



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## DESIGN HELMY PRO KOSMICKÉ APLIKACE

DESIGN OF HELMET FOR SPACE APPLICATIONS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Vávra

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Fridrichová, Ph.D.

BRNO 2025



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování  
Student: **Tomáš Vávra**  
Studijní program: Průmyslový design ve strojírenství  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **Ing. Eva Fridrichová, Ph.D.**  
Akademický rok: 2024/25

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:

## Design helmy pro kosmické aplikace

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Helma s kulovitou kupolí umožňuje astronautům pobyt v kosmickém prostředí. Helmy jsou sofistikovaná zařízení skládající se z přístrojové techniky, odolných materiálů a kompozitních struktur, postrádají však určitý stupeň multifunkčnosti a omezují astronautovy činnosti. Důležitou součástí každé helmy je komunikační systém, systém rekuperace vzduchu a hledí vyrobené z vysoce pevného polykarbonátu.

Typ práce: vývojová – designérská

### Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je navrhnout design helmy pro kosmické aplikace odpovídající technickým a bezpečnostním požadavkům.

Dílní cíle bakalářské práce:

- definovat důležité parametry (bezpečnost, materiály, spojení se skafandrem),
- vytvořit estetický a ergonomický design krytu helmy pro kosmické aplikace,
- navrhnout barevnost a grafické prvky v souladu s funkcí přístroje,
- zahrnout příslušenství (například přídavná světla, senzory, kryty),
- zohlednit výrobitelnost a ekonomickou nákladnost procesu výroby.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster, fotografie modelu, fyzický model.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

### Seznam doporučené literatury:

KULA, Daniel, Elodie TERNAUX a Quentin HIRSINGER. Materiology: průvodce světem materiálů a technologií pro architekty a designéry. Praha: Happy Materials, c2012. ISBN 978-80-260-0538-4.

THOMPSON, Rob. The materials sourcebook for design professionals. Thames & Hudson, 2017.

ISBN 978-0-500-51854-0.

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2012. ISBN 1-58115-312-0.

LIDWELL, William, Kritina HOLDEN a Jill BUTLER. Univerzální principy designu: 125 způsobů jak zvýšit použitelnost a přitažlivost a ovlivnit vnímání designu. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3540-2.

PELCL, Jiří. Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization. V Praze: Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, c2012. ISBN 978-80-86863-45-0.

BECERRA, Liliana. CMF Design: The Fundamental Principles of Colour, Material and Finish Design. Frame Publishers, 2016. ISBN: 9491727796.

DANNHOFEROVÁ, Jana. Velká kniha barev: kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3785-7.

AIREY, David. Logo: nápad, návrh, realizace. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-2-1-3151-0.

AMBROSE, Gavin a Paul HARRIS, 2010. Grafický design: typografie. Brno: Computer Press. Základy designu. ISBN 978-80-251-2967-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem vesmírné helmy pro aplikace typu IVA (Intra-Vehicular Activity), tedy pro použití uvnitř kosmických lodí při startu, přistání a v nouzových situacích. Cílem práce bylo vytvořit inovativní návrh helmy, který splňuje požadavky na bezpečnost, funkčnost, pohodlí i estetiku. Práce vychází z podrobné rešerše historického vývoje, současných technologií a typů skafandrů a přináší návrh, který reflektuje nové potřeby astronautiky. V návrhovém procesu byl kladen důraz na ergonomii, široké zorné pole, snadné oblékání a psychologický komfort uživatele. Design je koncipován jako tuhá helma s odklopným transparentním hledím, pevně spojená ke skafandru. Součástí práce je také rozbor psychologické, sociální, ekonomické a marketingové funkce návrhu, včetně určení cílové skupiny. Výstupem je koncepční návrh helmy, který může sloužit jako podklad pro další vývoj.

## KLÍČOVÁ SLOVA

IVA, helma, skafandr, vesmír

## ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design of a space helmet intended for IVA (Intra-Vehicular Activity) applications, specifically for use inside spacecraft during launch, landing, and emergency situations. The aim of the project was to create an innovative helmet design that meets the requirements for safety, functionality, comfort, and aesthetics. The work is based on in-depth research of the historical development, current technologies, and classification of spacesuits, and presents a design that reflects the evolving needs of modern astronautics. The design process emphasized ergonomics, a wide field of vision, ease of donning, and the psychological comfort of the user. The helmet is conceived as a rigid structure with a hinged transparent visor, firmly connected to the spacesuit. The thesis also includes an analysis of the psychological, social, economic, and marketing functions of the design, including identification of the target group. The outcome is a conceptual helmet design that may serve as a basis for further development.

## KEYWORDS

IVA, helmet, space suit, space



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁVRA, Tomáš. *Design helmy pro kosmické aplikace*. Brno, 2025, 73 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Fridrichová, Ph.D.



## PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval Ing. Evě Fridrichové, Ph.D. za zpětnou vazbu a cenné připomínky k celé práci. Taktéž rodině za podporu při studiu.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Evy Fridrichové, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE</b>	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
<b>DESIGN HELMY PRO KOSMICKÉ APLIKACE</b>	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
<b>DESIGNÉRSKÁ ANALÝZA</b>	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
<b>TECHNICKÁ ANALÝZA</b>	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
<b>ABSTRAKT</b>	<b>4</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>KEYWORDS</b>	<b>5</b>
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE</b>	<b>7</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ</b>	<b>9</b>
<b>PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE</b>	<b>9</b>
<b>OBSAH</b>	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD</b>	<b>14</b>
<b>2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>15</b>
2.1 Designérská analýza	15
2.1.1 Historický vývoj	15
2.1.2 Analýza trhu	16
2.1.3 Rozdělení	25
2.1.4 Zdravotní rizika	26
2.1.5 Normy a bezpečnostní požadavky	26
2.2 Technická analýza	26
2.2.1 EVA – Extravehicular Mobility Unit (EMU)	27
2.2.2 IVA – Advanced Crew Escape Suit (ACES)	32
<b>3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>36</b>
3.1 Analýza problému	36
3.1.1 Helmy upnuté na krčních prstencích	37

3.1.2	Helmy jako součást kapuce	37
3.1.3	Helmy pevně přidělané k rigidnímu torzu	38
3.2	Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše	39
3.3	Cíl práce	40
3.4	Cílová skupina	41
3.5	Základní parametry a legislativní omezení	41
3.6	Použité výrobní technologie, možný trh a cena	44
<b>4</b>	<b>VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU</b>	<b>45</b>
4.1	1. Konceptní varianta	45
4.2	2. Konceptní varianta	46
4.3	3. Konceptní varianta	47
4.4	Konceptní modely z kleje	49
<b>5</b>	<b>TVAROVÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>51</b>
6.1	Popis	51
6.2	Rozměrové řešení	52
6.3	Vnitřní mechanismy a komponenty	53
6.3.1	Vnější komponenty	53
6.3.2	Vnitřní komponenty	54
6.4	Materiálové řešení	54
6.4.1	Korpusu helmy a rám hledí	55
6.4.2	Hledí	55
6.4.3	Vnitřní vložky	56
6.4.4	Krční část	57
6.5	Technologie	57
6.6	Ergonomie	58
6.6.1	Úhel otevírání	58
6.6.2	Krajní rozměry vnitřních prostor	59
6.6.3	Rozměr a umístění tlačítek zámku.	60
6.6.4	Zorné pole	61
6.6.5	Vnitřní vystýlka helmy	62
6.6.6	Sundávání helmy	63
6.7	Bezpečnost a hygiena	63

6.8	Udržitelnost	64
<b>7</b>	<b>BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>65</b>
7.1	Barevné řešení	65
7.2	Grafické řešení	66
<b>8</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>68</b>
8.1	Psychologická funkce	68
8.2	Sociální funkce	68
8.3	Ekonomická funkce	69
8.4	Marketingová analýza	69
8.4.1	SWOT analýza	70
8.5	Cílová skupina	70
8.6	Cenová hladina	70
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>72</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>79</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>80</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>82</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>83</b>

# 1 ÚVOD

Vesmírný výzkum představuje jednu z nejambicióznějších oblastí moderní vědy a techniky. Lidská přítomnost ve vesmíru je možná pouze díky vysoce specializovaným technologiím, které umožňují přežití v prostředí zcela nevhodném pro život. Mezi klíčové prvky osobní ochrany astronauta patří skafandr a jeho nedílná součást – vesmírná helma. Ta zajišťuje nejen fyzickou ochranu, ale i vizuální kontakt s okolím, komunikaci a nezbytné psychologické podmínky pro práci ve stresujících a uzavřených prostředích.

Historický vývoj vesmírných helem prošel značnou evolucí, od jednoduchých přetlakových „kukel“ používaných v raných dobách kosmonautiky až po moderní sofistikované systémy s integrovanou elektronikou, ventilací a optickými prvky. Ačkoliv je vývoj skafandrů pevně spjat se státními vesmírnými agenturami, v posledních letech hraje stále důležitější roli i soukromý sektor. To přináší nejen nové technologické impulsy, ale i větší důraz na estetiku

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh helmy určené pro tzv. IVA aplikace (Intra-Vehicular Activity), tedy pro použití uvnitř kosmických lodí a stanic. Takové helmy plní především bezpečnostní funkci při startu, přistání nebo v nouzových situacích, kdy může dojít k dekompresi nebo selhání podpůrných systémů. Na rozdíl od helmy určené pro pobyt ve volném prostoru (EVA) je v tomto případě kladen důraz na nižší hmotnost, pohodlí, snadné oblékání a schopnost komunikace s ostatními členy posádky.

Práce začíná designerskou analýzou, zkoumající nejen aktuálně používané helmy do vesmíru, ale nabízí i letmý pohled do historie a vývoje kosmických helem. V téhle části jsou popsány nejpodstatnější modely skafandrů, které se aktuálně používají. Zahrnuty jsou zde i významné koncepční návrhy, které měli značný vliv na pozdější vývoj skafandrů. Je zde uvedeno, kdo je vytvořil, za jakým účelem, do jakých podmínek a v neposlední řadě komu měli sloužit. Na závěr daný skafandr zhodnotím, popíšu jeho silné a slabé stránky a celkový dojem.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Designérská analýza

Následující podkapitola se věnuje analýze helem používaných pro EVA aplikace (extravehicular activity) v kosmickém prostředí a v prostředí kosmických lodí (IVA). Taktéž dokumentuje prototypy, jejichž vývoj přinesl značný dopad na budoucí vývoj kosmických helem. Skafandry do volného vesmíru může nejčastěji setkat na vesmírných stanicích, výcvikových a školících střediscích pro trénink a edukaci.

#### 2.1.1 Historický vývoj

Předchůdcem kosmických helem byly přetlakové helmy určené pilotům stíhacích letounů operujících ve vysokých nadmořských výškách. Které je chránily před kolísajícím tlakem a dodávali pilotům dostatečný přísun kyslíku. [2]

Vývoj kosmických helem započal vesmírným závodem mezi USA a Sovětským svazem v roce 1957. [3] Sověti pro let Jurije Gagarina v roce 1961 vyvinuli skafandr SK-1. Přičemž helma byla zkonstruována firmou NPP Zvezda pod vedením konstruktéra Gaje Severina. Helma byla typu IVA. Měla astronauta ochránit před kolísáním tlaku, byla pevně spojena pomocí lepidla k obleku. [4]



Obr. 2-1 SK-1 [5]

Další cílem vesmírného závodu bylo umožnit člověku se dostat do volného prostředí vesmírů. Nutno vyvinout skafandr typu EVA (extravehicular activity). Tento typ skafandru astronauta nechrání jen před kolísavými změnami tlaku, ale musí ho ochránit před všemi hrozbami vesmíru, které by ohrozily jeho zdraví a život. Jsou vystaveni vakuu, kolísání teploty, slunečnímu záření, mikrometeoritům a prachu. [6]

## 2.1.2 Analýza trhu

### Extravehicular Mobility Unit (EMU)

EMU (Extravehicular Mobility Unit) je pokročilý vesmírný skafandr, vyrobený firmou ILC Dover ve spolupráci s Hamilton Standard. ILC Dover dodal měkké části skafandru, jako jsou rukavice, vnější ochranné vrstvy a přetlakový oblek. [1] Hamilton Standard vyvinul přístroje a systémy pro podporu života. [7] Skafandr je používán NASA na mezinárodní stanici ISS pro extravehikulární aktivity (EVA), tedy výstupy astronautů do volného prostoru. Dříve používán také na raketoplánech Space Shuttle, kde sloužil při montáži ISS. Samotná helma se skládá ze tří částí: čepičky snoopy cap, helmě typu bubble a hledí typu EVVA. [8]



Obr. 2-2 Helma skafandru EMU [9]

Helma je řešena pomocí průhledné bubliny, pevně přidělané k rigidnímu torzu. Poskytuje široké zorné pole, ale omezuje pohyb hlavy. Astronaut musí otáčet nejen hlavou, ale i trupem, což není nejpohodlnější. Výrazným prvkem je zlaté hledí chránící před slunečním zářením, avšak manuální posun není ideální, modernější řešení by mohlo využít adaptivní fotochromatickou vrstvu. Bílá barva minimalizuje absorpci tepla a pomáhá s regulací. Komunikační systém je v čepičce, kterou si musí uživatel předem obléct, což prodlužuje oblékání. Praktičtější by bylo zabudování do helmy. Audio technika je spolehlivá, ale postrádá filtry redukující šum. Větrací kanálky bránící zamlžování, zabudované do opěrky hlavy, ne vždy spolehlivé a objevují se problémy s mlžením hledí. Design je funkční, ale konzervativní. Kdy NASA sází na osvědčené technologie. Modernizace by mohla zahrnovat adaptivní hledí, integrovaná sluchátka s mikrofonom a integrovaný HUD pro lepší orientaci.

## Orlan MKS

Orlan MKS je nejnovější verzí ruské řady polotuhých skafandrů Orlan, navržených a vyrobených společností NPP Zvezda pro EVA aktivity. Tento model byl poprvé použit na Mezinárodní vesmírné stanici (ISS) v roce 2017. [10]



Obr. 2-3 Orlan MKS [10]

Helma Orlanu MKS je pevně spojena s trupem skafandru. Uživatel do skafandru vstupuje zezadu přes poklop, který je součástí batohu s podporou života. Tento design usnadňuje oblékání, ale omezuje pohyb hlavy – pro rozhlížení se musí otáčet celý trup, což může být nebezpečné ve stísněných prostorech. K lepší orientaci slouží dodatečný průzor nad temenem hlavy. Hlavní hledí má posuvný světelný filtr s aretací po 30°, zatímco doplňkový průzor má pevný filtr, což omezuje variabilitu. [11]

Světla na helmě působí neohrabaně a nesourodě s kulovou helmou, což narušuje estetiku. Design je technický a mechanický, bez snahy o vizuální harmonii. Absence spojovacích částí mezi helmou a torzem snižuje riziko poruch. [12]

Jde o kvalitní inženýrské řešení, ale po designové stránce působí zastarale. Vzhled je těžkopádný, průmyslový a příliš mechanický. Orlan MKS by si zasloužil modernější tvar, elegantnější linie a lépe integrované technologie, aby nepůsobil jako přežitek minulých dekád.

## Feitian

Feitian je skafandr určený pro extravehikulární aktivity ve vesmíru. Skafandr zhotovený v rámci čínského kosmického programu China Manned Space Program (CMSP) čínskou akademií kosmických technologií (CAST – China Academy of Space Technology), která spadá pod China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC). V doslovném překladu slovo Feitian znamená „Létající nebe“. Poprvé se použil při misi Shenzhou 7 v roce 2008. Jejím hlavním cílem bylo provést první čínský výstup do volného prostoru vesmíru. Výstup provedl Zhai Zhigang. Od roku 2021 se skafandry feitian používají na modulární vesmírné stanici Tiangong. Která slouží pro dlouhodobý pobyt, vědecký výzkum a přípravu na budoucí mise na Měsíc a Mars. [13][14][15]



Obr. 2-4 Helma skafandru Feitian [15]

Feitian vychází z ruského Orlanu. Číňané odkoupili skafandr od Rusů a pomocí reverzního inženýrství zhotovily vlastní, který v průběhu let vylepšovali. Helma je pevně spojena s trupem, vstupuje se do ní zezadu přes poklop, který je současně batohem se zařízením pro podporu života. Tento design usnadňuje oblékání, ale omezuje pohyb. Uživatel se musí pro rozhled pohybovat celým tělem, což může být nebezpečné ve stísněných prostorech. [16]

Helma má panoramatické hledí, které rozšiřuje zorný úhel, a posuvný filtr. Proporčně helma odpovídá s proporcemi torza, působí tak uceleně. Na každé straně helmy jsou světla, jejichž hranatý tvar si protirečí s kulovou helmou, což vytváří nesourodý dojem. Světla nejsou ergonomicky tvarovaná pro snadnou manipulaci.

Bílá barva minimalizuje absorpci tepla, červené detaily pomáhají s identifikací uživatele. Ucelená konstrukce bez spojovacích součástí zvyšuje spolehlivost. Feitian působí funkčně a jednotně, ale stále spíše technicky než esteticky. [15]

## SpaceX Dragon Space Suit

SpaceX Dragon Space Suit je skafandr typu IVA (Intravehicular Activity), je určen pro činnost uvnitř kosmické lodi. Tento skafandr není určen pro extravehikulární aktivitu (EVA), pro práce mimo kosmickou loď nebo stanici. [17] Skafandr je navržený týmem SpaceX, přičemž hlavní roli v jeho vývoji měl Elon Musk, zakladatel SpaceX, který měl ambice vytvořit moderní a funkční skafandr s futuristickým vzhledem. S designem mu pomáhal Hollywoodský designér Jose Fernandez, který má dlouholetou praxi v navrhování kostýmů pro superhrdiny. [18] Skafandr neslouží jen astronautům a technickým odborníkům, ale taktéž má být použit pro jednotlivce nebo firmy, kteří se chtějí podívat do vesmíru.



Obr. 2-5 SpaceX Dragon Space Suit [17]

Design helmy je kombinací sci-fi estetiky a high-tech minimalismu, což odpovídá modernímu designovému jazyku SpaceX. [19] Helma je pevně spojena se skafandrem, pomocí pogumované textilie, která spojuje helmu s torzem. Skafandr je konstruován jako kombinéza a obléká se pomocí zipu v rozkroku. Konstrukce bez jakéhokoliv viditelného spoje působí monoliticky. Kulovitě-oválný tvar helmy bez zbytečných výčnělků plynule přechází do zbytku skafandru.

Panoramatický zorník z polykarbonátu poskytuje široké zorné pole a hladce navazuje na helmu. Design kombinuje sci-fi estetiku a high-tech minimalismus. Bílá barva symbolizuje futurismus a napomáhá tepelné regulaci, kontrastní černé detaily zvýrazňují celkový tvar.

Díky kompozitním materiálům a uhlíkovému vláknu, je helma extrémně lehká. Odhadovaná hmotnost je kolem 2 kg, což minimalizuje zátěž na krk. Pěnová výstelka zajišťuje pohodlí. Vestavěné komunikační zařízení umožňují komunikaci.

Nevýhodou je trvalé spojení helmy se zbytkem skafandru, což omezuje modularitu, při velikostních rozměrech, výměně, či při poruše. SpaceX ukázalo, že helmy nemusí být objemné a složité. Jde o revoluční design, který redefinoval estetiku a komfort. [20][21]

## Z-series

Skafandry Z-series byly vyvinuté v NASA a jednalo se o experimentální prototypy pro budoucí mise na Měsíc a Mars. Hlavním cílem bylo vytvořit skafandry s větší pohyblivostí, modulárností a lepšími materiály oproti starším modelům (např. EMU používaný na ISS). Prototyp Z-1 byl navržen a postaven ILC Dover pro NASA. [1] Z-1 byl časopisem Time jmenován jedním z nejlepších vynálezů roku 2012. [22] V roce 2016 následoval prototyp Z-2, který ještě více posunul mobilitu horních a dolních končetin. Oba prototypy mají helmu pevně spojenou s torzem.[22]



Obr. 2-6 Z-1 [23]

Do skafandru Z-1 se vstupuje zezadu přes poklop, který je součástí batohu s podporou života. Poklop je možné přidělat k doku na orbitální stanici či povrchového roveru. Oblek není uvnitř ale „trčí jakoby ven“. Tak aby použitý znečištěný oblek nekontaminoval vnitřní prostory. [24] Helma je pevně integrovaná do obleku a má kulový tvar, který rovnoměrně rozkládá tlak, což je ideální pro prostředí s nízkým tlakem. Velké hledí poskytuje široké zorné pole, ale napojení mezi torzem omezuje pohled směrem k ramenům. Konstrukce působí robustně a funkčně, odpovídá experimentálnímu použití.

Bílá barva skafandru, pomáhá s tepelnou regulací. Zelené pruhy označují jeho prototypový status. Díky svým jedinečným neonově zeleným pruhům na pažích a nohou se obleku přezdívalo jako „Buzz Lightyear Suit“. Díky sdílení barvy, kterou nosí postava Buzz Rakeťák ve filmu Toy Story od Pixaru. [28]

Z-1 zlepšuje flexibilitu oproti starším modelům od NASA. Integrace helmy a torza snižuje hmotnost, zadní vstup usnadňuje oblékání. Design je primárně funkční, ale představuje důležitý experimentální krok ve vývoji skafandrů.

## Mark III

Skafandr Mark III je prototyp určený pro povrchové mise na Měsíci, či Marsu. Skafandr vyvinula NASA ve spolupráci s firmami ILC Dover [1] a Oceaneering Space Systems. Mark III byl prototyp testován v rámci projektu D-RATS, kde se ověřovala jeho mobilita v terénu, kompatibilita s vozidly a funkčnost při plněních úkolech v terénu. Byl podstatným mezičlánkem pro získání důležitých poznatků, pro následný vývoj budoucích skafandrů. [25]



Obr. 2-7 Mark III [26]

Helma je pevně připevněna k rigidnímu torzu. Což zamezuje rozhledu do stran. Pro změnu směru pohledu, se musí uživatel vytočit celým trupem. Jelikož je skafandru určenému pro průzkum povrchů i za pomoci roveru, toto řešení není zrovna adekvátní. Helma je vybavena LED světly umístěnými na přední části pro lepší viditelnost při nočních EVA. Testovací subjekt při projektu D-RATS si ale stěžoval, že osvětlení bylo příliš soustředěné na blízké objekty a chybělo mu světlo pro osvětlení vzdálenějšího terénu. Bezdrátový komunikační systém je zabudován do helmy.

Design helmy je přizpůsoben především podmínkám, ve kterých by měl být nasazen. Velký kulovitý zorník umožňuje dostačený výhled před sebe. Kulovitý tvar je výhodný pro vhodné rozložení tlaku v prostředí s nízkým tlakem. Bílá barva je výhodná pro odrazení tepla ze slunečního záření. Celková velikost helmy proporcčně neodpovídá velikosti skafandru a působí těžkopádně. Design helmy skafandru Mark III je kompromisem mezi pevností a ergonomií. Její hlavní slabinou je omezený rozsah pohybu hlavy, což snižuje přirozenost vnímání okolí. [27]

## Sokol KV-2

Skafandr Sokol je ruský ochranný oděv určený pro kosmonauty jako ochrana před přetížením a dekompresí v kabině, které nastávají během startu a přistání v kosmických lodích. Nebo v krizových případech, kdy není vzduch dýchatelný, například při požáru. Není určen pro EVA. Vyvinut a vyráběn ruskou společností NPP Zvezda. Jeho vývoj započal v roce 1973 po katastrofě Soyuz 11, kdy zahynuli 3 kosmonauté. Jejich smrt zapříčinila dekomprese lodi a jejich nevybavenost skafandry. Jejich verze sokol KV2 se používá od roku 1980 až do posud.



Obr. 2-8 Sokol KV-2 [28]

Skafandr Sokol je jednodílná kombinéza s předním vstupem. Vnitřní vrstva skafandru je z pogumovaného textilu a vnější z bílého nylonu. Obsahuje integrované boty, vyjímatelné rukavice a polykarbonátové hledí, které je možné odklápět a aretovat. [29] Helma je součástí měkké kapuce, což umožňuje volnému opření hlavy v sedě. Absence jakýchkoliv vycpávek, vyústíuje v nestabilním usazení na hlavě, ovlivněná natlakováním obleku. Uzavírací mechanismus je vysoko, což omezuje pohled dolů. Design je jednoduchý a funkční. Komunikační zařízení není součástí helmy, kosmonaut si musí předem nasadit sluchátka s mikrofonom, což prodlužuje oblékání na cca 20 minut. [30] Integrovaná helma minimalizuje počet spojů, čímž snižuje riziko poruchy.

## Orion Crew Survival Suit (OCSS)

Skafandr vyvinutý společností David Clark Company pro NASA. Byl navržen pro astronauty letící v lodi Orion v rámci programu Artemis jako ochranný oblek pro nouzové situace během startu a přistání. Není určena pro EVA. Nasazen v roce 2020. Vychází ze skafandru ACES používaný mezi lety 1994 a 2011. ACES vychází ze skafandru Launch Entry Suit (LES), který používali astronauti od roku 1988 do 1994. Samotný design helmy se za poslední 37 let změnil minimálně. [31][32][33]



Obr. 2-9 LES 1988-1994 [34], ACES 1994-2011 [35], OCSS 2020 [31]

Design helmy se zaměřuje na funkčnost, což se odráží i v jejím vzhledu. Sférický tvar je vhodný pro rovnoměrné rozložení tlaku a jednotnou tloušťku stěny. Vyrobena je ze sklolaminátu. Tvar helmy nekoresponduje s tvarem hlavy, což způsobuje vznik zbytečných dutin, zvětšuje celkové rozměry a působí naddimenzovaně. Samotná velikost komplikuje usazení v kabině. Pevné upevnění helmy s prstencem omezuje pohyb hlavy, takže astronaut se musí otáčet celým torzem. Hledí je z polykarbonátu, odklopné a doplněné sluneční clonou. Helma neobsahuje mikrofony pro komunikaci. V krizových situacích, kdy astronaut je nucen opustit návratný modul, je skafandr oranžový pro lepší lokalizaci při pátracích akcích. NASA klade důraz na osvědčené technologie, které má odzkoušené už řady let. Což je pochopitelné z hlediska bezpečnosti. Nicméně, z hlediska ergonomie a uživatelského komfortu by helma mohla projít určitou modernizací. Ergonomie a uživatelský komfort by ale mohly být vylepšeny, například anatomickým tvarováním a adaptivním hledím.[31][35]

## Boeing Starliner Spacesuit

Boeing Starliner Spacesuit, známý také jako "Boeing Blue", je skafandr navržený společností Boeing pro astronauty cestující v kosmické lodi CST-100 Starliner. Je určen pro IVA, tedy pro použití uvnitř kosmické lodi během startu, přistání a dalších fází letu. Vyvinut pro program Commercial Crew Program ve spolupráci s NASA. Kdy jeho hlavním účelem je zajistit astronautům bezpečnost a pohodlí během jejich misí na nízké oběžné dráze Země, zejména při cestách na Mezinárodní vesmírnou stanici (ISS). [36]



Obr. 2-10 Boeing Starliner Spacesuit [36]

Skafandr je konstruován jako vícedílná kombinéza spojená zipem. Složena z kalhot spojených s botami, torzo s rukávy a kapuce se zabudovaným hledím. Helma je zabudována do měkké kapuce. Helma není vybavena vycpávkami, kterými by stabilizovali helmu na hlavě. Stabilita je závislá na natlakování obleku, pak se stává rigidní a omezuje uživatele. Pevné polykarbonátové hledí umožňuje rozhled. Součástí není komunikační zařízení, takže se astronaut, musí dovybavit ještě komunikační čepicí. Design je zaměřen na funkčnost a jednoduchost. Jelikož helma je konstruována pomocí spolu sešitých kusů tkaniny, tak její tvar se dá customizovat, podle případných potřeb. Samotný zipový spoj mezi kapucí a torzem, působí nerušivým dojmem a skafandr získává plynulý tvarový přechod mezi helmou a torzem. Avšak zipové spojení nemusí na první pohled působit tak robustně a odolně jako konvenční prstencové spojení. [37] Za pozornost na designu „helmy“ skafandru Boeing Starliner stojí především netradiční způsob uzavírání pomocí zipů, který výrazně zjednodušuje a urychluje proces oblékání.

	EMU	Orlan MKS	Feitian
Rok nasazení	1998	2017	2021
Odnímatelnost helmy	ANO	NE	NE
Výdrž	8,5 hod	7 hod	8 hod
Životnost, počet výstup EVA	25	15-20	15
Hmotnost	4-5 kg	5-7 kg	5-7 kg

Tab. 2-1 Porovnání helem EVA

	Sokol KV-2	OCSS	SpaceX	Boeing Blue
Rok nasazení	1980	2020	2020	2019
Odnímatelnost helmy	NE	ANO	NE	NE
Stínítka	NE	ANO	ANO	NE
Hmotnost	Okolo 1 kg	2-4 kg	1-2 kg	Pod 1 kg
Životnost	10 let	6 let	3-5 let	10 let

Tab. 2-2 Porovnání helem IVA

Hmotnosti hodnoty některých typů nejsou známy, takže hodnoty v tabulce vychází z analytického posouzení použitých materiálů a velikosti helmy.

### 2.1.3 Rozdělení

Existují dva typy skafandrů pro různé účely. IVA (Intravehicular Activity) a EVA (Extravehicular Activity). Obleky IVA jsou určeny k nošení uvnitř kosmické lodi, a proto jsou lehčí a pohodlnější. Obleky EVA se používají mimo kosmické lodě, buď pro průzkum planet, nebo pro výstupy do vesmíru. Musí chránit nositele před všemi podmínkami prostoru a také poskytovat mobilitu a funkčnost. [38]

#### IVA (Intravehicular Activity)

Helmy a skafandry tohoto typu jsou používány především při startu, přistání a přeletech, kdy dochází k nebezpečí dekomprese kabiny. Skafandr chrání uživatele před udušením. Kdy kolem něho vytváří ochranný obal s atmosférou. Použití skafandru nařizuje norma od NASA NPR 8705.2B – Human-Rating Requirements for Space Systems. [39]

#### EVA (Extravehicular Activity)

Helmy tohoto typu jsou určeny do vnějšího vesmíru, na takzvané EVA mise. Buď na orbitálních stanicích, kde pracovníci opravují a udržují stanici v chodu, nebo při prozkoumávání povrchů měsíce. Je kladen velký důraz na bezpečnost. Jedná se většinou o jednoduchý průzor v torzu. Podmínky pro EVA skafandry jsou dány normou NASA-STD-3001. [40]

## 2.1.4 Zdravotní rizika

Astronauti jsou ve vesmíru vystaveni mnoha aspektům ohrožující jejich zdraví. Jsou vystaveni vakuu neboli absence atmosférického tlaku. Což by bez skafandru vedlo k varu tělních tekutin. Kolísavé teploty, kdy na přímém slunečním světle teploty stoupají až k +120 °C, a naopak na odvrácené straně ve stínu teploty klesají na –150 °C. Takže je důležité, aby skafandr zajistil dostatečnou termoregulaci. Skafandr musí astronauta ochránit před slunečním zářením, což je proud vysoce energetických částic, které člověka poškozují na buněčné a molekulární úrovni. Kdy ionizující záření rozbíjí chemické vazby v DNA a způsobují mutaci, která může vyústit v rakovinu. Vysoké dávky záření poškozují kostní dřeň. Nedostatečná oční ochrana vede k šedým zákalům. Stav bez tíže způsobuje takzvané rozvolnění těla, což vede k uvolnění plotýnek v páteři a následným bolestem zad. Snižuje se hustota kostí, následkem toho se pevnostní oslabení kostí. [41]

## 2.1.5 Normy a bezpečnostní požadavky

ČSN EN 16603-10-04	Kosmické inženýrství – Kosmické prostředí
ČSN EN 16603-32-08	Kosmické inženýrství – Materiály
ČSN EN 16603-31	Kosmické inženýrství – Obecné požadavky na řízení teploty
ČSN EN 16603-32	Kosmické inženýrství – Všeobecné konstrukční požadavky
ČSN EN 16603-10-11	Kosmické inženýrství – Ergonomie
ČSN EN 16602-70-31	Zabezpečování kosmických produktů – Aplikace nátěrů a povlaků na konstrukční části pro použití v kosmu
ČSN EN 16602-40	Zabezpečování kosmických produktů – Bezpečnost
NPR 8705.2B	Human-Rating Requirements for Space Systems – Nutnost použití skafandrů typu IVA
NASA-STD-3001	Nutnost použití skafandru typu EVA

## 2.2 Technická analýza

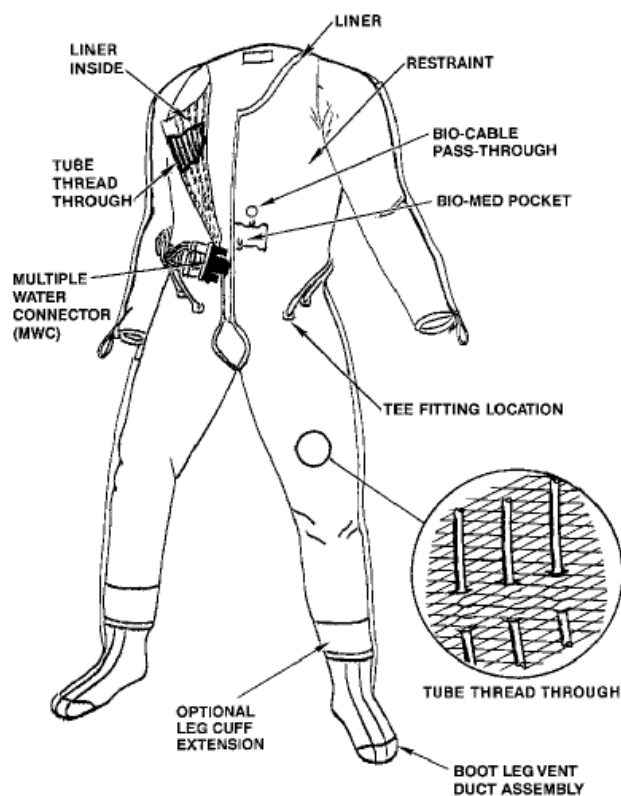
Tahle kapitola se zaměřuje na technický rozbor helem skafandru pro aplikace EVA a IVA. Jsou zde uvedeny klíčové komponenty s popisem jejich funkce, materiálu. Na závěr je zde i popsán princip spojení helmy s torzem.

## 2.2.1 EVA – Extravehicular Mobility Unit (EMU)

Pro popis jednotlivých částí helmy pro extravehikulární aktivity (EVA) je volena helma ze skafandru Extravehicular Mobility Unit (EMU) americké výroby. Z důvodu velkého množství veřejně dostupných informací a jejím relevancí.

### Liquid Cooling and Ventilation Garment (LCVG)

Jedná se přiléhavý, elastický spodní oděv, který astronauti nosí pod skafandrem. Slouží k regulaci tělesné teploty pomocí cirkulace chlazené vody. Chlazená voda proudí skrz síť pružných hadiček uvnitř oděvu a odvádí přebytečné teplo vzniklé při fyzické aktivitě, aby zamezilo pocení. Pro zajištění přilnavosti a pružnosti je vyroben z nylonu a spandexu. Pro účinnou termoregulaci je LCVG rozdělen do 12 okruhů. Váha LCVG je okolo 3 kg. U amerického skafandru EMU termoregulační prádlo sahá jen po úroveň krku, ale u konkurenčních ruských Orlanů je termoregulační prádlo i na hlavě ve formě kapuce. [8]



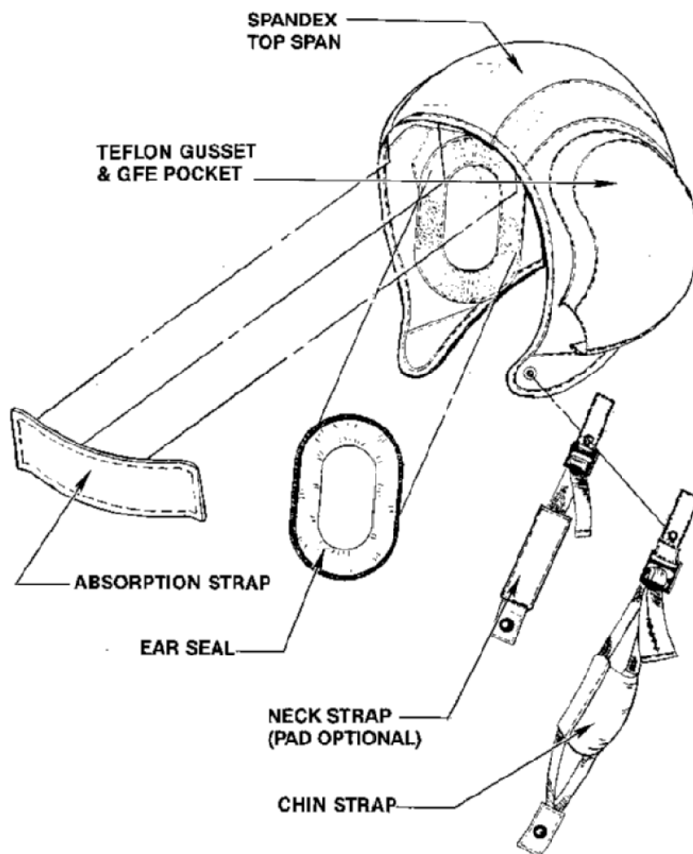
JG8353302cv

Obr. 2-11

LCVG [8]

## Communications Carrier Assembly (CCA)

Communications Carrier Assembly je čepička pro astronauty, jinak známá pod názvem snoop cap, vyrobená z lehké tkaniny, která zaručuje dostatečné pohodlí a variabilitu při změně uživatele. Jedná se o součást komunikačního systému mezi astronauty a řídicím střediskem během jejich misí. Má v sobě integrovaná sluchátka a mikrofony. Zprvu vyvinuta pro program Apollo. Název snoop cap dostala díky podobnosti s animovanou postavičkou Snoopy od amerického tvůrce komiksů Charlese Monroea Schulze. [42] Plní funkci stejně jako potítka. [8][43]

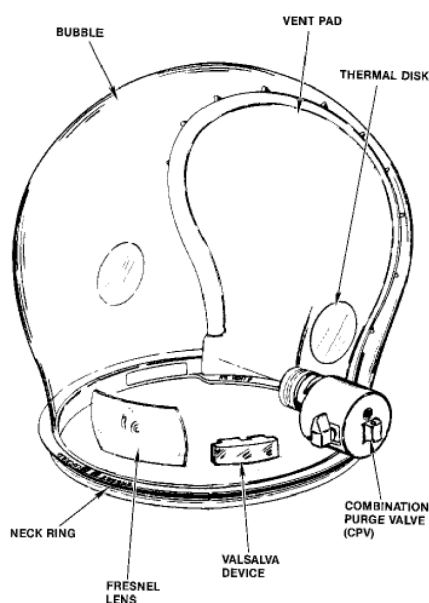


Obr. 2-12

Communications Carrier Assembly (CCA) [8]

## Bubble helma

Bubble helma je součástí tlakového obleku. Má za účel udržet kolem astronauta konstantní tlak. Vyrobená z průhledného polykarbonátu, což zajišťuje nízkou hmotnost, vysokou pevnost a odolnost vůči nárazům i extrémním teplotám. Tloušťka se pohybuje okolo 3–5 mm. Průhlednost polykarbonátu zaručuje široké zorné pole. Je vyrobena v několika unifikovaných velikostech. Tento typ helmy se už používá od přistání Apolla na měsíci. A od té doby se toho na helmě moc nezměnilo, jen se použili novější materiály, které oblek odlehčili, ale konstrukce zůstává stejná. Helma se skládá z několika hlavních součástí, a to polykarbonátové bubliny (Bubble), krčního prstence (Neck Ring), kombinovaného přepouštěcího ventilu (Combination Purge Valve – CPV) a ventilační podložky (Vent Pad). [8]

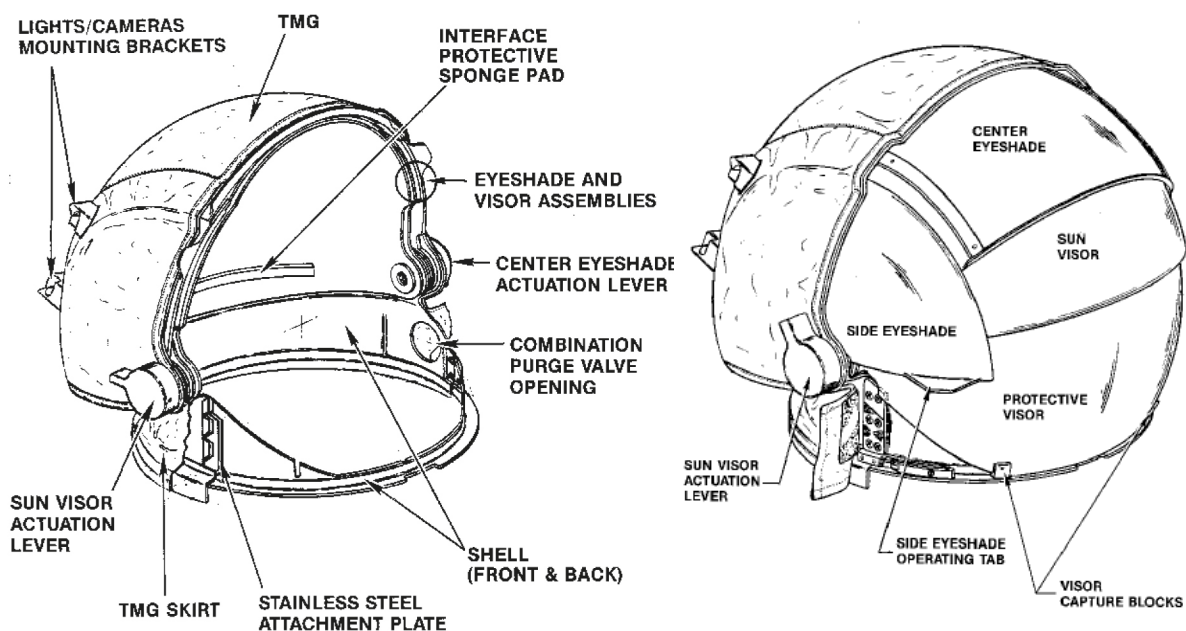


Obr. 2-13 Bubble helmet [8]

- Bublina, krční prstenec a ventilační podložka jsou pevně spojeny a tvoří základní konstrukci přilby, které se připojují ke skafandru.
- Kombinovaný přepouštěcí ventil (CPV) hraje důležitou roli při vstupu do volného vesmíru, před vstupem je potřeba naplnit skafandr čistým kyslíkem, aby se eliminoval dusík v krvi a předešlo se dekompresní nemoci. Taktéž lze použít v krizových situacích k přívodu kyslíku z externího zdroje.
- Krční prstenec umožňuje rychlé a bezpečné připojení či odpojení přilby od horní části skafandru (HUT – Hard Upper Torso).
- Ventilační podložka pro odkládání hlavy, umístěná v zadní části přilby, slouží k řízenému proudění kyslíku uvnitř přilby. Kyslík je veden z přívodu v HUT do přední části bubliny, čímž pomáhá zabránit zamlžování hledí a zajišťuje rovnoměrnou cirkulaci kyslíku. [8]

## Extravehicular visor assembly (EVVA)

Součástí skafandru EMU, která se připevňuje k helmě a zajišťuje ochranu astronauta při výstupech do volného kosmu. Slouží k ochraně před teplem, slunečním zářením, mikro meteoroidy a nárazy. [8]



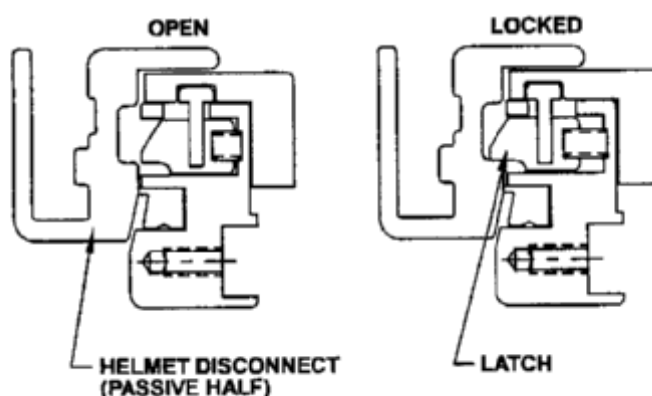
Obr. 2-14 EXTRAVEHICULAR VISOR ASSEMBLY (EVVA) [8]

- Plášť (Shell) – Vyroben z polykarbonátu obsahuje čtyři vnější držáky pro montáž osvětlení a kamerového systému.
- Ochranný plášť (Thermal Micrometeoroid Garment – TMG) – Tepelná ochranná vrstva na vnějším povrchu pláště.
- Sluneční štít (Sun Visor) – Pohyblivý prvek vyrobený z polysulfonu s povrchovou úpravou proti poškrábání a s termo-optickým povlakem k ochraně před slunečním zářením. Jeho tloušťka se pohybuje okolo 1-2 mm.
- Ochranný štít (Protective Visor) – Pevně fixovaný polykarbonátový štít s ochranným povlakem proti poškrábání, který odráží část tepla zpět do helmy a blokuje škodlivé sluneční paprsky. Jeho tloušťka se pohybuje okolo 3 mm.
- Postranní a centrální clony (Side and Center Eyeshades) – Pohyblivé clonky z laminátu, které poskytují dodatečné zastínění a redukci odlesků.[8]

## Spojení torza a helmy

Spojení torza (HUT) a helmy (polykarbonátová bublina a sestava hledí EVVA) je realizováno pomocí spojovacího prstence s rychloupínacím systémem na principu bajonetu.

Prvním krokem je nasazení helmy do drážky na krčním prstenci připojenému k HUT. Následným krokem je uzamykací zařízení dát do polohy Engage (zapojeno) tím se aktivují zajišťovací západky. Díky kterým je helma přidržována na místě, ale stále umožňuje drobnou manipulaci. Posledním krokem je dát uzamykací zařízení do polohy Locked (uzamčeno), tím se západky pevně zasunou do otvoru v krčním prstenci. Následná tenze západek přitlačí těsnění na prstenci k helmě a dojde k hermetickému uzavření.



Obr. 2-15 Mechanismus zamykání

## 2.2.2 IVA – Advanced Crew Escape Suit (ACES)

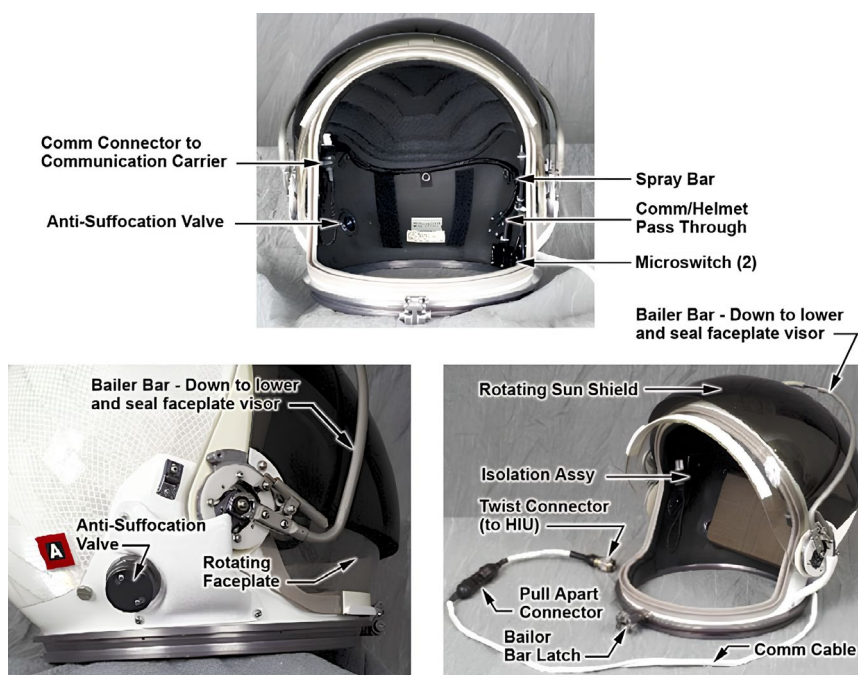
Pro popis helmy typu IVA je volena helma ze skafandru ACES americké výroby. Z důvodu široké škály dostupných a relevantních zdrojů.



Obr. 2-16 ACES [44]

### Hlavní hledí (pressure visor)

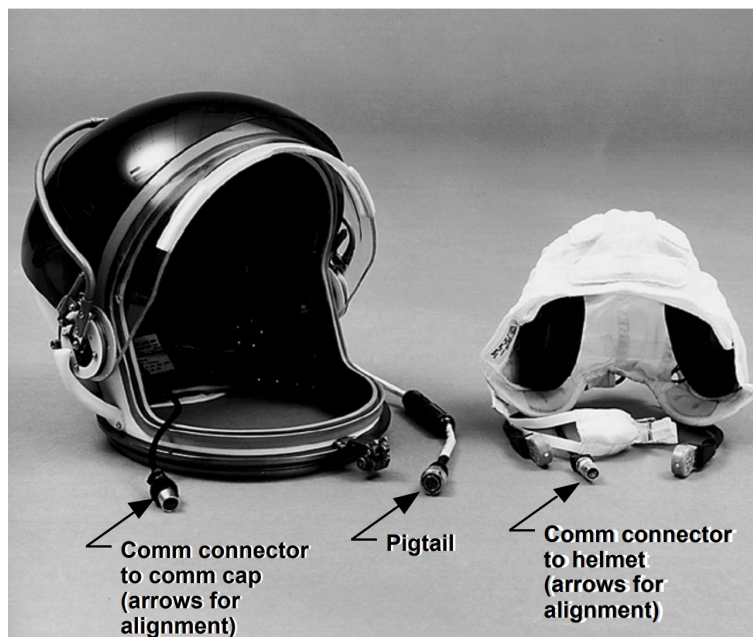
Hledí je vyrobeno z polykarbonátu o tloušťce kolem 2 mm. Je pevně spojeno k otočnému pantu na bicích helmy. Odklápění helmy je umožněno pomocí drátové konstrukce obepínající přední stranu helmy (Bailer Bar). Je pevně přichycen k pantu hlavního hledí. Odklopením „Bailer Baru“ se současně odklopí i hlavní hledí. Utěsnění hledí je umožněno pomocí dvojitého těsnění. Jednoho na hlavním hledím a druhého na obvodu výřezu v helmě. Fixace proti samovolnému otevření je vyřešena pomocí západky/petlice v místě brady (Bailer Bar Latch). Drátová konstrukce (Bailer Bar) se zahákne do západky (Bailer Bar Latch).



Obr. 2-17 Popis částí ACES [45]

### Otočné sluneční clona (Rotation Sun shield)

Sluneční clona je volně přichycena k otočnému pantu na stranách helmy. S možností aretace v každé poloze. Aretace je umožněna za pomoci tření mezi jednotlivými částmi pantu.



Obr. 2-18 CCA [45]

### Konektor pigtail (Comm Cable/Comm Pigtail)

V zadní části helmy je vyveden konektor spojující ovládací panel a komunikační zařízení CCA.

### Ventil proti udušení (Anti-Suffocation Valve)

Nachází se v zadní pravé části helmy. Pokud dojde k odpojení nebo výpadku přívodu vzduchu, uživatel by mohl mít problém s dýcháním. V tom případě se ventil automaticky otevře, pokud uvnitř helmy dojde k poklesu tlaku oproti okolí, čímž umožní průchod vzduchu z kabiny raketoplánu do helmy.

### Komunikační čepice (CCA)

Vyrobená z lehké tkaniny, která zaručuje dostatečné pohodlí a variabilitu při změně uživatele. Jedná se o součást komunikačního systému mezi astronauty a řídicím střediskem během jejích misí. Má v sobě integrovaná sluchátka a mikrofony. Komunikační čepice se připojí ke propojovacím konektorům zabudovaným v helmě (Comm Cable/Comm Pigtail) [46]

## Ovládač audia (HIU)

Ovládací panel umožňující nastavení úrovně hlasitosti. Funkce push-to-talk, uživatel musí nejprve zmáčknu tlačítko PTT (Push-To-Talk), aby se zvuk z mikrofonu nahrál. Ovládací prvky mají různé výčnĚlky, aby bylo jednoduché je poznat po hmatu. [47]



Obr. 2-19 HIU [47]

## Podpora spojovacího prstence

Helma je ke skafandru spojena pomocí spojovacího prstence. Prstenec je podepřen pomocí drátĚných podpĚr, aby poloha helmy zůstala stabilní. Pružnost drátu zaručuje stabilitu při dynamičtĚjších pohybech. [46]



Obr. 2-20 Drátová podpora prstence [46]

## Feeding port

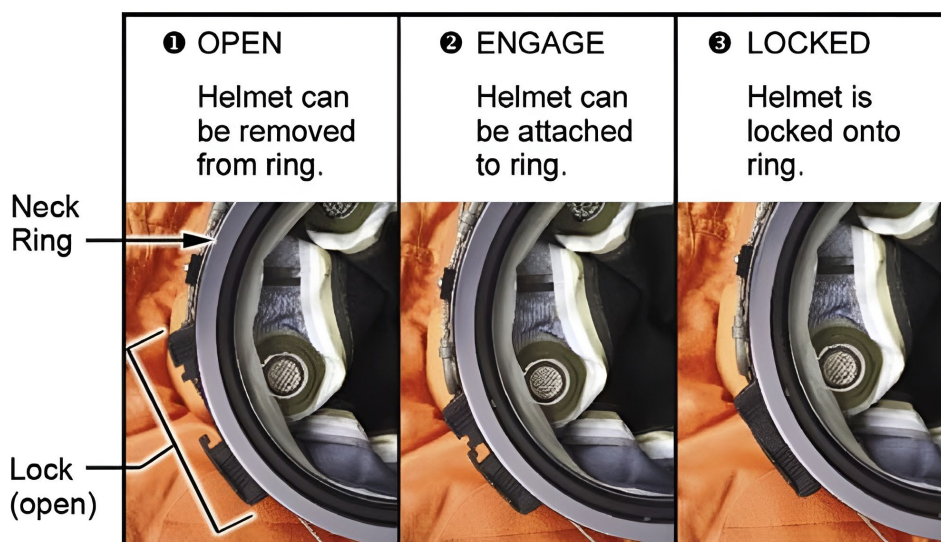
V hledí je otvor s gumovým ventilem. Který slouží pro přívod hadičky se stravou či tekutinami, potřebným pro přežití uživatele, při krizových situacích. Přes gumový ventil je možné prostrčit plastovou hadičku, gumový ventil zamezí jakémukoliv úniku vzduchu z helmy. [45]



Obr. 2-21 Feeding port ACES [46]

## Prstencový spoj

Helma je ke zbytku skafandru spojena prstencovým spojem. Pogumovaný prsteneček na helmě se zasadí do těsnění v spojovacím prstenci a zajistí se zamykací západkou. [47]



Obr. 2-22 Spoj helmy a skafandru ACES

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

Konstrukce aktuálně používaných helem se za poslední roky výrazně nezměnila, většina vychází ze skafandrů předchozích verzí. Uživatel si nejprve musí obléknout termoregulační prádlo, komunikační čepici, následně helmu, která ho hermeticky uzavře od okolního prostředí a na závěr se nasazuje ochranné hledí. Helma musí uživateli umožnit dostatečný výhled pro jeho orientaci, schopnost se dorozumět pomocí komunikačního zařízení, neomezovat ho při zažitých anatomických pohybech a reflexech. Jedním z hlavních problémů stávajících řešení je komplikované nasazování a snímání helmy, které často vyžaduje asistenci nebo zdlouhavé úkony. V krizových situacích však musí být helma připravena k okamžitému použití, ideálně v několika málo krocích a bez nutnosti složité manipulace. Dalším problémem je omezené zorné pole, které může snižovat orientaci astronauta a negativně ovlivňovat psychologické vnímání prostoru, zejména v podmínkách stresu a izolace. Častým nedostatkem bývá také nedostatečná fixace hlavy uvnitř helmy, což vede k nežádoucím mikro posunům, jež zhoršují pohodlí i vizuální stabilitu. V následující kapitole rozeberu úskalí jednotlivých typů, abych byl schopen lépe definovat směr kterým se budu ubírat.

### 3.1.1 Helmy upnuté na krčních prstencích

Používají se u helem typu EVA i IVA. Mechanismus zapínání je pro uživatele náročný a bez pomoci další osoby skoro nemožný zkompletovat. Příklad EMU z kapitoly 2.2. Prostorová rozměrnost prstence zamezuje volnosti pohybu a uživatel se musí naučit speciální pohyby, díky kterým bude moc skafandr bez omezení použít. Jejich výhodou je životnost a odolnost. Díky spojení pomocí prstence je možné kompletovat skafandry různých rozměrů. Systém používají skafandry EMU a OCSS skafandry. Jejich jedinou výhodou je jejich odolnost. Od jejich používání se začíná upouštět, jelikož komplikují oblékání. Vysoká konstrukční složitost prstence, je v rozporu s vysokými bezpečnostními standardy pro EVA aplikace.



Obr. 3-1 Helma spojena pomocí prstence [48]

### 3.1.2 Helmy jako součást kapuce

Vhodné řešení jen pro helmy typu IVA. Neexistuje řešení pro EVA aplikace, ani není konstrukčně možné. Volná látka by se ve vakuu doslova “přicucala“ na tělo uživatele a tlakem ho udusila.

Tohle řešení klade důraz na minimalistický přístup, bez zbytečných součástí. Oproti řešení s prstencem umožňují větší volnost jsou znatelně lehčí a uživatel si je dokáže navléct sám, bez pomoci další osoby. Jejich konstrukce zamezuje jakékoliv modularitě a komponenty musí být na míru nebo v rozmezí velikosti. Patří sem skafandry Sokol a Boeing Starliner. Jejich hlavní nevýhodou je nevybavenost komunikačním zařízením. Kapuce není vybavena jakýmkoliv vycpávkami, které by zvyšovali komfort při nošení. Zejména při turbulentních situacích, kdy může hlava uživatele poskakovat z místa na místo a mohl by se uhdít.



Obr. 3-2 Helma jako součást kapuce [49]

### 3.1.3 Helmy pevně přídělané k rigidnímu torzu

Časté řešení pro skafandry určené pro EVA aktivity, zvláště u konceptu, kdy jejich záměr byl prozkoumávání planetárních povrchů. Spojení torza, batohu a helmy dává smysl a tím snižuje počet součástí, u kterých by mohla nastat závada. Ale značně omezuje uživatele v pohybu. Astronauti musí před použitím absolvovat výcvik kdy se učí, jak správně skafandr použít. Samotná helma se stává jen jakým si průzorem v torzu.



Obr. 3-3 Helma pevně přídělaná k torzu [50]

Silnou stránkou je vstup přes zadní poklop. Následné oblékání tak zabere pár minut. Kompatibilita vstupního otvoru s dokem ve stanici či roveru, umožňuje po použití znečištěný oblek ponechat venku. Špinavý oblek by mohl znečistit vnitřní prostory. Rozvířený prach ve vzduchu by mohl ohrozit zdraví uživatele. Samotné napojení batohu s torzem znemožňuje použití konvenční helmy. Nejhlavnější výhodou je jednoduchost konstrukce, která usnadňuje údržbu a případný servis při poruše. Minimální počet komponentů snižuje možnost jakékoliv poruchy. Diskomfort při používání je kompenzován maximální bezpečností a spolehlivostí.



Obr. 3-4 Suit port [51]

## 3.2 Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše

Z kritické rešerše a technické analýzy vyplynulo několik faktů, díky kterým mám jasnou představu kam design helmy směřovat. V následující kapitole je vysvětleno a obhájeno směřování mého designu.

Analýza současných helem určených pro EVA mise ukazuje, že aktuální vývojový trend směřuje k jejich integraci do rigidního torza skafandru. Tento přístup přináší několik výhod, snižuje počet samostatných komponent, zjednodušuje údržbu a zvyšuje celkovou odolnost a bezpečnost konstrukce. S ohledem na dostupné technologie a materiály se v rámci tohoto řešení, jeví prostor pro další zlepšování velmi omezený.

U helem pro IVA aplikace je konstrukční řešení různorodější. Jedním z možných řešení je tuhá helma spojena pomocí spojovacího prstence. Samotný spoj je pevný a osvědčený. Umístění samotného prstence na ramenou není uživatelsky komfortní. Při dynamičtějších pohybech helma nenabízí dostatečnou stabilitu. Samotná pevná konstrukce poskytuje dostatečnou ochranu proti nárazům.

Nejjednodušším možným řešením je integrace helmy do kapuce skafandru. Silnou stránkou uvedeného řešení je rychlost samotného nasazení. Z hlediska komfortu vidím několik nedostatků. Hlavním z nich je absence jakékoliv fixace na hlavě. Stabilita helmy je plně závislá na natlakování obleku. Při dynamičtějších pohybech, například při startu, můžeme očekávat házení hlavou. Jelikož kapuce není vybavena vycpávkami, hlava uživatele může utrpět uraz.

Pro mě nejzajímavějším řešením je kombinace tuhé helmy a spoje pomocí pružné textilie. Hlavními výhodami tuhé helmy je možnost integrace audiosystému, dostatečná ochrana proti nárazům hlavy, stabilní poloha a fixace na hlavě. Pružný textilní spoj mezi helmou a zbytkem skafandru přidává celému řešení na komfortu a mobilitě.

### 3.3 Cíl práce

Hlavním cílem je navrhnout design helmy pro kosmické aplikace odpovídající technickým a bezpečnostním požadavkům. Ze získaných poznatků je možné sestavit další dílčí cíle práce. Z analýzy problému vzešel závěr, že práce se bude orientovat na designu helmy pro IVA aplikace. Hlavním účelem IVA skafandru je ochránit uživatele před dekompresí kabiny, při staru či návratu.

#### 3.3.1 Cíle ze zadání práce

- Definovat důležité parametry (bezpečnost, materiály, spojení se skafandrem)
- Vytvořit estetický a ergonomický design krytu helmy pro kosmické aplikace
- Navrhnout barevnost a grafické prvky v souladu s funkcí přístroje
- Zahrnout příslušenství (například přídatná světla, senzory, kryty)
- Zohlednit vyrobiteľnosť a ekonomickou nákladnosť procesu výroby

### 3.3.2 Cíle z analýzy problému

- Stabilní poloha helmy na hlavě
- Umožnit výhled srovnatelný se zorným polem lidského viděním
- Zachovat přirozené pohyby hlavy
- Umožnit uživateli se jednoduše orientovat a komunikovat
- Snížit počet jednotlivých částí, nebo je implementovat vzájemně do sebe
- Samostatnost a rychlost při oblékání

## 3.4 Cílová skupina

Helma bude navržena pro účely ochránění uživatele před dekompresí při staru, či návratných misí z orbitální stanice. Cílová skupina jsou především astronauti, kosmonauti a členové posádek na Mezinárodní vesmírné stanici (ISS), v kosmických lodích (např. Crew Dragon, Orion). Taktéž osoby zajišťující provoz a řízení kosmických lodí během startu, přistání nebo kritických fází letu. Výzkumníci provádějící experimenty na oběžné dráze, kteří mohou v případě nouze potřebovat ochranu skafandru. Jsou výzkumní pracovníci, technici a personál směřující na vesmírné stanice. Kteří zde provádějí výzkum nebo umožňují fungování vesmírné stanice. Pro získání potřebných kvalifikací a zkušeností je zapotřebí značné časové úsilí. A i proto se věkový průměr mezi pracovníky na vesmírných stanicích pohybuje mezi 35-60 lety. Jejich výška a váha je omezena od 158 cm do 190 cm a na 50 kg až 90 kg. [52] Díky těžké přípravě je možné předpokládat, že osoba bude ve výborné zdravotní kondici.

Do cílové skupiny mohou nezpochybnitelně zahrnout i společnosti zabírající se daným segmentem na trhu jako je ESA či NASA.

## 3.5 Základní parametry a legislativní omezení

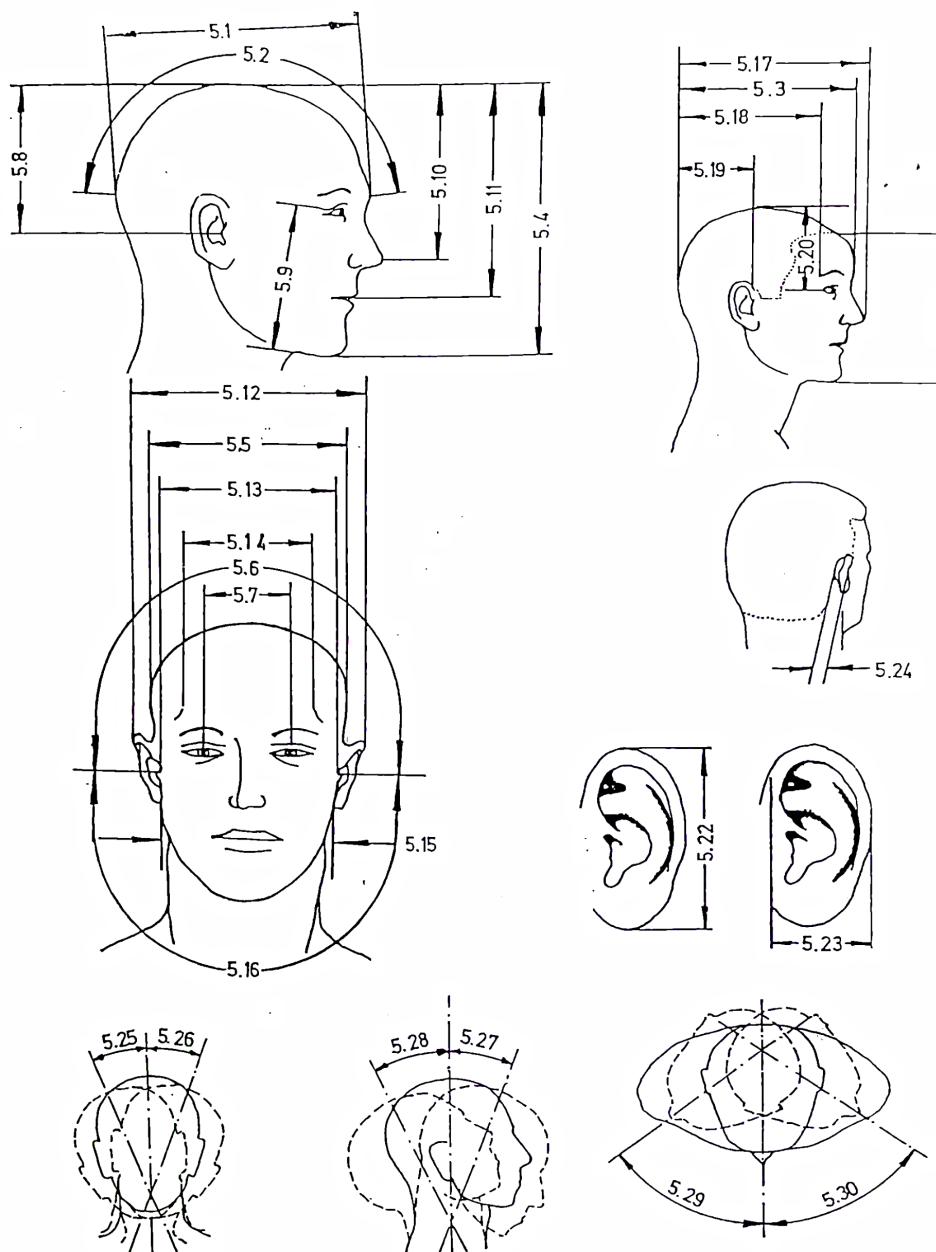
Důvod konstrukce helmy tohoto typu je ochrana uživatele především před dekompresí kabiny. Aby se zabránilo udušení uživatele. Požadavky na skafandr, helmu a jeho správné užití popisuje následující norma.

NASA-STD-3001 Vol 1 & 2

Norma nařizuje návrh helmy uvažovat tak, aby minimalizovala zdravotní rizika, například zajištěním správné ventilace a zabráněním hromadění CO<sub>2</sub> uvnitř helmy. Integrace komunikačních zařízení do helmy pro efektivní komunikaci posádky s řídicím střediskem a ostatními členy posádky. Helma by měla být ergonomicky navržena pro dlouhodobé nošení, s důrazem na minimalizaci nepohodlí a únavy. Zajištění ochrany proti náhlé dekompresi a mechanickým nárazům je zásadní pro bezpečnost astronautů. [53][54]

Základní parametry pro mě jsou dané anatomickými rozměry hlavy člověka. Do vesmíru se dostane člověk s rozměry 158 až 190 cm a s váhou od 50 do 90 kg. [52] Ale tahle práce je orientovaná na 50 percentil populace. Dolní a horní extrém by byl řešen velikostními variacemi helmy. ”

Pro zvolení vhodných rozměrů helmy. Jsem vycházel z norem Lorko.



Obr. 3-5 Rozměry hlavy Lorko [55]

Tab. 3-1 Ergonomické rozměry hlavy [55]

<b>Číslo</b>	<b>Název rozměru</b>	<b>Muž 50 Percentil</b>
5.1	Obvod hlavy	573 mm
5.2	Sagitální oblouk hlavy	337 mm
5.3	Hloubka hlavy	193 mm
5.4	Výška hlavy	228 mm
5.5	Šířka hlavy	156 mm
5.6	Transverz. oblouk hlavy	352 mm
5.7	Vzdálenost mezi zorníčkami	63 mm
5.8	Výška temena hlavy od ucha	131 mm
5.9	Morfologická výška tváře	117 mm
5.10	Výška temena hlavy od nosu	145 mm
5.11	Výška temena hlavy od úst	179 mm
5.12	Šířka hlavy s ušima	186 mm
5.13	Šířka hlavy	139 mm
5.14	Minimální šířka čela	110 mm
5.15	Šířka dolní čelisti	103 mm
5.16	Oblouk ucho-brada	317 mm
5.17	Hloubka hlavy od špičky nosu	226 mm
5.18	Hloubka hlavy od koutků oka	173 mm
5.19	Hloubka hlavy od ucha	101 mm
5.20	Výška temena hlavy od očí	114 mm
5.21	Výška tváře	188 mm
5.22	Délka ucha	64 mm
5.23	Šířka ucha	35 mm
5.24	Vystrčení uší	20 mm

### 3.6 Použité výrobní technologie, možný trh a cena

Pro pevné části helmy se pro výrobu dá předpokládat využití konvenčních technologií, jako je vstřikování a formování. Průhledné hledí z polykarbonátu se vyrábí pomocí vstřikování do formy. Nebo se rozehřátý polykarbonátový plát vytvaruje o kopyto pomocí vakuového formování. Tloušťka hledí je v rozmezí 5–3 mm. Zbylé spojovací součásti jako je prstenec nebo úchytky kamer, světel a jiných přídatných zařízení se nejčastěji vyrábějí z hliníku pomocí obráběcích strojů.

Na hledí se nanáší tenká vrstva zlata, která pomáhá odrážet sluneční záření. Zlatá vrstva se nanáší pomocí technologie zvané Vacuum Deposition. Metoda spočívá v procesu napařování ve vakuové komoře. Během tohoto procesu se pevný materiál přeměňuje na páru a následně se nanáší na povrch cílového materiálu, kde kondenzuje a vytváří tenkou vrstvu. Tato vrstva materiálu se spojuje s podkladem na molekulární úrovni, což zajišťuje vysokou pevnost a odolnost povrchu. Nebo se dá využít metoda katodového napařování. [56]

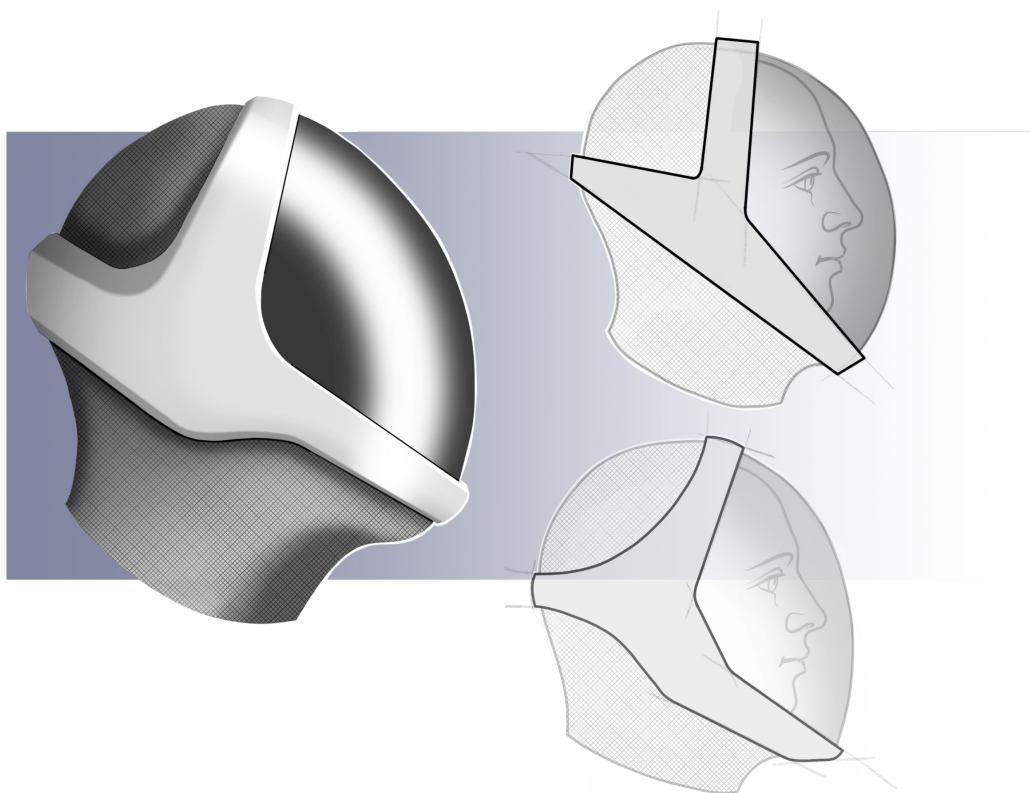
Taktéž by se pro výrobu mohly použít aditivní technologie. Jako je například 3D tisk plastů či kovů. Kde je možno vyrábět složité tvarové komponenty s minimem odpadu a velmi rychle a levně. V blízké budoucnosti je možné, že vesmírné stanice budou vybaveny těmito technologiemi. Kdy případné opravy se budou řešit na místě, bez nutnosti vracení se zpět na Zem.

## 4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

Následující kapitola představuje tři varianty koncepčních návrhů, které reflektují různé přístupy k řešení designu helmy. U každé varianty je podrobně vysvětlen tvůrčí proces, východiska návrhu i klíčové argumenty. Které vedly k výslednému tvarovému ztvárnění dané varianty.

### 4.1 1. Koncepční varianta

První z navržených variant se zaměřuje na rozpracování koncepce helmy ve formě integrované 'masky'. Tento přístup se snaží oprostit od tradičního tvarosloví a hledá nové možnosti v minimalizaci objemu a zjednodušení konstrukce. Jednalo by se o pevnou konstrukci vedenou pod bradu směrem k uším až na zátylek. V místě uší by se konstrukce rozdvajila a pokračovala k vrcholku hlavy. Do prostoru mezi horní konstrukcí a konstrukcí kolem brady by bylo vsazeno hledí. Mezi horní konstrukcí a konstrukcí kolem zátýlku by byla vyplněna textilií, která se používá na dalších měkkých částí jako jsou rukávy a kalhoty. Na konstrukci od zátýlku a brady by se napojil krční límec z téže textilie. Místo rozdvojení konstrukce situovaných v místě uší, by byl vhodný pro zabudování sluchátek.



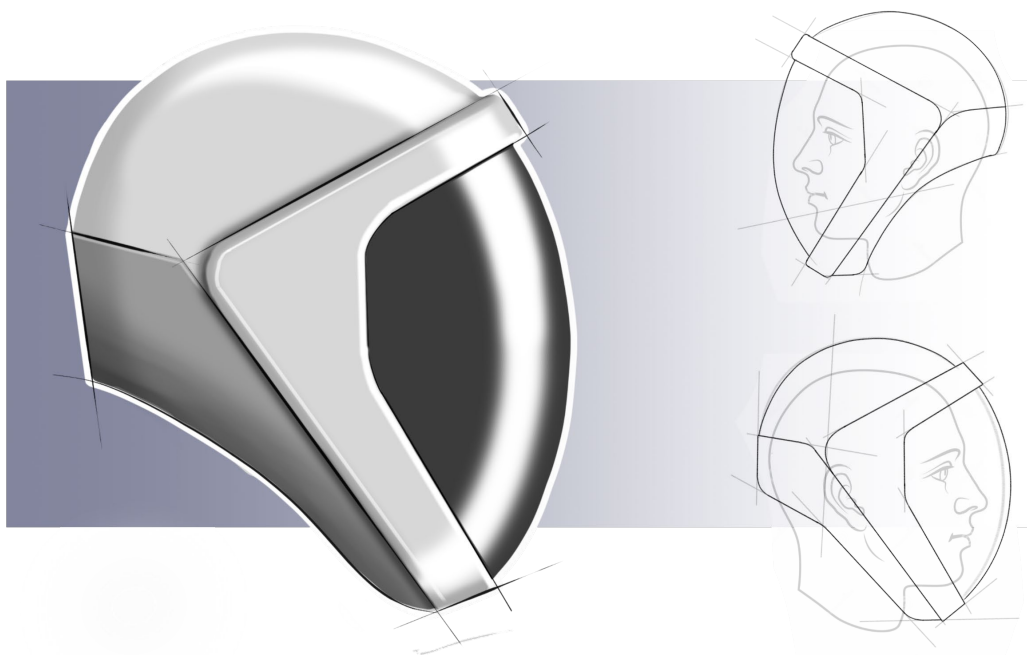
Obr. 4-1 1. Koncepční varianta

Ukázkové skici představují tři varianty řešení, z nichž každá přistupuje k tvarování helmy odlišným způsobem. První varianta vychází z jednoduché geometrické konstrukce, jejíž hlavní předností je snadná vyrobiteľnosť a flexibilita při prispôbovaní rôznym veľkostem hlavy. Druhá varianta je tvarově výrazně anatomizovaná. Spodní část konstrukce kopíruje linii čelisti, čímž prispívá k lepší ergonomii. Zároveň je v této verzi posílena celková konstrukční tuhosť, což zvyšuje pevnosť a stabilitu celého systému.

Tento koncept vyniká svou jednoduchostí a nízkou hmotnosťou, což lze považovat za jeho hlavní přednosti. Za slabší stránku lze naopak označit způsob fixace na hlavě. Přilba je konstruována jako pevný celek, který se opírá o zátylek, bradu a temeno hlavy. Pro zajištění správné stability a komfortního usazení by bylo nutné prispôbovit konstrukci individuálnym antropometrickým rozměrům uživatele, případně využít výstelkové prvky, které by kompenzovaly vzniklé mezery a zajistily dostatečnou oporu.

## 4.2 2. Konceptní varianta

Následující tvar varianty, pracuje s myšlenkou odklopného hledí. Pro správnou funkci musí zadní část umožnit odklopení hledí. Z toho plyne kulovitý zadní tvar helmy.

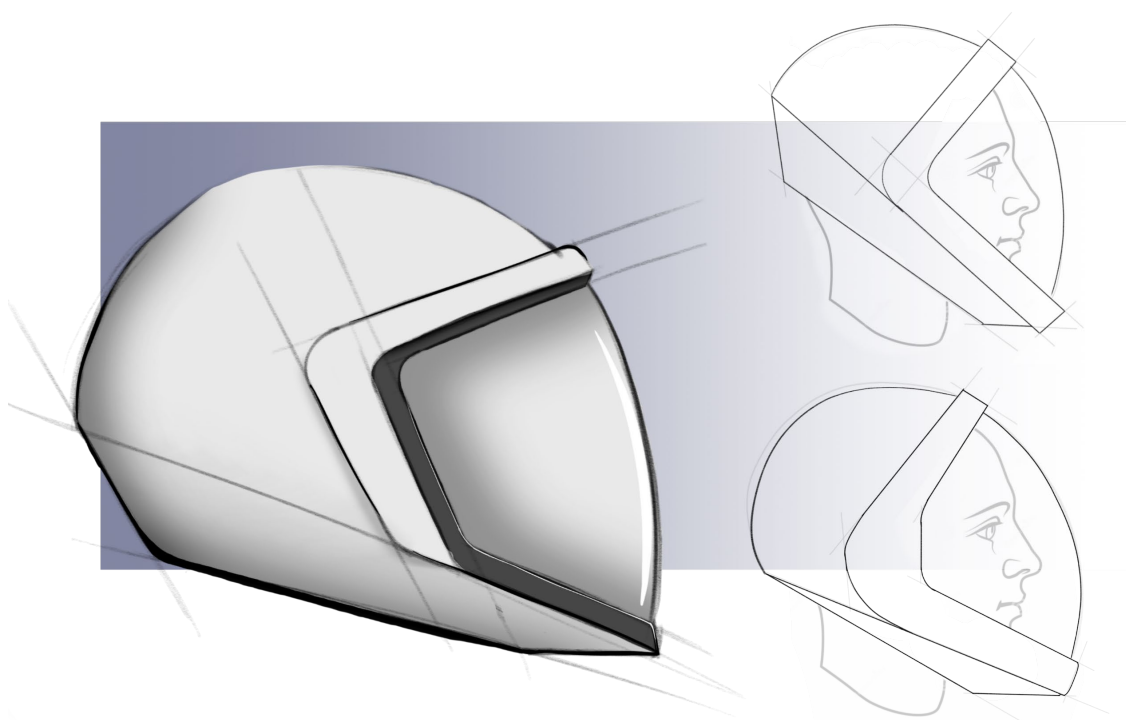


Obr. 4-2 2. Konceptní varianta helam a variace rámu hledí

Hledí je protažené směrem dolů s cílem maximalizovat zorné pole, což je důležité například při práci s ovládacími panely či při interakci s vybavením. Zadní část helmy je tvarována tak, aby umožňovala co největší rozsah pohybu hlavy, zejména při záklonu, čímž přispívá k ergonomii a pohodlí uživatele. V rámci návrhu byla dále rozpracována varianta odklopného hledí s různým tvarovým řešením v oblasti pantu – jedna z možností počítá se zaobleným přechodem, zatímco druhá uvažuje rovnou plochu, která by mohla sloužit jako nosič přídatných prvků, například kamer nebo osvětlení. Spodní část helmy je navržena s ohledem na kompatibilitu se zbytkem skafandru. Propojení by bylo realizováno prostřednictvím textilního nákrčníku pevně spojeného s helmou. Řešení s cílem zrychlit oblékání a udělat ho uživatelsky pohodlným.

### 4.3 3. Konceptní varianta

Poslední varianta navazuje na předchozí koncept a dále rozvíjí myšlenku odklopného hledí. Oproti předchozímu řešení je zde modifikována spodní část helmy. Ta nyní zůstává rovná a pod definovaným úhlem se odklání od linie zlomu mezi hledím a spodní částí korpusu, čímž dochází k úpravě celkového tvarového řešení. Tento tvarový zásah poskytuje daleko čistšího tvarového propojení.



Obr. 4-3 3. Konceptní varianta

Za silnou stránku této varianty považuji její tvarovou jednoduchost, která zároveň přispívá k výrobní nenáročnosti. Rovně zakončený korpus helmy umožňuje lepší záklon hlavy a zároveň usnadňuje konstrukční napojení na zbytek skafandru, které je díky přímému řezu jednodušší než u předchozí varianty. Z hlediska vizuálního vyznění však působí spodní část helmy, poněkud nestabilním dojmem – jako by helma mohla z hlavy sklouznout. Tento subjektivní vjem může ovlivnit celkové vnímání bezpečnosti a důvěryhodnosti konstrukce.

Finální návrh vznikl kombinací druhé a třetí varianty. První variantu jsem vyřadil z důvodu nemožnosti odklopení hledí, které je u helmy integrované do skafandru zásadní – zejména kvůli nutnosti snadného sejmutí při aktivitách, jako je příjem potravy nebo doplňování tekutin. Ačkoli by teoreticky bylo možné implementovat odklopné hledí i do této varianty ve formě mechanismu integrovaného do masky, šlo by o konstrukčně složitější řešení, které by popíralo původní koncepci založenou na jednoduchosti a minimalismu.

Z druhé varianty přebírám koncept odklopného hledí, jeho skosené usazení na hlavě a celkové tvarové řešení průzoru. Ze třetí varianty vycházím v oblasti spodního zakončení helmy, rovné provedení navázání na skafandr umožňuje efektivní a konstrukčně jednodušší napojení na zbytek skafandru. S maximalizací rozsahů pohybů hlavy, především při záklonu hlavy.

## 4.4 Koncepční modely z kleje

Pro lepší pochopení usazení helmy na hlavě a jejímu tvarování jsem si vytisknul na 3D tiskárně zmenšeninu lidské hlavy v měřítku 1:2. Na který jsem pomocí kleje modeloval různé tvarové variace. A pozoroval, jak se mění silueta a celkový vizuál hlavy s helmou.



Obr. 4-4 Modely z kleje

## 5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Finální tvarové řešení vychází z druhého a třetího návrhu. Výsledkem je ucelený jednotný tvar s dominantním čelním hledím, plynule přecházející do bradové části. Charakteristickým prvkem je hrana za hledím, umožňující helmu se skafandrem pohodlně sundat.



Obr. 5-1 Finální tvarové řešení (zavřené hledí)



Obr. 5-2 Finální tvarové řešení (otevřené hledí)

## 6 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

Následující kapitoly jsou věnovány popisu klíčových aspektů konceptu, mezi které patří ergonomie, použité materiály a výrobní technologie. Zohledněny jsou rovněž zásady udržitelnosti, bezpečnosti a hygieny.

### 6.1 Popis

Finální návrh je koncipován formou nosného korpusu helmy, který nese klíčové komponenty. Základní tvar helmy je kulovitěho charakteru, v místě brady je protažen směrem dolů, pro maximalizování zorného pole. Napojení helmy ke krční části je stylizováno konickým tvarem zužující se směrem ke krku. Zkosení zadní části helmy má pozitivní vliv na pohodlí v pozici sedu s opřenou hlavou o opěrku.

Hledí tvoří 90° výseč přední části helmy a je navrženo jako odklopné v rozsahu 90°, čímž umožňuje plné otevření. Odklopné hledí zapadá do tvaru zadní části helmy a nepůsobí rušivým dojmem. A je zachytáváno rantlem v týlové části helmy. Prostor pod pantem hledí jsem využil k prohlubní, který slouží k uchycení helmy při sundávání skafandru. Spodní hrana zaklopeného hledí navazuje na přechod mezi kulovitou částí helmy a konickým navázáním napojující se na krční část, čímž je zajištěna vizuální i konstrukční celistvost.

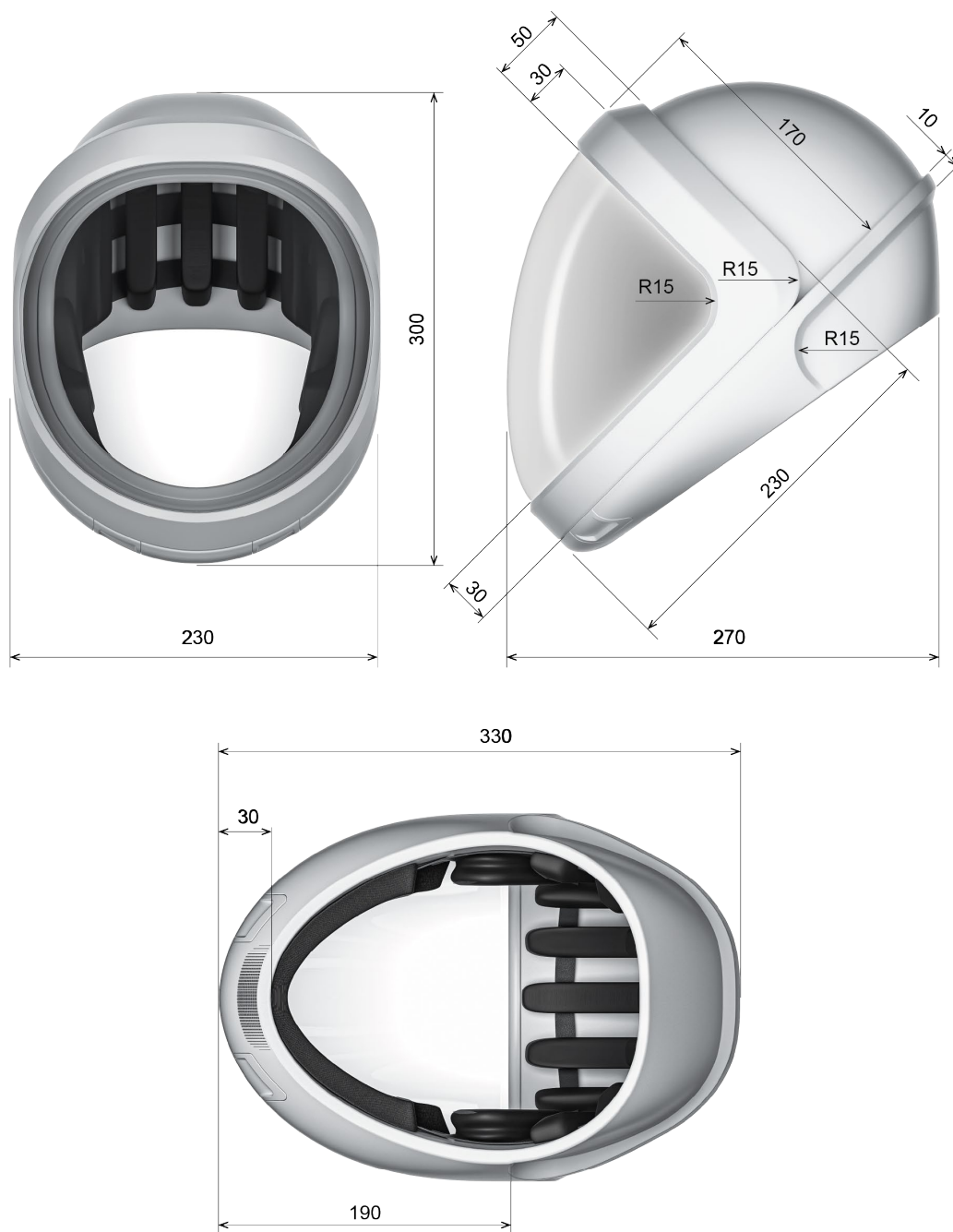
Napojení ke zbytku skafandru je umožněno pomocí nákrčníku pevně spojeného s helmou. Samotná skafandr se tak stává jednodílnou kombinézou, což urychluje oblékání.



Obr. 6-1 Napojení na skafandr

## 6.2 Rozměrové řešení

Rozměrové řešení je koncipováno pro 50 percentil mužské populace. Je uvažována tloušťka stěny 10 mm. Síla stěny hledí je 5 mm.



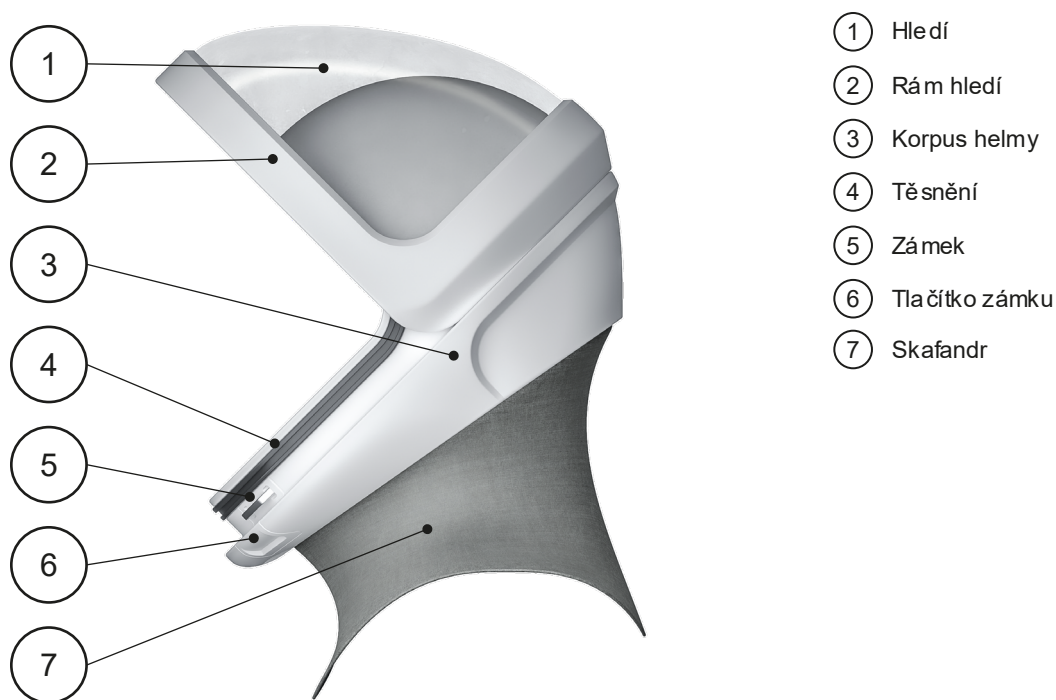
Obr. 6-2 Rozměrové řešení

## 6.3 Vnitřní mechanismy a komponenty

Popis jednotlivých komponent je strukturován do dvou podkapitol dle jejich umístění na vnější a vnitřní komponenty. Vnější komponenty zahrnují například hledí, textilní část skafandru či zámky, zatímco vnitřní část se zabývá prvky umístěnými uvnitř korpusu helmy, jako jsou komunikační moduly nebo výstelka zajišťující komfort a stabilní usazení helmy na hlavě uživatele.

### 6.3.1 Vnější komponenty

Hlavní komponentou je korpus helmy, který nese všechny zbylé části. Klíčovou komponentou je hledí helmy. Složené s polykarbonátového hledí vsazeným do rámu hledí. Otvírání hledí je řešeno pomocí pantů v hledí, které jsou vsazené do helmy. Jejich případná těsnost je řešena pomocí hermeticky uzavřených ložisek.



Obr. 6-3 Vnější komponenty

Pojištění hledí proti otevírání je vyřešeno pomocí zdvojených zámků na bradě helmy. Pro odklopení hledí je zapotřebí současně zmáčknout pojistky na pravé a levé straně bradové části. Následně hledí odskočí a je možné libovolně dle potřeb odklopit.

Vzduchotěsnost hledí je řešeno pomocí gumového těsnění po celém obvodu hledí.

### 6.3.2 Vnitřní komponenty

Vnitřní výbava helmy zahrnuje komunikační moduly, jako jsou sluchátka a mikrofon umístěný v bradové části helmy. Sluchátka jsou řešena pomocí pěnových náušníků. Uvnitř helmy se nachází výstelka helmy, zaručující stabilní polohu na hlavě.



Obr. 6-4 Vnitřní komponenty

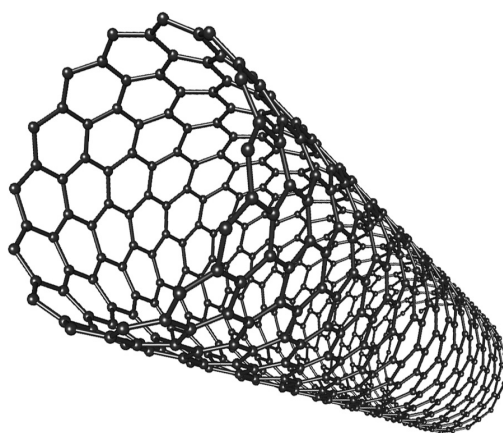
V bradové části je zabudován membránový vzduchový ventil, pro možnost dýchání okolního vzduchu se zavřenou helmou. Samotné napojení na skafandr je řešeno pomocí fixního lepeného spoje textilie skafandru do vnitřních prostor helmy.

## 6.4 Materiálové řešení

Vzhledem k tomu, že helma je složena z několika různorodých částí vyrobených z odlišných materiálů, na něž jsou kladeny specifické funkční i technické požadavky, je tato kapitola členěna do podkapitol dle jednotlivých konstrukčních celků. Každá podkapitola se zaměřuje na volbu materiálů s ohledem na požadované vlastnosti dané části helmy.

### 6.4.1 Korpusu helmy a rám hledí

Pro korpus helmy jsou klíčové vlastnosti lehkost a pohodlí. Proto aby astronauti nepocítovali při dlouhodobém nošení helmy únavu. Helma by měla být komfortní. Výbornou odolnost vůči mechanickému poškození například při manipulaci s vybavením nebo v případě drobných nehod na palubě stanice. V uzavřených prostorech je důležitá tepelná stabilita pro správnou regulaci teploty, aby uživatelům byly poskytnuty ideální podmínky pro práci. Helma by měla dostatečně izolovat od vnějších teplot, ale zároveň umožnit ventilaci. Zajistit ochranu vůči kondenzaci, vlhkosti, zajistit hermetičnost, korozivzdorný a udržitelnost. Na základě těchto požadavků se jako vhodný jeví kompozity s uhlíkovými nano trubičkami (CNT), například s polyamidovou matricí. Tyto materiály nabízejí vysokou pevnost při nízké hmotnosti, vynikající tepelnou a mechanickou stabilitu a dlouhou životnost. Zároveň umožňují přesné tvarování složitých geometrií, což je výhodné pro konstrukční i designové řešení helmy. [57]



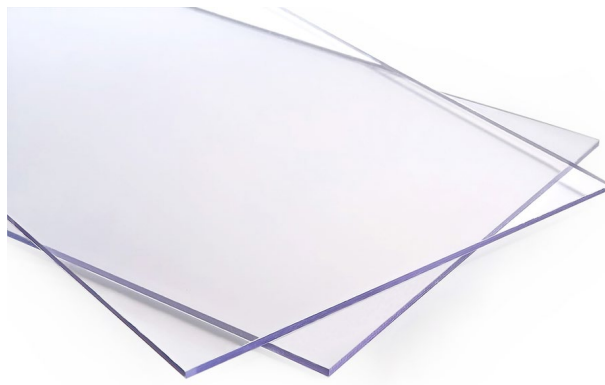
Obr. 6-5 CNT [58]

### 6.4.2 Hledí

Hledí musí zaručovat vysokou optickou čírost, mechanickou odolnost vůči nárazům a poškrábání, stabilitu při teplotních změnách i ochranu proti UV záření. Zásadní je také prevence zamlžování, které může ohrozit viditelnost a bezpečnost. Nejčastěji používaným materiálem je UV stabilní polykarbonát, který je dále opatřen speciálními povrchovými úpravami. Pro zajištění odolnosti hledí proti poškrábání, je uvažována aplikace otěruvzdorné vrstvy (hard coating). Proti zamlžování úprava anti-fog coating.

- Hard coating (tvrdá vrstva) vytváří odolný povrch pomocí chemicky vytvrzovaných polymerů, které výrazně snižují náchylnost k poškrábání při běžném používání.[59]
- Anti-fog coating funguje na principu hydrofilní vrstvy – ta rozprostírá vlhkost vznikající kondenzací do tenkého filmu, čímž zabraňuje tvorbě kapek a zajišťuje čirý výhled. Tato úprava je obzvlášť důležitá v prostředích s proměnlivou vlhkostí nebo při střídání teplot. [60]

Kombinací více funkčních vrstev je dosaženo vysoké odolnosti hledí vůči vnějším vlivům, jako jsou mechanické poškození, zamlžování či působení UV záření. Tyto povlaky zajišťují, že si hledí dlouhodobě udržuje vysokou optickou kvalitu i při intenzivním používání v náročných provozních podmínkách.



Obr. 6-6 Polykarbonátová deska [60]

### 6.4.3 Vnitřní vložky

Vnitřní výstelka helmy musí splňovat několik klíčových požadavků z hlediska funkčnosti i komfortu uživatele. Mezi hlavní vlastnosti patří schopnost účinně tlumit nárazy, odvádět vlhkost vznikající pocením, zajišťovat dostatečné proudění vzduchu, a zároveň odolávat zvýšeným teplotám. Důležitými kritérii jsou rovněž snadná údržba, hygienická nezávadnost a celkový komfort při dlouhodobém nošení.



Obr. 6-7 ZOTEK F (PVDF) [61]

Pro dané účely byla zvolena kombinace PVDF pěny (polyvinylidenfluorid) a textilie Nomex s antibakteriální úpravou. PVDF pěna vykazuje výborné mechanické vlastnosti je nenasákavá, samozhášivá a poskytuje vysokou úroveň absorpce rázové energie. Tento materiál je vyráběn například společností ZOTEK a je ověřený v aplikacích vyžadujících vysokou spolehlivost a odolnost, jako jsou například helmy pro automobilové závody. Textilie Nomex je známá svou tepelnou a ohnivzdornou odolností, přičemž antibakteriální úprava přispívá k udržení hygienických podmínek uvnitř helmy i při delším použití. [61]

#### 6.4.4 Krční část

Pro zhotovení textilního nákrčníku bude využita kombinace ochranných, pružných a vzduchotěsných textilních materiálů. Materiál musí odolat vysokým teplotám, oděru vzdorný a zároveň dostatečně flexibilní, aby neomezoval uživatele v pohybu. Z tohoto hlediska jsem vybral kombinaci nomexu (meta aramidové vlákno) a nylonu.[62]



Obr. 6-8 Aramidové vlákno [63]

### 6.5 Technologie

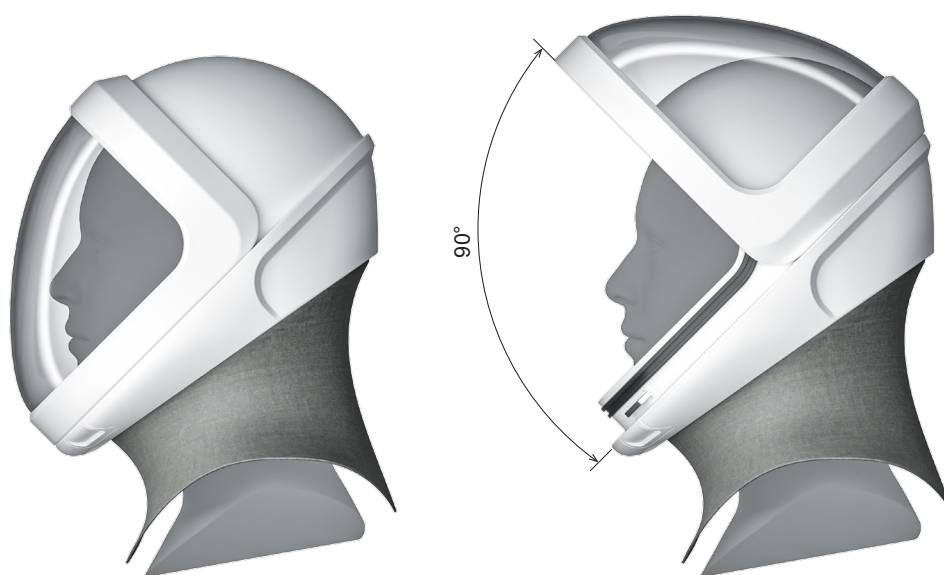
Pro výrobu korpusu helmy a rámu hledí vyrobené z kompozitu s CNT se dá uvažovat o laminování nebo lisování za tepla. Hledí bude vyrobeno pomocí tepelného tváření. Které spočívá v nahřátí polykarbonátového plátu na teplotu skelného přechodu, kdy se stává vysoce plastickým. Polykarbonát se pomocí lisu ohne přes kopyto kopírující tvar hledí. Možnou alternativu je vakuové lisování. Pro zhotovení textilních částí se využívá konvenčních technologií jako je strojové tkaní.

## 6.6 Ergonomie

V této kapitole jsou popsány klíčové ergonomické parametry helmy s ohledem na komfort a bezpečnost uživatele. Následující schémata jsou uvažována pro 50 percentil mužské populace. Uživatelé s odlišnými tělesnými rozměry by byli zohledněni prostřednictvím vhodných velikostních variant a úprav konstrukce.

### 6.6.1 Úhel otevírání

Helma je navržena, tak aby bylo možné hledí helmy odklopit o  $90^\circ$ . Zaručující optimální výhled. Rám hledí kopíruje tvar korpusu helmy a plynule při otevírání kopíruje tvar korpusu.

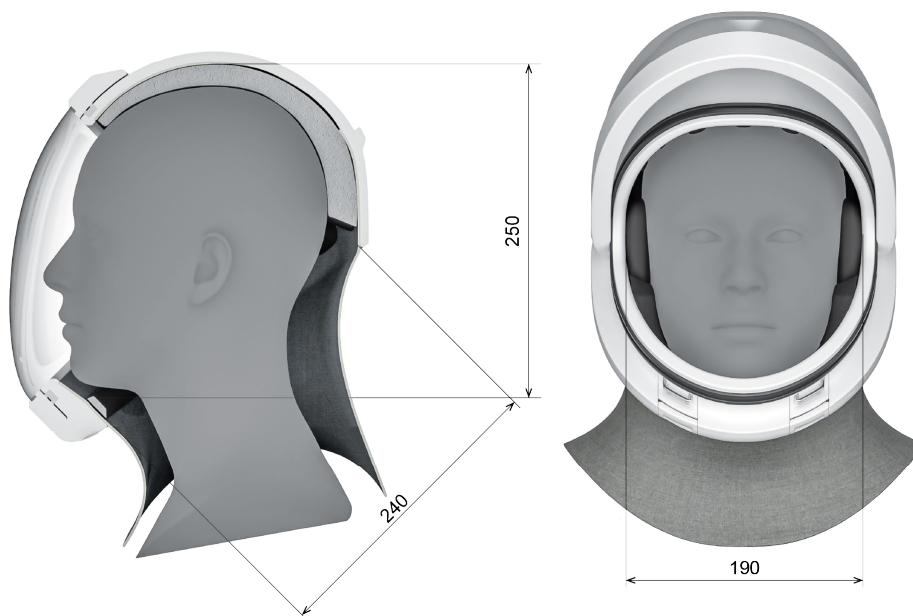


Obr. 6-9 Úhel otevírání helmy

Po odklopení hledí se jeho rám zarovná s vystouplým lemem umístěným v oblasti zátylku, čímž je přesně definována maximální možná otevřená poloha helmy. Tento doraz zabraňuje nechtěnému přetočení, které by mělo za následek, že hledí by bylo v poloze, která by ovlivňovala komfort v pozici sedu s opřenou hlavou.

## 6.6.2 Krajní rozměry vnitřních prostor

Pro zvolení správných rozměrů vnitřních prostor, koncept vychází z norem Lorko, kde jsou přesně definovány rozměry hlavy. Jsou uvažovány nejzazší rozměry hlavy, ke kterým jsou přičteny přídatky na vnitřní polstrování. Vnitřní polstrování je možné snadně individuálně měnit dle potřeb uživatele. Z tohoto důvodu jsou zde okótovány jen vnitřní prostory helmy.

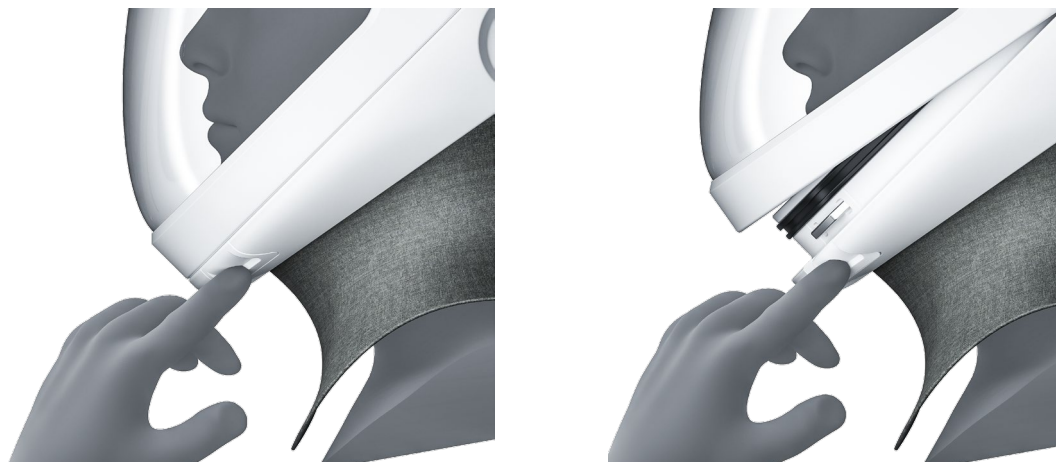


Obr. 6-10 Krajní rozměry vnitřku helmy

Rozměr vstupního otvoru helmy vychází z rozměru hloubky hlavy od špičky nosu po zátylek a taktéž jsou opatřeny přídatkem pro pohodlné nasazení. Stejně je i volen šířkový rozměr helmy vycházející z rozměrů šířky hlavy i s ušima.

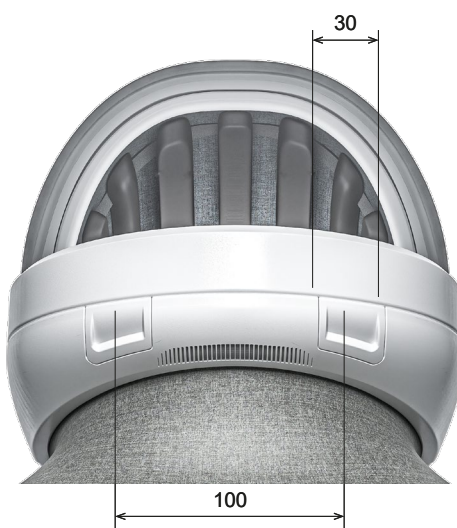
### 6.6.3 Rozměr a umístění tlačítek zámku.

V bradové části jsou umístěny dvě tlačítka, zajišťující uvolnění pojistek hledí. Zámky slouží proti nežádoucímu otevírání. Zdvojené zamykání je z bezpečnostních důvodů.



Obr. 6-11 Otevírání helmy

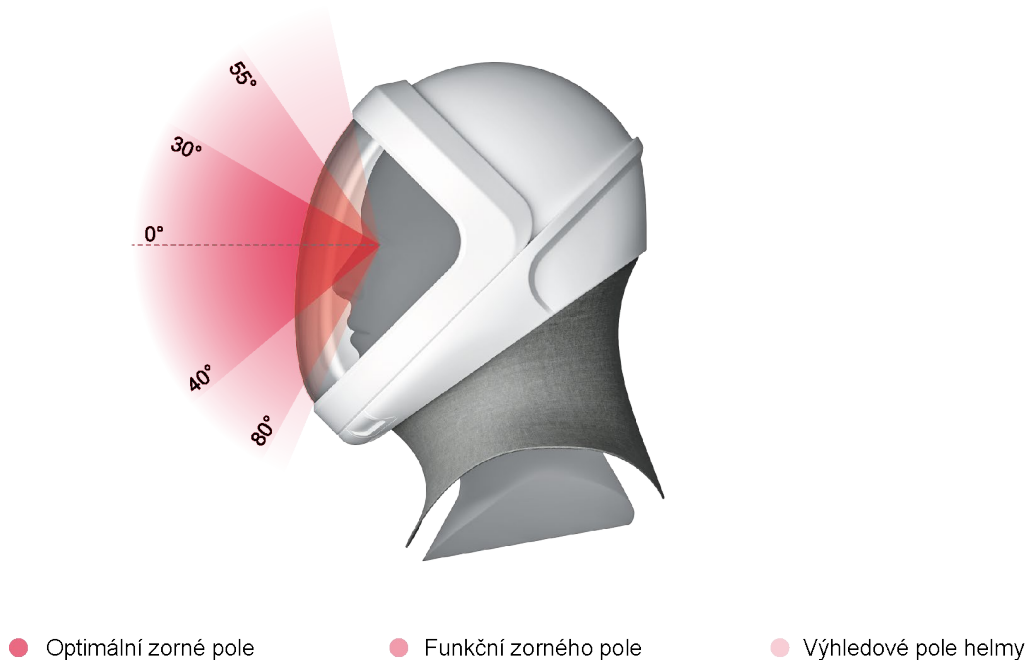
Umístění tlačítek je situováno v bradové části pro snadnou manipulaci. Vzdálenost je v rozsahu prstů jedné ruky a je možné helmu otevřít v případě potřeby jednou rukou, pomocí palce a ukazováčku.



Obr. 6-12 Rozměry a umístění zámku

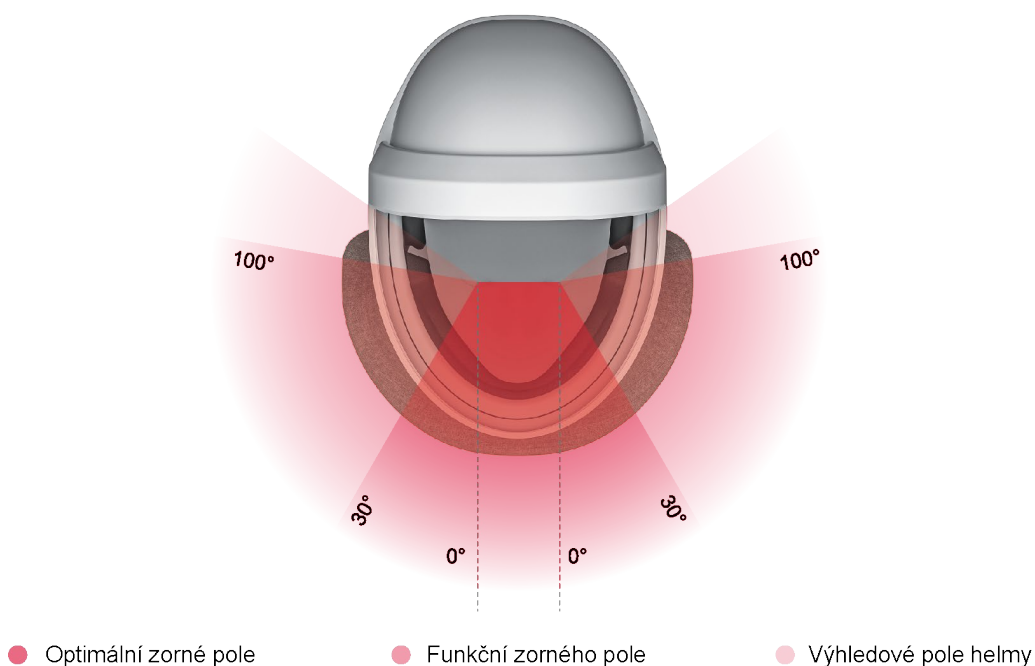
## 6.6.4 Zorné pole

Výhledové pole helmy bylo navrženo tak, aby poskytovalo co nejširší a nejpřirozenější rozhled, s cílem eliminovat nežádoucí pocity stísněnosti či klaustrofobie, které mohou vzniknout při omezeném výhledovém prostoru



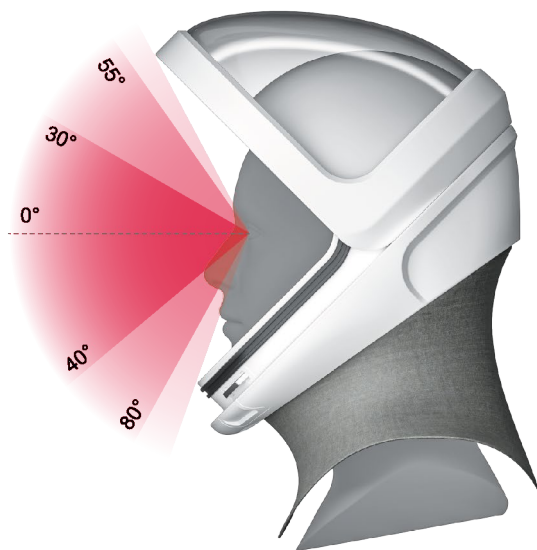
Obr. 6-13 Zorné pole zavřené helmy-pohled z boku

Ze schématu je vidět, že funkční zorné pole je menší jak výhledové pole helmy a uživatel by neměl být omezován při přímém pohledu před sebe a do stran.



Obr. 6-14 Zorné pole zavřené helmy-pohled shora

Při návrhu helmy byl zohledněn aspekt toho, že helma bude využívána i s otevřeným hledím. A možnost odklopení hledí o 90°, umožňuje optimální výhled z helmy i v této pozici.



● Optimální zorné pole

● Funkční zorného pole

● Výhledové pole helmy

Obr. 6-15 Zorné pole otevřené helmy-pohled zboku

Ze schématu je vidět, že funkční zorné pole je menší jak výhledové pole helmy a uživatel by neměl být omezován při přímém pohledu před sebe a do stran.

### 6.6.5 Vnitřní vystýlka helmy

Komfort a stabilní usazení helmy na hlavě je řešeno pomocí pěnové výstelky helmy. Samotné polstrování je vyměnitelné a dá se přizpůsobit uživateli.

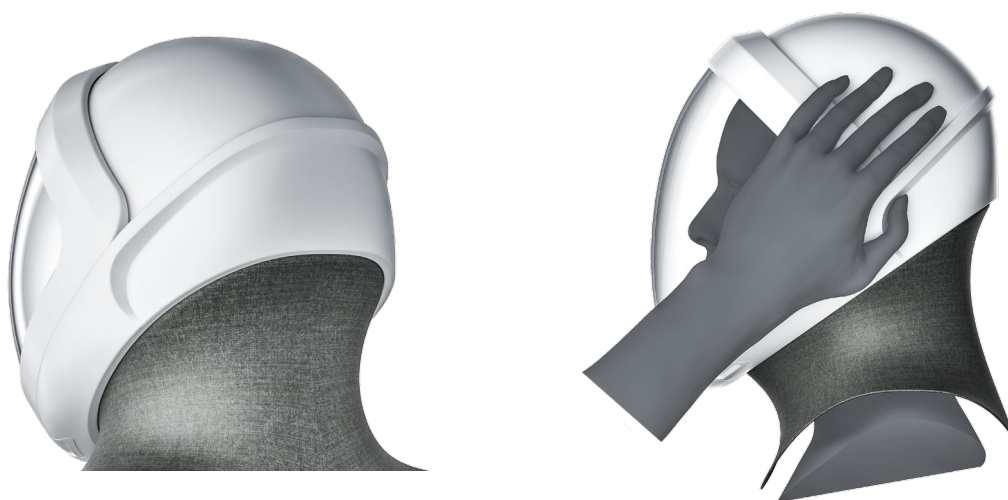


Obr. 6-16 Pěnová výstelka helmy

Díky polstrování je helma pevně fixovaná na hlavě a zamezí nežádaným pohybům při dynamičtějších pohybech. V případě turbulentních okamžiků, kdy uživateli hrozí možné nárazy do hlavy polstrování slouží jak tlumící prvek. Sluchátka jsou řešena pomocí měkkých náušníků.

### 6.6.6 Sundávání helmy

Vzhledem k pevné integraci helmy do skafandru, kdy je její sejmutí možné pouze současně se sundáním celého skafandru, je helma vybavena ergonomickým výčnělkem umístěným za oblastí uší. Tento detail umožňuje snadné a bezpečné uchopení helmy, což významně usnadňuje a urychluje jeho sejmutí v případě potřeby.



Obr. 6-17 Detail sundávání

## 6.7 Bezpečnost a hygiena

Bezpečnost představuje jeden z nejdůležitějších aspektů při návrhu helmy určené pro kosmické aplikace. Jedním z klíčových bezpečnostních požadavků na helmu pro IVA aplikace je schopnost zajistit těsnost v případě náhlého poklesu tlaku v prostoru kabiny. Pro minimalizování jakéhokoli úniku tlaku je helma se skafandrem koncipována jako jeden spojený celek. Tím je minimalizována možnost úniku tlaku skrz spoj. Odklopné hledí je těsněno pomocí gumového těsnění po celém svém obvodu. Hlava uvnitř helmy je chráněna vůči nárazům pěnovou vystýlkou, která pohlcuje nárazy a stabilizuje helmu na hlavě při dynamičtějších pohybech.

Odolnost vůči poškození je zohledněna použitím odolných materiálů jako je polykarbonát v případě hledí a zbylé komponenty z CNT kompozitu.

Další důležitou bezpečnostní složkou je zajištění komunikace. Helma je navržena s integrovanými sluchátky a mikrofonem, které umožňují nepřetržitý kontakt s posádkou a řídicím centrem.

Vnitřní části helmy, které přicházejí do kontaktu s kůží (např. lícní výstelky nebo týlové), jsou vyrobeny z hypoalergenních materiálů, které odolávají potu i mechanickému opotřebením. Je minimalizováno množství spojů, štěrbin a textur, kde by se mohly usazovat nečistoty. Hladké a uzavřené povrchy zajišťují nejen snazší čištění, ale i vyšší hygienický standard. Proto je povrch helmy volen hladký. Aby nedocházelo k uchytávání prachu. Průzor je opatřen vrstvou proti zamlžování. Vnitřní polstrování je obdělávatelné, takže je možné vyjmout a nechat očistit. A navíc opatřeno antibakteriální úpravou.

## 6.8 Udržitelnost

V kontextu aplikace je nezbytné klást nejvyšší důraz na bezpečnost. Z tohoto důvodu není primárním kritériem udržitelnosti využití recyklovaných materiálů, protože bezpečnostní normy a nároky na materiály jsou zde extrémně přísné. Místo toho je klíčové navrhnout konstrukci tak, aby byla odolná, spolehlivá a schopná sloužit po dlouhou řadu let bez nutnosti častých oprav či výměn jednotlivých komponent, čímž se minimalizuje vznik odpadu během celého životního cyklu helmy.

Významným aspektem udržitelnosti je modulární design, který umožňuje snadnou výměnu opotřebovaných nebo poškozených polstrovaných vložek. Tento přístup nejen zjednodušuje údržbu a prodlužuje životnost helmy, ale také výrazně snižuje množství vzniklého odpadu a potřebu výroby nových celých komponentů. Tím se přispívá k efektivnějšímu využívání zdrojů a celkově udržitelnějšímu provozu.

V neposlední řadě je třeba zohlednit i možnost opravitelnosti a recyklovatelnosti použitých materiálů v dlouhodobém horizontu, což je důležitý aspekt pro budoucí vývoj a zlepšování designu s ohledem na environmentální dopady.

## 6.9 Příslušenství

Jedním z cílů návrhu je zohlednění příslušenství helmy. Na rozdíl od helmy určené pro výstupy do volného prostoru (EVA), tento typ nevyžaduje zakrytování ani integraci přídatných světel. Jediné příslušenství tak představují komunikační moduly a vnitřní vycpávky, které byly podrobněji popsány v předchozích kapitolách.

## 7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

### 7.1 Barevné řešení

Pro vizuální řešení finálního návrhu helmy bylo zvoleno neutrální a funkční barevné provedení. Dominantní barvou je bílá RAL 9010, která nejen evokuje čistotu a technickou preciznost, ale zároveň vizuálně koresponduje s ostatními prvky standardního kosmického vybavení. Tím je dosaženo vizuální jednotnosti a kompatibility se současným vybavením.

Povrchová úprava helmy je hladká a mírně matná, což přináší hned několik praktických výhod. Hladký povrch usnadňuje údržbu, protože se na něm méně zachytávají nečistoty a lze jej snadněji čistit. Matnější provedení zároveň snižuje nežádoucí odlesky, které by mohly zhoršovat viditelnost okolí nebo rušit ostatní členy posádky v omezených světelných podmínkách. Bílá barva navíc umožňuje snadnější identifikaci mechanického poškození, jako jsou například praskliny nebo oděrky, což přispívá k vyšší bezpečnosti během dlouhodobého používání.



Obr. 7-1 Barevné řešení helmy

Vhodné je i zohlednit možnost využití helmy organizacemi jako ESA či NASA, které často uplatňují specifické vizuální standardy. Design helmy by tak mohl být přizpůsoben jejich barevnému schématu a případně doplněn o identifikační prvky, jako jsou loga. Tím by se zajistila vizuální jednotnost.



Obr. 7-2 Helma s logem společností ESA a NASA

## 7.2 Grafické řešení

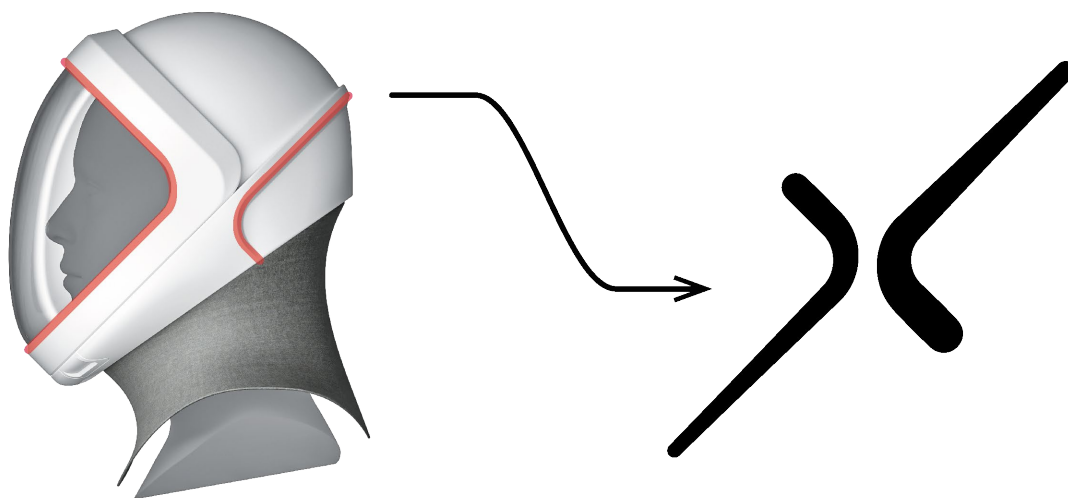
Pro koncepční návrh helmy byl zvolen pracovní název ETHERIS. Název vychází ze slova ether, označujícího nejen mytický pátý element jemnou, nehmotnou substanci tvořící samotný vesmír, ale také prostor nad Zemí, kde začíná nekonečno.

Pro prezentaci tohoto produktu jsem vytvořil následující logotyp, vychází z principů minimalismu a futuristické estetiky, čímž reflektuje charakter návrhu. Název ETHERIS je ztvárněn geometrickým bezpatkovým fontem Goswell Demo s robustními, přesně definovanými tvary, které evokují technickou preciznost a odolnost, což jsou klíčové atributy zařízení určených do prostoru vesmíru.



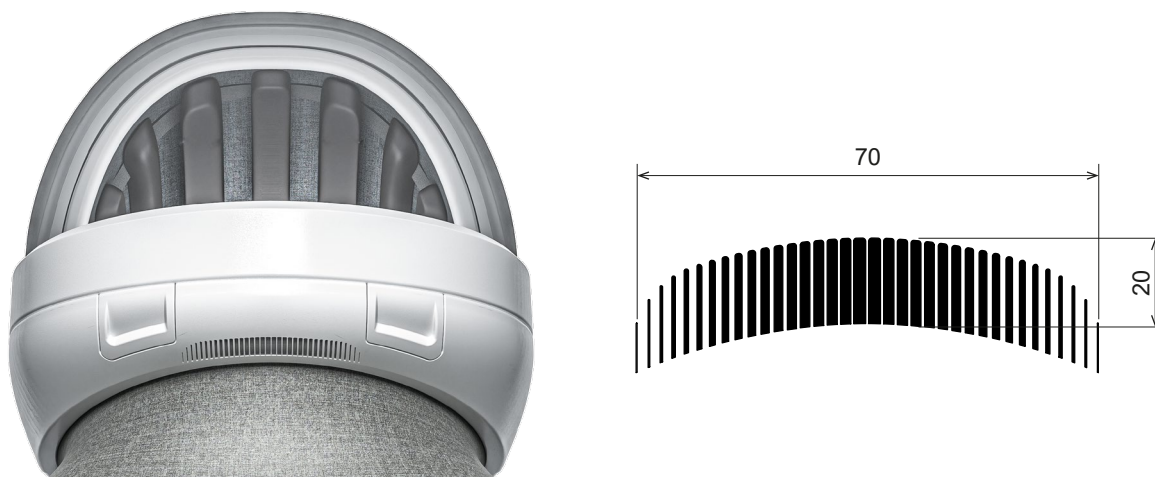
Obr. 7-3 Logotyp

Abstraktní symbol nad názvem odkazuje na tvarové linie na helmě. Které byly stylizovány do následující podoby.



Obr. 7-4 Logo

V bradové části helmy je umístěn vzduchový ventil, který zakrytován mřížkou kopírující křivku helmy. Mřížka je tvořena vzorem složeného z postupně se ztenčujících drážek. Konce drážek jsou shodně zaobleny. Šířka celého vzoru je v rozmezí tlačítek cca 70 mm.



Obr. 7-5 Vzor ventilu

## 8 DISKUZE

### 8.1 Psychologická funkce

Psychologická funkce designu hraje v extrémním prostředí vesmíru klíčovou roli. Astronauti jsou vystaveni dlouhodobému stresu, izolaci a vysoké kognitivní zátěži. Design helmy proto musí kromě technických požadavků zohledňovat i vliv na psychiku uživatele. Můj návrh helmy je koncipován tak, aby svým tvarem, funkcemi i estetikou podporoval psychickou pohodu, koncentraci a pocit bezpečí. Jedním z klíčových prvků návrhu je optimalizované zorné pole. Široký výhled s možností periferního vidění pomáhá s orientací v prostoru, snižuje klaustrofobii a zvyšuje pocit kontroly nad okolím. To má přímý vliv na snížení úzkosti a podporu kognitivního výkonu, což je zvláště důležité při náročných úkolech a v krizových situacích. Širokoúhlé hledí přispívající k otevřenosti výhledu, aniž by byla ohrožena bezpečnost. Minimalistické linie a čistý tvar působí přehledně a klidně, což napomáhá duševnímu uvolnění. Zároveň jsou v návrhu zachovány technologické detaily, které vyvolávají dojem vyspělosti a důvěryhodnosti. Tento kontrast pomáhá uživateli vnímat zařízení jako spolehlivé a bezpečné.

### 8.2 Sociální funkce

Vesmírná helma není běžně dostupným nebo spotřebním produktem. Jedná se o specializované zařízení určené pro použití v extrémních podmínkách mimo Zemi. Používá se převážně v rámci výzkumných a technologických misí a její uživatelé jsou často vnímáni jako reprezentanti vědeckého pokroku, technologické vyspělosti a mezinárodní spolupráce. Z tohoto pohledu nese helma i významnou symbolickou a sociální hodnotu. Vizualní charakter helmy má vliv na to, jak astronaut působí na ostatní členy posádky, ale i na veřejnost během prezentací, tiskových konferencí nebo mediálních záznamů z misí. Design, který působí technologicky pokročile, důvěryhodně a profesionálně, přispívá k autoritě nositele a může posílit jeho sociální postavení v rámci týmu.

I v izolovaném prostředí vesmírné stanice či modulu je sociální vnímání důležité. Design helmy, který podporuje vizuální kontakt a nebrání neverbální komunikaci, může pomoci vytvořit přirozenější interakce mezi členy posádky. Transparentní hledí umožňující čitelné výrazy obličejů a snadnou identifikaci, přispívají k lepší týmové spolupráci.

V širším kulturním kontextu se vesmírná helma stává ikonickým prvkem, jakým si symbolem technologického rozvoje, lidské odvahy a aspirace překračovat hranice známého. Její design proto nese také význam reprezentace celé organizace či národa.

### 8.3 Ekonomická funkce

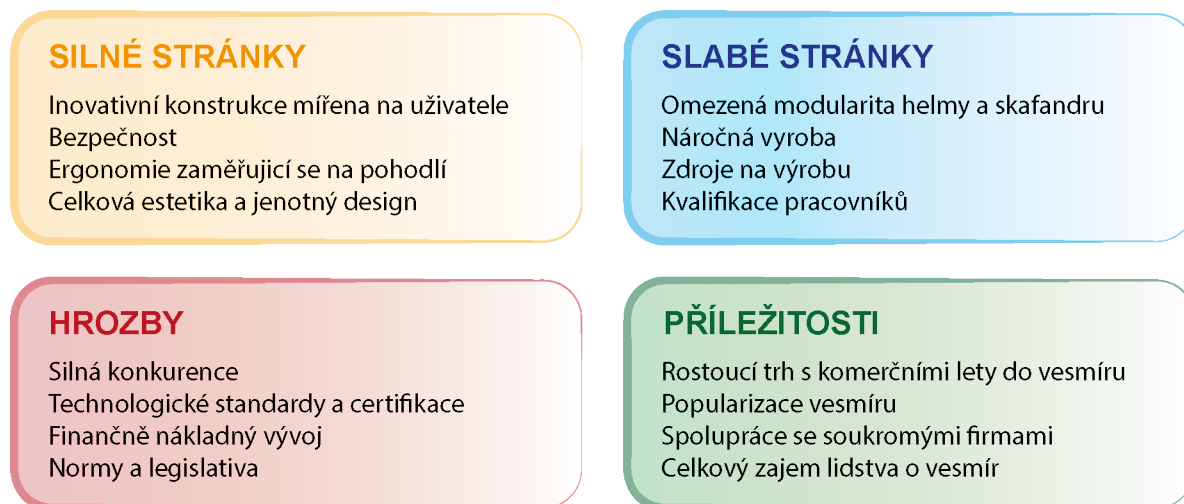
Použití kvalitních a odolných materiálů, spolu s promyšlenou konstrukcí, prodlužuje její životnost a snižuje celkové náklady na provoz mise. Dobře navržená helma zefektivňuje trénink astronautů. Pokud je její používání intuitivní a ergonomické, snižuje se doba potřebná k osvojení správného používání vybavení, čímž se snižují náklady na výcvikové programy.

Helma navržená s ohledem na výrobní procesy snižuje výrobní náklady a usnadňuje logistiku. To je zvláště výhodné u větších programů, kde se počítá s nasazením více jednotek, nebo při budoucích misích, kdy se část výroby může přesunout přímo do vesmíru (např. na orbitální stanice)

### 8.4 Marketingová analýza

Design helmy byl vytvořen s cílem zaujmout nejen funkcí, ale i vizuální identitou, která reflektuje technologickou vyspělost, inovaci a důvěryhodnost. Tím se helma může stát silným prvkem a reprezentovat během mise. Helma se na trhu může odlišovat kombinací více atraktivních vlastností jako je široké zorné pole, ergonomickým komfortem, použitím pokročilých materiálů a snadno čitelným designem. Tyto prvky nejen zvyšují užitnou hodnotu produktu, ale zároveň slouží jako marketingově silná sdělení o orientaci na uživatele, bezpečnost a inovaci. Vizuálně čistý a sofistikovaný design podporuje vnímání kvality a spolehlivosti.

## 8.4.1 SWOT analýza



Obr. 8-1 SWOT analýza

## 8.5 Cílová skupina

Design vesmírné helmy je primárně zaměřen na profesionály působící v oblasti kosmických letů – astronauty zapojené do vědeckých, technických a průzkumných misí. Cílovou skupinu tvoří jak státní kosmické agentury (např. NASA, ESA), tak soukromé firmy zabývající se orbitálními a meziplanetárními projekty. Uživatelé tohoto zařízení představují vysoce kvalifikované jedince, kteří kladou důraz na maximální bezpečnost, komfort a technickou spolehlivost v extrémních podmínkách.

## 8.6 Cenová hladina

Vzhledem k technologické náročnosti a specifickému použití se vesmírná helma nachází v prémiové cenové hladině. Cena reflektuje nejen použití špičkových materiálů, ale také náklady na vývoj, testování v extrémních podmínkách a přísné certifikační procesy. Helma je tedy určena pro profesionální segment trhu, kde je hlavním kritériem kvalita, bezpečnost a spolehlivost, nikoli nízká cena.

Ve srovnání s běžným ochranným vybavením ve vojenském či průmyslovém prostředí je tato helma výrazně dražší, avšak plně odpovídá nárokům kosmických misí. Z ekonomického hlediska je helma určena organizacím a firmám, které disponují rozpočtem na vysoce specializované technologie, přičemž hodnota produktu je odvozena nejen od funkčnosti, ale i od její role zajištění bezpečnosti astronauta.

## 9 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala návrhem vesmírné helmy pro aplikace typu IVA, tedy pro použití uvnitř kosmické lodi, zejména při kritických fázích mise, jako jsou start, přistání nebo nouzové situace. Na základě podrobné rešerše současných řešení a hlubší analýzy konstrukčních, ergonomických a psychologických aspektů byla navržena koncepce helmy, která reflektuje aktuální potřeby moderní kosmonautiky a zároveň hledá prostor pro zlepšení v oblasti funkčnosti, pohodlí a vizuální komunikace.

V rešeršní části byly popsány vývojové fáze helem a analyzovány jejich různé konstrukční přístupy, od rigidních spojů napojených na torzo skafandru až po helmy integrované do látkových kapucí. Byly definovány klíčové problémy, jako je omezená pohyblivost hlavy, komplikované oblékání, nedostatečná usazení hlavy uvnitř helmy. Dále byla pozornost věnována i otázkám normativních a bezpečnostních požadavků, které musí každý prvek kosmického vybavení splňovat.

V návrhové části byl vytvořen koncept, který se snaží zohlednit potřebu ochrany s vysokou mírou ergonomie, uživatelského komfortu a dosáhnou zadaných cílů.

Jedním z nejdůležitějších cílů téhle práce bylo helmu vhodným způsobem napojit na zbytek skafandru. Z prováděné rešerše vyplynulo, že nejlepší způsob napojení je helmu pevně připevnit ke skafandru. Díky tomu je celá konstrukce méně náchylná k poruchám, vyniká výbornou vzduchotěsností a eliminuje problémy spojené s dalším propojovacím členem. Pevně připojená helma ke skafandru, umožňuje samostatné a rychlé oblékání bez asistence jiných osob jako tomu je u konkurence. Příslušenství jako je audiosystémy jsou zabudovány do helmy spolu s vystýlkou helmy. Která hlavu v helmě pevně stabilizuje. Široké hledí umožňuje panoramatický výhled z helmy, kdy uživatel není omezován. Je uživateli umožněno se bez zábran orientovat v prostoru. Díky kompaktním rozměrům helmy je uživatel schopen volně pohybovat s hlavou.

Významnou roli hraje také psychologický a sociální aspekt návrhu. Helma působí důvěryhodně, bezpečně a přirozeně, což přispívá k celkovému klidu a soustředění astronauta během letu.

Součástí závěrečné diskuse byla i úvaha nad marketingovým a ekonomickým potenciálem takového zařízení, stejně jako určení konkrétní cílové skupiny. Práce ukázala, že i ve zdánlivě propracované oblasti, jakou je konstrukce kosmických zařízení, přesněji helem typu IVA, je stále prostor pro inovaci. Výsledky této práce tak mohou sloužit jako výchozí bod pro další výzkum i vývoj.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CONTRIBUTORS, Wikipedia. ILC Dover. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2025 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/ILC\\_Dover](https://en.wikipedia.org/wiki/ILC_Dover)
- [2] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Pressure suit. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2025 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure\\_suit](https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_suit)
- [3] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Space Race. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2025 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_Race](https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Race)
- [4] CONTRIBUTORS, Wikipedia. SK-1 spacesuit. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2023 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/SK-1\\_spacesuit](https://en.wikipedia.org/wiki/SK-1_spacesuit)
- [5] Yuri Gagarin, 60 yıl önce ilk insanlı uzay uçuşunu hangi şartlar altında gerçekleştirdi? *UZAY.ORG* [online]. 2023 [cit. 2025-03-17]. Dostupné z: <https://uzay.org/yuri-gagarin-60-yil-once-ilk-insanli-uzay-ucusunu-hangi-sartlar-altinda-gerceklestirdi/>
- [6] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Space suit. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2025 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_suit](https://en.wikipedia.org/wiki/Space_suit)
- [7] Apollo. *New England Air Museum* [online]. 2025 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: <https://neam.org/pages/apollo-era-emu>
- [8] NASA EXTRAVEHICULAR MOBILITY UNIT (EMU) LSS/SSA DATA BOOK. *Exploration Hardware* [online]. 2003 [cit. 2025-02-24]. Dostupné z: <https://www.lpi.usra.edu/lunar/artemis/>
- [9] NASA's Ageing EMU Spacesuit. In: *TheSpaceBucket* [online]. 2022 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: <https://thespacebucket.com/nasas-ageing-emu-spacesuit-problems-with-future-plans/>

- [10] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Orlan space suit. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2024 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Orlan\\_space\\_suit](https://en.wikipedia.org/wiki/Orlan_space_suit)
- [11] Kosmický šatník 10. díl. *Kosmonautix.cz* [online]. 2016 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2016/01/19/kosmicky-satnik-10-dil/>
- [12] Orlan MKS spacesuit. *Nenalezený vydavatel* [online]. 2022 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: [https://www.russianspaceweb.com/orlan\\_mks.html](https://www.russianspaceweb.com/orlan_mks.html)
- [13] CONTRIBUTORS, Wikipedia. China Manned Space Program. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2024 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/China\\_Manned\\_Space\\_Program](https://en.wikipedia.org/wiki/China_Manned_Space_Program)
- [14] WIKIPEDIE, Příspěvatelé. Šen-čou 7. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2024 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0en-%C4%8Dou\\_7](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0en-%C4%8Dou_7)
- [15] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Feitian space suit. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2024 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Feitian\\_space\\_suit](https://en.wikipedia.org/wiki/Feitian_space_suit)
- [16] Kosmický šatník 15. díl. *Kosmonautix.cz* [online]. 2016 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2016/02/23/kosmicky-satnik-15-dil/>
- [17] SpaceX Dragon Launch and Entry Suits. *National Air and Space Museum* [online]. 2020 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/spacex-dragon-launch-and-entry-suits>
- [18] The Hollywood Costume Designer Behind SpaceX's New Spacesuit. *Nenalezený vydavatel* [online]. 2021 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://www.lofficielmonaco.com/fashion/the-hollywood-costume-designer-behind-spacex-s-new-spacesuit>
- [19] PRIMAL SPACE. *Primal Space; YouTube* [online]. [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=emp8sxbRpSQ>
- [20] SpaceX Dragon Launch and Entry Suits. *National Air and Space Museum* [online]. 2020 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/spacex-dragon-launch-and-entry-suits>

- [21] *National Air and Space Museum* [online]. 2020 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/spacex-dragon-launch-and-entry-suits>
- [22] Nejlepší vynálezy roku 2012. *TIME.com* [online]. 2012 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://techland.time.com/2012/11/01/best-inventions-of-the-year-2012/slide/nasas-z-1-space-suit/>
- [23] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Z series space suits. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2025 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Z\\_series\\_space\\_suits](https://en.wikipedia.org/wiki/Z_series_space_suits)
- [24] NASA VIDEO. *NASA Video; YouTube* [online]. [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=awPwVzulKAI>
- [25] NASA Mark III. *Astronautix* [online]. 2025 [cit. 2025-02-28]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/n/nasamarkiii.html>
- [26] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Mark III (space suit). In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2024 [cit. 2025-02-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mark\\_III\\_\(space\\_suit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mark_III_(space_suit))
- [27] Black Point Lava Flow, Arizona. *Black Point Lava Flow, Arizona* [online]. 2025 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://www.lpi.usra.edu/lunar/analog/blackpoint/>
- [28] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Sokol space suit. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2024 [cit. 2025-02-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sokol\\_space\\_suit](https://en.wikipedia.org/wiki/Sokol_space_suit)
- [29] Kosmický šatník 8. díl. *Kosmonautix.cz* [online]. [cit. 2025-02-28]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2016/01/05/kosmicky-satnik-8-dil/>
- [30] CANADIAN SPACE AGENCY. *Canadian Space Agency; YouTube* [online]. 2012 [cit. 2025-02-28]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=KP\\_kthhaGoY](https://www.youtube.com/watch?v=KP_kthhaGoY)
- [31] Orion Suit Equipped to Expect the Unexpected on Artemis Missions. *NASA* [online]. 2019 [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/missions/artemis/orion-suit-equipped-to-expect-the-unexpected-on-artemis-missions/>
- [32] Advance Crew Escape Suit. *Worcester, MA* [online]. 2025 [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: <https://www.davidclarkcompany.com/aerospace/advanced-crew-escape-suit>

- [33] Kosmický šatník 12. díl. *Kosmonautix.cz* [online]. 2016 [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2016/02/02/kosmicky-satnik-12-dil/>
- [34] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Launch Entry Suit. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2025 [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Launch\\_Entry\\_Suit](https://en.wikipedia.org/wiki/Launch_Entry_Suit)
- [35] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Advanced Crew Escape Suit. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2025 [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Crew\\_Escape\\_Suit](https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Crew_Escape_Suit)
- [36] STAFF, Space.com. Meet the 'Boeing Blue' Spacesuit for Starliner Capsule: Meet the 'Boeing Blue' Spacesuit for Starliner Capsule. *Space.com* [online]. 2017 [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: <https://www.space.com/35453-boeing-new-spacesuit-starliner-capsule-gallery.html>
- [37] BOEING. *Boeing; YouTube* [online]. [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=17tyJGC0n4M>
- [38] Exploring Space: A Guide to Different Types of Space Suits. *Space Mesmerise* [online]. 2023 [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: <https://spacemesmerise.com/blogs/astrobiology/exploring-space-a-guide-to-different-types-of-space-suits>
- [39] MAGAZINE, Smithsonian. Is It Safe? *Smithsonian Magazine* [online]. 2009 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/is-it-safe-57287715/>
- [40] Human Spaceflight Standards. *NASA* [online]. 2025 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/ochmo/human-spaceflight-and-aviation-standards/>
- [41] How the Human Body Changes in Space. *Baylor College of Medicine* [online]. 2025 [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: <https://www.bcm.edu/academic-centers/space-medicine/translational-research-institute/space-health-resources/how-the-body-changes-in-space>
- [42] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Charles M. Schulz. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2025 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Charles\\_M.\\_Schulz](https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_M._Schulz)

- [43] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Snoopy cap. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2024 [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Snoopy\\_cap](https://en.wikipedia.org/wiki/Snoopy_cap)
- [44] *Free3D* [online]. 2020 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://free3d.com/3d-model/us-advanced-crew-escape-suit-aces-rigged-7286.html>
- [45] Wayback Machine. *J. Lynn Coldiron* [online]. 2005 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20220213211929/https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/383443main\\_crew\\_escape\\_workbook.pdf](https://web.archive.org/web/20220213211929/https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/383443main_crew_escape_workbook.pdf)
- [46] JACOBS, Shane E., Daniel GREEN, Donald B. TUFTS a Dustin M. GOHMERT. Development of a Custom Space Suit for Orion. *49th International Conference on Environmental Systems* [online]. Boston, Massachusetts: Johnson Space Center, Houston, TX, 77058, 2019, **2019**(49th), 13 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://ttu-ir.tdl.org/server/api/core/bitstreams/36921e00-8d53-4842-872a-53b34e2c66f0/content>
- [47] *J. Lynn Coldiron* [online]. 2005 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20220213211929/https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/383443main\\_crew\\_escape\\_workbook.pdf](https://web.archive.org/web/20220213211929/https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/383443main_crew_escape_workbook.pdf)
- [48] Advanced Space Suits. *NASA* [online]. 2023 [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/gallery/advanced-space-suits/>
- [49] Maybe, just maybe, Boeing's Starliner will finally fly astronauts this spring. *Ars Technica* [online]. 2024 [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <https://arstechnica.com/space/2024/02/maybe-just-maybe-boeings-starliner-will-finally-fly-astronauts-this-spring/>
- [50] Artemis Exploration EMU (xEMU) spacesuit. *CollectSPACE: Messages* [online]. 2019 [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <http://www.collectspace.com/ubb/Forum39/HTML/000440.html>
- [51] CONTRIBUTORS, Wikipedia. Suitport. In: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2024 [cit. 2025-03-19]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Suitport>

- [52] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *Astronaut Selection and Training* [online]. National Aeronautics and Space Administration, 2025 [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: [https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2017/05/606877main\\_fs-2011-11-057-jsc-astro\\_trng.pdf?emrc=755a6e](https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2017/05/606877main_fs-2011-11-057-jsc-astro_trng.pdf?emrc=755a6e)
- [53] NASA Spaceflight Human-System Standard Volume 2: Human Factors, Habitability, and Environmental Health. *Standards* [online]. 2024 [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: [https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-STD-3001\\_VOL\\_2](https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-STD-3001_VOL_2)
- [54] NASA Spaceflight Human-System Standard Volume 1, Crew Health. *Standards* [online]. 2024 [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: [https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-STD-3001\\_VOL\\_1](https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-STD-3001_VOL_1)
- [55] , LORKO, Martin a JAMBRICHOVÁ, Zuzana. *Ergonómia*. 1998. Prešov Technická univerzita v Košiciach: Technická univerzita v Košiciach, 1998. ISBN 8070993928.
- [56] Vacuum Deposition Coating: Thin Film Vacuum Coating. *Korvus Technology* [online]. 2025 [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <https://korvustech.com/vacuum-deposition-coating/>
- [57] MEYYEPPAN, Meyya. NASA. Carbon nano tubes for space application. *Nasa* [online]. 2000 [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20010003789/downloads/20010003789.pdf>
- [58] Research team finds a way to accurately measure permeability of carbon nanotubes. *Nenalezený vydavateľ* [online]. 2016 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2016-09-team-accurately-permeability-carbon-nanotubes.html>
- [59] Hard Coated Polycarbonate Sheet. *Excelite* [online]. 2025 [cit. 2025-05-16]. Dostupné z: <https://exceliteplas.com/hard-coated-polycarbonate-sheet/>
- [60] Plný polykarbonát čirý 6 mm. *Nenalezený vydavateľ* [online]. 2025 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: <http://www.multiplast.cz/eshop/plne-polykarbonatove-desky-cire-130/plny-polykarbonat-ciry-6-mm-s-uv-233>
- [61] Our brands. *Zotefoams* [online]. 2025 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: <https://www.zotefoams.com/our-brands/zotek/>

- [62] Nomex Felt. *National Air and Space Museum* [online]. 2025 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: [https://airandspace.si.edu/collection-objects/nomex-felt/nasm\\_A20150009000](https://airandspace.si.edu/collection-objects/nomex-felt/nasm_A20150009000)
- [63] *TOOLCRAFT Uhlíko-aramidové vlákno 210g/m<sup>2</sup> 0.5m<sup>2</sup> 152127* [online]. 2025 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: <https://www.soselectronic.com/cz-cz/products/toolcraft/190212-0-152127>

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

kg	Kilogram
mm	Milimetr
cm	Centimetr
°	Stupeň
C°	Stupeň Celsia
hod	Hodina
IVA	Intra Vehicular Activity
EVA	Extravehicular aktivity
USA	United States of America
NPP	Vědecko-výrobní podnik
EMU	Extravehicular Mobility Unit
ILC	International Latex Corporation
ISS	International Space Station
EVVA	Extravehicular visor assembly
HUD	Head-Up Display
CAST	China Academy of Space Technology
CASC	China Aerospace Science and Technology
OCSS	Orion Crew Survival Suit
ACES	Advanced Crew Escape Suit
LES	Launch Entry Suit
LCVG	Liquid Cooling and Ventilation Garment
CCA	Communications Carrier Assembly
CPV	Combination Purge Valve
TMG	Thermal Micrometeoroid Garment
HIU	Headset User Interface
CNT	Carbon Nanotube
PVDF	Polyvinylidendifluoridn

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1	SK-1 [5] .....	15
Obr. 2-2	Helma skafandru EMU [9] .....	16
Obr. 2-3	Orlan MKS [10] .....	17
Obr. 2-4	Helma skafandru Feitian [15].....	18
Obr. 2-5	SpaceX Dragon Space Suit [17] .....	19
Obr. 2-6	Z-1 [23].....	20
Obr. 2-7	Mark III [26].....	21
Obr. 2-8	Sokol KV-2 [28].....	22
Obr. 2-9	LES 1988-1994 [34], ACES 1994-2011 [35], OCSS 2020 [31] .....	23
Obr. 2-10	Boeing Starliner Spacesuit [36].....	24
Obr. 2-11	LCVG [8] .....	27
Obr. 2-12	Communications Carrier Assembly (CCA) [8] .....	28
Obr. 2-13	Bubble helmet [8].....	29
Obr. 2-14	EXTRAVEHICULAR VISOR ASSEMBLY (EVVA) [8] .....	30
Obr. 2-15	Mechanismus zamykání .....	31
Obr. 2-16	ACES [44].....	32
Obr. 2-17	Popis částí ACES [45].....	32
Obr. 2-18	CCA [45].....	33
Obr. 2-19	HIU [47].....	34
Obr. 2-20	Drátová podpora prstence [46] .....	34
Obr. 2-21	Feeding port ACES [46].....	35
Obr. 2-22	Spoj helmy a skafandru ACES .....	35
Obr. 3-1	Helma spojena pomocí prstence [48] .....	37
Obr. 3-2	Helma jako součást kapuce [49].....	38
Obr. 3-3	Helma pevně přidělaná k torzu [50].....	38
Obr. 3-4	Suit port [51].....	39
Obr. 3-5	Rozměry hlavy Lorko [55] .....	42
Obr. 4-1	1. Koncepční varianta .....	45

Obr. 4-2	2. Konceptní varianta helam a variace rámu hledí.....	46
Obr. 4-3	3. Konceptní varianta .....	47
Obr. 4-4	Modely z kleje .....	49
Obr. 5-1	Finální tvarové řešení (zavřené hledí).....	50
Obr. 5-2	Finální tvarové řešení (otevřené hledí).....	50
Obr. 6-1	Napojení na skafandr .....	51
Obr. 6-2	Rozměrové řešení.....	52
Obr. 6-3	Vnější komponenty .....	53
Obr. 6-4	Vnitřní komponenty .....	54
Obr. 6-5	CNT [58].....	55
Obr. 6-6	Polykarbonátová deska [59] .....	56
Obr. 6-7	ZOTEK F (PVDF) [60].....	56
Obr. 6-8	Aramidové vlákno [62] .....	57
Obr. 6-9	Úhel otevírání helmy .....	58
Obr. 6-10	Krajní rozměry vnitřku helmy.....	59
Obr. 6-11	Otevírání helmy .....	60
Obr. 6-12	Rozměry a umístění zámku .....	60
Obr. 6-13	Zorné pole zavřené helmy-pohled z boku.....	61
Obr. 6-14	Zorné pole zavřené helmy-pohled shora.....	61
Obr. 6-15	Zorné pole otevřené helmy-pohled z boku .....	62
Obr. 6-16	Pěnová výstelka helmy .....	62
Obr. 6-17	Detail sundávání .....	63
Obr. 7-1	Barevné řešení helmy .....	65
Obr. 7-2	Helma s logem společností ESA a NASA .....	66
Obr. 7-3	Logotyp .....	66
Obr. 7-4	Logo .....	67
Obr. 7-5	Vzor ventilu.....	67
Obr. 8-1	SWOT analýza.....	70

## 13 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1	Porovnání helem EVA .....	25
Tab. 2-2	Porovnání helem IVA .....	25
Tab. 3-1	Ergonomické rozměry hlavy .....	43

## 14 SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšený sumarizační poster (A4)

Fotografie modelu Sumarizační poster (A1)

Video modelu

Fyzický model (M 1:1)

Portfolio