



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

KONCEPČNÍ NÁVRH HABITATU PRO EXTRÉMNÍ PROSTŘEDÍ - NÁVRH SKAFANDRU PRO MARS

CONCEPTUAL HABITAT DESIGN FOR EXTREME ENVIRONMENTS - SPACESUIT DESIGN FOR MARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Ponka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vratislav Šálený, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Jakub Ponka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Vratislav Šálený, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Koncepční návrh habitatu pro extrémní prostředí – návrh skafandru pro Mars

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Začíná nová éra pilotovaných letů na Měsíc. Otevírá ji série misí programu Artemis (I až VI). Důležitým technickým prostředkem těchto misí jsou habitaty umožňující pobyt v extrémním prostředí. Nejmenším typem osobního habitatu je skafandr těsně obepínající chráněnou osobu, který se pohybuje společně s osobou. Dalším typem habitatu je chráněný prostor umožňující volný pohyb osob(y) uvnitř tohoto prostoru. Habitat tvoří přetlakový prostor poskytující ochranu před vnějším extrémním prostředím, tj. před absencí vnější atmosféry, extrémními teplotami, mikrometeority, atp. Habitat má poskytovat vysoký vnitřní komfort pro práci. Musí být vybaven systémem zajišťujícím stabilní vnitřní přetlak, dýchatelnou atmosféru, tepelný komfort, ochranu proti mikrometeoritům, atp.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je provést koncepční návrh autonomního habitatu pro extrémní prostředí na povrchu Měsíce, Marsu, nebo na NRHO. Možno zvolit návrh skafandru, nebo modulu pro dvoučlennou posádku. U zvoleného typu budou navrženy všechny klíčové části a systémy, zejména vnější hermetická obálka včetně jejího materiálového řešení, zdrojů energií pro provoz, prostředků pro ovládání habitatu a komunikaci s vnějším světem, systémů zachování života a systémů zajišťujících tepelný komfort, průhledů do vnějšího prostoru, atp. Také, jak se osoba dostane do/z habitatu.

Seznam doporučené literatury:

https://en.wikipedia.org/wiki/Space_suit

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá koncepčním návrhem skafandru pro podmínky na Marsu. Koncepce vychází z rešeršní části, v níž jsou popsány současné modely skafandru jednotlivých vesmírných agentur a extrémní podmínky, které na Marsu převládají. V samotném návrhu je kladen důraz na snížení váhy za použití materiálů jako jsou titan nebo karbonová vlákna. Dále je využita technologie na výrobu kyslíku z atmosférického oxidu uhličitého a digitalizování uživatelského rozhraní skafandru. Nakonec se práce zabývá problematikou odvodu metabolického tepla z vnitřní atmosféry skafandru do okolního prostředí.

Klíčová slova

Mars, Skafandr, extrémní podmínky, odvod metabolického tepla

Abstract

This bachelor's thesis deals with the conceptual design of a spacesuit for conditions on Mars. The concept is based on the reaserch part, in which are described current space suit models of different space agencies and extreme conditions on Mars. In the design itself, the emphasis is on weight reduction. This is why materials such as titanium or carbon fiber are used. Also technology for producing oxygen from atmospheric carbon dioxide and digitalization of user interface is used. At the end, the thesis addresses the issue of metabolic heat dissipation from the suit's internal atmosphere to the surrounding environment.

Keywords

Mars, space suit, extreme conditions, dissipation of metabolic heat

Bibliografická citace

PONKA, Jakub. *Koncepční návrh habitatu pro extrémní prostředí – návrh skafandru pro Mars* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149871>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Vratislav Šálený.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci s názvem Koncepční návrh habitatu pro extrémní prostředí – návrh skafandru pro Mars vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vratislava Šáleného, Ph.D. a za použití zdrojů, jež jsou citovány ve zdrojích literatury.

V Brně dne 26. května 2023

.....
Jakub Ponka

Poděkování

Tímto děkuji svému vedoucímu panu Ing. Vratislavu Šálenému, Ph.D. za velmi vstřícný přístup, dobré vedení a věcné připomínky během zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat rodině a přátelům za podporu během zpracování práce a celého studia.

Obsah

Úvod.....	10
1 Druhy kosmických skafandrů	11
1.1 EVA Skafandr.....	11
1.2 IVA Skafandr.....	11
2 Skafandry jednotlivých vesmírných společností	11
2.1 NASA	12
2.1.1 EMU	12
2.1.2 AxEMU	14
2.2 Roskosmos.....	15
2.2.1 Orlan.....	16
2.3 CNSA.....	17
2.4 Soukromé společnosti	17
2.4.1 Boeing	17
2.4.2 SpaceX	18
2.5 Koncepty skafandrů pro dobývání Marsu	19
2.5.1 BioSuit.....	19
3 Podmínky na Marsu	19
3.1 Atmosféra	20
3.1.1 Vítr	20
3.1.2 Prach.....	21
3.2 Gravitace.....	21
3.3 Teplota	22
3.4 Kosmické záření	22
4 Vlastní koncepce Skafandru.....	23
4.1 Části skafandru	23
4.1.1 HUT.....	23
4.1.2 Spodní torso.....	24
4.1.3 Chladicí oděv.....	25
4.1.4 Vrstvy skafandru	25
4.1.5 Rukavice.....	26
4.1.6 Boty	26
4.1.7 Helma	27

4.1.8	PLSS.....	27
4.1.9	DCM.....	28
4.1.10	Doplňky ve skafandru	29
4.2	Návrh řešení odvodu tepla ze skafandru.....	29
Závěr.....		33
Seznam použitých zdrojů		34
Seznam použitých zkratek a symbolů		38

Úvod

Touha prozkoumávat vesmír koluje v lidské krvi odjakživa. Už starověké civilizace pozorovaly vesmírná tělesa a přemýšlely, co jsou zač a co se na nich nachází. Mezi průkopníky bádání vesmírem patřili např. Galileo Galilei, Johannes Kepler nebo Mikuláš Koperník. V polovině 20. století začaly dvě tehdejší velmoci, Spojené státy americké a Sovětský svaz, v průběhu studené války vesmírný závod. V rámci něj soutěžily o to, která z nich získá prvenství ve vyslání člověka na oběžnou dráhu Země a následně na povrch Měsíce. Kvůli extrémním podmínkám, které ve vesmíru panují, bylo potřeba člověka vyslaného na tuto misi chránit. K tomuto účelu byly vyvinuty kosmické skafandry.

Po skončení programu Apollo v 70. letech 20. století opadl zájem prozkoumávat povrch cizích vesmírných těles a vesmírné agentury se soustředily na probádání orbity naší planety. V současnosti ovšem plány na prozkoumávání ostatních vesmírných objektů zažívají renesanci. Zatímco NASA v rámci misí Artemis má v plánu navrátit lidskou nohu na povrch Měsíce, americký visionář Elon Musk má ambice ještě větší a chce dostat člověka na povrch Marsu. Pro tyto mise bude nutno navrhnout a sestrojít nové modely skafandrů.

Oproti aktuálním skafandrům, které se používají na ISS, bude třeba provést razantní změny. Jejich design pochází ze 70. let 20. století, proto ho bude potřeba modernizovat a navrhnout tak, aby vyhovoval současným požadavkům na bezpečnost a funkčnost. Nároky na funkčnost jsou způsobeny specifickými podmínkami vesmírných těles. Jednou z těchto podmínek je např. gravitační pole. Zatímco při space walks okolo mezinárodní vesmírné stanice se astronauti pohybují pomocí horních končetin, na povrchu Měsíce a Marsu se předpokládá chůze. Ač se to na první pohled nemusí zdát, v lunárních a martěanských podmínkách může být poněkud komplikovaná. Při sledování starých záběrů z misí Apollo si lze povšimnout, že astronauti se na povrchu Měsíce pohybují spíše skoky než chůzí. Zároveň se na povrchu těchto těles počítá s geologickými pracemi a komplexním průzkumem. Proto bude potřeba u budoucích skafandrů navrhnout větší flexibilitu kloubů v jejich spodní části.

Cílem této práce je navrhnout koncepci skafandru pro Mars. Tato koncepce bude vycházet z technologií používaných v aktuálních skafandrech jednotlivých vesmírných společností. Zahrnuty budou moderní technologie výroby, poznatky zjištěné z misí robotických vozítek na Marsu a digitalizace analogických měřicích přístrojů. Nakonec se snaží zanalyzovat, jestli je pro emitování metabolického tepla lepší využít radiaci či konvekci.

1 Druhy kosmických skafandrů

Existují dva základní druhy kosmických skafandrů, podle toho, k čemu a kde se používají. Jsou jimi EVA skafandr a IVA skafandr. Dále také existuje kombinace těchto dvou typů, které se říká IEVA skafandr. [1]

1.1 EVA Skafandr

Extravehicular Activities skafandr se dá do češtiny volně přeložit jako skafandr pro použití vně určitého modulu, vesmírné stanice, nebo pro prozkoumávání na povrchu mimozemských planet. Tento typ mikro habitatu se v současnosti používá pro tzv. spacewalks, což jsou cesty mimo ISS, ať už účelem údržby Mezinárodní vesmírné stanice, nebo za účely samotného zkoumání a bádání vesmíru. V minulosti se tento druh skafandru také používal k výstupům na povrch Měsíce při misích Apollo a v budoucnu se při misích Artemis bude používat k tomuto účelu znovu. Výhledově se také bude používat při prozkoumávání Marsu. [1]

Kvůli použití v extrémních podmínkách je nutné jim tento druh modulu přizpůsobit. Chránit astronauta musí před několika hrozbami. Kvůli nepřítomnosti zemské atmosféry je jednou z nich kosmické záření, mikrometeority, nebo nepřítomnost tlaku. Jako náhrada za plynový obal Země slouží až šestnáct různých vrstev, ze kterých se skafandr skládá. Další věcí, se kterou se musí astronauti vypořádat je přehřívání. Proti tomu ho chrání první tři vrstvy. Součástí tohoto typu skafandru je také PLSS (Portable life support system), neboli přenosný systém podpory života. Jedná se v podstatě o „batoh“, který zajišťuje odstranění přebytečného CO₂ z prostoru obleku, přísun kyslíku a další funkce nutné k životu. [1; 2]

1.2 IVA Skafandr

Intravehicular Activity skafandr je v češtině název pro skafandry používané uvnitř vesmírných modulů nebo vesmírné stanice. IVA skafandry se v současnosti používají hlavně při vzletu, přistání a dokovacích operacích při letech astronautů.

Oproti EVA skafandrům jsou daleko pohodlnější právě kvůli tomu, že se nepředpokládá jejich venkovní použití. Také jejich mobilita je oproti druhému typu lepší. Oproti druhému druhu skafandrů došlo k modernizaci stávajících modelů a byly vyvinuty nové obleky. Hlavně díky společnosti SpaceX, která v současné době používá při letech kosmické lodi Dragon své vlastní IVA skafandry s názvem Starman. [1; 2]

2 Skafandry jednotlivých vesmírných společností

V průběhu let se vesmírný průmysl rozšířil v podstatě do všech programů světových velmocí a je také jedním z faktorů toho, jaké země za velmoci považovat. Posílání lidí do vesmíru už, na rozdíl od 70. let dvacátého století, není doménou pouze dvou tehdejších supervelmocí, jimiž byly USA a SSSR. V dnešní době máme několik vesmírných organizací napříč světem, které vysílají astronauty do vesmíru. Jsou jimi např. NASA, Roskosmos, ESA, CNSA nebo JAXA. Je třeba uvést, že v dnešní době hrají ve vesmírném bádání velkou roli soukromé společnosti. Aktuálně jsou nejvíce vidět a nejvíce se mluví o společnostech SpaceX a Boeing. Tyto společnosti v současnosti blízce spolupracují právě s NASA a dodávají jí své produkty a služby.

S tím samozřejmě souvisí i to, že většina z těchto společností vytváří a vyvíjí i své vlastní IVA nebo EVA skafandry. Vzhledem k tomu, že skafandr je vskutku komplikovaný mechanismus, pracuje na jeho určitých částech také spousta specializovaných menších soukromých firem nebo státní a mezinárodní vesmírné agentury spolupracují na jejich vývoji dohromady.

2.1 NASA

Národní ústav pro letectví a vesmír za svou existenci navrhl a používal mnoho modelů skafandrů, ať už pro použití vnitřní, nebo vnější. Za zmínku například stojí skafandr Merkury (*Obr. 1*). Tento oblek je prvním, který ochraňoval obyvatele USA na cestě kolem orbity Země. Dále stojí za zmínění skafandry pro mise Gemini (*Obr. 1*). Součástí tohoto programu byly IVA a v podstatě první EVA obleky. Následoval mikro habitat pro mise Apollo (*Obr. 1*). Tento oblek už byl pokročilejší a hlavní důvodem proč tomu tak bylo, byla nutnost ochrany astronautů na povrchu Měsíce. Lidé v tomto skafandru potřebovali daleko pohodlnější vnitřní podmínky a museli se vypořádat s daleko horšími vnějšími podmínkami, jako je měsíční prach, extrémní změny teplot atd. Nejmodernějšími mikro habitaty NASA jsou EVA skafandr s názvem EMU (*Obr. 1*) (Extravehicular Mobility Unit) a IVA skafandr ACES (*Obr. 1*) (Advanced Crew Escape Suit). [1; 3]



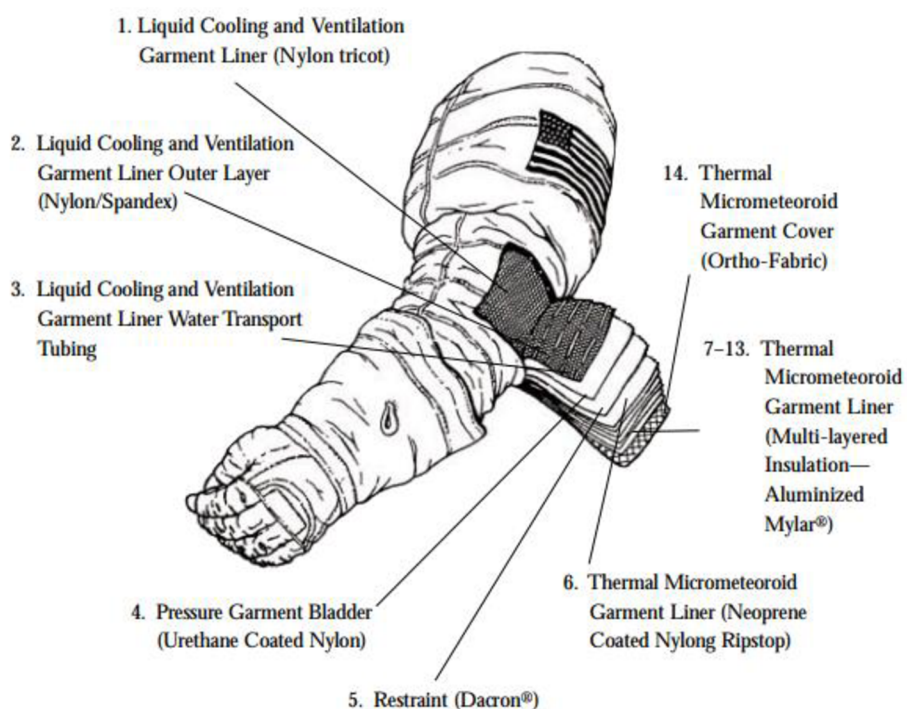
Obr. 1 Vývoj skafandru NASA a) Merkury [39] b) Gemini [38] c) Apollo [38] d) ACES [38] e) EMU [38]

2.1.1 EMU

EMU (Extra mobility unit) je v současnosti používán hlavně k provádění údržby a konstrukčním pracím na ISS a různých satelitech. Používá se od roku 1979 do současnosti. Proto je klíčovou součástí vesmírného bádání posledních 40 let. Oblek prodělal jednu designovou úpravu v roce 2002. [4]

EMU se skládá ze 14 jednotlivých vrstev (*Obr. 2*), které mají všechny za úkol zajistit, aby udržely astronauta na živu. První tři vrstvy nejbližší astronautovu tělu zajišťují jeho tepelný komfort. Konkrétně mají za úkol ho ochlazovat a zajišťovat ventilaci při EVA. První vrstva je nylonové kompresní triko, na kterém je další vrstva z elastických vláken. Na té se nachází spleť trubiček, kterými proudí studená voda v těsné blízkosti kůže. Ta ochlazuje uživatele skafandru. Otvory v těchto vrstvách odvádějí pot z povrchu těla astronauta, který se následně recykluje v PLSS (z anglického Portable Life-Support System). Dále následuje vrstva, která zajišťuje

potřebný tlak pro tělo astronauta a současně uvnitř skafandru udržuje k dýchání nezbytný kyslík. Následně navazuje vrstva z Dacronu, která udržuje předchozí vrstvu ve správném tvaru vzhledem k astronautově tělu. Následuje vrstva odolná proti roztržení. Sedmá až třináctá vrstva jsou izolační a ochranné vrstvy, které udržují vnitřek skafandru v relativně stálé teplotě a zároveň chrání astronauta před mikrometeority. Tyto vrstvy jsou tvořeny z hliníkového Mylaru. Poslední vrstva je tvořená tzv. Orthofabric, což je kombinace tří vrstev ze tří různých materiálů. Těmi jsou Goretex (voděodolná látka), Kevlar (látka odolávající různým nárazům objektů z vesmíru) a Nomex (nehořlavá látka, kterou používají například hasiči na svých zásahových oděvech). [5; 6]



Obr. 2 Jednotlivé vrstvy obleku EMU [5]

Jedna jednotka EMU se skládá z 18 individuálních částí. Společně složené dohromady tvoří krátkodobý vesmírný habitat, který astronauta udrží při životě až osm hodin. [6]

První a zároveň jednou z nejdůležitějších a nejkomplexnější součástí je PLSS. Tento „batoh“ obsahuje přísun kyslíku a zajišťuje jeho distribuci do skafandru, a zároveň zajišťuje odstranění oxidu uhličitého vydechovaného uživateli. Dále obsahuje elektrické baterie na pohánění určitých funkcí skafandru, systém, který zajišťuje recirkulaci vody a tím ochlazování astronauta, komunikační systémy, systémy sloužící k nahlašování chyb a upozornění. [5; 6]

Druhou jednotkou je DCM (Displays and Control Module). Díky tomuto modulu astronaut může ovládat subsystem podpory základních životních podmínek. [5; 6]

Třetí jednotkou je postroj umožňující napojení na PLSS ať už komunikační nebo elektronické s názvem EEH (EMU Electrical Harness). [5; 6]

Čtvrtou jednotkou je druhotný přísun kyslíku, SOP. Je připojen na dolní část PLSS a v případě výpadku primárního zdroje kyslíku je schopen zásobovat astronauta až 30 minut. [5; 6]

Pátou jednotkou je SCU (Service and Cooling Umbilical). Používá se hlavně před EVA, k napojení na vzduchový systém ISS a tím zajišťuje dostatečný přísun kyslíku pro astronauta před EVA. Vzhledem k tomu, že zajišťuje energii, kyslík, komunikaci a proudění vody, šetří systémy PLSS před EVA. [5; 6]

Samozřejmě je potřeba skafandr pohánět, proto šestou jednotkou jsou dobíjecí baterie. [5; 6]

Sedmou jednotkou je CCC (Contaminant Control Cartridge), který má za úkol uchránit vnitřní atmosféru obleku od zamoření. [5; 6]

Osmou jednotkou je HUT (Hard upper torso). Jedná se v podstatě o vestu z tvrdého laminátu. K HUT jsou připojeny ostatní jednotky jako PLSS nebo DCM. Připojují se k ní také helma, nebo rukávy. Důležitou funkcí je, že umožňuje propojení trubiček s vodou a kyslíkem vedoucích z PLSS. [5; 6]

Devátou jednotkou je spodní torso, které obsahuje kalhoty, boty a spodní část pasu. Ta se v oblasti pasu připojuje k HUT. Na spodním torsu se nachází poutka, ke kterým jsou připojeny popruhy. Ty jsou upevněné k ISS, aby astronauti při space walks neuletěli pryč. [5; 6]

Desátou jednotkou jsou rukávy s ložisky v ramenech a loktech, které zajišťují možnost pohybu horních končetin. [5; 6]

Rukavice jsou jedenáctou jednotkou. U nich zajišťují pohyb ložiska v zápěstích. Měkké klouby, které jsou situovány v oblasti prstů zajišťují dobrou manévrovatelnost s jednotlivými předměty. Prsty jsou část těla, který se ve vesmíru nejrychleji ochlazuje. Proto mají rukavice v konečcích prstů umístěny elektrické ohříváče. [5; 6]

Dvanáctou jednotkou je helma. V ní se nachází ventilační jednotka, která přesměrovává kyslík ze spodní části torza a z PLSS právě do helmy. [5; 6]

S helmou souvisí i další – třináctá jednotka Extravehicular Visor Assembly. Jedná se o hledí pokryté tenkou vrstvou zlata, které filtruje škodlivé spektrum slunečního záření. Dále obsahuje několik stínítek světelné lampy a televizní kameru pro přenos obrazu. [5; 6]

Čtrnáctou jednotkou je LCVG (Liquid Cooling-and-Ventilation Garment), což je v podstatě spodní prádlo, kterým proudí voda a ochlazuje tak astronauta. [5; 6]

Patnáctou jednotkou je MAG, plena dospělé velikosti. [5; 6]

Šestnáctou jednotkou je IDB, plastový vak na pití. [5; 6]

Sedmnáctou je CCA, látková helma obsahující mikrofon a sluchátka. [5; 6]

Osmnáctou jednotkou je AAP, adaptér, který slouží k uchování EMU na ISS. [5; 6]

2.1.2 AxEMU

Dne 15. března 2023 představila NASA prototyp nového skafandru s označením AxEMU (Axiom Extravehicular Mobility Unit) od společnosti Axiom (*Obr. 3*). Tento skafandr by měli astronauti používat při misi Artemis III, která má navrátit lidské bytosti na povrch Měsíce. Mise

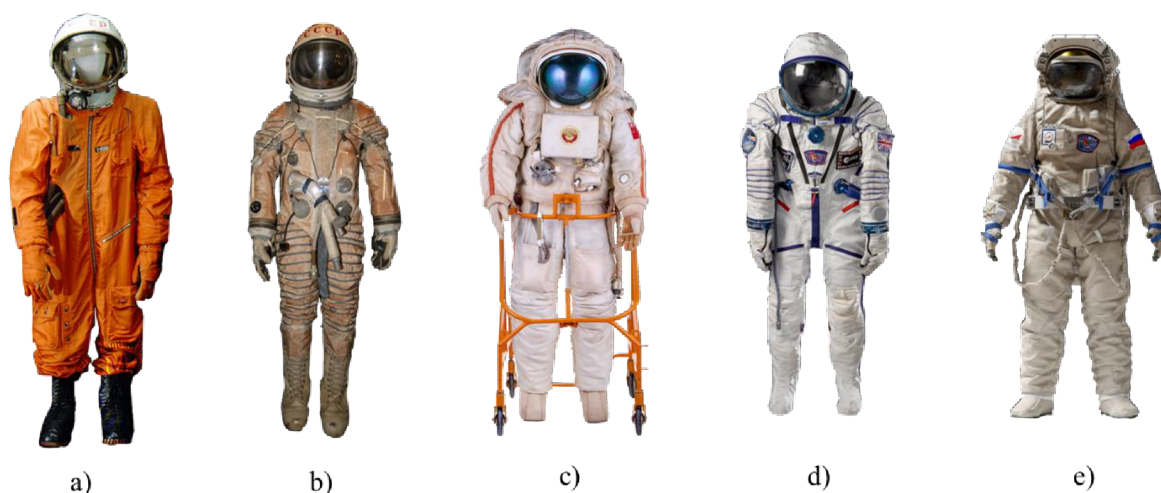
je plánovaná na rok 2025. Oproti současnému EMU zajišťuje tento skafandr větší flexibilitu pohybu astronauta, lepší odolnost vůči vnějším extrémním podmínkám a specifické nástroje potřebné k vědeckým činnostem na povrchu Měsíce. EMU mělo velký problém v nevhodně navržené velikosti skafandrů. Například ženy nemohly skafandry EMU téměř vůbec používat kvůli nekompatibilitě geometrických poměrů kloubů ženského těla s klouby tohoto skafandru, což způsobovalo výrazné zhoršení mobility. AxEMU má lépe vyřešený systém jednotlivých velikostí skafandrů. Proto bude jedním ze tří členů posádky, kteří se zúčastní mise Artemis III, i žena. Ta se stane první ženou v historii, která vstoupí na povrch přirozeného satelitu Země. Díky zvýšení mobility skafandrů AxEMU bude poprvé možné se po povrchu Měsíce skutečně projít přirozenou chůzí. Při sledování dobových záběrů z misí Apollo je vidět, jak astronauti spíše skákali, než chodili. Nově vyvinuté měkké a tvrdé klouby umožňují přirozenější chůzi a ovládání geologických nástrojů pro komplexnější prozkoumávání povrchu Měsíce. [7]



Obr. 3 AxEMU [7]

2.2 Roskosmos

Ruská vesmírná agentura má stejně dlouhou historii jako ta americká. Sdílí s ní tedy i stejně dlouhé dějiny vývoje skafandrů. Prvním ruským, respektive sovětským, IVA skafandrem byl SK1 (Obr. 4). Tento skafandr měl na sobě Jurij Gagarin při cestě do kosmu. Byl to tedy první skafandr v dějinách lidstva, který navštívil vesmír. Podobně jako u prvního skafandru NASA, základ SK1 vycházel z tlakového obleku stíhacích pilotů, který byl drobně upraven a osazen jinou helmou. Prvním sovětským EVA skafandrem byl Berkut (Obr. 4). Byl použit při historicky první vesmírné procházce (spacewalk), ta ovšem ukázala nedokonalosti tohoto habitatu. Alexei Leonov, kosmonaut, který provedl tuto spacewalk, musel například snížit tlak atmosféry uvnitř skafandru, aby lépe vyrovnal rozdíl mezi okolním tlakem a tlakem v obleku a tím čelil dekompresní nemoci. Dalším EVA skafandrem byl Krečet (Obr. 4), který byl určen pro cestu na povrch Měsíce. I když tento skafandr nikdy nebyl použit pro tento účel, jeho design, zejména jeho způsob oblékání byl průlomový. Tzv. rear entry design (vstup zezadu) znamená, že si kosmonaut skafandr neobléká, ale nastupuje do něj. Tento způsob je využit také u již zmíněného AxEMU. Následně již přichází skafandry navržené v 70. letech dvacátého století, které jsou používány až do současnosti. Jsou to skafandry Sokol (Obr. 4) (IVA skafandr) a Orlan (Obr. 4) (EVA skafandr). [8]



Obr. 4 Vývoj skafandru Roskosmosu a) SK-1 [40] b) Berkut [41] c) Krečet [42] d) Sokol [43] e) Orlan [44]

2.2.1 Orlan

Společně s oblekem Krečet se začal navrhovat i první typ obleku Orlan. Sdílely spolu stejnou konstrukční platformu. Skafandr byl v jednom v kusu a vstupovalo se do něj zezadu přes odkrytí PLSS, který byl součástí obleku. Samotná konstrukce obleku byla taková, že hrudní část a helma byly z tuhé skořápky a ohebné byly pouze rukávy a nohavice. Orlan prodělal několik modernizací. Proto existuje šest jeho modelů. Ty se samozřejmě s časem modernizovaly, aby odpovídaly aktuálním požadavkům na bezpečnost a funkčnost. Nejmodernějším modelem je Orlan MKS, který je v současné době k dispozici astronautům a kosmonautům na ISS pro provádění space walks. [9]

Co se týče samotného obleku, hlavním rozdílem oproti americkému EMU je jednoznačně způsob oblékání skafandru. Zatímco EMU se vskutku v podstatě obléká, jednotlivé části skafandru je nutné k sobě připojit, do Orlanu se leze přes zadní otvor po otevření PLSS. Tím spíše naplňuje to, že se jedná o malý vesmírný soběstačný modul než jen o kus oblečení. Jednotlivé vrstvy skafandru jsou podobné těm u amerického protějšku. První vrstvy zajišťují tepelný komfort. Jsou jimi pórovitá vrstva, která slouží k odvodu potu, a vodou chlazené spodní prádlo, které je osazené trubičkami, jimiž proudí superčistá voda a chrání tak uživatele skafandru před přehřátím. Pevné torzo je tvořeno z hliníkové slitiny a vnitřek je opatřen pogumovanou tkaninou pro případ deformace kovové části. Rukávy a nohavice jsou pak měkké a tvoří je vnitřní vrstva kapronu, druhotná a prvotní tlaková vrstva z polyuretanu a na ní vrstva lavsanu. Použití polyuretanu na tlakové vrstvy je inovace až posledního modelu MKS, který zajišťuje lepší celistvost vrstvy a také značnou úsporu hmotnosti oproti pogumovaným tkaninám, které se v předešlých modelech používaly. Svrchní vrstvy jsou jak u torza, tak u končetin vyrobené z několika vrstev pokoveného polyetylenfthalátu. Tohoto materiálu je 5-20 vrstev podle toho, jak je dané místo exponované. Vrstva, která jako první zachytí kosmické záření, je tvořena fenylenem. [9]

Jednotlivé části skafandru jsou velmi podobné těm na EMU. Jediný větší rozdíl je v tom, že oproti DCM v EMU je na Orlanu tato jednotka rozdělena do čtyř separátních. Logicky je také jinak konstrukčně pojata jednotka PLSS, vzhledem k tomu, že se používá jako vstup do

habitat. Hermetizace vstupu je provedena pomocí gumových hadiček, které fungují jako těsnění. Astronaut poklop uzavře několika pohyby páky.

2.3 CNSA

Čína s její vesmírnou agenturou (China National Space Administration) se v roce 2003 připojila do elitního klubu zemí, kterým se podařilo vyslat člověka do vesmíru. Pro tuto misi je potřeba vybavit „účastníky zájezdu“ potřebným oblečením, kterým je skafandr.

CNSA úzce spolupracovala s Roskosmosem. Proto jejich první skafandr, který se objevil na misi Šen-Čou-5 byl v podstatě kopií ruského Sokolu-KV2, který prošel malými kosmetickými úpravami. Rusové měli údajně Číňanům prodat dva nebo jeden své Sokoly za účely tréninkového výcviku. Čínská strana tento skafandr rozebrala na atomy a poté z nich vytvořila obleky nové. [10]

Svůj vlastní mikro habitat vytvořila CNSA pro misi Šen-Čou-7, kdy poprvé taikonaut provedl EVA. Jednalo se o Skafandr Feitian a šlo o skafandr velmi podobný ruskému protějšku Orlan-M. Čínští inženýři tento oblek vytvořili za pomoci reverzního inženýrství právě z tohoto ruského modelu. Feitan se liší pouze v detailech, a to například v tom, že jeho helma má větší průzor, nebo přemístění ukazatele vnitřního tlaku. Větší změny se týkají přenášení dat. Zatímco Orlan-M byl analogový, Feitian je plně digitální, a to jak ve sběru, tak přenosu dat. O ostatních detailech se toho mnoho neví, protože čínská strana má informace o svém vesmírném programu přísně utajeny. Od mise Šen-Čou-12 používají taikonauti modernizovanou verzi Feitianů. Například při EVA jsou nyní schopni uživatelé tohoto skafandru pracovat 7-8 hodin namísto původních 4. Účastníci této mise si také pochvalovali větší pohodlnost samotného skafandru a lepší elektronickou vybavenost. [10; 11]

2.4 Soukromé společnosti

Vzhledem k tomu, že vesmír vlastně není ničí a je neutrální půdou, přitahuje v poslední době velkou pozornost soukromých společností. Těch v poli kosmonautiky přibývá a zdá se, že by do budoucna i mohly převzít ono pomyslné žezlo v tomto oboru. V současné době se v médiích dost často skloňuje jméno amerického visionáře Elona Muska a jeho SpaceX, ale to ovšem zdaleka není jediná firma nestátního charakteru, která v této oblasti hraje velkou roli. Aktuálně tyto soukromé firmy úzce spolupracují s národními vesmírnými agenturami. Zejména s NASA, která využívá služby např. právě zmiňované SpaceX nebo Boeingu. Hlavně využívají jejich nosných raket pro své moduly nebo zcela využívají jejich služby při přepravě astronautů na ISS. Co se skafandrů týče, už byl zmíněn aktuálně nově plánovaný skafandr pro misi Artemis III, který pro NASA vytváří a vyvíjí soukromá firma Axiom. I ostatní firmy, které nebyly vybrány pro tuto misi, se snaží v tomto odvětví zaujmout vlastními postupy a návrhy.

2.4.1 Boeing

I když o této firmě není v mainstreamových médiích slyšet tolik jako o SpaceX, i ona má svůj vlastní skafandr. Jedná se o IVA oblek, který byl představen v roce 2017 spolu s modulem CST-100 Starliner. Říká se mu Boeing Blue pro jeho jasně modrou barvu (*Obr. 5*). Oproti předchůdcům se lišil tím, že byl daleko lehčí, asi o 4,5 kg. Byly také vylepšeny látky, které umožňují odpařování vody. Zároveň ale drží vzduch uvnitř a tím udržují uvnitř obleku konstantní tlak. To napomáhá lepšímu chlazení obleku a astronauti mají větší tepelný komfort.

Vylepšeny jsou také rukavice, které jsou citlivé k dotykovým obrazovkám, což je v dnešní době téměř nezbytné. Helma není oddělitelná od samotného obleku, ale je do něj všita. Co se EVA skafandru týče, nejsou žádné zmínky o tom, že by ho Boeing měl v plánu vyvíjet. [12]



Obr. 5 IVA skafandr společnosti Boeing [37]

2.4.2 SpaceX

Tato společnost jednoho z nejbohatších lidí na světě svůj IVA skafandr představila v roce 2017 a poprvé byl použit v roce 2020. Na první pohled zaujme design tohoto skafandru, protože vypadá elegantně a oproti předešlým skafandrům ne tak nafouknutě (*Obr. 6*). Jedná se o design Jose Fernandez, kostýmového designéra v Hollywoodu. Právě proto tento oblek vypadá jak z nějakého sci-fi filmu. Oblek využívá nejmodernější technologie, např. helma tohoto obleku je tištěná na 3D tiskárně. Rukavice jsou plně kompatibilní s dotykovými obrazovkami na palubě modulu Dragon. Další inovací je, že na obleku je pouze jeden port, který se spojí se sedačkou v modulu Dragon a tímto jedním portem je řízena veškerá podpora života: komunikace, kontrola tlaku nebo chladicí systém obleku. I samotní astronauti tento oblek ocenili hodnocením 5/5. Vyzdvihli také jednoduché oblékání a svlékání ve stavu bez tíže. To je možné díky tomu, že každý oblek je dělaný na míru. [13; 14]



Obr. 6 IVA Skafandr společnosti SpaceX [13]

Na konec léta roku 2023 je plánovaná mise Polaris dawn, která má za úkol i první komerční space walk. Při této příležitosti by se měl poprvé představit také EVA oblek společnosti SpaceX, který by měl vycházet z výše zmíněného IVA skafandru. Očekávalo se, že SpaceX se bude účastnit soutěže o dodání skafandru pro misi Artemis III, ale nikdy se do soutěže nepřihlásil. Proto se spekuluje, jestli SpaceX nepracuje na skafandru, který bude schopný obstát v těžkých podmínkách Měsíce a bude tak konkurovat AxEMU. [15; 16]

2.5 Koncepty skafandrů pro dobývání Marsu

S tím, že se technologie od dob, kdy byly vyvíjeny první EVA skafandry jako Orlan nebo EMU razantně změnila a posunula dopředu, je nutno počítat. Také se vyvinuly nové přístupy k dané problematice, ze kterých by se mohlo čerpat při volbě skafandru pro mise na povrch Marsu. Otázkou samozřejmě je při dnešním tempu nových vynálezů a inovací jaké možnosti budou za pár let, až se opravdu budeme blížit právě k cestě na Mars, ale představitivosti se meze nekladou.

2.5.1 BioSuit

S tímto konceptem přišel tým z MIT, v čele s profesorkou Davou Newman. Jedná se o zcela nový přístup, který pro vytvoření potřebného tlaku ve vakuu vesmíru používá koncepci MCP (mechanical counterpressure). Prototyp rukávu byl představen v roce 2022 na konferenci MARS (Machine learning, Automation, Robotics and Space) amerického miliardáře Jeffa Bezose. Je vyroben vrstvením víceúčelových polyetylenových vláken, které zajišťují vysokou ohebnost a odolnost a také potřebný tlak. Dále také zajišťují částečnou termoregulaci a částečně chrání před kosmickým zářením. Vše je spleteno na 3D automatickém pletacím stroji, který vrství jednotlivá vlákna na sebe a tím vzniká tato unikátní látka. [17]

Oblek je napojen na chytré systémy, které monitorují tlak skafandru vytvářený pohyby těla. Využívají se k tomu vlákna, která fungují na termální bázi, akcelerometry, gyroskopy a algoritmy strojového učení, které udávají informace v aktuálním čase. Tento oblek dále využívá i bezdrátové grafické rozhraní, které umožňuje astronautům sledovat tlak skafandru, jeho anomálie, nebo jejich výkonnost. [17]

Ač je tento oblek pouze ve fázi, kdy se přemýšlí nad prototypy, jedná se o možného konkurenta současných obleků, které fungují na bázi tlaků vytvořeným plynem. Oproti těmto typům by se jednalo o daleko lépe ovladatelný, a ne tolik objemný skafandr. To by mohlo mít za následek razantní ušetření hmotnosti. Další výhodou této „druhé kůže astronauta“ je systém oblékání. Jeho jednoduchost byla prezentována právě na zmíněné konferenci MARS. [17]

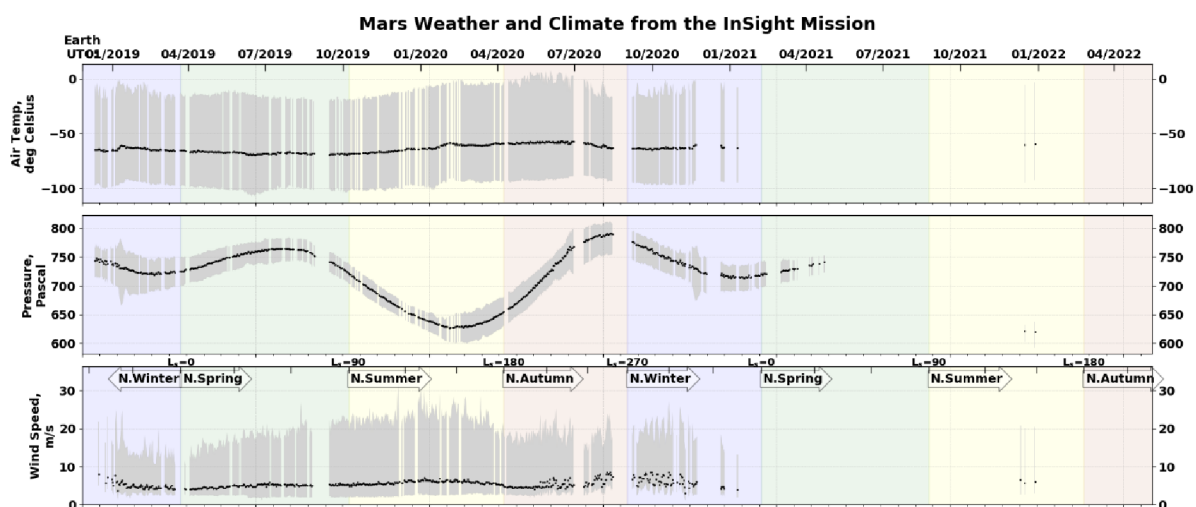
3 Podmínky na Marsu

Na Marsu jsou velmi rozdílné podmínky oproti naší rodné planetě. Proto je důležité tyto odlišnosti dobře zmapovat a na jejich základě koncipovat vlastnosti předpokládaného skafandru. Bez nadsázky se dá říct, že to je otázka života a smrti. I když se jedná o planetu, která je druhou nejbližší k té naší, je fakt, že pro nějaké podrobnější popsání jednotlivých jevů a jejich příčiny není zatím dostatek dat, což se dozajista s časem a větším zájmem o rudou planetu zlepšuje.

3.1 Atmosféra

Oproti Zemi je její složení zcela odlišné. Zemská atmosféra je složena ze 78 % dusíku, 21 % kyslíku, 1 % argonu, 0,04 % oxidu uhličitého a dále obsahuje další plyny. Oproti tomu ta na Marsu je složena z 95 % oxidu uhličitého, 3 % dusíku, 1,6 % argonu a dále obsahuje stopy kyslíku, oxidu uhelnatého, methanu a dalších plynů. Zemská atmosféra oproti té mart'anské obsahuje také 1 % vodních par, zatímco na rudé planetě jsou zastoupeny pouze stopově. [18]

Se složením atmosféry souvisí také její hustota. Oproti té naší je atmosféra na Marsu velmi řídká. Pro porovnání, zemská atmosféra se klasicky uvádí jako 1 atm = 1013 kPa, ta na Marsu dosahuje v průměru pouze 0,6-0,8 kPa (Obr. 7), což není ani 1 % té zemské. Toto je jeden z hlavních důvodů, proč je potřeba na Marsu nosit skafandr. Stejně jako na Zemi není tlak atmosféry konstantní a mění se s nadmořskou výškou. Tady je potřeba vysvětlit podle čeho se na povrchu Marsu měří „nadmořská výška“. Vzhledem k tomu, že na rudé planetě nejsou žádná moře, vědci stanovili tzv. průměrný gravitační povrch, který odkazuje na průměrnou výšku na povrchu. S tím poté souvisí to, že tlak na Olympus Mons, nejvyšší hoře sluneční soustavy, která má výšku 22 km nad průměrným gravitačním povrchem, je 0,07 kPa a naopak na dně kráteru Hellas, nejhlubšího místa Marsu, které má hloubku 7,2 km pod průměrným gravitačním povrchem je 1,4 kPa. Co je zajímavé na tlaku atmosféry na Marsu a co na Zemi nenajdeme, je, že na něj má zásadní vliv i roční období. Děje se tak kvůli odlišným hodnotám CO₂ napříč sezónami, které jsou způsobeny odlišnými teplotami. Vzhledem k tomu, že při chladných zimách zmrzne určitá část CO₂ v atmosféře, klesne její tlak až o 30 %. [18; 20]



Obr. 7 údaje o počasí a klimatu získané z mise InSight [30]

3.1.1 Vítr

Z aktuálních studií se na Marsu předpokládá, že proudění tamějšího vzduchu oproti tomu zemskému má jednodušší a častěji se opakující vzorce. Je to kvůli absenci oceánů a moří, které proudění vzduchu na Zemi značně komplikují. [19]

V nižších zeměpisných šířkách převažuje Hadleyho proudění, které funguje na principu, že u rovníku se teplý vzduch vznesne a poté proudí zpátky k pólům, kde se ochlazuje a následně se dostává zpátky k povrchu okolo 30° zeměpisné šířky, a tak se cyklus opakuje. Samozřejmě proudy vzduchu se nepohybují po přímkách od pólů k rovníku, ale vzhledem k rotaci planety

jsou stáčený na západ. George Hadley je anglický vědec, který objevil tento způsob proudění na Zemi a byl po něm pojmenován. [19]

Co se týče rychlosti větru, vycházet se musí z omezeného počtu měření. Aktuálně měří rychlost marťanského větru vozítko Curiosity, z jehož záznamů můžeme určit průměrnou rychlost 5 m/s (Obr. 7). Dále z Obr. 7 můžeme vidět, že nejvyšší naměřená rychlost je přes 30 m/s, tudíž něco přes 100 km/h. Navzdory velmi řídké atmosféře, kterou Mars disponuje, je to více než dost pro to, aby byl vítr o této rychlosti schopen s sebou nést drobné kousky písku, kamenů nebo usazenin. Právě proto, že marťanská atmosféra ani zdaleka nedosahuje takové hustoty jako ta zemská a také neobsahuje molekuly vody, které jsou nositeli velkého množství energie, nejsou marťanské bouře ani zdaleka tak drastické jako ty na naší planetě. [19]

3.1.2 Prach

Vzhledem k tomu, že Mars je nejprašnější místo v celé sluneční soustavě, každý, kdo bude chtít vyvinout mikro habitat za účelem používání na této planetě, bude muset tomuto problému čelit. Důvod, proč se na této planetě tolik práší, je jednoduchý. Je jím nedostatek vodních ploch, které by malé částičky hornin pohltily. Dalšími důvody jsou nízká gravitace a velmi řídká atmosféra. Tyto vlastnosti planety zapříčiňují, že částičky hornin poletující vzduchem jsou schopné létat výš než na Zemi a udržet se ve vzduchu déle. Když je chytne vítr, který pomocí nich eroduje další horniny, vzniká tak nekončící proces. [21]

Velikost těchto částic je v průměru asi 3 mikrometry. Tudíž se dostávají všude a po zkušenostech z misí Apollo, kde nastávala podobná situace s měsíčním prachem, je známo, že tak mohou vznikat značné komplikace. Ten se udržoval na skafandrech astronautů a po jejich návratu do habitatů způsoboval respirační problémy posádce. Dále by také mohl mít fatální následky pro určité součástky obleků jakou jsou např. ložiska. Kdyby se zadřela a nemohla pracovat, znamenalo by to značné komplikace.[21]

Zajímavostí je, že díky prachu má tato planeta svou ikonickou barvu, díky které získala přezdívku „rudá planeta“. Prachové částice totiž obsahují minerály železa, které po oxidaci dostávají rezatou barvu. Tato barva je výsledkem celkové barvy této planety. [21]

3.2 Gravitace

Planeta Mars je samozřejmě menší a vzhledem k tomu, že se jedná o planetu s pevným jádrem (i když přesné složení jádra je zatím neznámé), je rozdílné i gravitační zrychlení a s ním spojená gravitační síla na povrchu. Ze vzorce pro gravitační zrychlení plyne, že tato veličina závisí na hmotnosti planety a klesá s druhou mocninou vzdálenosti od jejího středu. Při průměru rudé planety 6792 km (zhruba poloviční oproti Zemi) a její váze $6,4169 \cdot 10^{23}$ (zhruba desetinová oproti Zemi) vychází její gravitační zrychlení $3,725 \text{ m/s}^2$ (asi 2,6krát menší než na Zemi). Toto má za příčinu, že věc, která na naší planetě váží 100 kg by na Marsu měla pouze 38 kg. [22]

V současné době není zcela známo, jaké důsledky má dlouhodobý pobyt v prostředí s nižší gravitací. Ovšem ze vzorku, který mají vědci a lékaři na příkladu astronautů, kteří pobývají v ISS v mikrogravitaci se došlo k těmto závěrům. Byl pozorován úbytek svalové hmoty, řidnutí kostí, měnila se funkčnost orgánů a také změny ve zraku. Právě kvůli budoucím pobytům prvních průzkumníků této planety je důležité podrobněji prozkoumat důsledky na lidské zdraví a funkčnost různých systémů v prostředí se sníženou gravitací. [23]

3.3 Teplota

Oproti Zemi není teplota vzduchu na Marsu tak stálá. Je to způsobeno několika faktory. Např. řídká atmosférou, která neudrží pomyslnou „deku“ nad planetou, která by držela tepelnou energii ve vzduchu, nebo absencí oceánů, které fungují jako akumulátory tepelné energie a také přispívají k větší rovnosti teplot ve dne a v noci na Zemi. Na Marsu se proto může stát, že okolo rovníku ve dne může být až 20 °C ale v noci se ochladit až na -73 °C. Velice řídká atmosféra má také za důsledek, že v poledne budete na rovníku Marsu mít u nohou až 24 °C, a zároveň u hlavy přitom budete mít ve stejnou chvíli 0 °C. Průměrná teplota na Marsu napříč ročními obdobími je -60 °C (*Obr. 7*). Oproti Zemi, kde je průměrná teplota asi 15 °C, je to podstatný rozdíl. Toto není způsobeno pouze řídkou atmosférou, ale také tím, že Mars je oproti Zemi od Slunce o 0,5 astronomické jednotky dále. [24; 25]

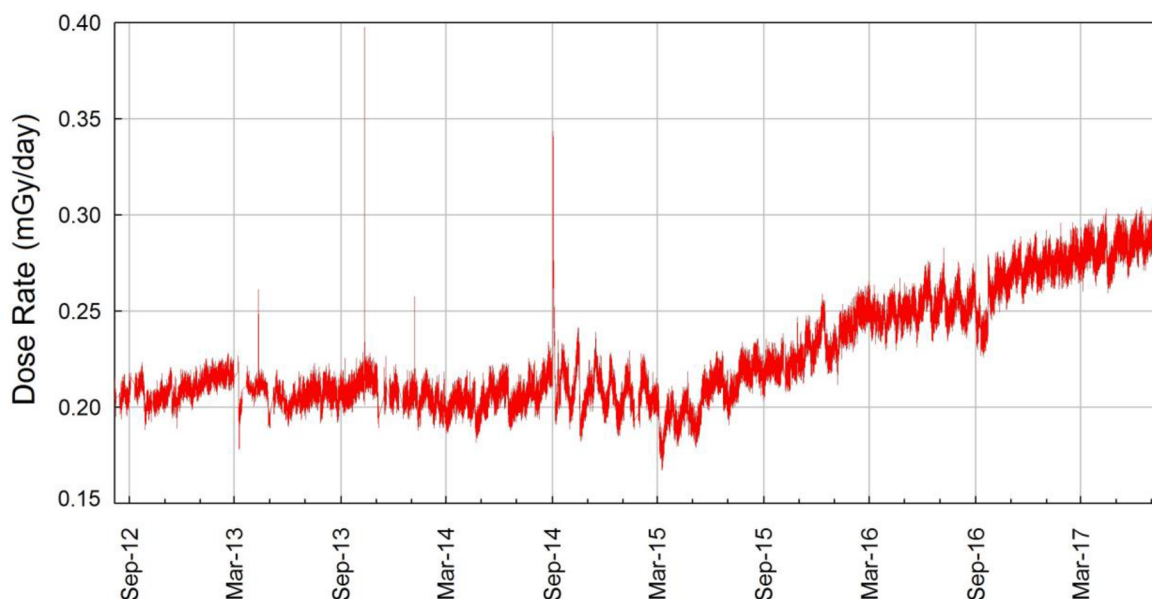
Při porovnání extrémů, tedy nejvyšší a nejnižší naměřené teploty na Marsu a Zemi, je na Marsu teplota nižší. Na rudé planetě je nejnižší naměřená teplota -140 °C a nejvyšší 30 °C a na naší rodné planetě je nejnižší naměřená teplota -88 °C a nejvyšší 58 °C. [22]

3.4 Kosmické záření

Dalším problémem, kterému musí návrháři skafandru pro Mars čelit, je kosmické záření. Opět je tu na vině velmi řídká atmosféra této planety a také absence magnetického pole, které neodráží záření tak, jak tomu je právě na Zemi. V mart'anské atmosféře také nevznikla žádná ozonová vrstva nebo nějaká podobná vrstva, která by měla za úkol chránit před tímto škodlivým zářením. [26]

Povrch Marsu je vystaven působení dvou typů záření. Prvním typem je solární záření. Jedná se o záření složené z protonů o nízké energetické hladině, které je relativně jednoduché odstínit a není proto tolik nebezpečné pro dlouhodobý pobyt na rudé planetě. Druhým typem záření je galaktické kosmické záření, které je složené z vysokoenergetických částic. Toto záření může mít dopad na DNA. [26]

Podle roveru Curiosity, který je vybaven zařízením RAD na měření radiace je průměrná absorbovaná dávka radiace na Marsu mezi 200-300 μGy/den (*Obr. 8*). Ekvivalentní dávka radiace je tedy něco okolo 0,7 mSv/den, což vychází zhruba 255 mSv/rok. V porovnání se Zemí, kde člověk se vystaven dávce 3 mSv/rok, je to razantní nárůst. Ovšem podle NASA by neměl být problém radiaci o takové hodnotě ve skafandru zvládnout. [27; 28]



Obr. 8 údaje měření radiace modulu RAD roveru Curiosity [28]

4 Vlastní koncepce Skafandru

Tato část je věnována vlastnímu koncepčnímu návrhu skafandru pro budoucí mise na povrch Marsu. Vychází ze získaných informací a zkušeností, které jsou sepsány v předchozích kapitolách. Ve vlastním konceptu jsou zahrnuty moderní technologie výroby, které se používají v různých jiných odvětvích a obecně získávají na popularitě, nové poznatky a vynálezy z misí na Mars provedených ať už roverem Curiosity nebo Perseverance.

4.1 Části skafandru

4.1.1 HUT

Hard upper torso (tvrdé horní torso) je v současné době vyráběno ze skelných vláken. V navrhované koncepci budou nahrazena materiálem PA 603-CF, který vyrábí společnost Advanced Laser Material. Jedná se o materiál, který kombinuje karbonová vlákna s polyamidovou matricí. Tento materiál má velmi dobré mechanické vlastnosti (*Tab. 1*). Např. pevnost v tahu, odolnost proti nárazům, nebo únavovou odolnost. Další výhodou je nízká hustota, která výrazně snižuje celkovou hmotnost tohoto dílu. Oproti skelnému vláknu nemá takovou odolnost proti vysokým teplotám. Při předpokladu, že teplota atmosféry skafandru bude regulována kvůli tepelnému komfortu astronauta a nebude tak dosahovat teplot nesnesitelných pro tento materiál, nemělo by toto omezení mít zásadní vliv.

TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES			
PROPERTY	TEST METHOD	IMPERIAL	METRIC
Color/Appearance	Visual	Dark Gray	Dark Gray
Bulk Density	ASTM D1895	0.237 oz/in ³	0.41 g/cm ³
Average Particle Size (D50)	Laser Diffraction	0.002 inches	50 microns
Particle Size Range (D10-D90)	Laser Diffraction	0.001 - 0.004 inches	35 - 100 microns
Sintered Part Density	ASTM D792	0.634 oz/in ³	1.10 g/cm ³
Heat Deflection Temperature	ASTM D648	343°F at 264 psi	173°C at 1.82 MPa
Heat Deflection Temperature	ASTM D648	354°F at 66 psi	179°C at 0.45 MPa
Ultimate Tensile Strength (XY)	ASTM D638	12,328 psi	85 MPa
Tensile Modulus (XY)	ASTM D638	1,145,797 psi	7,900 MPa
Flexural Modulus (XY)	ASTM D790	1,329,995 psi	9,170 MPa
Elongation at Break (XY)	ASTM D638	4%	4%
Izod Impact Strength - Notched (XY)	ASTM D256	1.58 ft-lb/in	84 J/m
Izod Impact Strength - Unnotched (XY)	ASTM D256	3.03 ft-lb/in	161 J/m

Tab. 1 Mechanické vlastnosti PA 603-CF [29]

Další výhodou tohoto materiálů a hlavním důvodem proč byl pro tento díl vybrán, je jeho způsob zpracování. Využívá se u něj aditivní technologie laserového sintrování. Tento způsob výroby v kombinaci s 3D skenováním daného astronauta by umožnil vyrábění HUTu na míru. Tím by se předcházelo nekompatibilitě astronauta se skafandrem a snížila by se energetická náročnost různých úkonů vykonávaných astronauty. Zvýšenou shodou geometrie skafandru s geometrií těla astronautů se bude moct zmenšit velikost ložisek používaných pro ohýbání v oblasti ramen, čímž se sníží celková hmotnost obleku a jeho objem.

Konstrukční řešení tohoto dílu bude zvoleno stejné jako u ruských EVA skafandrů, tzn. rear entry design. Jedná se o jednodušší řešení, protože člověk nemusí spojovat jednotlivé části skafandru k sobě, ale pouze vstoupí do celého skafandru zadním vstupem. Toto řešení také umožní astronautům se do skafandru dostat bez pomoci druhé osoby. K zadnímu krytu bude zároveň připevněno PLSS. HUT také bude sloužit jako základna pro připojení ostatních jednotek skafandru, např. horních končetin, dolních končetin, vaku na pití, DCM atd. Také bude propojovat PLSS s vnitřkem skafandru přes otvory potřebné pro proudění kyslíku a také pro chladič systém.

4.1.2 Spodní torso

Oproti současným skafandrům pro EVA, budou muset být provedeny razantní změny v pohyblivosti spodní části těla. V současné době nejsou skafandry EMU a Orlan navrženy tak, aby bylo potřeba používat spodní část těla, protože ve stavu bez tíže okolo ISS se astronauti pohybují pouze pomocí horních končetin.

V okolí pasu a kyčlí bude pohyb zajištěn ložisky z titanu. Při použití titanu místo nerezové oceli ($\rho_{Ti} = 4530 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho_{Fe} = 7860 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [31]) se razantně sníží hmotnost celého skafandru. Konkrétně navrhuji použít slitinu Ti-6Al-4V, která je poměrně rozšířenou slitinou v oblasti průmyslu a má hojné využití v oblasti letectví. Vzhledem k prašnému prostředí Marsu budou muset být tato ložiska pouzdrována, aby nedocházelo k jejich zadírání. Pouzdra budou navržena z uhlíkových vláken vzhledem k potřebě nízké hmotnosti. V prostoru kolen budou muset být

použity tzv. měkké klouby, které dovolí ohnutí nohavice, ale zároveň zachování celkového objemu, čímž se nebude zvyšovat tuhost pohybu. Tyto měkké klouby budou koncipovány pomocí gumových destiček z přední i zadní strany kolene. Koncepce těchto měkkých kloubů bude provedena v křížovém designu, podobně jako u měkkých kloubů společnosti SpaceX. Tento druh ohýbání by oproti designu horizontálnímu měl více pomáhat v ohybu daného kloubu. V pohybu zpátky pak pomůže samotný skafandr, který se bude chtít vrátit do své původní polohy.

4.1.3 Chladicí oděv

První vrstvy, které na sebe astronaut bude oblékat jsou vrstvy chladicího oděvu. Zde bude převzata technologie, která se používá v současných skafandrech. Tím je již zmiňované chlazení pomocí deionizované vody. Voda bude obíhat tělo v drobných PVC trubičkách o průměru několika milimetrů zatkaných do spodního prádla vyrobeného z pružného spandexu. Ta bude cyklicky obíhat skrze trubičky zpět do PLSS, kde se bude ochlazovat a v této podobě se bude vracet do spandexového prádla. Vzhledem k očekávanému použití skafandru na Marsu budou trubičky vedené po celém povrchu těla včetně nohou a hlavy. K ochlazení hlavy bude sloužit speciální kapuce vyrobená na stejném principu jako prádlo na chlazení ostatních částí těla. Celá „kombinéza“ se bude zapínat pomocí zipu na přední straně těla.

Skrz tento chladicí oděv budou do PLSS také napojeny trubice, kterými se bude odvádět z prostoru skafandru vydechovaný CO_2 a pot vyprodukovaný uživateli skafandru, aby nedocházelo ke kontaminaci atmosféry obleku. CO_2 a pot se budou následně recyklovat v PLSS a budou navraceny do oběhu jako O_2 pro dýchání. Z potu se odfiltruje voda, která bude znovu chladit uživatele skafandru.

4.1.4 Vrstvy skafandru

Další vrstvou, která bude navazovat na chladicí oděv, bude tlaková vrstva. U této komponenty budou opět využity koncepty, které používají aktuální skafandry na ISS. Materiál bude ponechán stejný jako je tomu u Orlanu MKS, tedy namísto tkanin s urethanovým nátěrem, polyurethan. Představuje značnou úsporu hmotnosti oproti starším variantám. Další vrstvou bude vrstva z Dacronu. Tato vrstva bude mít stejnou funkci jako aktuálně na EMU. Tím je omezení nylonové duše a její tlakové omezení. Při naplnění tlakové vrstvy vzduchem, se Dacron napne a omezuje expanzi skafandru pod tlakem. Takto zůstane v atmosféře skafandru stabilní tlak.

Dále budou navazovat vrstvy zajišťující termální izolaci, ochranu před kosmickým zářením a ochranu před mikrometeority. V případě Marsu hlavně před vznášejícím se prachem a kousky hornin. Tyto vrstvy budou tvořeny pohliníkováným Mylarem. Těchto vrstev se navrství několik na sebe a vytvoří tak dostatečně kvalitní termickou izolaci, která je v marťanských podmínkách nezbytná. Počet jednotlivých vrstev navršených na sebe se bude lišit podle toho, o jak exponované místo půjde. Rozdílný bude počet vrstev například na předloktích nebo v podpaží, kde logicky na předloktí bude muset být na sobě navrstveno více vrstev hliníkováného Mylaru. Poslední vrstvou bude látka zvaná Orthofabric, která je směsí několika látek, jak je uvedeno v rešerši výše.

Navrhovanou inovací je pokrýt Orthofabric vrstvou samohojícího se polyurethanu. V prostředí Marsu, které je velice prašné a pohybuje se v něm mikrometeority, by se mohlo jednat o velice

účinnou ochrannou vrstvou. Při porušení této vrstvy stačí v přechodném prostředí obytného habitatu ohřát tuto látku na pokojovou teplotu a porušení způsobené mikrometeority se znovu zacelí. Toto hojení vzniká na chemické bázi, kdy ohřátím se aktivují chemické vazby a spojí poškozenou část látky. Při použití na Marsu je hlavní omezujícím faktorem okolní teplota. Polyurethany mají v nízkých teplotách tendenci křehnout a praskat. Při aktuálním stavu vývoje těchto materiálů, by to limitovalo EVA na Marsu pouze na denní hodiny, kdy je teplota okolo nuly. Další variantou by bylo tepelně ošetřit tuto vrstvu materiálu. První možností je aktivní ohřev, např. uhlíkovými vlákny vloženými mezi Orthofabric a vrstvu polyurethanu, kterými by proudila elektřina a tím by udržovala tento materiál v teplotě, při které by jeho vlastnosti nebyly nijak omezeny. Druhou možností je ochrana dalšími vrstvami, ovšem tím bychom ztratili potenciál polyurethanu jako ochranné vnější vrstvy před mikrometeority a prachem.

Otázka, zda budou tyto materiály, používané na skafandrech EMU a Orlan, schopny obstát i v extrémních podmínkách Marsu, není zatím zcela objasněná. V současné době se na povrchu rudé planety testuje vliv tamějších podmínek na materiály nacházející se na vnější straně těchto skafandrů, jako jsou polykarbonát, Vectran, Ortofabric, Teflon, rover Perseverance. Poté, co se toto vozítko navrátí se vzorky zpět na Zemi, budeme opět o kus blíže tomu, co se ve skutečnosti bude nosit při prvních vycházkách po Marsu. [32]

4.1.5 Rukavice

Důležitou součástí každého skafandru jsou rukavice. Zatímco musí zajišťovat dostatečnou ochranu před okolním prostředím na Marsu, zároveň musí být dostatečně flexibilní, aby výrazně neomezovaly prsty v pohybu. Velmi důležité je také udržovat ruce v komfortní teplotě. Vzhledem k tomu, že na povrchu Marsu se předpokládá použití různých geologických nástrojů, bude povrch rukavice jednou z nejméně ochlazovaných částí skafandru.

Systém ohýbání jednotlivých článků prstů u rukavic bude využit stejně jako u kolenních kloubů z obleku SpaceX. Gumová vrstva situována v křížové mřížce, která pomáhá ohýbat prsty směrem dovnitř. K zpětnému pohybu do přirozené polohy potom bude pomáhat tlak samotného skafandru. Co se vyhřívání týče, bude aplikována stejná technologie, která se používá v komerčním použití vyhřívání oblečení (např. lyžařské rukavice). Uhlíková vlákna rovnoměrně rozprostřená v okolí prstů, dlaně i hřbetu, která budou napájena z baterií v PLSS. Důležitá bude také kompatibilita rukavic s dotykovými displeji. Této vlastnosti bude dosaženo pogumováním konečků prstů, čímž se stanou senzitivními pro dotykové displeje. Rukavice budou napojeny na zbytek rukávů stejně jako u horního torza pomocí titanových ložisek, které budou zajišťovat ohybnost v zápěstí.

4.1.6 Boty

Zásadní inovací, která bude potřeba pro potřeby prozkoumávání planety Marsu učinit, jsou spolu se spodním torsem boty. Na rozdíl od bot, které jsou použity na současných skafandrech, budou muset být více „turistického“ typu. Kvůli přímému kontaktu s povrchem planety je potřeba vymyslet izolační vrstvu podrážky, která bude mít za úkol udržet chodidlo v tepelném komfortu. Dále zde bude kladen velký důraz na odolnost vnější vrstvy proti prostupnosti marťanskému prachu, který se při kontaktu podrážky s povrchem planety bude vířit.

Vzhledem k tomu, že podobné extrémní podmínky na Zemi se nachází při vysokohorské turistice, bude využíváno podobných principů. Na podrážku bude použita směs speciálních

pryži, které vyrábí italský výrobce Vibram právě pro účely vysokohorské turistiky. Tyto pryže obecně nabízejí dobrou přilnavost k povrch a odolnost vůči oděru. Co se týče vnitřní stavby boty, bude použit podobný koncept jako ve vrstvách celého skafandru. První bude absorbující vrstva, která bude mít za úkol odvod potu a následný odvod pomocí ventilačního systému do PLSS. Dále budou následovat termoizolační vrstvy a ochranné vrstvy stejně jako u návrhu jednotlivých vrstev oděvu. Stejně jako u rukavic bude použito vnitřní vyhřívání boty. Koncipováno bude úplně stejně pomocí uhlíkových vláken rovnoměrně rozmístěných v prostoru boty, která budou napájena bateriemi z PLSS.

4.1.7 Helma

Neodmyslitelnou součástí skafandru je jeho helma. Tuto komponentu využívají astronauti pro vizuální interakci s okolním světem a ke komunikaci s přistávací stanicí a ostatními členy mise.

V navrhované koncepci bude skořepina tištěna na 3D tiskárně podobně jako u současného obleku firmy SpaceX. Jako materiál pro tisknutí této komponenty budou zvolena uhlíková vlákna, která kombinují skvělou pevnost a zároveň jsou velmi lehkým materiálem. Firma Markforged nabízí ve svém katalogu tento typ vláken vložených do základního materiálu, jímž je Onyx. Tento druh vlákna se pevností vyrovná hliníkové slitině EN AW-6061. Průzor bude vyroben z polykarbonátu a následně vložen do vytisknuté skořepiny tak, aby zajišťoval vzduchotěsnost. Zároveň bude mít astronaut možnost si z oblasti nad průzorem stáhnout ochranné filtry. Tyto filtry vytvořené z tenké folie zlata mají za úkol zachycovat těžké ionty kosmického záření a tím minimalizovat negativní vlivy na zdraví astronauta. Kromě ochranných filtrů si z této oblasti také bude moci vysunout stínící štít, u kterého si pomocí hlasového ovládání bude moci nastavit intenzitu stínění. Kvůli abrazivnímu prachu, který je na Marsu všudypřítomný, musí být helma vybavena dalším štítem, který bude chránit proti abrazivním částicím při prachových bouřích. Další částí helmy bude její venkovní vybavení. Na vnější straně se budou nacházet svítilny pro potřebu noční EVA nebo pro lepší orientaci v prašném prostředí. Dále se tu bude nacházet také audiovizuální kamera, která bude mít za úkol přenášet a zaznamenávat obraz kosmonauta z EVA.

V navrhovaném konceptu bude využito aktuálních trendů, tedy integrace komunikačních prostředků dovnitř helmy. Uvnitř skořepiny se budou nacházet integrovaná sluchátka a mikrofon, tudíž už nebude potřeba, jako u starších modelů, si nasazovat navíc speciální kapuci tzv. snoopy cap, která obsahovala veškeré komunikační komponenty.

Uvnitř dolní části helmy se bude nacházet malá houbička, která bude sloužit k poškrábání astronauta na nose, aby v případě potřeby kýchnutí byla možnost předejít této nepříjemnosti a nekontaminovat si atmosféru uvnitř helmy. V zadní části helmy bude pomocí trubice situován přísun kyslíku z PLSS.

4.1.8 PLSS

Portable life support systém je jednou z nejdůležitějších součástí skafandru. V tomto „batohu“ se nachází vše potřebné pro udržení astronauta užívajícího skafandr při životě. Samotný batoh obsahuje spoustu jednotlivých komponent.

V současné době zajišťují přísun kyslíku do skafandru dvě tlakové láhve s O₂ (primární a sekundární) uložené v PLSS. Stlačený O₂ se po zregulování tlaků používá ve ventilačním okruhu a k natlakování vodní nádrže.

V tomto konceptu bude nahrazena primární tlaková lahev s O₂ komponentou s názvem MOXIE (Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment). Jedná se o součást, která je schopná vyrábět z CO₂ v atmosféře Marsu dýchatelný O₂. V současnosti je tato komponenta součástí roveru Perseverance, kde je testována její funkčnost. Výroba O₂ funguje na elektrochemické bázi, kdy CO₂ je štěpen na O a CO. O jsou následně odfiltrovány a spojovány do dýchatelného O₂. Aktuálně je MOXIE schopná produkovat 6 g O₂/hodina [34], což by určitě nestačilo na udržení astronauta při životě (dle NASA člověk potřebuje v průměru 840 g O₂/dne což je v přepočtu 35 g O₂/hodina [33]), proto bude kombinována alespoň se sekundární kyslíkovou nádobou v případě, že by technologie selhala. Vzhledem k tomu, že přistání prvního člověka na Marsu je plánováno po roce 2030, dá se předpokládat, že do této doby bude tato komponenta optimalizovaná a dala by se používat jako primární přísun kyslíku. V kombinaci s ní by pak stačilo použít pouze malou záložní nádobu s kyslíkem v případě nutnosti. MOXIE bude situována do spodní části PLSS, kde bude mít přístup k atmosféře Marsu. Tím by se v PLSS ušetřilo místo. V budoucnu by se touto komponentou dala také vést směs plynů odváděných z vnitřní atmosféry skafandru. CO₂ vydechované astronauty, obsažený v této směsi plynů, by se takto v MOXIE recyklovalo. Toto řešení by nahradilo filtry z LiOH, které aktuálně v PLSS zachycují CO₂. Tím by odpadla potřeba jejich výměny po EVA a snížila by se tak potřeba zasahovat do prostoru PLSS.

Další okruh, který se v PLSS musí nacházet je na odvádění tepla vyprodukovaného samotným astronautem. Toto teplo se odvádí pomocí vody v chladičím oděvu. Systém odvádění tepla je vymyšlen pro případ, kdy se astronaut nachází ve vakuu. Pro mise na Marsu, kde je aspoň nějaká atmosféra, bude potřeba vymyslet jiné řešení. Možné řešení je popsáno v následujících kapitolách.

Dále se v PLSS samozřejmě musí nacházet baterie na pohánění elektronických zařízení ve skafandru jako jsou svítilny na povrchu helmy, sluchátka, mikrofon, ventilátory a další. Vrchní vrstva PLSS bude pokryta látkou s integrovanými miniaturními solárními panely, které by v průběhu EVA mohly alespoň částečně dobíjet tyto baterie. Tato technologie byla vyvinuta na Nottingham Trent University. Na horní části PLSS bude anténa, která bude zajišťovat komunikaci s okolním světem.

4.1.9 DCM

Display and Control Module je systém spínačů a displeje, který ovládá jednotlivé komponenty PLSS. Tento modul bude přesunut z hrudní části na jeden z rukávů. Volba toho na který, bude volitelná v závislosti na tom, jestli skafandr bude určený pro levorukého či pravorukého astronauta. Na předloktí se bude nacházet displej integrovaný do poslední vrstvy, který bude astronautovi zobrazovat aktuální data systémů v PLSS. Přemístění tohoto displeje je zvoleno kvůli lepší viditelnosti. V současné době je všechno na DCM napsáno zrcadlově a astronaut se na displej dívá pomocí malého zrcátka integrovaného do rukávu. Tento displej bude chráněn průhledným krytem, který by ho ochraňoval před abrazivními prachovými částicemi. Údaje uváděné na displeji by byly brány z jednotlivých senzorů situovaných buď uvnitř skafandru nebo na jeho povrchu. Tím by se digitalizoval celý skafandr a odpadla by nutnost analogových

měřáků a budíků. Ovládání jednotlivých systémů bude zajištěno hlasovým ovládáním. Tento způsob ovládání by měl astronautům výrazně zjednodušit interakci se skafandrem a značně jim ulehčit jejich práci. Mohli by si tak v případě potřeby volitelně ovládat například teplotu vody, která proudí v chladícím oděvu, tlak uvnitř skafandru nebo přísun kyslíku do skafandru.

4.1.10 Doplnky ve skafandru

Vzhledem k tomu, že se předpokládá délka EVA až 8 hodin, bude potřeba astronauty ve skafandru zásobovat vodou a jídlem. K HUT proto bude připevněn tzv. camel back. Jedná se o plastový vak na vodu s hadičkou, která vede do dutiny helmy. Hadička bude zakončena uzávěrem, jenž se po skusu otevře a po uvolnění stisku se opět uzavře, aby nedocházelo k samovolnému unikání kapaliny do prostoru helmy. Za předpokladu tekuté stravy (proteinové gely, přesnídávkové směsi atd.) bude, stejně jako u vody, navržen plastový vak, ve kterém se bude nacházet. Ta bude přivedena do prostoru helmy stejně jako voda. Gumový kousací uzávěr může být např. odlišený barevně pro rozpoznání stravy od pití.

Další nezbytností při takto dlouhých EVA bude nutnost vylučování. V současné době se ve všech skafandrech používá plena. Ta zachycuje veškeré vyměšování astronautů. Kvůli složitosti druhotného řešení bude i u tohoto konceptu použita tato varianta. Někdy je nejlepší to nejjednodušší řešení.

4.2 Návrh řešení odvodu tepla ze skafandru

V současné době je řešení odvodu tepla vymyšleno pro prostředí vakua, ať pro space walks okolo ISS nebo při plánované misi na Mars. Vzhledem k tomu že na Marsu se nachází atmosféra převážně z CO₂, bude muset být navrženo nové řešení. V tomto konceptu bude navržen odvod, tepla do okolní atmosféry.

Jako příklad je zvolen astronaut o výšce 175 cm a váze 68 kg. Pro výpočet plochy těla je použita Du Bois formulace.

$$S_{\text{těla}} = 0,007184 \cdot m_{\text{těla}}^{0,425} \cdot h_{\text{těla}}^{0,725} \quad (1)$$

Po dosazení vychází:

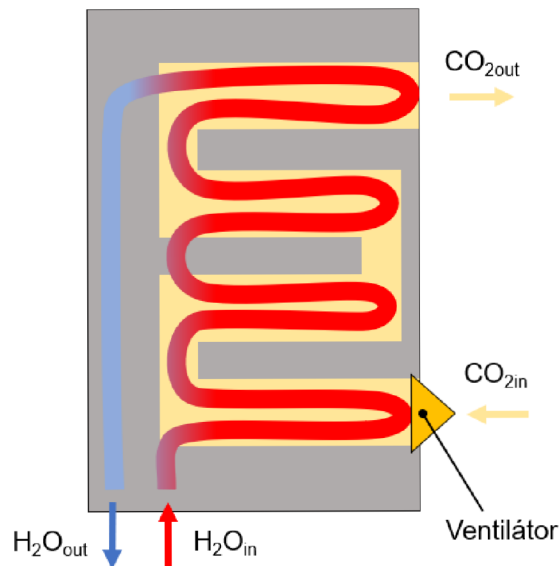
$$S_{\text{těla}} = 1,83 \text{ m}^2$$

Co se metabolického tepla, kterého se bude potřeba zbavit týče, je složité ho určit. Záleží na druhu aktivity, kterou člověk vykonává, na metabolismu jedince, který tuto činnost vykonává a samozřejmě na tělesných proporcích člověka. Při chůzi 5 km/h se uvádí vykonané teplo 200 W/m². [35] Dá předpokládat podobná aktivita jako při misích Apollo, kdy metabolické teplo činilo v průměru 1300 BTU/hodinu, [36] což po přepočtu (1 BTU/h = 0,293 W) vychází 380,9 W. Při vypočítání vyprodukovaného tepla navrhovaného astronauta při chůzi rychlostí 5 km/h dosáhne tepelného toku 366 W. Pro účely dalších návrhů odvodu tepla bude použito metabolické teplo 400 W.

Návrh předávání tepla do CO₂ atmosféry

Nejdříve bude vyzkoušeno odvést teplo vytvořené metabolismem člověka přímo do atmosféry Marsu a využít tak tuto atmosféru jako chladící médium (*Obr. 9*). Vzhledem k tomu, že atmosféra této planety je z 95 % CO₂ bude modelována podle vlastností tohoto plynu jako

ideálního plynu. Dále je potřeba zmínit atmosférické vlastnosti Marsu, které jsou zmíněné výše v řešeršní části. Atmosférický tlak bude brán $p_{\text{atm}} = 700 \text{ Pa}$ a teplota bude brána podle nejvyšší ($T_{\text{max}} = 283,15 \text{ K}$) a nejnižší hodnoty ($T_{\text{min}} = 163,15 \text{ K}$) z obr. 7.



Obr. 9 Schéma pro předání tepla do CO_2

Nejdříve se dopočítají termomechanické vlastnosti CO_2 .

Ze stavové rovnice se dopočítá měrný objem v .

$$pv = rT \quad (1)$$

Po dosazení za měrnou plynovou konstantu do rovnice $pv=rT$ (1) vzniká:

$$pv = \frac{R_m}{M} T \quad (2)$$

Po vyjádření a dosazení ($R_m = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; $M_{\text{CO}_2} = 44,01 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $T_{\text{max}} = 283,15 \text{ K}$; $T_{\text{min}} = 163,15 \text{ K}$) vychází:

$$v_{\text{max}} = 76,4147 \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$v_{\text{min}} = 44,029 \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$$

Hustota je vyjádřena jako obrácená hodnota měrného objemu.

$$\rho = \frac{1}{v} \quad (3)$$

Po dosazení vychází:

$$\rho_{\text{max}} = 0,0227 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0131 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

Poslední veličinou, kterou je potřeba vypočítat je, tepelná kapacita CO_2 .

$$c_p = \frac{\kappa}{\kappa-1} r \quad (4)$$

CO₂ je dvou atomový plyn, $\kappa = 1,4$. Po dosazení vychází $c_p = 661,1806 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$.

Pro tento případ musí fungovat termická rovnováha $Q_{\text{vyprodukované}} = Q_{\text{odevzdané}}$. Zároveň musí platit rovnice přenosu tepla:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(\Delta T) \quad (5)$$

Lze předpokládat, že nebude překročena hodnota chladné vody na ohřívání ($T_{\text{H}_2\text{Omin}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$). Po vyjádření a dosazení ($\Delta T_{\text{max}} = T_{\text{H}_2\text{Omin}} - T_{\text{min}}$; $\Delta T_{\text{mun}} = T_{\text{H}_2\text{Omin}} - T_{\text{max}}$) vychází:

$$\dot{m}_{\text{min}} = 4,8398 \cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\dot{m}_{\text{max}} = 0,1210 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$$

Hmotnostní tok je derivací hmotnosti za čas. Tím pádem lze jeho vzorec napsat takto.

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad (6)$$

Po dosazení do rovnice $m = \frac{m}{t}$ (6) za hmotnost m , vznikne rovnice:

$$\dot{m} = \frac{\rho V}{t} \quad (7)$$

Po dosazení do rovnice $m = \frac{\rho V}{t}$ (7) za objem V vznikne rovnice:

$$\dot{m} = \frac{\rho S x}{t} \quad (8)$$

V rovnici $m = \frac{\rho S x}{t}$ (8) můžeme zlomek $\frac{x}{t}$ vyjádřit jako rychlost w , a tím dostáváme rovnici:

$$\dot{m} = \rho S w \quad (9)$$

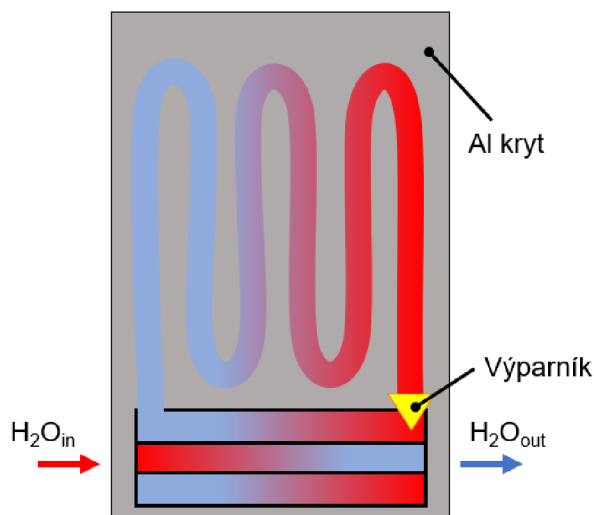
Při podělení hmotnostního toku hustotou vznikne koeficient, kterému se musí rovnat součin účinné plochy, na kterou CO₂ působí a rychlosti CO₂.

Pro $\dot{m}_{\text{min}} = 4,8398 \cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ a $\rho_{\text{max}} = 0,0227 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vychází součin $Sw = 0,2132$.

Pro $\dot{m}_{\text{max}} = 0,1210 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ a $\rho_{\text{min}} = 0,0131 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vychází součin $Sw = 9,2366$.

Návrh odvodu tepla pomocí radiace

Odvod tepla je navrhnut pomocí radiace z vnějšího povrchu PLSS. Ohřátá voda bude v tepelném výměníku předávat teplo kapalině, která následně bude pokračovat do výparníku. Následně pára o vyšší teplotě bude ohřívát vnější povrch PLSS vyrobený z hliníkové slitiny. Ta bude pokryta nátěrem zvyšujícím emisivitu. Z hliníkového povrchu následně bude emitovat teplo do okolní atmosféry (*Obr. 10*).



Obr. 10 Schéma odvodu tepla

Při vybraných rozměrech PLSS, výšce 800 mm a šířce 600 mm, bude nutná teplota hliníkového radiátoru pro emitování daného teplotního toku vycházet ze Stefanova–Boltzmannova zákona pro nedokonalé zářiče.

$$\dot{Q} = \varepsilon \sigma_0 S T^4 \quad (10)$$

Z rovnice $Q = \varepsilon \sigma_0 S T^4$ (10) je třeba vyjádřit teplotu.

$$T = \sqrt[4]{\frac{\dot{Q}}{\varepsilon \sigma_0 S}} \quad (11)$$

Při obsahu $S = 0,48 \text{ m}^2$, emisivitě nanášené vrstvy $\varepsilon = 0,8$, předpokládaném tepelném toku $\dot{Q} = 400 \text{ W}$ a Stefanově–Boltzmannově konstantě $\sigma_0 = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ vychází teplota radiátoru $T = 368,164 \text{ K}$.

Porovnání výsledků

Vzhledem k výsledkům u prvního návrhu nelze doporučit toto řešení. Řešení odvodu tepla přímo do prostoru atmosféry závisí na vlastnostech martšanské atmosféry, které jsou velice proměnlivé. Bylo by potřeba výrazně regulovat objem obíhaného CO_2 okolo ionizované vody. Výsledky by se výrazně lišily v rámci jednotlivého dne a také by se lišily v rámci ročních období kdy se mění tlak atmosféry. Vzhledem k malému tlaku a tím nízké hustotě CO_2 by bylo potřeba dosáhnout, hlavně při vysokých teplotách, vysokého objemového toku na ochlazení H_2O .

Oproti tomu druhý návrh, kde teplo odvádíme pomocí záření, není závislý na vlastnostech okolní atmosféry. Zároveň dosáhnouti teploty radiátoru na odvod potřebného tepla je za pomoci výparníku a dobře zvoleného chladicího média možné. Dále by se také dala zvýšit plocha radiátoru, jeho instalací na boky PLSS a tím zvýšit účinnou plochu a snížit tak potřebnou teplotu.

Závěr

Bakalářská práce se zabývá koncepčním návrhem skafandru pro podmínky na Marsu. V rešeršní části práce jsou popsány jednotlivé modely skafandrů, které se v současné době používají. Dále také obsahuje shrnutí extrémních podmínek na Marsu, s kterými je potřeba při koncepci počítat. Na základě této rešerše je pak sestaven koncepční návrh.

V něm je kladen důraz na snížení hmotnosti, z důvodu relativně silného gravitačního pole Marsu. Vzhledem k extrémně prašnému prostředí této planety, je v něm také řešena problematika svrchní vrstvy skafandru. Dále se zaměřuje na digitalizaci některých systémů obleku. Řešení těchto problémů je provedeno za použití moderních technologií výroby, použití rozdílných materiálů a zahrnutím technologií, využívaných u roverů na Marsu.

Koncepce navrhuje:

- nahradit nerezová ložiska ložisky ze slitiny titanu v karbonových pouzdrech
- nahradit pevné části vyrobené ze skelných vláken materiálem kombinující uhlíková vlákna s polyamidovou maticí schopného sintrování
- nahradit primární kyslíkovou láhev systémem na výrobu O_2 z CO_2
- přidat vrstvu ze samohojícího se polyurethanu
- přemístit displej z hrudní části na předloktí
- zavést hlasové ovládání jednotlivých systémů

Z výsledků poslední části koncepčního návrhu lze vyvodit, že při odvodu metabolického tepla do okolí se nelze spoléhat pouze na konvekční odvod tepla do atmosféry Marsu. Proto je navrženo druhotné řešení, které počítá s odvodem tepla pomocí radiace. Toto řešení je za určitých podmínek spolehlivější a snadněji proveditelné.

Pro reálné nasazení těchto navrhovaných úprav by muselo dojít k výraznému počtu testování v extrémních podmínkách. Zároveň národní vesmírné agentury jsou velice striktní, co se týče bezpečnosti astronauta při používání skafandru. Zdraví astronauta je u nich vždy na prvním místě, proto často zachovávají konzervativní přístup k problematice skafandru.

V současné době má lidstvo omezené množství informací o tom, jaké jsou podmínky na Marsu. I když je možné vycházet z dat roverů, které tam byly vyslány, je toto množství dat poměrně malé. Vzhledem k tomu, že s vysláním člověka na povrch Marsu se počítá nejdříve v druhé polovině 30. let 21. století, lze předpokládat, že touto dobou bude databáze informací o podmínkách na rudé planetě značně rozšířena. Zároveň lze také předpokládat, že budou vyvinuty nové technologie, které se ve skutečném skafandru pro Mars budou využívat. Také bude známá spousta poznatků z misí Artemis, z kterých bude možné při návrhu vycházet.

Seznam použitých zdrojů

- [1] What Are The Different Types of Astronaut Suits?. StarLust - For People with a Passion for Space, Astronomy & Stargazing [online]. USA: StarLust, 2022 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: https://starlust.org/what-are-the-different-types-of-astronaut-suits/#pll_switcher.
- [2] What Are Space Suits Made Of?. Berry Compliant Manufacturer | Vinyl Technology [online]. Monrovia: Vinyl Technology, 2023 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.vinyltechnology.com/what-are-space-suits/>.
- [3] Spacesuits: a Brief History of NASA Astronaut Fashion Since the 1960s. Insider [online]. USA: Insider, 2023 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/spacesuit-design-history-timeline-changes-nasa-2018-3#apollo-spacewalk-suit-1967-1975-4>.
- [4] Extravehicular Mobility Unit. NASA [online]. USA: NASA official, 2023 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/728896main_Extravehicular%20Mobility%20Unit%20Fact%20Sheet.pdf.
- [5] The Space Shuttle Extravehicular Mobility Unit (EMU). NASA [online]. USA: NASA official, 2023 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/pdf/188963main_Extravehicular_Mobility_Unit.pdf.
- [6] Learn About Spacesuits | NASA. NASA [online]. USA: NASA official, 2023 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/audience/foreducators/spacesuits/home/clickable_suit_nf.html.
- [7] Axiom Suit — Axiom Space. Axiomspace [online]. USA: Axiom Space, 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.axiomspace.com/axiom-suit>.
- [8] The evolution of Russia's spacesuit - from Gagarin to now (PHOTOS) - Russia Beyond. Russia Beyond [online]. Russia: Russia Beyond, 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.rbth.com/science-and-tech/332314-evolution-russias-spacesuit>.
- [9] Kosmický šatník 10. díl – Kosmonautix.cz. Kosmonautix – novinky ze světa kosmonautiky [online]. Česká Republika: Kosmonautix.cz, 2016 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2016/01/kosmicky-satnik-10-dil/>.
- [10] Kosmický šatník 15. díl – Kosmonautix.cz. Kosmonautix.cz – novinky ze světa kosmonautiky [online]. Česká Republika: Kosmonautix.cz, 2016 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2016/02/kosmicky-satnik-15-dil/>.
- [11] Space log: About spacesuits for Chinese astronauts - CGTN. CGTN | Breaking News, China News, World News and Video [online]. Čína: 京ICP备16065310号, 2023 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://news.cgtn.com/news/2021-06-29/Space-log-About-spacesuits-for-Chinese-astronauts-11tNaE30J4A/index.html>.
- [12] New Spacesuit Unveiled for Starliner Astronauts | NASA. NASA [online]. USA: NASA Official, 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/new-spacesuit-unveiled-for-starliner-astronauts>.
- [13] SpaceX - Human Spaceflight. SpaceX [online]. USA: SPACEX ©, 2022 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.spacex.com/human-spaceflight/>.

- [14] New SpaceX spacesuits get five-star rating from NASA astronauts | Space. Space.com: NASA, Space Exploration and Astronomy News [online]. New York: © Future US, 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.space.com/spacex-spacesuits-five-star-astronaut-review.html>.
- [15] Polaris Dawn [online]. USA: © Polaris Program, 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://polarisprogram.com/dawn/>.
- [16] SpaceX never even bid for NASA's EVA suit contract. Space Explored - Space News and Launch Views [online]. USA: SpaceExplored, 2022 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://spaceexplored.com/2022/06/28/spacex-didnt-even-submit-a-proposal-to-compete-for-nasas-spacesuit-contract-only-the-two-winners-did/>.
- [17] Dava Newman presents 3D Knit BioSuit™ at 2022 MARS conference — MIT Media Lab. MIT Media Lab [online]. USA: Massachusetts Institute of Technology, 2022 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.media.mit.edu/posts/dava-newman-presents-3d-knit-biosuit-at-mars-conference/>.
- [18] Atmosphere. Mars Education | Developing the Next Generation of Explorers [online]. USA: Arizona State University, 2023 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://marsed.asu.edu/mep/atmosphere>.
- [19] Wind. Mars Education | Developing the Next Generation of Explorers [online]. USA: Arizona State University, 2023 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://marsed.mars.asu.edu/mep/wind>.
- [20] Questions About Mars Science. NASA Mars Exploration [online]. USA: NASA, 2023 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/mgs/faqs/faq_sci.html.
- [21] Dust. Mars Education | Developing the Next Generation of Explorers [online]. USA: Arizona State University, 2023 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://marsed.mars.asu.edu/mep/dust>.
- [22] Mars Facts | All About Mars – NASA Mars Exploration. NASA Mars Exploration [online]. USA: NASA official, 2023 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/all-about-mars/facts/>.
- [23] How strong is the gravity on Mars?. Phys.org - News and Articles on Science and Technology [online]. USA: © Phys.org, 2023 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2016-12-strong-gravity-mars.html>.
- [24] What is the temperature on Mars? | Space. Space.com: NASA, Space Exploration and Astronomy News [online]. USA: © Future US, 2023 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://www.space.com/16907-what-is-the-temperature-of-mars.html>.
- [25] In Depth | Mars – NASA Solar System Exploration. Home – NASA Solar System Exploration [online]. USA: NASA official, 2023 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: https://solarsystem.nasa.gov/planets/mars/in-depth/#otp_atmosphere.
- [26] How bad is the radiation on Mars?. Phys.org - News and Articles on Science and Technology [online]. USA: © Phys.org, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2016-11-bad-mars.html>.
- [27] Radiation Levels on the Surface of Mars. NASA [online]. USA: NASA official, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://spacemath.gsfc.nasa.gov/planets/10Page74.pdf>.

- [28] Mars Radiation Environment – what have we learned. NASA [online]. USA: NASA official, 2017 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/mars_radiation_environment_nac_july_2017_final.pdf.
- [29] PA 603-CF. Advanced Laser Materials [online]. USA: Advanced Laser Materials, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.advancedlasermaterials.com/wp-content/uploads/2021/05/PA-603-CF-Data-Sheet-2021.pdf>.
- [30] Mars Weather | InSight Mission – NASA's InSight Mars Lander. NASA [online]. USA: NASA official, 2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/insight/weather/>.
- [31] Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. 2. vydání. ČSR: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1988. ISBN 80-04-24962-0.
- [32] Perseverance Rover Will Carry First Spacesuit Materials to Mars | NASA. NASA [online]. USA: NASA official, 2020 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasas-perseverance-rover-will-carry-first-spacesuit-materials-to-mars>.
- [33] Survival!. NASA [online]. USA: NASA official, 2006 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/pdf/166504main_Survival.pdf.
- [34] MIT's MOXIE experiment reliably produces oxygen on Mars | MIT News | Massachusetts Institute of Technology. MIT - Massachusetts Institute of Technology [online]. USA: Massachusetts Institute of Technology, 2022 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://news.mit.edu/2022/moxie-oxygen-mars-0831>.
- [35] Industrial Ventilation Design Guidebook. 1. Canada: Academic Press, 2001. ISBN 9780122896767.
- [36] Advanced Extravehicular Protective System (AEPS) study [online]. USA, 1972 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/APOLLO-EVA-METABOLIC-RATE-SUMMARY_tbl4_277877755.
- [37] Boeing unveils blue spacesuits for Starliner crew capsule [online]. USA: © Phys.org, 2017 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2017-01-boeing-unveils-blue-spacesuits-starliner.html>.
- [38] Space suit. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Space_suit.
- [39] Mercury spacesuit. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_spacesuit.
- [40] Space Suits. National Air and Space Museum [online]. USA: National Air and Space Museum [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://airandspace.si.edu/exhibitions/space-race/online/sec300/sec350.htm>.
- [41] Berkut spacesuit. RussianSpaceWeb.com [online]. Russia: Anatoly Zak, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.russianspaceweb.com/voskhod2-berkut.html>.

- [42] Лунный скафандр «Креchet», 1969 г. БМ — Политехнический музей [online]. Russia: Фонд развития Политехнического музея, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://polytech.bm.digital/artefact/1238175119358583464/lunnyij-skafandr-krechet>.
- [43] Sokol KV-2 emergency suit as worn by British ESA astronaut Tim Peake | Science Museum Group Collection. Science Museum Group Collection [online]. United Kingdom: The Board of Trustees of the Science Museum, 2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8614224/sokol-kv-2-emergency-suit-as-worn-by-british-esa-astronaut-tim-peake-space-suit>.
- [44] Albin Merle - ORLAN russian Space Suit. Albin Merle [online]. USA: Epic games, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://albinmerle.artstation.com/projects/L2gdPr>.

Seznam použitých zkratk a symbolů

AAP	Airlock Adapter Plate (adaptér pro vzduchotěsnou komoru)
ACES	Advanced Crew Escape Suit (pokročilý únikový oblek posádky)
AxEMU	Axiom Extra Mobility Unit (Axiom jednotka zvýšené mobility)
CCA	Communications Carrier Assembly (Sestava pro komunikaci)
CCC	Contaminant Control Cartridge (Kazeta pro kontrolu kontaminace)
CNSA	China National Space Administration (Čínská národní vesmírná agentura)
DCM	Displays and Control Module (displej a ovládací modul)
EEH	EMU Electrical Harness (EMU elektrický postroj)
EMU	Extra Mobility Unit (jednotka zvýšené mobility)
ESA	European Space Agency (Evropská vesmírná agentura)
EVA	Extravehicular Activity (aktivita vně habitatu)
HUT	Hard Upper Torso (tvrdé horní torso)
IDB	In-Suit Drink Bag (vak na pití uvnitř skafandru)
IEVA	Intra/Extravehicular Activity (aktivita vně nebo uvnitř habitatu)
ISS	International Space Station (Mezinárodní vesmírná stanice)
IVA	Intravehicular Activity (aktivita uvnitř habitatu)
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency (Japonská národní vesmírná agentura)
LCVG	Liquid Cooling and Ventilation Garment (kapalinou chlazený a ventilační oděv)
MAG	Maximum Absorption Garment (oděv s maximální absorpcí)
MARS	Machine learning, Automation, Robotics and Space (strojové učení, automatizace, robotika a vesmír)
MCP	mechanical counterpressure (mechanický protitlak)
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Massachusettský technologický institut)
MOXIE	Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment (Experiment využití místních zdrojů kyslíku na Marsu)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Národní ústav pro letectví a vesmír)
PLSS	Portable Life Support System (Přenosný systém podpory života)
RAD	Radiation Assessment Detector (Detektor radiace)

SCU		Service and Cooling Umbilical (Servisní a chladicí trubice)
SOP		Secondary Oxygen Pack (záložní kyslíková nádoba)
<i>CO</i>		oxid uhelnatý
<i>CO₂</i>		oxid uhličitý
<i>LiOH</i>		hydroxid lithný
<i>O</i>		volné kyslíkové radikály
<i>O₂</i>		dikyslík
<i>PVC</i>		polyvinylchlorid
<i>c_p</i>	[J·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita za stálého tlaku
<i>h_{těla}</i>	[cm]	výška těla
<i>M</i>	[kg·mol ⁻¹]	molární hmotnost
<i>m_{těla}</i>	[kg]	hmotnost těla
<i>\dot{m}</i>	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok
<i>p_{atm}</i>	[Pa]	atmosférický tlak Marsu
<i>\dot{Q}</i>	[W]	tepelný tok
<i>R_m</i>	[J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹]	molární plynová konstanta
<i>r</i>	[J·K ⁻¹ ·kg ⁻¹]	měrná plynová konstanta
<i>S</i>	[m ²]	plocha
<i>S_{těla}</i>	[m ²]	plocha těla
<i>T</i>	[K]	termodynamická teplota
<i>t</i>	[s]	čas
<i>V</i>	[m ³]	objem
<i>v</i>	[m ³ ·kg ⁻¹]	měrný objem
<i>w</i>	[m·s ⁻¹]	rychlost
<i>x</i>	[m]	délka
<i>ε</i>	[-]	emisivita
<i>κ</i>	[-]	Poissonova konstanta
<i>ρ</i>	[kg·m ⁻³]	hustota
<i>σ_o</i>	[W·m ⁻² ·K ⁻⁴]	Stefanova-Boltzmannova konstanta