyvíjela NASA od roku 1992 a v roce 1998 byl materiál poprvé použit na sondě *Stardust*. Zkratka *PICA* (*Phenolic Impregnated Carbon Ablator*) v českém překladu znamená fenolovými pryskyřicemi sycený uhlíkový ablator. Uhlíková vlákna dodávala společnost *Fiber Material Inc.*, pojídlem byla fenol-formaldehydová pryskyřice *SC1008*.

na subdodavatelích. *SpaceX* má plnou kontrolu nad kvalitou, cenou, termínem dodávek a dalším vývojem.

O bezpečné přistání *Dragonu* do oceánu se stará pětice padáků, dvou výtažných a třech hlavních. Poté je vyzvednut speciální lodí a převezen na pevninu. Výhodou *Dragonu*, oproti ostatním kosmickým lodím zajišťujících zásobování Mezinárodní vesmírné stanice, je znovupoužitelnost, a to zejména díky tepelnému štítu. V červnu 2017 při misi *CRS-7* to bylo poprvé, kdy letěl již jednou použitý exemplář znovu do vesmíru.

Dosud se žádná zásobovací kosmická loď provádějící zásobování Mezinárodní vesmírné stanice nebyla schopna vrátit na Zemi, aniž by neshořela v atmosféře. Je to způsobeno absencí již zmíněného tepelného štítu. *Dragon* tedy jako jediné zásobovací kosmické lodě dopravují náklad z Mezinárodní vesmírné stanice na Zemi. Ten zahrnuje veškeré vědecké experimenty, vzorky krve, moči a slin astronautů či materiály vystavené vlivu kosmického prostředí a mnoho dalších experimentů.

V roce 2011 vyhlásila *NASA* program *CCiCap (Commercial Crew Integrated Capability)*, ve kterém požadovala po vybraných společnostech kompletní řešení přepravy astronautů na Mezinárodní vesmírnou stanici, a to včetně rakety, kosmické lodi, pozemních operací apod. Na kosmickou loď byly kladeny čtyři hlavní požadavky:

1. Schopnost dopravit na Mezinárodní vesmírnou stanici čtyři astronauty, včetně jejich vybavení.
2. V případě nouzové situace zajistit možnost návratu astronautů na Zemi.
3. V případě nouzové situace musí kosmická loď po dobu 24 hodin posloužit jako bezpečné útočiště.
4. Kosmická loď musí být schopna zůstat připojená k Mezinárodní vesmírné stanici minimálně 210 dní⁵⁹.

V červenci 2013 *NASA* vypsala další fázi označovanou *CCtCap (Commercial Crew Transportation Capability)*, která měla dlouhodobější charakter. Program již zahrnoval ostré mise. Opět zvítězila *SpaceX* doplněná o společnost *Boeing*. Pro *SpaceX* to znamenalo

⁵⁹ Dosud byly raketoplány ke stanici připojeny maximálně 12 dní.

potenciální zisk 2,4 miliardy dolarů v závislosti na plnění dílčích milníků, jako test únikového systému, certifikace skafandrů nebo vývoj systému na podporu života.

O necelý rok později od vypsání programu *CCtCap* oznámila NASA druhou fázi programu *CRS*, v němž si objednala u *SpaceX* další zásobovací mise v rozmezí let 2019 až 2024. Tyto dva na první pohled odlišné programy mají jedno společné. *SpaceX* se do nich přihlásila s modernizovanou lodí *Dragon 2*⁶⁰, resp. s nákladní verzí *Dragon 2* a pilotovanou verzí *Crew Dragon*.

Pilotovaná verze dokáže přepravit až sedm astronautů, ale v rámci programu *Commercial Crew* bude přepravovat vždy maximálně čtyři. Nová verze *Dragonu* je od svého předchůdce v mnoha věcech rozdílná. Lod' se už nepřipojuje ke stanici pomocí ramene *Canadarm2*, ale je schopna

automatického dokování. Rozkládací solární panely byly nahrazeny pevně rozmístěnými panely na *trunku*. Přibylo také osm nových raketových motorů *SuperDraco*, které měly původně sloužit k motorickému přistávání na Zemi. *SpaceX* ale od tohoto plánu v roce 2018 upustila a *Dragon 2* přistává pomocí padáků do oceánu.



Obrázek 23: Skafandr v podání SpaceX. V pozadí kosmická loď *Dragon 2*.^[117]



Obrázek 24: Test motorů *SuperDraco*.^[113]

⁶⁰ *Dragon 2* nesla také označení *Dragon V2*, od čehož bylo vzhledem k historickým spojitostem s raketou *V2* upuštěno.



Obrázek 25: Elon Musk, Jim Bridenstine a astronauté uvnitř nástupního ramene před misí DM-1.^[178]

Motorické přistávání mělo výhodu ve velmi přesném přistání kosmické lodi na předem určené místo. Nevýhodou padáků je jejich nulová ovladatelnost. Také by došlo k finančním úsporám, jelikož by se nemusela vypravovat speciální loď, která vyloví návratovou kabinu z oceánu. NASA ale měla pochybnosti, zda výsuvné nohy pod

tepelným štítem v něm nezpůsobí skulinu, kam by se mohl dostat žár při průletu atmosférou. Motory *SuperDraco* se ale osvědčily jako alternativa záchranné věžičky při startu rakety. Jsou schopny na krátkou dobu dosáhnout velkého tahu. Záchranný systém byl testován v roce 2015 a vynesl kosmickou loď do výšky 960 m n. z.

První demonstrační mise *Crew Dragonu* proběhla 2. března 2019, v rámci níž se kosmická loď úspěšně spojila s Mezinárodní vesmírnou stanicí a po pěti dnech se vrátila na Zemi. Jednalo se o demonstrační misi, které se neúčastnila lidská posádka. Druhý demonstrační let je plánovaný na polovinu roku 2019 a *SpaceX* se tak může stát první soukromou společností, která dopraví člověka na Mezinárodní vesmírnou stanici. Pokud nedojde k nějaké neočekávané situaci, bude *Dragon* ve čtvrtém čtvrtletí 2019 certifikován NASA a započnou ostré mise.

SpaceX na dálku soutěží s *Boeingem*, který bude dopravovat astronauty na stanici v kosmické lodi *Starline*. Odměnou pro vítěze tohoto závodu bude mimo jiné vlaječka zanechaná posledním raketoplánem na stanici. V březnu roku 2019, kdy *SpaceX* uskutečnila první demonstrační misi, se *Boeing* dostal v důsledku technických problémů s kosmickou lodí do velké časové ztráty. Pokud



Obrázek 26: Astronauti, kteří poletí jako první v kosmické lodi Crew Dragon. Zleva: Mike Hopkins, Doug Hurley, Bob Behnken a Victor Glover.^[119]

nedojde k nějaké nečekané události, *Boeing* už by neměl *SpaceX* v zisku prvenství předstihnout.

1.6.5 ZNOVUPOUŽITELNOST, GRASSHOPPER A ZÁCHRANA PRVNÍCH STUPŇŮ

Představme si, že bychom letěli na dovolenou na Floridu letounem *Boeing 747*. Palivo do letounu stojí minimum v porovnání s cenou celého stroje. *Boeing 747* má hodnotu přibližně 270 milionů dolarů, ale letecká doprava je dostupná pro široké spektrum obyvatelstva. Je to dáno tím, že cena letounu je rozpočítaná mezi desítky tisíc letů a je nutné pouze doplňovat palivo a provádět pravidelné kontroly, které jsou ale v porovnání s cenou stroje zanedbatelné⁶¹. Pokud bychom měli každé letadlo odepisovat po každém uskutečněném letu, letecká doprava by prakticky neexistovala.

Stejně je tomu tak i u raket. Natankování jednoho *Falconu 9* stojí přibližně dvě stě tisíc dolarů. Při vynášení družic v hodnotě desítek milionů dolarů je to zanedbatelná položka. Co už ale nelze zanedbat je cena motorů *Merlin*, která se pohybuje okolo 2 milionů dolarů za kus. *Falcon 9* má na prvním stupni motorů devět, to znamená ztrátu 18 milionů dolarů při každém startu, při kterém je první stupeň zahozen do oceánu. Pokud by se podařilo první stupeň zachránit, bylo by možné po dotankování a předletové kontrole první stupeň opět využít.

Na tyto kontroly doplatily raketoplány provozované *NASA*. Ty se na Zemi vracely orbitální rychlostí a potřebovaly drahý keramický tepelný štít. To u prvních stupňů vzhledem k maximální dosažené výšce nenastává a cena kontroly a případných oprav se výrazně snižuje. Aby *SpaceX* mohla zachraňovat první stupně, musela se naučit motoricky přistávat se 45 m vysokým válcem představující první stupeň.

Výhodou prvního stupně při návratu na Zemi je minimum paliva obsaženého v nádržích. Své těžiště má v oblasti motorů a dobře se stabilizuje. V počátcích testování využívala *SpaceX* v texaském McGregoru zařízení s označením *Grasshopper*.



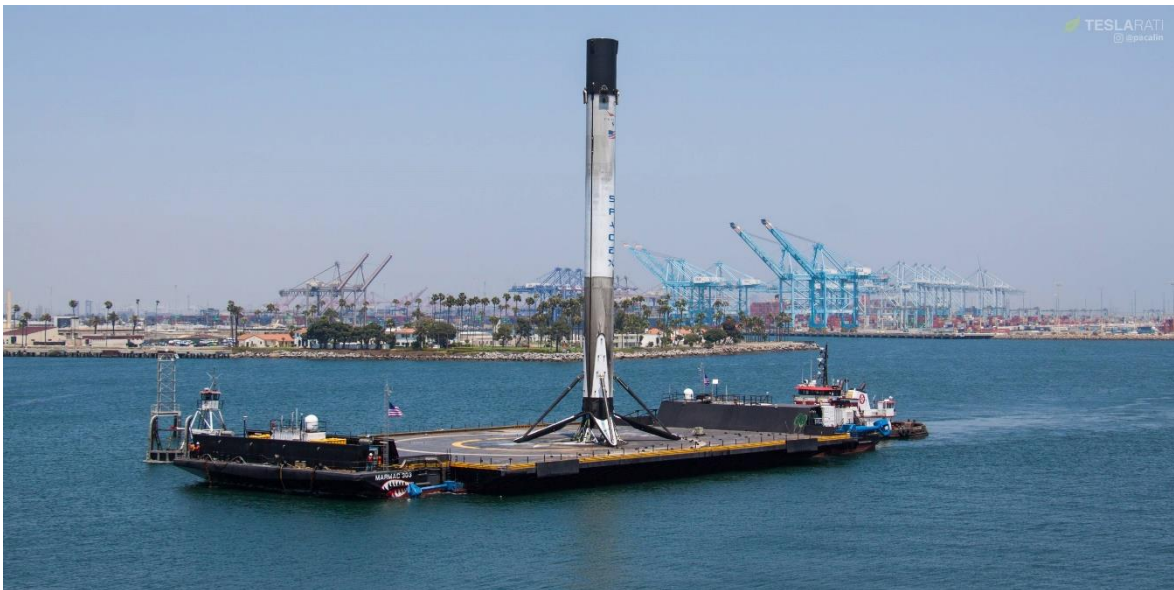
Obrázek 27: Grasshopper při testování v McGregoru. [118]

⁶¹ Z dlouhodobějšího hlediska je provádění kontrol letadel finančně náročné, nicméně stále se jedná o nejekonomičtější řešení v letecké dopravě.

Postupně od jednoduchých poskočeních do výšky 2 m během pár měsíců přešla do výšek až 1 km.

Vylepšený *Grasshopper* s označením *Grasshopper 2* už disponoval roštovými kormidly a prakticky kopíroval první stupeň *Falconu 9*. V roce 2014 ale nastal problém s navigačním systémem a *Grasshopper 2* se začal odchylovat od předepsané dráhy a byl na dálku zničen. To už ale *SpaceX* měla dostatek zkušeností, aby mohla začít s přistáváním na hladině oceánu a následně na přistávacích plošinách.

Při přistávání do moře se nepočítalo se záchranou prvního stupně. Byly vybrány souřadnice místa, kde měl první stupeň dosednout. Postupem času se ukázalo, že *SpaceX* je schopna s velkou přesností trefit dané souřadnice. Vznikly dvě přistávací mořské plošiny s velice dlouhými názvy převzatými ze jmen kosmických lodí od jakéhosi britského spisovatele: *Just Read the Instructions (JRTI)* sloužící na západním pobřeží a *Of Course I Still Love You (OCISLY)* sloužící na východním pobřeží.



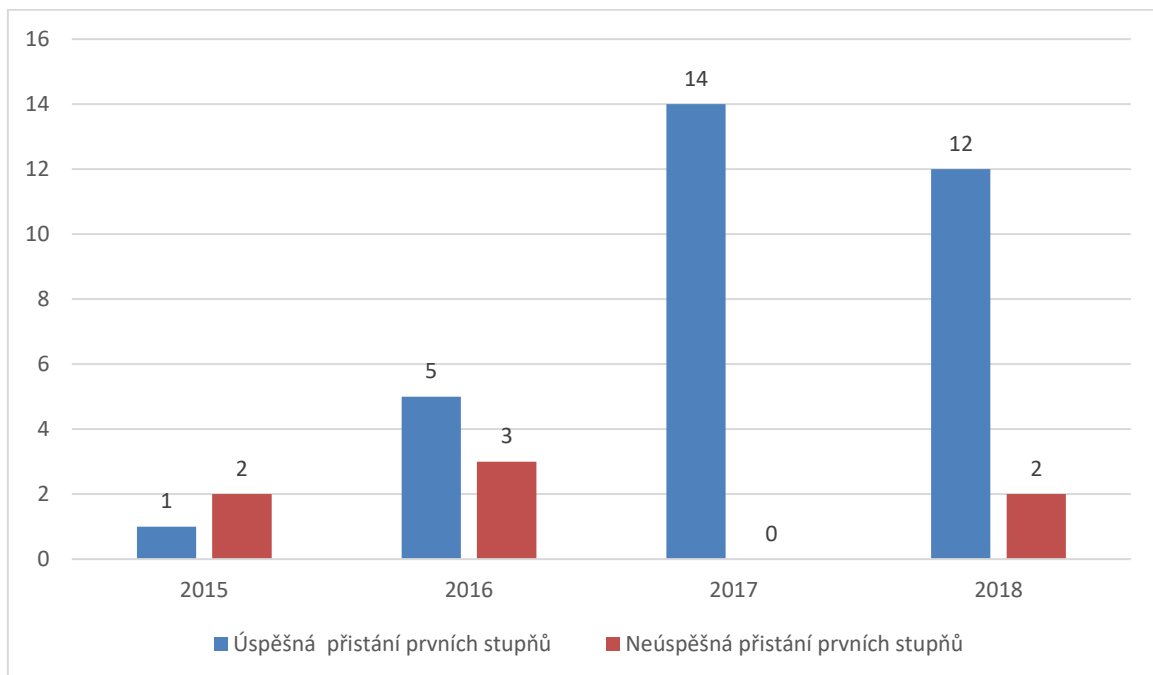
Obrázek 28: Příjezd prvního stupně do přístavu během mise Iridium-7.^[112]

Plošiny, obecně označované jako *ASDS (Autonomous spaceport drone ship)*, jsou upravené pontony běžně využívané pro přepravu těžkých a rozměrných nákladů. Běžně nejsou vybaveny vlastním motorem a jsou závislé na tažné lodi, *SpaceX* ale svým plošinám namontovala čtyři směrovatelné motory, které jsou schopny udržet polohu pontonu i za velmi nepříznivého počasí. To je důležité vzhledem k přistávání prvních stupňů, jelikož raketa a ponton spolu nekomunikují. Oba mají pouze stejné souřadnice, kde se mají

nacházet v určitém čase. Po přistání je první stupeň zajištěn a plošina je odtáhnuta vlečnou lodí do přístavu, kde pak jeřáby vyloví z pontonu zachráněný první stupeň.

Poprvé se *SpaceX* pokusila přistát na plošině *JRTI-1* v rámci mise *CRS-5* v lednu roku 2015, ale z důvodu ztráty hydraulické kapaliny v systému roštových kormidel se stal první stupeň minutu před přistáním neovladatelný a dopadl na plošinu. O čtyři měsíce později při misi *CRS-6* první stupeň přistál na plošině *JRTI-1*, ale vlivem vysoké boční rychlosti se převrátil a explodoval. Musk později uvedl, že byl zanesen palivový ventil a systémy nemohly reagovat dostatečně rychle.

První úspěšné přistání přišlo v prosinci roku 2015 v rámci mise *Orbcomm*, kdy první stupeň dosedl na přistávací plošinu *LZ-1*. Jednalo se o první přistání na pevnině. Po dalších dvou neúspěšných přistáních na mořské plošině v lednu a březnu roku 2016 se podařilo 8. dubna 2016 přistát na plošině *OCISLY*. Statistiku úspěchů a neúspěchů přistávání prvních stupňů můžeme vidět na následujícím grafu. Konkrétně rok 2017 byl pro *SpaceX* přelomový, když se podařilo zachránit všechny první stupně.



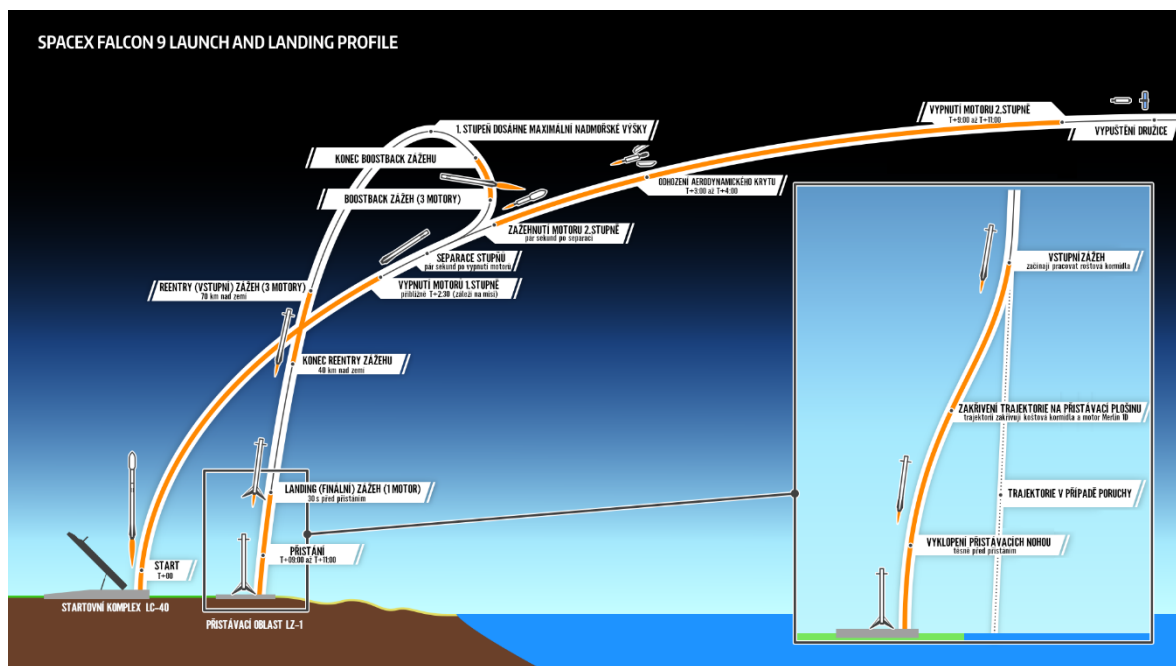
Graf 2: Statistika úspěšných a neúspěšných přistání prvních stupňů rakety Falcon 9.^[Autor]

Jak bylo zmíněno, jeden motor *Merlin* má hodnotu přibližně 2 milionů dolarů. Na prvním stupni je motorů devět a v případě ztráty prvního stupně *SpaceX* přichází jenom na motorech o 18 milionů dolarů. Za poslední dva roky zachránila 26 prvních stupňů, což je

208 motorů, které nejsou pohřbeny pod hladinou oceánu. *SpaceX* tak jen na motorech ušetřila více jak 450 milionů dolarů.

1.6.6 LETOVÝ PROFIL PRVNÍHO STUPNĚ

První stupně přistávají na plovoucí plošinu *ASDS* nebo na pevninskou přistávací plošinu označovanou jako *Landing Zone (LZ)*. Pokud raketa vynáší relativně lehký náklad, má první stupeň dostatek paliva pro návrat na pevninu, což je pro *SpaceX* ekonomicky a logisticky výhodné. Ve většině případů ale paliva dostatek není, a tak se musí přistávat na plovoucí plošině v oceánu.



Obrázek 29: Profil letu a přistání během mise rakety Falcon 9.^[121]

Raketa zažehne svých devět motorů *Merlin* a stoupá k obloze⁶². Po přibližně 150 sekundách letu dojde k vypnutí motorů a celá sestava setrvačností stoupá k obloze. Pár sekund po vypnutí motorů prvního stupně dojde k separaci stupňů a následnému zažehnutí motoru druhého stupně. Ten pokračuje v letu a po odhození aerodynamického krytu, který chrání náklad v hustých vrstvách atmosféry, hoří přibližně devět minut. Následuje vypnutí motoru druhého stupně a vypuštění družice na vynášenou dráhu.

Vraťme se ale k prvnímu stupni, jehož záchrana je sekundárním cílem drtivé většiny misí *SpaceX*. Po separaci stupňů se první stupeň použitím korekčních trysek otočí proti směru letu. Poté je na řadě tzv. *boostback* zážeh, při němž trojice motorů *Merlin* sníží *dopřednou*

⁶² Oranžově zvýrazněná část trajektorie představuje místa, kde má raketa Falcon 9 zapnuté motory.

rychlost. Tím se sníží vzdálenost prvního stupně od pobřeží, aby nemusela být vysílána plavoucí plošina do větší než nutné vzdálenosti. V případě přistání na pevnině je tento zážeh delší, než je tomu tak u přistání na moři. K tomuto zážehu nemusí vždy dojít. Pokud raketa vynáší těžký náklad nebo na vyšší oběžné dráhy, nezbyde jí na tento manévr palivo.

Následuje *reentry* zážeh, který musí proběhnout vždy bez ohledu na to, zda se přistává na pevnině či na moři. První stupeň vstupuje do hustších vrstev atmosféry a je důležité snížit jeho rychlost, aby celá konstrukce nebyla příliš namáhána. Tento zážeh také chrání motory před proudem vzduchu, který by se mohl dostat do oblasti trysek. Vysoká teplota vytvoří okolo motorů plazmatický obal chránící motorovou sekci.

Finální zážeh začne 30 sekund před přistáním. První stupeň se již nachází v hustých vrstvách atmosféry a roštová kormidla začínají pracovat v součinnosti s centrálním motorem. Společně upraví trajektorii nad plošinu. Těsně před přistáním jsou vyklopeny přistávací nohy a první stupeň dosedá na určené místo. V případě signalizace jakékoliv poruchy na prvním stupni, který by znemožňovala bezpečné přistání, je automaticky naveden do moře, aby nepoškodil přistávací plošinu. Tento profil letu je nezávislý na tom, zda se přistává na pevnině nebo na moři. Vždy záleží na množství paliva, které má první stupeň k dispozici.



Obrázek 30: První stupeň Falconu 9 při pokusu o přistání na plovoucí plošině během mise CRS-6.^[114]

1.7 BUDOUCNOST SPAXEX – FALCON HEAVY, STARSHIP A CESTA NA MARS

V roce 1969 startovala z floridské startovací rampy LC-39A raketa *Saturn V*, která dopravila první lidi na cizí vesmírné těleso. O několik let později startovaly z téže rampy raketoplány, které ale dokázaly dopravit člověka pouze na nízkou oběžnou dráhu. V roce 2011 program raketoplánů skončil a Spojené státy americké od té doby nejsou schopné dopravit člověka do vesmíru⁶³. Zničehonic se objevil milionář, který si usmyslel, že udělá ze Spojených států amerických opět raketovou velmoc a zasadí se o to, aby další lidé vstoupili na povrch cizího vesmírného tělesa. Pokud není schopna s tímto stavem něco udělat vláda, bude muset zasáhnout soukromý sektor.

Raketa *Saturn V*, dodnes nejvyšší, nejsilnější a nejtěžší raketa na světě, byla pro let na Měsíc předimenzovaná. Její konstruktér, Wernher von Braun, ji stavěl s cílem, že by se jednou mohla vydat k Marsu. Otěže v roce 2002 převzala společnost *SpaceX*, která si v roce 2014 na dvacet let pronajala historickou plošinu LC-39A, z níž budou dopravováni američtí astronauté na Mezinárodní vesmírnou stanici. V současné době z ní startují rakety *Falcon 9* a v únoru roku 2018 odsud startovala první raketa *Falcon Heavy*.

„Lidé mohou žít na jiných planetách, je to jen technický problém.“ Elon Musk^[55]

Znovu použít již jednou použitý první stupeň se podařilo v roce 2017 při misi *SES-10*. To byl zásadní okamžik v dlouhé cestě na „rudou planetu“. Pokud se člověk naučí přistávat na Zemi, zvládne totéž i na jiné planetě.



Obrázek 31: Falcon Heavy na rampě LC-39A v prosince 2017.^[141]

„Kdyby se kdysi dávno nedaly používat dřevěné lodě znovu a znovu, neexistovaly by ani Spojené státy. Ale řešení je velice složité, protože do atmosféry Marsu vletíte neuvěřitelnou rychlostí.“ Elon Musk^[56]

Pojďme se ještě podívat, co vynášel *Falcon Heavy* v rámci své první demonstrativní mise. Při testování nových raket se většinou vynáší kus betonu, což je ale dle Muska strašně

⁶³ V březnu 2019 uskutečnila SpaceX demonstrační misi Crew Dragon DM-1. V červnu 2019 je plánovaná další mise na Mezinárodní vesmírnou stanici, při níž budou na stanici dopraveni dva astronauti.

nudné. Položil si otázku, jakou nejzajímavější věc by mohl poslat na oběžnou dráhu kolem Marsu.

„Všem přišlo jako nejlepší věc auto. Proto dali (zaměstnanci) do kufru a přihrádky spolujezdce nejrůznější zajímavé věci. Chceme tam dát například velký nápis ‚DON‘T PANIC‘ ze Stopařova průvodce Galaxií.“ Elon Musk^[57]

Ke startu došlo po několikaměsíčních odkladech 6. února 2018. Musk, který odhadoval šance rakety na úspěch „padesát na padesát“, se účastnil startu se všemi svými dětmi v řídicím centru.

„Vidíte to kluci, to auto ve vesmíru. V tom autě jste seděli. Já jsem vás v něm vozil. To je fakt úlet.“ Elon Musk^[58]

Vše proběhlo úspěšně a Musk ukázal světu, čeho je lidská civilizace vlastně schopná. Dokonce se mu podařilo s bočními stupni přistát na pevninských plošinách LZ-1 a LZ-2. Malou kaňkou na jinak dokonalém letu byla ztráta centrálního stupně, kterému se nepodařilo přistát na plovoucí plošině.

Z úspěšného startu ale jistojistě nebyla nadšena konkurence SpaceX, která se dlouhá desetiletí drží stále stejného osvědčeného scénáře. Tento start ukázal, že SpaceX disponuje silnější a levnější raketou než kdokoliv jiný.



Obrázek 32: Tesla Roadster a skafandr SpaceX během uzavírání do krytu.^[141]

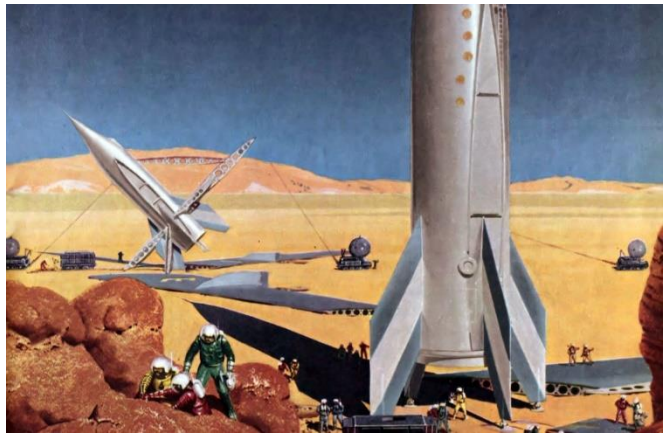
„Jsme v podstatě schopni nabídnout kapacitu, která skoro dosahuje kategorie „super heavy lift“ (= nosnost nad 50 tun na nízkou oběžnou dráhu), a to za cenu jen o něco málo převyšující Falcon 9. Pokud bude start úspěšný, ostatní těžké nosiče nebudou mít šanci. Falcon Heavy bude mít dvakrát vyšší nosnost než evropské, čínské nebo ruské rakety, ale zároveň bude stát o polovinu méně.“ Elon Musk^[59]

Život nelze stavět pouze na řešení problémů, které nás štvou. Je potřeba se ráno probudit a těšit se na to, co přinese budoucnost. Tu nastínil Falcon Heavy. SpaceX v současné době

usilovně pracuje na nové kosmické lodi *Starship*⁶⁴, která by měla umožnit člověku stanout na „rudé planetě“.

Vraťme se do 50 let 20. století, do doby Wernhera von Brauna a programu *Apollo*. Braun v roce 1952 publikoval knihu s názvem *The Mars Project*, ve které se zabývá technickými aspekty cesty na Mars. V jeho představách by se na „rudou planetu“ vydala flotila deseti kosmických lodí doprovázených tankery na oběžnou dráhu kolem Marsu. V té době ale technologie nedovolovala takovýto projekt uskutečnit. Publikace však měla vliv na budoucí plánování takovýchto misí.

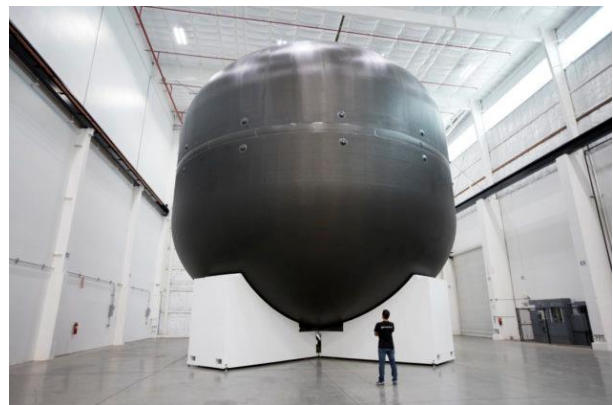
Po vzoru Wernhera von Brauna bylo v dalších letech vytvořeno nespočetně projektů zaměřujících se na výzkum Marsu. Všechny ale ztroskotaly na nedostatku finanční podpory. Změna nastala v roce 1990, kdy spatřil světlo světa projekt *Mars Direct* od Roberta Zubrina a Davida Bacea. Jejich cílem bylo ukázat



Obrázek 33: Takto si základnu na Marsu představoval Wernher von Braun.^[2]

nejvýznamnější technické a ekonomické aspekty plynoucí z výzkumu Marsu. NASA dodnes používá tuto studii jako hlavní propagační materiál pro lety na Mars⁶⁵.

První zmínka o nové superraketě *SpaceX* se objevila na konferenci *Innovations in Orbit: An Exploration of Commercial Crew and Cargo Transportation*, kde *SpaceX* v prezentaci představila motor *Raptor*, jenž by měl přispět ke kolonizaci Marsu. To bylo na dva roky vše, co se o novém motoru vědělo. Detaily



Obrázek 34: Elon Musk a kompozitová nádrž pro ITS.^[140]

⁶⁴ Elon Musk je znám tím, že velice často mění názvy svých projektů a kosmických lodí. Během vývoje rakety schopné dopravit člověka na Mars jsme byli seznámeni s názvy Interplanetary Transport System (ITS), Big Falcon Rocket (BFR) a ke konci roku 2018 byla představena kosmická loď StarShip s označením nosiče Super Heavy Starship.

⁶⁵ Více o setkání Elona Muska s Robertem Zubrinem v kapitole 1.5.

začaly pronikat na veřejnost až v roce 2010, kdy *SpaceX* zveřejnila technické údaje nově vyvíjeného motoru⁶⁶. Ke konci roku 2012 Musk oznámil, že *Raptor* bude poháněn metanem, tedy palivem nejvhodnějším pro kolonizaci Marsu⁶⁷. Stal se také technicky náročnějším a přetransformoval se z motoru s otevřeným cyklem na motor s uzavřeným cyklem.

Tvrdá rána přišla pro *SpaceX* v roce 2015, kdy při misi *CRS-7* došlo k explozi rakety *Falcon 9* a práce na marsovské raketě byly pozastaveny do doby, než bude *SpaceX* opět létat do vesmíru. Po sérii dalších úprav technických parametrů motoru *SpaceX* oznámila v roce 2015 svou představu o základně na Marsu. Energetický zdroj by zajistily solární panely a thoriové reaktory, které by byly výhodné díky vysokému výskytu thoria na Marsu.

Do konce roku 2018 proběhla řada konferencí, na nichž byly představeny změny v celém projektu. Revolučním se ale stal závěr roku 2018, kdy byla představena kosmická loď *Starship* s plánovanou megaraketou *Super Heavy Starship*. Překvapující byla informace, že místo uhlíkových kompozitů, které jsou náročné na výrobu a mají nízkou tepelnou odolnost, se plánuje použít nerezovou ocel.



Obrázek 35: Kosmická loď Starship a superraketa Super Heavy. ^[135]

Výroba prvního *Super Heavy* se plánuje na rok 2019. Souběžně s vývojem a testováním bude v roce 2019 připravována startovní rampa v Texasu. Kosmická loď na konci roku 2018 rovněž dostala reálné obrysy. Její testovací verze, obdoba *Grasshopperu*, je ve

vysokém tempu stavěna v Texasu pod širým nebem. *SpaceX* dle tempa, které nasadila, s vývojem rakety pospíchá. Důvodem je nejspíše konstelace *Starlink*, která má poskytnout internet po celém světě do roku 2025.

SpaceX nasadila obdivuhodné tempo a již nyní předčila svoji konkurenci. Je spíše k zamyšlení, zda konkurenci stále ještě má.

⁶⁶ Tah motoru měl dosahovat 667 kN při specifickém impulsu 470,1 s.

⁶⁷ Metan je možné vyrobit na Marsu. Je tedy vhodný pro kolonizaci této planety. Metan také nezpůsobuje křehnutí kovů. Spekulovalo se i o použití vodíku, ten má ale menší energetickou hodnotu.

Elon Musk již nepočítá s dalším vývojem rakety *Falcon 9* a může se tak naplno věnovat cestě na Mars. V roce 2019 bychom se měli dočkat prvních zkušebních skoků kosmické lodi *Starship* a minimálně dvou startů rakety *Falcon Heavy*. *SpaceX* ale často své příznivce svými plány překvapí. Zůstává tedy otázkou, co ve skutečnosti rok 2019 přinese.



Obrázek 36: Vrchní část prototypu lodi Starship. ^[135]

„Někteří lidé nemají rádi změnu, ale Vy potřebujete změnu přijmout, jelikož její opak je katastrofou.“ Elon Musk^[60]

„Pokud chcete vypěstovat gigantickou sekvoji, musíte se postarat o to, aby semínka byla v pořádku, pečovat o malý stromek a odstranit vše, co by mu mohlo zabránit v růstu.

Pokud se něco pokazí v kterékoli z těchto fází, růst se zastaví.“ Elon Musk^[61]

„Jsem stále optimistický, ale zachovávám si smysl pro realitu. Neočekával jsem od Tesla či SpaceX velký úspěch. Zkrátka mi jen přišlo, že to byly dostatečně důležité věci na to, abych je realizoval.“ Elon Musk^[62]

1.8 DŮLEŽITÍ LIDÉ VE SPACEX

Když se řekne *SpaceX*, okamžitě si tuto společnost spojíme s osobou Elona Muska. Jedná se z pochopitelných důvodů o nejnápadnější postavu společnosti, ve které ale pracuje řada lidí, bez kterých by *SpaceX* nebyla tam, kde je nyní.

1.8.1 THOMAS MUELLER

Thomas Mueller se narodil ve městě Saint Maries ležícím na severozápadě Spojených států amerických do dělnické rodiny. Od mládí se ale výrazně odlišoval od ostatních vrstevníků. Rád četl technické publikace a uchvátil ho sci-fi seriál *Star Trek*. V deseti letech byl schopen opravit sekačku nebo hodinky.

„Viděli jste někdy film Říjnové nebe? Je o raketovém vědci NASA, Homeru Hickhamovi, který vyrůstal v Západní Virginii a jeho táta byl horníkem. V podstatě, pokud zaměníte horníka za lesníka, je to příběh mého života.“ Thomas Mueller^[63]

V jedenácti letech se začal zabývat stavbou raket populární stavebnice *Estes*, o rok později už si vyráběl vlastní exempláře raketoplánů, které dokázaly přistávat. Ve *SpaceX* plní Mueller funkci hlavního technologa pro vývoj pohonů. Svůj první raketový motor sestavil ve třinácti letech využitím otcovy plamenové svářečky chlazené vodou v plechovce.

„Na středoškolském projektu jsem měl raketu Estes se cvrčky, cílem bylo zjistit, jak působí zrychlení na cvrčky. Padák selhal a zpomalení při dopadu na zem bylo příliš rychlé a cvrčky zabilo.“ Thomas Mueller^[64]

Po absolvování střední školy neměla rodina peníze na financování jeho studia na univerzitě. Dlouhé čtyři roky pracoval s otcem v lese, než si vydělal peníze na studium. Vystudoval bakalářský program *strojírenství* na *University of Idaho*⁶⁸. Poté zamířil do Kalifornie, která byla považována



Obrázek 37: Tom Mueller v 80. letech ve státu Idaho.^[122]

⁶⁸University of Idaho (česky Univerzita v Idaho) je nejstarší veřejná univerzita v americkém státě Idaho. Jedná se o státní výzkumnou univerzitu založenou v roce 1909.

za centrum astronautiky. Začal pracovat ve společnosti *Hughes Aircraft*, která se zabývala vývojem družic.

„Nebyly to sice rakety, ale alespoň něco podobného“. Thomas Mueller^[65]

Krátce poté ale začal pracovat pro *TRW*, kde se zabýval raketovými motory na kapalná paliva. Pracoval zde například na jednom z největších motorů té doby. Byl jím *TR-106* na vodíkový pohon s výkonem 2 900 kN. Během zaměstnání v *TRW* studoval magisterské studium na *Loyola Marymount University*⁶⁹, které v roce 1982 úspěšně zakončil.

Mueller cítil, že v *TRW* nedostává dostatek prostoru k zúročení svého potenciálu. Začal se scházet s lidmi z amatérského spolku *Reaction Research Society*⁷⁰ a navrhovat své vlastní motory.

Osudovou pro něho byla stavba raketového motoru, která započala v roce 2001 v jeho v garáži. Později motor dokončil v kamarádově skladu a úspěšně ho odzkoušel v roce 2002. Motor měl hmotnost 36 kg a tah 58 kN. Mueller se znal osobně s Jimem Cantrellem, který o nadaném raketovém inženýrovi řekl Elonu Muskovi. Ten Muellera navštívil



Obrázek 38: Tom Mueller a jeho výtvoři – různé varianty motoru Merlin.^[122]

a zanedlouho se stal Mueller spoluzakladatelem společnosti *SpaceX*. Od roku 2014 působí na pozici hlavního technologa pro vývoj motorů a zodpovídá za motory *Merlin*, *Raptor* nebo *Draco*.

„Jsem tak rád, že jsme tuto společnost založili. Já opravdu chci, aby to fungovalo, abychom dostaly náklady tak nízko, aby si průměrný člověk mohl dovolit cestu do vesmíru, stejně jako může dnes cestovat letecky do jakékoli jiné země.“ Thomas Mueller^[66]

⁶⁹Loyola Marymount University je soukromá jezuitská univerzita sídlící v Kalifornii.

⁷⁰Reaction Research Society je nejstarší nepřetržitě provozuschopná amatérská experimentální raketová skupina ve Spojených státech amerických.

1.8.2 GWYNNE SHOTWELLOVÁ

Provozní ředitelka, prezidentka společnosti *SpaceX* a její hlavní tvář v jedné osobě se narodila 23. listopadu 1963 v Evastonu ve státě Illinois. Od mládí byla fascinována stroji, zejména pak automobily. Vzhledem k její současné profesi je překvapující, že ji vesmír v mládí nikdy nepřitahoval.

Střední školu ukončila v roce 1982. Neměla však jasnou představu, jakým směrem se dále ubírat. Její matka ji vzala v roce 1979 na propagační akci *Společnosti inženýrek*⁷¹ do Technologického institutu v Illinois. Na tuto akci šla s velkou nechtí a neustále se střídající řečnice s nezáživnými přednesy ji iritovaly. O její budoucí cestě rozhodla jedna perfektně oděná žena, která ji natolik zaujala, že se rozhodla stát inženýrkou.



Obrázek 39: Gwynne Shotwellová^[132]

Po ukončení střední školy se rozhodla podat jedinou přihlášku na univerzitu. Jednalo se o *Northwestern University*⁷², kde učil její otec budoucí lékař. Ona se rozhodla pro studium na fakultě *McCormick School of Engineering*⁷³. V nižších ročnících to nevypadalo, že by se měla stát budoucím leaderem průmyslu. Při laboratorních cvičeních ztrácela na své spolužáky a do závěrečného ročníku šla s průměrnými známkami. Překvapila všechny své profesory a studium ukončila s nejvyšším hodnocením ve třídě.

Po zisku bakalářského titulu ze *strojního inženýrství* v roce 1986 se přihlásila na magisterské studium v oboru *aplikovaná matematika*, které úspěšně ukončila v roce 1988. V té době si chtěla splnit svůj dětský sen a začala pracovat v automobilovém průmyslu, konkrétně u

⁷¹Society of Women Engineers (Společnost inženýrek) je nezisková organizace založená v roce 1950 sdružující více jak 37 000 členů napříč celými Spojenými státy americkými. Jejím posláním je stimulovat ženy k tomu, aby dosáhly plného potenciálu ve své kariéře jakožto inženýrky a vedoucí představitelky společnosti.

⁷²Northwestern University (česky Severozápadní univerzita) je soukromá univerzita založená v roce 1851. Mezi její úspěšné absolventy patří herec z populárního seriálu *Přátelé* David Schwimmer nebo astronaut Michael Reed Barratt.

⁷³McCormick School of Engineering je jedna z dvanácti zakládajících škol Northwestern University zaměřena na inženýrství a aplikované vědy.

společnosti *Chrysler*. Tam setrvala velice krátkou dobu, jelikož práce, kterou vykonávala, neměla nic společného s inženýrstvím.

Vrátila se zpět na univerzitu, kde se přihlásila na doktorské studium v oboru *aplikovaná matematika*. Vydržela zde ale pouhých devět měsíců a odešla pracovat do soukromého sektoru, konkrétně do společnosti *Aerospace Corporation*⁷⁴, která se dodnes zabývá výzkumem v oblasti kosmických letů.



Obrázek 40: Shotwellová se svým manželem.^[132]

Shotwellová měla na starosti tvorbu matematických 3D modelů satelitů. Po deseti letech zde skončila a vydala se navrhovat a stavět kosmická plavidla do společnosti *Microcosm Inc.*, kde se stala v roce 1998 ředitelkou divize kosmických systémů.

Osudový pro Shotwellovou byl oběd s bývalým kolegou z *Microcosmu* v době, kdy byla ve společnosti již čtyři roky. Jednalo se o Hanse Koenigsmanna⁷⁵, který pracoval v nově založené společnosti *SpaceX*. Ten ji pozval na prohlídku, při které narazili na Elona Muska. Ten ji nejvíce zaujal svojí vizí znovupoužitelnosti a stavbou levných raket.

„Tehdy jsem mu řekla: ‚Elone, velice ráda vás poznávám, ale fakt byste potřeboval nového obchodního ředitele.‘ Mluvila jsem s ním jen pár minut. Z mé strany to bylo dost neslušné a drzé.” Gwyne Shotwellová^[67]

Po několika hodinách ji Musk zavolal s nabídkou pozice viceprezidentky pro obchodní rozvoj. Shotwellová během 14 dní práci přijala a nastoupila do *SpaceX* jako zaměstnanec s pořadovým číslem 7. Její hlavní pracovní náplní byl prodej raket potencionálním zákazníkům, a to ještě v době, kdy *SpaceX* neměla za sebou ještě žádný start. Velice rychle se ale její pracovní povinnosti rozšířily o řízení veškerých financí společnosti, právní záležitosti a vedla také jednání s vládou Spojených států amerických.

⁷⁴ The Aerospace Corporation je kalifornská nezisková společnost provozovaná Federálním výzkumným a vývojovým centrem (FFRDC) poskytující technické poradenství armádě, ale i zákazníkům z řad veřejnosti.

⁷⁵ Více o Hansi Koenigsmannovi v kapitole 1.7.3.

Prvního úspěchu se Shotwellová ve *SpaceX* dočkala v roce 2008, kdy získala zákazníka se zvučným jménem. Jednalo se o národní agenturu *NASA*, se kterou *SpaceX* uzavřela kontrakt na zásobování Mezinárodní vesmírné stanice v hodnotě 1,6 miliardy dolarů. Po uzavření tohoto kontraktu svolal Musk celý tým *SpaceX*, který čítal 150 zaměstnanců.

„Elon se tenkrát zpočátku tvářil žalostně. Říkala jsem si, jaký je to ale ulhánek. Potom ale řekl, že jsme to kurva vyhráli, a všichni se mohli zbláznit radostí.“^[68]

Po úspěšném startu rakety *Falcon 1* v roce 2008 se Shotwellová stala prezidentkou *SpaceX*. V současné době je také provozní ředitelkou a má na starosti prodej, marketing, právní záležitosti, startovní operace, jednání s vládou Spojených států amerických a veškeré finanční operace společnosti. Dle jejích slov je nevzrušující součástí její práce sledování přímých přenosů ze startů raket společnosti *SpaceX*.

„Ještě než jsme odstartovali naši první raketu, Gwynne už prodala přibližně 10 startů. Jen velmi málo lidí by to dokázalo.“ Tim Hughes, viceprezident SpaceX^[69]

„Ona prodávala naši práci NASA v době, kdy jsme měli malou raketu na ostrově. Během těch let získala Gwynne také reputaci jako člověk, který dokáže překládat Muskovy vize do reality. Ona je prostě takový most mezi Elonem a ostatními zaměstnanci.

Elon například řekne, že poletíme na Mars a ona řekne, co přesně potřebujeme, abychom se na ten Mars dostali.“ Hans Koenigsmann^[70]

1.8.3 HANS KOENIGSMANN

Viceprezident společnosti *SpaceX* a osoba zodpovědná za bezpečnost startů a letu raket, to je Hans Koenigsmann. Od mládí byl fascinován létáním a připravoval se na kariéru letce, kterou ale zhatila jeho sílící krátkozrakost. Svého snu se ale nechtěl vzdát a přihlásil se na *Technische Universität Berlin*⁷⁶, kde započal studium oboru *letecké inženýrství*. Po úspěšném ukončení studia



Obrázek 41: Hans Koenigsmann jako zástupce *SpaceX* na tiskové konferenci před misí programu CRS.^[133]

⁷⁶Technische Universität Berlin (česky Technická univerzita Berlín) je technická vysoká škola založená roku 1879 v Berlíně. Jedná se o jednu z nejprestižnějších univerzit v Evropě, mezi jejíž nejvýznamnější absolventy patří Wernher von Braun nebo Konrad Zuse, autor prvního moderního počítače.

ale zjistil, že v leteckém průmyslu není nic revolučního. Podařilo se mu dostat se do týmu stavějícího malé družice *TUBSAT*.

Po třech letech práce na družicích získal práci v *ZARM*⁷⁷, kde také studoval doktorské studium. V rámci své univerzitní práce se zabýval stabilizací družic. Z nového člena se brzy stal technický ředitel projektu stavějící družici *BremSat*. Ta byla v roce 1994 vynesena do vesmíru raketoplánem *Discovery*.

„Musím říci, že ZARM v Německu se v prvních letech ve skutečnosti nelišil od SpaceX. Byl to výzkumný ústav s mladým týmem. Měli jsme dost peněz na velké projekty a dělali jsme nové věci. Nebylo to tak úplně jiné, a to se mi líbilo. Snažili jsme se nastavit si opravdu vysoký cíl a pak jít za ním a pokusit se ho získat.“ Hans Koenigsmann^[71]

S Muskem se poprvé setkal na akci raketových amatérů. Po krátkém rozhovoru a dvou měsících ho Musk navštívil doma v Německu a nabídl mu, aby vedl tým vyvíjející avioniku v nově založené společnosti *SpaceX*. I přesto, že ve *SpaceX* pracovali v tu dobu pouze tři lidé⁷⁸, nabídku bez váhání přijal. Byl to právě Hans Koeningsmann, který dokázal společně se svým týmem vyvinout avioniku v hodnotě deset tisíc dolarů namísto deseti milionů. Postupně se jeho pravomoce rozrostly. Dohlížel na elektroniku, software, řízení letu nebo systém nouzového ukončení letu.

Při startech rakety *Falcon 1* působil jako hlavní inženýr startu spolupracující s techniky a ředitelem startu. Zde byl zodpovědný za funkčnost rakety. Při startech raket *Falcon 9* už zodpovídal za celý start. Mimo to pracoval dále jako hlavní inženýr.

Koeningsmann se ve *SpaceX* výraznou měrou přičinil k aplikaci moderních technologií do zkostnatělého kosmického průmyslu.

V roce 2014 získal nejvyšší ocenění NASA



Obrázek 42: Hans Koenigsmann s Elonem Muskem během tiskové konference po misi CRS-8, při které došlo k prvnímu úspěšnému přistání na ASDS.^[133]

⁷⁷ ZARM (Centrum aplikované vesmírné techniky a mikrogravitace) je vědecký institut na univerzitě v Brémách na katedře výrobního inženýrství.

⁷⁸ Jednalo se o Elona Muska, Thomase Muellera a Chrise Thomsona.

pro nevládní operace, které je udělováno osobnostem, jež významně přispěly pokroku NASA a zájmům Spojeným státům americkým.

Na závěr „perlička“, ve které Koeningsmann reaguje na své německé kořeny.

„Můj německý přízvuk je srandovní, ale pomáhá mi při prezentacích. Když řeknu: ‘To bude fungovat,’ je to z nějakého důvodu přesvědčivější než v případě jiných přízvuků.“

Hans Koeningsmann^[72]

2 DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ

2.1 NÁRODNÍ KOSMICKÝ PLÁN

V roce 2014 vydalo Ministerstvo dopravy České republiky tzv. *Národní kosmický plán* pro roky 2014 až 2019, v němž představuje strategii České republiky v rozvoji kapacit, schopností průmyslu a maximalizaci návratnosti veřejných investic v oblasti kosmických aktivit. S tím souvisí i část věnovaná základnímu a střednímu školství.

Česká republika se stejně jako drtivá většina zemí EU potýká s nedostatkem technicky kvalifikovaných absolventů oborů zaměřených na vyspělé technologie. Česká republika patří dlouhodobě k aktivním státům ve výzkumu vesmíru a rozvoji kosmických technologií. Proto je potřeba podporovat právě ty technické obory, které generují kvalifikované odborníky.

Analýza Ministerstva dopravy ČR ukázala, že většina doposud prováděných aktivit v rámci zvyšování povědomí laické veřejnosti o kosmických aktivitách byla cílena na dospělé. Negativní dopad na zvyšování povědomí u dětí a mládeže lze přisuzovat nezájmu médií o danou problematiku a absenci vhodných nástrojů, které by u mládeže vyvolaly otázky spojené s vesmírem. Analýza dále poukazuje na nedostatek kosmických témat zařazených do tematických plánů na základních a středních školách, popř. probírání těchto témat pouze okrajově.

Pro zlepšení situace se doporučuje zařazovat tato témata především na sociální sítě, které jsou pro většinu mladistvých hlavním médiem komunikace. Dále více integrovat kosmická témata do tematických plánů na základních a středních školách, a to s cílem motivovat děti a mládež ke studiu technických oborů. Výuka technických předmětů na základních a středních školách by měla být také vhodně doplněna o mimoškolní aktivity s přesahem do kosmického průmyslu, tedy například kurzy, semináře, zájmové kroužky o astronomii, kosmonautice a fyzice. To vše by mělo vést k hlubšímu prohloubení znalostí dětí a mládeže v technických disciplínách.

2.2 VESMÍR V PŘEDSTAVÁCH ŽÁKŮ STŘEDNÍ ŠKOLY

V dotazníkovém šetření jsem se zaměřil ne prioritně na vědomosti žáků v oblasti kosmonautiky, ale na jejich postoje a názory. Nejčastěji se setkáváme s otevřenými a uzavřenými otázkami, z nichž obě varianty mají své klady, ale také zápory.

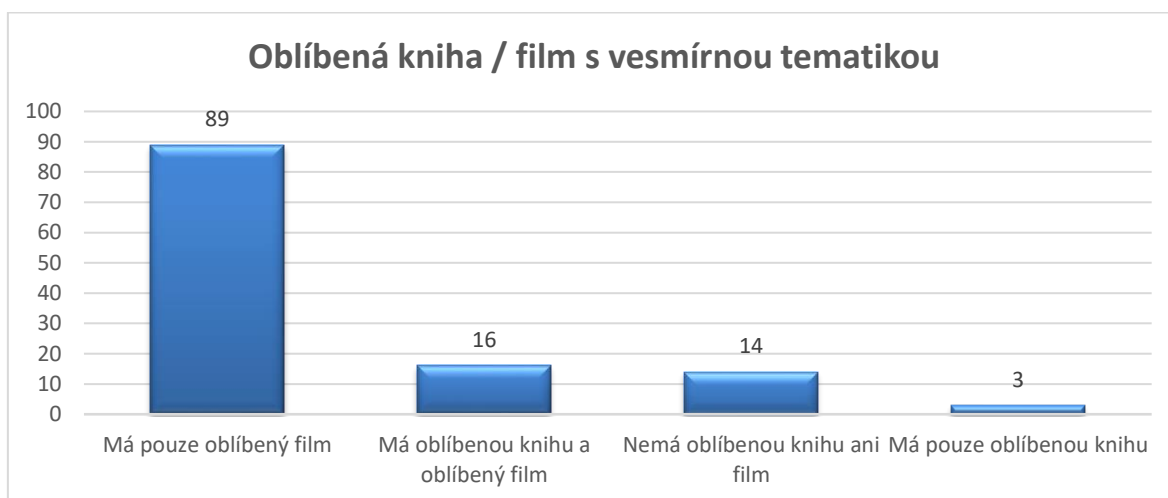
V dotazníkovém šetření je z velké části využito otevřených otázek, které neumožňují odpovědět pouze *ano*, nebo *ne*, ale žáci na ně jsou nuceni odpovědět celou větou.

Otevřené otázky byly pro žáky podnětem k hlubšímu zamyšlení a k možnosti získat kvalitativní odpověď. Nevýhodou těchto otázek je ale následné zpracování a obtížnost interpretace odpovědí. Kvalita odpovědí je také značně ovlivněna verbálními schopnostmi dotazovaného.

Celkem bylo dotazováno 167 žáků ve věku od 15 do 19 let. Z celkového počtu bylo možné využít 122 dotazníků (72 %). Zbylé dotazníky nebyly vyplněné nebo odpovědi v nich nebylo možné z důvodu příliš obecných odpovědí využít.

2.2.1 OBLÍBENÝ FILM, OBLÍBENÁ KNIHA ŽÁKŮ STŘEDNÍ ŠKOLY

V první otázce dotazníkového šetření mě zajímalo, zda žáci střední školy mají oblíbenou knihu nebo film s vesmírnou tematikou. Zde s drtivou převahou zvítězila kinematografie nad četbou. Upozorňuji, že se nejedná o srovnání kinematografie a četby napříč všemi žánry.

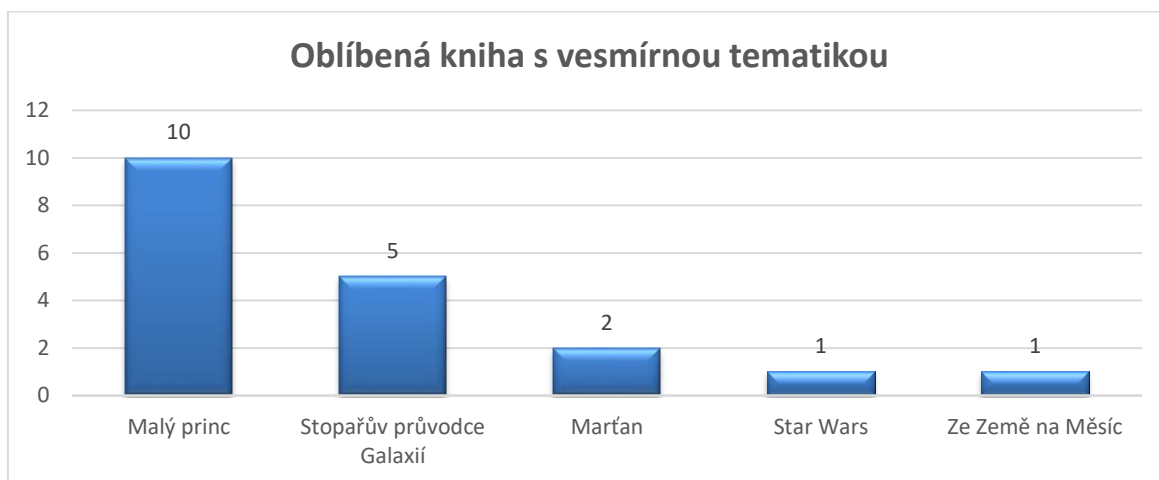


Graf 3: Oblíbená kniha / film s vesmírnou tematikou.^[Autor]

V případě knihy zvítězil drtivou většinou *Malý princ* od francouzského spisovatele Antoina de Saint-Exupéryho.⁷⁹ Tato pohádka vypráví o Malém princovi, který se v Africe setká s letcem. Ten se svým letounem havaroval a během opravy mu Malý princ vypráví příběhy o planetách, které navštívil a co zajímavého na nich viděl.

⁷⁹ V této otázce bylo možné uvést více odpovědí.

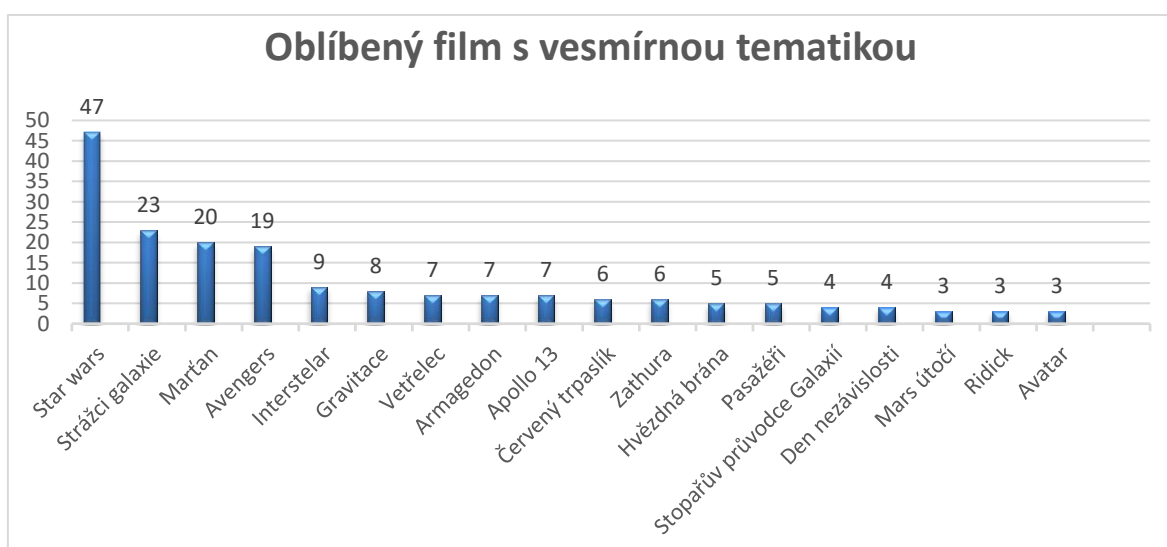
Nelze opomenout ani sci-fi knihu *Stopařův průvodce Galaxií*, jejíž výtisk v současné době putuje vesmírem v automobilu *Tesla Roadster* a patří mezi oblíbenou knihu Elona Muska.



Graf 4: Oblíbená kniha s vesmírnou tematikou.[Autor]

V oblasti kinematografie zvítězily *Star Wars*, které se poprvé na filmových plátnech objevily v roce 1977. Jedním z možných faktorů, díky kterému se tato kultovní sága dostává do povědomí dnešní mladé generace, je čtveřice filmů, jež vyšly v letech 2015 až 2018. Konkrétně sedmý díl *Star Wars* s podtitulem *Epizoda VII – Síla se probouzí*, je třetím nejuspěšnějším filmem všech dob.

Druhým filmem v pořadí jsou *Strážci galaxie*, kteří zaujmou mladou generaci zejména vtipem a propojením v rámci *Marvelovského vesmíru* s *Avengers*. Mezi tuto elitní společnost filmů se probojoval také film *Marťan*.

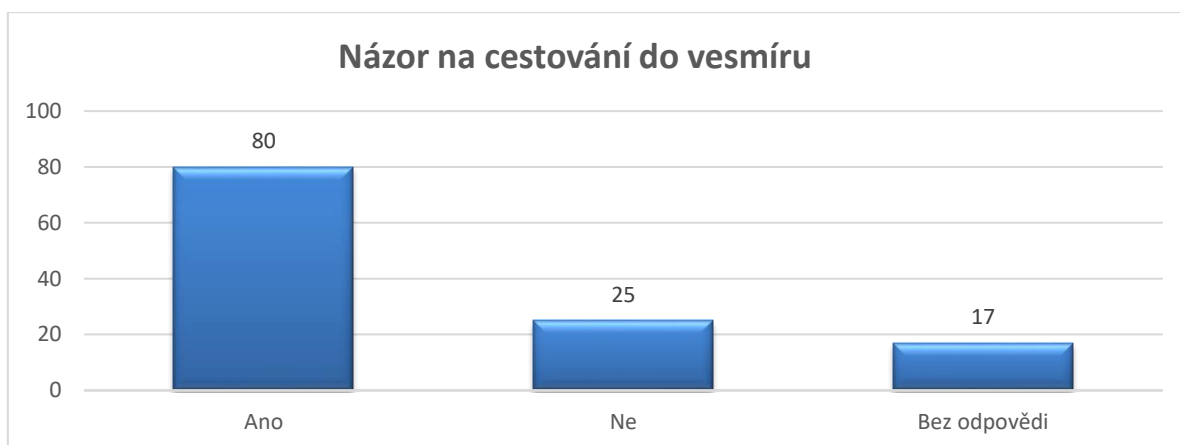


Graf 5: Oblíbený film s vesmírnou tematikou.[Autor]

Z mého pohledu je zajímavé, že starší filmy jako *Mars útočí*, *Armagedon* a *Apollo 13*, dosahují také poměrně vysokých čísel. Na druhou stranu jsem byl překvapen snímkem *Avatar*, který se umístil daleko od čela žebříčku. Tento film vtrhl do kin v roce 2009 a doposud je se ziskem 2,8 miliard dolarů nejuspěšnějším snímkem všech dob.

2.2.2 NÁZOR NA CESTOVÁNÍ DO VESMÍRU

Další otázkou jsem zjišťoval, zda by se mladá generace vydala do vesmíru, a jaké by měla důvody se na takovouto cestu vypravit.



Graf 6: Názor na cestování do vesmíru.^[Autor]

Celých 65 % dotázaných by se na takovouto cestu vydalo. V následujícím grafu jsou uvedeny nejčastější důvody.



Graf 7: Důvody, proč se vydat do vesmíru.^[Autor]

Spatřit planetu Zemi na vlastní oči je přáním 26 % dotázaných. O možnost poskytnout obyčejným lidem cestu do vesmíru usiluje také *SpaceX* v rámci vývoje technologie znovupoužitelnosti. Objevovat něco nového má lidstvo zakódováno ve svých genech. Co by ale žáky od takovéto cesty odradilo?

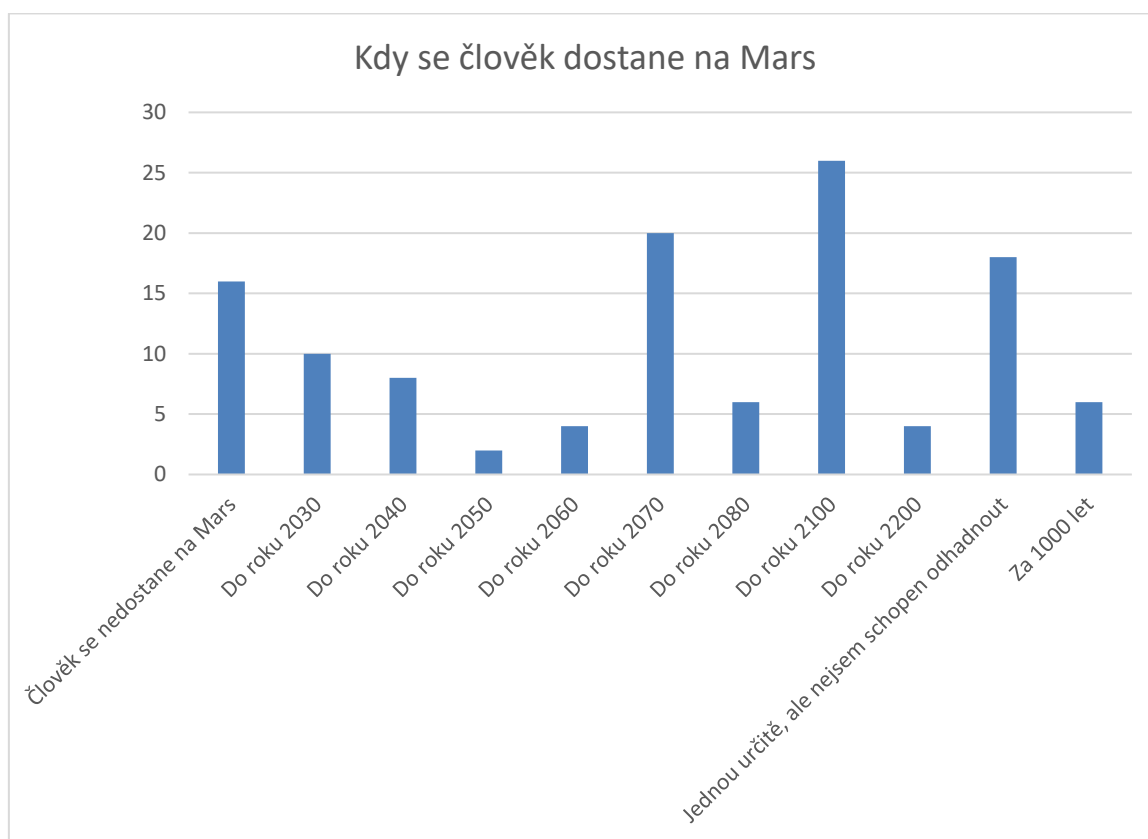


Graf 8: Důvody, proč se nevydat do vesmíru.^[Autor]

Žáci mají největší obavu z bezpečnosti letů. I přes stovky úspěšných startů si člověk pamatuje zejména ty neúspěšné, při nichž se stala neočekávaná porucha. Vzpomeňme si na misi *Apollo 13*, která je díky filmové adaptaci známější než mise *Apollo 11*. Dalším příkladem může být nehoda raketoplánu *Columbia*, při níž zemřelo 7 astronautů. Především 27 letů tohoto stroje, které proběhly v pořádku, nejsou v takové míře zapsány do povědomí, jako ten osmadvacátý, při kterém raketoplán explodoval.

V dotazníkovém šetření v drtivé většině uvedli žáci, že by se nevydali na tuto cestu právě z důvodu rizika nehody při startu nebo nemožnosti návratu na Zemi.

2.2.3 KDY SI MYSLÍTE, ŽE ČLOVĚK DOPUTUJE NA MARS



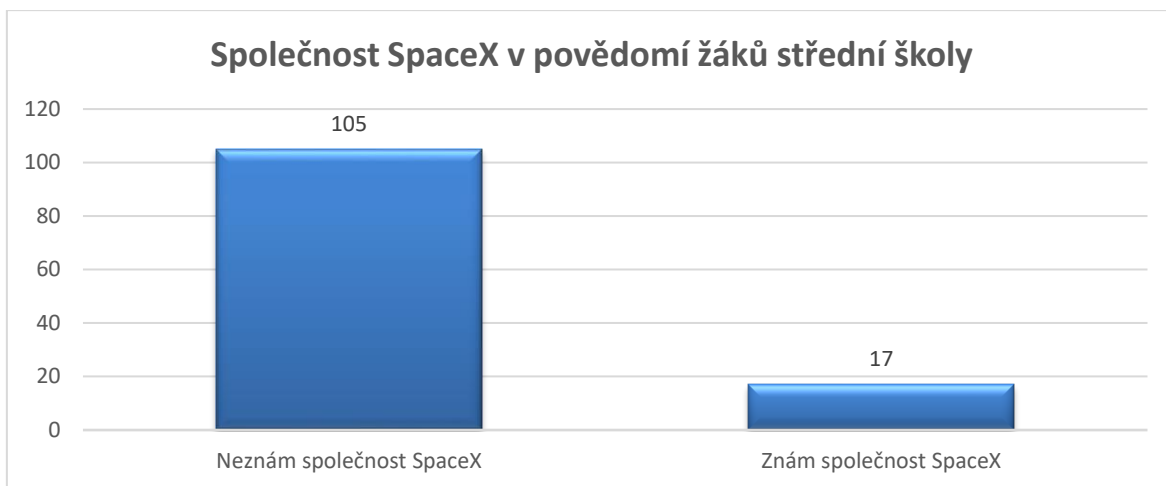
Graf 9: Kdy se člověk dostane na Mars.^[Autor]

Dále jsem se zajímal o názor žáků, kdy člověk poprvé vstoupí na povrch Marsu. Poslední roky v kosmonautice lidstvo přiblížily k reálné cestě na „rudou planetu“, stále se ale jedná pouze o zárodek budoucích meziplanetárních cest. Elon Musk by rád přistál s lidmi na Marsu do konce třetího desetiletí tohoto století. I přes jeho nevídaný pokrok na poli raketové technologie ale musíme počítat s tzv. *Muskovým koeficientem*.

Dotazovaní žáci jsou skeptičtější a přiklánějí se většinou k rozmezí let 2070 až 2100. Zajímavé bylo zjištění, že většina žáků, která odpověděla záporně na otázku, zda by se chtěli podívat do vesmíru, zaujímá nedůvěřivé stanovisko k možné cestě na Mars v nejbližší době.

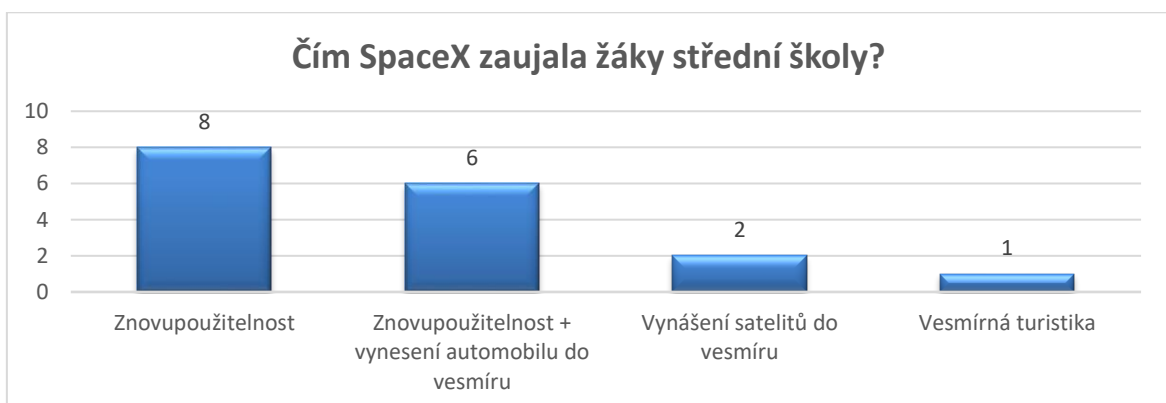
2.3 SPACEX V PODVĚDOMÍ STŘEDOŠKOLÁKŮ

V závěrečné části dotazníkového šetření jsem se zaměřil na to, zda žáci středních školy mají povědomí o společnosti *SpaceX*. Byl jsem překvapen zjištěním, že 86 % dotázaných tuto společnost nezná. Předpokládal jsem, vzhledem k medializaci jejích úspěchů, daleko větší povědomí o této inovativní společnosti.



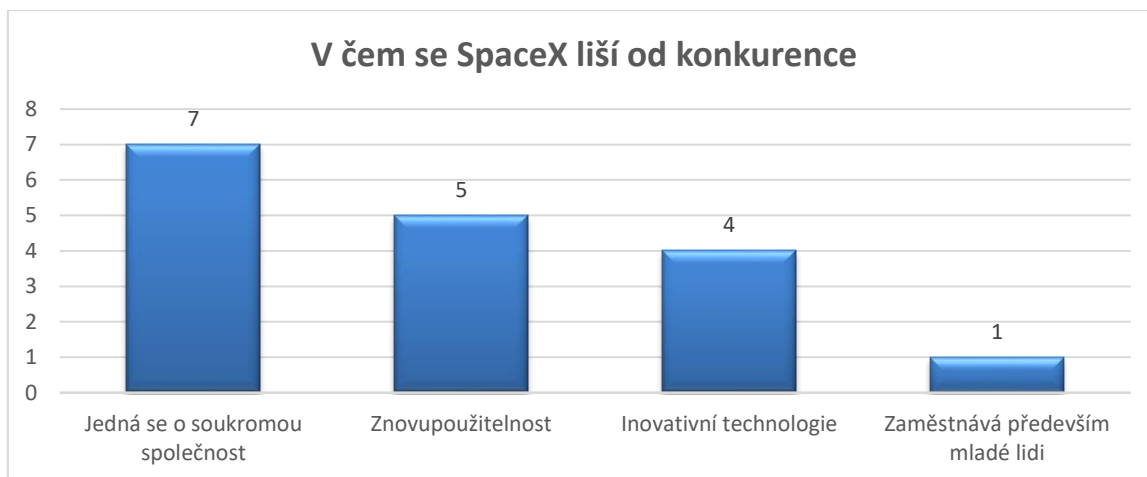
Graf 10: Společnost SpaceX v povědomí žáků střední školy.^[Autor]

Sedmnácti žáků jsem se dále ptal, čím je tato společnost zaujala. Dle předpokladů nejvíce dotázaných odpovědělo *znovupoužitelnost nosných raket*.

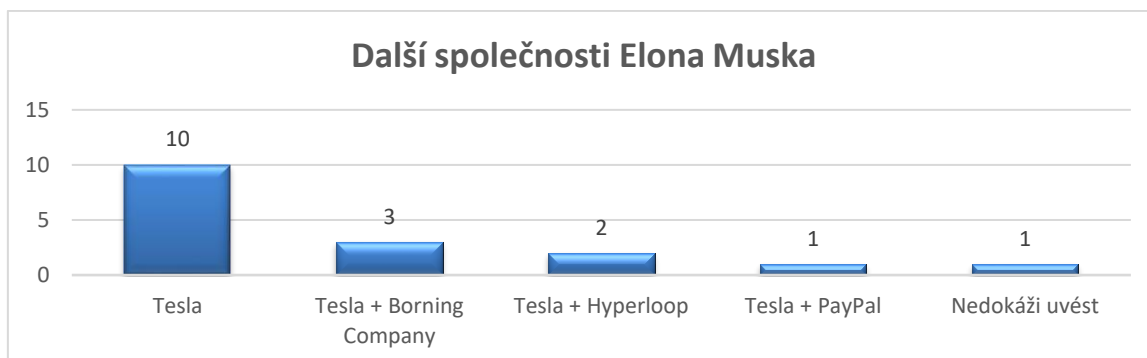


Graf 11: Čím SpaceX zaujala žáky střední školy?^[Autor]

Odpovědi na otázku, která byla zaměřena na rozdíly mezi *SpaceX* a konkurencí, mě příjemně překvapily. Očekával jsem jako nejčastější odpověď znovupoužitelnost, ale většina dotázaných odpověděla, že *SpaceX* je soukromá společnost. Předpokládám, že dotazovaní mají v povědomí zejména státní agentury *NASA* a *Roskosmos*.

Graf 12: V čem se SpaceX liší od konkurence.^[Autor]

V poslední otázce jsem zjišťoval, jaké další společnosti Elona Muska žáci znají. Jasně zvítězila automobilka *Tesla Motors*, která je známá výrobou elektrických automobilů a autonomního řízení. Překvapila mě znalost společností *Borning Company* a *Hyperloop*. Tyto dvě společnosti spolu úzce spolupracují a zabývají se hloubením tunelů pod městy a rychlou tunelovou dopravou.

Graf 13: Další společnosti Elona Muska.^[Autor]

3 ÚLOHY ZAMĚŘENÉ NA VESMÍRNÉ LETY

Tato kapitola se zaměřuje na úlohy, které by měl být schopen žák střední školy pod dohledem vyučujícího úspěšně vyřešit. Úloha 3.1 je po matematické stránce nejsložitější. Zaměřuje se na odvození vztahu, který nám po dosazení poloměru Země a výšky družice nad povrchem Země určí plochu Země, která je z družice viditelná. Výpočet je náročný na úpravu výrazů a pracuje se v něm s Pythagorovou větou, goniometrickými funkcemi, poměrem a v podkapitole 3.1.5 je využita limita funkce.

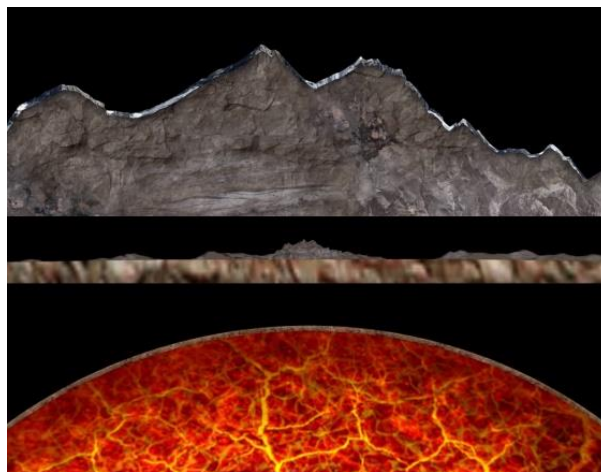
Úloha 3.2 se zaměřuje na výpočet rychlosti družice nacházející se na oběžné dráze kolem Země. V příkladu je využit vztah pro dostředivé zrychlení, Newtonův gravitační zákon a vztah pro výpočet periody rovnoměrného pohybu po kružnici.

Třetí úloha této kapitoly se zabývá GPS družicemi. V závěru úlohy je popsán systém rozmístění GPS družic a princip určování polohy.

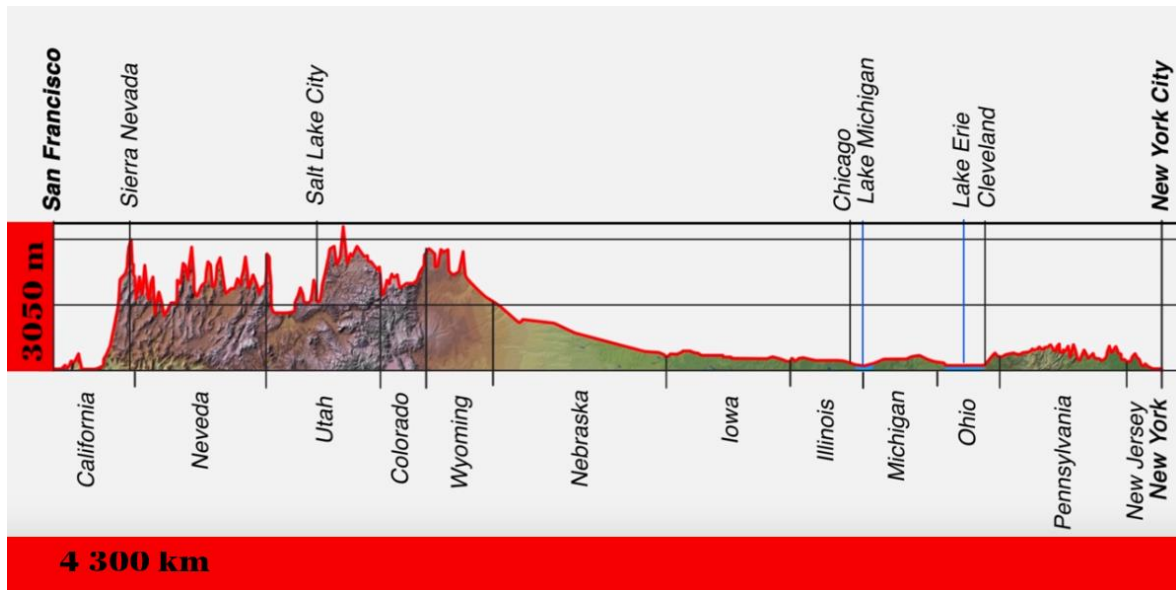
Třetí kapitola je zakončena odvozením první kosmické rychlosti a částečným odvozením druhé kosmické rychlosti tak, aby bylo vše v souladu se znalostmi žáků střední školy.

3.1 VIDITELNÁ PLOCHA ZEMĚ V ZÁVISLOSTI NA VZDALUJÍCÍM SE POZOROVATELI

Mount Everest je hora dosahující výšky 8 848 m n. m. Jedná se o nejvyšší horu na Zemi. Udělejme řez horou a začněme ji oddalovat. Mount Everest velice rychle zmizí v porovnání s řezem Země. Ve srovnání s průměrem Země je Mount Everest sotva zaregistrovatelný. To se může zdát překvapivé, protože jsme velice často obklopeni diagramy a glóby, které převyšují topografii Země. To vede k mylné představě, jak hladká Země ve skutečnosti je. Uvedme si příklad průřezu Spojenými státy americkými.

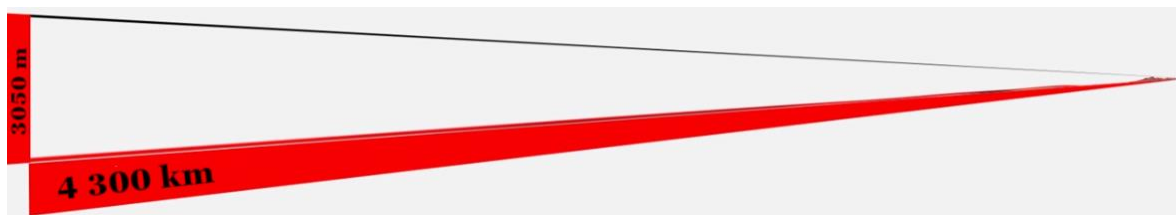


Obrázek 43: Výška hor ve srovnání s velikostí Země. [156]



Obrázek 44: Terénní profil – Spojené státy americké. [156]

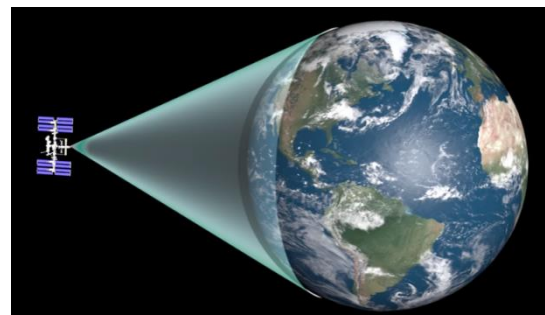
Vertikální osa dosahuje přibližně 3 000 m, zatímco horizontální osa více jak 4 000 km. Pokud budou obě osy ve stejném měřítku, projeví se skutečná hladkost Země.



Obrázek 45: Terénní profil – Spojené státy americké (osa x a osa y jsou nyní ve stejném měřítku). [156]

Vraťme se opět ke glóbu, na jehož povrchu je výstupkem znázorněný Mount Everest. Pokud bude oproti okolí výstupek dosahovat 2 mm, přesto nebude odpovídat realitě. Správně by na glóbu měl výstupek dosahovat pouze 0,2 mm⁸⁰. Pro názornost ale od skutečných měřítek při tomto znázornění upouštíme.

Obraťme naši pozornost na planetu Zemi jako celek. Pouze 24 lidí ji vidělo, jako by byla zavěšená ve vesmíru. Můžeme použít analogii s míčem, který umístíme blízko našeho oka. Čím více míč vzdalujeme, tím větší část celkového povrchu vidíme. Pokud se ale

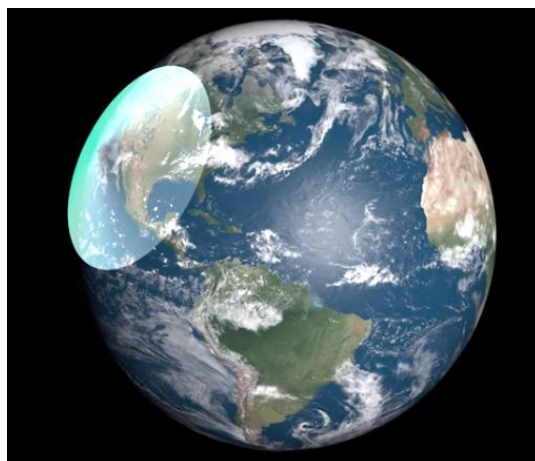


Obrázek 46: Představa, jaká část povrchu Země je viditelná z ISS. [156]

⁸⁰ Uvedené hodnoty jsou vztaženy ke glóbu Země s poloměrem 14,4 cm.

přiblížíme k míči dostatečně blízko, část povrchu mizí za obzorem.

Vraťme se zpět k planetě Zemi. Pro většinu z nás je nemožné ji pozorovat jako astronauté z Mezinárodní vesmírné stanice. Člověk na Zemi dohlédne maximálně 5 km daleko (pokud se budeme nacházet na dostatečně velké rovině). Atmosférická refrakce může tuto vzdálenost nepatrně prodloužit, pro naše účely je ale tento poznatek zcela irelevantní. Člověk tedy vidí zhruba oblast s rozlohou 80 km². To je



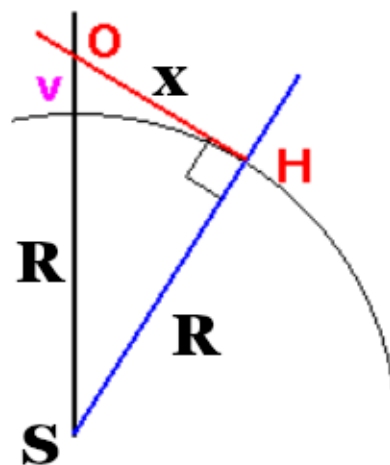
Obrázek 47: Povrch Země viditelný z ISS.^[156]

úctyhodná plocha, ve srovnání s povrchem Země je však zcela zanedbatelná.

Čím výše nad povrch Země se dostaneme, tím větší plochu můžeme pozorovat. Mezinárodní vesmírná stanice se nachází dostatečně vysoko, aby astronauti mohli pozorovat podstatně větší plochu než lidé na povrchu Země. Většina si představuje, že z ní astronauti vidí celou polokouli. Jedná se ale o mylnou představu. Pokud by měla Země velikost jablka, Mezinárodní vesmírná stanice by obíhala 2,7 mm nad jeho povrchem. Z této vzdálenosti skutečně nevidíme celou polovinu povrchu jablka. Zajímavé je, že pokud by jablko představovalo Zemi, pak oční bulva by velikostně odpovídala Měsíci. Nastává otázka, jakou část povrchu Země z Mezinárodní vesmírné stanice astronauti vidí?

3.1.1 PLOCHA ZEMĚ VIDITELNÁ Z MEZINÁRODNÍ VESMÍRNÉ STANICE

V celém výpočtu považujeme planetu Zemi za dokonalou kouli o poloměru R . Předpokládejme také, že horizont, na který se díváme, je na úrovni moře. V případě Mezinárodní vesmírné stanice je tento předpoklad splněný, jelikož Zemi považujeme za hladkou. Trojúhelník na obr. 48 je tvořen středem Země (S), bodem ležícím na horizontu (H) a pozorovatelem (O), v našem případě Mezinárodní vesmírná stanice.

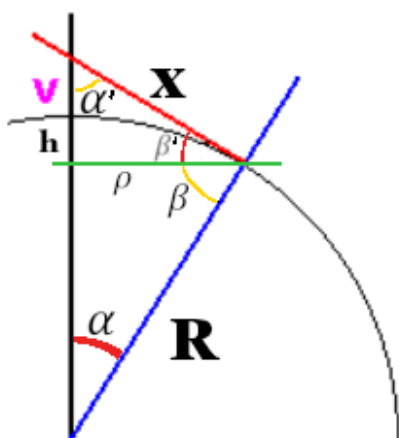


Obrázek 48: Schéma (horizont).^[Autor]

Vzdálenost bodů OH je označena písmenem x a jedná se o vzdálenost mezi pozorovatelem a horizontem. Výška pozorovatele nad Zemí je pak označena písmenem v . Z Pythagorovy věty jsme schopni zjistit vzdálenost horizontu.

$$x^2 + R^2 = (v + R)^2$$

$$x = \sqrt{(v + R)^2 - R^2} \quad (3.1)$$



Obrázek 49: Schéma (horizont).^[Autor]

Nyní se podívejme na obr. 49. Při pohledu na planetu Zemi z Mezinárodní vesmírné stanice se v podstatě díváme na kulový vrchlík. Jeho výšku označme h a dopočtíme všechny vnitřní úhly v trojúhelnících. Symbolem ρ označme poloměr kulového vrchlíku, který využijeme k výpočtu jeho povrchu.

$$\sin(\alpha) = \frac{x}{R + v}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{x}{R+v}\right) \quad (3.2)$$

Součet vnitřních úhlů v trojúhelníku je 180° , pak tedy platí:

$$\alpha' = 180^\circ - 90^\circ - \alpha \quad (3.3)$$

Zbývají dopočítat úhly β a β' . Jejich součet je roven pravému úhlu. Využijeme podobnosti trojúhelníků. Pak bude platit:

$$\beta = \alpha' \text{ a } \beta' = \alpha.$$

Poslední neznámou pro výpočet povrchu kulového vrchlíku je výška h .

$$\sin \beta' = \frac{h + v}{x}$$

$$h = x \sin \beta' - v \quad (3.4)$$

Přejdeme k výpočtu povrchu kulového vrchlíku a povrchu Země. Tyto dva výsledky následně porovnáme a získáme procentuální část celkové plochy planety Země, kterou je možné sledovat při pohledu z Mezinárodní vesmírné stanice. Pracujeme pouze se dvěma konstantami, a to s poloměrem Země $R = 6\,378 \text{ km}$ a výškou Mezinárodní vesmírné stanice nad povrchem Země $v = 400 \text{ km}$.

$$S_Z = 4\pi R^2 = 5,112 \cdot 10^8 \text{ km}^2 \quad (3.5)$$

$$S_{ISS} = 2\pi R h \quad (3.6)$$

Do (3.6) dosadíme za výšku kulového vrchlíku (3.4). Následně využitím (3.1) a (3.2) získáváme vztah:

$$\begin{aligned} S_{ISS} &= 2\pi R(x \sin \beta' - v) \\ S_{ISS} &= 2\pi R \left(\sqrt{(v+R)^2 - R^2} \cdot \frac{\sqrt{(v+R)^2 - R^2}}{R+v} - v \right) \\ S_{ISS} &= 2\pi R \left(\frac{(v+R)^2 - R^2}{R+v} - v \right) \\ S_{ISS} &= 2\pi R \left(\frac{v^2 + 2vR}{R+v} - v \right) \quad (3.7) \\ S_{ISS} &= 2\pi \cdot 6378 \cdot \left(\frac{400^2 + 2 \cdot 400 \cdot 6378}{6378 + 400} - 400 \right) \\ S_{ISS} &= 1,508 \cdot 10^7 \text{ km}^2 \quad (3.8) \end{aligned}$$

Porovnáme plochu viditelnou z Mezinárodní vesmírné stanice (3.8) s plochou Země uvedenou v (3.5).

$$\frac{S_{ISS}}{S_Z} = \frac{1,508 \cdot 10^7}{5,112 \cdot 10^8} \cdot 100 \% = 2,950 \% \quad (3.9)$$

Z výsledku je patrné, že jsou viditelná pouze necelá 3 % povrchu. Čím to tedy je, že z Mezinárodní vesmírné stanice jsme zásobováni velkým množstvím nádherných fotek Země, které vypadají jako kruhové disky? Umožňují to speciální čočky fotoaparátů, které se na stanici nacházejí.



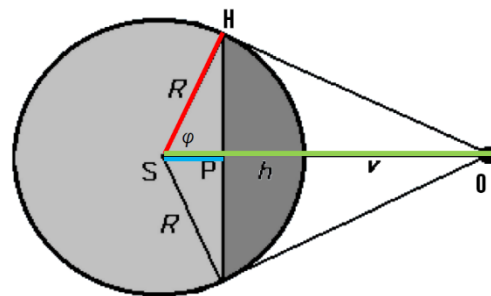
Obrázek 50: Obrázek vlevo: fotografie pořízená speciálními fotoaparáty.
Obrázek vpravo: pohled člověka z ISS. ^[156]

3.1.2 PLOCHA ZEMĚ VIDITELNÁ Z MEZINÁRODNÍ VESMÍRNÉ STANICE – ŘEŠENÍ POMOCÍ EUKLIDOVY VĚTY

K určení velikosti plochy Země viditelné z Mezinárodní vesmírné stanice lze dojít také využitím Euklidovy věty o odvěsně.

$$R^2 = (R + v) \cdot (R - h)$$

Vyjádříme výšku kulového vrchlíku h a následně dosadíme do vzorce pro výpočet povrchu kulového vrchlíku.



Obrázek 51: Schéma (horizont).^[179]

$$h = \frac{Rv}{R + v}$$

$$S_{ISS} = 2\pi R h$$

$$S_{ISS} = 2\pi \cdot \frac{R^2 v}{R + v} \quad (3.10)$$

$$S_{ISS} = 2\pi \cdot \frac{6378^2 \cdot 400}{6378 + 400}$$

$$S_{ISS} = 1,508 \cdot 10^7 \text{ km}^2 \quad (3.11)$$

Plocha kulového vrchlíku (3.11) odpovídá výsledku (3.8). Nyní ještě porovnáme (3.11) s velikostí plochy Země (3.5).

$$\frac{S_{ISS}}{S_Z} = \frac{1,508 \cdot 10^7}{5,112 \cdot 10^8} \cdot 100 \% = 2,950 \%$$

Na závěr můžeme říci, že v kapitole 3.1.1 a 3.1.2 jsme stanovili plochu Země, kterou je možné pozorovat z Mezinárodní vesmírné stanice. Výrazy (3.7) a (3.10) lze ale použít pro libovolnou výšku družice.

3.1.3 PLOCHA ZEMĚ VIDITELNÁ Z GEOSTACIONÁRNÍ OBĚŽNÉ DRÁHY

Podívejme se z místa vzdálenějšího od Země, konkrétně z geostacionární oběžné dráhy. Družice umístěné na *GEO* jsou z pohledu pozorovatele na Zemi neustále na jednom místě, což je výhodné pro družice vysílající televizní signál. Výška této dráhy je zhruba 35 800 km nad povrchem Země a k výpočtu, jakou plochu povrchu Země družice snímají, stačí dosadit do rovnice (3.7), resp. (3.10) výšku družice $v = 35\,800 \text{ km}$.

$$S_{GEO} = 2\pi R \left(\frac{v^2 + 2vR}{R + v} - v \right)$$

$$S_{GEO} = 2\pi \cdot 6378 \cdot \left(\frac{35\,800^2 + 2 \cdot 35\,800 \cdot 6378}{6378 + 35\,800} - 35\,800 \right)$$

$$S_{GEO} = 2,169 \cdot 10^8 \text{ km}^2$$

Výsledek porovnejme s plochou Země (3.5):

$$\frac{S_{GEO}}{S_Z} = \frac{2,169 \cdot 10^8}{5,112 \cdot 10^8} \cdot 100 \% = 42,430 \%$$

Ačkoliv se může zdát, že vzdálenost 35 800 km je dostatečná k tomu, aby družice snímaly povrch celé polokoule Země, není tomu tak. Z takovéto vzdálenosti jsou schopny pokrýt necelých 43 % povrchu Země.

3.1.4 PLOCHA ZEMĚ VIDITELNÁ Z MĚSÍCE

Jaký výhled na Zemi měli astronauté z povrchu Měsíce? Opět využijeme vztah (3.7), resp. (3.10), ve kterém bude figurovat střední vzdálenost Země-Měsíc.⁸¹

$$S_{Měsíc} = 2\pi R \left(\frac{v^2 + 2vR}{R + v} - v \right)$$

$$S_{Měsíc} = 2\pi \cdot 6378 \cdot \left(\frac{384\,000^2 + 2 \cdot 384\,000 \cdot 6378}{6378 + 384\,000} - 384\,000 \right)$$

$$S_{Měsíc} = 2,514 \cdot 10^8 \text{ km}^2$$

Výsledek porovnejme s plochou Země (3.5):

$$\frac{S_{Měsíc}}{S_Z} = \frac{2,514 \cdot 10^8}{5,112 \cdot 10^8} \cdot 100 \% = 49,178\%$$

Astronauti měli v 60. a 70. letech 20 století na Měsíci výhled na téměř celou polokouli. Ale i z takovéto vzdálenosti stále neviděli 50 % povrchu Země.

⁸¹ Střední hodnota vzdálenosti Země-Měsíc je 384 000 km.

3.1.5 PLOCHA ZEMĚ VIDITELNÁ Z NEKONEČNÉ VZDÁLENOSTI

Otázka zní, jak bychom museli být daleko od Země, abychom viděli 50 % povrchu Země? Využijme limitu funkce, ve které bude růst vzdálenost pozorovatele nade všechny meze⁸².

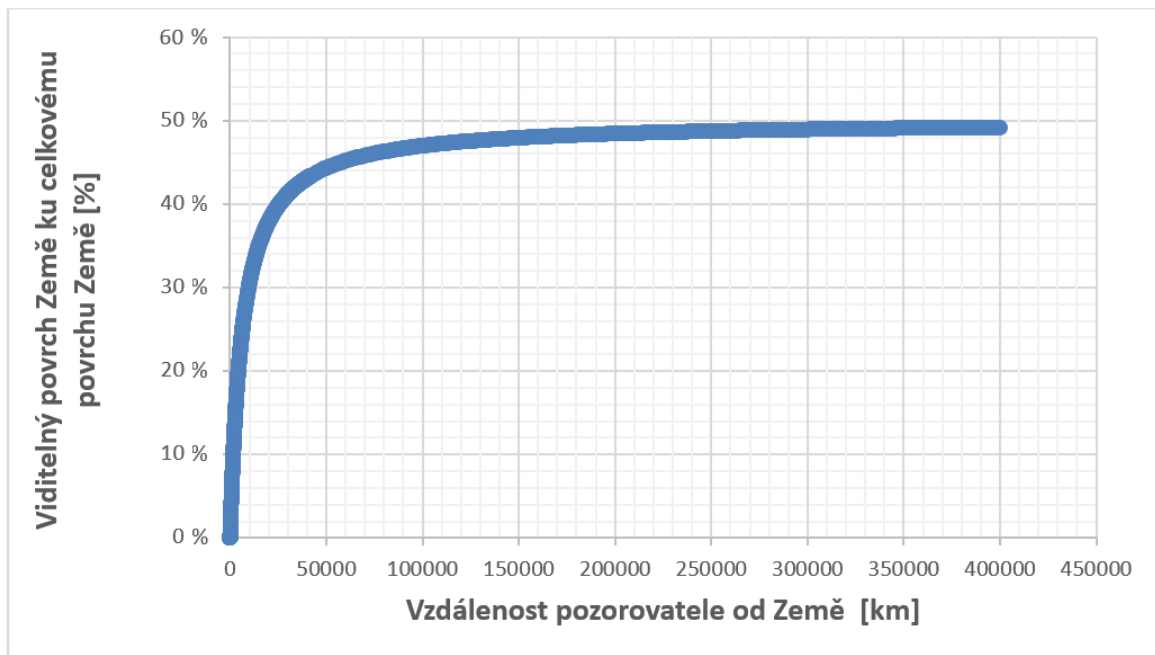
$$S_{\infty} = \lim_{v \rightarrow \infty} 2\pi R \left(\frac{v^2 + 2vR}{R + v} - v \right)$$

$$S_{\infty} = \lim_{v \rightarrow \infty} 2\pi \cdot 6378 \cdot \left(\frac{v^2 + 2 \cdot 6378 \cdot v}{6378 + v} - v \right) = 2,556 \cdot 10^8 \text{ km}^2$$

Porovnáme nyní plochu, kterou bychom viděli z nekonečna, s plochou Země (3.5):

$$\frac{S_{\infty}}{S_Z} = \frac{2,556 \cdot 10^8}{5,112 \cdot 10^8} \cdot 100 \% = 50,000 \%$$

Pokud chceme tedy vidět celých 50 % povrchu Země, museli bychom cestovat s kosmickou lodí do nekonečné vzdálenosti. Té by ale samozřejmě dosáhnout nešlo a v určité vzdálenosti od Země by ani nebylo možné naši planetu sledovat. Na následujícím grafu můžeme pozorovat zvětšující se procento viditelného povrchu Země závislé na zvětšující se vzdálenosti od Země.



Graf 14: Závislost procentuální části viditelného povrchu Země na vzdálenosti pozorovatele. [Autor]

⁸² Z nekonečné vzdálenosti by nebylo možné Zemi vidět, protože by byla pod rozlišovací schopnosti lidského oka. Jedná se pouze o teoretický příklad, ve kterém hledáme vzdálenost, z níž bychom viděli na celou polokouli.

3.1.6 PLOCHA ZEMĚ VIDITELNÁ Z MEZINÁRODNÍ VESMÍRNÉ STANICE BĚHEM JEDNOHO OBLETU KOLEM ZEMĚ

Jakou plochu astronauti uvidí, pokud se budou dívat na naši planetu po dobu jednoho obletu stanice kolem Země? Mezinárodní vesmírná stanice se pohybuje po mírně eliptické dráze, kterou můžeme považovat za kruhovou. Oběžná dráha má sklon vůči rovníku necelých 50° a byla zvolena z ekonomických důvodů plynoucích z levnějšího zásobování ze Spojených států amerických a Ruské federace.

Pro náš výpočet není sklon dráhy vůči rovníku podstatný, protože považujeme Zemi za kouli a plocha viditelná z Mezinárodní vesmírné stanice během jednoho přeletu bude nezávislá na sklonu dráhy vůči rovníku. Pro výpočet plochy kulového pásu platí vztah:

$$S' = 2\pi R\rho$$

V našem případě ale budeme muset počítat s dvojnásobkem S' . Dostáváme tedy:

$$S = 4\pi R\rho \quad (3.12)$$

Jedinou neznámou v uvedeném vzorci je výška kulového pásu ρ , kterou vyjádříme jako:

$$\rho = R \cdot \sin\beta \quad (3.13)$$

Pro velikost úhlu β platí:

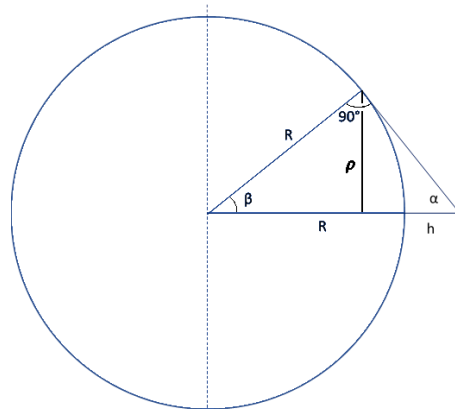
$$\begin{aligned} \cos\beta &= \frac{R}{R+h} \\ \beta &= \cos^{-1}\left(\frac{R}{R+h}\right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Dosazením (3.14) do (3.13) získáváme:

$$\rho = R \cdot \sin\left(\cos^{-1}\left(\frac{R}{R+h}\right)\right) \quad (3.15)$$

Dosazením (3.15) do (3.12) získáváme plochu Země, kterou astronauti na Mezinárodní vesmírné stanici spatří během jednoho obletu kolem Země, který trvá 92,62 min.

$$S = 4\pi R^2 \cdot \sin\left(\cos^{-1}\left(\frac{R}{R+h}\right)\right)$$



Obrázek 52: Schéma (kulový pás).^[180]

$$S = 4\pi \cdot 6378^2 \cdot \sin\left(\cos^{-1}\left(\frac{6378}{6378 + 400}\right)\right)$$

$$S = 1,730 \cdot 10^8 \text{ km}^2$$

Porovnejme tento výsledek s celkovou plochou Země (3.5):

$$\frac{S}{S_Z} = \frac{1,730 \cdot 10^8}{5,112 \cdot 10^8} \cdot 100 \% = 33,842 \%$$

Během jednoho obletu Země astronauti na Mezinárodní vesmírné stanici spatří necelých 34 % povrchu planety Země.

3.2 DRUŽICE NA OBĚŽNÉ DRÁZE KOLEM ZEMĚ

Mějme družici, která se pohybuje po kruhové oběžné dráze kolem Země ve výšce $h_0 = 400 \text{ km}$ nad zemským povrchem. Naším úkolem bude zjistit, jaká je její rychlost v_0 a oběžná doba T_0 . V případě kruhového pohybu můžeme říci, že dostředivá síla odpovídá síle gravitační. Gravitační sílu vyjádříme vztahem:

$$F_g = \kappa \frac{mM}{(R+h_0)^2}, \quad (3.16)$$

kde κ je gravitační konstanta s hodnotou $\kappa = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$, m hmotnost družice, M hmotnost Země, R poloměr Země a h_0 výška družice nad povrchem Země. Pro dostředivou sílu platí vztah:

$$F_d = \frac{mv_0^2}{R+h_0} \quad (3.17)$$

Porovnejme rovnice (3.16) a (3.17) a vyjádřeme rychlost v_0 :

$$\begin{aligned} \kappa \frac{mM}{(R+h_0)^2} &= \frac{mv_0^2}{R+h_0} \\ v_0 &= \sqrt{\kappa \frac{mM(R+h_0)}{m(R+h_0)^2}} \\ v_0 &= \sqrt{\kappa \frac{M}{(R+h_0)}} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Dosazením získáváme rychlost družice ve výšce 400 km nad povrchem Země:

$$v_0 = \sqrt{6,674 \times 10^{-11} \cdot \frac{5,972 \times 10^{24}}{(6\,378\,000 + 400\,000)}} = 7\,668 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,67 \frac{\text{km}}{\text{s}} \quad (3.19)$$

Nyní ještě vypočtíme periodu oběhu družice kolem Země. V případě rovnoměrného pohybu po kružnici můžeme pro rychlost psát $v_0 = \frac{2\pi(R+h_0)}{T}$. Uvedený vztah dosadíme do (3.18):

$$\frac{2\pi(R+h_0)}{T} = \sqrt{\kappa \frac{M}{(R+h_0)}}$$

Obě strany rovnice umocníme na druhou a následně vyjádříme T .

$$T = \sqrt{\frac{(R + h_0)^3 \cdot 4\pi^2}{\kappa M}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R + h_0)^3}{\kappa M}}$$

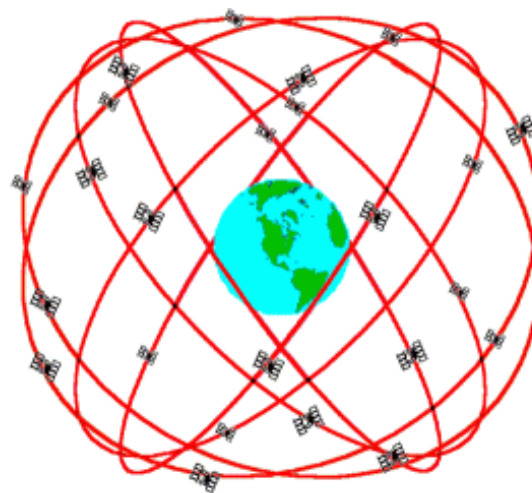
Po číselném dosazení dostáváme dobu jednoho oběhu družice kolem Země:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(6\,378\,000 + 400\,000)^3}{6,674 \times 10^{-11} \cdot 5,972 \times 10^{24}}} = 5554 \text{ s} = 92,6 \text{ min}$$

Družice se pohybuje na kruhové oběžné dráze kolem Země rychlostí $7,67 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ a doba jednoho oběhu kolem Země je 92,6 min. Můžeme tak navázat na kapitolu 3.1 a provést další výpočet týkající se Mezinárodní vesmírné stanice.

3.3 NAVSTAR GPS

Global Positioning System (GPS) je v současné době jediným plně funkčním navigačním systémem. Družice systému *GPS* jsou uspořádány na šesti kruhových drahách s inklinací 55° k rovině rovníku. Každá družice *GPS* vykoná za jeden hvězdný den dva oběhy kolem Země. Následující den je každá družice vždy na stejném místě o 4 minuty dříve. Každá z šesti drah má pět pozic pro umístění družice, z čehož vyplývá, že maximální počet družic na oběžné dráze kolem Země je 30. Pro plnou funkčnost systému stačí 24 družic, přičemž pátá pozice na každé dráze je záložní.



Obrázek 53: Schéma rozmístění GPS družic. [35]

3.3.1 RYCHLOST, VÝŠKA A PLOCHA ZEMĚ SNÍMATELNÁ DRUŽICÍ GPS

Dle oficiálních údajů⁸³ je rychlost každé družice rovna $11\,300 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ a jejich výška je $20\,190 \text{ km}$ nad Zemí. V příkladu budeme pracovat s dobou oběhu družice kolem Země

⁸³ Viz *Úvod do GSM*. <https://www.natur.cuni.cz> [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/>

rovné polovině hvězdného dne. V závěru využijeme výsledků získaných v kapitole 3.1 a stanovíme, jakou plochu Země každá z družic pokrývá.

Označme poloměr Země $R = 6\,378\text{ km}$, délku hvězdného dne $T' = 23\text{ h }56\text{ min}$ a hmotnost Země $M = 5,972 \cdot 10^{24}\text{ kg}$. Pracujeme pouze s polovinou hvězdného dne, pak tedy dostáváme $T = 11\text{ h }58\text{ min}$. Pro rychlost pohybu družice po kružnici bude platit vztah:

$$v = 2\pi \frac{R+h}{T}, \quad (3.20)$$

kde h je námi hledaná výška družice a v je její rychlost. Pro gravitační sílu platí, že je rovna síle dostředivé. Platí tedy:

$$\kappa \frac{mM}{(R+h)^2} = \frac{mv^2}{R+h}$$

Vyjádříme rychlost družice v :

$$v = \sqrt{\kappa \frac{M}{R+h}} \quad (3.21)$$

Porovnáme rovnice (3.20) a (3.21) a vyjádříme neznámou h :

$$2\pi \frac{R+h}{T} = \sqrt{\kappa \frac{M}{R+h}}$$

$$4\pi^2 \frac{(R+h)^2}{T^2} = \frac{\kappa M}{R+h}$$

$$(R+h)^3 = \frac{\kappa M T^2}{4\pi^2}$$

$$R+h = \sqrt[3]{\frac{\kappa M T^2}{4\pi^2}}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{\kappa M T^2}{4\pi^2}} - R$$

Po číselném dosazení získáváme výšku družic *GPS*.

$$h = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24} \cdot 43\,080^2}{4\pi^2}} - 6\,378\,000 = 2,0177 \cdot 10^7\text{ m} = 20\,177\text{ km}$$

Tato hodnota je dle oficiálních údajů společnosti GPS velice přesná⁸⁴. Po dosažení výšky družice do (3.18) nebo (3.19) získáme rychlost družice na oběžné dráze kolem Země.

$$v = 2\pi \frac{R+h}{T} = 2\pi \frac{6\,378\,000 + 2,022\,63 \cdot 10^7}{43\,080} = 3\,873 \frac{m}{s} = 3,87 \frac{km}{s}$$

$$v = \sqrt{\kappa \frac{M}{R+h}} = 3\,873 \frac{m}{s} = 3,87 \frac{km}{s}$$

Nyní se ještě zaměříme na to, jakou plochu zemského povrchu dokáže pokrýt v jednom okamžiku jedna družice GPS. Využijeme k tomu vztah (3.7) z kapitoly 3.1.1.⁸⁵

$$S_{GPS} = 2\pi R \left(\frac{h^2 + 2hR}{R+h} - h \right)$$

$$S_{Měsíc} = 2\pi \cdot 6378 \cdot \left(\frac{20\,177^2 + 2 \cdot 20\,177 \cdot 6\,378}{6\,378 + 20\,177} - 20\,177 \right)$$

$$S_{GPS} = 1,942 \cdot 10^8 km^2$$

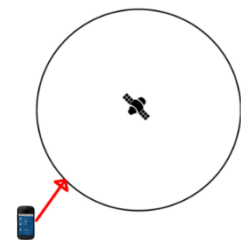
Výsledek porovnáme s plochou Země (3.5).

$$\frac{S_{GPS}}{S_Z} = \frac{1,942 \cdot 10^8}{5,112 \cdot 10^8} \cdot 100 \% = 37,99 \% \quad (3.22)$$

Jedna družice GPS je schopna pokrýt přibližně 38 % zemského povrchu.

3.3.2 ROZMÍSTĚNÍ DRUŽIC GPS A URČOVÁNÍ POLOHY NA ZEMI

Okolo planety Země obíhá 24 aktivních družic GPS, které vysílají na Zemi signál, který zachycují GPS přijímače. Družice vysílají speciálně zakódovaný signál, jenž obsahuje údaje o poloze všech satelitů. Problém nastává v přesnosti měření času, protože satelity využívají přesné atomové hodiny, kdežto GPS přijímač (mobilní telefon, navigace) takto přesným časem nedisponují. Čas je nutné korigovat pomocí speciálních algoritmů.

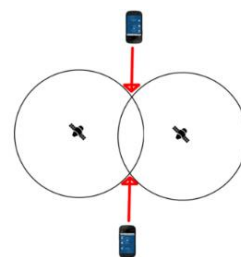


Obrázek 54: Přijímač a jeden satelit GPS.^[35]

⁸⁴ Dle oficiálních stránek www.gps.gov je výška družic přibližně 20 200 km nad povrchem Země.

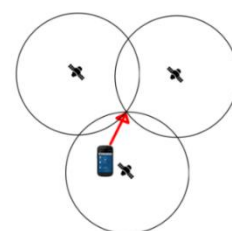
⁸⁵ Upozorňuji na změnu značení. Proměnná v nyní symbolizuje rychlost družice na oběžné dráze kolem Země. Proměnná h symbolizuje výšku družice.

Pokud známe čas, za který signál doputoval z družice do přijímače, pak lze pomocí rychlosti signálu vypočítat vzdálenost družice od naší polohy. Omezme se pouze na 2D prostor. Pokud bychom využili data získaná pouze z jedné družice, nacházeli bychom se v libovolném místě na kružnici, jejímž středem je GPS družice. Využitím signálu z druhé družice konkretizujeme polohu do dvou potenciálních míst. Třetí satelit už je schopen určit polohu GPS přijímače, v případě využití čtvrté družice získáme nadmořskou výšku.



Obrázek 55: Přijímač a dva satelity GPS. [35]

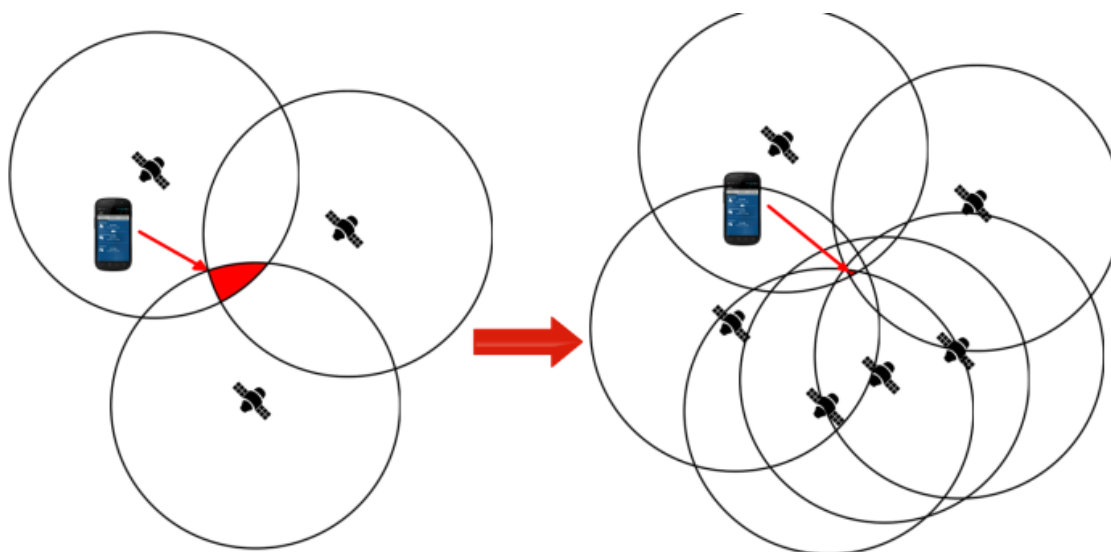
V reálném světě ale ani čtyři družice nepostačují k přesnému určení polohy, jelikož i malá chyba v určení délky letu signálu způsobí velkou chybu v určení polohy.



Obrázek 56: Přijímač a tři satelity GPS. [35]

Na průchod signálu atmosférou má vliv tzv. *ionosférické zpoždění*.

Horní část atmosféry nacházející se v oblasti 50 až 1 000 km nad Zemí obsahuje velké množství volných elektronů a elektricky nabitých částic. Ty ovlivňují průchod signálu. Množství elektricky nabitých částic není konstantní v čase a mění se v závislosti na aktivitě Slunce. *Ionosférická odchylka* je tedy odlišná ve dne a v noci. Rovněž závisí na ročním období. Menší vliv na odchylku mají erupce na Slunci, které jsou ale těžko předvídatelné. Velikost *ionosférického zpoždění* se pohybuje v průměru 5 až 15 m, v extrémních případech ale může dosahovat (erupce na Slunci) až 150 m. Pro výpočet této odchylky bylo vyvinuto několik matematických modelů, jako např. *Klobucharův* nebo *NeQuickův*, které dokážou opravit až 60 % *ionosférického zpoždění*.



Obrázek 57: Chyba při určení polohy třemi satelity GPS a následná korekce chyb. [35]

Pro přesné určení polohy *GPS* přijímače je nutné využívat větší množství družic, abychom chybu v určení polohy snížili na přijatelné minimum. Využitím většího množství družic dokážeme snížit chybu v určení polohy v řádech metrů, což je pro civilní účely dostačující.

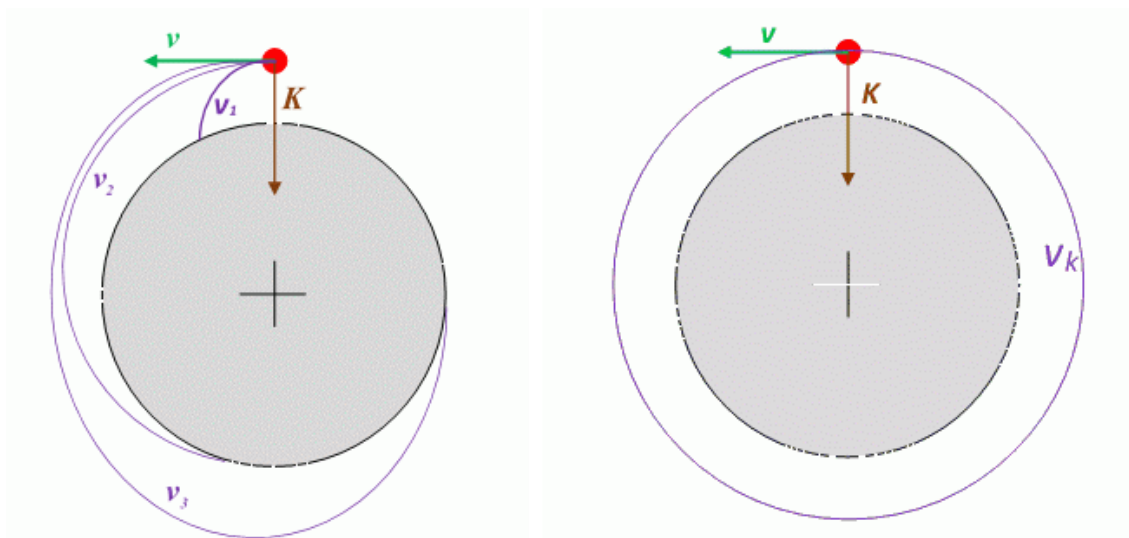
Z kolika družic může *GPS* přijímač signál přijímat? Z rovnice (3.22) víme, že jedna družice je schopna pokrýt 38 % povrchu Země. Předpokládejme pravidelné rozložení všech družic. Potom 24 družic pokryje celkem 912 % povrchu Země. Každý *GPS* přijímač by měl mít na kterémkoliv místě Země v libovolný čas přijímat signál z devíti družic.

3.4 KOSMICKÉ RYCHLOSTI

Pro kosmické lodě a družice vysílané do vesmíru je pojem kosmická rychlost velice důležitá. Veškeré družice, které mají setrvat na oběžné dráze kolem Země, musí dosáhnout *1. kosmické rychlosti*. Pokud by jí nedosáhly, Země by je stáhla do atmosféry, kde by shořely. Pokud bychom chtěli vyslat družici k cizímu vesmírnému tělesu, například k Marsu, musíme jí udělit *2. kosmickou rychlost*, která je potřebná k vymanění se z gravitačního působení Země. V případě nutnosti opustit s družicí sluneční soustavu bychom museli družici udělit *3. kosmickou rychlost*.

3.4.1 OBECNÉ ODVOZENÍ

Pro objekt pohybující se v centrálním poli síly platí, že směr jeho pohybu je ve směru okamžité rychlosti v , přičemž okamžitá rychlost je kolmá na vektor intenzity gravitačního pole K . V případě velmi malé rychlosti objektu v_1 je jeho trajektorie částí paraboly a jedná se spíše o vodorovný vrh. Nárůstem rychlosti se začne objekt pohybovat po části elipsy, která je uzavřena přes centrální těleso a opět dopadne na povrch (rychlosti $v_{2,3}$). Pokud ale dokážeme udělit objektu rychlost v_k , která je pro každé centrální těleso jiná, pak trajektorie objektu přejde z eliptické na kruhovou. Objekt v tomto případě setrvá na kruhové dráze, a pokud nesníží svoji rychlost, nedopadne na povrch centrálního tělesa. Objekt dosáhl tzv. *1. kosmické rychlosti* v_k , která je minimální rychlostí pro udržení objektu na oběžné dráze.



Obrázek 58: Změna zakřivení trajektorie družice v závislosti na její rychlosti. ^[152]

Pokud budeme stále zvyšovat okamžitou rychlost objektu, jeho trajektorie přejde na eliptickou. Oproti situacím s malými rychlostmi bude nyní eliptická trajektorie uzavřená. Dosažená eliptická rychlost v_e nebude konstantní, jelikož vlivem periodického přibližování a oddalování, tedy změně intenzity gravitačního pole od centrálního tělesa, se jeho rychlost bude zvětšovat a zmenšovat. Pokud budeme zvyšovat rychlost objektu v_e , změní se trajektorie objektu z eliptické na parabolickou s parabolickou rychlostí v_p . Tato rychlost je někdy označována jako *úniková rychlost*, častěji je ale známá jako *2. kosmická rychlost*, které je zapotřebí k odpoutání se od gravitačního vlivu centrálního tělesa.

3.4.2 1. KOSMICKÁ RYCHLOST – MATEMATICKÉ ODVOZENÍ

Mějme družici, která se pohybuje v blízkosti povrchu planety Země. Působí na ni gravitační síla F_g a dostředivá síla F_d . Jelikož se tyto dvě síly rovnají, pak můžeme psát:

$$\frac{mv_k^2}{R} = \kappa \frac{Mm}{R^2},$$

kde M je hmotnost planety, m je hmotnost družice a R je poloměr planety⁸⁶. Úpravou dostáváme:

$$v_k = \sqrt{\kappa \frac{M}{R}}.$$

⁸⁶ V odvození zmiňuji pouze planetu, centrálním tělesem ale může být hvězda nebo jiný vesmírný objekt.

Získali jsme kruhovou rychlost družice na povrchu planety. Ve skutečnosti ale musíme počítat s výškou družice h nad povrchem planety. Proto ve jmenovateli bude výraz $R + h$. Vidíme, že s rostoucí výškou družice se kruhová rychlost zmenšuje.

$$v_k = \sqrt{\kappa \frac{M}{R + h}}.$$

Získali jsme 1. *kosmickou rychlost* a po dosažení parametrů Země získáváme hodnotu při povrchu Země $7,9 \frac{km}{s}$.

3.4.3 2. KOSMICKÁ RYCHLOST – MATEMATICKÉ ODVOZENÍ

Družice musí dosáhnout 2. *kosmické rychlosti*, aby byla schopna opustit gravitační působení planety. Na základní a střední škole se uvádí vztah pro potenciální energii:

$$E_p = mgh,$$

který ale v našem případě nemůžeme využít, jelikož platí pouze pro tělesa nacházející se v homogenním tíhovém poli. Vztah pro potenciální energii tělesa v centrálním gravitačním poli je odvoditelný pouze integrací, ale na střední škole se neodvozuje. Proto ho pouze uvedeme:

$$E_p = -\kappa \frac{mM}{r},$$

kde r je vzdálenost družice a středu centrálního tělesa ($r = R + h$). Ze vzorce snadno vyčteme, že v případě dvou nekonečně vzdálených těles je jejich potenciální energie nulová a se zmenšující se vzdáleností klesá potenciální energie k záporné nekonečné hodnotě.

Uvedme ještě kinetickou energii družice, která při opouštění gravitačního působení planety není nulová. Pokud ale družice opustí působení centrálního tělesa, pak může „zastavit“ a v nekonečnu bude kinetická energie družice také nulová. Platí tedy:

$$E_k + E_p = 0$$

$$\frac{1}{2}mv_p^2 - \kappa \frac{mM}{r} = 0$$

Vyjádřením rychlosti v_p získáváme vztah

$$v_p = \sqrt{\frac{2\kappa M}{r}}$$

$$v_p = \sqrt{\frac{2\kappa M}{R+h}} = \sqrt{2}v_k$$

Získali jsme vztah pro 2. kosmickou rychlost, někdy také označovanou jako *parabolickou rychlost* či *únikovou rychlost*. Její hodnota při povrchu Země je:

$$v_p = \sqrt{2}v_k = 11,19 \times 10^3 \frac{m}{s} \quad (3.23)$$

Jak již bylo řečeno, z důvodu nemožnosti odvození vztahu pro potenciální energii se tento vztah na střední škole standardně neodvozuje a uvádí se pouze výsledný vztah (3.23). Vyšší kosmické rychlosti se ve středoškolské fyzice vzhledem k složitosti výpočtů již neuvádějí.

4 VYUŽITÍ 3D TISKÁREN VE VÝUCE FYZIKY

Zásadní význam, vzhledem k získávání empirických poznatků na základní a střední škole, má pro žáky experiment. Umožňuje žákům objasnit souvislosti napříč přírodovědnými předměty a je vhodným doplněním teoretické výuky. Zejména pak experimenty, které provádějí samotní žáci, vedou k aktivnímu osvojování učiva na základě vlastní činnosti.

Aby vyučující mohl experimenty provádět, potřebuje materiální vybavení, které ale je ve většině případů finančně náročné. Ceny didaktických pomůcek jsou mnohdy tak vysoké, že školy nemohou tolik financí na jejich pořízení vynaložit. Alternativou možností je výroba vlastních pomůcek pomocí 3D tiskáren, které v posledních několika letech jsou na základních a středních školách dostupnější.

4.1 FALCON 9 v1.2

V rámci této diplomové práce jsem se rozhodl vyrobit dvě didaktické pomůcky, které mají souvislost s letectvím a kosmonautikou a které je velice obtížné v České republice zakoupit.

Prvním příkladem je model rakety *Falcon 9 v1.2*, který je možné využít v hodinách fyziky na základní i na střední škole.

Výzkum vesmíru je prováděn zejména pomocí družic. Žáci si jsou vědomi, že družici do vesmíru vynáší nosná raketa. Méně znalostí však mají o průběhu celého letu do vesmíru. Z tohoto důvodu jsem vyrobil model rakety *Falcon v1.2* v měřítku 1:75, který lze rozložit na jednotlivé části tak, aby bylo možné simulovat průběh letu. Na modelu je možné žákům ukázat separaci prvního a druhého stupně, odhození aerodynamického krytu, vypuštění satelitu a přistání prvního stupně díky funkčním výklopným přistávacím nohám.

Pokud by škola uvažovala o koupi takového modelu, musela by se obrátit na zahraničního prodejce, jelikož v České republice není možné podobný model zakoupit. Nejlepší modely jsou k dispozici od společnosti *Buzz*



Obrázek 59:
Model rakety
Falcon 9. [Autor]

*Medialabs*⁸⁷ prodávané za více jak 600 €, což je zhruba 15 000 Kč. I přes mimořádnou kvalitu se stále jedná o částku pro většinu škol nedosažitelnou.

V případě, že má škola k dispozici 3D tiskárnu, může si takovýto model vyučující vyrobit. Zkušenosti s 3D programy jako *Autodesk Inventor* nejsou nutné, jelikož velké množství modelů je možné bezplatně stáhnout z internetu. Přesně takto jsem daný model získal já. Čistý tiskový čas modelu byl 195 hodin, následné modelářské práce, jako je lepení, broušení, tmelení a barvení, zabraly dalších 25 hodin. Během tisku bylo spotřebováno 1,5 kg *filamentu PLA*, což odpovídá při ceně 549 Kč za 1 kg *filamentu* 659 Kč. Modelářský tel, barvy ve spreji lepidlo a brusné papíry stály celkem 850 Kč. Celkové náklady na výrobu modelu činily přibližně 1 500 Kč.⁸⁸

4.2 DVOUPROUDÝ TURBO VENTILÁTOROVÝ MOTOR

Druhým modelem do výuky je řez dvou Proudým (turbo ventilátorovým) leteckým motorem, který nalezneme například u letounů *Boeing 747*, *Airbus A300* nebo *Douglas DC-10*. Na první pohled toho letecký motor a zaměření společnosti *SpaceX* nemají mnoho společného. Lidstvo se ale ke kosmonautice dostalo až po ovládnutí



Obrázek 60: 3D model dvou Proudého (turbo ventilátorového) leteckého motoru vyrobený pomocí 3D tiskárny.^[autor]

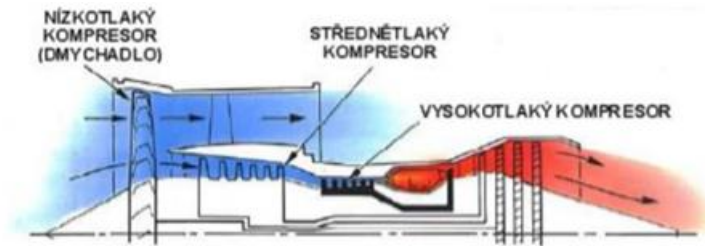
vzdušného prostoru pár kilometrů nad zemí. Pokud bych měl vybrat pomůcku, která je raketám nejbližší, jednalo by se právě o letecké motory.

Tento typ motoru jsem na stránkách prodejců didaktických pomůcek nenašel a nelze tak provést srovnání ceny modelu vytištěného s cenou prodejní. Model byl vytištěn na 3D tiskárně za 95 hodin. Bylo spotřebováno 0,7 kg *filamentu*, což odpovídá ceně 384 Kč. K dokončení pomůcky postačilo pouze vteřinové lepidlo a horká voda, což nám výslednou cenu modelu stanovilo na 400 Kč. Kompletace pak zabrala 25 hodin.

⁸⁷<https://www.buzzspacemodels.com/>

⁸⁸ Fotografie modelu rakety Falcon 9 v1.2 se nacházejí v příloze č. 2.

Mezi největší přednosti tohoto modelu patří řez a barevně zvýrazněné části motoru. Žákům je tak možné názorně popsat funkci motoru. Vzduch proudí do vnitřní části a je stlačován nízkotlakým a střednětlakým kompresorem (dmychadlem). Na modelu je tato oblast vyznačena modrou barvou. Následuje vstup vzduchu do vysokotlakého kompresoru a tzv. *horké části*, kde probíhá hoření (oranžová barva). Spaliny jsou následně odváděny pryč z celé sestavy⁸⁹.



Obrázek 61: Dvouproudý turbo ventilátorový motor.^[176]

⁸⁹ Fotografie modelu turbo ventilátorového dvouproudého motoru se nacházejí v příloze č. 3.

ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo zahrnutí tématu vesmírných letů společnosti *SpaceX* do výuky fyziky na střední škole. V první kapitole jsem se zabýval historií této společnosti a k relativně rychlému uskutečnění myšlenky znovupoužitelnosti prvních stupňů nosných raket. Právě znovupoužitelnost je pro zmiňovanou společnost charakteristickým znakem. Za sedmnáct let své existence dokázala rapidně zlevnit lety do vesmíru a předčila zaběhlé společnosti jako *Boeing*, *Arianespace* nebo *Orbital ATK*.

Ve středoškolské fyzice je vesmír, v závislosti na studijním oboru, probírán spíše okrajově. V hodinách tedy není příliš času žáky tímto odvětvím zaujmout. Za pomoci 3D tisku jsem vytvořil didaktické pomůcky, které toto téma žákům ztraktivní. Navíc je lze využít i v dalších tématech. Konkrétně se jedná o model turbo ventilátorového dvouproudého motoru a modelu rakety *Falcon 9 v1.2*. Využitím 3D tisku ve školách se zabývá čtvrtá kapitola.

Ve druhé kapitole je zpracováno dotazníkové šetření, ve kterém jsem žákům pokládal převážně otevřené otázky. Zjišťoval jsem, zda mají zájem o knihy a filmy s vesmírnou tematikou. Dále jsem se dotazoval, zda by se chtěli vydat na cestu do vesmíru a jaké mají důvody, aby takovou cestu uskutečnili, resp. neuskutečnili. Mnoho lidí zná *SpaceX* především díky jejím plánům cesty na Mars. Jednou z otázek jsem tedy zjišťoval, zda se domnívají, že člověk někdy dokáže Mars kolonizovat. Poslední část dotazníkového šetření se blíže zaměřila na společnost *SpaceX* a jejího zakladatele a majitele Elona Muska. V této části dotazníku nebylo cíleno na zjišťování vědomostí o společnosti, ale spíše jsem chtěl znát názory žáků na tuto společnost. Otázky směřovaly k vyjádření názoru, čím se *SpaceX* staví před konkurenci a čím je tato společnost nejvíce zaujala.

Ve třetí kapitole jsem se zaměřil na vytvoření fyzikálních úloh určených pro žáky středních škol. Jednalo se o obtížnější příklady, které bych zařadil do kategorie *náměty na dlouhodobou seminární práci z fyziky*. V kapitole 3.1 jsem za využití poměru, procent, vzorce pro kulový vrchlík, Pythagorovy věty a goniometrických funkcí dokázal stanovit, jak velkou plochu Země vidí astronauti z Mezinárodní vesmírné stanice, popř. z Měsíce. V kapitole 3.3 jsem pomocí gravitačního zákona a vzorců pro rovnoměrný pohyb po kružnici

stanovil oběžnou rychlost družice v závislosti na její vzdálenosti od Země. Kapitola 3.4 se následně zabývá 1. a 2. kosmickou rychlostí.

RESUMÉ

Diplomová práce vytváří v první řadě učební materiál pro žáky středních škol. Je zde popsána historie společnosti *SpaceX* a její největší úspěchy datované do konce roku 2018. Dotazníkovým šetřením jsem zjistil názory žáků o vesmíru, kosmických letech, jejich představách a názorech. Součástí diplomové práce byla výroba učebních pomůcek, konkrétně rakety *Falcon 9 v1.2* a dvouproudého turbo ventilátorového leteckého motoru. Obě tyto pomůcky byly vyrobeny na 3D tiskárně, což vedlo k razantnímu snížení ceny pomůcek v případě, že by škola chtěla tyto modely zakoupit od externího dodavatele.

Resume

This thesis, most importantly, creates a studying material for high school students. First of all, it describes the history of *SpaceX* and its greatest achievements until 2018. The questionnaire study I have concluded as part of this thesis targeted students and gathered data regarding space, space flights and their opinions and ideas. A big part of the thesis was production of teaching aids consisting of *Falcon 9* rocket (version 1.2) and a dual-jet engine. These have been created using 3D printing technology which ensured low production price. That being said, that makes these very affordable for schools to buy.

CITACE

- [1] The mind behind Tesla, SpaceX, SolarCity. In: Youtube [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IgKWPdJWuBQ>
- [2] Dušan Majer, SpaceX – historie, přítomnost a budoucnost. In: Youtube [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=WgC8XKXVouVA>
- [3] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 43
- [4] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 44
- [5] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 43-44
- [6] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8.s.45
- [7] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8.s.45-46
- [8] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8.s. 46
- [9] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 46
- [10] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 48
- [11] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 51
- [12] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 52
- [13] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 52
- [14] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 56
- [15] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 56-57
- [16] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 57
- [17] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 59
- [18] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 61

-
- [19] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 69
- [20] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 70
- [21] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 74
- [22] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 75-76
- [23] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 81
- [24] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 78
- [25] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 78
- [26] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 79
- [27] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 84
- [28] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 99
- [29] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 101
- [30] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 103
- [31] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 106
- [32] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 107
- [33] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 114
- [34] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 115
- [35] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 117
- [36] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 119
- [37] Gwynne Shotwell prozradila jméno speciálního robota, dobu repasování stupňů a cenu za cestu v BFR. *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/gwynne-shotwell-prozradila-jmeno-specialniho-robota-dobu-repasovani-stupnu-a-cenu-za-cestu-v-bfr>

- [38] Gwynne Shotwell prozradila jméno speciálního robota, dobu repasování stupňů a cenu za cestu v BFR. *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/gwynne-shotwell-prozradila-jmeno-specialniho-robota-dobu-repasovani-stupnu-a-cenu-za-cestu-v-bfr>
- [39] Gwynne Shotwell prozradila jméno speciálního robota, dobu repasování stupňů a cenu za cestu v BFR. *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/gwynne-shotwell-prozradila-jmeno-specialniho-robota-dobu-repasovani-stupnu-a-cenu-za-cestu-v-bfr>
- [40] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 120
- [41] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 123
- [42] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 125
- [43] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 125
- [44] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 126
- [45] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 130
- [46] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 130
- [47] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 135
- [48] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 137
- [49] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 183
- [50] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 183
- [51] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 197
- [52] Mise RATSAT. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-8-13]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-ratsat/>
- [53] VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8. s. 202-203
- [54] Elon Musk se rozpovídal o nových roštových kormidlech. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-8-13]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/elon-musk-se-rozpovidal-o-novych-rostovych-kormidlech/>
- [55] Mars: V raketě Falcon Heavy -dokument [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://dokumenty.tv/mars-v-rakete-falcon-heavy-dokument/?fbclid=IwAR2902Rq7jtmELxBHgAsLSd2uCm2XgPhlKLP77jjI6AGtb-hucrv37IDfj4>

- [56] Mars: V raketě Falcon Heavy -dokument [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://dokumenty.tv/mars-v-rakete-falcon-heavy-dokument/?fbclid=IwAR2902Rq7jtmELxBHgAsLSd2uCm2XgPhlKLP77jjI6AGtb-hucrv37IDfj4>
- [57] Mars: V raketě Falcon Heavy -dokument [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://dokumenty.tv/mars-v-rakete-falcon-heavy-dokument/?fbclid=IwAR2902Rq7jtmELxBHgAsLSd2uCm2XgPhlKLP77jjI6AGtb-hucrv37IDfj4>
- [58] Mars: V raketě Falcon Heavy -dokument [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://dokumenty.tv/mars-v-rakete-falcon-heavy-dokument/?fbclid=IwAR2902Rq7jtmELxBHgAsLSd2uCm2XgPhlKLP77jjI6AGtb-hucrv37IDfj4>
- [59] Musk: “Falcon Heavy má 50% šanci na úspěch, ale pokud to vyjde, konkurence si neškrtně”. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/musk-falcon-heavy-ma-50-sanci-na-uspech-ale-pokud-to-vyjde-konkurence-nebude-mit-sanci/>
- [60] TOP 11 motivačních citátů Elona Muska. *W4T* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.w4t.cz/top-11-motivacnich-citatu-elona-muska/>
- [61] TOP 11 motivačních citátů Elona Muska, část 2. *W4T* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.w4t.cz/top-11-motivacnich-citatu-elona-muska/2/>
- [62] TOP 11 motivačních citátů Elona Muska. *W4T* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.w4t.cz/top-11-motivacnich-citatu-elona-muska/>
- [63] Osobnosti SpaceX #1: Thomas Mueller, hlavní technolog pro vývoj pohonů. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-1-thomas-mueller-hlavni-technolog-pro-vyvoj-pohonu/>
- [64] Osobnosti SpaceX #1: Thomas Mueller, hlavní technolog pro vývoj pohonů. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-1-thomas-mueller-hlavni-technolog-pro-vyvoj-pohonu/>
- [65] Osobnosti SpaceX #1: Thomas Mueller, hlavní technolog pro vývoj pohonů. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-1-thomas-mueller-hlavni-technolog-pro-vyvoj-pohonu/>
- [66] Osobnosti SpaceX #1: Thomas Mueller, hlavní technolog pro vývoj pohonů. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-1-thomas-mueller-hlavni-technolog-pro-vyvoj-pohonu/>
- [67] Osobnosti SpaceX #2: Gwynne Shotwell, prezidentka a provozní ředitelka. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-2-gwynne-shotwell-prezidentka-a-provozni-reditelka/>
- [68] Osobnosti SpaceX #2: Gwynne Shotwell, prezidentka a provozní ředitelka. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-2-gwynne-shotwell-prezidentka-a-provozni-reditelka/>
- [69] Osobnosti SpaceX #2: Gwynne Shotwell, prezidentka a provozní ředitelka. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-2-gwynne-shotwell-prezidentka-a-provozni-reditelka/>
- [70] Osobnosti SpaceX #2: Gwynne Shotwell, prezidentka a provozní ředitelka. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-2-gwynne-shotwell-prezidentka-a-provozni-reditelka/>

- [71] Osobnosti SpaceX #3: Hans Koenigsmann, zajištění misí. ElonX [online]. [cit. 2019-01-04].
Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-3-hans-koenigsmann-zajisteni-misi/>
- [72] Osobnosti SpaceX #3: Hans Koenigsmann, zajištění misí. ElonX [online]. [cit. 2019-01-04].
Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-3-hans-koenigsmann-zajisteni-misi/>

SEZNAM LITERATURY A INTERNETOVÝCH ZDROJŮ

1. VANCE, Ashlee. Elon Musk: Tesla, SpaceX a hledání fantastické budoucnosti. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Hvězdy (Jan Melvil). ISBN 978-80-87270-73-8.
2. MAJER, Dušan. Evoluce systému Big Falcon Rocket (1) [online]. 11. září 2018 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2018/9/evoluce-systemu-big-falcon-rocket-1/>
3. MAJER, Dušan. Evoluce systému Big Falcon Rocket (2) [online]. 18. září 2018 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2018/9/evoluce-systemu-big-falcon-rocket-2/>
4. MAJER, Dušan. Evoluce systému Big Falcon Rocket (3) [online]. 25. září 2018 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2018/9/evoluce-systemu-big-falcon-rocket-3/>
5. MAJER, Dušan. Evoluce systému Big Falcon Rocket (4) [online]. 2. října 2018 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2018/10/evoluce-systemu-big-falcon-rocket-4/>
6. MAJER, Dušan. Evoluce systému Big Falcon Rocket (5) [online]. 2. října 2018 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2018/10/evoluce-systemu-big-falcon-rocket-5/>
7. Apartheid. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Apartheid>
8. Soweto. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Soweto>
9. Douglas Adams. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Douglas_Adams
10. Queen's University. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Queen%27s_University
11. Scotiabank. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Scotiabank>
12. Peter John Nicholson. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Peter_John_Nicholson
13. Justine Musk. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Justine_Musk
14. Zip2. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zip2>
15. Silicon Valley. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_Valley

16. Stanford University. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Stanford_University
17. Mohr Davidow Ventures. In: *Bloomberg* [online]. New York, USA: Bloomberg, 1981 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapId=21889>
18. Richard Sorkin. In: *Bloomberg* [online]. New York, USA: Bloomberg, 1981 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/research/stocks/private/person.asp?personId=700483&privcapId=552667983>
19. Goldman Sachs. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Goldman_Sachs
20. MELECHIN, Petr. Co způsobilo první tři selhání Falconu 1?. *ElonX* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/co-zpusobilo-prvni-tri-selhani-falconu-1/>
21. HADAČ, Jiří. Mise FalconSAT-2. *ElonX* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-falconsat-2/>
22. HADAČ, Jiří. Mise Demo-2. *ElonX* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-demo-2/>
23. HADAČ, Jiří. Mise Trailblazer. *ElonX* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-trailblazer/>
24. HADAČ, Jiří. Mise RatSat. *ElonX* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-ratsat/>
25. HADAČ, Jiří. Mise Falcon 9 Demo / DSQU. *ElonX* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-falcon-9-demo-dsqu/>
26. HADAČ, Jiří. Mise COTS-1. *ElonX* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-cots-1/>
27. HADAČ, Jiří. Mise COTS-2. *ElonX* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-cots-2/>
28. James Cameron. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/James_Cameron
29. Michael D. Griffin. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Michael_D._Griffin

30. Operace Paperclip. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Operace_Paperclip
31. Robert Zubrin. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Robert_Zubrin
32. Ralph Lauren. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ralph_Lauren
33. Dluhopisy brady. *Toptipfinance* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://cs.toptipfinance.com/brady-bonds>
34. ŠTUMFL, Daniel. *Jak funguje GPS*. Praha, 2007. Bakalářská práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova. Vedoucí práce Doc. RNDr. Jiří Tůma, DrSc. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/download/130214531/?lang=cs>
35. DOLEJŠ, Jan. Jak funguje zaměření polohy pomocí GPS? *Svět androida* [online]. 2015 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/gps-princip/>
36. KVAPIL, Jiří. Kosmický segment GPS a jeho budoucnost. *Aldebaran* [online]. 2005 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php
37. REICHL, Jaroslav. Úloha: Družice GPS. *Fyzika :: MEF - Jaroslav Reichl* [online]. Praha, 2010 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/main.downloads/file/?storageType=data%2Fmultimedia&relPath=%2F%5B%2B%5DMECHANIKA%2Fpohyb_teles_v_centralnim_gravitacnim_poli%2Fu_druzice_gps.pdf
38. Americký družicový navigační systém NAVSTAR GPS. *Český kosmický portál* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/gnss-mimo-evropu/americky-navstar-gps/>
39. Družice na oběžné dráze. *Fyzikalni olympiada* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/53/fo53b1_z.pdf
40. MAJER, Dušan. Malý průvodce po oběžných drahách. *Kosmonautix* [online]. 2013 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2013/02/maly-pruvodce-po-obeznych-drahach/>
41. ISS tracker. *ISS tracker* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.isstracker.com/>
42. Distance to the Horizon Calculator. *Ringbell* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.ringbell.co.uk/info/hdist.htm>
43. Wernher von Braun. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wernher_von_Braun

44. The Mars Project. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/The_Mars_Project
45. Barclays. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Barclays>
46. Peter Thiel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Peter_Thiel
47. Deutsche Bank. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Bank
48. Goldman Sachs. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Goldman_Sachs
49. ISC Kosmotras. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/ISC_Kosmotras
50. R-36 (missile). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/R-36_\(missile\)#R-36M_\(SS-18\)_variants](https://en.wikipedia.org/wiki/R-36_(missile)#R-36M_(SS-18)_variants)
51. Jim Cantrell. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Jim_Cantrell
52. TRW. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/TRW_Inc.
53. Orbital Sciences Corporation. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Orbital_Sciences_Corporation
54. Orbital ATK. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Orbital_ATK
55. Northrop Grumman. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman
56. Iridium Communications. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Iridium_Communications
57. Iridium Satellite LLC. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Iridium_Satellite_LLC

58. Gwynne Shotwell prozradila jméno speciálního robota, dobu repasování stupňů a cenu za cestu v BFR. *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/gwynne-shotwell-prozradila-jmeno-specialniho-robota-dobu-repasovani-stupnu-a-cenu-za-cestu-v-bfr>
59. Beal Aerospace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Beal_Aerospace
60. University of Southern California. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/University_of_Southern_California
61. Andrew Beal. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Andrew_Beal
62. Co způsobilo první tři selhání Falconu 1. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <http://www.elonx.cz/co-zpusobilo-prvni-tri-selhani-falconu-1/>
63. Kdo je to Elon Musk. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <http://www.elonx.cz/kdo-je-elon-musk/>
64. SpaceX a jejich zařízení. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <http://www.elonx.cz/spacex-jejich-zarizeni/>
65. Mise CRS-7. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <http://www.elonx.cz/mise-crs-7/>
66. Zkušební prototyp lodí Starship bude mít tři Raptory a bude potřebovat méně tepelné ochrany. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/zkusebni-prototyp-lodi-starship-bude-mit-tri-raptory-a-bude-potrebovat-mene-tepelne-ochrany/>
67. Kosmická loď Starship z nerezové oceli by mohla poprvé letět už na jaře. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/kosmicka-lod-starship-z-nerezove-oceli-by-mohla-poprve-letet-uz-na-jare/>
68. Vzestupy a pády v roce 2016. In: *Kosmonautix* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2017/05/vzestupy-a-pady-v-roce-2016/>
69. SpaceX sladila design věže rampy. In: *Kosmonautix* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2018/12/spacex-sladila-design-veze-rampy/>
70. Sestavování testovací Starship pokračuje. In: *Kosmonautix* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2018/12/sestavovani-testovaci-starship-pokracuje>
71. Mercatorovo zobrazení. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mercatorovo_zobrazen%C3%AD
72. Atol Kwajalein. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Kwajalein_Atoll

73. Federal Aviation Administration. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Federal_Aviation_Administration
74. Strategická obraná iniciativa. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Strategick%C3%A1_obrann%C3%A1_iniciativa
75. Autonomní přistávací plošiny. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/autonomni-pristavaci-plosiny>
76. Mise COTS-1. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-cots-1>
77. Kolik je SpaceX levnější oproti konkurenci? Rozdíl je propastný. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/o-kolik-je-spacex-levnejsi-oproti-konkurenci-rozdil-je-propastny/>
78. Kosmonautix: Jak SpaceX vyvinulo materiál PICA-X. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/kosmonautix-jak-spacex-vyvinulo-material-pica-x>
79. Spolupráce NASA a SpaceX: Zásobování ISS. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/spoluprace-nasa-a-spacex-zasobovani-iss/>
80. Mise CRS-11. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-crs-11/>
81. Spolupráce NASA a SpaceX: Lety na ISS s lidskou posádkou. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/spoluprace-nasa-a-spacex-lety-na-iss-s-lidskou-posadkou/>
82. Dragon. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/dragon/>
83. Spolupráce NASA a SpaceX: Zásobování ISS. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/spoluprace-nasa-a-spacex-zasobovani-iss/>
84. Trunk. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/glossary/trunk/>
85. LZ-1. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/glossary/lz-1/>
86. Přehled startů. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/prehled-startu/>
87. Elon Musk se rozpovídal o nových roštových kormidlech. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/elon-musk-se-rozpovidal-o-novych-rostovych-kormidlech/>
88. Rakety FALCON a její varianty. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/raketa-falcon-a-jeji-varianty/>

89. Spolupráce NASA a SpaceX. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/spoluprace-nasa-a-spacex-zasobovani-iss/>
90. Projekty Elona Muska v roce 2018 – úspěchy, selhání i skandály. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/projekty-elona-muska-v-roce-2018-uspechy-selhani-i-skandaly/>
91. Kosmická loď Starship z nerezové oceli by mohla poprvé letět už na jaře. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/kosmicka-lod-starship-z-nerezove-oceli-by-mohla-poprve-letet-uz-na-jare/>
92. Spolupráce NASA a SpaceX: Zásobování ISS. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/spoluprace-nasa-a-spacex-zasobovani-iss/>
93. Mise Falcon 9 Demo / DSQU. In: *ElonX* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-falcon-9-demo-dsqu/>
94. Mise Falcon 9 Demo / DSQU/PICA-X – materiál komerční budoucnosti. In: *Kosmonautix* [online]. 2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2017/03/pica-x-material-komercni-budoucnosti/>
95. Tepelný štít. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%BD_%C5%A1t%C3%ADt
96. DARPA. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/DARPA>
97. International Docking Adapter. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Docking_Adapter
98. 10 Events That Defined Elon Musk's Crazy Year. *Inverse* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.inverse.com/article/9021-10-events-defined-elon-musk-crazy-year>
99. Kdo je Elon Musk. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/kdo-je-elon-musk/>
100. Elon Musk. *Pinterest* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/628533691719323475/>
101. RadioKorea. *Radiokorea* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://www.radiokorea.com/images/news/2016/11/03/243538/1.jpg>
102. PayPal. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/PayPal>
103. Elon Musk made his first millions in the paypal mafia. *NYpost* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://nypost.com/2018/07/24/elon-musk-made-his-first-millions-in-the-paypal-mafia>

104. Gwynne Shotwell prozradila jméno speciálního robota dobu repasování stupně a cenu za cestu v BFR. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/gwynne-shotwell-prozradila-jmeno-specialniho-robota-dobu-repasovani-stupnu-a-cenu-za-cestu-v-bfr/>
105. Musk's SpaceX project needs Central Texas farmer. *Star telegraph* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.star-telegram.com/news/business/article4312711.html>
106. The Falcon and the showman. *Space review* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://www.thespacereview.com/article/70/1>
107. Falcon 1 to launch today. *Spaceflight now* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://spaceflightnow.com/falcon/003/preview.html>
108. Mise CRS-7. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-crs-7/>
109. Mise Iridium 2. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-iridium-2/>
110. Mise Orbcomm-2. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/orbcomm-og2-launch-2/>
111. Mise CRS-14. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-crs-14/>
112. Mise Iridium-7. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-iridium-7/>
113. Přehled motorů SpaceX. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/prehled-motoru-spacex/>
114. Historie přistávání a znovupoužitelnosti. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/historie-pristavani-znovupouzitelnosti/>
115. SpaceX's third Block 5 rocket heads to Texas test site as launch marathon nears. *Teslarati* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.teslarati.com/spacex-falcon-9-block-5-texas-static-fire-tests/>
116. Kdo zaplatí havárii falconu. *Kosmonautix* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2016/09/kdo-zaplati-havarii-falconu/>
117. Skafandr SpaceX v celé kráse. *Kosmonautix* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/2017/09/skafandr-spacex-v-cele-krase/>
118. GRASSHOPPER TEST VEHICLE LAUNCHES IN MC GREGOR TX. *SpaceX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.spacex.com/media-gallery/detail/149411/9176>
119. SpaceX Elona Muska vyšle již příští rok do vesmíru první astronauty. Mise je v plánu na červen. *SpaceX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.czechcrunch.cz/2018/11/spacex-elona-muska-vysle-jiz-pristi-rok-do-vesmiru-prvni-astronauty-mise-je-v-planu-na-cerven/>

120. Dragon. *Spaceflight101* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z:
<http://spaceflight101.com/spacecraft/dragon/>
121. Falcon 9 Launch and Landing Infographic. *Reddit* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z:
https://www.reddit.com/r/spacex/comments/3xieex/falcon_9_launch_and_landing_infographic/
122. Osobnosti SpaceX #1: Thomas Mueller, hlavní technolog pro vývoj pohonů. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-1-thomas-mueller-hlavni-technolog-pro-vyvoj-pohonu/>
123. Osobnosti SpaceX #2: Gwynne Shotwell, prezidentka a provozní ředitelka. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-2-gwynne-shotwell-prezidentka-a-provozni-reditelka/>
124. Society of woman engineers. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Society_of_Women_Engineers
125. Northwestern University. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Northwestern_University
126. Severozápadní univerzita. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Severoz%C3%A1padn%C3%AD_univerzita
127. Robert R. McCormick School of Engineering and Applied Science. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_R._McCormick_School_of_Engineering_and_Applied_Science
128. The Aerospace Corporation. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/The_Aerospace_Corporation
129. Federally funded research and development centers. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Federally_funded_research_and_development_centers
130. Technical University of Berlin. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Technical_University_of_Berlin
131. ZARM. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/ZARM>

132. It all Started with a Suit: The Story Behind Shotwell's Rise to SpaceX. *Via Satellite* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.satellitetoday.com/business/2014/04/21/it-all-started-with-a-suit-the-story-behind-shotwells-rise-to-spacex/>
133. Osobnosti SpaceX #3: Hans Koenigsmann, zajištění misí. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/osobnosti-spacex-3-hans-koenigsmann-zajisteni-misi/>
134. Mise SES-10. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/mise-ses-10/>
135. Co všechno SpaceX chystá na rok 2019?. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/co-vsechno-spacex-chysta-na-rok-2019/?fbclid=IwAR2bcid0qGkU4ZRR3WgBsFDYkEDfG-WGklES2Bn8VGMUCMGkpirW4PcTk4w>
136. Reaction research society. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Reaction_Research_Society
137. Mars: V raketě Falcon Heavy -dokument [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://dokumenty.tv/mars-v-rakete-falcon-heavy-dokument/?fbclid=IwAR2902Rq7jtmELxBHgAsLSd2uCm2XgPhlKLP77jjI6AGtb-hucrv37IDfj4>
138. Mars: V raketě Falcon Heavy -dokument. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/skvely-novy-dokument-o-falconu-heavy-od-national-geographic/>
139. Musk: "Falcon Heavy má 50% šanci na úspěch, ale pokud to vyjde, konkurence si neškrtně". *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/musk-falcon-heavy-ma-50-sanci-na-uspech-ale-pokud-to-vyjde-konkurence-nebude-mit-sanci/>
140. Materiály použité na raketě Super Heavy Starship prošly „zásadní změnou”. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/materialy-pouzite-na-rakete-super-heavy-starship-prosly-zasadni-zmenou/>
141. Demonstrační mise Falconu Heavy. *ElonX* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/demonstracni-mise-falconu-heavy/>
142. TOP 11 motivačních citátů Elona Muska. *W4T* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.w4t.cz/top-11-motivacnich-citatu-elona-muska/>
143. TOP 11 motivačních citátů Elona Muska, část 2. *W4T* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.w4t.cz/top-11-motivacnich-citatu-elona-muska/2/>
144. Startovní a přistávací plošiny. *Elonx.com* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/startovni-a-pristavaci-plosiny/>
145. Kosmická loď Starship bude z kovu a nosič Super Heavy se začne vyrábět už na jaře. *Elonx.com* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/kosmicka-lod-starship-bude-z-kovu-a-nosic-super-heavy-se-zacne-vyrabet-uz-na-jare/>

146. Materiály použité na raketě Super Heavy Starship prošly „zásadní změnou“. *Elonx.com* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/materialy-pouzite-na-rakete-super-heavy-starship-prosly-zasadni-zmenou/>
147. SpaceX má povolení provozovat dalších 7518 satelitů Starlinku a upravilo svůj plán pro úvodní menší konstelaci. *Elonx.com* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/spacex-ma-povoleni-provozovat-dalsich-7518-satelitu-starlinku-a-upravilo-svuj-plan-pro-uvodni-mensi-konstelaci/>
148. Falcon 9 se už měnit nebude, SpaceX se místo toho soustředí na “radikálně změněné” BFR. *Elonx.com* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/falcon-9-se-uz-menit-nebude-spacex-se-misto-toho-soustredi-na-radikalne-zmenene-bfr/>
149. Co to jsou kosmické rychlosti?. *Astro* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.astro.cz/clanky/kosmonautika/co-to-jsou-kosmicke-rychlosti.html>
150. ŠULC, Miroslav. První, druhá a třetí kosmická rychlost. *Planetary* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://www.planetary.cz/2011/03/prvni-druha-a-treti-kosmicka-rychlost/>
151. Kosmická rychlost. *Kosmonautix* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/tag/kosmicka-rychlost/>
152. Pohyby v gravitačním poli Země a dalších velkých těles. *Kvinta* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: http://kvinta.html.wz.cz/fyzika/mechanika/gravitacni_pole/pohyby_v_gravitacnim_poli.html
153. Dušan Majer, SpaceX – historie, přítomnost a budoucnost. In: Youtube [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=WgC8XKVouVA>
154. The mind behind Tesla, SpaceX, SolarCity. In: Youtube [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IgKWPdJWuBQ>
155. Dušan Majer, budoucnost SpaceX. In: Youtube [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=mZQ-UaESgQI>
156. How Much of the Earth Can You See at Once?. *Youtube* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=mxhL1LzKww&t=321s>
157. Klíčové otázky. Prázdninová škola Lipnice [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: http://pslold.psl.cz/projekt-klicovy-rok/tymoveprojekty/docs/Kliceni_Otazky.pdf
158. Malý princ. Československá bibliografická databáze [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.cbdb.cz/kniha-533-maly-princ-le-petit-prince>
159. Nejúspěšnější filmy. Kinomaniak [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <http://kinomaniak.cz/nejuspesnejsi-filmy/celkove/historie/>
160. Avatar. Kinomaniak [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <http://kinomaniak.cz/filmy/avatar/>

161. Marvel Studio. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Marvel_Studios
162. Marvel Cinematic Universe. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Marvel_Cinematic_Universe
163. Raketoplán Columbia. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Columbia_\(raketopl%C3%A1n\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Columbia_(raketopl%C3%A1n))
164. Raketoplán Challenger. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Challenger_\(raketopl%C3%A1n\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Challenger_(raketopl%C3%A1n))
165. Jules Verne. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jules_Verne
166. Stopařův průvodce po galaxii [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.databazeknih.cz/knihy/stoparuv-pruvodce-galaxii-stoparuv-pruvodce-galaxii-3996?c=all>
167. Tesla, autorizovaný servis Praha [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/tesla-autorizovany-servis-praha-126258>
168. The Boring Company Elona Muska otevřela první testovací tunel na přepravu automobilů [online]. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.czechcrunch.cz/2018/12/the-boring-company-elona-muska-otevrela-prvni-testovaci-tunel-na-prepravu-automobilu/>
169. KRÁLOVEC, Martin, *Projekt Apollo a jeho začlenění do výuky fyziky na základní škole*. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta pedagogická. Vedoucí práce PhDr. Ing. Ota Kéhar, Ph. D.
170. Většina škol omezuje přístup k 3D tiskárnám. *SCIENCEmag* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/vetsina-skol-omezuje-pristup-k-3d-tiskarnam/>
171. SEFZIG, Luděk. 7 důvodů pro využití 3D tisku ve školách. *Metodický portál RVP* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/O/21812/7-duvodu-pro-vyuziti-3d-tisku-ve-skolach.html/>
172. 3D TISK PRO VZDĚLÁVÁNÍ. *Ysoft* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.ysoft.com/cs/solutions/business-areas/education/3d-printing-for-education>
173. Školní vzdělávací program pro základní školy. *ZŠ Petrovice* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <http://www.zsprahapetrovice.cz/doc/2014-SVP.pdf>
174. RVP pro gymnázia. *MŠMT* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: http://www.msmt.cz/file/10427_1_1/
175. Buzz Space Models. *Buzz Space Models* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.buzzspacemodels.com/>
176. DOSEDĚL, Filip, *Přehled technických aspektů vývoje leteckých proudových motorů*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, letecký ústav. Vedoucí práce Ing. Pavel IMRIŠ, Ph. D.
177. Přípravy prototypu Starship [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.elonx.cz/pripravy-prototypu-lodi-starship/>

178. Úvod do GSM. <https://www.natur.cuni.cz> [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/>
179. Geostacionární družice a povrch. Astronomia [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: astronomia.zcu.cz
180. PhDr. Ing. Ota Kéhar, Ph.D.: *Schéma (kulový pás)*.

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ

Obrázek 1: Elon Musk ^[98]	4
Obrázek 2: Elon Musk v dětství. ^[99]	5
Obrázek 3: Elon Musk na kolejích Queen's University at Kingston. ^[100]	9
Obrázek 4: Jeden z mnoha večírků uspořádaný dvojicí Elon Musk a Adeo Ressi. ^[101]	11
Obrázek 5: Logo společnosti Zip2. ^[14]	12
Obrázek 6: Elon Musk při práci ve své první společnosti (Zip2). ^[99]	13
Obrázek 7: Logo společnosti PayPal. ^[102]	18
Obrázek 8: Elon Musk a Kimbal Musk. ^[103]	20
Obrázek 9: Raketa Falcon 1. ^[88]	27
Obrázek 10: Gwynne Shotwellová a Matt Desch (2018). ^[104]	30
Obrázek 11: Test motoru Merlin v McGregoru. ^[105]	31
Obrázek 12: Raketa Falcon 1 na ostrově Kwaj. ^[107]	36
Obrázek 13: První start rakety Falcon 1. ^[21]	37
Obrázek 14: Start mise COTS-1. ^[26]	41
Obrázek 15: Falcon 9 v1.1 před startem mise CRS-7. ^[108]	42
Obrázek 16: Přeprava prvního stupně rakety Falcon 9. ^[115]	43
Obrázek 17: První Falcon 9 v1.2 během přípravy mise Orbcomm-2. Na snímku je první stupeň s roštovými kormidly. ^[110]	44
Obrázek 18: Detail nových roštových kormidel. ^[109]	44
Obrázek 19: Destrukce rakety Falcon 9 (mise Amos-6). ^[116]	45
Obrázek 20: Kosmická loď Dragon během mise CRS-14 při přiletu na ISS. Dragon byl již jednou použitý. ^[111]	46
Obrázek 21: Kosmická loď Dragon s trunkem. ^[120]	47
Obrázek 22: Instalace segmentů PICA-X 1. generace na tepelný štít lodi Dragon. ^[94]	47
Obrázek 23: Skafandr v podání SpaceX. V pozadí kosmická loď Dragon 2. ^[117]	49
Obrázek 24: Test motorů SuperDraco. ^[113]	49
Obrázek 25: Elon Musk, Jim Bridenstine a astronauté uvnitř nástupního ramene před misí DM-1. ^[178]	50
Obrázek 26: Astronauti, kteří poletí jako první v kosmické lodi Crew Dragon. Zleva: Mike Hopkins, Doug Hurley, Bob Behnken a Victor Glover. ^[119]	50
Obrázek 27: Grasshopper při testování v McGregoru. [118]	51
Obrázek 28: Příjezd prvního stupně do přístavu během mise Iridium-7. ^[112]	52
Obrázek 29: Profil letu a přistání během mise rakety Falcon 9. ^[121]	54
Obrázek 30: První stupeň Falconu 9 při pokusu o přistání na plovoucí plošině během mise CRS-6. ^[114]	55
Obrázek 31: Falcon Heavy na rampě LC-39A v prosince 2017. ^[141]	56
Obrázek 32: Tesla Roadster a skafandr SpaceX během uzavírání do krytu. ^[141]	57
Obrázek 33: Takto si základnu na Marsu představoval Wernher von Braun. ^[2]	58
Obrázek 34: Elon Musk a kompozitová nádrž pro ITS. ^[140]	58
Obrázek 35: Kosmická loď Starship a superraketa Super Heavy. ^[135]	59
Obrázek 36: Vrchní část prototypu lodi Starship. ^[135]	60
Obrázek 37: Tom Mueller v 80. letech ve státu Idaho. ^[122]	61
Obrázek 38: Tom Mueller a jeho výtvořky – různé varianty motoru Merlin. ^[122]	62
Obrázek 39: Gwynne Shotwellová ^[132]	63
Obrázek 40: Shotwellová se svým manželem. ^[132]	64
Obrázek 41: Hans Koenigsmann jako zástupce SpaceX na tiskové konferenci před misí programu CRS. ^[133]	65
Obrázek 42: Hans Koenigsmann s Elonem Muskem během tiskové konference po misí CRS-8, při které došlo k prvnímu úspěšnému přistání na ASDS. ^[133]	66
Obrázek 43: Výška hor ve srovnání s velikostí Země. ^[156]	76
Obrázek 44: Terénní profil – Spojené státy americké. ^[156]	77
Obrázek 45: Terénní profil – Spojené státy americké (osa x a osa y jsou nyní ve stejném měřítku). ^[156]	77
Obrázek 46: Představa, jaká část povrchu Země je viditelná z ISS. ^[156]	77
Obrázek 47: Povrch Země viditelný z ISS. ^[156]	78
Obrázek 48: Schéma (horizont). ^[Autor]	78
Obrázek 49: Schéma (horizont). ^[Autor]	79

Obrázek 50: Obrázek vlevo: fotografie pořízená speciálními fotoaparáty. vpravo: pohled člověka z ISS. ^[156]	Obrázek 80
Obrázek 51: Schéma (horizont). ^[179]	81
Obrázek 52: Schéma (kulový pás). ^[180]	84
Obrázek 53: Schéma rozmístění GPS družic. ^[35]	87
Obrázek 54: Přijímač a jeden satelit GPS. ^[35]	89
Obrázek 55: Přijímač a dva satelity GPS. ^[35]	90
Obrázek 56: Přijímač a tři satelity GPS. ^[35]	90
Obrázek 57: Chyba při určení polohy třemi satelity GPS a následná korekce chyb. ^[35]	90
Obrázek 58: Změna zakřivení trajektorie družice v závislosti na její rychlosti. ^[152]	92
Obrázek 59: Model rakety Falcon 9. ^[Autor]	95
Obrázek 60: 3D model dvouproudého (turbo ventilátorového) leteckého motoru vyrobený pomocí 3D tiskárny. ^[autor]	96
Obrázek 61: Dvouproudý turbo ventilátorový motor. ^[176]	97
Obrázek 62: Model rakety Falcon 9 v1.2 + Dragon ^[Autor]	III
Obrázek 63: Dvouproudý turbo ventilátorový motor. ^[Autor]	IV
Graf 1: přehled startů do vesmíru v roce 2018. ^[90]	46
Graf 2: Statistika úspěšných a neúspěšných přistání prvních stupňů rakety Falcon 9. ^[Autor]	53
Graf 3: Oblíbená kniha / film s vesmírnou tematikou. ^[Autor]	69
Graf 4: Oblíbená kniha s vesmírnou tematikou. ^[Autor]	70
Graf 5: Oblíbený film s vesmírnou tematikou. ^[Autor]	70
Graf 6: Názor na cestování do vesmíru. ^[Autor]	71
Graf 7: Důvody, proč se vydat do vesmíru. ^[Autor]	71
Graf 8: Důvody, proč se nevydat do vesmíru. ^[Autor]	72
Graf 9: Kdy se člověk dostane na Mars. ^[Autor]	73
Graf 10: Společnost SpaceX v povědomí žáků střední školy. ^[Autor]	74
Graf 11: Čím SpaceX zaujala žáky střední školy? ^[Autor]	74
Graf 12: V čem se SpaceX liší od konkurence. ^[Autor]	75
Graf 13: Další společnosti Elona Muska. ^[Autor]	75
Graf 14: Závislost procentuální části viditelného povrchu Země na vzdálenosti pozorovatele. ^[Autor]	83

PŘÍLOHA Č. 1 – DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ

Dotazníkové šetření zabývající se aktuálním zájmem a vědomostmi v oblasti kosmonautiky u žáků učebních a maturitních oborů.

Děkuji za vyplnění tohoto anonymního dotazníku k mé diplomové práci, která se zabývá společností SpaceX a zájmem o kosmonautiku u žáků maturitních a učebních oborů.

1. Věk:

2. Máte oblíbený film nebo knihu s vesmírnou tématikou? Pokud ano, uveďte název a co Vám na filmu / knize nejvíce upoutalo:

Film:.....
.....
.....
.....
.....

Kniha:.....
.....
.....
.....
.....

3. Chtěli byste se podívat do vesmíru a proč ano/ne?

.....
.....
.....
.....
.....

4. Chtěli byste se vydat na jinou planetu? Proč ano / ne.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Myslíte si, že člověk někdy kolonizuje Mars? Kdy to dle Vás bude?

.....
.....
.....

6. Znáte firmu SpaceX? Pokud ano, jak byste ji charakterizovali:

.....
.....
.....

V případě záporné odpovědi u otázky č. 10 vynechte otázky 11 až 12

7. Čím Vás poprvé zaujala společnost SpaceX a o jakém jejím největším úspěchu víte.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

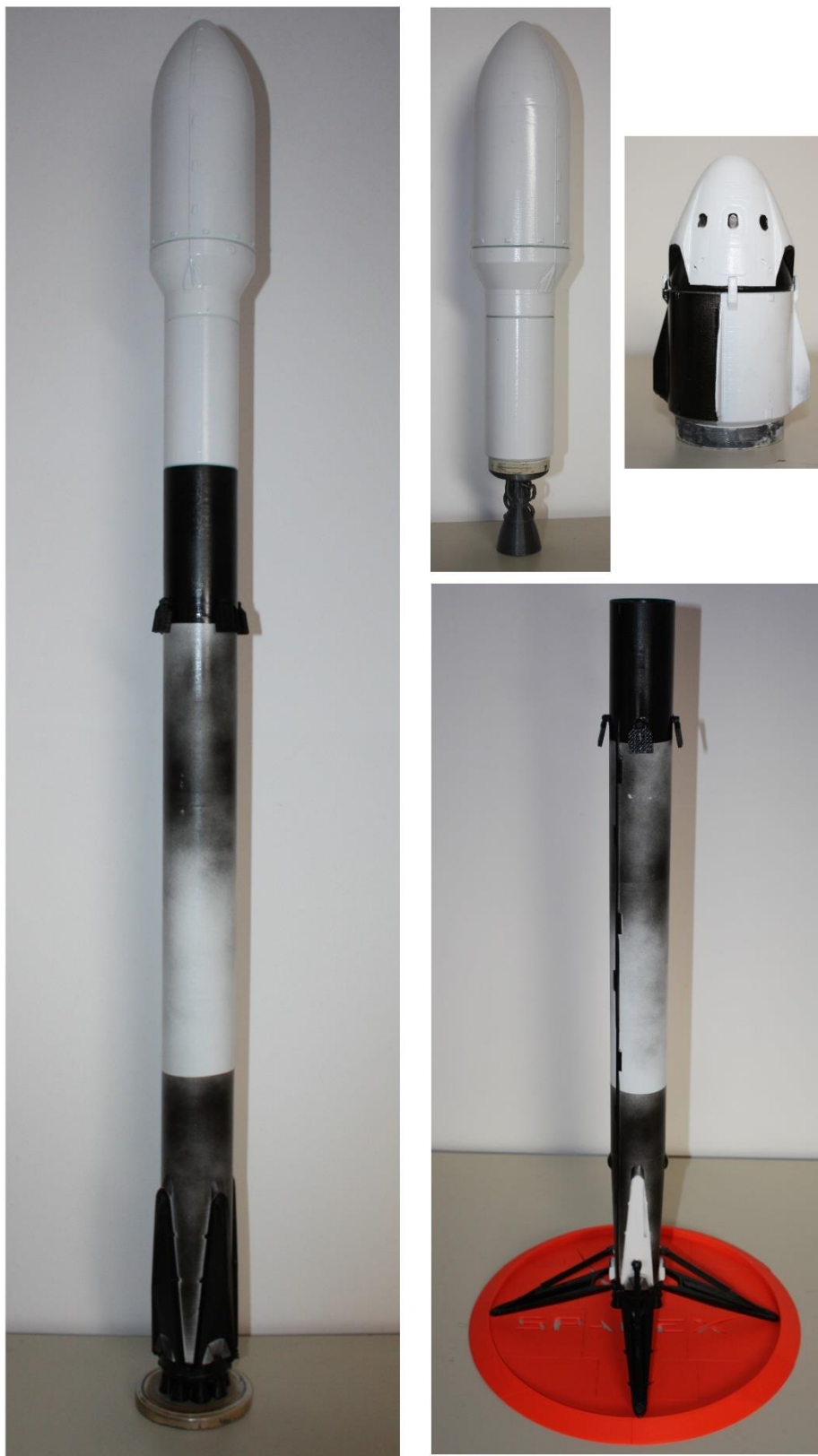
8. Čím se podle Vás nejvíce odlišuje společnost SpaceX oproti konkurenci?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

9. Společnost SpaceX vlastní Elon Musk. Ten vlastní i řadu dalších společností. Dokážete uvést tyto společnosti a čím se zabývají?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

PŘÍLOHA Č. 2 – MODEL RAKETY FALCON 9 v.1.2



Obrázek 62: Model rakety Falcon 9 v1.2 + Dragon^[Autor]

PŘÍLOHA Č. 3 – MODEL TURBO VENTILÁTOROVÉHO DVOUPROUDÉHO MOTORU



Obrázek 63: Dvouproudý turbo ventilátorový motor. [Autor]