



Středoškolská technika 2019

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Vesmírný výtah

Jan Odvrša, Václav Krutil

Střední škola technická

Kouřilkova 8, 750 02 Přerov

Anotace:

Autoři poukazují na možnost jak se dostávat do vesmíru levně bez použití raket na tuhé či tekuté palivo. Další možné využití výtahu, možná problematika a řešení. Práce je doplněna o model vesmírného výtahu, šplhače.

Musím připomenout, že tento článek vzhledem k omezenému rozsahu slouží pouze jako úvod do problematiky vesmírného výtahu. Nemohli jsme tu pokrýt celou její šířku do detailů. Mnohem podrobnější studii a i odpovědi na další otázky najdete v originální studii uvedené na konci článku jakožto i v příspěvcích z poslední konference týkající se výtahu.



/1/

Vesmírný výtah

SPACE ELEVATOR

Jan Odvrša, Václav Krutil | Mch 1 | 28. 3. 19

Obsah

Úvod	3
Stačí jen napnout Lano	4
Z fyzikálního hlediska	5
Jak roste výtah	5
Dostupné cíle	6
ŠPLHAČ	8
Celosvětové soutěže	8
Soutěž o nejpevnější lano	8
Soutěž o šplhač	9
Problémy a jejich navrhovaná řešení	10
Oxidace atmosférickým kyslíkem	10
Odpad a trosky na oběžné dráze. Mikrometeority	10
Monitorování trosk	10
Vhodný makroskopický a mikroskopický design lana	10
Zahřívání lana	11
Neexistující technologie - utopie?	12
Náš model vesmírného výtahu	14
První nápady	14
Lano	15
Základna	16
Šplhač (climber)	17
Zdroje:	18

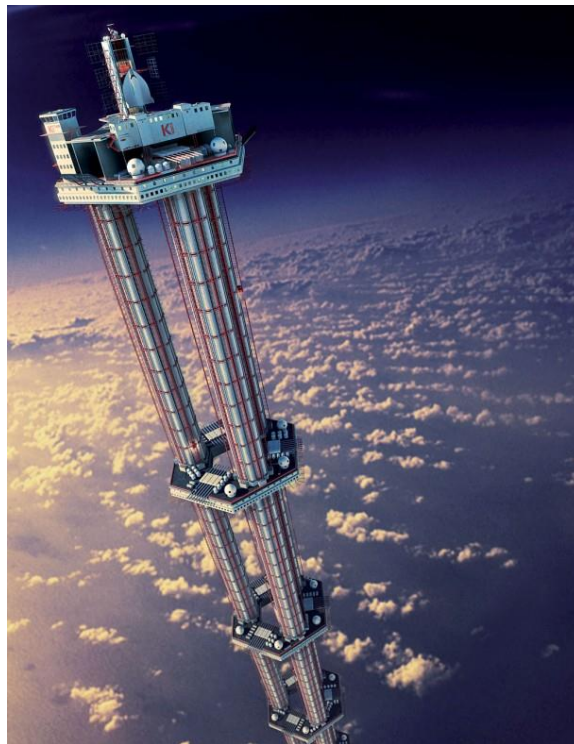
Úvod

Představte si hotel, který se s vámi tiše a měkce vznese do oblak. Za širokými panoramatickými okny můžeme pozorovat, jak nebe postupně tmavne a tmavne. Nestmívá se, to jen cestovní kabina stoupá nad zemskou atmosféru. Současně zvolna odplouvá i vaše tíže. O několik dní později dorazíte k rozsáhlé orbitální stanici. Vítejte v Kosmu. Právě jste se svezli vesmírným výtahem.

Takto by mohly vypadat noviny za pár desítek let, kdy by mohl být spuštěn první vesmírný výtah.

Proč jsme si toto téma vybrali? Po dlouhé diskuzi s nápady jsme se jednoznačně shodly nad vesmírným výtahem. Hlavním důvodem proč jsme si ho vybrali, bylo, že se oba zajímáme o vesmír, techniku a je nám nějak blízko diskutovat na podobná témata. Dále sledujeme oba dost sci-fi seriálů, filmů a anime, kde tato technika se objevuje.

V této práci bychom se chtěli zaměřit na několik aspektů vesmírného výtahu. Jeho pozitiva, negativa, přínosy i jeho hlavní problémy.



/2/

STAČÍ JEN NAPNOUT LANO

Samotná myšlenka vesmírného výtahu se zrodila v hlavně ruského inženýra Juriho Artsutanova v roce 1960 a je neobyčejně prostá. Tělesu na oběžné dráze nad rovníkem v tzv. geosynchronní výšce (cca 42 000 km) trvá jeden oběh kolem Země právě 24 hodin. Za stejnou dobu se však otočí i Země pod ním. Z pohledu místa na rovníku tedy předmět visí stále na jednom místě na obloze. Tohoto triku využívají televizní a komunikační satelity. Nyní mezi Zemí a satelitem na geosynchronní dráze napněte lano, pokud možno nějaké kvalitní, aby se nepřetrhlo vlastní vahou. Pokud ho ukotvíte přímo na geosynchronní dráze, bude mít lano tendenci padat dolů, ale jakmile je protáhnete o pár tisíc kilometrů dále a opatříte protizávažím, závaží bude lano napínat a celý objekt se bez problémů udrží na svém místě.

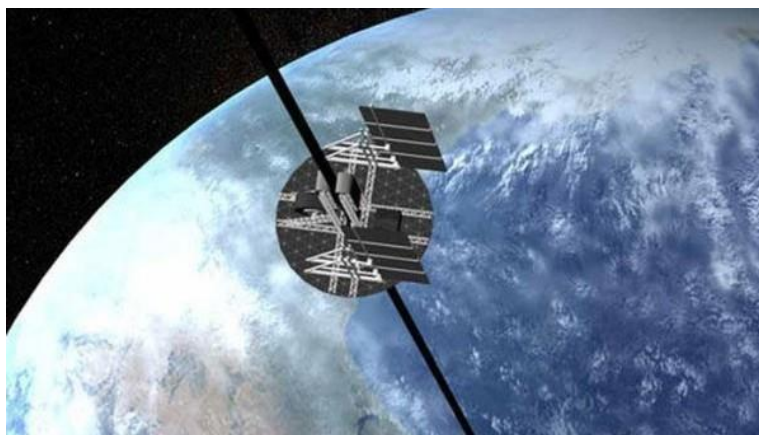
Pak už stačí jen po laně vyšplhat a pohodlně, bez otřesů, za zlomek ceny, které potřebují současné raketoplány, dopravit libovolný náklad na oběžnou dráhu Země. Přesně takhle má fungovat vesmírný výtah.

Hlavní problém této i jiné idey byla samotná stavba výtahu. V té době se předpokládala stavba konstrukce pevné a výtah po ní bude jezdit. Její stavba by ovšem byla nesmírně náročná, materiál by měl tendenci hroutit se vlastní vahou a její případná oprava by byla velmi komplikovaná. Naděje svítla v podobě uhlíkových nanotrubiček, které roku 1990 objevil Sumio Iijima.

Vlákno z nanotrubiček široké jen několik milimetrů až centimetrů by mohlo být dostatečně pevné, aby se dalo natáhnout na 100 000 kilometrů od Země a ještě aby po něm šplhaly stroje s nákladem.

Bylo vypočteno, že lano z uhlíkových nanotrubiček o průřezu 4 mm dokáže unést stroj o váze 20 tun. Takové lano dlouhé 100 000 kilometrů by vážilo pouhých 1000 tun, čili jako nějaké dva, tři jumbo jety.

Potom je možné celý výtah naložit na běžnou raketu a vynést do kosmu, druhá raketa pak za ním dopraví protizávaží, které je vlastně nejtěžší částí celého systému.



/3/

Z FYZIKÁLNÍHO HLEDISKA

Teď si představme, že z takovéto družice spustíme na Zemi lano tak, aby těžiště celého systému bylo neustále na geostacionární dráze. Část lana pod geostacionární dráhou bude gravitačně přitahovaná k Zemi (jelikož bude obíhat nižší rychlostí než je potřebná na vykompenzování gravitace), zatímco část lana nad geostacionární dráhou bude mít díky převažující odstředivé síle snahu od Země uniknout.

Gravitační a odstředivá síla působící na celé lano tedy působí proti sobě. Lano tak při vhodné délce dokáže "levitovat" bez toho, že bychom museli použít dodatečný (např. raketový) pohon na to, aby lano zůstalo napnuté. Samozřejmě při vytažování nákladu po laně začne působit také dodatečná síla směrem k Zemi (jednak díky hmotnosti nákladu a vozidla, jednak na začátku díky jeho zrychlení).

Pádu lana zabráníme tím, že lano ukotvíme na Zemi (na to má sloužit velká pohyblivá platforma na způsob plovoucích ropných plošin) a těžiště lana (závislé především na délce lana nad geostacionární dráhou a vzdálenosti a hmotnosti protiváhy úplně na konci lana) posuneme o něco výš než je geostacionární dráha.

Výsledkem bude, že celková odstředivá síla působící na lano bude o něco větší než gravitační přitažlivá síla a lano bude mít slabou tendenci uniknout od Země. Bude postačovat velice malý rozdíl těchto sil, řekněme několik desítek tun (závisí na projektované nosnosti výtahu). Bez problémů pak můžeme vytažovat náklad bez hrozby pádu nebo namotání lana na Zemi, jelikož takhle přebytná odstředivá síla ho bude neustále udržovat ve stabilní pozici.

Tím se vyřeší také problém s tzv. Coriolisovou silou, která bude působit na pohybující se náklad a tedy i na lano. Coriolisova síla působí na vytažovaný nebo klesající náklad díky tomu, že s výškou se mění oběžná rychlost nákladu - čím výše se náklad nachází, tím vyšší oběžnou rychlost na výtahu má.

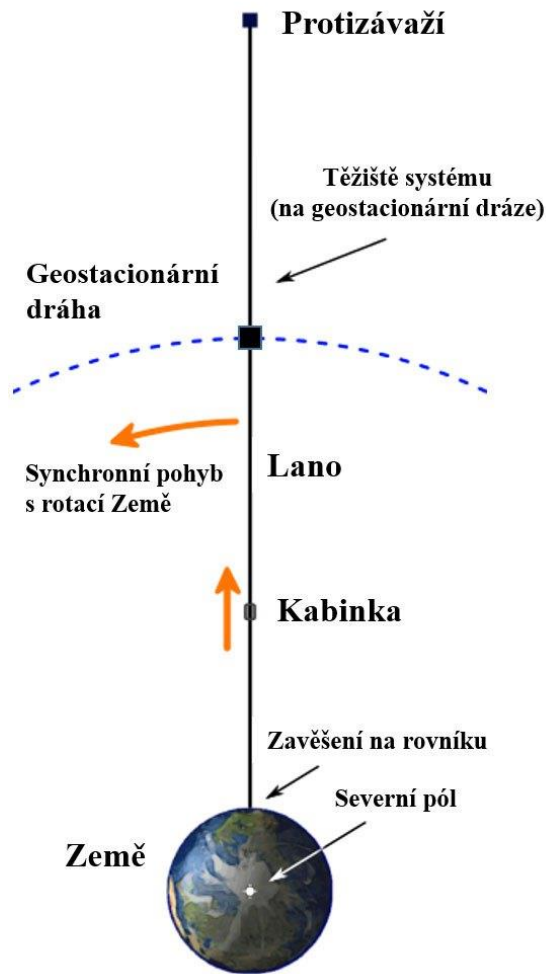
Tuhle rychlost při výstupu mu však musí lano dodat (při klesání odebrat) a tedy náklad bude na lano působit silou kolmou na lano (z energetického hlediska je vesmírný výtah zařízení využívající rotační energii Země). Coriolisova síla je však velice malá a způsobí pouze jistou malou a dopředu vypočitatelnou odchylku lana. Jakýmkoliv větším komplikacím (např. dlouhodobé navíjení lana na Zemi) zabrání zmiňovaná odstředivá síla. Z vědeckého hlediska je fyzikální princip výtahu plně vyřešen a není na něm nic nereálného nebo nejasného.

JAK ROSTE VÝTAH

Stavba výtahu by začínala na geosynchronní dráze, kam by se umístilo svinuté lano s protizávažím. Odtud by se pomalu začalo spouštět lano k zemi. Mezitím by se upravovala poloha závaží, aby celý výtah byl stále v rovnováze. Jakmile by se lano dotklo povrchu Země, pevně se ukotví a výtah je v podstatě hotov.

Kotviště by se s největší pravděpodobností nacházelo na plovoucí základně v Pacifiku. Tato oblast je daleko od obydlených oblastí i letových drah, což by zvyšovalo bezpečnost výtahu. Navíc kotevní loď se může přemisťovat a tím se vyhnout třeba tropické bouři, která by se k výtahu blížila.

Vesmírný výtah



/4/

DOSTUPNÉ CÍLE

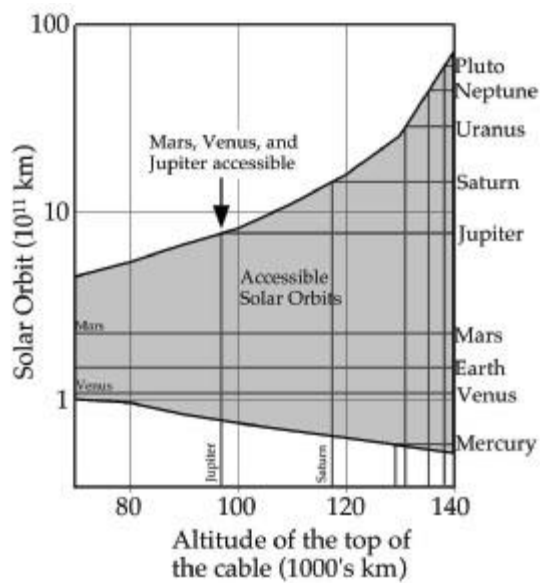
Jak již bylo vzpomenuto, čím větší výšku na výtahu dosáhnete, tím větší oběžnou rychlost budete mít. Od jisté výšky nad povrchem bude možné uvolněním z výtahu uvést objekty na nízkou eliptickou dráhu. Ve výšce 35 810 km zůstane těleso po odpoutání na kruhové geostacionární dráze. Z větší výšky bude možné vypouštět tělesa na vysokou eliptickou dráhu.

Ve výšce 46 770 km dosáhne oběžná rychlost na výtahu hodnotu druhé kosmické rychlosti 11.2 km/s a teda vypuštěním tělesa nad touto výškou bude možné poslat objekty do meziplanetárního prostoru.

S dalším zvětšováním výšky bude rychlost neustále narůstat a bude možné posílat tělesa do vzdálenějších oblastí Sluneční soustavy. Přirozeně s narůstající délkou výtahu rostou i nároky na pevnost materiálu a náklady na jeho vybudování.

Kompromisním řešením je výtah o délce cca 91 tisíc kilometrů. S takto dlouhým lanem se bude dát bez použití urychlovací rakety dostat k Venuši, Měsíci, Marsu a při využití gravitačního zrychlení míjejících planet také k Jupiterově soustavě, což bohatě stačí.

Delší lano by umožnilo cestovat i k dalším planetám, ale v současnosti by to nebylo rentabilní a ani příliš potřebné. Na cestování k vzdálenějším planetám bude efektivnější vynést na oběžnou dráhu sondu nebo kosmickou loď s vlastním raketovým pohonem.



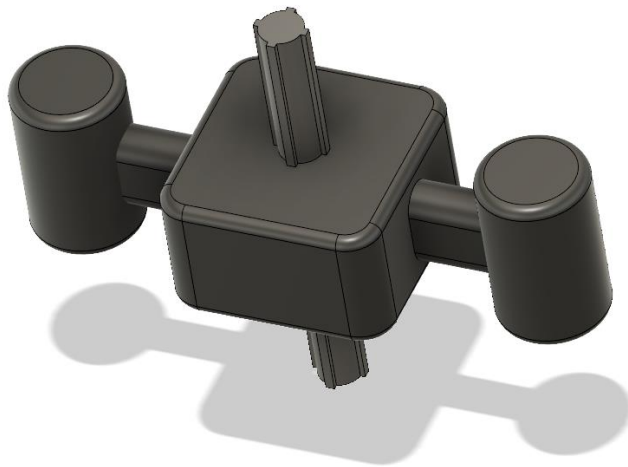
/5/

Cíle v sluneční soustavě dostupné s využitím vesmírného výtahu. Vodorovná osa označuje délku lana vesmírného výtahu, zatímco svislá osa odpovídá vzdálenosti od Slunce dosažitelné použitím výtahu odpovídající délky.

ŠPLHAČ

Pro úspěšnou stavbu výtahu zatím chybí dvě věci. Dostatečně pevné lano, které by se nepřetrhlo vlastní vahou a navíc by uneslo robota s nákladem, a dostatečně lehký a silný šplhací robot. Takový „šplhač“ by měl unést podstatně větší náklad, než sám váží a proto by bylo vhodné, aby si s sebou nenesl zásoby paliva. Tak by mohl hravě konkurovat kosmickým raketám, u kterých tvoří palivová nádrž většinu jejich hmotnosti. Nepřítomnost paliva navíc podstatně zvyšuje bezpečnost jízdy, protože na palubě není nic, co by mohlo vybuchnout nebo shořet.

Přepokládá se využití fotovoltaických panelů a silným laserovým paprskem. Vlastní stroj by byl sestaven ze solárních článků, elektromotoru a plošiny pro náklad. Vzhůru by se dostával za cenu elektrické energie.



Náš první prototyp

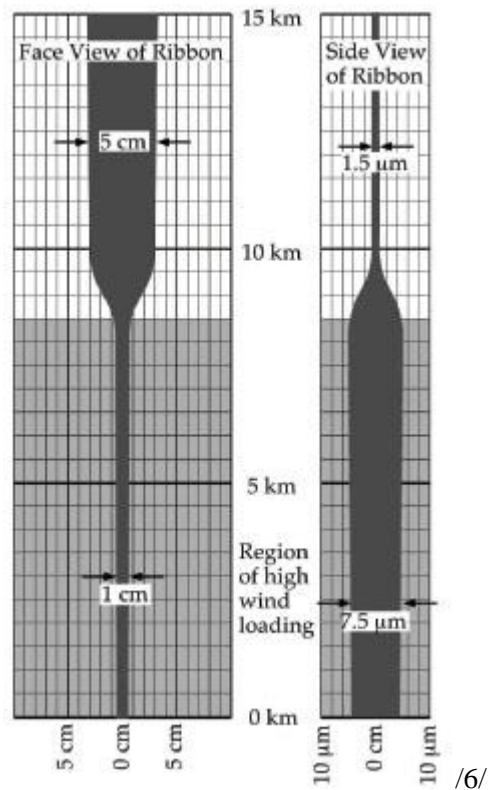
Celosvětové soutěže

SOUTĚŽ O NEJPEVNĚJŠÍ LANO

Lana vyráběná z uhlíkových nanotrubiček se rok od roku zdokonalují, ale jejich kvalita stále ještě není dostatečná. Pro stavbu vesmírného výtahu by bylo třeba lano, které je 25x pevnější než nejlepší současný materiál.

Soutěž o nejpevnější lano má celkem jednoduché podmínky. Soutěžící lano musí při délce minimálně 2 metrů a průřezu maximálně 200 milimetrů vážit méně než 2 gramy a samozřejmě vydržet v tahu co nejvíce.

Pro potřeby vesmírného výtahu se počítá s dvěma typy lan. V atmosféře je výhodnější klasický kruhový průřez, kdežto v kosmu bude lepší použít plochou stuhu.



Modifikovaný design lana zabezpečující odolnost vůči meteorologickým vlivům (především větru). Levá část zobrazuje pohled zepředu, pravá část ukazuje boční profil lana. Svislá osa odpovídá výšce lana nad povrchem Země a vodorovná osa šířce, resp. tloušťce lana.

SOUTĚŽ O ŠPLHAČ

NASA's Centennial Challenges program věnoval na soutěže celkem 4 000 000 USD, přičemž Spaceward Foundation je rozděljuje postupně. V každém kole soutěže je výhra vyšší a zároveň je soutěž náročnější. První rok se soutěžilo mezi roboty lezoucími na 50 m vysoké lano rychlostí 1 m/s.

Další rok v soutěži obdrží 2 000 000 USD robot, který vyšplhá na 1 km vysoké lano zavěšené pod vrtulníkem rychlostí 5 m/s. Hmotnost šplhače je omezena na 50 kg, přičemž by měl unést co největší náklad rychlostí alespoň 2 m/s. Součástí úkolu je i vyrobit pohonný laserový systém.

Ve finále v Kalifornské Mohavské poušti na Edwardsově letecké základně kvalifikovala trojice družstev. Kansas City Space Pirates, LaserMotive a USST (University of Saskatchewan Space Design Team). Vítězem se stalo družstvo LaserMotive, které si odneslo jen 900 000 USD, protože se mu nepodařilo dosáhnout rychlostní hranice 5 m/s.

Problémy a jejich navrhovaná řešení.

Navzdory jednoduchosti principu určitě není třeba zvlášť zdůrazňovat, že vesmírný výtah je úplně nová a převratná technologie vyžadující rozsáhlý výzkum a vývoj. Při jeho konstrukci a stavbě bude potřeba čelit mnohým výzvám a problémům.

Vesmírný výtah však již přešel prvními kritickými fázemi seriózních studií uskutečněných, popřípadě organizovaných, renomovanými vědci z Los Alamos National Laboratory, Marshall Space Flight Center, NASA Institute for Advanced Concepts, National Space Society, Institute for Scientific Research a podobně.

Podívejme se stručně na výsledky těchto analýz a navrhované způsoby řešení problémů.

OXIDACE ATMOSFÉRICKÝM KYSLÍKEM.

Nejedná se o molekuly kyslíku v atmosféře, ale o nebezpečný atomární kyslík ve výšce několika stovek kilometrů - je to velice agresivní látka. Experimenty ukazují, že i uhlíková nanovlákna oxidují.

Řešení - nanese se na ně tenkou vrstvou kovu (z dlouhodobých experimentů na oběžné dráze jsou prokazatelně odolné např. zlato i jiné materiály). Váhu lana to ovlivní jen minimálně, protože se jedná pouze o úsek několika sto kilometrů (což je málo ve srovnání s celkovou délkou cca 91 000 km) a je postačující, aby vrstva měla tloušťku jen několika mikrometrů

ODPAD A TROSKY NA OBĚŽNÉ DRÁZE. MIKROMETEORITY.

V současnosti je na oběžné dráze množství odpadu, které je seriózní hrozbou nejen pro vesmírný výtah. Úlomky stupňů raket, trosky ze zaniklých sond, staré nepoužívané satelity atd...

Mnoho desítek tisíc objektů o velikosti nad 1 cm. Naštěstí se vyskytují pouze na nízké oběžné dráze (cca od 200 do 1000 km). Řešení je několik:

Monitorování troskek

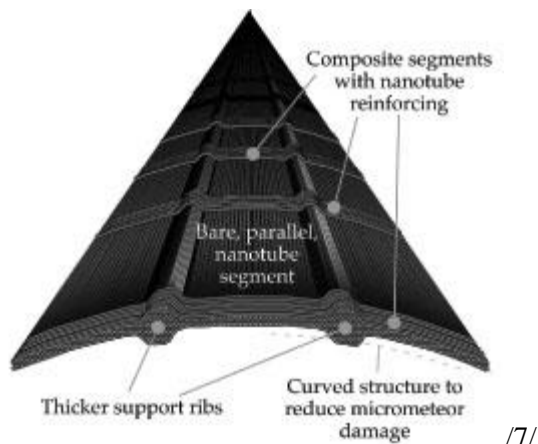
Dnes jsou trosky mapovány do velikosti 10 cm. Kvůli mezinárodní vesmírné stanici ISS se za 100 milionů dolarů připravuje monitorování až do velikosti 1 cm. Podle teoretických výpočtů (NASA používá simulační programy kalibrované např. i pozorováními ISS a raketoplánů) vyplývá, že výtah se bude muset vyhýbat úlomkům větším než 1 cm přibližně jedenkrát denně.

To je akceptovatelná frekvence v rámci únosnosti. Trosky menší než 1 cm spolu s mikrometeority nepředstavují vážný problém, protože i když jejich počet narůstá a jejich kinetická energie je stále značná, nejsou pro výtah nebezpečné, a to díky druhému řešení:

Vhodný makroskopický a mikroskopický design lana

V prvním řadě bude šířka lana v kritické výšce zdvojnásobena. Podobně průměr jednotlivých vláken lana a vzdálenosti mezi nimi budou takové, aby se minimalizovala škoda způsobená mikrometeoritem/malými troskami. Zakomponování příčných vláken taktéž umožní zvýšit odolnost vůči poškození. Velikou výhodou bude realizovat design lana ne v podobě lana v běžném slova smyslu, nýbrž půjde spíše o stuhu - pás široký v průměru jeden metr a tenký pouze několik mikrometrů (tyto parametry se budou měnit v závislosti na výšce od povrchu).

Kromě toho nebude pás plochý, ale bude tvarován do oblouku. Výpočty ukazují, že takový design sníží nebezpečí a velikost poškození až o několik řádů. Životnost lana bude při vhodném designu až 200 let, což je plně postačující.



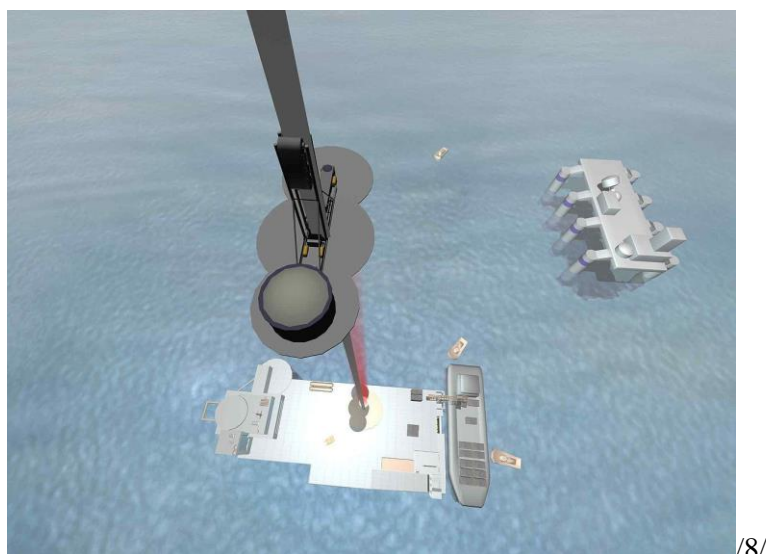
Průřez navrženým lanem

ZAHŘÍVÁNÍ LANA.

Lano se bude přirozeně zahřívat jednak působením slunečního záření, tak i vystupujícími climbery a také oscilacemi a pnutím v laně. Výpočty ukazují, že lano uvažovaného designu bez problémů vše vyzáří přirozeným tepelným vyzařováním do volného prostoru.

Je však potřeba si uvědomit, že pokud půjdeme s climberem nad geostacionární dráhu (např. při vypouštění sond na Měsíc a k jiným planetám), energii nebudeme muset na šplhání dodávat, nýbrž energii budeme dostávat! Stejně jako i při snášení nákladu z oběžné dráhy na Zemi - climber bude muset brzdít a tedy energie se bude uvolňovat. Tento přebytek energie můžeme využít např. konverzí na energii elektrickou.

Přebytek tepla se bude řešit vyzařováním, vedením, anebo případně i absorpcí do části nákladu (např. do vody, jelikož voda má velkou tepelnou kapacitu, i když tohle řešení by představovalo snížení efektivního nákladu). Je zajímavé, že výtah z fyzikálního pohledu bude pracovat velice efektivně a energeticky úsporně. I v případě nevyužívání brzděné energie bude na provoz stačit zdroj s výkonem cca 20 MW.



NEEXISTUJÍCÍ TECHNOLOGIE - UTOPIE?

Velikou výhodou tohoto projektu proti mnohým jiným je, že nestaví na neexistujících technologiích. Všechno od kotvící plošiny (typu ropná plošina a existující projekt Sea Launch), přes výrobu energie a její laserový přenos, elektrický pohon climberů, prvotní vynesení na oběžnou dráhu pomocí raketoplánů a existujících nosičů atd. jsou existující technologie, případně technologie v značně rozvinutém stádiu vývoje.

Samozřejmě, jelikož výtah bude jedinečný, velké množství výzkumu se bude muset ještě přece jenom uskutečnit, avšak důležitý je fakt, že principiální problém neexistuje. Existují především dvě záležitosti, které si vyžadují několik let výzkumu (což je vcelku krátká doba, vezmeme-li v úvahu revolučnost výsledku):

- NevYROBILI jsme ještě dostatečně dlouhé lano z nanotrubiček. To je vzhledem k vývoji v této oblasti s největší pravděpodobností jenom otázka uváděných několika let (např. Japonsko je zatím schopné produkovat 120 tun uhlíkových nanotrubiček omezené délky za rok). Dosavadní experimenty s několikametrovými pásy z nanotrubiček dokazují, že lano bude možné vyrobit a také jeho pevnost bude dostatečná na udržení obrovského tahu, který bude na lano působit.
- Existuje pouze minimální ochrana člověka před kosmickým zářením během výstupu na geostacionární dráhu. To je pravda - jelikož rychlost výstupu na výtahu je cca 200 km/hod, na geostacionární dráhu to může trvat i více než týden. Na nízké oběžné dráze (pod cca 1000 km) to není veliký problém, kosmonauti tam tráví týdny i roky již dnes. Problém nastane, pokud pojedeme výše - na geostacionární dráhu a dále je potřebné překročit ionosféru a tzv. van Allenovy radiační pásy kolem Země, které chrání Zemi před nebezpečným kosmickým zářením. Stínění kovovými lištami je velice náročné na hmotnost a tedy bude možné takovýmto způsobem lidi vozit na geostacionární orbitu, až když bude postaven výtah s větší kapacitou (prvotní bude mít kapacitu cca 20 tun). V průběhu několika let se výtah dá upravit na nosnost až 1000 tun nákladu. Přesto tato metoda nebude velice efektivní, a proto se musí vyvinout elektromagnetické stínění. To je však ještě jen v plenkách, na rozdíl od ostatních důležitých součástí projektu.

Ovšem vynášení nákladu a lidí jsou dvě rozdílné věci. Doprava kosmonautů na oběžnou dráhu může v prvních fázích zůstat nadále v rukách čistě raketových pohonů, dokud se nevyvine vhodné elektromagnetické stínění. V každém případě vesmírný výtah není žádnou konkurencí pro raketové pohony, naopak, je jejich spojencem. Díky kosmickému výtahu budeme moci zkonstruovat přímo na oběžné dráze velké kosmické lodě, stanice a sondy o hmotnosti stovek a tisíců tun.

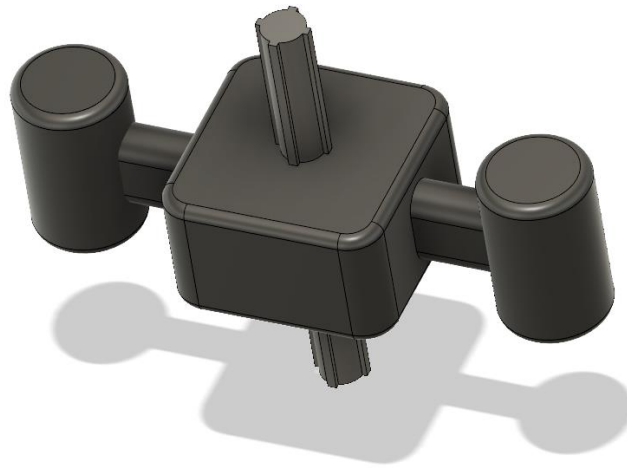
Budeme moci postavit orbitální města nebo sluneční elektrárny, všechno to jsou projekty náročné na množství dopraveného materiálu a tedy uskutečnitelné až v době, kdy se doprava materiálu na oběžnou dráhu stane opravdu ekonomickou. Přímou na oběžné dráze budeme moci konstruovat silné raketové (a jiné) motory na samotné cestování vesmírem, nejenom na vynášení na oběžnou dráhu se všemi problémy, které jsou s tím spojené. A všechno velice lacino. K tomu přispívá i fakt, že výtah umožňuje nejenom vynášení nákladu, ale také jeho šetrné a bezpečné snesení na povrch.

Dost bylo teorie, problémů či možných řešení. Já se svým kolegou jsme začali na toto téma přemýšlet, jak bychom vymysleli funkční model vesmírného výtahu.

Náš model vesmírného výtahu

PRVNÍ NÁPADY

První kroky byly, po čem bude jezdit náš model. Lano z uhlíkových vláken nemáme a vyrobit by bylo nereálné. Proto jsme přemýšleli po ocelovém lanu. To by pro náš model bylo dobré, jenže se vyskytli problém při modelování nosiče (climberu). A to byly problémy ohledně otáčení kolem dokola lana a pak pohyb po lanu jak zajistit. První nápad byl dát motorek dovnitř modelu, jenže tím nám vznikl další problém a to váha. Motorek má danou hmotnost, kterou dokáže zvednout. Takže jsme byly opět na začátku.



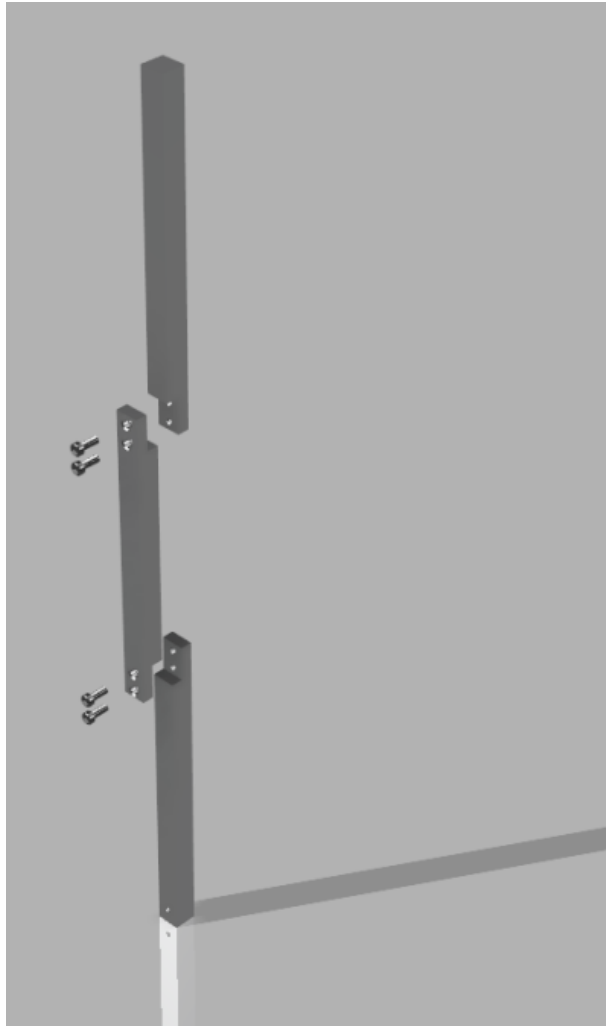
První náš prototyp

Proběhly další debaty kolem lana, modelu, pohonu, měřítka a dalších problémů až jsme našli možné řešení pro náš model.

LANO

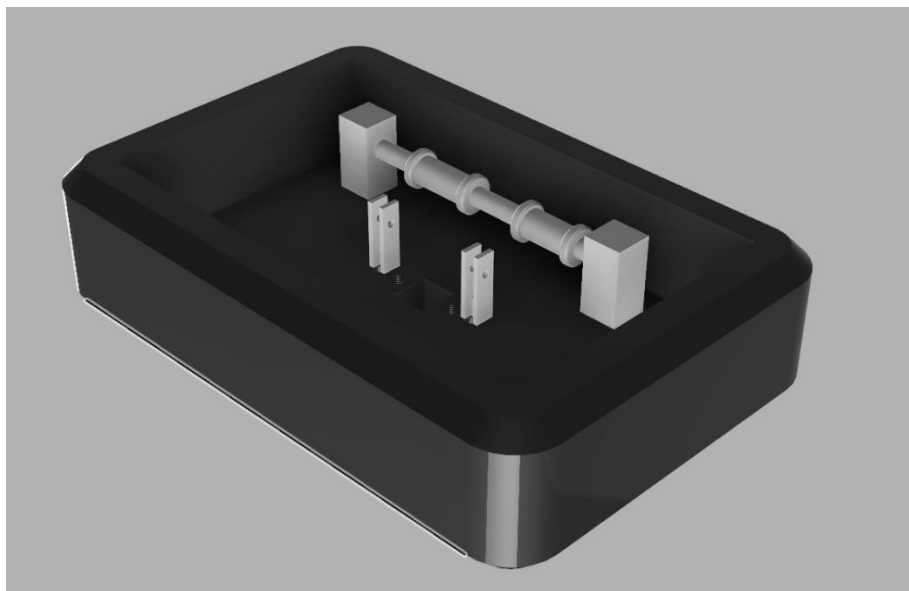
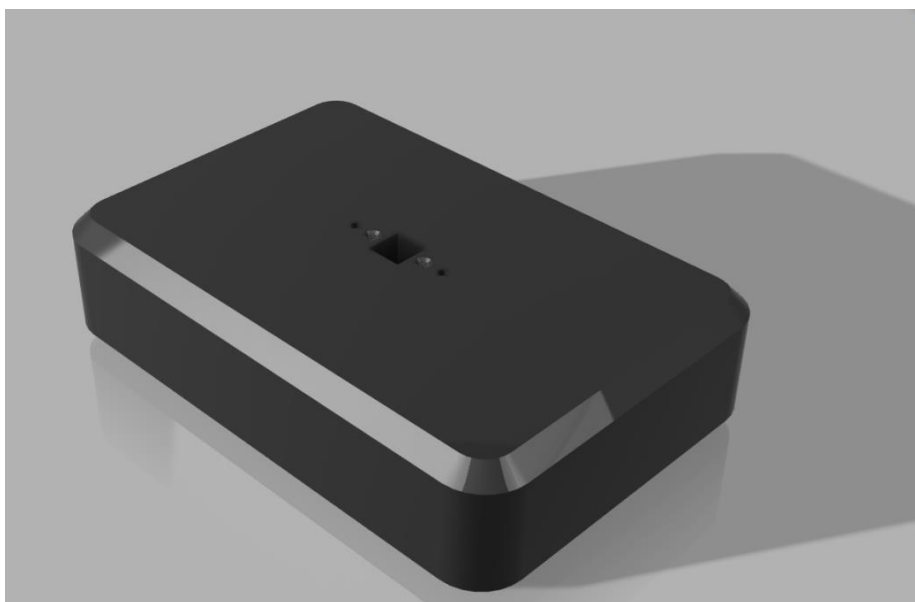
Lano jsme vyměnili za pevný materiál se čtvercovým průřezem, v našem případě jde o hliník či podobný materiál, který nám zajistí pevnost, stálost a hlavní problém vyřeší, že se nám model nebude otáčet.

Dále bude naše „lano“ bude tvořeno na segmenty pro lepší transport a manipulaci spojeno bude pomocí imbusových šroubů tak aby model mohl jezdit plynule po laně.



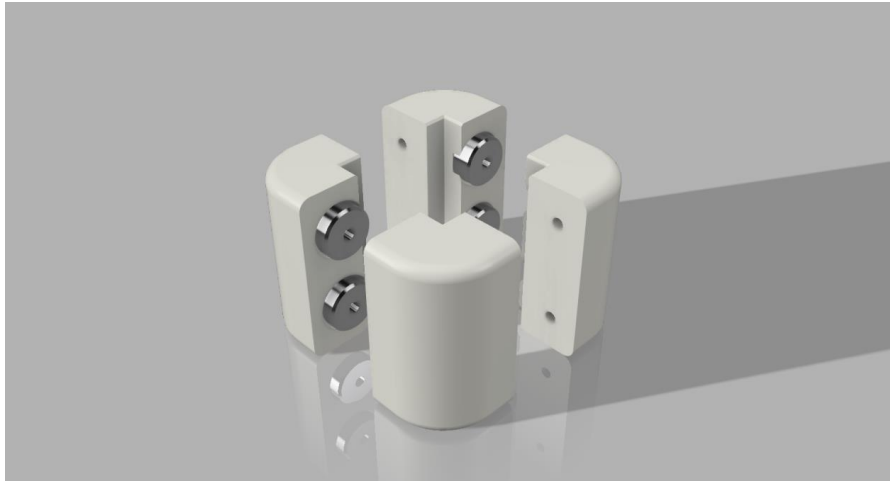
ZÁKLADNA

Naše základna bude tvořit hlavní základ, protože bude představovat budoucí plošinu, ze které budou startovat nosiče (climbeři) s materiálem či lidmi na stanice na nízké či na geostacionární orbitě. V našem modelu bude zakotveno „lano“ a bude v něm umístěn motor pro náš model. V budoucnu tam bude laserový paprsek, který bude napájet šplhče.



SPLHAČ (CLIMBER)

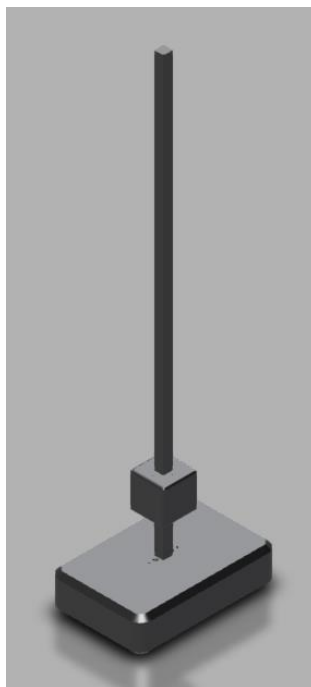
Zde byl největší problém a to vymyslet nosič takový, aby byl pro náš model vhodný, snadno k vytvoření, konstrukčně jednoduchý a aby byl hlavně funkční. Udělali jsme několik návrhů, modelů a nakonec jsme se rozhodli pro tento model.



Toto je několikátý prototyp, kdy jsme se rozhodli pro segmenty spojené čepy. Hlavní tělo je vytisknuté na 3D tiskárně a čepy vytvořené na soustruhu.

CELKOVÉ SESTAVENÉ

Po sestavení se nám ukázal celý model. Při navrhování a sestavování jednotlivých dílů jsme si ověřili, že při stavbě takového modelu jsme strávili hodně času modelováním, skicami a hlavně zkoušením postupů a možný variant než jsme přišli na optimální variantu pro náš model.



Závěr

V této práci jsme museli zajistit mnoho aspektů fungování výtahu. Zjistit si základní informace jak a co funguje a na základě těchto informací jsme sestavili zmenšený prototyp, jak by asi mohl vypadat možný výtah. Je to přibližné, protože nemáme k dispozici lano s uhlíkových vláken, dále správný šplhač atd. Proto jsme vypracovali přibližný model, který se zakládá na informacích, které jsme touto prací získali.

Oba doufáme, že se od vesmírného výtahu neodpustí a snad se ho někdy v budoucnu dočkáme.

Zdroje:

https://www.google.com/search?biw=1920&bih=888&tbm=isch&sa=1&ei=LUWdXKtuqIjV8A-00JygAg&q=vesm%C3%ADrn%C3%BD+v%C3%BDtah&oq=vesm%C3%ADrn%C3%BD+v%C3%BDtah&gs_l=img.3...391969.392676..392918...0.0..0.0.....1....1..gws-wiz-img.sd_OViCNGK0#imgrc=1ZDNyTCWkD658M:

<https://www.3pol.cz/data/web/casopis/2010/brezen2010.pdf>

<http://www.osel.cz/4847-vesmirny-vytah-proc-tu-jiz-neni.html>

<https://www.czechnationalteam.cz/content/vesmirny-vytah>

Obrázky

/1/ <https://www.national-geographic.cz/clanky/vesmirny-vytah-kdyz-vznikne-zmeni-lidstvo-ale-proc-uz-davno-nestoji.html>

/2/ <http://vtm.e15.cz/clanek/do-kosmu-bez-raket>

/3/ <https://action.nova.cz/clanek/hi-tech/japonci-planuji-vesmirny-vytah.html>

/4/ http://www.osel.cz/9512-na-cestech-k-vesmírnému-výtahu.html?typ=odpoved&id_prispevku=155686

/5/ <https://www.czechnationalteam.cz/content/vesmirny-vytah>

/6/ <https://www.czechnationalteam.cz/content/vesmirny-vytah>

/7/ <https://www.czechnationalteam.cz/content/vesmirny-vytah>

/8/ https://en.wikipedia.org/wiki/Space_elevator