



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 ASISTENČNÍHO ROBOTA DO HORSKÉHO PROSTŘEDÍ

DESIGN OF AN ASSISTANCE ROBOT FOR A MOUNTAIN ENVIRONMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matyáš Kozel

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

BRNO 2026

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Bc. Matyáš Kozel**
Studijní program: Průmyslový design ve strojírenství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.**
Akademický rok: 2025/26

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 diplomové práce:

Design asistenčního robota do horského prostředí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předpokládá se, že asistenční roboti s různou funkcí budou stále více zasahovat do našich životů. Jednou z možností aplikace je i robot–pomocník do horského prostředí, kde by mohl efektivně plnit řadu potřebných činností jinými prostředky obtížně realizovatelnými. Nový typ autonomního zařízení vyžaduje i nové, atraktivní, účelné, vizuální a technické zpracování.

Typ práce: vývojová – designérská

Výstup práce: aplikovaný výsledek (Fužit, Fprum, Gprot, Gfunk, R)

Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

Cíle diplomové práce:

Cílem je navrhnout progresivní designérskou vizi asistenčního robota do horského prostředí. Stroj je určen pro malosériovou – kusovou výrobu.

Díličí cíle diplomové práce:

- analyzovat současnou produkci různých typů asistenčních robotů,
- navrhnou originální, technicky a vizuálně progresivní vizi asistenčního robota do horského prostředí,
- zpracovat prostorový model navrženého designu.

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

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 – 50 stran textu bez obrázků).

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

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/magisterske-studium-ukoncení/>

Seznam doporučené literatury:

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

FIELD, Charlotte a Peter FIELD (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

LIDWELL, William. a Gerry. MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

NORMAN, Donald A. Emotional design: why we love (or hate) everyday things. New York: Basic Books, 2005. ISBN 0-465-05136-7.

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.

THOMPSON, Rob. a Young Yun. KIM. Product and furniture design. New York: Thames & Hudson, 2011. Manufacturing guides. ISBN 0500289190.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2025/26

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vysokohorské logistiky a zásobování odlehlých chat, které v současnosti narážejí na technické a ekologické limity. Cílem práce je navrhnout autonomní transportní systém, který ulehčí fyzicky náročné práci vysokohorských nosičů a minimalizuje ekologickou zátěž v chráněných územích. Řešení spočívá v designu hybridního kolovo-kráčejičho asistenčního robota NOM4D. Vývojový proces integruje rešerši stavu techniky, ergonomickou analýzu a interakce člověka s robotem. Tvarosloví inspirované organickou morfologií dává stroji přívětivý výraz, což usnadňuje jeho sociální akceptaci veřejností. Hlavním výsledkem je detailní návrh modulární robotické platformy, jejíž průmyslový design plně koresponduje s funkčními požadavky. Toto modulární řešení umožňuje budoucí rozšíření o pokročilé stupně automatizace a flexibilní nasazení alternativních modulů, například pro záchranné akce v horském terénu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Čtyřnohý robot, průmyslový design, asistenční robotika, vysokohorská logistika, kolovo-kráčejič, interakce člověka s robotem, modulární transportní box, automatizace, autonomie

ABSTRACT

This master's thesis addresses the challenges of high-altitude logistics and the supply of remote mountain huts, which currently face technical and environmental limitations. The aim of the thesis is to propose an autonomous transport system that will alleviate the physically demanding work of mountain porters and minimize the environmental impact on protected areas. The solution lies in the design of a hybrid wheeled-walking assistive robot named NOM4D. The development process integrates a state-of-the-art review, ergonomic analysis, and human-robot interaction. A design language inspired by organic morphology gives the machine an approachable appearance, facilitating its social acceptance by the public. The main outcome is a detailed design of a modular robotic platform, whose industrial design fully corresponds with the functional requirements. This modular solution allows for future expansion into advanced stages of automation and the flexible deployment of alternative modules, for example, for rescue operations in mountain terrain.

KEYWORDS

Quadrupedal robot, Industrial design, Assistive robotics, High-altitude logistics, Wheeled-legged, Human-robot interaction, Modular transport box, Automation, Autonomy

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOZEL, Matyáš. Design asistenčního robota do horského prostředí. Online, diplomová práce. Ladislav KŘENEK (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2026. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/173674>. [cit. 2026-05-22].

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, kterým byl akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD., za jeho odborné vedení, cenné rady a čas, který mi v průběhu zpracování práce věnoval. Dále děkuji všem, kteří mi poskytli užitečné rady a konzultace, jež výrazně přispěly k úspěšnému dokončení této práce. V neposlední řadě patří mé upřímné poděkování mé rodině a přátelům za jejich trpělivost, zázemí a všestrannou podporu během celého studia.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením doc. akad. soch. Ladislava Křenka ArtD. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů. Při stylizaci, gramatické korektuře a strukturování textové části práce byly využity nástroje generativní umělé inteligence (model Gemini).

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	17
2.1	Rešeršní metody	17
2.1.1	Kritéria relevance pro výběr informačních zdrojů	17
2.1.2	Použité sekundární informační zdroje	18
2.1.3	Rešeršní požadavek a rešeršní strategie	19
2.1.4	Výběr relevantních informačních pramenů	19
2.1.5	Užité metody zpracování dat	20
2.1.6	Sumarizace počtu a druhu vybraných informačních zdrojů	21
2.2	Rešerše na stav techniky	21
2.2.1	Motivace	22
2.2.2	Designérská analýza	24
2.3	Technická analýza	41
2.3.1	Analýza koncepce pohybu a kinematiky	42
2.3.2	Senzorické systémy a vnímání	46
2.3.3	Řídicí architektura a autonomie	51
2.3.4	Pohonné jednotky a přenos výkonu	53
2.3.5	Baterie a správa energie	56
2.3.6	Komunikační a bezpečnostní systémy	58
3	CÍLE PRÁCE	61
3.1	Vymezení problému	61
3.1.1	Název a druh produktu	61
3.1.2	Specifikace zákazníka	62
3.1.3	Specifikace spotřebitele	62
3.1.4	Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií	63
3.1.5	Vymezení problému	64
3.2	Cíle vývoje	66
3.2.1	Globální cíl	66
3.2.2	Dílčí cíle	66
4	KONCEPČNÍ NÁVRH	67
4.1	Analýza cílů a specifikace omezení	67
4.2	Technická a funkční analýza	68
4.3	Návrh alternativních řešení	70

4.3.1	Varianta I	72
4.3.2	Varianta II	73
4.3.3	Varianta III	74
4.3.4	Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího	75
5	PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH	76
5.1	Matematický model pro baterii	76
5.1.1	Výpočet průměrného příkonu a doby provozu	77
5.1.2	Výpočet celkového kombinovaného dojezdu	77
5.1.3	Výsledek	78
5.2	Určení tvarů, rozměrů a materiálů	78
5.2.1	Tvary	78
5.2.2	Rozměry	80
5.2.3	Materiály	82
5.3	Odhad výrobních nákladů	82
6	DETAILNÍ NÁVRH	84
6.1	Tvarové řešení	85
6.1.1	Proporce a kompozice	86
6.1.2	Pohled z perspektivy	87
6.1.3	Přední pohled	89
6.1.4	Boční pohledy	90
6.1.5	Zadní pohled	92
6.1.6	Pohled shora	92
6.1.7	Pohled box a robot	93
6.1.8	Detailní pohledy	95
6.1.9	Prostor pro senzoriku	96
6.1.10	Box	97
6.2	Konstrukční a funkční návrh	98
6.2.1	Rozměry	99
6.2.2	Rozpad	100
6.2.3	Vnitřní schéma	101
6.2.4	Mechanismus boxu	102
6.2.5	Ovládací prvky	103
6.2.6	Baterie	105
6.2.7	Pohyb končetin	105
6.2.8	Zorné pole kamer	107
6.3	Ergonomické řešení bezpečnost a hygiena	109
6.3.1	Rozměry člověka vůči robotovi	109

6.3.2	Manipulace s boxem	110
6.3.3	Manipulace s bateriemi	113
6.3.4	Ovládací panel	114
6.3.5	Madla	116
6.4	Barevné a grafické řešení	120
6.4.1	Barevné řešení	120
6.4.2	Grafické řešení	123
6.4.3	Mobilní rozhraní	127
6.5	Udržitelnost produktu	128
6.5.1	Environmentální aspekty provozu v horském ekosystému	129
6.5.2	Materiálová udržitelnost a cirkulární ekonomika	129
6.5.3	Sociální a ekonomická udržitelnost	129
6.5.4	Udržitelnost skrze automatizaci a efektivitu provozu	130
6.6	Hodnocení klíčových parametrů	130
7	ZÁVĚR	131
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	133
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	138
9.1	Příklady použitých fyzikálních veličin	138
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	140
11	SEZNAM TABULEK	143
12	SEZNAM PŘÍLOH	144

1 ÚVOD

Horská prostředí představují pro logistiku jednu z nejnáročnějších výzev současnosti. S narůstajícím zájmem o vysokohorskou turistiku a s ním spojenou potřebou pravidelného zásobování chat v odlehlých oblastech roste i tlak na efektivitu, ekonomickou udržitelnost a ochranu těchto citlivých ekosystémů. Stávající metody transportu nákladu se dnes nacházejí na hraně svých technických i ekonomických limitů. Pozemní doprava konvenčními terénními automobily je striktně omezena šířkou, kvalitou a sklonem horských stezek, přičemž do mnoha lokalit se technika tohoto typu kvůli své hmotnosti a rozměrům nedostane vůbec. Alternativu představuje využití vrtulníků, které je sice operativně rychlé, ale doprovázené extrémními finančními náklady, vysokou hlučností a značnou emisní stopou. Takový provoz je v přímém rozporu s principy tiché a čisté krajiny národních parků a chráněných krajinných oblastí (NP a CHKO), kde je prioritou zachování klidu pro původní faunu i návštěvníky.

V této souvislosti se v logistickém řetězci objevuje výrazná a dosud nezaplňená mezera na trhu. Na jedné straně stojí nákladná a neekologická technika, na straně druhé pak fyzicky extrémně náročná práce vysokohorských nosičů. Profese šerpy má v horách, zejména v Tatrách, hlubokou tradici, avšak v kontextu 21. století vystavuje pracovníky nepříjemným zdravotním rizikům. Při manipulaci s takto objemným a těžkým břemenem dochází k výraznému posunu těžiště celé soustavy člověka a nákladu, což zásadně komplikuje udržení stability na úzkých a strmých stezkách. V kombinaci s nárazovým větrem, náhlými změnami počasí či kluzkým a nestabilním povrchem se riziko pádu nosiče dramaticky zvyšuje. Právě zde se nachází prostor pro asistenční robotiku. Cílem však není násilné nahrazení této tradice, ale její zásadní transformace a ulehčení lidské práci tam, kde je to z hlediska zdraví nezbytné.

Tato diplomová práce představuje návrh autonomního asistenčního robota do horského prostředí, který je koncipován jako technologická odpověď na tuto mezeru v mobilitě. Projekt se nezaměřuje pouze na technické parametry, jako je hybridní systém lokomoce kombinující výhody kol a kráčejících nohou pro maximální prostupnost terénem, ale klade zásadní důraz na komplexní průmyslový design. Vizuální podoba robota, a zejména jeho přední části je navržena jako vizuální mezistupeň mezi ryze funkčním strojem a přívětivým společníkem. Záměrně eliminuje jakýkoliv nepřátelský či agresivní výraz, který často u velkých průmyslových robotů vyvolává instinktivní obavy. Design robota je tak mostem, který usnadňuje sociální akceptaci autonomních technologií v prostředí, kde se pohybují neproškolení turisté a rodiny s dětmi.

Konstrukční filozofie návrhu v prvních fázích vývoje prioritně počítá s přítomností lidské obsluhy. Tomu odpovídají důsledně aplikované ergonomické parametry, které byly navrženy s ohledem na fyziologii člověka. Práce však hledí i za horizont současnosti k plné zásobovací automatizaci. V této vizi by flotily robotů operovaly v autonomních cyklech mezi údolními stanicemi a horskými chatami, přičemž jejich obsluhu, včetně výměny nákladu a energetických článků, by převzala stacionární robotická ramena.

Robot tak není pouhou akademickou studií stroje, ale uceleným návrhem, který respektuje ekonomickou realitu horských provozoven, lidský faktor, a především nenahraditelnou hodnotu horské přírody. Předložená práce dokumentuje proces od analýzy trhu přes tvarové studie až po technické řešení, které má ambici stát se tichým, ohleduplným a vysoce efektivním pomocníkem v místech, kam technika dosud nesměla nebo nemohla.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Rešerše se zaměřuje na analýzu technologických standardů, ergonomických aspektů a psychologických vlivů, které determinují úspěšné nasazení tohoto stroje do prostředí za účelem minimalizace rizik pro výrobce a uživatele.

2.1 Rešeršní metody

V rámci rešeršní části diplomové práce bylo postupováno systematicky s cílem zmapovat aktuální stav technologií robotů do horského prostředí a specifik jejich provozu v náročném přírodním prostředí. Hlavní snaha byla věnována analýze primárních i sekundárních informačních zdrojů s důrazem na technickou vyspělost platform a psychologii jejich vnímání veřejností. Bylo třeba zohlednit skutečnost, že robot nebude operovat výhradně v industriálním prostředí v kontaktu s odborným personálem, ale bude se pohybovat ve veřejném prostoru, kde bude docházet k interakcím s lidmi, kteří se s podobnou technologií doposud nikdy nesetkali.

2.1.1 Kritéria relevance pro výběr informačních zdrojů

Stanovení jasných kritérií pro výběr informačních pramenů je klíčovým předpokladem pro zajištění odborné validity a technické přesnosti rešeršní části práce. Vzhledem k tomu, že se diplomová práce zabývá návrhem autonomního robotického systému pro extrémní horské podmínky, musel výběr zdrojů reflektovat nejen teoretické základy robotiky, ale především specifické inženýrské a uživatelské výzvy spojené s tímto prostředím. Hlavním kritériem relevance byla schopnost zdroje poskytnout data k pěti definovaným pilířům návrhu: mechanická odolnost, modularita, ergonomie, vizuální komunikace a energetická autonomie.

Z hlediska technologické relevance byly prioritizovány zdroje, které se detailně zabývaly materiálovým inženýrstvím a ochranou vnitřních komponent. Klíčovým faktorem byla schopnost zdroje definovat požadavky na IP krytí (Ingress Protection), odolnost proti nárazům a schopnost materiálů odolávat extrémním teplotním výkyvům, které jsou pro horský masiv typické. V této souvislosti byly vyhledávány prameny popisující chování polymerů a kompozitů v mrazu, což přímo souvisí s plánovaným využitím materiálu vhodného pro krytování robota.

Dalším významným kritériem byla relevance zdroje pro oblast interakce člověka s robotem (HRI). Protože navrhovaný asistent bude operovat ve veřejném prostoru mezi neproškolenými uživateli, byly do rešerše zahrnuty studie zkoumající psychologické aspekty vnímání robotů. Zde byla kritériem relevance schopnost zdroje osvětlit problematiku sociální akceptace, pareidolie v robotice a srozumitelnosti pohybových vzorců. Tímto způsobem bylo zajištěno, že rešerše nepokrývá pouze „tvrdá“ technická data, ale i „měkké“ faktory designu, které jsou pro úspěšnou integraci robota do horského ekosystému nezbytné.

V neposlední řadě hrála při výběru zásadní roli časová aktuálnost a geografická šíře poznání. Jelikož je oblast autonomní mobility jedním z nejrychleji se vyvíjejících odvětví současnosti, byla relevance zdrojů soustředěna primárně na publikace z posledních pěti až sedmi let. Důraz byl kladen na mezinárodní vědecké články a patentové rešerše v anglickém jazyce, které umožnily nahlédnout do globálních trendů a vyhnout se lokální informační izolaci. Kombinace těchto kritérií vytvořila robustní informační základnu, která minimalizuje riziko zastaralých nebo technicky nepřesných východisek pro následný koncepční návrh.

2.1.2 Použité sekundární informační zdroje

Hlavním pilířem rešerše byly renomované vědecké bibliografické databáze, které poskytly přístup k recenzovaným studiím a nejnovějším vědeckým poznatkům. Mezi klíčové platformy patřily Google Scholar, Science Direct (Elsevier), IEEE Xplore, Scopus a SpringerLink. Tyto zdroje byly nezbytné pro získání dat o pokročilých algoritmech lokomoce, senzorické fúzi a materiálovém inženýrství v kontextu mobilní robotiky. Pro sledování technologických inovací a širšího kontextu právní ochrany konstrukčních řešení byla využita databáze Google Patents.

Pro doplnění praktického kontextu a sledování aktuálního vývoje v oboru byly využity také odborné technologické blogy, populárně-vědecké články a tematicky zaměřené akademické publikace. Tyto zdroje reflektují současné trendy a zkušenosti z reálného nasazení robotických systémů v nestrukturovaném terénu, čímž pomohly korigovat teoretické předpoklady reálnou praxí v oblasti autonomní mobility.

2.1.3 Rešeršní požadavek a rešeršní strategie

Pro efektivní vyhledávání relevantních informací byly v rámci práce využity dvě doplňující se metody, a to strategie stavebních kamenů a strategie rostoucí perly. Strategie stavebních kamenů spočívala v rozkladu hlavního výzkumného problému na dílčí koncepty, pro které byla definována specifická klíčová slova v českém i anglickém jazyce. V rámci segmentu zaměřeného na ochranu a odolnost byla vyhledávána hesla jako protection, extreme conditions, IP rating, sealing či dust-proof. Oblast modularity byla zkoumána skrze termíny modularity, replaceable covers, maintenance a interchangeable modules. Z hlediska ergonomie a interakce tvořily základ rešerše pojmy ergonomics, human-robot interaction, handling, grips a psychologický fenomén pareidolia. Pro potřeby vizuální identifikace a bezpečnosti byla zvolena slova visual identification, contrast colors, LED signaling a visibility, zatímco problematika mobility v náročném terénu byla pokryta hesly locomotion in rough terrain, quadruped robot a hybrid locomotion. Tato hesla byla následně kombinována pomocí booleovských operátorů (AND, OR), což umožnilo cíleně vyhledávat průniky mezi technologickou odolností a specifickými designérskými aspekty.

Strategie rostoucí perly byla využita jako doplňková metoda v okamžiku, kdy byl identifikován vysoce relevantní stěžejní dokument. Skrze jeho citační aparát a seznam literatury byly dohledávány další související prameny, které by standardním klíčovým slovem nemusely být zachyceny. Tento postup umožnil sledovat vývoj konkrétních myšlenkových proudů v oblasti designu robotických systémů a zajistil kontinuitu odborné argumentace. Konkrétním příkladem aplikace této kombinované strategie bylo zadání fráze „terrain robot“ do databáze Google Scholar, které vyneslo 49 relevantních záznamů, přičemž další cílené vyhledávání technických a ergonomických aspektů přineslo zbývající prameny. Po odstranění duplicitních nálezů vznikl soubor 85 zdrojů, které byly následně podrobeny detailnímu prověření z hlediska kvality a přínosu pro praktickou část diplomové práce. Tato metodika zajistila, že rešerše pronikla do hloubky konstrukčních a uživatelských detailů nezbytných pro vlastní následný návrh.

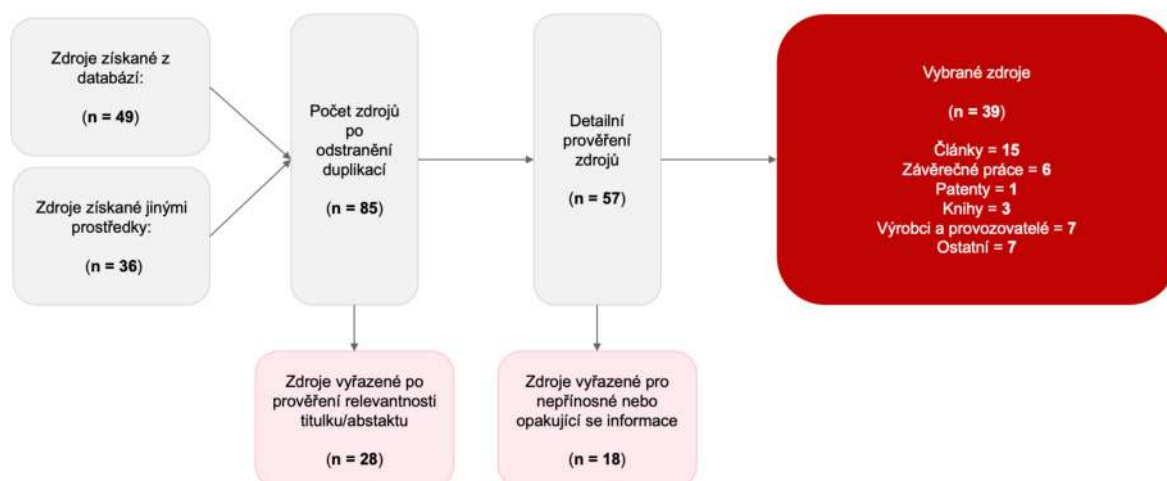
2.1.4 Výběr relevantních informačních pramenů

Proces výběru relevantních zdrojů byl realizován v několika fázích. V úvodní fázi identifikace bylo prostřednictvím výše popsaných strategií v odborných databázích a technických archivech výrobců nalezeno celkem 85 záznamů. Tento soubor zahrnoval široké spektrum materiálů od ryze vědeckých studií až po technické specifikace konkrétních robotických platforem.

Následně byl tento soubor podroben důkladnému screeningu. Prvním krokem bylo odstranění duplicitních nálezů, které se vyskytovaly zejména při křížovém vyhledávání v různých vědeckých databázích. Po tomto pročištění zůstalo k posouzení všech 85 unikátních zdrojů. Ty byly dále prověřovány na základě čtení abstraktů, klíčových slov a úvodních technických parametrů. Toto detailní prověření vedlo ke snížení počtu na 57 zdrojů, které vykazovaly přímou relevanci k tématu horské autonomní robotiky a designu.

V závěrečné fázi hodnocení vhodnosti bylo provedeno hloubkové studium zbývajících materiálů. Z tohoto procesu bylo odstraněno dalších 18 dokumentů, které sice tematicky odpovídaly, ale obsahovaly duplicitní informace již obsažené v komplexnějších studiích, nebo jejichž technická úroveň neodpovídala aktuálnímu stavu poznání (State-of-the-Art).

Ve finálním výběru, který tvoří teoretickou a analytickou základnu této práce, tak zůstalo 39 klíčových zdrojů. Celý tento proces selekce, od prvotního vyhledávání až po finální zahrnutí, byl pro zajištění transparentnosti a metodické správnosti zaznamenán do PRISMA diagramu (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), který poskytuje jasný přehled o kvantitativním vývoji rešeršního procesu.



Obr. 2-1 PRISMA diagram

2.1.5 Užití metody zpracování dat

Všechny nalezené a finálně vybrané zdroje byly pro zajištění přehlednosti a správnosti citačních vazeb systematicky ukládány do citačního manažeru Citace PRO. V tomto prostředí byly prameny kategorizovány do příslušných skupin, jako jsou odborné články, závěrečné práce, patenty, monografie a technické podklady výrobců. Tato struktura umožnila efektivní třídění informací podle tematického zaměření, nejčastěji se zaměřením na konstrukční řešení, ergonomii, modularitu, energetickou účinnost a vizuální identifikaci.

2.1.6 Sumarizace počtu a druhu vybraných informačních zdrojů

Na základě systematického výběrového procesu, popsaného v předchozích fázích, bylo do finální analýzy zahrnuto celkem 39 klíčových informačních zdrojů. Tato skladba pramenů byla zvolena tak, aby v optimálním poměru pokrývala teoretické znalosti, aktuální technické parametry i specifické designérské aspekty robotiky. Největší část souboru tvoří 15 odborných recenzovaných článků, které představují teoretické a technologické jádro práce se zaměřením na autonomní systémy a materiálové inženýrství. Ty jsou doplněny o 6 závěrečných vysokoškolských prací, které posloužily ke komparaci metodologických přístupů a specifických případových studií v oblasti mobilní robotiky.

Důležitý vhléd do principů interakce člověka se strojem (HRI) a biomechaniky pohybu poskytly 3 odborné monografie, zatímco inovační trendy a konkrétní konstrukční řešení v oblasti terénní lokomoce byly doloženy 1 relevantním patentem. Pro získání přesných technických dat bylo využito 7 primárních zdrojů přímo od výrobců a provozovatelů, jako jsou technické specifikace, produktové katalogy a oficiální technické listy předních robotických firem. Celý soubor uzavírá 7 doplňkových materiálů zahrnujících expertní technologické blogy, video přednášky odborníků a technické manuály nezbytné pro pochopení praktické manipulace s robotickými platformami. Tato struktura zdrojů zajišťuje vyváženost mezi akademickou hloubkou poznání a praktickou využitelností v průmyslovém designu, přičemž vysoký podíl technických specifikací zaručuje, že následný benchmarking a koncepční návrh vlastního asistenčního robota vycházejí z reálných technologických limitů současné robotiky.

2.2 Rešerše na stav techniky

Před započítím návrhu samotného asistenčního robota bylo nezbytné provést detailní analýzu zaměřenou na přehled existujících technologických platforem, jejich technické specifikace a funkční parametry. Cílem této kapitoly je shrnout pozorované trendy v oblasti mobilní robotiky a vyvodit závěry, které budou sloužit jako základní podklad pro definování požadavků na design a konstrukci stroje určeného pro specifické podmínky horského prostředí.

2.2.1 Motivace

Logistické operace v extrémních vysokohorských podmínkách představují specifickou disciplínu, kde se tradiční metody transportu střetávají s moderními nároky na efektivitu a udržitelnost. Hlavní motivací pro návrh asistenčního kráčejícího robota je automatizace a zefektivnění zásobování v oblastech, kde morfologie terénu, extrémní sklon a přísné legislativní rámce ochrany přírody vylučují standardní silniční infrastrukturu. V evropském kontextu je tato problematika nejvíce patrná ve slovenských Vysokých Tatrách, které představují světový unikát v zachování profesionálního nosičského řemesla jako integrální součásti dodavatelského řetězce. Tato forma transportu řeší kritický problém „poslední míle“ při zásobování horských chat, vědeckých stanic a expedic v terénech s převýšením přesahujícím tisíc metrů.

Potřeba vývoje robotické platformy vychází především z fyziologických limitů a zdravotních rizik spojených s touto profesí. Standardní denní zátěž vysokohorského nosiče se pohybuje v rozmezí 60 až 70 kg, přičemž při transportu technologických celků či paliva hmotnost nákladu může přesáhnout hranici 100 kg. Extrémní výkony, jako je historický rekord 207,5 kg materiálu vyneseny na Zamkovského chatu, sice demonstrují lidskou vytrvalost, ale z dlouhodobého hlediska vedou k nevratnému poškození pohybového aparátu, páteře a hrudního koše. Kráčející robot je navržen jako přímá technologická odpověď na tuto zátěž. Na rozdíl od lidského organismu, dokáže stroj udržet konstantní výkon bez ohledu na únavu, hypoxii či denní dobu. [1][2]

V rámci posuzování nákladové efektivity asistenčních robotů v horském prostředí představuje klíčové srovnávací měřítko finanční náročnost leteckého transportu. Podle analýzy provozních nákladů alpských chat dosahuje cena za jednu letovou minutu vrtulníku přibližně 30 €. Při průměrné transportní kapacitě 700 kg na jeden vzlet jsou provozovatelé nuceni kumulovat zásoby do velkých objemů v intervalech zhruba tří až čtyř týdnů. Celková sezónní spotřeba horské chaty se přitom pohybuje mezi 5 až 15 tunami surovin a 1 až 5 tunami materiálu k topení, což v souhrnu generuje roční náklady na dopravu v rozmezí 8 000 – 14 000 € (v cenové hladině roku 2013). Nasazení autonomního kráčejícího systému v tomto kontextu vyplňuje zásadní mezeru v logistickém řetězci. Kromě ekonomické stránky představuje tichý elektrický pohon ideální řešení pro citlivé ekosystémy národních parků. Na rozdíl od vrtulníků nenarušuje klidové zóny fauny hlukem motorů a ve srovnání s těžkou kolovou technikou nezpůsobuje mechanickou degradaci povrchu horských stezek.[3]

Automatizace v horských oblastech

Současným celosvětovým trendem napříč všemi odvětvími hospodářství je všudypřítomná automatizace a robotizace, která zásadním způsobem transformuje způsob, jakým přistupujeme k práci, bezpečnosti i logistice. Tento proces, často označovaný jako čtvrtá průmyslová revoluce, se již dávno nespokojuje s uzavřenými prostorami výrobních hal, ale čím dál intenzivněji proniká do nestrukturovaného vnějšího prostředí. Hlavním hybatelem tohoto vývoje je snaha o delegování rutinních, nebezpečných nebo fyzicky vyčerpávajících úkolů na autonomní systémy, které jsou schopny operovat s vysokou mírou preciznosti a vytrvalosti, jež přesahuje lidské biometrické limity.

V kontextu horských oblastí získává trend automatizace zcela nový rozměr. Horský terén představuje jedno z nejnáročnějších prostředí pro jakoukoli formu lidské činnosti, ať už jde o zásobování horských chat, údržbu infrastruktury nebo záchranné mise. Tradiční metody dopravy materiálu jsou zde často omezeny na nákladnou a ekologicky zatěžující vrtulníkovou dopravu, nebo na fyzicky extrémně náročnou práci horských nosičů. Právě zde se otevírá prostor pro nasazení autonomních kráčivých platforem, které díky pokročilé senzorice a umělé inteligenci dokážou podpořit lidskou sílu tam, kde konvenční kolová technika selhává. Motivací této práce je tedy využít aktuální technologický rozmach a navrhnout řešení, které integruje výhody robotizace do specifického prostředí, kde může zásadně zvýšit bezpečnost personálu a zefektivnit logistické procesy.

Dalším rozměrem motivace je společenský a environmentální dopad automatizace. Moderní robotika umožňuje provádět činnosti v chráněných krajinných oblastech s minimálním hlukovým a emisním zatížením. Návrh vlastního asistenčního robota tak nereaguje pouze na technickou poptávku po transportním zařízení, ale snaží se o symbiózu mezi technologií a přírodou. Klíčovou výzvou, která tuto práci provází, je překonání bariéry mezi strojem a člověkem skrze design. V éře automatizace je nezbytné, aby robot nepůsobil jako cizorodý prvek, ale jako srozumitelný a užitečný partner. Tato diplomová práce si klade za cíl přetavit globální trend robotizace do konkrétní formy, která bude respektovat specifika horského prostředí a přinese novou kvalitu do asistenčních služeb v terénu.

Interakce

Klíčovým pilířem designu je však také sociální interakce a vizuální identita stroje v rámci veřejného prostoru. Robot operující na frekventovaných turistických trasách se nevyhnutelně setkává s laickou veřejností, pro kterou může být setkání s autonomní technologií v srdci přírody znepokojující. Motivací práce je proto vytvořit takový design, který pomocí vhodného tvarosloví (např. integrace prvků evokujících hlavu či oči) a barevnosti typické pro horskou techniku eliminuje psychologickou bariéru a jasně komunikuje roli robota jako užitečného asistenčního partnera. Cílem je transformovat tradiční a fyzicky devastační nosičské řemeslo do moderní podoby, kde technologický vektor převezme nejtěžší břemena, aniž by byla narušena autenticita a kulturní dědictví horského prostředí.

2.2.2 Designérská analýza

Designérská analýza představuje v rámci této diplomové práce zásadní metodický krok, který slouží k objektivnímu zhodnocení současného stavu robotiky z pohledu průmyslového designu. Cílem této kapitoly je identifikovat estetické, funkční a ergonomické zákonitosti, které formují podobu moderních krácejících strojů, a kriticky posoudit jejich aplikovatelnost v náročném kontextu horského prostředí. Design zde není chápán jako dekorativní složka, ale jako klíčový nástroj pro řešení stability, pohybu a srozumitelnosti autonomního objektu v otevřené krajině.

Boston Dynamics Spot

Prvním a v současnosti nejvýznamnějším zástupcem v rámci analýzy je robot Spot od společnosti Boston Dynamics, který představuje globální komerční standard v segmentu agilní mobilní robotiky. Tento kvadrupédní systém je navržen primárně pro náročné průmyslové inspekce, autonomní sběr dat a operace v prostředí, které je pro člověka rizikové nebo obtížně dostupné. Z hlediska designérského přístupu lze Spot popsat jako vysoce užitelný objekt, jehož forma je striktně podřízena dynamice pohybu, stabilitě a ochraně vnitřních komponent. Jeho vizuální identita je definována plynulými liniemi a organickým charakterem pohybu, což v kombinaci s absencí ostrých hran v hlavních částech šasi přispívá k jeho čitelnosti jakožto sofistikovaného technologického nástroje.

Z hlediska rozměrovosti a prostorových nároků disponuje Spot kompaktní konstrukcí o délce 1100 mm a šířce 500 mm. Jeho výškové parametry jsou variabilní a přímo odrážejí aktuální operační modus. Zatímco v klidové poloze (vsedě) dosahuje výšky pouze 191 mm, při standardní chůzi se jeho výška pohybuje kolem 610 mm. Tato schopnost měnit vertikální profil je pro horské prostředí klíčová, neboť robotu umožňuje podlézat přírodní překážky a operovat v úzkých profilech horských stezek. Celková hmotnost zařízení dosahující 33,8 kg zajišťuje optimální poměr mezi stabilitou a mobilitou, což usnadňuje případnou manuální manipulaci personálem v terénu.[4]

V oblasti ergonomie a vizuální komunikace hraje zásadní roli volba signální žluté barvy. Také v industriálním kontextu slouží tento prvek jako bezpečnostní varování, avšak při nasazení v horské krajině může u neproškolených osob a turistů vyvolávat ambivalentní pocity. Na jednu stranu jasně definuje přítomnost technického zařízení, na stranu druhou může v přírodním ekosystému působit jako vizuálně invazivní prvek. Robot je vybaven 360° vizuálním vnímáním a kolizními systémy, které jsou integrovány přímo do siluety stroje tak, aby nenarušovaly jeho aerodynamiku a čistotu tvaru. Interakce s okolím je však v současnosti omezena na interpretaci pohybu a stavovou signalizaci, což představuje designérskou příležitost pro vývoj přívětivějšího rozhraní v rámci sociální robotiky.

Operační schopnosti robota potvrzují jeho připravenost na extrémní podmínky, které jsou v horském prostředí běžné. Spot je schopen zdolávat svahy se sklonem až $\pm 30^\circ$ a překonávat vertikální překážky či schody do výšky 300 mm. S certifikací krytí IP54 a garantovaným teplotním rozsahem provozu od -20°C do 55°C se jedná o platformu, která technicky splňuje nároky na vysokohorské nasazení v mrazivém klimatu. Pro potřeby této diplomové práce však analýza robota Spot odhaluje prostor pro inovaci v oblasti „human-friendly“ designu. Jeho technicky chladné provedení je východiskem pro můj návrh, který se více soustředí na integraci robota do krajiny a psychologický komfort laických uživatelů při nečekaném setkání v terénu.[4]



Obr. 2-2 Spot [4]

UNITREE GO2-W

Dalším významným zástupcem, který reprezentuje odlišný přístup k mobilitě a konstrukčnímu řešení, je robot Unitree Go2-W. Tato platforma se od předchozích modelů liší především integrací kol do systému kráčivé lokomoce, což z něj činí kolový kvadruped (wheeled-quadruped). Tato hybridní koncepce přináší nové designérské výzvy v oblasti proporcí, kinetiky a vizuálního působení stroje v terénu.

Z hlediska tvarosloví a objemového řešení působí Unitree Go2-W v porovnání s robotem Spot lehčím a štíhlejším dojmem. Jeho silueta je definována minimalistickým šasi s výrazně prodlouženými končetinami, které jsou zakončeny motorizovanými koly. Tato konstrukční volba zásadně mění estetiku stroje. Zatímco čistě kráčející roboti evokují pohyb zvířat, Go2-W svou vizuální identitou balancuje mezi biologickou formou a futuristickým dopravním prostředkem. Z hlediska rozměrů se jedná o velmi kompaktní zařízení s délkou 700 mm a šířkou 430 mm, což mu v kombinaci s nízkou hmotností (přibližně 18 kg) propůjčuje vysokou míru obratnosti. Výška v postoji dosahující 480 mm jej řadí do kategorie malých asistenčních robotů, což snižuje případný pocit ohrožení při kontaktu s člověkem.[5]

Klíčovým prvkem designérské analýzy je u tohoto modelu hybridní pohonný systém. Integrace kol umožňuje robotu efektivní a plynulý přesun po zpevněných cestách a mírně zvlněném povrchu, což výrazně šetří energii a zvyšuje rychlost pohybu až na 2,5 m/s. V okamžiku, kdy terén začne vykazovat vyšší míru členitosti, systém plynule přechází ke kráčivé lokomoci. Tento aspekt je z pohledu designu v horském prostředí zásadní; robot se dokáže adaptovat na různé typy infrastruktury, od asfaltových přístupových cest k horským chatám až po kamenité stezky. Tvarové řešení kloubů a uložení motorů v kolech je však subtilnější, což může z vizuálního hlediska vzbuzovat otázky ohledně odolnosti v extrémních podmínkách, jako je hluboký sníh, kde hrozí zanesení mechanismu kol nečistotami.[5]

Ergonomie a interakce s uživatelem jsou u Unitree Go2-W podpořeny integrovanými senzory, jako rotační LiDAR a HD kamery, které jsou osazeny v přední části („hlavě“) robota. Tento designový prvek vytváří jasně definovaný „obličej“ stroje, což usnadňuje lidem orientaci v tom, kam robot směřuje a co vnímá. Na rozdíl od industriálního provedení robota Spot, Go2-W využívá tmavší barevnou paletu a materiály, které působí spíše technologicky-spotřebním dojmem. Pro horské prostředí tato analýza odhaluje potenciál v kombinaci rychlé kolové dopravy a prostupnosti terénem, zároveň však poukazuje na potřebu robustnějšího krytování kol a mechanických částí, pokud by měl stroj čelit přímému kontaktu s agresivním horským klimatem.[5]



Obr. 2-3 UNITREE GO2-W [5]

UNITREE A2

V rámci designérské analýzy je nezbytné kriticky zhodnotit model Unitree A2, který v současnosti představuje technologický i estetický posun od ryze industriálního pojetí ke srozumitelnějšímu a vizuálně čistějšímu řešení. Tento robot je charakteristický svou snahou o integraci všech mechanických částí a kabeláže pod ucelené vnější kryty, což mu propůjčuje kompaktní a vizuálně uzavřenou formu. Horní část šasi tvořená plynulým štítem nejen chrání vnitřní elektroniku, ale zároveň sjednocuje tvarosloví stroje do jednoho celku. Pro nasazení v náročném horském prostředí je tato materiálová a tvarová kontinuita zásadním benefitem, neboť minimalizuje riziko mechanického poškození o přírodní překážky a efektivně zabraňuje vnikání vlhkosti či nečistot do kloubových mechanismů.

Z hlediska rozměrovosti a prostorových nároků se Unitree A2 řadí do kategorie středně velkých platforem, které svou anatomii a měřítkem evokují pohyb středně velkého psa. Tato volba proporcí je z pohledu sociální robotiky a interakce v horách ideální, neboť stroj nepůsobí na neproškolené turisty dominantním či ohrožujícím způsobem. Klíčovým prvkem jeho vizuální identity je centrálně osazený širokoúhlý LiDAR v přední části, který je do těla robota včleněn s důrazem na čistotu siluety. Senzor tak v kontextu celkového designu nepůsobí jako cizorodý technický doplněk, ale jako integrální součást „hlavy“ stroje, co přispívá k lepší čitelnosti jeho technologického účelu a směru pozornosti. Problém ovšem nastává ve chvíli, kdy je senzor potřeba na obou stranách a tím se robot stane symetrickým. V tomto případě čitelnost směru lze zjistit pouze z polohy nohou, se kterými nemusí být uživatel seznámen.[6]

V oblasti ergonomie a uživatelského rozhraní sází model A2 na implementaci pokročilých algoritmů, které umožňují plynulý a biologicky uvěřitelný pohyb končetin. Tento aspekt je pro kontakt s lidmi, kteří se s podobnou technologií v horském terénu setkávají poprvé, zcela zásadní, neboť snižuje psychologickou bariéru a pocit nepředvídatelnosti. Ačkoliv tmavé barevné provedení a metalické akcenty podtrhují moderní charakter stroje, z hlediska bezpečnosti a viditelnosti v extrémních horských podmínkách, jako je mlha či šero, představují určitý deficit. Tato zjištění vedou k závěru, že zatímco tvarová integrace a měřítko modelu A2 jsou vysoce inspirativní, pro reálné záchranné či logistické operace je nutné design doplnit o prvky zvyšující pasivní bezpečnost a praktickou manipulovatelnost.

Celková reflexe tohoto modelu odhaluje trend směřující k civilnějšímu pojetí robotiky, kde se špičková technologie stává esteticky přijatelnou součástí lidského prostředí. Pro účely této diplomové práce slouží Unitree A2 jako referenční bod zejména v otázce čistoty formy a skrytí technických detailů, které by mohly působit agresivně.



Obr. 2-4 UNITREE A2 [6]

UNITREE B2

V rámci analýzy modelu Unitree B2 je důležité zmínit jeho specifickou technologickou variabilitu, neboť se v produktové řadě vyskytuje i modifikace osazená koly na koncích končetin. Tato hybridní varianta kombinuje výhody kráčivé lokomoce s efektivitou kolového podvozku, což z designérského hlediska výrazně mění dynamiku objektu i jeho vizuální působení v krajině. Integrace kol umožňuje robotu rychlý a energeticky úsporný přesun po zpevněných horských komunikacích nebo rovných úsecích, zatímco v náročném vertikálním terénu si zachovává schopnost kráčet. Tato dualita pohybu klade specifické nároky na konstrukci kloubů a celkovou stabilitu, což v analýze zdůrazňuje potřebu univerzálního designu, který se dokáže přizpůsobit měnícím se povrchům bez nutnosti výměny hardware.

Z hlediska tvarosloví a celkového vizuálního působení se Unitree B2 vyznačuje masivním a technicky strohým provedením. Jeho krytování je konstruováno s ohledem na maximální ochranu vnitřních komponent, což vede k objemnějšímu tělu a robustnějším končetinám s výrazným kloubovým aparátem. Na rozdíl od organičtějších tvarů modelu A2 je u B2 patrná snaha o industriální odolnost, která se projevuje přiznanými technickými prvky a funkčním členěním ploch. Tato tvarová robustnost je v horském terénu žádoucí z pohledu odolnosti proti nárazům o skály nebo při pádech, nicméně z hlediska psychologického působení na člověka může tento stroj působit dominantněji a méně přístupně než menší modely.

Rozměrově a výkonově tento robot výrazně převyšuje standardní asistenční platformy. S délkou přesahující jeden metr a schopností unést náklad o hmotnosti až 40 kg se jedná o stroj určený pro reálnou logistickou podporu. Výrazným designovým prvkem je zde uložení akumulátorů a nákladových rozhraní, která jsou koncipována pro rychlou výměnu a snadnou modulární rozšiřitelnost. Tato vlastnost je pro horské mise zásadní, protože umožňuje robotu plnit různé role, od transportu materiálu až po osazení těžšími senzorickými věžemi pro monitoring terénu.[7]

V oblasti ergonomie a interakce je Unitree B2 vybaven pokročilými systémy vnímání, které zahrnují doplněk ve formě LiDARu s vysokým rozlišením a hloubkové kamery, umožňující bezpečnou navigaci i v prostředí s vysokou mírou neurčitosti. Přestože je jeho pohyb díky výkonným motorům velmi dynamický a stabilní i na kluzkém povrchu, jeho vizuální komunikace zůstává na čistě funkční úrovni. Černé nebo tmavě šedé barevné provedení podtrhuje jeho industriální určení, což však v otevřené krajině za nepříznivého počasí opět naráží na limity viditelnosti. Analýza tohoto modelu potvrzuje, že pro efektivní nasazení v horách je zapotřebí kombinace této extrémní mechanické odolnosti s citlivějším designovým přístupem k povrchové úpravě a uživatelskému rozhraní.

Designérská reflexe modelu B2 poukazuje na důležitost „vnitřního skeletu“ a výkonové rezervy pro pohyb v hlubokém sněhu nebo suťoviscích. Pro potřeby této diplomové práce je B2 referenčním bodem v otázce strukturální pevnosti a modulární nosnosti. Cílem je dosáhnout podobné úrovně odolnosti a nosnosti, avšak při zachování vizuálního jazyka a ergonomických parametrů pro přímou manipulaci člověkem v terénu.



Obr. 2-5 UNITREE B2 [7]

DEEPRobotics X30

Dalším analyzovaným zástupcem, který reprezentuje technologickou špičku v oblasti průmyslové inspekce a záchranných operací, je robot X30 od společnosti DeepRobotics. Tento model je navržen jako vlajková loď pro nasazení v extrémních podmínkách, což se odráží v jeho robustním konstrukčním řešení a pokročilé inteligenci. V kontextu horského prostředí je X30 relevantní především díky své schopnosti operovat v širokém spektru teplot a v nejtěžším terénu, kde je vyžadována vysoká míra autonomie a fyzické odolnosti.

Z hlediska tvarosloví se X30 vyznačuje vysoce technickým a industriálním vzhledem, který prioritizuje funkčnost a ochranu klíčových systémů. Krytování robota je koncipováno jako uzavřený celek s důrazem na čistotu ploch, což napomáhá ochraně proti vnějším vlivům. Na rozdíl od subtilnějších asistenčních modelů působí X30 vizuálně masivněji, což je podpořeno robustním kloubovým ústrojím a výrazným osazením senzorickými systémy. Tato tvarová konfigurace evokuje stabilitu a výkon, což jsou vlastnosti nezbytné pro pohyb v nestrukturovaném vysokohorském terénu, avšak pro laickou veřejnost může tento stroj působit jako ryze profesionální, až nepřístupný technologický prvek.

Rozměrově se X30 řadí k větším platformám, což mu umožňuje překonávat významné terénní nerovnosti, jako jsou suťoviště nebo vysoké schody. Výrazným designovým rysem je integrace pokročilého vnímání okolí, které robotu umožňuje bezpečnou navigaci i v naprosté tmě nebo v prostředí s nulovou viditelností, což je v horských podmínkách, kritická výhoda. Podobně jako u modelu Unitree B2, i u X30 výrobce nabízí vysokou míru flexibility a odolnosti, přičemž konstrukce je připravena na provoz v extrémních mrazech i vysokých teplotách, což z něj činí univerzální nástroj pro celoroční horské nasazení.

Z hlediska ergonomie a interakce je u X30 kladen důraz na autonomní schopnosti a inteligentní vyhýbání se překážkám. Z designérského pohledu je zajímavé, jak jsou jednotlivé senzory, včetně LiDARů a kamer, rozmístěny tak, aby poskytovaly 360° přehled bez narušení celkové siluety stroje. Barevné provedení obvykle využívá neutrální tmavé tóny, které zdůrazňují jeho profesionální zaměření. Analýza tohoto modelu potvrzuje potřebu vysokého stupně krytí a tepelné regulace, což jsou parametry, které v mém návrhu dále rozvíjím skrze specifické vlastnosti zvolených materiálů.[8]

Designérská reflexe modelu X30 ukazuje na důležitost spojení hrubé síly s jemnou sensorikou. Pro potřeby této diplomové práce slouží X30 jako příklad špičkově chráněné technologie, která se dokáže adaptovat na nepředvídatelné situace. Můj vlastní návrh na tuto analýzu navazuje snahou o polidštění těchto výkonných parametrů. Cílem je přenést tuto úroveň odolnosti a inteligence do formy, která bude pro uživatele v horském prostředí vizuálně čitelnější a ergonomicky přístupnější pro přímou manipulaci a spolupráci.



Obr. 2-6 DEEPRobotics X30 [8]

Dalším významným zástupcem v rámci této analýzy je model DeepRobotics Lynx, který do segmentu mobilní robotiky vnáší specifickou technologickou větev kolových kvadrupedů. Tento robot reprezentuje hybridní přístup k mobilitě, kde jsou tradiční končetiny zakončeny aktivními koly, což zásadně mění jeho dynamické vlastnosti, energetickou efektivitu i celkové designové vyznění v porovnání s čistě kráčejícími platformami. V kontextu horského prostředí je model Lynx relevantní především jako zástupce strojů určených pro rychlou reakci a přesun v kombinovaném terénu, kde se střídají zpevněné cesty s náročnými přírodními úseky.

Z hlediska tvarosloví a vizuální kompozice působí Lynx velmi subtilním a technicky orientovaným dojmem. Jeho šasi je minimalizováno na nezbytné nosné struktury chránící vnitřní elektroniku, zatímco dominantním vizuálním i funkčním prvkem jsou dlouhé končetiny s integrovanými koly. Tato konstrukce mu propůjčuje unikátní siluetu, která se výrazně liší od dříve zkoumaných modelů. Zatímco čistě kráčející roboti často evokují biologické formy, Lynx svým vzhledem připomíná spíše high-tech zařízení nebo futuristické vozidlo. Tento designový směr je pro horské prostředí zajímavý svou lehkostí, avšak z pohledu estetického působení na neproškolené uživatele může působit příliš strojově, co může zvyšovat bariéru při prvním kontaktu v odlehlých oblastech.

Klíčovým aspektem tohoto modelu je jeho schopnost transformace pohybu, která mu umožňuje dosahovat vysokých rychlostí při zachování schopnosti zdolávat strmé svahy či schody s nečekanou agilitou. Design kol je koncipován pro maximální trakci na různorodých površích, což je v horách nezbytné pro bezpečnou navigaci na mokřem kamení či šterku. Z pohledu designérské analýzy je u tohoto modelu zásadní řešení kloubových spojů, které musí odolávat kombinovanému namáhání, rázům při kráčení i odstředivým silám při rychlé jízdě. Tato technická komplexnost je u modelu Lynx vizuálně exponována, což podtrhuje jeho charakter profesionálního nástroje určeného pro specifické, časově kritické mise.

V oblasti ergonomie a interakce těží Lynx ze své schopnosti aktivně měnit postoj, což mu dovoluje přizpůsobit světlou výšku těla aktuální situaci nebo charakteru nákladu. Integrovaný senzorický systém zajišťuje plně autonomní pohyb, přičemž designérské zpracování přední části stroje směřuje k čistě funkčnímu uspořádání bez snahy o antropomorfní prvky. Barevné schéma využívající kombinaci černé, šedé a kovových prvků je pro značku DeepRobotics typické a v horském kontextu opět otevírá otázku viditelnosti a bezpečnosti. Analýza tohoto modelu přináší důležité poznatky o efektivitě hybridní lokomoce pro rychlou distribuci materiálu, zároveň však potvrzuje, že pro dosažení plné důvěry u veřejnosti v přírodním prostředí je nutné tento technicky orientovaný design doplnit o prvky, které stroj vizuálně zklidní.



Obr. 2-7 DEEPRobotics LYNX [9]

DEEPRobotics LYNX M20

Součástí hloubkového průzkumu trhu je také analýza modelu DeepRobotics Lynx, který představuje specifickou technologickou větev kolových kvadrupédů. Tento robot reprezentuje hybridní přístup k mobilitě, kde jsou tradiční končetiny zakončeny aktivními koly, což zásadně mění jeho dynamické vlastnosti, energetickou efektivitu i celkové designové vyznění v porovnání s čistě kráčejičnými platformami. V kontextu horského prostředí je tento model relevantní především jako zástupce strojů určených pro rychlou reakci a přesun v kombinovaném terénu, kde se střídají zpevněné cesty s náročnými přírodními úseky.

Z hlediska tvarosloví a vizuální kompozice působí Lynx velmi subtilním a technicky orientovaným dojmem. Jeho krytování je minimalizováno na nezbytné nosné struktury chránící vnitřní elektroniku, zatímco dominantním vizuálním i funkčním prvkem jsou dlouhé končetiny s integrovanými koly. Unikátním konstrukčním prvkem, který tento model odlišuje od většiny ostatních hybridních robotů, je integrace druhého motoru přímo do oblasti kolenního kloubu. Toto řešení s sebou přináší specifické výhody i konstrukční kompromisy. Pozitivním aspektem je skutečnost, že přesunem motoru do nižší části končetiny se uvolňuje drahocenný prostor v horní části kloubu a v hlavním krytu stroje, co designérům umožňuje integrovat do těla robota více doplňkových komponent, jako jsou výkonnější procesory, rozsáhlejší senzorické systémy nebo větší kapacita akumulátorů.

Na druhou stranu tato konfigurace představuje značnou výzvu pro dynamiku pohybu. Umístění motoru do kolene zvyšuje neodpruženou hmotnost končetiny a posouvá její těžiště dále od trupu. Motor v kyčelním kloubu, který zajišťuje zvedání celé nohy, tak musí vynakládat výrazně vyšší krouticí moment a námahu, aby překonal setrvačnost přidané hmoty motoru v koleni. Z pohledu designu do horského prostředí je tento aspekt kritický, neboť v náročném terénu s vysokou frekvencí kráčení může docházet k rychlejšímu opotřebení pohonů a zvýšené energetické náročnosti při vertikálním pohybu. Tato technická konfigurace propůjčuje modelu Lynx unikátní siluetu, která připomíná spíše high-tech sportovní náčiní než biologickou formu.

Klíčovým aspektem tohoto modelu je jeho schopnost transformace pohybu, která mu umožňuje dosahovat vysokých rychlostí při zachování schopnosti zdolávat strmé svahy či schody s nečekanou agilitou. Design kol je koncipován pro maximální trakci na různorodých površích, což je v horách nezbytné pro bezpečnou navigaci na mokrému kamení či štěrk. Z pohledu designérské analýzy je u tohoto modelu zásadní řešení kloubových spojů, které musí díky zmíněnému zdvojenému pohonnému systému odolávat kombinovanému namáhání. Tato technická komplexnost je u modelu Lynx vizuálně exponována, co podtrhuje jeho charakter profesionálního nástroje určeného pro specifické, časově kritické mise.

V oblasti ergonomie a interakce těží Lynx ze své schopnosti aktivně měnit postoj, což mu dovoluje přizpůsobit světlu výšku těla aktuální situaci nebo charakteru nákladu. Integrovaný senzorický systém zajišťuje plně autonomní pohyb, přičemž designérské zpracování přední části stroje směřuje k čistě funkčnímu uspořádání bez snahy o antropomorfní nebo zoomorfní prvky. Barevné schéma využívající kombinaci černé, šedé a kovových prvků je pro značku DeepRobotics typické a v horském kontextu opět otevírá otázku viditelnosti a bezpečnosti. Analýza tohoto modelu přináší důležité poznatky o efektivitě hybridní lokomoce, zároveň však potvrzuje, že pro dosažení plné důvěry u veřejnosti v přírodním prostředí je nutné tento technicky orientovaný design doplnit o prvky, které stroj vizuálně zklidní.



Obr. 2-8 DEEPRobotics LYNX M20 [10]

ANYmal

Při pokračování v analýze současných tržních řešení je nezbytné zaměřit pozornost na švýcarskou platformu ANYmal od společnosti ANYbotics. Tento robot představuje v segmentu kvadropedních systémů specifickou kategorii zaměřenou na vysokou míru odolnosti a plnou autonomii v nejtěžších industriálních podmínkách, což jej činí jedním z nejrelevantnějších zástupců pro srovnání s nároky horského prostředí. Z designérského hlediska ANYmal opouští snahu o organickou estetiku a definuje vizuální identitu postavenou na technické robustnosti, kde je každý tvarový prvek podřízen ochraně vnitřních systémů a funkční spolehlivosti.

Z hlediska tvarosloví a objemového řešení působí ANYmal ve srovnání s dříve analyzovanými modely výrazně masivnějším a techničtějším dojmem. Jeho šasi je navrženo jako plně uzavřený monoblok s vysokým stupněm krytí IP67, což mu umožňuje operovat v prostředí s vysokou vlhkostí, prachem a extrémními teplotami od -20 °C do 55 °C. Tato tvarová konfigurace, charakteristická širokým postojem a robustními klouby, evokuje stabilitu a mechanickou nezničitelnost. Pro horské nasazení je tento vizuální jazyk srozumitelný jako projev profesionálního pracovního stroje, avšak v kontextu interakce s širokou veřejností může působit až příliš industriálně a neosobně. Absence měkkých linií a přiznaná konstrukční tuhost vytváří obraz nástroje, který prioritizuje výkon nad přívětivostí formy.[11]

Rozměrově se ANYmal řadí k větším platformám s výškou v kráčivém režimu přibližně 872 mm až 890 mm a hmotností kolem 50 kg, což může s inspekční výbavou narůst až na 60 kg. Tato velikost mu propůjčuje schopnost překonávat vertikální překážky do výšky 230 mm a pohybovat se v hlubokém sněhu nebo suťoviscích s vysokou mírou jistoty. Výrazným rysem jeho designu je integrace senzorické hlavy osazené na pan-tilt jednotce, která spolu s 360° LiDAREm a šesti hloubkovými kamerami poskytuje komplexní prostorové vnímání. Z designérské reflexe vyplývá, že ochrana těchto citlivých prvků je vyřešena s mimořádným důrazem na integritu celku skrze ochranné rámy a kryty z uhlíkových vláken. Na rozdíl od lehčích asistenčních robotů je zde sensorika vnímána jako nedílná, chráněná součást těla, nikoliv jako externí nástavba, což je princip kriticky důležitý pro dlouhodobé přežití techniky v horském klimatu.[11]

V oblasti ergonomie a uživatelské interakce sází ANYbotics na vysokou míru nezávislosti na operátorovi, kdy je robot schopen autonomního plánování trasy a samostatného návratu k nabíjecí stanici. Design obsahuje bezpečnostní prvky jako hardwarové tlačítko nouzového zastavení, výstražná světla a ergonomická madla pro bezpečnou manipulaci jedním operátorem. Vizualní komunikace s okolím je však primárně funkční, založená na stavové signalizaci. Pro turisty nebo záchranáře v horách tento design nenabízí mnoho intuitivních styčných bodů pro přímou fyzickou spolupráci, což opět otevírá prostor pro inovaci v mém návrhu, kde se snažím propojit tuto industriální spolehlivost s prvky usnadňujícími lidskou asistenci a manipulaci v terénu.

Analýza robota ANYmal potvrzuje, že pro dosažení skutečné odolnosti v extrémních podmínkách je nezbytné obětovat část subtilnosti ve prospěch strukturální pevnosti. Pro potřeby mé diplomové práce slouží tento model jako klíčová reference pro návrh vnitřního uspořádání a krytování, které musí odolat jak klimatickým vlivům, tak mechanickému namáhání při pohybu v horském masivu. Současně však analýza poukazuje na nutnost hledat vizuální kompromis, který by tuto inženýrskou robustnost zjemnil a učinil ji přijatelnější pro pohyb v chráněných krajinných oblastech mezi lidmi.



Obr. 2-9 ANYMAL [11]

PUDU D5 Series

Dalším analyzovaným zástupcem je model Pudu D5, který představuje vstup společnosti Pudu Robotics do segmentu průmyslových a venkovních kvadрупédních systémů. Tento robot je navržen pro náročné operace v komplexních prostředích, jako jsou průmyslové areály, letiště či rozlehlé venkovní lokality, kde se uplatňuje při inspekcích, patrolách a logistické podpoře. Z designérského hlediska D5 kombinuje robustní industriální konstrukci s pokročilými prvky multimodální interakce, což z něj činí vysoce relevantní subjekt pro zkoumání ergonomie a srozumitelnosti technologie v přímém kontaktu s lidmi.

Z hlediska tvarosloví a objemového řešení působí Pudu D5 jako kompaktní, stabilní a vizuálně ucelený stroj. Jeho šasi o rozměrech $900 \times 543 \times 572$ mm v základním postoji je vyrobeno z vysokopevnostního hliníku, což mu dodává nezbytnou strukturální tuhost při zachování relativně příznivé hmotnosti 61 kg. Konstrukce je navržena jako plně uzavřený systém s certifikací IP67, což zaručuje absolutní odolnost proti prachu a schopnost pracovat v dešti či sněhu. Pro horské prostředí je tento designový přístup zásadní, neboť umožňuje spolehlivý provoz v teplotním rozmezí od -20 °C do 55 °C , včetně schopnosti tzv. studeného startu při teplotách pod -10 °C . Vizuální identita stroje je definována funkčním rozčleněním ploch, které integruje duální 3D LiDARy a čtyři širokoúhlé kamery tak, aby byl zajištěn plný 360° přehled o okolí bez narušení čistoty siluety.[12]

V oblasti ergonomie a uživatelské interakce přináší Pudu D5 inovativní přístup v podobě podpory hlasových příkazů a více než deseti přirozených gest. Tato multimodální interakce, podpořená soustavou šesti mikrofónů s algoritmy pro potlačení šumu a lokalizaci zvuku, umožňuje intuitivní spolupráci na místě i v hlučném venkovním prostředí. Pro turisty nebo záchranáře v horách, kteří nemusí mít zkušenosti s ovládáním robotiky, představuje možnost řízení gesty nebo hlasem významné snížení bariéry a zvýšení bezpečnosti při setkání s robotem. Robot navíc disponuje funkcí autonomního následování člověka s prediktivním plánováním pohybu, což z něj činí ideálního asistenta pro transport materiálu do hmotnosti 30 kg při zachování stabilního a bezpečného odstupu od uživatele.[12]

Pudu D5 je rovněž nabízen v hybridní variantě s koly integrovanými do končetin, což mu umožňuje dosahovat rychlosti až 5 m/s na rovném povrchu při zachování schopnosti zdolávat 30° stoupání a překonávat schody do výšky 25 cm v kráčivém režimu. Tato dualita pohybu je v horské krajině vysoce efektivní, neboť dovoluje robotu energeticky úspornou jízdu po přístupových cestách a obratné kráčení v suťoviscích či na strmých stezkách. Analýza tohoto modelu potvrzuje, že integrace srozumitelných interakčních prvků s vysokou mechanickou odolností je cestou k vytvoření důvěryhodného robotického partnera. Pro návrh je Pudu D5 referenčním bodem především v oblasti zapojení gest a hlasu do designu rozhraní.[12]



Obr. 2-10 PUDU D5 Series [12]

Při kritickém zhodnocení modelu MagicLab Dog-W z pohledu průmyslového designu narážíme na zásadní sémantický problém, který představuje výrazné negativum pro záměry této diplomové práce. Ačkoliv přidání hlavy nad rámec standardního senzorického bloku v trupu zvyšuje srozumitelnost směru pohledu, v celkové kompozici s hybridními končetinami se robot začíná blížit doslovné psí figuraci. Tento posun k přílišné zoofomii je z designérského hlediska problematický, neboť může vyvolávat nerealistická očekávání ohledně chování stroje nebo naopak působit znepokojivě (tzv. efekt Uncanny Valley), kdy se stroj snaží příliš věrně napodobit živého tvora, místo aby si zachoval svou identitu technologického nástroje.

Z hlediska interakce v horském prostředí je toto „psí“ vzezření kontraproduktivní. Pokud se robot tvarem i pohybem příliš identifikuje se zvířetem, přestává být vnímán jako profesionální asistent a začíná být posuzován skrze emoce spojené s domácími mazlíčky, což může komplikovat jeho autoritu při záchranných misích nebo logistických úkolech. Přítomnost hlavy u Dog-W tak sice řeší problém s orientací, ale činí tak za cenu ztráty estetické autonomie stroje. Tento aspekt je v přímém rozporu s cíli mého vlastního návrhu, kde je žádoucí zachovat funkční čitelnost, ale zároveň se striktně vyhnout doslovné imitaci psí anatomie, aby byl robot vnímán jako svébytný průmyslový produkt.

Konstrukce hlavy u Dog-W navíc v kombinaci s hybridním systémem lokomoce využívajícím aktivní kola ještě více zdůrazňuje tento biologický charakter. I když integrace kol na koncích končetin dovoluje robotu přepínat mezi jízdou a kráčením a hlava mu poskytuje vizuální orientaci pro vysokorychlostní pohyb na vhodném terénu, výsledný vizuální dojem působí nekonzistentně. Design zde balancuje na hraně mezi hračkou a profesionálním strojem, což v náročném vysokohorském klimatu snižuje důvěryhodnost technologie jakožto robustního a spolehlivého systému pro transport nákladu v krizových situacích.

Designérská reflexe modelu MagicLab Dog-W tak slouží jako varování před přílišnou antropomorfizací či zoomorfizací. Cílem je vytvořit stroj, který je srozumitelný a přívětivý nikoliv proto, že vypadá jako pes, ale proto, že jeho forma jasně a upřímně komunikuje jeho funkci, odolnost a zaměření na pomoc člověku v horách.



Obr. 2-11 MagicDog-W [13]

2.3 Technická analýza

Hlavním účelem technické analýzy v rámci této práce není detailní konstrukční vývoj jednotlivých subsystémů, ale především prostorová a funkční validace navrženého konceptu. Tato kapitola slouží jako kritické posouzení vzájemných vazeb mezi vnější formou robota a jeho nezbytným vnitřním vybavením. Cílem je ověřit, zda zvolené tvarosloví a rozměry těla poskytují dostatečný objem pro zástavbu klíčových komponent, jako jsou pohonné jednotky, energetické články a senzorická soustava, aniž by došlo k narušení estetických či ergonomických kvalit návrhu.

Proces zjišťování parametrů a principů fungování jednotlivých systémů je zde chápán jako podklad pro definování celkových proporcí stroje. Analýza se zaměřuje na objemové nároky mechanických kloubů, prostorové uspořádání řídicí elektroniky a nezbytné zorné úhly senzorů, které přímo determinují finální siluetu a členění povrchu robota. Výsledkem této kapitoly je tedy potvrzení, že navržený asistenční robot disponuje reálnou vnitřní architekturou, která odpovídá fyzikálním nárokům na provoz v horském terénu, a že zvolené rozměry komponent jsou v souladu s celkovým měřítkem a hmotnostní bilancí stroje.

2.3.1 Analýza koncepce pohybu a kinematiky

Analýza stupňů volnosti (DoF)

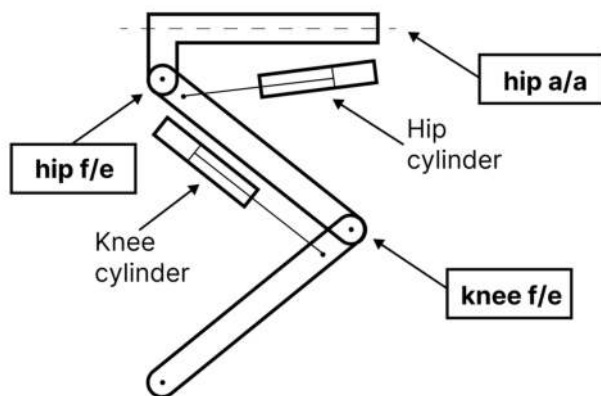
Konstrukce končetin krácejícího robota a definice jejich stupňů volnosti (Degrees of Freedom – DoF) jsou základními parametry určujícími jeho manévrovatelnost a schopnost adaptace na nekonsolidovaný terén. Pro zajištění plné prostorové mobility, která je nezbytná pro operace ve vysokohorském prostředí či v sutinách, je u moderních čtyřnohých platforem standardem konfigurace se 12 aktivními stupni volnosti (viz. Obr. 2-12). V tomto uspořádání disponuje každá ze čtyř končetin třemi nezávislými klouby, co umožňuje transformaci polohy chodidla do libovolného bodu v rámci jeho pracovního prostoru.[14]

HAA (Hip Abduction-Adduction): Kyčelní kloub s osou rotace v podélném směru těla robota. Tento stupeň volnosti umožňuje „rozkročení“ končetin, což je kritické pro aktivní udržování stability při bočním náklonu a pro schopnost pohybu do stran bez nutnosti rotace celého šasi.[14]

HFE (Hip Flexion-Extension): Kyčelní kloub zajišťující dopředný a zpětný švih. Tento komponent nese primární zátěž při překonávání vertikálních překážek a stoupání.[14]

KFE (Knee Flexion-Extension): Kolenní kloub, který ve spolupráci s HFE určuje výšku trupu nad terénem a zajišťuje absorpci rázů při dopadu chodidla na podložku.[14]

Využití 12 stupňů volnosti představuje optimální kompromis mezi mechanickou složitostí a funkčními schopnostmi. Tato konfigurace je minimálním požadavkem pro realizaci pokročilých algoritmů stability, které dokážou reagovat na nečekané změny v terénu, jako je například podklouznutí končetiny na suti či ledu. Absence abdukčního kloubu (konfigurace s pouhými 8 DoF) by dramaticky omezila schopnost robota korigovat polohu těžiště v bočním směru, co je v členitém horském terénu z hlediska bezpečnosti problematické.[14]



Obr. 2-12 Končetina [14]

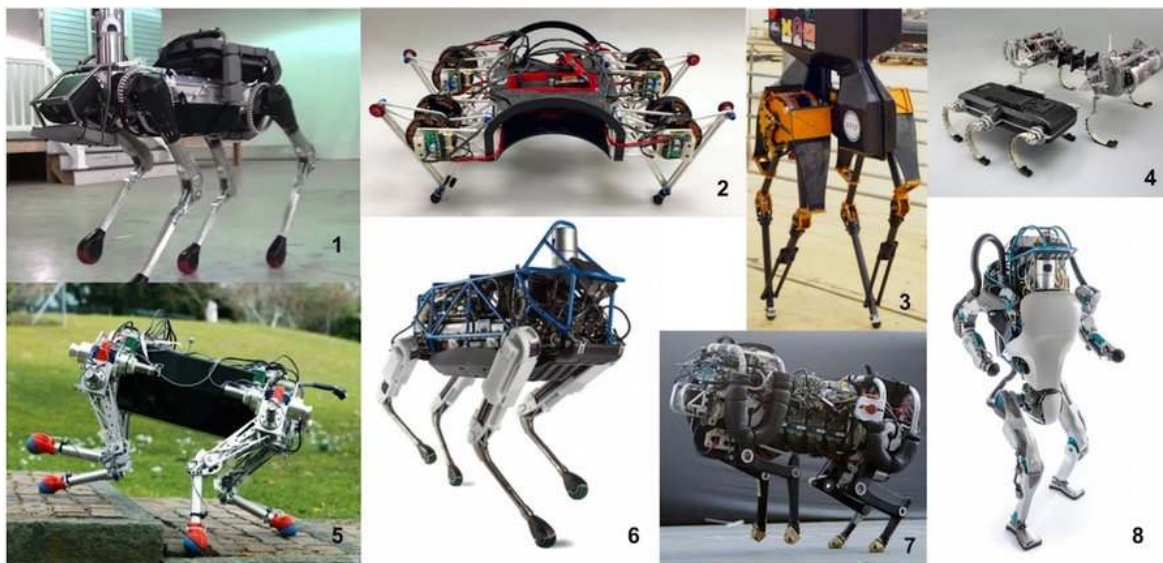
Konfigurace končetin

Geometrické uspořádání končetin a orientace jejich kloubů zásadně ovlivňují stabilitu a energetickou náročnost platformy. V robotice se standardně rozlišují dva základní koncepční přístupy podle orientace kloubů vůči trupu: hmyzí a savčí konfigurace (viz. Obr. 2-13).[15]

Hmyzí konfigurace (Insect-like): Končetiny jsou vyvedeny do stran od šasi. Výhodou je široká opěrná báze, která poskytuje vysokou statickou stabilitu. Nevýhodou je však vysoké zatížení motorů v klidovém stavu, protože váha robota působí na velké páce, což vede k vysoké spotřebě energie.[15]

Savčí konfigurace (Mammal-like): Končetiny jsou umístěny přímo pod tělem stroje. Tato orientace minimalizuje ramena sil působících na motory, protože většina hmotnosti je přenášena v ose končetin přímo do země. Pro horského záchraného robota je tato konfigurace zvolena z důvodu vyšší energetické efektivity a schopnosti pohybu v úzkých prostorech.[15]

Tato volba je klíčová pro pohyb v členitém terénu, protože savčí uspořádání umožňuje užší profil robota a lepší prostupnost mezi překážkami.[15]



Obr. 2-13 Mammal/Insect [16]

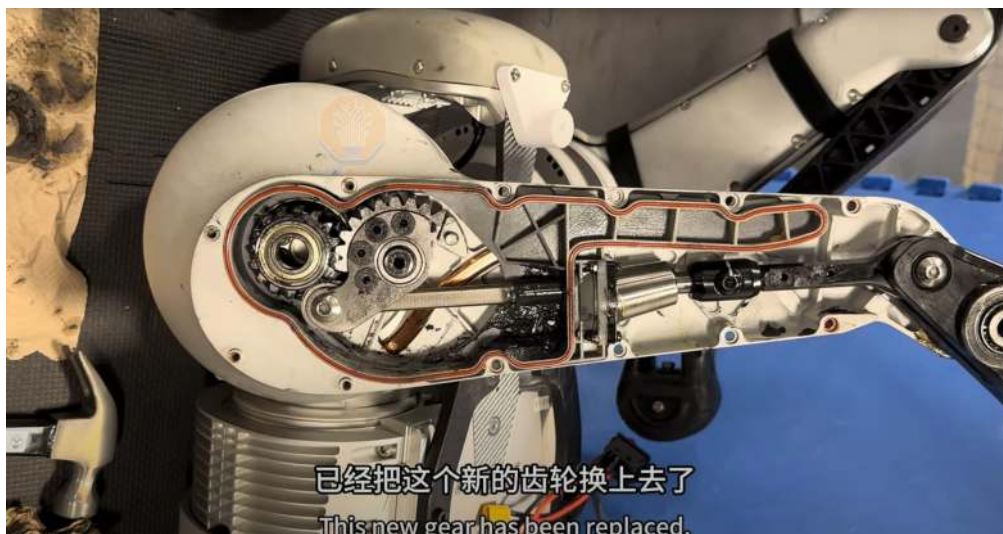
Rozložení motorů

Konstrukce moderních kvadrupedů, jako jsou modely od společnosti Unitree, využívá strategické umístění všech aktuátorů do horní části končetiny v blízkosti trupu. Tato centralizace hmoty je kritická pro snížení momentu setrvačnosti nohy, což umožňuje vysokou dynamiku pohybu a rychlou reakci na nerovnosti terénu. Celý mechanismus se skládá ze tří hlavních modulů:

Hip Roll Motor (Kyčelní rotace): Tento motor představuje primární ukotvení končetiny k šasi robota. Zajišťuje pohyb v rovině frontální (abdukci a addukci), což robotovi umožňuje aktivní stabilizaci bočního náklonu a změnu směru chůze. Aktuátor je zpravidla vybaven planetovou převodovkou s vysokým redukčním poměrem, která musí odolávat značným silám při bočních nárazech.

Hip Pitch Motor (Kyčelní ohyb): Druhý motor v řadě je upevněn na modulu roll motoru a jeho osa je orientována kolmo k ose těla. Zajišťuje pohyb stehna v rovině dopředu a dozadu. Společně s kolenním motorem tvoří hlavní pohonnou dvojici pro vertikální pohyb a dopředný odraz. U moderních architektur je tento motor často umístěn ve stejné ose s motorem kolenním, což zjednodušuje mechanickou stavbu kyčelního kloubu.

Knee Motor (Kolenní motor): Přestože tento aktuátor ovládá kolenní kloub, je z důvodu minimalizace hmotnosti pohyblivých částí umístěn rovněž v horní části stehna, v ose kyčle. Přenos krouticího momentu na samotné koleno je realizován skrze mechanický převod, nejčastěji pomocí paralelogramového táhla (linkage system) nebo vysokopevnostního ozubeného řemene. Toto řešení odděluje hmotnou část pohonu od bérce, který tak může zůstat lehký a štíhlý (viz. Obr.2-14). Výsledná kinematika vyžaduje softwarovou kompenzaci, neboť pohyb kolene je mechanicky svázán s úhlem natočení kyčle, co je klíčový prvek pro výpočet inverzní kinematiky celé končetiny.[17]



Obr. 2-14 Kolenní motor[17]

Pracovní prostor končetin

Pracovní prostor končetiny představuje souhrn všech dosažitelných bodů, do kterých může robot umístit své chodidlo vzhledem k fixnímu bodu na šasi (typicky ke kyčli). Velikost a tvar tohoto prostoru jsou definovány délkou jednotlivých segmentů nohy (stehno a holeně) a rozsahem povolených úhlů v kloubech. Pro pohyb v náročném terénu je cílem navrhnout takovou geometrii, která maximalizuje objem tohoto prostoru, zejména ve vertikálním směru.[18]

Z hlediska funkčnosti lze pracovní prostor rozdělit na dvě klíčové oblasti:

Předozadní dosah: Určuje maximální délku kroku. Větší horizontální rozsah umožňuje robotu překonávat širší trhliny a dosahovat vyšších rychlostí při zachování stability.[18]

Vertikální zdvih: Je zásadní pro překonávání překážek. Savčí uspořádání kloubů umožňuje, aby se chodidlo v rámci svého pracovního prostoru dostalo i vysoko nad úroveň kyčle. To stroji dovoluje „vyskočit“ končetinou na vysoký skalní stupeň nebo schod, který je vyšší než světlá výška jeho podvozku.[18]

Důležitým prvkem je schopnost měnit orientaci kloubů. Robot může pracovat v režimu s koleny směřujícími vpřed nebo vzad, čímž efektivně posouvá těžiště pracovního prostoru. Zatímco orientace vpřed je vhodnější pro plynulý dopředný pohyb, orientace vzad často rozšiřuje prostor přímo pod trupem, což zvyšuje obratnost při manévrování v úzkých prostorech.

Hybridní kolová kráčející lokomoce

Specifickou modifikací koncepce pohybu je integrace aktivních kol na konce robotických končetin. Tento hybridní přístup kombinuje energetickou efektivitu kolových podvozků s terénní prostupností kráčejících strojů. V kontextu horské záchranné mise tato konfigurace výrazně rozšiřuje operační rádius robota, neboť umožňuje rychlý přesun po zpevněných cestách a údolních nástupech, zatímco v extrémně členitém terénu zůstává zachována plná schopnost kráčení.

Klíčové výhody této koncepce zahrnují:

Energetická efektivita a rychlost: Na rovnějším povrchu robot nevyužívá energeticky náročný cyklus kroku, ale přechází do režimu jízdy. Tím dochází k výraznému snížení mechanických ztrát a tření, což prodlužuje výdrž baterie na jedno nabití. Rychlost přesunu v tomto režimu může dosahovat hodnot přesahujících 20 km/h, což je u čistě kráčejících strojů prakticky nedosažitelné.[19]

Transformace kinematiky: Kola na koncích nohou nejsou pouze pasivními prvky. Řídicí systém může využívat stupně volnosti končetin k aktivnímu vyrovnávání náklonu trupu i během jízdy (tzv. aktivní odpružení). V momentě, kdy robot narazí na překážku, kterou nelze přejet (např. vysoký skalní stupeň), dojde k elektronickému uzamčení kol, která v ten moment začnou plnit funkci standardních pevných chodidel s vysokou trakcí.[19]

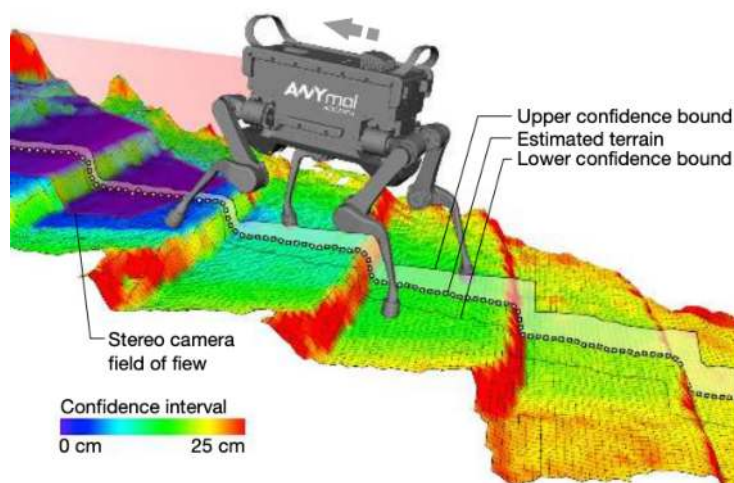
Kombinované pohybové vzorce: Hybridní platformy umožňují provádět pohyby, které jsou pro běžné roboty nemožné, jako je například současné bruslení a kráčení. Tato schopnost je výhodná na smíšených površích, jako jsou zledovatělé plochy s vyčnívajícími kameny, kde robot může jednu nohu používat jako stabilizační oporu a ostatní k pohonu.[19]

2.3.2 Senzorické systémy a vnímání

Proces vnímání u kráčejiho robota v horském terénu představuje jeden z nejsložitějších úkolů autonomního řízení. Na rozdíl od kolových platform, které se pohybují po spojitém povrchu, musí kráčeji stroj neustále vyhledávat diskrétní body opory. Percepce okolí tak není pouze doplňkovou funkcí pro navigaci, ale stává se integrální součástí lokomočního cyklu. Robot musí v reálném čase transformovat surová data ze snímačů do podoby, která mu umožní predikovat stabilitu podkladu dříve, než na něj přenese svou plnou hmotnost.

Principy vizuální hloubkové analýzy

Klíčovým prvkem pro detailní rekonstrukci terénu v bezprostřední blízkosti stroje je technologie RGB-D (Red-Green-Blue-Depth). Na rozdíl od běžných kamer, které zachycují pouze intenzitu světla a barvu v ploše, RGB-D senzory poskytují ke každému barevnému pixelu také informaci o jeho přesné vzdálenosti od optického středu kamery (viz. Obr. 2-15). Tato data jsou následně reprezentována ve formě hloubkové mapy nebo mračka bodů, které definuje geometrii okolního světa.[20]



Obr. 2-15 RGB-D [20]

V náročném horském prostředí, kde se robot setkává s extrémními světelnými kontrasty, sněhem nebo mokřými skálami, se v rámci RGBD technologie uplatňují dva základní principy získávání hloubkových dat.

Aktivní stereoskopie: Tento přístup využívá dvojici optických snímačů doplněnou o infračervený projektor. Projektor do scény vysílá strukturovaný vzor (pseudonáhodné mračko bodů), který je pro lidské oko neviditelný. Optické snímače následně tento vzor zachytí a na základě jeho deformace a vzájemného posunu (disparity) vypočítají hloubku. Tato metoda je pro horského robota zásadní, neboť umožňuje vnímání hloubky i na texturově chudých površích, jako je čerstvě napadaný sníh, kde by pasivní systémy založené pouze na viditelném světle selhaly.[20]

Time-of-Flight (ToF) analýza: Tento princip pracuje s vysíláním světelných pulzů a měřením času, který paprsek potřebuje k dosažení překážky a návratu k senzoru. RGBD kamery založené na ToF principu vynikají vysokou obnovovací frekvencí a nízkou výpočetní náročností na straně robota. V horách však mohou čelit výzvám v podobě interference s přímým slunečním zářením, které obsahuje silnou infračervenou složku, což může vést ke zvýšení šumu v hloubkové mapě.[20]

Integrace RGB-D technologie umožňuje robotu vytvářet lokální mapy výšek (elevation maps) s milimetrovou přesností. Tato data jsou nezbytná pro algoritmy plánování kroků, které v reálném čase vyhodnocují, zda je vybraný kámen dostatečně velký pro bezpečný došlap, nebo zda se v cestě nenachází úzká trhlina, kterou by vizuální systém bez hloubkové složky mohl interpretovat pouze jako stín.[20]

Kombinací barevného obrazu (RGB) a hloubkové složky (D) získává řídicí systém schopnost nejen vidět geometrii překážky, ale i sémanticky analyzovat její povrch. Například odlišit pevnou skálu od měkkého nánosu bláta či listí, což je pro stabilitu kráčejícího stroje v horách naprosto kritické.

Inerciální stabilizace (IMU)

Inerciální měřicí jednotka (IMU – Inertial Measurement Unit) představuje pro robota klíčový smysl pro rovnováhu a orientaci v prostoru. Zatímco vizuální senzory (RGB-D) informují stroj o tom, co se děje v jeho okolí, IMU mu poskytuje data o jeho vlastním stavu. Tedy jak je nakloněn a jakým směrem a silou se pohybuje. V horském terénu, kde dochází k neustálým otřesům a nestabilitě podkladu, funguje IMU jako okamžitá zpětná vazba, která umožňuje udržet trup v bezpečné poloze.[21]

Základní IMU jednotka se skládá ze dvou (případně tří) hlavních typů vnitřních senzorů, které pracují na principu setrvačnosti:

Akcelerometr (Snímač zrychlení): Tento senzor měří lineární zrychlení ve třech osách (x, y, z). V klidovém stavu akcelerometr neustále detekuje tíhové zrychlení Země (g). Díky tomu robot v každém okamžiku ví, kterým směrem působí gravitace, a dokáže tak určit svůj statický náklon vůči horizontu. Tato informace je nezbytná pro to, aby se robot nepřevrátil při stání v prudkém svahu.[21]

Gyroskop (Snímač úhlové rychlosti): Měří rychlost rotace kolem tří os. Na rozdíl od akcelerometru nereaguje na gravitaci, ale na změnu směru. Pokud noha robota nečekaně sklouzne po mokřím kameni, gyroskop zaznamená náhlý výkyv trupu mnohem dříve, než to dokáže zpracovat vizuální systém. Umožňuje tak řídicímu algoritmu provést bleskovou korekci postoje.[21]

Data z těchto senzorů jsou v reálném čase matematicky kombinována. Zatímco akcelerometr je přesný z dlouhodobého hlediska (určení svislého směru), gyroskop je extrémně přesný při zachycení rychlých, krátkodobých pohybů. Jejich spojením získává robot stabilní a plynulý odhad své orientace v prostoru.

Pro horského záchranného robota je IMU naprosto nepostradatelná, protože mu umožňuje „cítit“ dynamiku vlastního pohybu. I v situaci, kdy by došlo k oslepení kamer (např. prachem nebo hustou mlhou), dokáže robot díky inerciální stabilizaci udržet rovnováhu a bezpečně se zastavit nebo pokračovat v chůzi za využití vnitřního odhadu polohy.[21]

Přídavná detekce (LiDAR)

Zatímco RGB-D kamery slouží k detailní analýze povrchu v bezprostřední blízkosti nohou, pro globální navigaci a orientaci v rozsáhlém, neznámém nebo tmavém prostředí (např. jeskyně či hustý les) se využívá technologie LiDAR (Light Detection and Ranging). U čtyřnohých robotů je tento senzor klíčový pro schopnost autonomního průzkumu, kdy robot musí v reálném čase vytvářet mapu prostředí a zároveň v ní plánovat bezpečnou trasu.[22]

Hlavní přínosy LiDARu pro čtyřnohé platformy v náročném terénu zahrnují:

Vysoká přesnost na velké vzdálenosti: Na rozdíl od kamer, jejichž přesnost s rostoucí vzdáleností klesá, LiDAR poskytuje konzistentní a milimetrově přesná data až na vzdálenost desítek metrů. To umožňuje robotu identifikovat schůdné cesty v suťovišti dříve, než se k nim fyzicky přiblíží.[22]

Odolnost vůči světelným podmínkám: LiDAR je aktivní senzor (vysílá vlastní laserové paprsky), jeho funkce tedy není závislá na okolním osvětlení. To je kritické pro záchranné mise v noci nebo v hlubokých skalních stínech.

Robustní lokalizace v pohybu: Čtyřnohé roboty se při chůzi neustále otřásají. LiDAR ve spojení se specializovanými algoritmy dokáže tyto otřesy odfiltrvat a vytvořit stabilní 3D model okolí, tzv. mračno bodů (point cloud). Studie potvrzuje, že LiDAR je nejspolehlivějším senzorem pro udržení orientace robota v členitém terénu, kde vizuální orientační body (textury) často chybí.

Taktilní odezva

Taktilní vnímání je schopnost robota detekovat a měřit fyzickou interakci mezi jeho končetinou a vnějším prostředím. Zatímco vizuální senzory mapují prostor bezkontaktně, taktilní senzory poskytují přímou informaci o silách působících v bodě dotyku. Pro kráčejiho robota v horském terénu je tento smysl klíčový pro určení fyzikálních vlastností povrchu, jako je tvrdost, drsnost nebo stabilita podkladu.

Základní principy taktilního vnímání zahrnují:

Vnímání sil a momentů (Force/Torque Sensing): Tento princip je založen na měření mikroskopických deformací materiálu chodidla při kontaktu se zemí. Nejčastěji se využívají tenzometry. Malé rezistory, které mění svůj elektrický odpor v závislosti na mechanickém namáhání. Tímto způsobem robot získá přesnou informaci o velikosti a směru reakční síly podložky. Tato data jsou nezbytná pro algoritmy udržování rovnováhy, které musí rozložit váhu stroje tak, aby nedošlo k podklouznutí.[23]

Taktilní matrice (Tactile Arrays): Jedná se o hustou síť malých dotekových bodů na spodní straně chodidla (podobně jako receptory v lidské kůži). Tyto senzory umožňují robotu rozpoznat tvar předmětu, na který šlápl (např. ostrou hranu kamene nebo větve). Umožňují tak detekovat i mikroskopické prokluzu dříve, než se změní v nekontrolovaný pád.[23]

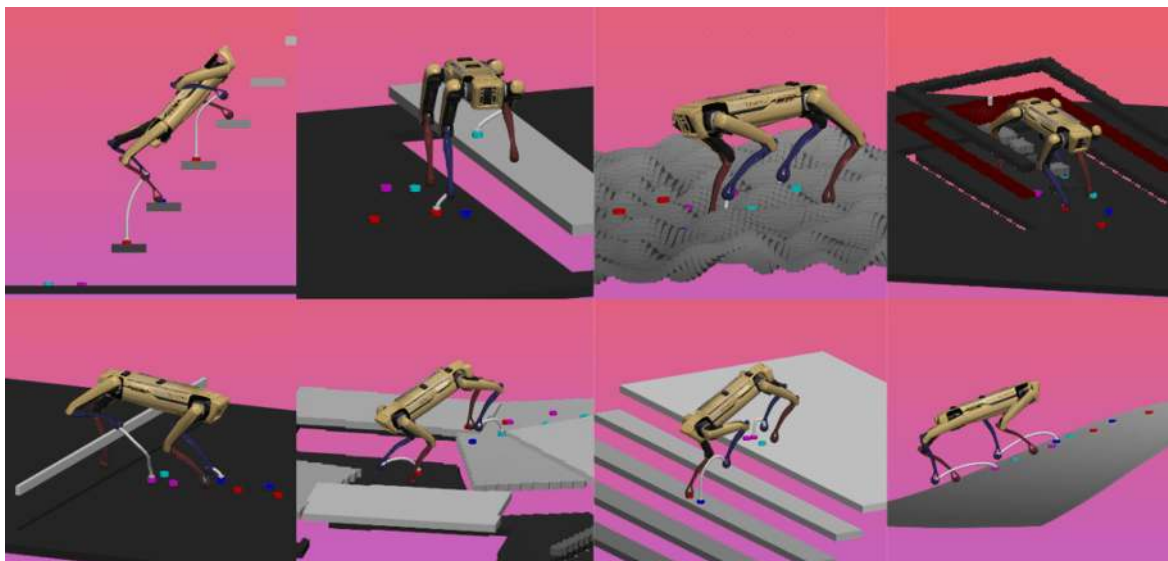
Proprioceptivní odhad kontaktu: V aplikacích, kde nelze použít senzory přímo na chodidlech kvůli jejich mechanickému namáhání v sutích, se využívá nepřímé měření. Každý elektrický pohon (motor) v kloubu vykazuje při setkání s odporem nárůst krouťacího momentu. Sledováním proudových špiček v motorech tak robot dokáže „vycítit“ kontakt s překážkou, aniž by měl na noze specializovaný snímač.[23]

Taktilní vnímání slouží jako finální verifikace dat z vizuálních systémů. Pokud vizuální analýza vyhodnotí bod jako pevnou plochu, ale taktilní odezva ukáže nízký odpor nebo pohyb podkladu (např. syká sut'), robot okamžitě přerušuje přenos váhy na danou končetinu a hledá stabilnější bod opory.[23]

Integrace vnímání

Moderním trendem v oblasti řízení kráčejících robotů je odklon od klasických, ručně programovaných algoritmů směrem k metodám založeným na umělé inteligenci, konkrétně na posilovaném učení (Reinforcement Learning – RL). Tato technologie umožňuje robotu vytvořit si mnohem robustnější spojení mezi senzorickými vstupy a fyzickou reakcí v reálném čase.

Princip posilovaného učení spočívá v tom, že se robot (často nejprve v digitální simulaci) učí metodou pokusu a omylu (viz. Obr. 2-16). Za správné provedení pohybu (udržení rovnováhy, efektivní překonání překážky) získává virtuální „odměnu“, zatímco za pád nebo neefektivní pohyb je penalizován.



Obr. 2-16 Trénink robota [24]

Využití RL přináší do vnímání okolí zásadní výhody:

Adaptabilita na neznámé povrchy: Zatímco klasické algoritmy mohou selhat, pokud se robot setká s povrchem, na který nebyl naprogramován (např. kluzká suť kombinovaná s vysokou trávou), systém založený na RL se dokáže adaptovat na základě zkušeností ze simulací, které obsahovaly tisíce podobných scénářů.[24]

Fúze dat "vše v jednom": RL umožňuje řídicímu systému zpracovávat data z IMU, hmatových senzorů i hloubkových kamer současně jako jeden komplexní proud informací. Robot se tak naučí „instinktivně“ kombinovat vizuální odhad terénu s tím, co skutečně cítí pod nohama.[24]

Odolnost proti chybám senzorů: Pokud dojde k zašumění dat z LiDARu nebo k dočasnému výpadku kamer, RL model, který prošel tréninkem s úmyslně zkreslenými daty, dokáže na tyto výpadky reagovat mnohem pružněji než rigidní matematický model.

Díky nasazení posilovaného učení se moderní čtyřnozí roboti stávají schopnějšími v dynamických pohybech, jako je běh v hlubokém sněhu nebo šplhání po volných kamenech, kde je interakce s terénem příliš komplexní pro tradiční inženýrské výpočty.[24]

2.3.3 Řídicí architektura a autonomie

Návrh řídicí architektury pro čtyřnohého robota operujícího v horském terénu představuje zásadní výzvu, která spočívá v nutnosti transformovat velké objemy heterogenních senzorických dat na precizní mechanický pohyb. Zatímco senzorické systémy popsané v předchozích kapitolách tvoří „smysly“ stroje, řídicí architektura představuje jeho nervovou soustavu a rozhodovací mechanismy. Hlavním cílem této architektury je zajistit vysokou míru autonomie, která robotu umožní bezpečně se pohybovat v nepředvídatelném prostředí bez nutnosti neustálého zásahu lidského operátora. To vyžaduje systém, který je schopen nejen reagovat na bezprostřední hrozby, jako je ztráta stability, ale také strategicky plánovat další postup v rámci záchranné mise.

Hierarchie řízení

Řízení čtyřnohého záchranného robota v extrémním terénu představuje jeden z nejkompexnějších problémů současné robotiky, neboť vyžaduje paralelní řešení úloh s diametrálně odlišnými nároky na výpočetní čas a přesnost. Aby byl stroj schopen bezpečně operovat v nepředvídatelném horském prostředí, musí jeho řídicí systém efektivně propojovat strategické plánování trasy s bleskovými reakcemi, které zabraňují pádu při uklouznutí nebo náhlé změně stability podkladu. Tohoto cíle je dosahováno implementací hierarchické řídicí architektury, která dekomponuje celkový problém lokomoce do několika funkčních vrstev s jasně definovanými kompetencemi. Tato struktura v mnoha ohledech simuluje biologické principy známé z nervové soustavy vyšších živočichů, kde se abstraktní rozhodování v mozkové kůře odděluje od automatických pohybových vzorců v míše.

Vysoká úroveň řízení (High-level control): Představuje strategické centrum robota. Tato vrstva pracuje s nejkompexnějšími daty z dálkových senzorů, jako je LiDAR, a integruje je do globálních map prostředí. Jejím hlavním úkolem je sémantické vnímání okolí a určování celkové trajektorie pohybu z bodu A do bodu B. Tato úroveň identifikuje rozsáhlé překážky, jako jsou skalní stěny či propasti, a volí optimální rychlost postupu. Jelikož se globální cíle nemění v milisekundových intervalech, pracuje tato vrstva s relativně nízkou obnovovací frekvencí, což umožňuje procesoru věnovat více kapacity náročnému zpracování 3D obrazu.[25]

Střední úroveň řízení (Mid-level control): Funguje jako nezbytný most mezi abstraktní strategií a fyzickou realizací pohybu. Tato vrstva je zodpovědná za plánování jednotlivých kroků (foothold planning) a trajektorií trupu, přičemž čerpá data primárně z RGBD senzorů. V rámci této úrovně probíhá analýza terénu v bezprostřední blízkosti robota za účelem výběru optimálních bodů pro došlap. Systém musí v reálném čase vyhodnocovat geometrické vlastnosti povrchu, jako je jeho sklon a drsnost. Pokud je dříve vybrané místo vyhodnoceno jako rizikové, střední úroveň okamžitě navrhuje alternativní polohu chodidla, aby nedošlo k destabilizaci stroje při přenosu váhy.[25]

Nízká úroveň řízení (Low-level control): Reaktivní vrstva, která ovládá přímo pohony v jednotlivých kloubech. Tato vrstva pracuje s daty z inerciální měřicí jednotky (IMU) a proprioceptivní zpětnou vazbou, přičemž zcela obchází výpočetně náročné vizuální procesy. Jejím primárním úkolem je neustálé udržování dynamické rovnováhy trupu a exekuce krouticích momentů. V prostředí horských sutišť, kde hrozí náhlé podklouznutí, musí tato vrstva provádět korekce v milisekundových intervalech. Obnovovací frekvence zde dosahuje hodnot kolem 1 kHz, což umožňuje robotu aktivně reagovat na ztrátu rovnováhy dříve, než dojde k pádu. Hierarchické oddělení zajišťuje, že i při dočasném výpadku vizuálních dat zůstává robot díky nízkourovňové stabilizaci bezpečně stát.[25]

Odhad Stavů (State Estimation)

Pro efektivní fungování hierarchie řízení je naprosto nezbytné, aby měl robot v každém okamžiku k dispozici precizní odhad stavu. Tato část řídicí architektury je zodpovědná za výpočet aktuální polohy, orientace a rychlosti robota v prostoru. V horském prostředí, kde nelze spoléhat na externí systémy jako GPS (například v úzkých soutěskách nebo pod hustým porostem), musí být odhad stavu založen na fúzi dat z vnitřních a vnějších senzorů. Tento proces probíhá v reálném čase a jeho cílem je vytvořit co nejpřesnější digitální reprezentaci fyzického pohybu stroje, která následně slouží jako vstup pro stabilitní algoritmy.[26]

Základem odhadu stavu je kombinace inerciálních dat z IMU a kinematických dat z kloubů robota. Zatímco IMU poskytuje informace o zrychlení a úhlové rychlosti, kinematika nohou dovoluje vypočítat polohu trupu vůči bodům, které jsou aktuálně v kontaktu se zemí. Hlavním problémem tohoto přístupu je však tzv. akumulace chyby (drift), ke které dochází zejména při prokluzu nohou na sypkém nebo kluzkém povrchu. Aby se tato chyba eliminovala, integruje se do výpočtu tzv. vizuální odometrie, která porovnává změny v obraze z kamer a LiDARu, čímž „ukotvuje“ polohu robota vůči statickým prvkům v okolí, jako jsou skály či stromy.[26]

V náročných podmínkách se pro matematické zpracování těchto dat nejčastěji využívají pokročilé algoritmy, jako je rozšířený Kalmanův filtr (EKF) nebo optimalizační metody založené na grafech. Tyto algoritmy dokážou v reálném čase vyhodnotit věrohodnost jednotlivých senzorů, pokud například senzory na nohách hlásí pohyb, ale IMU a kamery indikují, že robot stojí na místě (např. při prokluzu na ledu), systém tento rozpor rozpozná a upraví výsledný odhad tak, aby odpovídal realitě. Robustní odhad stavu je tedy základním předpokladem pro jakýkoliv autonomní pohyb, neboť chybná informace o náklonu či rychlosti by vedla k vyslání nesprávných povelů do motorů a následnému pádu stroje.[26]

Algoritmy plánování došlapu

V členitém horském prostředí, kde se střídají pevné skály s nestabilní sutí a hlubokými trhlinami, je schopnost precizního plánování došlapu (foothold planning) klíčová pro samotnou prostupnost terénem. Na rozdíl od pohybu na rovném povrchu, kde robot může pokládat nohy v pravidelných intervalech, vyžaduje pohyb v horách neustálou analýzu geometrie okolí. Tato vrstva řízení využívá data z hloubkových kamer k identifikaci diskrétních bodů opory, které jsou schopny bezpečně nést hmotnost robota a zajistit dostatečné tření pro další pohyb.[27]

Samotný proces plánování začíná vytvořením lokální mapy výšek (elevation map), která reprezentuje terén v bezprostřední blízkosti robota jako digitální mřížku. Algoritmus následně pro každou nohu v cyklu švihu prohledává kandidátní oblasti a vyhodnocuje jejich skóre schůdnosti (traversability score). Toto skóre je vypočítáváno na základě několika faktorů: lokálního sklonu povrchu, jeho drsnosti a přítomnosti okolních překážek, které by mohly kolidovat s mechanickou konstrukcí nohy. Výsledkem je nalezení bodu, který maximalizuje stabilitu postoje a zároveň minimalizuje riziko sklouznutí nebo uvíznutí končetiny.[27]

Pokročilé algoritmy plánování došlapu navíc integrují prediktivní složku, která neřeší pouze aktuální krok, ale zvažuje dopad zvoleného místa na celkovou rovnováhu v budoucích fázích pohybu. Pokud systém detekuje, že v daném směru neexistuje bezpečná sekvence došlapů, dokáže v reálném čase změnit strategii lokomoce, například přejít z plynulé chůze do opatrnějšího statického lezení. Tato dynamická adaptace na mikrogeometrii terénu umožňuje čtyřnohým platformám překonávat překážky, které jsou pro kolové nebo pásové podvozky naprosto neprostupné.[27]

2.3.4 Pohonné jednotky a přenos výkonu

Pokud má autonomní robot v horském terénu plnit funkci spolehlivého dopravního prostředku, musí jeho hardwarová architektura disponovat pohonným systémem, který svou dynamikou a odolností odpovídá biologickým vzorům. Kapitola pohonné jednotky a přenos výkonu se zaměřuje na technologické řešení „svalového aparátu“ stroje, který je zodpovědný za transformaci akumulované elektrické energie na precizně řízený mechanický pohyb. V prostředí, kde se střídá hluboký sníh, kluzké suťovité svahy a pevné skalní bloky, nejsou pohony pouze zdrojem pohybu, ale stávají se kritickým prvkem aktivní bezpečnosti a stability celého systému.

Analýza aktuátorů

Volba pohonné jednotky je kritickým rozhodnutím, které definuje mechanickou inteligenci robota a jeho schopnost přežít v náročném horském prostředí. V současné robotice se aktuátory (viz. Obr. 2-17) dělí do tří hlavních skupin podle způsobu, jakým propojují elektromotor s výstupním hřídelem (kloubem či kolem).



Obr. 2-17 Aktuátor BCSA V4 Series [28]

Přímo hnané pohony (Direct Drive – DD): U tohoto typu je rotor motoru pevně spojen přímo s končetinou bez jakékoliv převodovky. Hlavní výhodou je absence vůlí (backlash) a extrémně vysoká transparentnost, kdy řídicí systém může velmi přesně odhadovat síly působící na nohu pouhým měřením elektrického proudu. V horském terénu jsou však DD pohony problematické, pro vyvinutí dostatečného krouticího momentu k unesení těžkého stroje v suťovišti by motor musel být neúměrně velký, což by drasticky zvýšilo neodpruženou hmotnost nohou a snížilo celkovou dynamiku.[28]

Kvazi-přímo hnané pohony (Quasi-Direct Drive – QDD): Představuje v současnosti nejúspěšnější koncepci pro kráčeující roboty. Jde o kombinaci vysokootáčkového motoru a planetové převodovky s velmi nízkým převodovým poměrem (obvykle mezi 1:5 až 1:10). Tento systém umožňuje dosáhnout vysokého krouticího momentu při zachování malé hmotnosti. Zásadní vlastností pro horský terén je vysoká zpětná ovladatelnost. Pokud robot narazí kolem nebo nohou do skály, převodovka neklade odpor a dovolí motoru se protočit, čímž se energie nárazu „vybije“ do motoru místo toho, aby roztránila zuby převodů.[28]

Aktuátory s proměnnou tuhostí (Series Elastic Actuators – SEA): Aktuátory vkládají mezi motor a výstupní hřídel mechanickou pružinu. Pružina zde funguje jako mechanický filtr nárazů a zároveň jako velmi přesný snímač síly. Měřením stlačení pružiny robot přesně ví, jakou silou působí na podklad. V hlubokém sněhu nebo nestabilní suti SEA pohony umožňují „měkký“ došlap a plynulou regulaci stability. Nevýhodou je však vyšší mechanická komplexita a omezená rychlost odezvy ve srovnání s QDD, což může být limitující při rychlé jízdě na kolech po pevném povrchu.[28]

Při analýze hybridního pohybu se ukazuje jako nejvhodnější kombinace QDD aktuátorů v hlavních kloubech končetin, které zajišťují dynamiku a odolnost, a specializovaných nábojových motorů (in-wheel motors) v kolech. Tyto kolové motory musí na rozdíl od kloubových aktuátorů prioritizovat vysoké otáčky a plynulost chodu pro efektivní transport na dlouhé vzdálenosti.[28]

Momentová hustota

Momentová hustota (Torque Density) představuje jeden z nejdůležitějších parametrů pro konstrukci autonomních systémů operujících v nestrukturovaném prostředí. V technické praxi vyjadřuje poměr mezi maximálním krouticím momentem, který je pohon schopen vyvinout, a jeho celkovou hmotností (Nm/kg). V extrémním horském terénu, kde každé navýšení hmotnosti negativně ovlivňuje stabilitu a energetickou autonomii, je maximalizace tohoto poměru klíčovým faktorem pro zajištění vysoké agility a prostupnosti terénem.[28]

Pro koncept hybridního robota je vysoká momentová hustota zásadní zejména z hlediska dynamiky pohybu. Redukce hmotnosti aktuátorů umístěných v končetinách vede k výraznému snížení momentu setrvačnosti nohou. To v praxi znamená, že řídicí systém může s vynaložením menšího množství energie provádět rychlejší korekční pohyby, což je nezbytné pro bleskové vyrovnání rovnováhy na nestabilním podkladu, jako je sypká suť nebo ledové plochy.[28]

Důraz na vysokou hodnotu tohoto parametru se však nepropisuje pouze do rychlosti reakcí, ale zásadně ovlivňuje i celkovou nosnost stroje a jeho schopnost dlouhodobého nasazení. Aktuátory s vysokou momentovou hustotou umožňují robotu generovat značné síly potřebné pro vertikální překonávání skalních stupňů, aniž by docházelo k neúměrnému nárůstu rozměrů pohonného modulu. Tento fakt je klíčový pro designérské zpracování stroje, neboť dovoluje integraci silných pohonů do subtilních krytů, čímž se minimalizuje riziko kolize stroje s okolním prostředím. Z hlediska energetického managementu navíc optimalizovaná momentová hustota zajišťuje, že pohony nepracují na hranici svých tepelných limitů i při vysokém statickém zatížení, což je typické pro pomalé lezení ve strmém svahu. Tato rezerva ve výkonu přímo přispívá k prodloužení životnosti mechanických částí a zvyšuje celkovou provozní spolehlivost stroje v podmínkách, kde je jakékoliv mechanické selhání kritické pro úspěch záchranné mise.[28]

2.3.5 Baterie a správa energie

Energetická kapacita a schopnost efektivní distribuce výkonu jsou základními pilíři, které definují operační dosah a přepravní kapacitu autonomního systému při zásobování horských chat. V prostředí s velkým převýšením, kde je nutné překonávat náročné stoupání s těžkým nákladem surovin, se správa energie stává klíčovým faktorem pro ekonomickou udržitelnost a spolehlivost provozu. Tato kapitola se zaměřuje na návrh energetického subsystému, který musí zajistit stabilní napájení pro náročnou trakci a výpočetní techniku, a to i v podmínkách hlubokého mrazu, který drasticky omezuje využitelnou kapacitu chemických článků.

Návrh energetického řetězce u zásobovacího robota vyžaduje nalezení rovnováhy mezi hmotností akumulátorů a užitečným zatížením. Jelikož je baterie jedním z nejtěžších komponentů ovlivňujících těžiště a dynamiku stroje, její integrace do šasi přímo determinuje stabilitu robota při transportu nákladu v nerovném terénu. Cílem je vytvořit robustní systém, který maximalizuje energetickou efektivitu celého logistického cyklu a zároveň umožňuje rychlou výměnu akumulátorů v koncových stanicích, čímž se minimalizují prostoje stroje a zvyšuje se frekvence zásobovacích tras.[29]

Energetická hustota a chemické složení článků

Pro autonomní systém určený k doručování surovin v horském terénu je volba akumulátoru kritickým rozhodnutím, které přímo ovlivňuje nosnost robota a jeho operační rádius. V horském prostředí, kde robot čelí velkým převýšením a extrémním výkyvům teplot, musí baterie vykazovat vysokou specifickou energii (Wh/kg) pro zajištění dojezdu a zároveň vysokou výkonovou hustotu (W/kg) pro pokrytí proudových špiček při překonávání terénních překážek s plným nákladem.[29]

Vysoký vybíjecí proud (C-rate): Čtyřnozí roboti vyžadují při dynamických pohybech v suti nebo sněhu nárazové odběry energie. Pokud články nemají dostatečný výkon, dochází k poklesu napětí, což může vést k destabilizaci robota nebo chybám v řídicí elektronice.[29]

Teplotní odolnost a vnitřní odpor: V mrazivém prostředí vnitřní odpor Li-Ion článků prudce roste, což snižuje jejich využitelnou kapacitu. U zásobovacího robota je proto nezbytné články umístit do izolovaného, temperovaného pouzdra. Během provozu lze k udržení optimální teploty (cca 15–25 °C) využít odpadní teplo generované vnitřním odporem článků při zátěži.[29]

Battery Management System (BMS) a inteligentní distribuce

Efektivní využití uložené energie v náročných horských podmínkách vyžaduje pokročilý systém správy baterií (BMS). Hlavním úkolem BMS u zásobovacího robota není pouze ochrana článků před kritickým poškozením, ale především inteligentní monitoring a predikce zbývajících energie, která je přímo závislá na aktuálním zatížení motorů a okolní teplotě. Klíčové funkce systému BMS v kontextu horské logistiky zahrnují:

Balancování článků a ochrana (Safety): BMS neustále monitoruje napětí na jednotlivých článcích, aby nedocházelo k jejich přebíjení nebo hlubokému vybití, což by v extrémních mrazech vedlo k nevratné degradaci baterie. Systém také hlídá proudové limity, aby při maximálním záběru motorů v prudkém stoupání nedošlo k přehřátí chemického jádra.[29]

Odhad stavu nabití (State of Charge – SoC): V horách je výpočet SoC komplikovanější než u běžné elektroniky. BMS musí kalkulovat s vnitřním odporem, který roste s klesající teplotou. Přesný odhad dojezdu je klíčový pro rozhodovací algoritmus robota. Zda má pokračovat k horské chatě, nebo se vrátit do základny, aby nedošlo k vybití v nepřístupném terénu.[29]

Inteligentní distribuce a prioritizace: V případě nízké hladiny energie dokáže systém autonomně omezit napájení sekundárních subsystémů (např. externího osvětlení nebo zbytných senzorů) a soustředit veškerý výkon do pohonné soustavy a základní navigace pro bezpečný návrat nebo dokončení mise.[29]

U moderních doručovacích platform funguje BMS v úzké kooperaci s hlavní řídicí jednotkou. Tato integrace umožňuje tzv. energeticky vědomé plánování tras (energy-aware path planning). Robot tak není jen pasivním spotřebitelem, ale aktivně upravuje svou rychlost a styl chůze (nebo jízdy) podle toho, kolik energie mu zbývá a jak náročný terén má před sebou.[29]

Mechanická integrace a modularita

Způsob, jakým je bateriový systém fyzicky integrován do šasi robota, přímo ovlivňuje jeho stabilitu, odolnost a celkovou provozní efektivitu. V kontextu horského zásobování se design soustředí na tři hlavní aspekty: optimalizaci těžiště, ochranu v drsném prostředí a systém rychlé obměny energetických modulů.

Vliv na těžiště a stabilitu: Vzhledem k vysoké hmotnosti akumulátorů jsou tyto moduly umístěny v nejnížší možné části centrálního šasi. Toto nízko položené těžiště je klíčové pro udržení stability při kráčení v náklonu nebo při nesení těžkého nákladu potravin a materiálu k horským chatám.

Systém rychlé výměny: Aby bylo možné maximalizovat využití robota bez dlouhých přestávek na nabíjení, využívá se systém modulárních baterií s mechanismem pro rychlé uvolnění. U moderních průmyslových čtyřnohých robotů je tento systém navržen tak, aby umožňoval výměnu akumulátoru bez nutnosti zdlouhavého restartování řídicího systému a kalibrace senzorů. To je klíčové zejména v extrémních horských podmínkách, kde by prodleva při restartu mohla vést k podchlazení jiných systémů nebo ztrátě spojení. Jako například u robota DeepRobotics LynxM20.[30]

Ochranné pouzdro a IP krytí: Akumulátory jsou uloženy v nárazuvzdorných pouzdrech (standard IP67), která chrání články před vlhkostí a mechanickým proražením při pohybu v kamenitém terénu.[30]

2.3.6 Komunikační a bezpečnostní systémy

Poslední kritickou oblastí návrhu autonomního zásobovacího robota je zajištění spolehlivého spojení s operátorem a implementace vrstvené ochrany proti selhání. V extrémním horském terénu, kde hrozí náhlé změny počasí, ztráta signálu vlivem terénních stínů (údolí, skalní masivy) nebo mechanické poškození v důsledku pádu, se komunikační a bezpečnostní systémy stávají rozhodujícím faktorem pro ochranu investice i doručovaného nákladu.

Cílem této kapitoly je definovat parametry pro bezpečný přenos telemetrických dat v reálném čase a popsat logiku autonomních mechanismů, které zasáhnou v momentě, kdy dojde k nepředvídatelné chybě nebo ztrátě integrity systému.

Telemetrie a přenos dat

Spolehlivý přenos telemetrických dat a obrazových informací v reálném čase je základním předpokladem pro bezpečný provoz autonomního systému v horském terénu. Vzhledem k členitosti reliéfu a proměnlivým atmosférickým podmínkám musí komunikační architektura robota vykazovat vysokou míru zálohování a schopnost dynamicky přepínat mezi různými přenosovými kanály.

Analýza propustnosti sítě: Pro plynulý přenos videa ve vysokém rozlišení (nutného pro dálkovou asistenci při manévrování v sutí) a odesílání řídicích příkazů s nízkou latencí je vyžadována vysoká propustnost sítě. Primárním kanálem je moderní síť 5G, která nabízí potřebnou šířku pásma. V horských oblastech však pokrytí pozemními vysílači často kolísá, což vyžaduje inteligentní buffering a adaptivní kompresi datového toku.[31]

Satelitní linky: V místech bez pokrytí mobilním signálem se systém automaticky přepíná na satelitní komunikaci (např. Starlink). Tato technologie umožňuje udržet spojení i v nejdlejších údolích. I když má satelitní linka vyšší latenci než 5G, je dostačující pro přenos telemetrie (poloha, stav baterie, náklon) a základních navigačních instrukcí.[31]

Prioritizace datových toků: V případě omezené propustnosti systém automaticky prioritizuje kritická telemetrická data (příkazy k zastavení, bezpečnostní status) před vizuálními informacemi. Tím je zajištěno, že i při extrémně slabém signálu zůstane robot pod kontrolou operátora.[31]

Využití hybridní kombinace 5G a satelitních linek vytváří robustní komunikační uzel, který minimalizuje riziko úplné ztráty spojení. Toto zálohování je nezbytná pro splnění bezpečnostních norem pro provoz autonomních strojů v nekontrolovaném prostředí, kde by jakýkoliv výpadek mohl vést k ohrožení nákladu nebo osob v okolí.[31]

Zákon o ochraně přírody

Provoz a testování robota v horském prostředí probíhá v přísném souladu se zákonem č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Vzhledem k tomu, že se zařízení pohybuje v citlivých ekosystémech, jako jsou chráněné krajinné oblasti (CHKO) nebo národní parky (NP), je jeho pohyb primárně omezen na stávající cestní síť, aby nedocházelo k porušování zákazů vjezdu a pohybu mimo vyznačené trasy. V případě nutnosti pohybu ve zvláště chráněných územích (např. I. a II. zóna NP) je provoz realizován výhradně na základě udělené výjimky od příslušného orgánu ochrany přírody (AOPK ČR nebo správa NP). Technická koncepce robota minimalizuje negativní dopady na životní prostředí; systém je navržen tak, aby svým provozem nepůsobil nadměrný hluk ani světelné znečištění, čímž předchází nepřipustnému rušení volně žijících živočichů. Bezpečnostní protokoly a schopnost autonomní detekce překážek zajišťují, že přítomnost stroje neohrožuje integritu chráněných přírodních prvků ani bezpečnost ostatních návštěvníků horských oblastí.[32]

Fail-safe mechanismy

Aby byla zajištěna maximální ochrana robota i jeho bezprostředního okolí v nepředvídatelném a náročném horském terénu, musí být řídicí systém vybaven pokročilými autonomními protokoly pro řešení kritických chyb a krizových scénářů. Tyto bezpečnostní mechanismy jsou navrženy tak, aby fungovaly zcela nezávisle na hlavním plánovači tras, což zaručuje jejich funkčnost i v případě selhání primárního softwaru. Aktivují se okamžitě při detekci jakékoli anomálie, jako je například ztráta kontrolního signálu, zjištění závady v bezpečnostním systému nebo kritické přehřátí pohonů. V takových případech systém iniciuje protokol Safe-stop, při kterém robot zaujme stabilní polohu s nízkým těžištěm, čímž se efektivně zabrání neřízenému pohybu stroje nebo jeho nebezpečnému sjezdu po svahu.

Bezpečnostní systémy a protokoly pro autonomní poježdění v horském terénu:

Samojízdné strojní zařízení by mělo být navrženo tak, aby splňovalo přísné požadavky na zpomalování, brzdění a odstavování za všech stanovených podmínek provozu, včetně maximálního zatížení a sklonu terénu. Hlavní brzdové zařízení umožňuje operátorovi bezpečné zpomalení a zastavení stroje. Robot je dále vybaven funkcí automatického a okamžitého zastavení v situacích, kdy dojde ke ztrátě kontroly, přijetí signálu k zastavení, zjištění závady v bezpečnostním systému nebo při výpadku potvrzovacího signálu. Vzhledem k provozu v otevřeném prostředí bez periferní ochrany je stroj vybaven senzory pro detekci osob, zvířat a překážek, aby bylo eliminováno riziko pro zdraví a bezpečnost v nebezpečném prostoru stroje i jeho přípojných zařízení. Specifickým ochranným prvkem je protokol Safe-stop, v případě kritického selhání hardwaru nebo přehřátí pohonů systém provede tento úkon, při kterém robot zaujme stabilní polohu s nízkým těžištěm. Tímto opatřením se efektivně zabrání jakémukoli dalšímu nekontrolovanému pohybu stroje po svahu.[33]

Mechanická stabilizace: Pokud senzory detekují pád, robot automaticky aktivuje ochranný režim. U moderních platforem je standardem funkce „self-righting“, schopnost robota se po pádu samostatně postavit a pokračovat v misi, což je v odlehlých horských oblastech bez lidské asistence klíčové.[34]

Komunikační autonomie: Při úplné ztrátě signálu (5G/satelit) se robot nesmí zastavit na nebezpečném místě (např. uprostřed úzké stezky). Aktivuje se protokol, který robota navede do bezpečného „checkpointu“ nebo zpět po trase k místu s posledním známým signálem.

3 CÍLE PRÁCE

Tato kapitola se zaměřuje na vymezení hlavních cílů diplomové práce a přesné specifikace navrhovaného produktu. Na základě analýzy současného stavu poznání, technologických možností a identifikovaných problémů v oblasti dopravy materiálu v horském prostředí jsou definovány klíčové požadavky na výsledný návrh. Kapitola slouží jako přechod mezi analytickou částí práce a samotným návrhovým procesem a vytváří rámec pro další koncepční a konstrukční řešení.

3.1 Vymezení problému

Horské oblasti představují specifické a náročné prostředí, které klade vysoké nároky na logistiku, bezpečnost a dostupnost. Doprava materiálu, zásob, technického vybavení či záchranných prostředků do těchto lokalit je často realizována za pomoci lidské práce, terénních vozidel nebo specializované techniky, která je však finančně náročná, ekologicky zatěžující a v některých případech obtížně použitelná. V kombinaci s nepředvídatelnými povětrnostními podmínkami, nerovným terénem a omezenou infrastrukturou vzniká prostředí, kde je lidský zásah spojen se zvýšeným rizikem úrazu a vysokými provozními náklady.

Identifikovaným problémem je absence univerzálního, autonomního a bezpečného řešení, které by bylo schopné dlouhodobě fungovat v horském terénu s minimální nutností přímé lidské obsluhy. Současně se ukazuje potřeba zařízení, které nebude vnímáno pouze jako technický nástroj, ale jako prostředník mezi technologií a člověkem, schopný působit klidně, důvěryhodně a srozumitelně i v krizových situacích.

3.1.1 Název a druh produktu

Navrhovaným produktem je asistenční autonomní robot určený pro provoz v horském prostředí. Jedná se o průmyslový výrobek navržený k opakovanému použití, který kombinuje prvky mobilní robotiky a logistických systémů. Robot je koncipován jako čtyřnohý terénní stroj, jehož konstrukce umožňuje pohyb po nerovném, kluzkém či sypkém povrchu, typickém pro horské oblasti.

Produkt je navržen s ohledem na malosériovou nebo zakázkovou výrobu, která umožňuje přizpůsobení konkrétnímu typu nasazení a požadavkům uživatele. Z hlediska designu se jedná o komplexní technické zařízení, u něhož hraje roli nejen funkčnost a technické parametry, ale také vizuální výraz, ergonomie a srozumitelnost interakce.

3.1.2 Specifikace zákazníka

Zákazníkem je uvažována technologická firma specializující se na vývoj autonomních systémů a terénních robotů. Tato firma se zaměřuje na inovativní řešení v oblasti logistiky, krizového nasazení a automatizace v náročných podmínkách. Očekáváním zákazníka je vznik produktu, který bude technicky spolehlivý, konstrukčně odolný a zároveň servisně jednoduchý.

Důraz je kladen na modularitu řešení, možnost snadné údržby a dlouhodobou provozní udržitelnost. Zákazník předpokládá, že výsledný návrh bude připraven pro další technický vývoj a případnou implementaci do reálného provozu, a proto klade důraz na logickou konstrukční skladbu a jasně definované funkční celky.

3.1.3 Specifikace spotřebitele

Spotřebitelem navrhovaného produktu jsou především subjekty, které působí v horských oblastech a zajišťují provoz, bezpečnost nebo logistiku v obtížně dostupném terénu. Mezi primární spotřebitele patří správci horských chat, provozovatelé horské infrastruktury a také další složky jakou jsou záchranné složky, horská služba nebo hasiči. Pro tyto uživatele představuje robot prostředek ke snížení fyzické zátěže, zvýšení bezpečnosti a optimalizaci provozních nákladů.

Sekundárními spotřebiteli mohou být turisté nebo osoby, které se s robotem setkají v rámci běžného provozu či krizových situací. V těchto případech je kladen důraz na to, aby robot nepůsobil agresivně nebo hrozivě, ale naopak vyvolával pocit bezpečí a důvěry. Vizuální charakter a způsob komunikace robota s okolím se tak stávají důležitou součástí návrhu.

PRIMÁRNÍ SPOTŘEBITEL

Primárním spotřebitelem navrhovaného asistenčního robota jsou subjekty, které zajišťují provoz, logistiku a bezpečnost v horském prostředí a pravidelně čelí omezené dostupnosti, náročnému terénu a nepříznivým klimatickým podmínkám. Jedná se především o správce horských chat a provozovatele horské. Tito uživatelé se v rámci své činnosti často potýkají s nutností přepravy materiálu, zásob, technického vybavení nebo záchranných prostředků do míst, která nejsou dostupná běžnou dopravní technikou.

Pro primárního spotřebitele představuje robot nástroj ke snížení fyzické zátěže pracovníků, omezení rizika úrazu a zvýšení celkové efektivity provozu. Důležitým požadavkem je vysoká spolehlivost zařízení, jeho schopnost fungovat v extrémních podmínkách a jednoduchá obsluha, která nevyžaduje specializované technické znalosti. Robot musí být schopen dlouhodobého provozu s minimální potřebou údržby a zároveň umožňovat rychlý servisní zásah přímo v terénu. Z pohledu primárního spotřebitele je klíčová také možnost přizpůsobení robota konkrétnímu typu mise, ať už se jedná o logistické zabezpečení, pravidelný provoz nebo krizové nasazení.

SEKUDÁRNÍ SPOTŘEBITEL

Sekundárním spotřebitelem jsou osoby, které se s robotem setkávají nepřímo v rámci jeho provozu, aniž by jej samy obsluhovaly. Patří sem zejména turisté, návštěvníci horských oblastí a osoby, které se mohou ocitnout v krizové situaci, například při záchranných operacích. V těchto případech robot nevystupuje pouze jako technické zařízení, ale také jako vizuální a komunikační prvek v prostředí, které je pro člověka často stresující nebo nebezpečné.

Z hlediska sekundárního spotřebitele je zásadní, aby robot nepůsobil agresivně, hrozivě nebo nečitelně. Naopak by měl vyvolávat pocit klidu, bezpečí a důvěry. Vizuální charakter, tvarové řešení a způsob světelné či grafické signalizace hrají významnou roli v tom, jak je robot vnímán okolím. Design se tak stává prostředkem zprostředkování vztahu mezi technologií a člověkem a ovlivňuje ochotu lidí robota akceptovat a spolupracovat s ním, zejména v krizových situacích.

3.1.4 Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií

Navrhovaný asistenční robot je určen pro specializovaný trh zaměřený na horské a obtížně dostupné oblasti, kde existuje dlouhodobá poptávka po bezpečných, efektivních a spolehlivých logistických řešeních. Nejedná se o masový spotřební produkt, ale o vysoce specializované zařízení s jasně definovanou cílovou skupinou. Trh je tvořen především provozovateli horských chat, správami chráněných území, záchrannými složkami a dalšími institucemi, které zajišťují provoz nebo bezpečnost v horském terénu. Charakter tohoto trhu je typický menšími objemy zakázek, vyššími nároky na kvalitu a důrazem na dlouhodobou spolehlivost produktu.

Cenové zařazení produktu odpovídá jeho technické náročnosti, použitým technologiím a malosériovému charakteru výroby. Předpokládá se vyšší pořizovací cena, která je však vyvážena dlouhou životností, snížením provozních nákladů a omezením potřeby lidské práce v rizikovém prostředí. Cena produktu je vnímána spíše jako investice než jako jednorázový nákup, přičemž ekonomický přínos spočívá především v úspoře lidských zdrojů, zvýšení bezpečnosti práce a možnosti nasazení robota v situacích, kde by byl lidský zásah neefektivní nebo nebezpečný.

Z hlediska výrobních technologií je návrh přizpůsoben malosériové nebo zakázkové produkci. Předpokládá se využití technologií, které umožňují flexibilitu návrhu, rychlou úpravu tvarů a efektivní výrobu menších výrobních sérií. Mezi uvažované technologie patří zejména rotační odlévání nebo vakuové tvarování plastových dílů, doplněné o kovové konstrukční prvky vyráběné pomocí ohýbání, svařování nebo obrábění. Tato kombinace umožňuje dosáhnout požadované mechanické odolnosti, snížení hmotnosti a zároveň zachování možnosti designérské optimalizace tvarů.

Použité výrobní technologie jsou voleny s ohledem na servisní přístupnost a snadnou výměnu jednotlivých komponentů. Konstrukce robota je navržena modulárně tak, aby bylo možné jednotlivé části vyrábět, montovat a servisovat samostatně. Tento přístup podporuje nejen efektivní výrobu, ale také dlouhodobou udržitelnost produktu a jeho přizpůsobení specifickým požadavkům jednotlivých zákazníků.

3.1.5 Vymezení problému

Horské prostředí představuje z hlediska logistiky a bezpečnosti mimořádně náročné podmínky. Omezená dopravní dostupnost, členitý terén a proměnlivé povětrnostní vlivy výrazně komplikují přepravu materiálu, zásob a technického vybavení. Tyto činnosti jsou v současnosti z velké části zajišťovány lidskou silou nebo specializovanou technikou, která je však provozně nákladná, omezená svými možnostmi a často spojena se zvýšeným rizikem úrazu.

Dostupná dopravní řešení nejsou schopna dlouhodobě a spolehlivě fungovat ve všech typech horského terénu. Pěší přeprava klade vysoké nároky na fyzickou kondici pracovníků, zatímco klasická vozidla jsou limitována sklonem, šířkou tras a povětrnostními podmínkami. V krizových situacích se tyto limity ještě více prohlubují a mohou negativně ovlivnit rychlost i bezpečnost zásahu.

Dalším problémem je nízká míra automatizace v oblasti horské logistiky. Přestože autonomní systémy nacházejí uplatnění v jiných odvětvích, v horském prostředí stále chybí univerzální řešení schopné samostatného a bezpečného provozu bez nutnosti přímého lidského dohledu. Současně se ukazuje potřeba zařízení, které bude nejen technicky funkční, ale také vizuálně srozumitelné a důvěryhodné při kontaktu s lidmi.

Vymezený problém tak spočívá v absenci autonomního asistenčního řešení, které by dokázalo efektivně reagovat na specifika horského terénu a současně respektovalo ergonomické a designérské požadavky spojené s provozem v blízkosti člověka. Na základě uvedených skutečností byla vytvořena tabulka cílů (C), omezení (O), funkcí (F) a prostředků (P), jež detailně strukturuje klíčové atributy vztahující se k navrhovanému produktu.

Charakteristika	C	O	F	P
Umožňuje bezpečný pohyb v horském terénu	✓	✓	✓	✓
Odolný vůči nepříznivým povětrnostním podmínkám (sníh, déšť, vítr)	✓	✓		
Snadná údržba	✓		✓	
Obsah boxu nad 200L	✓		✓	
Možnost připevnění dalších modulů	✓			✓
Vizuálně klidný a neohrožující vzhled	✓			✓
Jednoduché a intuitivní ovládání	✓		✓	
Možnost dálkového řízení a autonomní navigace	✓		✓	
Světelná a zvuková signalizace pro komunikaci s uživatelem			✓	✓
Schopnost pohybu na nerovném povrchu (kámen, led, sníh, hlína, bláto)	✓	✓		
Odolná konstrukce proti nárazům, pádům a váze boxu	✓	✓		
Schopnost fungovat bez připojení k síti (baterie, solární dobíjení)	✓			✓
Konstrukce umožňuje snadný transport a převoz	✓		✓	
Možnost spolupráce se záchrannými složkami	✓			✓
Rozměrová omezení (stabilita × přenositelnost)		✓		
Umístění nákladu – jasně definovaná rovina LOAD ZONE		✓	✓	✓
Oddělení přední a zadní části robota pro orientaci a logiku pohybu		✓	✓	
Implementace světel / displeje pro základní výraz a komunikaci			✓	✓
Ergonomické požadavky – nakládání nákladu, manipulace s robotem	✓	✓	✓	

Tab. 3-1

3.2 Cíle vývoje

Cíle vývoje vycházejí z vymezení problému, analýzy uživatelských potřeb a z výsledků tabulky cílů, omezení, funkcí a prostředků. Tyto cíle určují směr návrhového procesu a slouží jako základní rámec pro tvorbu koncepčního a následně předběžného návrhu. Jsou formulovány tak, aby reflektovaly technické, provozní i designérské aspekty navrhovaného produktu a umožnily jejich vyvážené propojení v jednom funkčním celku.

3.2.1 Globální cíl

Globálním cílem diplomové práce je navrhnout design autonomního asistenčního robota určeného pro provoz v horském prostředí, který bude schopen bezpečně a samostatně přepravovat materiál v náročných terénních a klimatických podmínkách. Návrh usiluje o vytvoření funkčně spolehlivého, konstrukčně logického a vizuálně srozumitelného produktu, jenž minimalizuje potřebu přímého lidského zásahu a současně respektuje ergonomické a psychologické aspekty interakce člověka s technickým zařízením.

3.2.2 Dílčí cíle

Dílčí cíle vývoje spočívají v návrhu koncepce robota umožňující stabilní pohyb v nerovném horském terénu a bezpečnou manipulaci s nákladem. Dalším cílem je vytvoření konstrukce umožňující připojení alternativních modulů, které umožní přizpůsobení robota různým typům nasazení a zjednoduší servisní zásahy i případné rozšíření funkcí. Součástí cílů je také definování základních tvarových, rozměrových a materiálových parametrů s ohledem na výrobní realizovatelnost v rámci malosériové produkce.

Významným dílčím cílem je návrh vizuálního a ergonomického řešení, které podpoří čitelnost funkcí robota a jeho pozitivní vnímání uživateli i okolím. Design má zajistit, aby robot působil klidně, neohrožujícím dojmem a byl srozumitelný při běžném provozu i v krizových situacích. Současně je cílem ověřit návrh z hlediska stability, logiky uspořádání funkčních celků a základních provozních parametrů, tak aby výsledné řešení mohlo sloužit jako podklad pro další technický vývoj.

4 KONCEPČNÍ NÁVRH

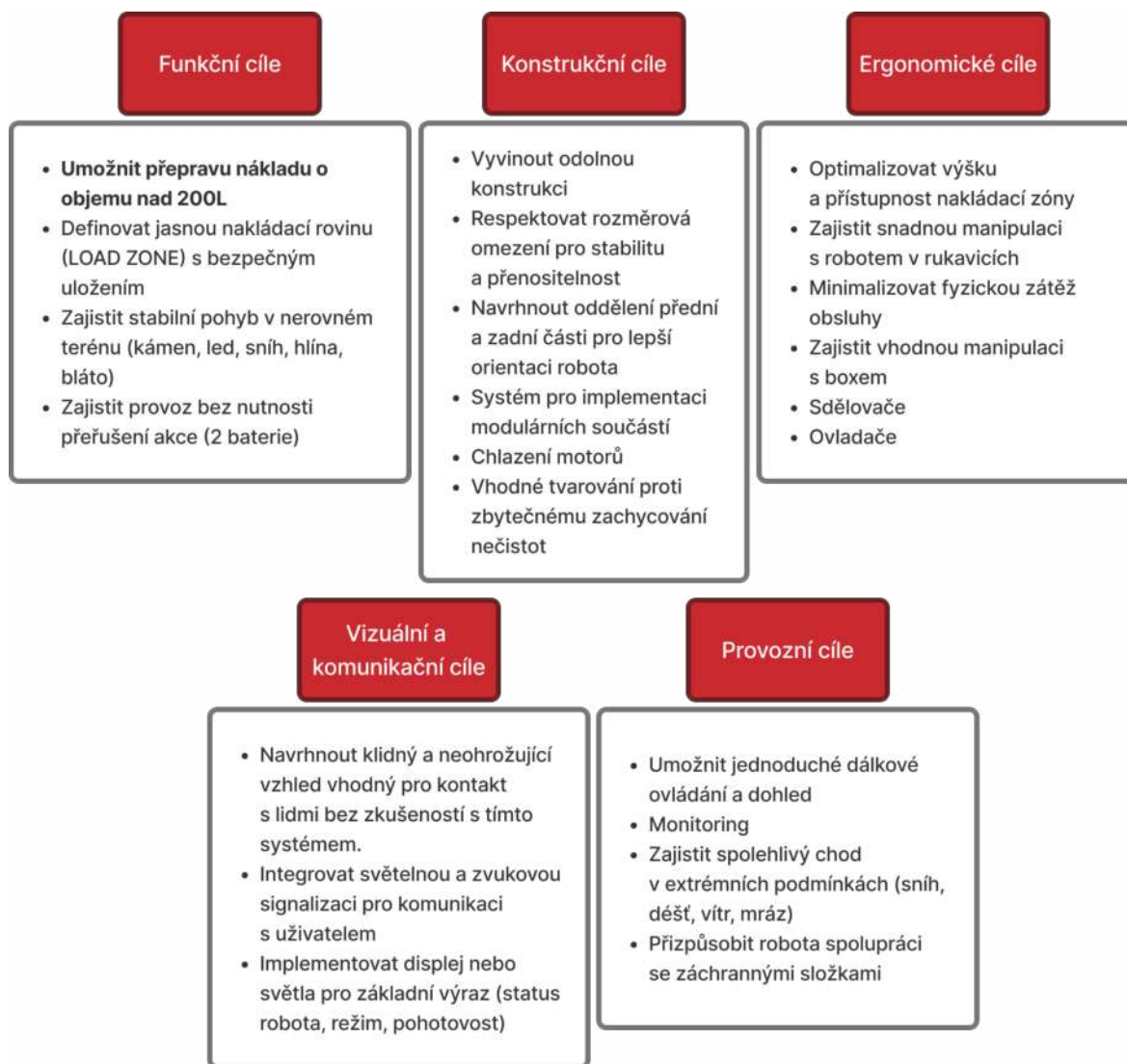
Koncepční návrh představuje klíčovou fázi návrhového procesu, ve které jsou definované cíle vývoje převedeny do konkrétní prostorové, funkční a konstrukční koncepce produktu. Tato kapitola se zaměřuje na formulaci základního principu fungování navrhovaného robota, jeho celkové architektury a vztahů mezi jednotlivými funkčními celky. Cílem koncepčního návrhu není detailní technické řešení, ale vytvoření uceleného a logického rámce, který bude sloužit jako podklad pro další fáze návrhu.

4.1 Analýza cílů a specifikace omezení

Na základě definovaných cílů vývoje a identifikovaných legislativních i technologických omezení byla sestavena komplexní tabulka shrnující hlavní požadavky na navrhovaný produkt. Tyto specifikace jsou pro větší přehlednost metodicky rozděleny do funkční, konstrukční, ergonomické, vizuálně-komunikační a provozní roviny, což umožňuje nahlížet na problematiku návrhu ze všech klíčových úhlů průmyslového designu a inženýrství.

Funkční cíle se zaměřují primárně na stabilní a plynulý pohyb robota v náročném, nekompromisním horském terénu a na zajištění stoprocentně bezpečné přepravy nákladu bez rizika jeho poškození nebo ztráty stability samotné platformy. Konstrukční cíle na tyto požadavky bezprostředně navazují a reflektují kritéria kladená na celkovou mechanickou odolnost šasi, optimální volbu materiálů, servisní přístupnost klíčových komponent a striktní rozměrová i váhová omezení, která jsou dána limitacemi zvoleného kinematického systému.

Ergonomická kritéria se stávají zásadními v místech přímého kontaktu s lidským operátorem. Vztahují se především k intuitivní manipulaci s nákladovým boxem, jeho spolehlivému zajištění a k přehlednosti prvků základního manuálního ovládání přímo na těle zařízení. Vizuální a komunikační cíle naopak podporují srozumitelnou, bezpečnou a psychologicky přijatelnou interakci robota s okolím, což zahrnuje jak čitelnost světelné signalizace stavu systému pro náhodné kolemjdoucí, tak celkové tvarosloví, které eliminuje negativní vnímání autonomního stroje v přírodním prostředí. Provozní cíle pak exaktně vymezují podmínky dlouhodobého, energeticky efektivního a spolehlivého nasazení v extrémních klimatických podmínkách, které jsou pro vysokohorské oblasti typické. Tato ucelená struktura kritérií neslouží pouze jako statický souhrn, ale funguje jako dynamický výchozí rámec pro navazující koncepční a tvarové řešení robota, vůči kterému jsou jednotlivé fáze designérského návrhu kontinuálně validovány.



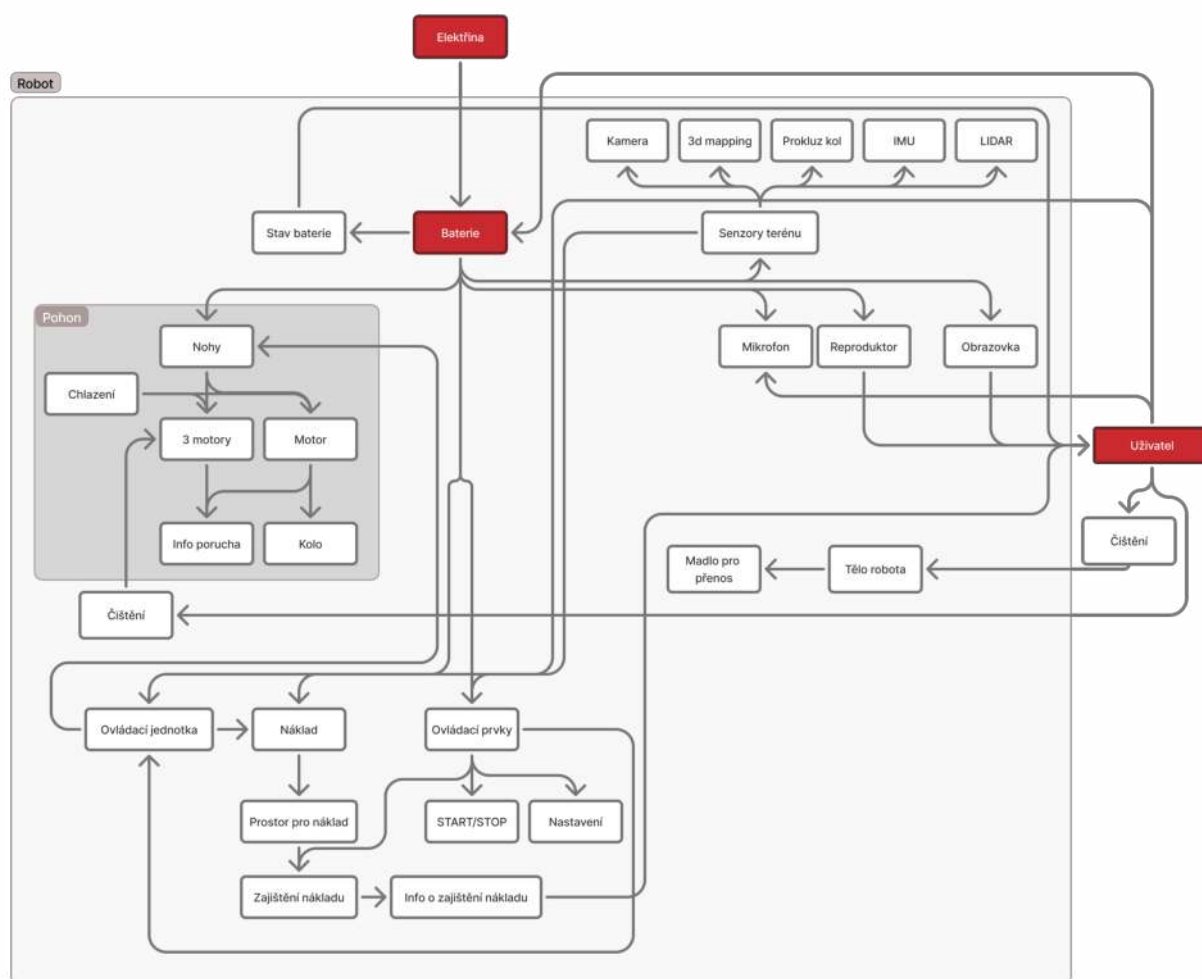
Obr. 4-1 Analýza cílů

4.2 Technická a funkční analýza

Funkční princip navrhovaného robota je založen na autonomním pohybu, přepravě nákladu a komunikaci s okolím. Základní funkcí systému je schopnost samostatně se pohybovat v terénu, orientovat se v prostoru a reagovat na změny prostředí. Pohybový systém je koncipován tak, aby umožňoval překonávání nerovností, schodů, kamenů či sněhových ploch bez nutnosti externí infrastruktury.

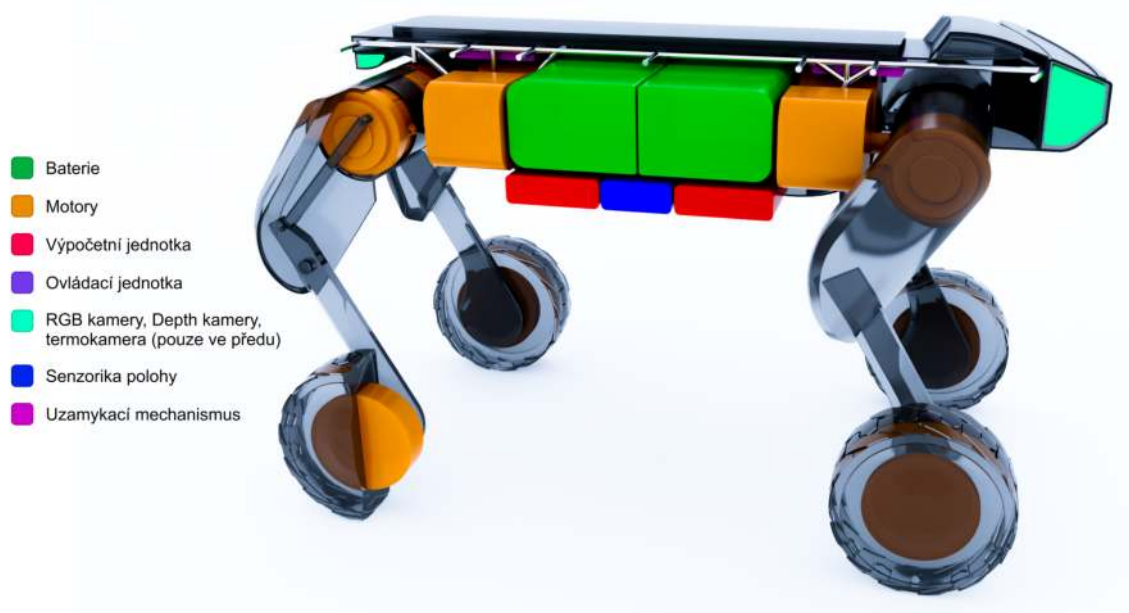
Další klíčovou funkcí je přeprava nákladu, která vyžaduje jasně definovaný prostor pro jeho umístění a zajištění. Tato funkce je úzce propojena se stabilitou robota a rozložením hmotnosti. Konstrukce musí zajistit, aby manipulace s nákladem byla ergonomická a bezpečná jak pro obsluhu, tak pro samotný systém.

Součástí funkční analýzy je rovněž komunikace robota s uživatelem a okolím. Ta je řešena prostřednictvím vizuálních a světelných prvků, které informují o stavu robota, směru pohybu nebo provozním režimu. Funkční struktura je navržena modulárně, což umožňuje oddělení jednotlivých funkčních celků a jejich případné rozšíření nebo v budoucnu obměnu.



Obr. 4-2 Glass box

Na základě glass boxu byl následně vytvořeno funkční schéma robota, které převádí jednotlivé funkční celky do jejich fyzické podoby. Funkční diagram sloužil k identifikaci hlavních subsystémů a jejich vazeb, především bateriového systému, pohonů, výpočetní a řídicí elektroniky a senzorů. Tyto prvky byly následně rozmístěny s důrazem na kompaktnost, vyvážení hmotnosti a modulární koncepci, přičemž baterie byly umístěny centrálně pro snížení těžiště a rovnoměrné zatížení končetin. Výsledné prostorové uspořádání tak představuje přímý převod funkční struktury do konstrukčního návrhu robota.



Obr. 4-3 Funkční schéma

4.3 Návrh alternativních řešení

Na základě definovaných cílů návrhu a výsledků předchozí funkční analýzy byla zpracována sada alternativních koncepčních řešení, která představují různé možné přístupy k celkovému prostorovému a strukturálnímu uspořádání asistenčního robota. Tato koncepční fáze hraje v celém procesu vývoje klíčovou roli, neboť slouží k experimentálnímu ověření základních principů mechanického návrhu a k posouzení jejich přímého vlivu na dynamickou funkčnost, kinematickou stabilitu a provozní vlastnosti zařízení při pohybu v nestrukturovaném a náročném horském prostředí. Vyhodnocení těchto variant umožňuje včas eliminovat slepé vývojové větve ještě před zahájením detailního konstrukčního rozpracování.

Navržené koncepce se soustředí zejména na komplexní vztah a geometrickou návaznost mezi pohybovým systémem, nosnou konstrukcí a nákladovou částí robota, přičemž každá z uvažovaných variant pracuje s odlišným principem integrace a silového propojení těchto základních prvků. Sledováno je především optimální umístění těžiště, ochrana citlivých komponent před vnějšími vlivy a efektivní přenos zátěže do nosné struktury. Velký důraz je paralelně kladen na otázky modularity a strukturní variability navržených řešení. Tyto vlastnosti nejenže umožňují rychlé přizpůsobení robota různým typům nasazení a variabilním typům přepravovaného nákladu, ale také zásadním způsobem zjednodušují jeho následnou údržbu, diagnostiku či operativní servisní zásahy přímo v provozních podmínkách.



Obr. 4-4 Alternativní řešení

Součástí koncepčního návrhu je rovněž hledání vhodného tvarového pojetí, které kromě technických a provozních požadavků reflektuje i ergonomické aspekty a vizuální čitelnost celého zařízení. V této etapě se formuje základní estetická a funkční identita systému, přičemž je kladen důraz na to, aby vnější design korespondoval s náročnými podmínkami zamýšleného provozu a usnadňoval interakci s obsluhou.

Cílem této úvodní fáze není finální optimalizace jednotlivých detailů nebo detailní technické dimenzování prvků. Klíčovým záměrem je paralelní rozpracování a následné kritické porovnání rozdílných konstrukčních a formálních přístupů. Tento proces umožňuje identifikovat silné a slabé stránky jednotlivých variant, posoudit jejich realizovatelnost a vytvořit tak pevný, argumentačně podložený základ pro výběr nejvhodnějšího koncepčního směru. Zvolená varianta pak poslouží jako výchozí rámec pro detailní fázi rozpracování a následné inženýrské finální úpravy celého návrhu.

4.3.1 Varianta I

Varianta I představuje koncepční řešení s důrazem na kompaktní a vizuálně ucelené uspořádání robota, kde je nákladová část přirozeně integrována do celkového tvarového pojetí. Design je inspirován morfologií brouka, zejména jeho kompaktním tělem a ochranným krunýřem, což se projevuje plynulými přechody, zaoblenými hranami a jasně definovanou siluetou. Toto tvarové řešení podporuje nejen vizuální začlenění robota do horského prostředí, ale také omezuje zachytávání nečistot, sněhu či vegetace při pohybu v terénu. Nákladový box je v této variantě navržen jako modulární prvek, který se shora zasouvá do vodicích railů integrovaných v nosné konstrukci, čímž je zajištěno jeho přesné polohování a stabilita během provozu. Box se po nasunutí dorazí až na hlavu robota, kde je rovinná plocha přizpůsobená k bezpečnému zajištění, tak aby bylo jisté, že je box správně zasazen. Po osazení je box fixován jednoduchým zajišťovacím mechanismem, jehož funkce je podřízena čistotě tvaru a nenarušuje celkový vizuální výraz robota. Celá koncepce propojuje technickou funkčnost s organicky inspirovaným designem, který podporuje odolnost, přehlednost a vhodné zapadnutí zařízení do horského kontextu. Absence kolového pohonu u tohoto modelu sice vylučuje efektivní poměr jízdy ku chůzi, nicméně redukce hmotnosti v koncových částech nohou zvyšuje celkový dosah robota při kráčení. I přes delší časový odhad trasy na horskou chatu je tak pohyb energeticky efektivnější. Ideálním konceptem by byla konstrukce s modulárními holeněmi, umožňující volbu mezi variantou s koly a bez nich podle typu terénu.



Obr. 4-5 Varianta I

4.3.2 Varianta II

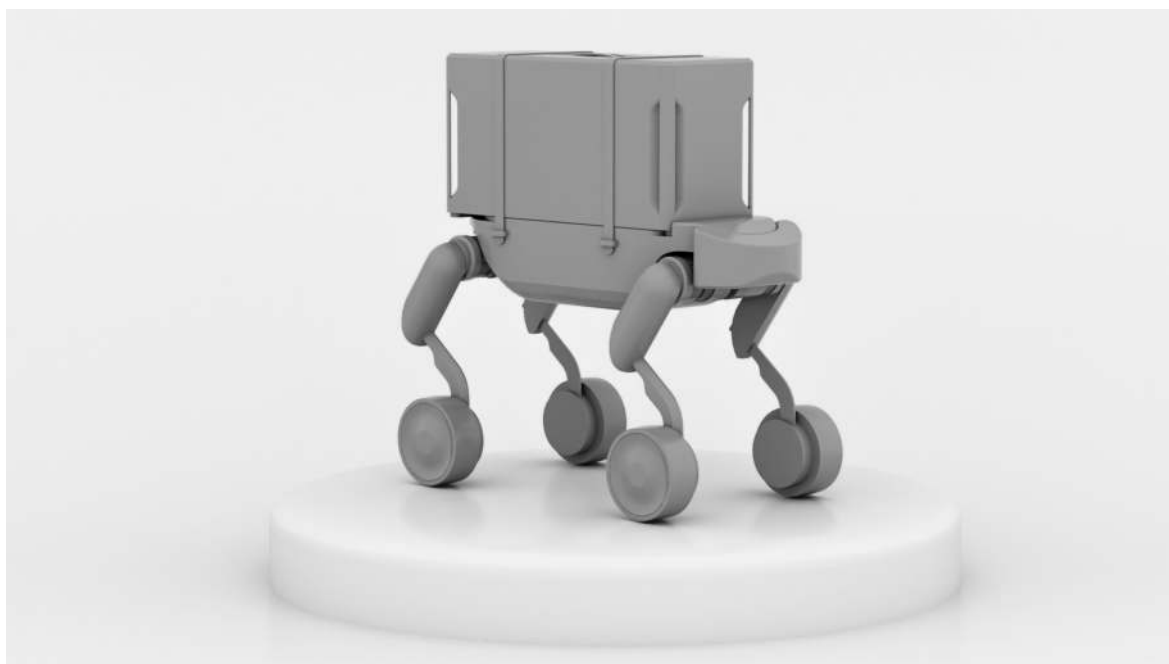
Varianta II pracuje s výraznějším oddělením nákladové části od těla robota a klade důraz na vertikální kompozici a jasnou čitelnost jednotlivých funkčních objemů. Nákladový box je v této koncepci navržen jako samostatný prvek, který je osazován shora do systému vodicích jamek integrovaných v nosné konstrukci robota. Tyto jamky zajišťují přesné usazení boxu, pro jeho stabilní usazení a přenos zatížení do hlavní konstrukce, aniž by narušovaly celkovou čistotu tvarového řešení. Tvarové pojetí je inspirováno minimalismem robotických zařízení, které se snaží více oddělit od morfologie brouka z předchozí varianty, především jeho jednodušším „obličejem“ s velkýma očima. Design podporuje vizuální stabilitu, jasné vymezení nákladové zóny a přehlednost celku při provozu v horském prostředí. Celkově varianta II propojuje modulární systém uchycení s výraznější tvarovou identitou, která zdůrazňuje funkční členění robota a jeho přirozené začlenění do náročného terénu. Na rozdíl od ostatních variant má tento robot motor umístěný v koleni. Tato konstrukce je ideální spíše pro průmyslové provozy než pro horský terén, tedy do prostředí, kde dominuje pohyb na kolech a vyžaduje se jiná distribuce síly.



Obr. 4-6 Varianta II

4.3.3 Varianta III

Varianta III představuje kompromisní koncepční řešení, které kombinuje principy použitých v předchozích variantách a propojuje je do kompaktního a funkčně vyváženého celku. Tento princip umožňuje intuitivní manipulaci a zachovává čistou horní siluetu zařízení bez výrazných externích spojovacích prvků. Tvarové řešení vychází z organické inspirace broučím tělem a nachází se mezi kompaktností první varianty minimalismem varianty druhé, čímž vytváří vizuálně klidný, ale zároveň technicky čitelný celek. Design podporuje modularitu systému, ochranu nákladové části a přirozené začlenění robota do horského prostředí. Náklad se k robotovi připevňuje pomocí textilních popruhů, co umožňuje přepravu široké škály předmětů, nikoliv pouze specifických boxů. Tato variabilita však přináší riziko v podobě náročného zajištění nákladu. Nesprávné uchycení by mohlo vést k jeho ztrátě, což je zejména u cenných položek kritický problém. Z hlediska budoucí automatizace se jako efektivnější jeví využití unifikovaných boxů a rychlá výměna baterií, což by eliminovalo potřebu lidské asistence při nakládce. Konstrukční výhodou tohoto modelu je umístění všech motorů v oblasti kyčlí. Na rozdíl od předchozí varianty tak robot nemusí při každém kroku zvedat váhu motoru v kolenu, což zvyšuje efektivitu pohybu.



Obr. 4-7 Varianta III

4.3.4 Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího

Navržené koncepční varianty představují tři rozdílné přístupy k řešení vztahu mezi tělem robota a nákladovou částí, přičemž každá z nich akcentuje odlišné priority z hlediska stability, modularity a tvarového pojetí. První varianta klade důraz na kompaktnost a plynulou integraci nákladového boxu do celkového objemu robota, druhá varianta pracuje s výraznějším oddělením funkčních částí a jasnou vizuální čitelností nákladové zóny, zatímco třetí varianta představuje kompromisní řešení kombinující prvky obou předchozích přístupů. Společným jmenovatelem všech variant je snaha o modulární řešení, intuitivní manipulaci a design inspirovaný přírodními formami, který podporuje začlenění robota do horského prostředí. Toto porovnání vytváří podklad pro výběr nejvhodnější koncepce, která bude dále rozpracována v následujících fázích návrhu.

Aspekty hodnocení	Varianta I	Varianta II	Varianta III
Originalita	6	7	9
Řešení pohonu	5	7	9
Madla	8	6	7
Tvarování	10	9	7
Rozmístění senzoriky	8	7	6
LOAD ZONE	10	9	8
Velikost	7	6	7
Návaznost	8	8	8
Chlazení motoru	8	9	8
Vizuální ucelenost	6	7	10
Tvarování hlavy	7	5	6
	83	80	85

Tab. 4-1 Zhodnocení

5 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

Podrobná analýza a vzájemné porovnání jednotlivých konceptů ukázaly, že každá z navržených variant v sobě nese specifické technologické a konstrukční prvky, které jsou pro výsledné řešení klíčové. Ukázalo se, že žádná z variant není izolovaným celkem, ale spíše souborem myšlenkových pochodů a inovativních přístupů k designu, které jsou pro specifické podmínky horského prostředí vysoce relevantní.

Všechny uvažované směry vývoje byly podrobeny kritickému hodnocení z hlediska jejich využitelnosti v extrémním terénu, přičemž každý z nich přispěl k hlubšímu pochopení problematiky stability a mobility. Výsledný návrh se tedy nesoustředí pouze na jednu konkrétní cestu, ale aktivně těží z kombinace nejlepších vlastností všech variant. Tento integrovaný přístup umožňuje vytvořit komplexní řešení, které svou architekturou a funkcí nejlépe odpovídá náročným požadavkům na pohyb, odolnost a efektivitu v horském terénu.

5.1 Matematický model pro baterii

Pro verifikaci provozních schopností robotické platformy byl sestaven matematický model kalkulující teoretickou dobu provozu a celkový dojezd. Výpočet uvažuje kombinovaný režim lokomoce, kde je provozní čas rovnoměrně rozdělen mezi režim jízdy a režim kráčení v poměru 50:50.

Pro návrh autonomního robota určeného pro provoz v horském prostředí je nezbytné odhadnout jeho energetické nároky a z nich vyplývající dojezd na jedno nabití baterií. U navrhovaného robota se předpokládá kombinace dvou režimů pohybu, jízdy na kolech na méně náročném povrchu a chůze pomocí nohou v obtížném terénu, které se výrazně liší svou energetickou náročností.

Následující matematický model slouží jako zjednodušený návrhový nástroj pro odhad potřebné kapacity baterií a maximálního dojezdu robota na základě základních fyzikálních vztahů, celkové hmotnosti systému, sklonu terénu a podílu jednotlivých režimů pohybu. Model je určen především pro koncepční fázi návrhu a umožňuje porovnání jednotlivých variant bateriového systému.

Model vychází z integrace dvou akumulátorových modulů o celkové kapacitě $E = 3600 \text{ Wh}$ (2x 1800 Wh) a pevně stanovených hodnot příkonu pro jednotlivé subsystémy:

Příkon v režimu jízdy: $P_{\text{jízda}} = 800 \text{ W}$

Příkon v režimu chůze: $P_{\text{chůze}} = 1900 \text{ W}$

5.1.1 Výpočet průměrného příkonu a doby provozu

Při rovnoměrném časovém rozdělení (polovinu celkového provozního času tvoří jízda, polovinu chůze) se průměrný příkon robotické platformy P_{avg} určí podle vztahu:

$$P_{avg} = 0,5 * P_{jízda} + 0,5 * P_{chůze}$$

$$P_{avg} = 0,5 * 800 \text{ W} + 0,5 * 1900 \text{ W} = 400 \text{ W} + 950 \text{ W} = 1350 \text{ W}$$

Celková doba provozu platformy $t_{celková}$, po kterou dokáže plně nabitá napájecí soustava s energií $E = 3600 \text{ Wh}$ napájet zařízení při tomto průměrném odběru, činí:

$$t_{celková} = E / P_{avg}$$

$$t_{celková} = 3600 \text{ Wh} / 1350 \text{ W} = 2,67 \text{ h}$$

Vyjádřeno v minutách činí celkový provozní čas přesně 2 hodiny a 40 minut (160 minut). Z tohoto časového fondu připadá přesně $t = 1$ hodina a 20 minut (80 minut / 1,33 h) na aktivní fázi jízdy a stejný časový úsek 1 hodina a 20 minut na aktivní fázi chůze.

5.1.2 Výpočet celkového kombinovaného dojezdu

Vzdálenost uražená v jednotlivých fázích lokomoce se odvíjí od nominálních rychlostí platformy specifikovaných v technické dokumentaci:

$$\text{Rychlost jízdy: } v_{jízda} = 4 \text{ m/s} = 14,4 \text{ km/h}$$

$$\text{Rychlost chůze: } v_{chůze} = 2 \text{ m/s} = 7,2 \text{ km/h}$$

Dráha uražená v režimu jízdy ($s_{jízda}$):

$$s_{jízda} = v_{jízda} * (0,5 * t_{celková})$$

$$s_{jízda} = 14,4 \text{ km/h} * 1,333 \text{ h} = 19,20 \text{ km}$$

Dráha uražená v režimu chůze ($s_{chůze}$):

$$s_{chůze} = v_{chůze} * (0,5 * t_{celková})$$

$$s_{chůze} = 7,2 \text{ km/h} * 1,333 \text{ h} = 9,60 \text{ km}$$

Celkový dojezd v kombinovaném režimu lokomoce ($s_{celkový}$) je dán součtem obou dílčích drah:

$$s_{celkový} = s_{jízda} + s_{chůze}$$

$$s_{celkový} = 19,20 \text{ km} + 9,60 \text{ km} = 28,80 \text{ km}$$

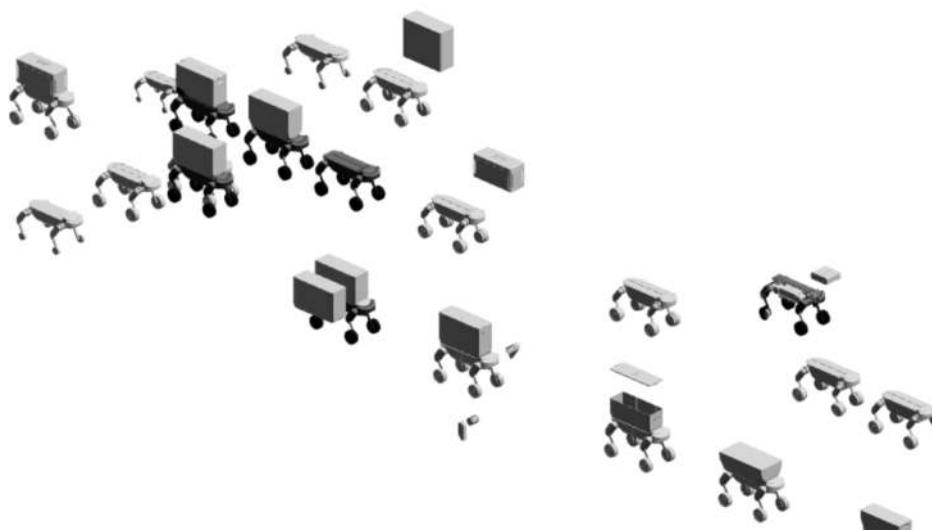
5.1.3 Výsledek

Při uvažování zadaných příkonů a celkové kapacity akumulární soustavy 3600 Wh dosahuje robotická platforma v kombinovaném režimu teoretické doby provozu zhruba 2,67 h a celkového dojezdu kolem 28,80 km.

5.2 Určení tvarů, rozměrů a materiálů

5.2.1 Tvary

Tvarové řešení robota vychází z modulárního uspořádání jednotlivých funkčních částí a z požadavku na jejich jasnou čitelnost. Konstrukce je tvořena kompaktním nosným tělem s oddělenou nákladovou částí řešenou jako jednoduchý pravoúhlý objem s mírně zaoblenými hranami. Nákladový box je navržen jako samostatný modul, který lze v závislosti na typu nasazení vyměnit nebo nahradit jiným příslušenstvím. V rámci předběžného návrhu bylo vytvořeno a posouzeno velké množství tvarových řešení.



Obr. 5-1 Tvarování

Obrázek znázorňuje dvě základní koncepční konfigurace navrhovaného robota. Vlevo je zobrazena varianta s připojeným nákladovým boxem, určená pro přepravu materiálu, zatímco vpravo je varianta bez nákladového modulu, která demonstruje modulární charakter konstrukce. Oddělení nákladové části od nosného těla umožňuje flexibilní přizpůsobení robota různým typům nasazení a zachování kompaktního a stabilního uspořádání pohybového systému.



Obr. 5-2 Předběžný návrh box i bez

Spodní část robota je tvarově členěna s ohledem na pohybový mechanismus a stabilitu celého systému. Uspořádání končetin je zřetelně odděleno od hlavního těla, což zvyšuje čitelnost konstrukční logiky a umožňuje lepší vizuální kontrolu pohybu robota v terénu. Zakrytování exponovaných mechanických částí je řešeno tak, aby byly chráněny před poškozením a zároveň zůstaly snadno přístupné pro servisní zásahy.



Obr. 5-3 Předběžný návrh bez boxu

Tvarování nákladového boxu vychází z jednoduchého kompaktního objemu s mírně zaoblenými hranami, který umožňuje efektivní využití vnitřního prostoru a podporuje stabilitu robota při přepravě nákladu. Proporce boxu jsou navrženy s ohledem na zachování nízkého těžiště a bezpečný provoz v terénu, zatímco zaoblení hran snižuje riziko poškození při kontaktu s okolím a usnadňuje údržbu. Oddělení boxu od nosného těla zároveň zdůrazňuje modulární charakter konstrukce a umožňuje jeho snadnou výměnu nebo nahrazení jiným typem nástavby.



Obr. 5-4 Předběžný návrh s boxem

5.2.2 Rozměry

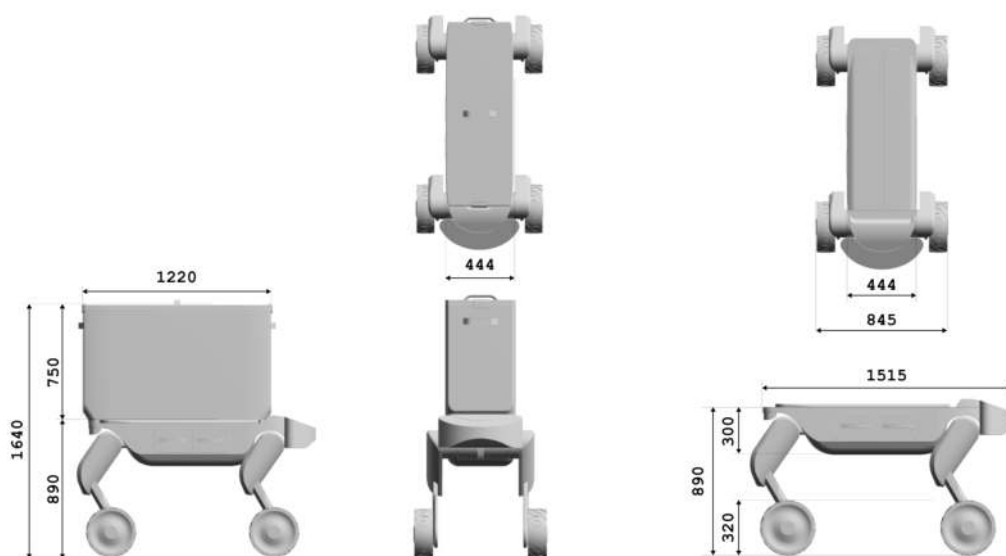
Rozměrové řešení navrhovaného robota bylo navrženo s ohledem na požadavky stability v náročném terénu, průchodnosti v omezeném prostoru a ergonomie manipulace s nákladovou částí. Celkové proporce robota vycházejí z potřeby zajistit dostatečný pracovní prostor pro přepravovaný náklad při současném zachování nízkého těžiště a bezpečného rozložení hmotnosti mezi jednotlivé pohybové jednotky. Základní délka robota v půdorysu činí přibližně 1515 mm, což umožňuje stabilní rozkročení končetin a dostatečnou oporu při pohybu v nerovném terénu.

Šířka nosného těla robota je navržena na hodnotu přibližně 444 mm, přičemž maximální celková šířka včetně kol dosahuje přibližně 845 mm. Toto řešení představuje kompromis mezi požadavkem na stabilitu a schopností robota pohybovat se po úzkých trasách typických pro horské prostředí. Šířka podvozku zároveň umožňuje bezpečné umístění pohybového mechanismu a chrání mechanické části před přímým kontaktem s terénem.

Celková výška robota v konfiguraci s nákladovým boxem dosahuje přibližně 1640 mm. Samotný nákladový box má výšku přibližně 750 mm, což umožňuje efektivní využití vnitřního objemu při zachování ergonomické výšky pro ruční manipulaci s obsahem. Výška nakládací hrany je zvolena tak, aby byla dobře přístupná obsluze i v rukavicích a nevyžadovala nadměrné ohýbání nebo zvedání těžších břemen.

Světlá výška robota činí přibližně 600 mm, což umožňuje překonávání běžných terénních nerovností, kamenů nebo sněhových vrstev bez rizika kontaktu spodní části těla s povrchem. Výška podvozku je úzce provázána s průměrem kol a geometrií končetin, které jsou navrženy tak, aby podporovaly plynulý pohyb a schopnost adaptace na změny terénu.

Rozměry jednotlivých částí robota jsou navzájem vyváženy tak, aby výsledná konstrukce působila kompaktně a zároveň stabilně. Proporce těla, nákladového boxu a pohybového systému podporují modulární charakter návrhu a umožňují případné úpravy rozměrů nástavby bez zásadního zásahu do základní konstrukce robota. Navržené rozměrové řešení tak vytváří univerzální základ pro další vývoj robota a jeho přizpůsobení různým typům nasazení v horském prostředí.



Obr. 5-5 Předběžný návrh rozměry

5.2.3 Materiály

Materiálové a technologické řešení navrhovaného robota bylo zvoleno s ohledem na požadavky malosériové výroby, mechanickou odolnost, hmotnostní optimalizaci a provoz v náročných podmínkách horského prostředí. Vnější tělo robota je navrženo z plastu HDPE, který nabízí vhodnou kombinaci pevnosti, houževnatosti a odolnosti vůči povětrnostním vlivům. HDPE zároveň umožňuje relativně snadné tvarování složitějších geometrických forem a je vhodný pro výrobu krytů chránících vnitřní mechanické a elektronické komponenty. Pro výrobu těchto krytů je uvažována technologie thermoformingu nebo rotačního odlévání plastů, které jsou vhodné pro malosériovou produkci a umožňuje efektivní výrobu větších tenkostěnných dílů při relativně nízkých nákladech na nástroje.

Nákladový box je navržen jako samostatný modul rovněž z materiálu HDPE, avšak s využitím technologie rotačního odlévání. Tento výrobní postup umožňuje vznik dutých dílů s rovnoměrnou tloušťkou stěny, vysokou mechanickou odolností a dobrou nárazuvzdorností, což je klíčové zejména při přepravě nákladu v nerovném terénu. Rotační odlévání je zároveň vhodné pro výrobu robustních a tvarově jednoduchých objemů bez nutnosti složitých forem, což odpovídá koncepci modulárního boxu určeného pro různé typy nasazení.

Nosná konstrukce uvnitř robota je navržena z hliníku, který zajišťuje dostatečnou pevnost při relativně nízké hmotnosti a umožňuje přesné spojení jednotlivých funkčních celků. Hliníkové profily a díly slouží jako nosný rám pro uchycení pohybového systému, baterií a elektroniky a zároveň zajišťují přenos zatížení mezi nákladovou částí a podvozkem. Vybrané exponované konstrukční prvky jsou rovněž navrženy z hliníku, a to z důvodu jejich mechanického namáhání a požadavků na dlouhodobou životnost.

Kombinace plastových krytů a hliníkové konstrukce umožňuje efektivní rozdělení funkcí jednotlivých materiálů, kdy plastové díly zajišťují ochranu, tvarovou kontinuitu a vizuální charakter robota, zatímco hliníkové části plní primárně nosnou a konstrukční funkci. Zvolený materiálový a technologický koncept podporuje modularitu návrhu, umožňuje případné úpravy konstrukce v dalších vývojových fázích a vytváří realistický základ pro přechod od prototypové výroby k omezené sériové produkci.

5.3 Odhad výrobních nákladů

Výchozí odhad výrobních nákladů navrhovaného robotického systému uvažuje kusovou prototypovou výrobu nebo ověřovací malosérii. Hlavní nákladové skupiny tvoří nosná konstrukce, mechanické komponenty, vnější krytování, transportní box, pohonný systém a elektronické vybavení včetně senzorické substrukтуры.

Základním strukturálním prvkem je subsystém šasi a mechaniky, jehož realizace se v závislosti na volbě materiálu a náročnosti obrábění pohybuje v rozmezí 20 000 až 30 000 Kč. Na konstrukci navazuje vnější ochranné krytování. Pro výrobu tvarově složitějších vnějších dílů z houževnatého vysokohustotního polyetylenu (HDPE) se předpokládá využití technologie rotačního lití plastu. Finanční náročnost této položky je odhadována na 12 000 až 24 000 Kč v závislosti na geometrické komplexnosti a počtu dílů. Samostatně kalkulovaný nákladový prostor tvoří rovněž rotačně litý HDPE box, kde předpokládané náklady na realizaci jednoho kusu činí 10 000 až 15 000 Kč.

Dominantní položku celkového rozpočtu představuje pohonný systém. Náklady na elektromotory a odpovídající momentové převodovky jsou kalkulovány v rozpětí 250 000 až 300 000 Kč. Navazující akumulátorové baterie zajišťující napájení platformy si vyžádají investici v rozmezí 20 000 až 30 000 Kč.

Kritickou složkou je hardwarová architektura řízení a vnímání okolí. Systémová elektronika, základní senzory a kabeláž tvoří variabilní položku v rozsahu 30 000 až 60 000 Kč, přičemž výsledná cena závisí na stupni implementované autonomie a výpočetním výkonu řídicích jednotek.

Celkové předpokládané výrobní náklady prototypu se pohybují v rozmezí od 370 000 do 500 000 Kč. Toto rozpětí odpovídá experimentálnímu charakteru vývojového projektu a otevírá prostor pro následnou optimalizaci. Při přechodu na vyšší sériovost lze očekávat výrazné snížení jednotkových nákladů, a to především u komponent vyráběných metodami tváření a lití plastů a u prvků elektronické infrastruktury.

Motory	250 000 – 300 000 Kč
HDPE kryty – thermoforming	12 000 – 24 000 Kč
HDPE box – rotační lití	10 000 – 15 000 Kč
Šasi + mechanika	20 000 – 30 000 Kč
Baterie	20 000 – 30 000 Kč
Elektronika + senzory + kabeláž	30 000 – 60 000 Kč
Senzory	30 000 – 40 000 Kč
Celkem 370 000 – 500 000 Kč	

Obr. 5-6 Tabulka cena

6 DETAILNÍ NÁVRH

V kapitole detailního návrhu dochází k zásadní transformaci a dopracování konceptu na základě poznatků z předběžné fáze. Po revizi původního návrhu byla realizována řada konstrukčních a tvarových změn, které se dotkly jak samotného těla robota, tak přepravního boxu. Hlavním cílem těchto úprav bylo dosáhnout hlubšího designového a funkčního propojení obou prvků tak, aby robot a box tvořily jeden vizuálně i technicky sjednocený celek. Tento proces sjednocení vychází z potřeby zajistit nejen mechanickou kompatibilitu, ale také vizuální integritu systému, která je dále definována pomocí následujících vizuálních podkladů.

Moodboard a imageboard

Moodboard se zaměřuje na kontext a prostředí, ve kterém bude robot operovat. Dominují mu textury kamene, žulových masivů a atmosférické jevy jako mlha či sníh, což definuje barevnou paletu v odstínech šedé a antracitové. Snímky horských nosičů a turistů v náročném terénu zdůrazňují klíčový aspekt projektu. Potřebu stability a schopnost transportu objemných nákladů v místech, kde selhává běžná technika. Tato část řešení podtrhuje nutnost robustnosti a odolnosti stroje, který musí působit jako spolehlivý pomocník v extrémních podmínkách.



Obr. 6-1 Moodboard

A collage of ten images showcasing various futuristic and robotic designs. The images include: a close-up of a metallic, curved surface; a sleek, silver, vertical vehicle; a robotic arm; a futuristic, silver, vertical vehicle; a four-legged robot with large wheels; a bipedal robot in a desert environment; a sleek, silver, horizontal vehicle; a futuristic, silver, horizontal vehicle; a four-legged robot with large wheels; and a bipedal robot in a desert environment.

6.1 Tvarové řešení

85

Paralelně s tímto úkolem bylo nutné vyřešit integraci přední části, tzv. „hlavy“ robota. Design zde musel skloubit technologické nároky na umístění sensoriky a ovládacích prvků s čistotou forem. Výsledné řešení hlavy využívá mírného zkosení a negativních ploch, které opticky oddělují interaktivní zónu hlavy robota od nosné platformy, čímž stroj získává jasnou směrovou orientaci a neutrální výraz usnadňující interakci s uživatelem.

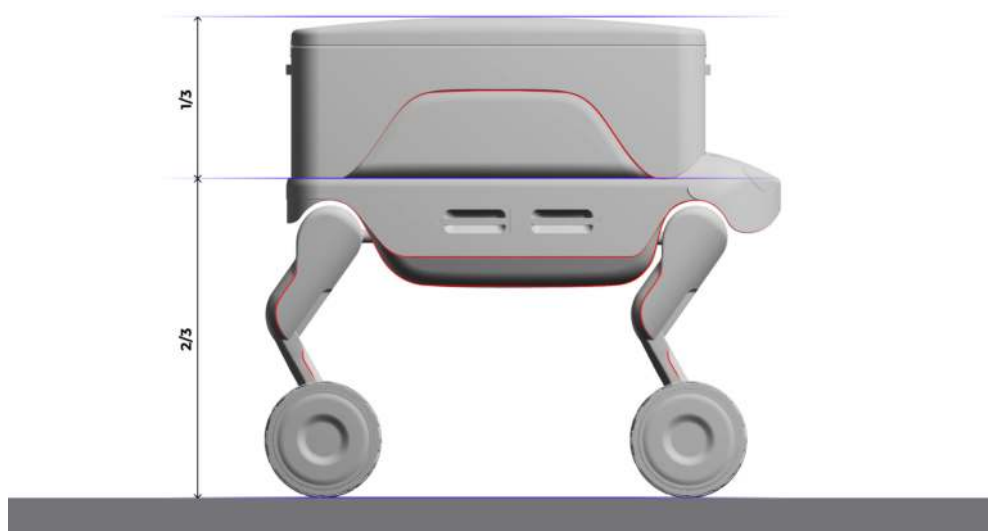


Obr. 6-3 NOMAD pohled

6.1.1 Proporce a kompozice

Kompoziční řešení celého stroje je založeno na třetinovém dělení vertikální hmoty. Celková výška robota je rozdělena v poměru 1/3 k 2/3, kde horní třetinu zaujímá transportní box, zatímco spodní dvě třetiny tvoří podvozková část s končetinami. Tento poměr dodává stroji pocit lehkosti v horní části a vizuálně akcentuje robustní technický základ, který je klíčový pro stabilitu v terénu.

Důležitým prvkem tvarové kompozice je práce s negativními plochami a liniovou kontinuitou, která je na výkresu zvýrazněna červenou konturou. Tato linie propojuje spodní zaoblení robota s vnitřním členěním transportního boxu, čímž vzniká vizuální paralela mezi oběma moduly. Dynamika kompozice je dále podpořena zkosením nohou a holeněmi, které svými křivkami navazují na celkový organický charakter stroje a směřují pozornost k přední části, čímž definují směr pohybu. Výsledkem je vyvážený celek, kde geometrická přísnost boxu harmonicky kontrastuje s plynulými tvary nosné platformy.



Obr. 6-4 Proporce a kompozice

6.1.2 Pohled z perspektivy

Z tohoto úhlu vyniká integrace ovládacích a interaktivních prvků do předního modulu hlavy robota. Tvarování přední části využívá plochu k zapuštění ovládacího panelu, čímž ho chrání před mechanickým poškozením a zároveň jej jasně definuje jako centrum interakce. Světlomety zde svým tvarem kopírují vnější kontury předního modulu a propůjčují stroji specifickou identitu. Předobok také odhaluje detailní propracování krytů končetin, které plynule navazují na robota a zakrývají vnitřní mechanismy, čímž stroj získává čistý a technologicky vyspělý vzhled bez odhalených kritických komponentů.



Obr. 6-5 Perspektiva z leva

Pohled shora nejlépe ilustruje tvarovou harmonii a logické uspořádání jednotlivých celků. Je patrné, jak horní víko boxu se zapuštěnými madly kopíruje půdorys robota, čímž vzniká vizuálně monolitický blok. Tento nadhled zdůrazňuje symetrii stroje a promyšlenou ergonomii horní plochy, která je bez jakýchkoliv výčnělků, jež by mohly bránit v manipulaci. Skvěle je zde vidět i vyosení končetin směrem vně od hlavního trupu, co stroji dodává široký postoj a rozšiřuje mobilitu robota. Zapuštěná madla na víku i bocích boxu jsou z této perspektivy čitelná jako funkční geometrické zářezy, které nenarušují celkový profil robota. Madla jsou vždy tvarována jedním designovým jazykem a tím se robot propojí v jeden funkční celek.



Obr. 6-6 Perspektiva nadhled

Tento pohled akcentuje celkovou dynamiku stroje a plynulost přechodu mezi robustní podvozkovou částí a tvarovaným nákladovým boxem, což vytváří vizuálně sjednocený a technologicky vyspělý celek. Dominantním prvkem zadní části je horizontální černý panel, do kterého je sofistikovaně integrována pokročilá senzorika zahrnující tři RGBD kamery pro detailní mapování okolí a detekci překážek za robotem v reálném čase. Nedílnou součástí tohoto multifunkčního panelu je také integrované koncové světlo s vysokou svítivostí, které nejen jasně definuje zadní obrys stroje, ale zásadně zvyšuje jeho viditelnost a pasivní bezpečnost při pohybu v proměnlivém prostředí. Jedná se také o další faktor, který přispívá ke směrovosti robota. Charakteristické prolisy na boční straně transportního boxu plní dvojí roli. Vizuálně odlehčují jinak rozměrnou plochu modulu a současně mu dodávají nezbytnou strukturální pevnost a tuhost bez zbytečného navýšení hmotnosti. Celková kompozice tak potvrzuje důraz na maximální kompaktnost stroje, kde žádný funkční prvek nepřesahuje základní obrys, čímž je zaručena vynikající manévrovatelnost i v prostorově omezených podmínkách.



Obr. 6-7 Perspektiva zadek

6.1.3 Přední pohled

Čelní pohled na robota odhaluje klíčovou interaktivní zónu stroje, jejíž tvarosloví je pečlivě navrženo pro dosažení přívětivého výrazu a jasné funkční čitelnosti, což je nezbytné pro bezproblémovou koexistenci s lidmi. Dominantním prvkem jsou dvě dynamicky tvarovaná světla, která jsou záměrně zkosená směrem nahoru, aby stroji dodala moderní a technologicky vyspělý vzhled. Toto zkosení však není pouze estetickou záležitostí, ale slouží především k intuitivnímu vizuálnímu určení směru, kterým se robot hodlá v následujících sekundách pohybovat, čímž výrazně usnadňuje lidem v jeho bezprostředním okolí odhadnout budoucí trajektorii a bezpečně reagovat. V černých plochách pod těmito světly jsou nenápadně, ale efektivně integrovány pokročilé RGBD kamery, které díky tomuto strategickému umístění získávají výhled s relativně vysokým horizontem, což je klíčové pro efektivní snímání terénu, detekci drobných překážek a celkovou prostorovou orientaci v reálném čase. Pod hlavní hmotou modulu se nachází technický kryt aktuátorů, který plní důležitou strukturální funkci spojením pohonných jednotek s tělem, ale zároveň je navržen tak, aby díky optimalizovanému tvarování poskytoval pasivní větrání a chlazení vnitřních komponent. Celkovou vizuální symetrii a vysokou praktickou funkčnost přední části pak doplňuje centrálně umístěné madlo transportního boxu, které je ergonomicky tvarováno pro snadnou a rychlou manuální manipulaci s transportním boxem.



Obr. 6-8 Přední pohled

6.1.4 Boční pohledy

Z pohledu na levou stranu stroje je patrná promyšlená integrace hlavních uživatelských rozhraní do jinak přísně symetrického těla podvozku, co dokazuje vysokou úroveň průmyslového designu zaměřeného na praktické využití. Tato strana je vizuálně i funkčně definována dvěma výraznými sloty pro bateriové moduly, které jsou bezpečně zapuštěny do spodní části těla robota, čímž se efektivně snižuje těžiště celého stroje pro lepší stabilitu v náročném terénu. Asymetrické umístění baterií soustředěné pouze na jednu stranu představuje záměrný ergonomický krok. Tento přístup koncentruje veškeré servisní úkony a procesy napájení do jednoho přehledného prostoru, což operátorovi zásadně zjednodušuje manipulaci a zrychluje proces výměny zdrojů i v nepředvídatelných polních podmínkách. Celkové tvarové řešení zde vkusně doplňují minimalistické grafické prvky a intuitivní stavové indikátory, které nejen vizuálně rozbíjejí rozměrnou plochu vnějšího skeletu, ale také jasně označují technický charakter a aktuální připravenost této klíčové sekce. Přestože jsou v těchto místech patrné funkční předěly a dělicí linie jednotlivých komponent, celková silueta stroje si zachovává svou plynulost a organicky navazuje na aerodynamické tvarování přední „hlavy“ i na technologicky hustý blok zadní sensoriky. Výsledkem je design, který harmonicky kombinuje potřebu snadného přístupu k hardwaru s estetickou celistvostí, jež nenechává žádný prostor pro vizuální chaos nebo konstrukční nedůslednost.



Obr. 6-9 Boční pohled zleva

Pravá strana robota plně odhaluje čistotu a symetrii základního designového konceptu, neboť postrádá baterie. Absence těchto funkčních prvků dává vyniknout monolitickému charakteru skeletu a plynulosti negativních ploch, které propojují jednotlivé segmenty stroje. Tato strana slouží jako vizuální protiváha k technicky členitější levé části, přičemž zachovává identické proporce a křivky, což je klíčové pro vyvážený vjem z celého objektu. Tato celistvost zvyšuje odolnost proti vnějším vlivům. Uzavřený povrch bez spár minimalizuje vnikání nečistot do šasi v náročném terénu.



Obr. 6-10 Boční pohled zprava

6.1.5 Zadní pohled

Zadní část robota navazuje na symetrický koncept robota a dominuje jí horizontální černý blok, který v sobě koncentruje klíčové technologické prvky pro autonomní provoz. V tomto bloku jsou integrovány tři RGBD senzory rozmístěné tak, aby pokrývaly široké pole záběru a umožňovaly přesné mapování terénu i detekci překážek za strojem v reálném čase. Přimo nad tímto sensorickým modulem je umístěno liniové světlo, které slouží jako primární signalizace zadní části a zajišťuje dobrou viditelnost robota i v nepříznivých světelných podmínkách. Tvarové řešení doplňují vertikálně žebrované kryty ve spodní úrovni pro efektivní odvod tepla od aktuátorů. Na zadní straně boxu je centrálně umístěné madlo na zadní stěně transportního boxu, které vizuálně i funkčně koresponduje s přední stranou a usnadňuje celkovou manipulaci s modulem.



Obr. 6-11 Zadní pohled

6.1.6 Pohled shora

Vizualizace z horní perspektivy dokumentuje celkové dispoziční uspořádání platformy a prostorovou návaznost jejích klíčových částí. Dominantním prvkem je tvarovaný transportní box ve výrazném oranžovém provedení, který zaujímá většinu ložné plochy. Z této perspektivy je zřejmá symetrie kinematického systému, kde jednotlivé končetiny vystupují v bocích robota, co zajišťuje optimální stabilitu a efektivní rozložení těžiště při transportu nákladu. V přední části zařízení je situována hlava robota, která integruje primární vizuální prvek světelného kruhového tvaru a ovládací panel s ovládacími prvky, umístěný na její horní straně.



Obr. 6-12 Pohled shora

6.1.7 Pohled box a robot

Vizualizace robota a na něm nasazeném boxu demonstruje strukturální a funkční nezávislost obou hlavních celků. Horní plocha podvozku je tvarována jako lůžko, které přesně definuje pozici pro usazení boxu, což usnadňuje automatizovanou i manuální manipulaci. V tomto lůžku jsou patrné dva uchycující mechanismy, které zajišťují pevné mechanické spojení a stabilitu nákladu i při pohybu v náročném terénu. Oddělením boxu vyniká čistota tvarového řešení samotné robotické platformy, která i bez nákladového modulu působí jako esteticky i technicky kompletní celek. Tento přístup umožňuje vysokou variabilitu stroje, kdy může být standardní transportní box snadno nahrazen jiným specializovaným modulem při zachování integrity základního šasi.



Obr. 6-13 Detail zapadnutí boxu

Modulární architektura systému navíc otevírá široké možnosti pro budoucí škálování a specifické nasazení v různých průmyslových či záchranných odvětvích. Díky unifikovanému rozhraní mezi podvozkem a nákladovou částí je výměna modulů otázkou několika minut. Tento technický koncept počítá s integrací různorodých nástaveb, od specializovaných měřicích přístrojů a mobilních robotických ramen až po zásobníky pro přepravu citlivého materiálu s řízenou vnitřní teplotou.



Obr. 6-14 Pohled robot a box

Pohled na horní část šasi ukazuje ložnou plochu určenou pro usazení transportního boxu. Plocha je tvarována s mírným prolisem a zvýšenými lemy pro stabilizaci nákladu a je vybavena dvěma obdélníkovými aretačními prvky pro pevné zajištění boxu. Na boku krytu je umístěno grafické označení platformy a zapuštěné moduly s integrovanými madly a LED signalizací stavu uzamčení.



Obr. 6-15 Plocha pro box

6.1.8 Detailní pohledy

Detail z boku zachycuje horní část nohy, která funguje jako kyčelní kloub. Tento prvek nebyl původně zamýšlen jako klasická kyčel, ale jeho výsledná podoba vychází z tvarování, které nejlépe opticky a funkčně navazuje na kruhovou vrchní část těla robota. Zadní část tohoto kloubu je vyvedena v oranžové barvě, což slouží jako záměrný vizuální prvek pro zvýraznění pohyblivé části nohy vůči zbytku šasi.



Obr. 6-16 Kyčelní krytování

Pohled na spodní část nohy ukazuje tvarování holeně a její návaznost na ostatní části končetiny. Holeň byla záměrně tvarována tak, aby v horní části logicky navazovala na kyčel a ve spodní části plynule přecházela až k samotnému kolu s terénním vzorkem. Tento přechod vytváří čistou linii celé nohy a zajišťuje, že končetina působí jako jeden kompaktní funkční celek.



Obr. 6-17 Holeň robota

6.1.9 Prostor pro senzoru

Boční pohled znázorňuje spodní krytování a celkové uspořádání senzorických zón. Černý průhledný plast plynule navazuje na hlavu a táhne se pod tělo robota, kde vytváří bezpečné a estetické místo pro uložení RGBD kamer a dalších prvků autonomního řízení. Tento typ krytu se standardně používá pro ukrytí technologií, přičemž spolehlivě chrání citlivou techniku před poškozením, aniž by bránil kamerám ve výhledu.



Obr. 6-18 Spodní senzorický prostor

Pohled z čelního pohledu ukazuje umístění hlavních senzorických systémů robota. Ve spodní části hlavy se nachází prvek z černého průhledného plastu, za který se standardně tyto senzory schovávají, aby nerušily celkový design. V tomto chráněném prostoru budou umístěny především RGBD kamery, které snímají prostor před robotem a zajišťují bezpečný pohyb a orientaci v terénu.



Obr. 6-19 Senzorický prostor v hlavě

6.1.10 Box

Konstrukce nákladového boxu představuje komplexní inženýrské řešení, které bylo od počátku navrženo s absolutní prioritou na maximální stabilitu a bezpečnost nákladu. To je klíčové jak během dynamického transportu v extrémně náročném horském terénu, tak při statickém odložení na často nerovných plochách v okolí horských chat. Klíčovým konstrukčním prvkem jsou postranní bloky v dolní části těla boxu, které díky svému specifickému tvarování plní funkci robustních integrovaných nohou s mimořádně širokou základnou. Toto promyšlené geometrické uspořádání výrazně zvyšuje stabilitu při kontaktu s podkladem a efektivně eliminuje riziko nechtěného převrácení, které by mohlo být způsobeno náhlými nerovnostmi terénu nebo nepříznivými povětrnostními podmínkami. Specifické vybrání ve spodní části boxu navíc vytváří unikátní prostorový profil, který je zásadní pro plynulé a přesné nasednutí na tělo robota. Tvar lůžka na robotovi zde funguje jako mechanický protikus, který při procesu nakládky automaticky a bezpečně vystředuje box, čímž minimalizuje čas potřebný pro manipulaci.



Obr. 6-20 Box tvarování

Celkové rozměry stroje, definované délkou 1444 mm a šířkou 830 mm, jsou s konstrukcí boxu v dokonalém souladu a společně vytvářejí kompaktní, ale vysoce stabilní celek s celkovou výškou 1400 mm. Tato konfigurace zaručuje, že stroj je schopen spolehlivě a bezpečně operovat i v těch nejnáročnějších logistických scénářích, kde hraje roli každý milimetr stability.



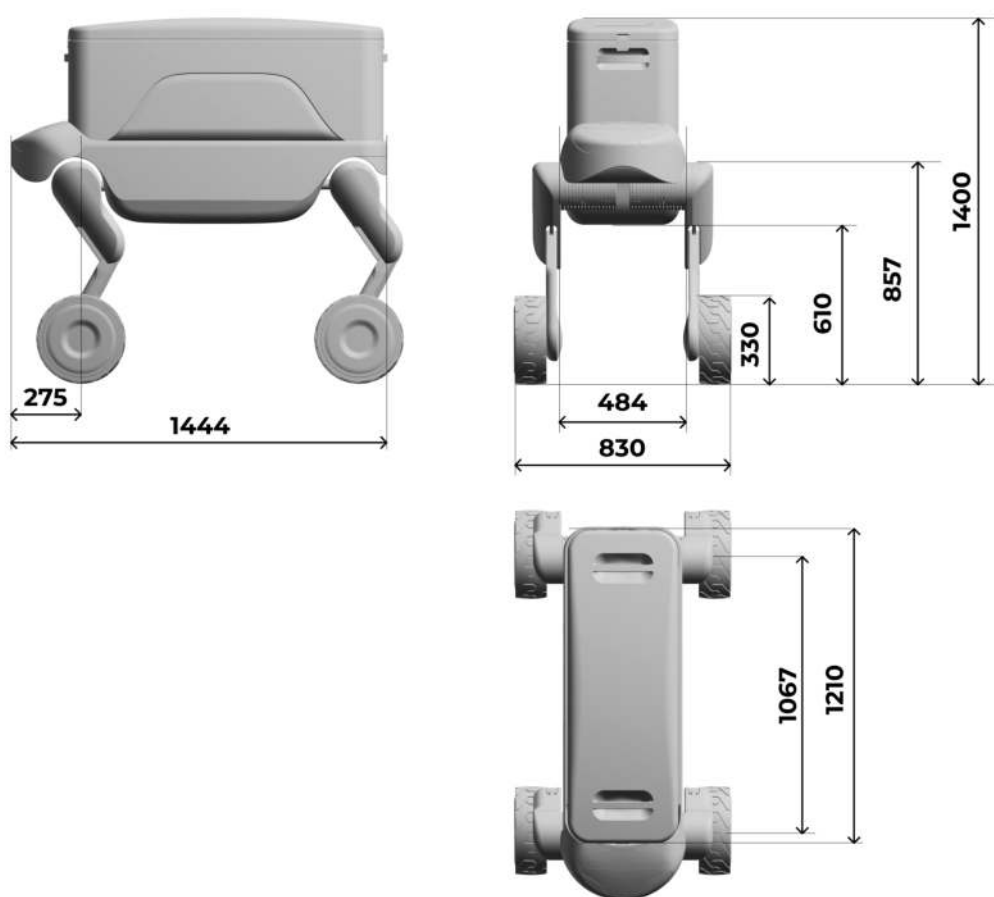
Obr. 6-21 Otevřený box

6.2 Konstrukční a funkční návrh

Konstrukce robota je navržena jako vysoce modulární systém, který propojuje odolnost s adaptabilitou v nestrukturovaném prostředí. Základem je podvozková platforma se čtyřmi aktivně řízenými končetinami, které umožňují plynulou změnu světlé výšky a náklon robota. Toto řešení je klíčové pro udržení horizontální stability nákladu při překonávání vertikálních překážek nebo pohybu v prudkém svahu. Energetický management stroje využívá asymetrický systém dvou uživatelsky vyměnitelných baterií, umístěných na levé straně šasi. Toto uspořádání umožňuje rychlou výměnu akumulátorů bez nutnosti přerušení provozu (hot-swap), čímž se výrazně zvyšuje operační efektivita. Autonomní schopnosti jsou zajištěny soustavou strategicky rozmístěných RGBD kamer, které jsou pro zvýšení odolnosti zapuštěny přímo do těla robota nebo chráněny průhlednými panely. Pro zajištění spolehlivosti elektroniky při vysokém výpočetním zatížení je v přední a zadní části integrováno žebrování válců, které slouží k efektivnímu odvodu tepla. Horní část šasi pak tvoří univerzální lůžko s upínacím mechanismem, které dovoluje snadnou záměnu transportního boxu za jiné specializované moduly, čímž se rozšiřuje aplikační potenciál celé robotické platformy.

6.2.1 Rozměry

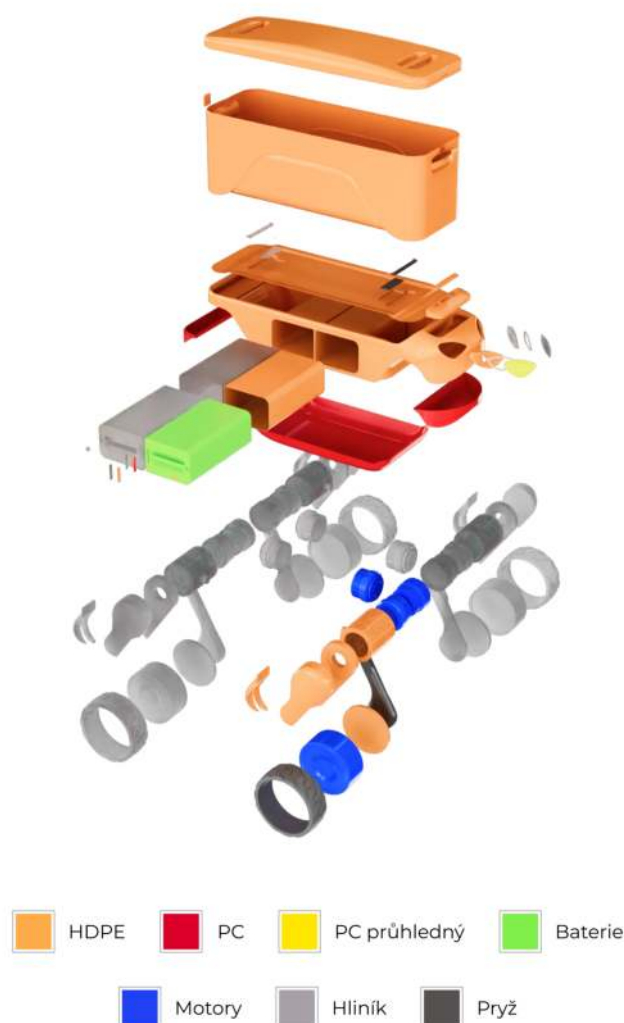
Rozměrové charakteristiky robota jsou navrženy tak, aby umožňovaly efektivní pohyb na úzkých horských stezkách při zachování vysoké stability nákladu. Celková délka stroje činí 1444 mm, přičemž rozvor kol je optimalizován na 1210 mm pro dobrou prostupnost terénem. Kompaktní šířka 830 mm zajišťuje snadné vyhýbání se překážkám a turistům na stezkách. Robot disponuje světlou výškou podvozku 610 mm, což mu dovoluje překonávat výrazné terénní nerovnosti, kameny či kořeny bez rizika uvíznutí. Celková výška stroje včetně nákladového boxu dosahuje 1400 mm, což zajišťuje dobrou viditelnost zařízení v terénu a zároveň udržuje těžiště v bezpečné výšce pro manipulaci v prudkých svazích. Tyto technické parametry potvrzují, že je zařízení plně přizpůsobeno náročným požadavkům na horskou logistiku a zásobování chat.



Obr. 6-22 Rozměry

6.2.2 Rozpad

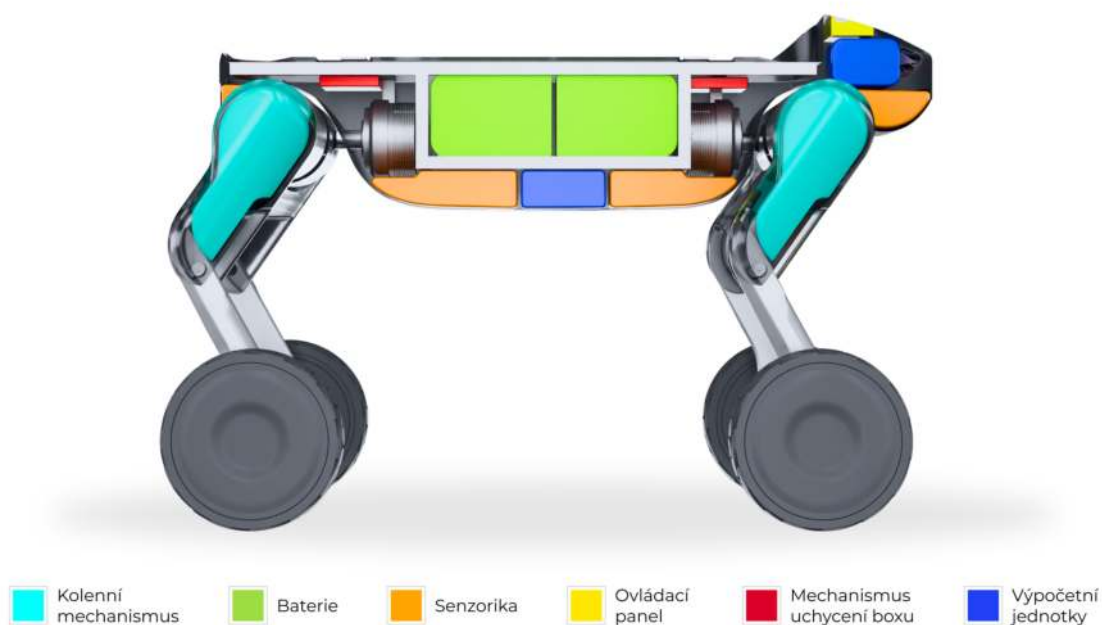
Rozpad stroje definuje přesné využití materiálů s ohledem na jejich fyzikální vlastnosti a odolnost v horském terénu. Dominantním prvkem je vysokohustotní polyethylen (HDPE), ze kterého je vyroben nákladový box, jeho víko, hlavní krytování a ochranná pouzdra akumulátorů. Energetické jádro tvoří dva bateriové moduly, zatímco o dynamický pohyb se stará dvanáct integrovaných elektromotorů. Nosná struktura podvozku využívá lehčený hliník pro konstrukci nohou, které jsou zakončeny koly s přilnavými plášti z pryže. Ochranné kryty šasi jsou vyvedeny z rázově houževnatého vysokohustotního polyethylenu (HDPE). Části pro senzorku jsou materiálově zamýšleny z poloprůhledného polykarbonátu (PC) pro ochranu optických a senzorických systémů. Toto materiálové rozdělení zajišťuje optimální poměr mezi celkovou hmotností, mechanickou odolností a budoucí recyklovatelností jednotlivých částí.



Obr. 6-23 Rozpad

6.2.3 Vnitřní schéma

Vnitřní uspořádání komponent robota je navrženo s maximálním důrazem na optimální rozložení celkové hmotnosti a ochranu všech klíčových systémů, což je zásadní pro dlouhodobý provoz v náročných venkovních podmínkách. Centrální část robota vyplňují dva objemné moduly vysokokapacitních baterií, které jsou strategicky umístěny v nejnižším možném bodě přímo nad hlavní sensorikou a primární výpočetní jednotkou. Toto vrstvení zajišťuje nízké těžiště, které je klíčovým faktorem pro stabilitu při zdolávání prudkých svahů a překonávání nerovností v nezpevněném terénu. Pohybový aparát je tvořen pokročilým kolenním mechanismem, který je integrován do horní části nohou, čímž je chráněn před přímými nárazy i nečistotami. Bezpečnost a fixaci nákladu má na starosti mechanismus uchycení boxu situovaný podél horní hrany základny, jenž zaručuje pevné spojení i při prudkých změnách směru jízdy. Přední část stroje je pak primárně vyhrazena pro intuitivní ovládací panel a sekundární výpočetní jednotku, které v úzké součinnosti s dalšími sensorickými prvky zajišťují precizní autonomní navigaci a bezpečné plánování trasy v reálném čase. Toto logické a přehledné členění vnitřních systémů nejenže zvyšuje celkovou odolnost stroje, ale díky vnitřní architektuře umožňuje také vysoce efektivní pasivní chlazení a zaručuje snadný servisní přístup ke všem důležitým technologickým uzlům. Celý vnitřní prostor je tak využit, aniž by došlo k obětování přehlednosti nebo funkčnosti, což z robota činí kompaktní a vysoce spolehlivou technologickou platformu.



Obr. 6-24 Vnitřní schéma

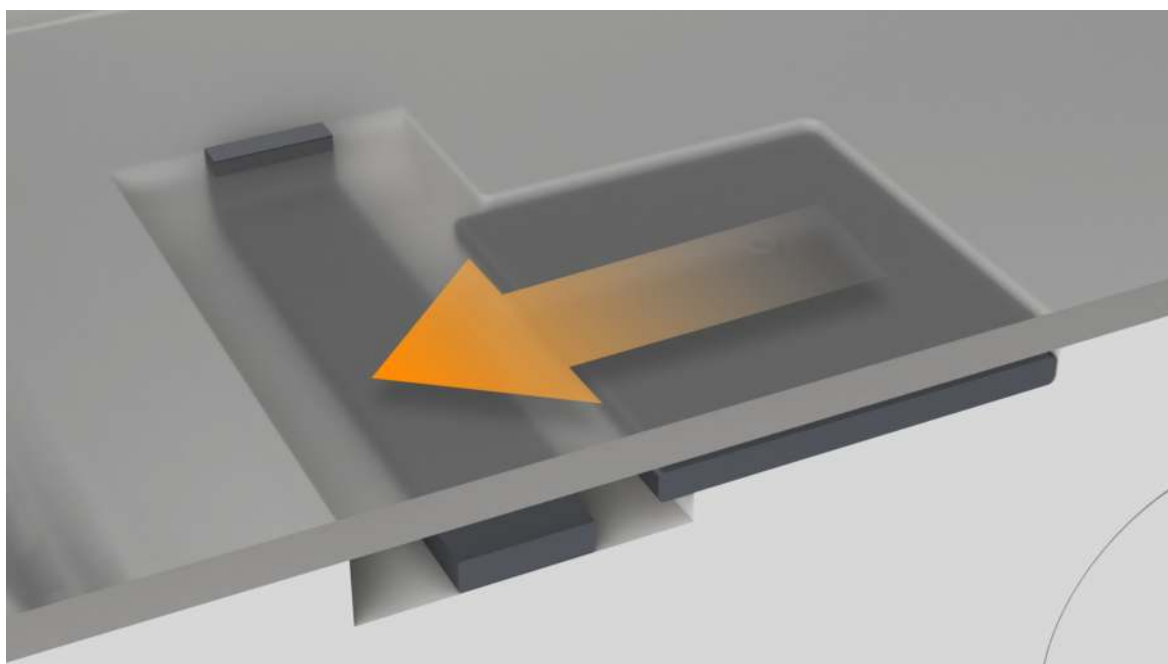
6.2.4 Mechanismus boxu

Pro spolehlivou přepravu zásob, citlivého materiálu nebo potravin v extrémním horském terénu je box vybaven robustním mechanickým zámekem, který zaručuje absolutní stabilitu a integritu nákladu i při velkém náklonu, silných otřesech nebo náhlých manévrech stroje. Celý tento uzavírací mechanismus byl od počátku navržen pro maximálně rychlou a intuitivní obsluhu personálem horských chat, přičemž byl kladen důraz na bezproblémovou funkčnost i v nepříznivých povětrnostních podmínkách, jako je mráz, sněžení či silný vítr, a to i v případě, že obsluha používá silné zimní rukavice. V pracovní (uzamčené) poloze je jistící klapka plně zapuštěna do těla víka, což tvoří hladký povrch, který efektivně chrání zámek před mechanickým poškozením při průjezdu úzkými stezkami, hustou vegetací nebo při náhodném kontaktu s ostrými skalami. Samotné odjištění pak probíhá prostým a přirozeným tahem za spodní hranu klapky, přičemž její specifický ergonomický tvar poskytuje dostatečnou páku pro minimalizaci fyzické námahy obsluhy a zabráňuje namrzání vnitřních částí. Z hlediska bezpečnosti a ochrany nákladu je klíčové, že i po úplném mechanickém odjištění zůstává víko boxu pevně a těsně usazeno ve své pozici, dokud pracovník nevyvine záměrný a silnější tah za hlavní madlo. Přístup k mechanismu je definován zasazením madla do boxu, kde pro odjištění boxu se k mechanismu dostane právě přes zapuštěné madlo. Tento dvouúrovňový princip ochrany eliminuje riziko nechtěného vysypání obsahu v důsledku nedbalého zavření nebo prudkého poryvu větru během manipulace. Celý systém tak představuje harmonické spojení vysoké mechanické odolnosti s uživatelským komfortem, který je v náročných horských operacích naprosto nezbytný.



Obr. 6-25 Odjištění víka

Bezpečné ukotvení nákladového boxu k robotovi zajišťuje horizontální fixační mechanismus, který je klíčový pro stabilitu nákladu v náročném horské prostředí. Celý systém využívá unikátní kombinaci tvarového uložení a aktivního zajištění. Zatímco tělo robota je tvarováno tak, aby se box zajistil proti horizontálnímu posunu již samotným zapadnutím do vymezeného prostoru v robotovi, doplňková zajišťující plošinka, která se mechanicky zasouvá mezi základnu a úchyty na spodní straně boxu, plní funkci primární pojistky proti vertikálnímu pohybu. Tato plošinka především zachycuje box na místě tak, aby se nepohyboval nahoru a dolů při přejezdu nerovností, čímž vytváří pevný tvarový zámek nezbytný pro bezpečné překonávání prudkých sklonů při zásobování horských chat. Konstrukce mechanismu díky tomuto principu rovnoměrně rozkládá síly do konstrukce stroje a umožňuje rychlé a jednoznačné zajištění bez nutnosti složité manipulace, co zvyšuje bezpečnost práce v nepříznivých klimatických podmínkách.



Obr. 6-26 Mechanismus upnutí boxu na robota

6.2.5 Ovládací prvky

Centrální ovládací panel v horní části interaktivního modulu tvoří rozhraní pro přímou komunikaci s robotem. Hlavní tlačítko Power ON/OFF slouží v terénu k okamžitému zastavení stroje, avšak jeho stisk nevyvolá úplné vypnutí systémů. Robot místo toho přejde do aktivního pohotovostního režimu, upozorní operátora na externí zásah a spustí vestavěný mikrofon a reproduktor, aby skrze hlasovou interakci zjistil, co se v jeho okolí děje. Ostatní funkce, jako je restart systému nebo odemknutí nákladového boxu, zůstávají v terénu z bezpečnostních důvodů uzamčeny. K jejich aktivaci se uživatel dostane až po pětisekundové autorizaci podržením hlavního tlačítka, což zabraňuje neoprávněnému přístupu k nákladu či kritickým systémům robota na veřejných trasách.



Obr. 6-27 Ovládací panel

Ovládací prvek, umístěný v bezprostřední blízkosti úchopu akumulátoru, slouží k mechanickému uvolnění baterie ze slotu robota. Pro zajištění maximální bezpečnosti v terénu je tlačítko softwarově chráněno proti náhodné či neautorizované manipulaci, například dětmi. Zatímco v místech nakládky je systém nastaven na okamžité odjištění po stisknutí tlačítka, v provozu musí uživatel pro uvolnění modulu tlačítko nejprve podržet po dobu 5 sekund a následně svou volbu potvrdit dalším stiskem. Tato dvoufázová sekvence zaručuje, že k odjištění těžkého akumulátoru dojde pouze při vědomém a záměrném úkonu, čímž se předchází riziku vypadnutí baterie.



Obr. 6-28 Odjištění baterií

6.2.6 Baterie

Čelní strana bateriových modulů představuje koncentrované servisní rozhraní, které integruje veškeré prvky pro manipulaci a diagnostiku do jednoho logického celku. Každý modul je vybaven hluboce zapuštěným madlem pro bezpečný úchop, které je doplněno pětidílným vertikálním LED indikátorem pro okamžitou vizuální kontrolu stavu nabití. Toto uspořádání umožňuje operátorovi pouhým pohledem identifikovat energetickou hladinu akumulátoru i v náročných terénních podmínkách bez nutnosti přístupu k hlavnímu ovládacímu panelu. Součástí tohoto bloku je také softwarově chráněné tlačítko s ikonou zámku, které slouží k bezpečnému odjištění modulu ze šasi. Soustředění manipulačního prvku, stavové signalizace a ovládacího tlačítka na jednu plochu minimalizuje časovou náročnost servisních úkonů a díky symetrickému rozmístění prvků na vnějších okrajích modulů poskytuje uživateli intuitivní přehled o konfiguraci energetických zásob stroje.



Obr. 6-29 Baterie

6.2.7 Pohyb končetin

Konstrukce nohy robota je navržena tak, aby byla co nejlehčí a robot s ní mohl v horách snadno manipulovat. Hlavním vylepšením je soustředění všech tří hlavních motorů do horní části nohy (u kyčle). To znamená, že motor, který hýbe kolenem, není umístěn přímo v koleni, ale je posunutý výše a sílu přenáší pomocí mechanického táhla. Díky tomu je spodní část nohy lehčí, co robotovi umožňuje dělat rychlejší kroky a šetřit energii, protože nemusí při každém pohybu zvedat těžký motor v koleni.

Motory u kyčle umožňují noze pohyb do všech potřebných stran. Zvedání dopředu a dozadu, ale i vyklánění do boků, které je zásadní pro udržení rovnováhy na úzkých horských stezkách. Pro pohyb po cestách k horským chatám je pak noha na konci vybavena kolem s vlastním motorem. Tento systém dovoluje robotovi kombinovat jízdu s chůzí podle toho, v jakém terénu se zrovna nachází. Na rovnějším terénu robot využívá kola pro rychlou a úspornou jízdu, zatímco v těžkém terénu se kola uzamknou a slouží jako stabilní opěrné body při kráčení. Tato kombinace nohou a pohonu v kolech zajišťuje, že se robot bezpečně a efektivně pohybuje i v místech s velkými nerovnostmi.

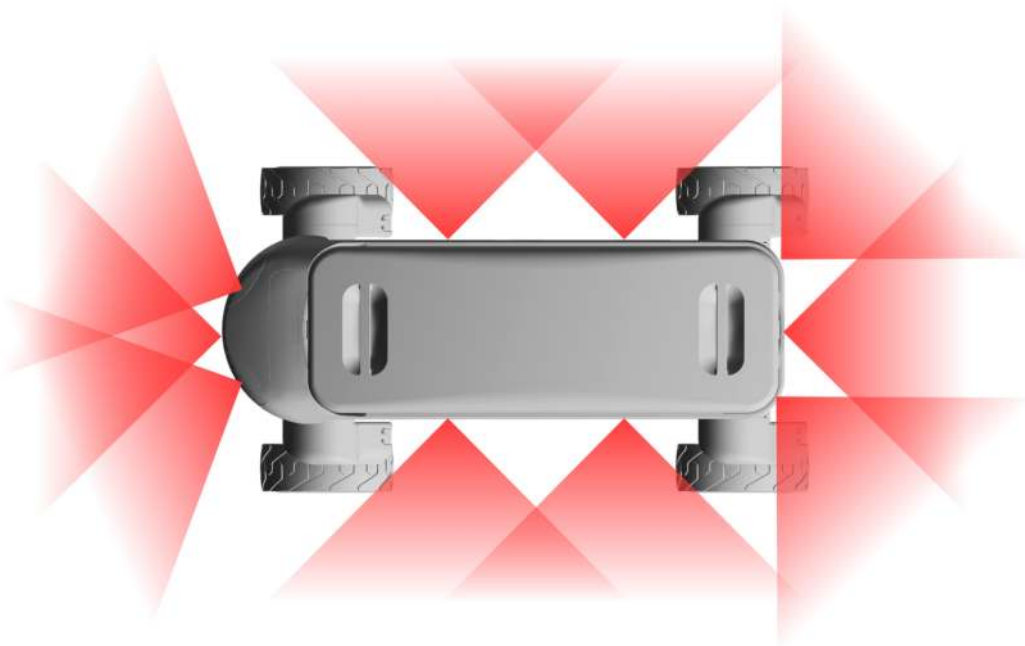


Obr. 6-30 Pohyb končetin

V extrémním horském terénu, kde charakter povrchu zcela vylučuje využití kolového pohonu, se nabízí možnost vybavit robota variantou nohou bez kol. Vzhledem k tomu, že by v takových podmínkách byla kola pouze nevyužitou zátěží, jejich odstranění by zvýšilo efektivitu chůze. Můj návrh je však koncipován jako univerzální řešení, které počítá s vyváženým poměrem jízdy a chůze v poměru 50:50, co odpovídá smíšenému terénu cest k horským chatám.

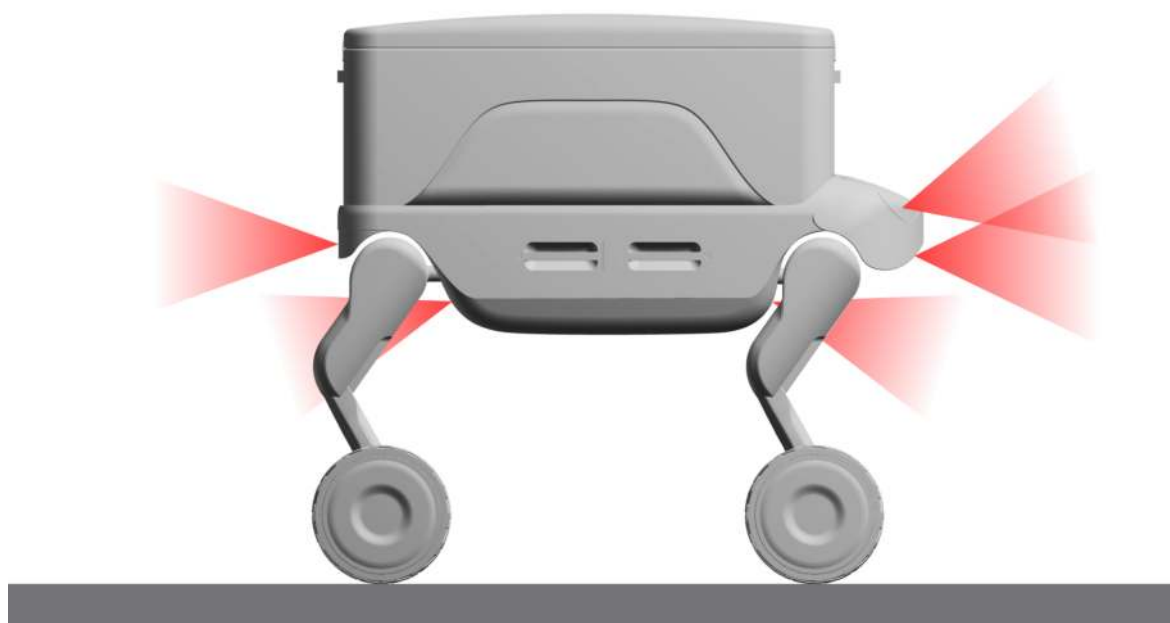
6.2.8 Zorné pole kamer

Pro zajištění bezpečné autonomní navigace a plného situačního povědomí v náročném horském terénu byl navržen vizuální systém s deseti RGBD kamerovými moduly, které robotovi poskytují kompletní 360° pokrytí okolního prostoru. Strategické rozmístění těchto senzorů na přední, zadní a boční části šasi bylo zvoleno tak, aby se jednotlivá zorná pole částečně překrývala a zcela eliminovala slepá místa v bezprostřední blízkosti stroje. Čelní a zadní kamery primárně slouží k dálkovému plánování trasy a detekci překážek ve směru pohybu, zatímco čtyři boční moduly umístěné u náprav monitorují prostor po stranách a v okolí nohou. Toto uspořádání je klíčové zejména pro režim chůze, kdy robot potřebuje přesně znát geometrii terénu pod každou končetinou, aby mohl bezpečně korigovat stabilitu. Díky využití RGBD technologie je systém schopen generovat mapu hloubky a zároveň digitální obraz, co robotovi umožňuje včas identifikovat prohlubně či balvany a efektivně se jim vyhnout. Využití RGBD kamerových modulů umožňuje kromě autonomního pohybu také plnohodnotné vzdálené ovládání operátorem. Díky schopnosti těchto senzorů přenášet obraz v reálném čase získá uživatel vizuální zpětnou vazbu o pohybu a okolí robota, což dovoluje bezpečné manévrování i v úsecích, které vyžadují lidský úsudek. Celková konfigurace tak vytváří robustní digitální obraz okolí, který je nezbytný pro spolehlivé rozhodování řídicího systému i v podmínkách, kde charakter povrchu neumožňuje využití jednodušších navigačních metod.



Obr. 6-31 Zorné pole shora

Boční schéma s detailně vyznačenými zónami záběru jasně demonstruje strategické rozmístění RGBD kamer, které společně poskytuje robotu komplexní a kontinuální prostorový vjem v rozsahu 360 stupňů. Horní kužely záběru vycházejí z kamer primárně umístěných v předních „očích“ a v zadním sensorickém bloku, přičemž jejich specifická orientace mírně vzhůru zajišťuje široký přehled o vzdálenějším okolí, okolní infrastruktuře a objektech situovaných ve vyšších úrovních, jako jsou převisy nebo postavy osob. Spodní kužely záběru, které vycházejí ze senzorů chráněných pod odolnými průhlednými kryty přímo v šasi, jsou cíleny pod ostrým úhlem přímo na terén v bezprostřední blízkosti kol a pohybového aparátu. Tato sofistikovaná kombinace vysokého a nízkého rozhledu umožňuje řídicímu systému v reálném čase vytvářet vysoce přesnou dynamickou mapu prostředí, kde robot současně vidí cestu daleko před sebou a zároveň vnímá každou drobnou nerovnost, kámen či prohlubeň přímo pod svými končetinami. Překryv těchto jednotlivých zorných polí byl navržen tak, aby efektivně minimalizoval slepá místa v blízkosti stroje a zaručil, že má autonomní mozek v každém okamžiku k dispozici nadbytek dat pro bezpečnou navigaci a okamžitou korekci trasy i v extrémně členitém či nepředvídatelném terénu. Celý systém tak funguje jako digitální štít, který neustále vyhodnocuje geometrii okolního prostoru a zajišťuje plynulý a bezkolizní pohyb bez ohledu na složitost aktuálních podmínek.



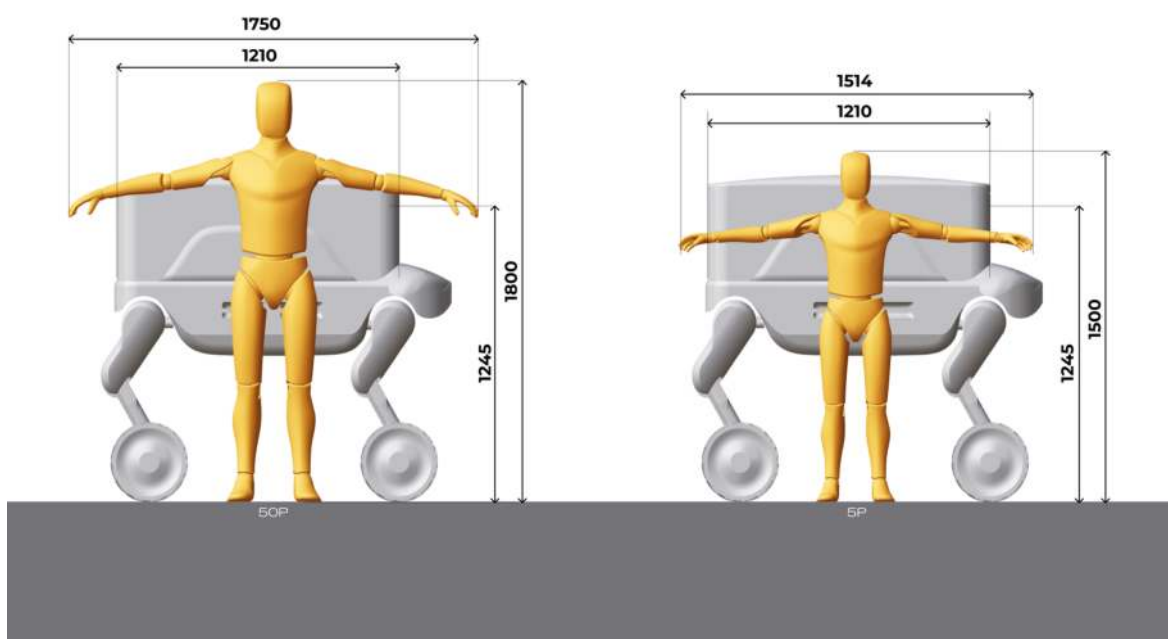
Obr. 6-32 Zorné pole kamer zboku

6.3 Ergonomické řešení bezpečnost a hygiena

Ergonomické řešení asistenčního robota je v této práci chápáno jako soubor opatření, která zajišťují intuitivní, bezpečnou a fyzicky udržitelnou spolupráci mezi člověkem a strojem. Následující analýza využívá metodu srovnání ergonomických rozměrů průměrné dospělé postavy s funkčními zónami robota. Pozornost je věnována především šesti klíčovým oblastem: od celkového rozměrového vztahu, přes logistiku manipulace s nákladem a energetickými moduly, až po detailní ergonomii úchopových prvků a ovládacího rozhraní. Cílem je ověřit, že veškerá interakce probíhá v optimálních dosahových zónách bez rizika přetížení uživatele. Robot tak představuje ergonomicky optimalizovaný nástroj plně přizpůsobený fyzickým limitům člověka.

6.3.1 Rozměry člověka vůči robotovi

Vztah mezi fyzickými proporcemi člověka a asistenčního robota je klíčovým faktorem, který určuje míru přijetí technologie v horském prostředí a efektivitu vzájemné spolupráce. Při srovnání s postavou průměrného dospělého muže o výšce 1800 mm je patrné, že robot byl navržen v lidském měřítku tak, aby jeho silueta nepřekračovala úroveň očí uživatele. Výška madla boxu dosahující 1245 mm odpovídá přibližně úrovni hrudníku operátora, co umožňuje pohodlný přístup k horní ploše a manipulaci s ovládacími prvky bez nutnosti hlubokého předklonu. Při srovnání s postavou 5. percentilu (výška 1500 mm) je patrné, že i s nákladem zůstává stroj pod úrovní temene hlavy uživatele. Robot díky tomu netvoří vizuální bariéru, což i menším postavám zaručuje přehled o terénu.



Obr. 6-33 Rozměr člověka vůči robotovi

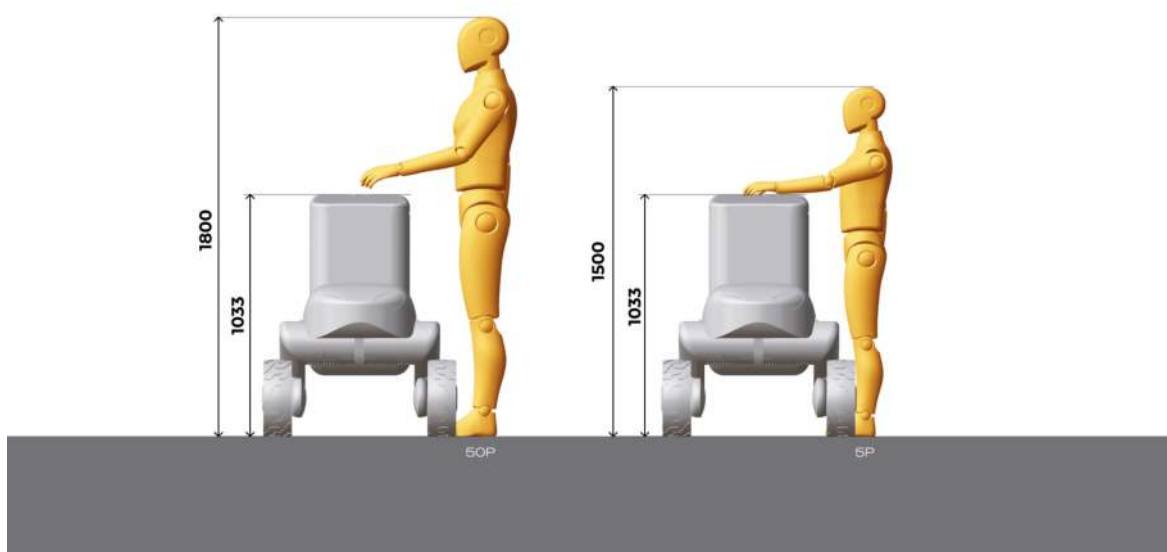
Návrh robota vychází z antropometrických dat 5. a 50. percentilu populace, což zajišťuje ergonomickou přístupnost pro drobnější i průměrné postavy. Výška madla boxu 1245 mm sahá průměrnému muži (1800 mm) po hrudník a uživateli 5. percentilu k ramenům, co umožňuje snadný přístup k ovládání bez předklonu. Ani s transportním boxem (celková výška 1440 mm) stroj nepřekračuje úroveň očí, čímž uživateli neblokuje výhled a nepůsobí psychologicky dominantně. Analýza záměrně vynechává 95. percentil, neboť v otevřeném terénu výška postavy obsluhu nijak neomezuje. Šířka boxu, standardních 1210 mm, odpovídá přirozenému rozpětí paží pro snadnou manipulaci, zatímco maximální rozchod paží u 50. percentilu je 1750 mm zaručuje stabilitu v prudkém svahu. Tato synergie potvrzuje, že proporce stroje jsou přímo odvozeny od fyzických limitů širokého spektra uživatelů.

6.3.2 Manipulace s boxem

Návrh celého transportního systému a jeho ergonomických manipulačních prvků plně respektuje a striktně dodržuje hygienické limity stanovené nařízením vlády č. 361/2007 Sb., které precizně definuje přípustnou hmotnost ručně manipulovaného břemene s ohledem na ochranu zdraví při práci. Pro muže je při občasném zvedání stanoven limit 50 kg, zatímco při častém a opakovaném přenášení se tato bezpečná hodnota snižuje na 30 kg, aby se předešlo kumulativnímu poškození páteře. Tyto legislativní parametry byly klíčovým a závazným vstupem pro celkové dimenzování transportního boxu, jeho objemové kapacity a strategické umístění madel, aby byla zajištěna nejen vysoká efektivita logistiky, ale především maximální ochrana zdraví operátora. Cílem tohoto řešení je důsledná prevence dlouhodobého přetížení pohybového aparátu a minimalizace rizika úrazů, které jsou v náročném, nerovném a často kluzkém horském terénu spojeny s manipulací s těžkými náklady. Box je tak navržen jako bezpečný partner, který usnadňuje práci personálu a zároveň splňuje ty nejprísnejší standardy bezpečnosti práce v moderním provozu.[35]

Zásadním ergonomickým parametrem pro obsluhu robota v terénu je výšková úroveň, ve které dochází k otevírání boxu. Celý proces začíná aktivací polohy, při které robot pokrčí končetiny a „lehne si“ na podložku. Tento úkon výrazně snižuje výšku dělící roviny mezi boxem a víkem 1033 mm, což je klíčové pro bezpečný přístup k nákladu. Tato výška je zvolena záměrně, neboť pro průměrnou postavu (1800 mm) představuje úroveň pasu a pro uživatele menšího vzrůstu (1500 mm) úroveň mírně nad pasem.

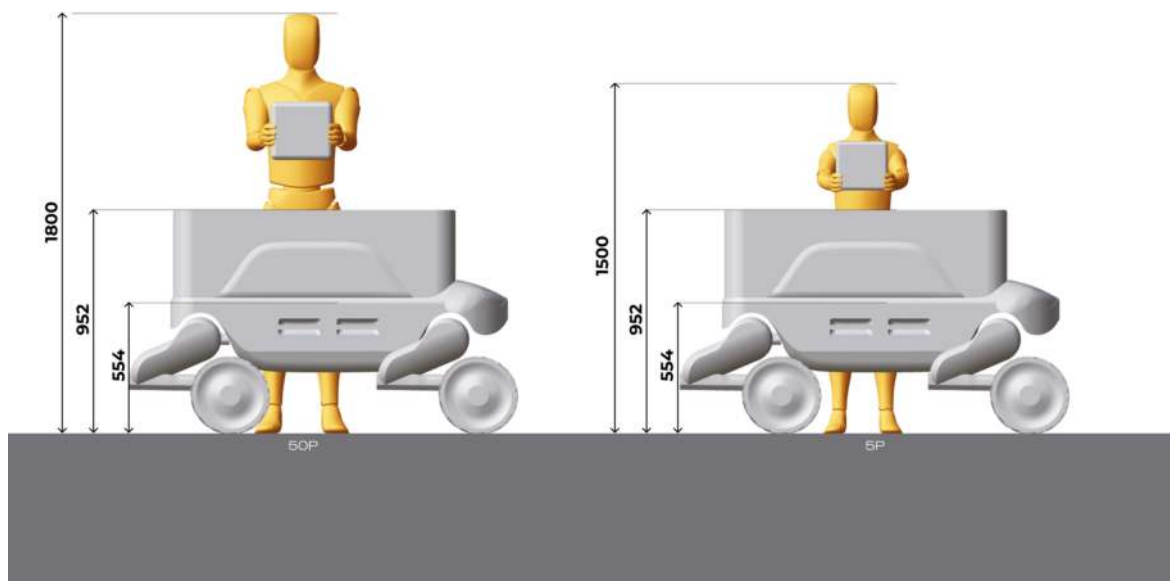
Díky snížení celého stroje do této polohy probíhá počáteční fáze úchopu a zvedání v komfortní zóně dosahu paží. Uživatel se nemusí k boxu nepřírozeně natahovat, což eliminuje statické zatížení bederní páteře při manipulaci s rozměrným víkem. Paže jsou při úchopu v loktech mírně pokrčené, což aktivuje optimální svalové napětí. Dělící rovina v úrovni pasu zaručuje, že uživatel má nad procesem otevírání plnou kontrolu bez nutnosti měnit postoj či stabilitu.



Obr. 6-34 Otevření boxu

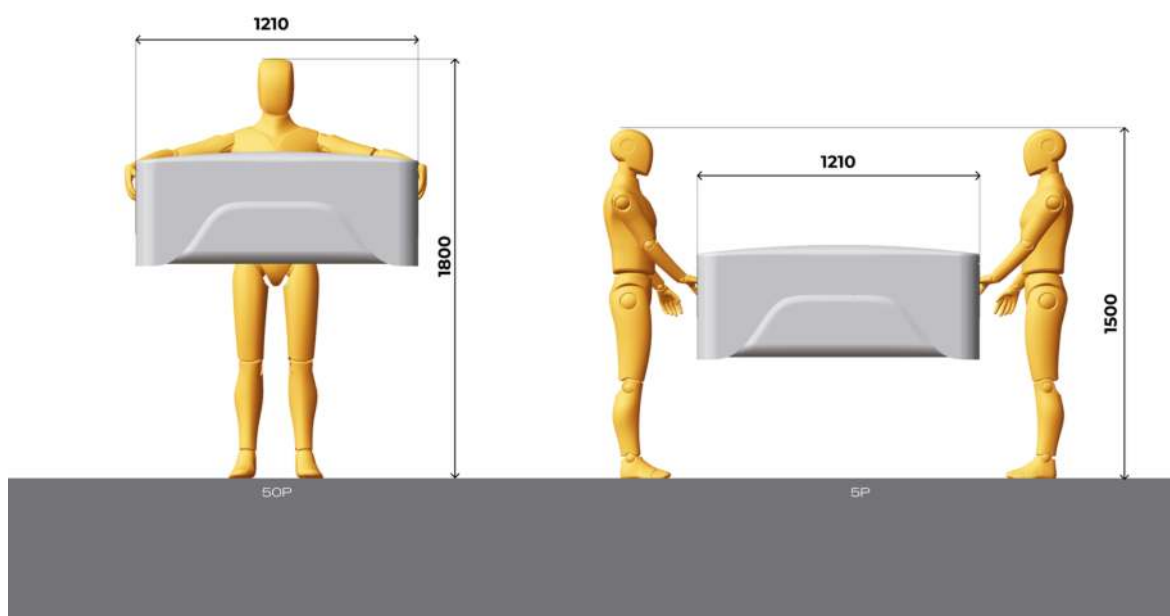
Fáze nakládání boxu klade největší nároky na ergonomii z hlediska vertikálních dosahů. Aby byla manipulace s těžším nákladem co nejméně namáhavá, robot před samotným procesem naložení přechází do servisní polohy se sníženým těžištěm. V této konfiguraci dochází k pokrčení končetin, čímž se horní hrana úložného prostoru dostává do výšky 952 mm nad zemí.

Snížení celkové stavby stroje je zcela zásadní ergonomickou výhodou zejména pro uživatele 5. percentilu (s výškou postavy kolem 1500 mm), pro které tato úroveň horní hrany představuje přibližnou výšku pasu. Tato konfigurace jim umožňuje vkládat i těžší předměty do nákladového boxu bez nutnosti zvedat břemeno nad kritickou úroveň loktů, což výrazně šetří ramenní klouby a eliminuje vznik nebezpečných svalových kompenzací. Pro uživatele s průměrnou postavou 50. percentilu (výška 1800 mm) se ložná plocha nachází v ideální manipulační zóně pod úrovní pasu, co dovoluje operátorovi využít k nakládání sílu celého těla a udržet stabilní postoj bez rizika ztráty rovnováhy na nerovném podkladu. Spodní vnitřní část boxu ve výšce 554 mm je navíc navržena tak, aby poskytovala dostatečný manipulační prostor pro snadné uchopení nákladu přímo uvnitř modulu, aniž by přitom docházelo k extrémnímu a nezdravému ohýbání trupu či přetěžování bederní páteře. Tato komplexní výšková optimalizace celého stroje v praxi potvrzuje, že robot není jen pasivním nosičem, ale aktivně spolupracuje s uživatelem na minimalizaci fyzické námahy a prevenci únavy během celého cyklu logistických úkonů. Celý koncept tak vytváří inkluzivní pracovní prostředí, které respektuje širokou škálu tělesných proporcí personálu a klade důraz na dlouhodobou udržitelnost jejich zdraví.



Obr. 6-35 Naložení boxu

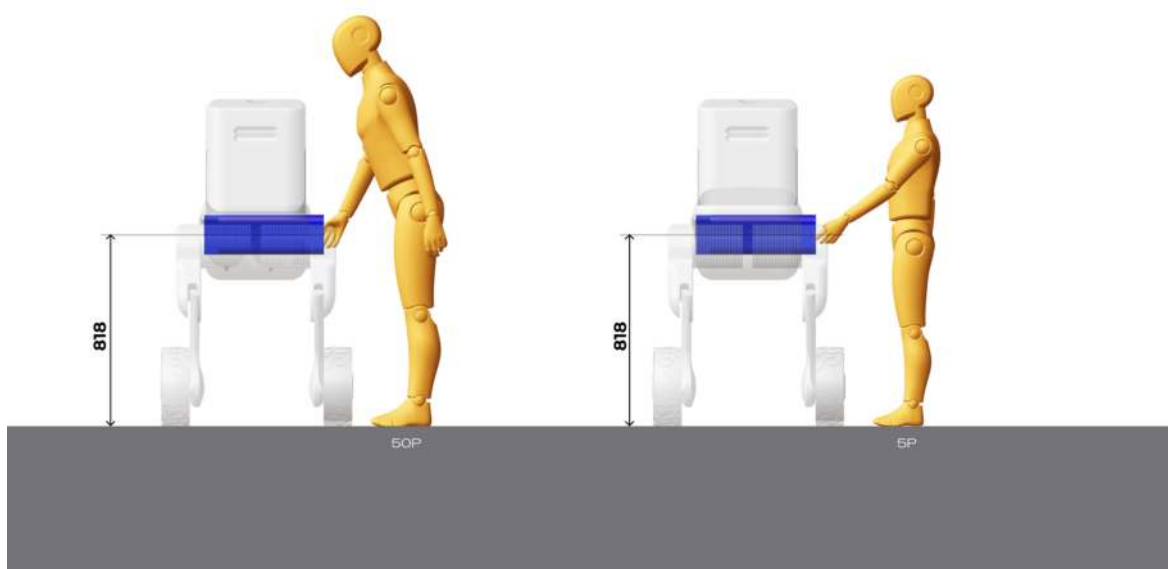
Rozměry transportního boxu jsou optimalizovány pro bezpečný úchop a minimální zátěž zad, přičemž šířka 1210 mm odpovídá přirozenému rozpětí paží. Boční madla aktivují silnější svalové skupiny a vhodná výška boxu zachovává operátorovi vizuální přehled o terénu před sebou. I když rozměry dovolují manipulaci jednotlivcem, pro maximální stabilitu v náročném horském prostředí se doporučuje přenášení ve dvou osobách.



Obr. 6-36 Přenos boxu

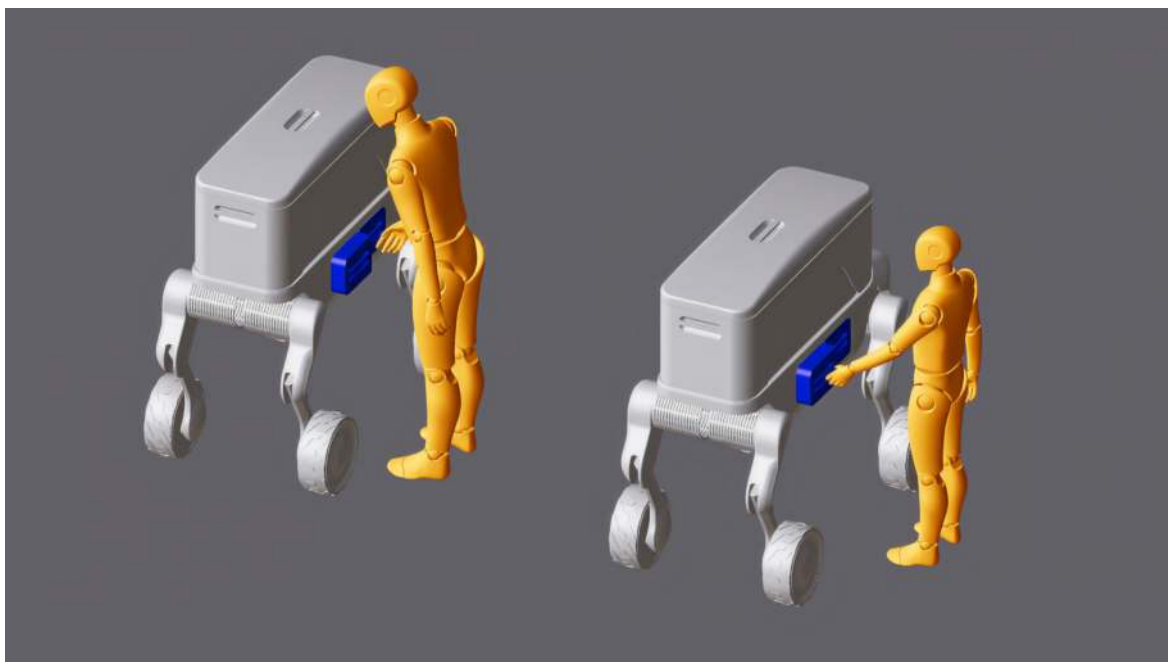
6.3.3 Manipulace s bateriemi

Výměna baterie je navržena tak, aby probíhala v přirozené vzpřímené poloze uživatele, co minimalizuje nutnost neustálého ohýbání v terénu. Na rozdíl od nakládání boxu zůstává robot při výměně baterií ve vztyčené poloze, čímž se sloty pro moduly dostávají do výšky 818 mm. Pro uživatele 50. percentilu tato výška odpovídá úrovni pasu, zatímco pro 5. percentil se nachází mírně nad pasem. Obě skupiny tak mohou s těžkými moduly manipulovat v optimální silové zóně s pažemi v přirozeném úhlu.



Obr. 6-37 Manipulace s baterií

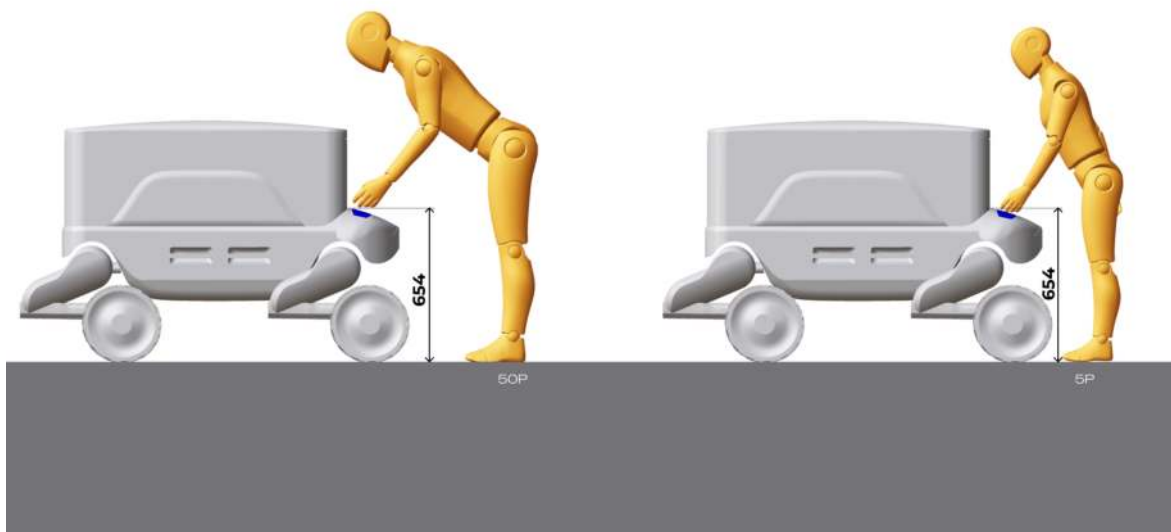
Design ovládacích prvků stroje důsledně využívá principů Gestalt psychologie, konkrétně pak zákona blízkosti, který zajišťuje intuitivní vazbu mezi ovladačem a jeho funkcí. Tlačítko pro mechanické odjištění je strategicky umístěno v bezprostřední fyzické blízkosti bateriového modulu a pro maximální srozumitelnost je vizuálně zvýrazněno kontrastním oranžovým pozadím, co slouží jako jasný signál pro uživatele. Samotný proces vyjmutí akumulátoru probíhá plynulým horizontálním vytažením modulu směrem k sobě, co eliminuje potřebu složitého zvedání v nepřírodních úhlech. Díky tomu, že je slot situován přesně v optimální úrovni těžiště operátora, je manipulace i s poměrně hmotným akumulátorem velmi stabilní, ergonomicky šetrná a bezpečná. Celý koncept doplňují robustní integrovaná madla modulu, která jsou svými rozměry a texturou precizně dimenzována pro jistý a bezpečný úchop, čímž se minimalizuje riziko vyklouznutí a následného poškození techniky či zranění obsluhy.



Obr. 6-38 Manipulace s baterií perspektiva

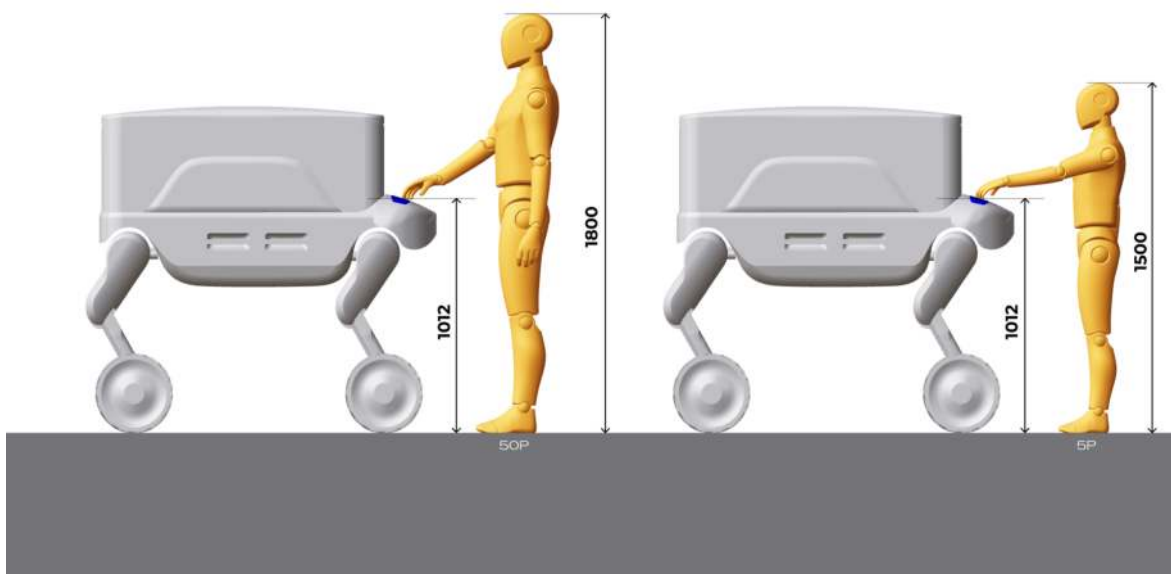
6.3.4 Ovládací panel

Při přechodu robota do specifického režimu lehu se ovládací panel nachází v optimální výšce 654 mm nad zemí, což v rámci antropometrických měření odpovídá úrovni kolen až stehů operátora. Tato snížená konfigurace je cíleně navržena pro servisní a logistické úkony prováděné v bezprostřední blízkosti stroje, jako je manuální mechanické uzamykání nákladu, výměna modulů nebo detailní vizuální kontrola podvozkových částí a kloubních mechanismů. Pro uživatele 50. i 5. percentilu sice tato poloha vyžaduje hlubší předklon, ten však v daný moment nabízí zásadní výhodu. Umožňuje přímý a kolmý pohled na displej shora. Takový zorný úhel minimalizuje odlesky okolního světla, výrazně zvyšuje čitelnost grafického rozhraní a zpřesňuje taktilní manipulaci s ovládacími prvky. Umístění panelu v této výšce navíc reflektuje psychologickou potřebu obsluhy mít při kritických momentech, jako je startování systému nebo inicializace autonomního režimu, dokonalou vizuální kontrolu nad celým půdorysem stroje i jeho bezprostředním okolím. Tím se eliminuje riziko přehlédnutí překážky v blízkosti nohou robota a zvyšuje se celková bezpečnost práce v terénu, kde je přehled o situaci kolem celého stroje naprostou prioritou. Zároveň tato výška slouží jako přirozený bariérový prvek, který zabraňuje náhodné aktivaci panelu při běžném průchodu kolem stroje v jeho pracovní výšce.



Obr. 6-39 Ovládací panel leh

Ve vzpřímené pracovní poloze robota se ovládací panel zvedá do výšky 1012 mm, což představuje optimální ergonomickou zónu pro běžnou interakci. Pro obě sledované skupiny uživatelů se tak panel nachází v úrovni pasu, což dovoluje ovládání stroje v přirozeném vzpřímeném postoji s pažemi v mírném pokrčení. Tato výška je ideální pro rychlé zadávání instrukcí, kontrolu stavu baterií nebo plánování trasy bez nutnosti ohýbání zad. Díky této vertikální úrovni je displej snadno přístupný a čitelný i při dlouhodobější práci se systémem, což výrazně snižuje fyzickou únavu operátora během asistence v terénu.



Obr. 6-40 Ovládací panel ve stoje

6.3.5 Madla

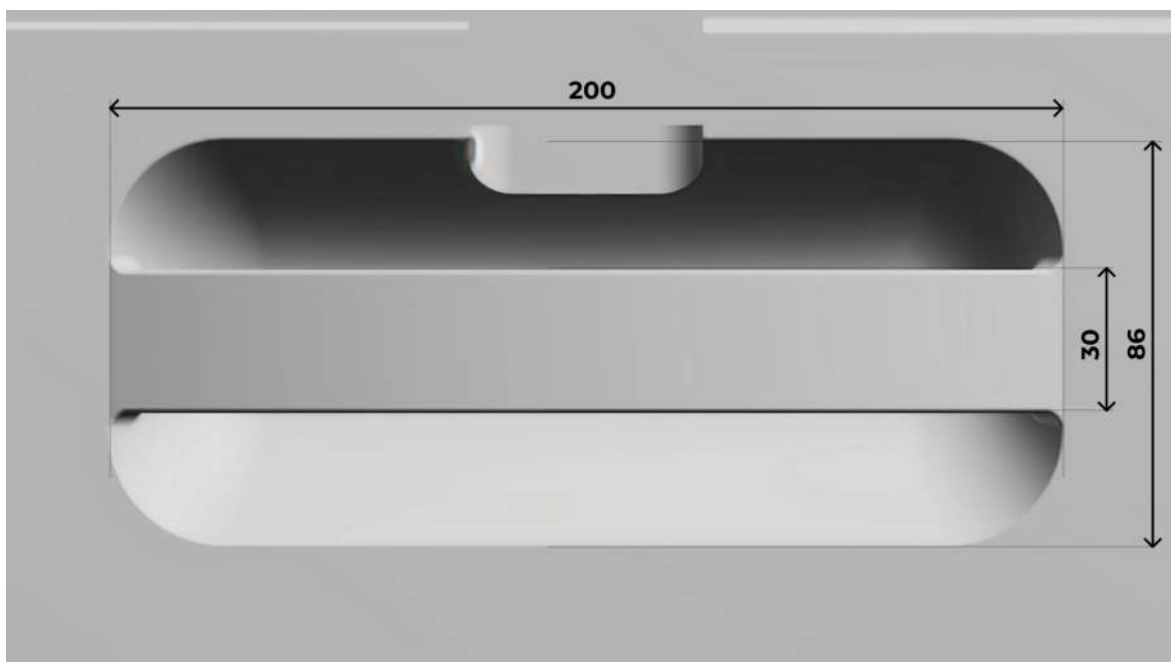
Důležitým aspektem interakce mezi člověkem a strojem jsou manipulační prvky, které umožňují bezpečnou a intuitivní obsluhu v náročných podmínkách. Design madel u tohoto robota není pouze estetickým doplňkem, ale klíčovým funkčním prvkem, který reflektuje potřeby operátora při nakládání, přenášení a zajišťování nákladu. Strategické umístění těchto prvků na šasi i transportním boxu vychází z ergonomických studií dosahových zón a přirozených úchopových bodů. Cílem návrhu bylo zajistit, aby manipulace s komponenty byla co nejméně fyzicky namáhavá a minimalizovala riziko zranění či poškození techniky, zejména v nerovném horském terénu, kde je stabilita a pevný úchop prioritou.



Obr. 6-41 Madla

Madlo boxu

Z vnějšího pohledu je patrné, že madlo je plně integrováno do boční stěny skeletu boxu. Celková šířka výřezu činí 200 mm, což je rozměr navržený s výraznou rezervou pro snadný úchop jednou rukou v silné zimní rukavici. Vertikální rozměr úchopové části je 30 mm, což zajišťuje dostatečnou plochu pro rozložení tlaku na dlaně. Zapuštěné řešení chrání ruce operátora před vnějšími vlivy a nárazy při pohybu robota v úzkém terénu, a zároveň vizuálně sjednocuje design celého modulu.



Obr. 6-42 Madlo box

Tento řez znázorňuje vnitřní geometrii kapsy pro ruku. Celková šířka vybrání do těla boxu je 86 mm, přičemž samotný prostor pro zaklesnutí prstů za hranu madla má hloubku 30 mm. Směrem k okrajům se madlo rozšiřuje až na celkových 200 mm, přičemž madlo o tloušťce 15 mm slouží jako bezpečnostní doraz pro hranu ruky. Tato ergonomická úprava zajišťuje, že ruka při manipulaci s prázdným boxem ze stroje nesklouzne, a zároveň definuje jasnou polohu pro stabilní úchop.



Obr. 6-43 Madlo box řez

Madlo víko boxu

Čelní pohled na madlo víka transportního boxu odhaluje zapuštěné řešení o celkové šířce výřezu 240 mm. Tato šířka je zvolena záměrně, aby umožnila operátorovi úchop a snadnou manipulaci s víkem i v silných zimních rukavicích. Vertikální rozměr úchopové části činí 27 mm, přičemž celková výška výřezu je 120 mm. Toto dimenzování zajišťuje dostatečný prostor pro rychlé vložení ruky a intuitivní nalezení těžiště při zvedání víka. Zapuštění madla do roviny stěny boxu navíc zabraňuje nechtěnému zachycení o okolní vegetaci nebo jiné překážky během pohybu robota v úzkých pasážích terénu.



Obr. 6-44 Madlo víko boxu

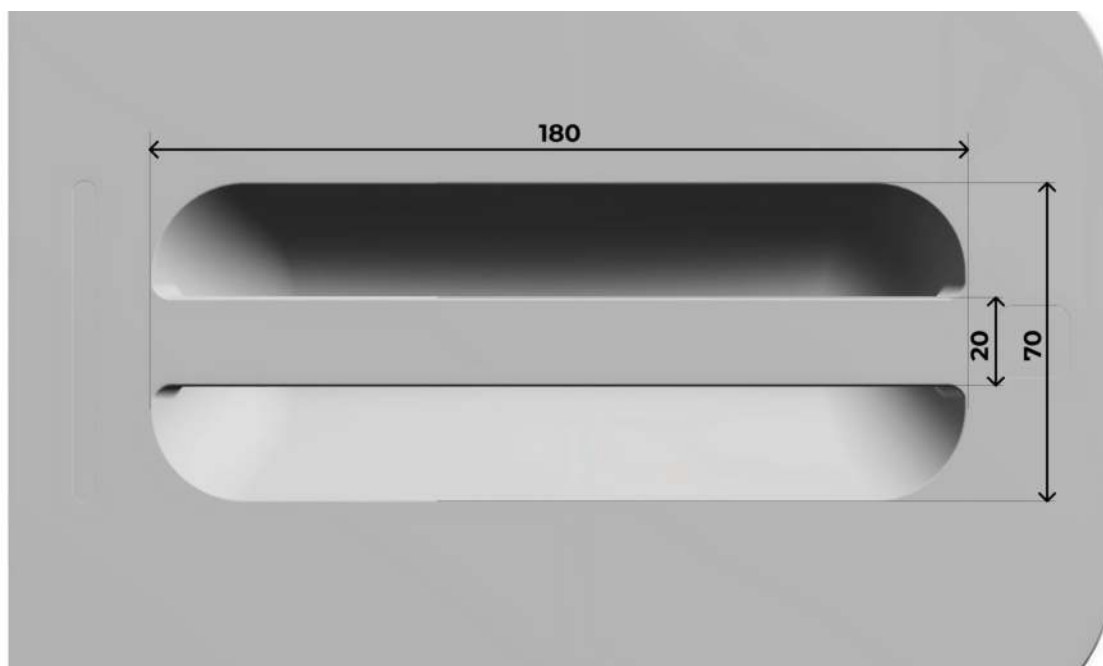
Řez shora znázorňuje specificky tvarovanou vnitřní kapsu, která je navržena pro maximální stabilitu při vertikálním tahu. Celková hloubka prostoru pro ruku je 41 mm, což vzniká součtem 15 mm samotného madla a 26 mm volného prostoru pro prsty. Vnější hrana tvoří 15 mm silný lem, za který se prsty operátora mohou pevně a bezpečně zaklesnout. Tato ergonomická geometrie je klíčová pro bezpečné otevírání víka. Vnitřní zaoblení kapsy je optimalizováno tak, aby rovnoměrně rozkládalo tlak na prsty a poskytovalo pevnou oporu o vnitřní stěnu i při vynaložení větší síly potřebné k odjištění boxu.



Obr. 6-45 Madlo víko boxu řez

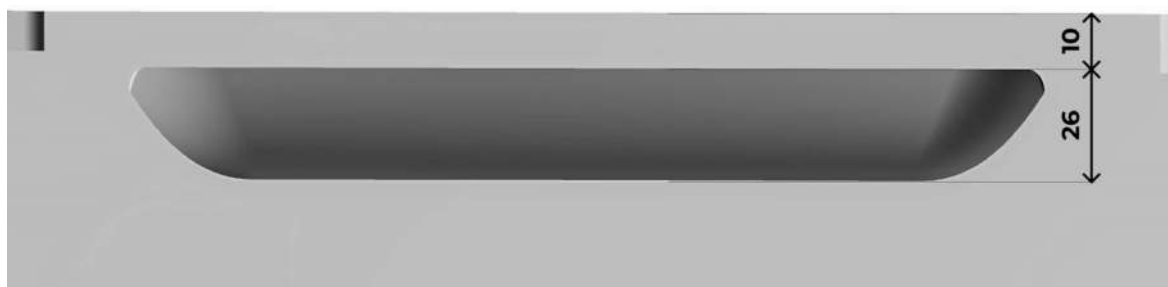
Madlo baterie

Čelní pohled na bateriový modul ukazuje zapuštěné madlo o celkové šířce 180 mm. Tento rozměr je zvolen tak, aby definoval přesnou polohu ruky ve středu modulu, což je klíčové pro vyváženou manipulaci s těžkým akumulátorem při jeho vytahování ze slotu. Vertikální rozměr úchopové části je 20 mm a celková výška výřezu činí 70 mm. Kompaktní šířka 180 mm zároveň ponechává dostatek materiálu po stranách modulu pro mechanickou tuhost celého bateriového pouzdra.



Obr. 6-46 Madlo baterie

Řez shora odhaluje specifickou geometrii pro maximálně bezpečný úchop. Celková hloubka kapsy pro ruku je 36 mm (součet 10 mm přesahu a 26 mm volného prostoru pro prsty). Vnější hrana skeletu vytváří 10 mm silný bezpečnostní lem, za který se prsty operátora pevně zaklesnou. Tato "hákova" konstrukce je u baterie zásadní, protože zabraňuje vyklouznutí těžkého modulu z ruky při horizontálním tahu směrem od stroje. Vnitřní prostor je tvarován tak, aby i v silné rukavici prsty našly pevnou oporu o vnitřní stěnu madla.

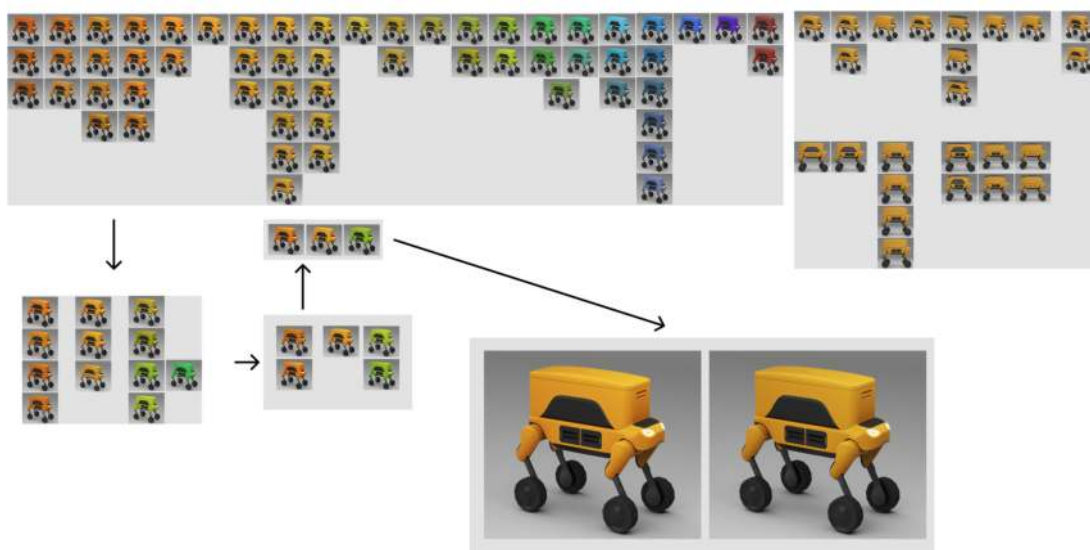


Obr. 6-47 Madlo baterie řez

6.4 Barevné a grafické řešení

Při návrhu vizuální identity a barevného schématu robota byl kladen důraz na spojení funkčnosti, bezpečnosti a estetiky v náročném horském prostředí. Výběru finální varianty předcházela rozsáhlá studie barevných kombinací, která testovala viditelnost stroje v různých světelných a terénních podmínkách.

Cílem tohoto procesu bylo najít barvu, která zajistí vysoký kontrast vůči přírodnímu pozadí, od letní zeleně po zimní sněhovou pokrývku. Zároveň bude respektovat specifika provozu v chráněných krajinných oblastech. Předběžně zvolená kombinace sytě žluté a neutrální šedé představuje optimální řešení, kde dominantní barva slouží jako pasivní bezpečnostní prvek pro snadnou identifikaci stroje lidmi v terénu, zatímco tmavší funkční komponenty dodávají robotovi technickou odolnost a profesionální vzhled. Tento systematický přístup k barevnému řešení zajišťuje, že robot bude v horském terénu nejen dobře viditelný, ale i vizuálně integrovaný do kontextu moderní horské logistiky.



Obr. 6-48 Barevnost

6.4.1 Barevné řešení

Po analýze možných kombinací byl prvotní koncept s využitím sytě žluté barvy v procesu návrhu zamítnut kvůli své přílišné asociaci s těžkou mechanizací. Tato barva je typicky spojována se sektorem stavebnictví, například s bagry či jeřáby, což neodpovídalo záměru vytvořit moderního technologického pomocníka pro horskou logistiku. I přes dobrou viditelnost působila tato kombinace v přírodním kontextu příliš průmyslovým dojmem.



Obr. 6-49 Žlutá varianta

Zelené provedení bylo zvažováno jako cesta k přirozenému splynutí s horským prostředím. Ačkoliv tato barva do krajiny teoreticky zapadá, její zvolený výrazný odstín v kombinaci s mohutností stroje působil v terénu výrazně. I když barva zajišťovala dobrou viditelnost, nenabízela dostatečně jasný signální charakter potřebný pro bezpečný pohyb autonomního stroje mezi turisty.



Obr. 6-50 Zelená variant

Oranžová varianta představovala v rámci úvodního testování ideální volbu především z pohledu pasivní bezpečnosti a maximální viditelnosti v extrémních horských podmínkách, kde se stroj často potýká s hustou mlhou, prudkým deštěm či rozsáhlými sněhovými poli. Tato barva plní funkci vysoce kontrastního výstražného prvku, který je v přirozeném horském terénu naprosto nezaměnitelný a umožňuje ostatním účastníkům provozu nebo turistům identifikovat pohybující se techniku na značnou vzdálenost. Přestože tato volba beze zbytku splňovala přísné funkční požadavky na bezpečnost, celoplošné užití takto agresivního odstínu na velkých plochách šasi s sebou neslo i určité estetické limity. Vizually totiž stroj v tomto provedení stále působil poněkud těžkým a až příliš masivním dojmem, který mohl v určitých situacích působit na okolí spíše rušivě. To vedlo k dalšímu hledání optimálního vyvážení mezi funkční barevností a vizuální lehkostí, která by lépe korespondovala s moderní a dynamickou architekturou celého robotického systému. Využití oranžové se tak v dalších fázích vývoje soustředilo spíše na akcentování klíčových interaktivních prvků namísto pokrytí celého skeletu.



Obr. 6-51 Oranžová varianta

Konečné řešení kombinuje krémovou barvu s oranžovými akcenty, což se ukázalo jako nejvhodnější kombinace pro odlehčení celkové siluety výrobku. Světlý odstín RAL 9001 zajišťuje vynikající viditelnost stroje na velkou vzdálenost, zatímco strategicky umístěné oranžové prvky zvýrazňují klíčové funkční a bezpečnostní části. Tento design působí profesionálně, technicky vyspěle a zároveň respektuje vizuální citlivost horského prostředí.



Obr. 6-52 Finální varianta

6.4.2 Grafické řešení

Logotyp NOM4D tvoří základní kámen vizuální identity projektu a reflektuje jeho technologické a robotické zaměření. Jde o minimalistickou, geometrickou slovní značku postavenou na širokém bezpatkovém písmu s jednotnou tloušťkou linií, což evokuje stabilitu, odolnost a industriální preciznost. Charakteristickým rysem loga je nahrazení písmene „O“ specifickým symbolem s horizontální příčkou, který připomíná technické značení nebo senzorický aparát stroje. Tento prvek v kombinaci s číslicí „4“, která v nápisu nahrazuje písmeno „A“, podtrhuje digitální charakter značky a její inovativní přístup.

Koncept názvu „Nomád“ v technickém zápisu symbolizuje mobilitu a schopnost autonomních jednotek operovat v rozmanitém terénu. Čistá monochromatická barevnost logotypu zajišťuje jeho vysokou čitelnost a snadnou aplikovatelnost napříč médii. Od potisku na tělo samotných robotů až po digitální rozhraní mobilní aplikace. Logo svým přísným geometrickým řádem a absencí dekorativních prvků komunikuje profesionalitu a robustnost celého systému, což jsou klíčové vlastnosti pro segment pokročilé robotiky a dálkového průzkumu.

NΘM4D

Obr. 6-53 Logo

Konstrukční schéma logotypu NOM4D demonstruje důraz na preciznost a systémový přístup, který je pro oblast robotiky klíčový. Celková kompozice je vystavěna na jasné modulární síti, kde se poměry odvíjejí od základní výšky znaku x . Tato výšková konstanta slouží jako univerzální měřítko nejen pro definici samotných liter, ale i pro výpočet ochranné zóny $x/2$. Ta obklopuje logotyp ze všech stran a vytváří nezbytný optický klid pro správné vnímání značky.



Obr. 6-54 Ochranná zóna

Typografický koncept projektu NOM4D důmyslně využívá kontrastu mezi dvěma bezpatkovými písmy pro dosažení dokonalé estetické i funkční rovnováhy celého vizuálního ekosystému. Dominantní font Zen Dots je prioritně aplikován v logotypu a hlavních nadpisech, kde svou širokou geometrickou konstrukcí a výrazným futuristickým rázem vizuálně komunikuje inovaci, kybernetiku a svět pokročilé robotiky. Jako nezbytná funkční protiváha byl pro rozsáhlejší textové informace a digitální uživatelské rozhraní zvolen font Zalando Sans, který díky své lineární čistotě a neutrálnímu výrazu zajišťuje maximální čitelnost telemetrických dat i ovládacích prvků za jakýchkoliv světelných podmínek. Tato promyšlená kombinace vytváří jasnou informační hierarchii, v níž se progresivní technologický design harmonicky doplňuje s vysokými nároky na přehlednost a okamžitou srozumitelnost dálkového ovládání robotických jednotek. Celkový vizuální styl tak působí profesionálně a uceleně, přičemž efektivně propojuje identitu značky s praktickými požadavky na uživatelskou přívětivost v reálném provozu. Tato typografická volba navíc podtrhuje moderní charakter projektu a usnadňuje rychlou orientaci v komplexních datech, což je pro operátory autonomních systémů klíčové.

The image shows a typographic comparison of two sans-serif fonts. The top line features the text 'Zen Dots' in a bold, wide, and geometric font with a futuristic feel. The bottom line features the text 'Zalando Sans' in a more standard, linear, and clean sans-serif font. The background is a solid light gray.

Zen Dots
Zalando Sans

Obr. 6-55 Typografie

Součástí celkového designu je také umístění loga NOM4D, které podtrhuje profesionální charakter a identitu produktu. Typografické logo je v kontrastní oranžové barvě aplikováno na všech čtyřech nohou robota, konkrétně na krytech kolenních kloubů, což zajišťuje okamžitou rozpoznatelnost značky z jakéhokoliv úhlu pohledu. Toto symetrické umístění nejen doplňuje estetickou hodnotu stroje, ale slouží také k vizuálnímu sjednocení pohyblivých částí podvozku s hlavním tělem robota a nákladovými boxy, kde se značení rovněž vyskytuje. Volba barvy loga přímo navazuje na funkční oranžové prvky celého systému, čímž je zachována integrita barevného schématu a posílena vizuální kontinuita všech modulů.



Obr. 6-56 Použití loga

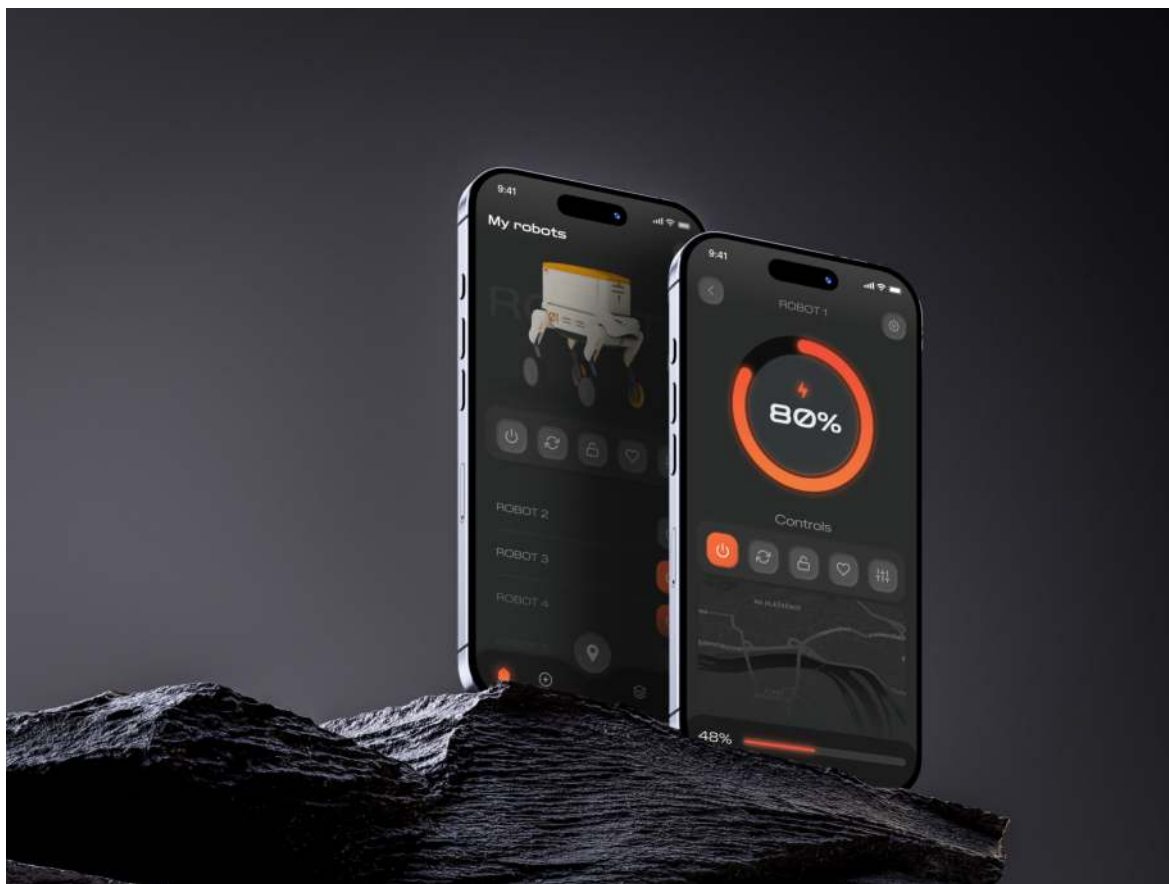
Doplňkové grafické prvky vizuální identity projektu NOM4D tvoří komplexní systém funkčního značení určeného pro fyzickou aplikaci na šasi robotických jednotek. Soubor obsahuje technické štítky, výstražné symboly a identifikační prvky, které svou estetikou navazují na industriální standardy bezpečnosti práce a logistiky. Dominantním prvkem je výrazné číselné označení jednotky (např. „01“), využívající charakteristický řez nuly s diagonální příčkou, což koresponduje s vizuálem hlavního logotypu. Součástí systému je dále bezpečnostní tabulka „CAUTION“ s označením „AUTOMATED GUIDED VEHICLE“, piktogramy pro stavové funkce (zámek, napájení, restart) a praktický prvek pro interakci s uživatelem, jako je vertikální štítek s logem a čárovým kódem. Celý set prvků sjednocuje monochromatické provedení a zaoblené tvary nosných ploch, které vizuálně zjemňují technický charakter grafiky a propojují digitální rozhraní aplikace s reálným hardwarem v jeden koherentní celek.



Obr. 6-57 Grafické prvky

6.4.3 Mobilní rozhraní

Funkční architektura je rozdělena na přehlednou správu flotily s vizuální identifikací robotů a detailní kontrolní panel. Ten obsahuje geolokační modul s mapou pro sledování polohy v reálném čase a sadu rychlých akcí pro dálkové ovládání kritických funkcí. Celý design je optimalizován pro minimální kognitivní zátěž a intuitivní multitasking, což umožňuje efektivní dohled nad autonomními stroji i v náročných provozních podmínkách. Uživatel je tedy schopen, jak ovládat jedno zařízení, tak mít kontrolu i nad všemi ostatními.



Obr. 6-58 Mobilní rozhraní

Navržené rozhraní využívá moderní Dark Mode s výraznými oranžovými akcenty pro zajištění vysokého kontrastu a čitelnosti v terénu. Estetika kombinuje prvky neumorfismu a glassmorfismu, což dodává ovládacím prvkům hmatatelný, technologický vzhled. Dominantou detailu zařízení je kruhový stavový indikátor, který operátorovi poskytuje okamžitou informaci o zbývající energii bez nutnosti studovat textová data.

6.5 Udržitelnost produktu

Udržitelnost asistenčního robota NOM4D není vnímána pouze jako soubor environmentálních parametrů, ale jako komplexní přístup zahrnující materiálovou efektivitu, provozní ohleduplnost k ekosystémům a sociální přínos v oblasti bezpečnosti práce. Návrh reflektuje specifika nasazení v chráněných krajinných oblastech, kde jsou nároky na ekologii a nízkou stopu provozu prioritní.

6.5.1 Environmentální aspekty provozu v horském ekosystému

Základním pilířem udržitelnosti v horském prostředí je minimalizace hlukového znečištění. NOM4D využívá tichý elektrický pohon, který na rozdíl od vrtulníkové dopravy zásob nebo spalovacích motorů terénních vozidel, narušuje klidové zóny fauny minimálně. V citlivých ekosystémech národních parků představuje toto řešení minimální akustickou zátěž pro okolí. Dalším faktorem je ochrana půdního krytu, kde hybridní lokomoce (kombinace kol a nohou) umožňuje robotu adaptovat se na charakter povrchu. Při pohybu po nezpevněných stezkách nezpůsobuje krácející systém mechanickou degradaci povrchu a erozi v takové míře, jako těžká kolová technika. Díky nulovým lokálním emisím navíc NOM4D nepřispívá ke znečištění ovzduší ve vysokohorských polohách, což podporuje symbiózu technologie a přírody.

6.5.2 Materiálová udržitelnost a cirkulární ekonomika

Konstrukce robota NOM4D využívá materiály, které je možno po skončení životního cyklu efektivně recyklovat a znovu využít v průmyslové výrobě. Většinu stroje tvoří termoplasty, jako jsou kryty z HDPE, nákladový box z vysoko hustotního polyethylenu a panely z polykarbonátu, které lze opakovaně tavit a zpracovávat. K udržitelnosti přispívá také vysoká mechanická odolnost těchto materiálů v mrazech, což omezuje nutnost předčasné výměny dílů. Energetickou efektivitu zajišťuje systém správy baterií, který maximalizuje životnost článků. Modulární konstrukce akumulátorů navíc umožňuje jejich snadné vyjmutí pro následnou specializovanou recyklaci vzácných kovů.

6.5.3 Sociální a ekonomická udržitelnost

Z hlediska sociální udržitelnosti NOM4D reaguje na zdravotní rizika spojená s profesí vysokohorských nosičů. Robot je navržen tak, aby převzal extrémní fyzickou zátěž, která u lidí vede k nevratnému poškození páteře a hrudního koše. Robot doplňuje tradiční řemeslo tam, kde je zátěž pro člověka neúnosná, a zvyšuje tak bezpečnost logistických operací. Ekonomická udržitelnost je doložena efektivitou zásobování. Nasazení autonomního systému vyplňuje mezeru mezi nákladným vrtulníkovým transportem a limitovanou lidskou silou. Z hlediska sociálního vnímání představuje tento robot unikátní vývojový mezistupeň, který stírá hranice mezi technickým pojetím klasické robotiky a praktickou rolí spolehlivého nosiče, čímž uživatelům nabízí intuitivnější a přirozenější formu spolupráce s moderní technologií.

6.5.4 Udržitelnost skrze automatizaci a efektivitu provozu

Využití pokročilé automatizace a autonomního řízení přímo přispívá k udržitelnosti provozu optimalizací energetické spotřeby. Algoritmy pro plánování tras umožňují robotu NOM4D volit energeticky nejúspornější cestu terénem, čímž se minimalizuje zbytečné plýtvání kapacitou akumulátorů a prodlužuje se dojezd na jedno nabití. Přesná navigace zároveň zabráňuje pohybu mimo určené stezky, čímž autonomní systém aktivně chrání okolní vegetaci před neúmyslným poškozením. Automatizovaný monitoring stavu kritických komponent navíc umožňuje prediktivní údržbu, která předchází fatálním poruchám a maximalizuje provozní efektivitu stroje bez nutnosti častých servisních výjezdů doprovodné techniky.

6.6 Hodnocení klíčových parametrů

Navržené řešení asistenčního robota NOM4D úspěšně naplňuje stanovené cíle a technické požadavky na autonomní transport nákladu v náročném horském prostředí. Hlavním funkčním parametrem je hybridní systém lokomoce, který v poměru 50:50 kombinuje energetickou efektivitu kolového podvozku s terénní prostupností kráčejíciho stroje. Díky využití dvanácti aktivních stupňů volnosti v savčí konfiguraci končetin dokáže robot aktivně vyrovnávat náklon trupu a udržovat horizontální stabilitu nákladu i při překonávání skalních stupňů nebo pohybu v prudkém svahu. Světlá výška podvozku 610 mm v kombinaci s výkonnými pohony zajišťuje schopnost překonávat nerovnosti, které jsou pro konvenční kolovou techniku neprostupné.

Z hlediska přepravní kapacity a energetiky byl robot dimenzován pro reálnou logistickou podporu s užitečným zatížením až 70 kg při celkové hmotnosti systému 160 kg. Modulární nákladový box o objemu nad 200 litrů poskytuje dostatečný prostor pro transport materiálů. Energetické nároky pokrývají dva bateriové moduly s celkovou využitelnou energií, co na základě matematického modelu umožňuje v kombinovaném režimu jízdy a chůze dosáhnout optimálního dojezdu. Systém správy baterií navíc zajišťuje inteligentní monitoring a ochranu článků před degradací v extrémních mrazech.

Ergonomické a designérské řešení NOM4D se snaží úspěšně eliminovat psychologické bariéry v interakci člověka s robotem. Tvarování přední části stroje a specifická orientace světel jasně komunikují směr pohybu a záměry autonomního systému, což je klíčové pro bezpečný pohyb na veřejných turistických trasách. Veškeré servisní a manipulační úkony byly optimalizovány pro lidské měřítko. Nakládací hrana boxu ve výšce 952 mm při robota v pozici lehu i sloty pro baterie ve výšce 818 mm se nacházejí v ideálních dosahových zónách v úrovni pasu operátora, což minimalizuje fyzickou zátěž obsluhy.

7 ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce se zabývala komplexním návrhem autonomního asistenčního robota NOM4D, určeného pro specifické a náročné podmínky horského prostředí. Hlavní cíle práce, zahrnující vytvoření funkčně spolehlivého, konstrukčně logického a vizuálně srozumitelného produktu, byly v rámci návrhového procesu realizovány.

Základní ideou celého projektu bylo identifikovat a zaplnit existující mezeru na trhu v oblasti horské logistiky. V současné době je doprava nákladu v nepřístupném terénu realizována buď konvenčními automobily, nebo vrtulníky, přičemž oba způsoby narážejí na zásadní limity. Terénní automobily nedokážou obsloužit úzké a strmé stezky ve složitém reliéfu, zatímco využití vrtulníků je spojeno s extrémními finančními náklady, vysokou hlučností a značnou ekologickou zátěží. Právě v tomto bodě se nacházelo místo pro nové řešení, které by sloužilo jako efektivní výpomoc, či v některých případech i úplná náhrada za fyzicky vyčerpávající práci vysokohorských nosičů. NOM4D tak představuje logický mezistupeň, který kombinuje prostupnost lidské síly s nosností techniky.

Zásadním přínosem práce je designérské řešení, které integruje technické parametry do formy přívětivé pro laickou veřejnost. Tvarování přední části stroje bylo cíleně navrženo jako vizuální mezistupeň, který eliminuje nepřátelský výraz a působí na člověka srozumitelným dojmem. Tento přístup je klíčový pro sociální akceptaci robotiky na veřejných turistických trasách. Současně se v rámci návrhu podařilo dosáhnout kapacity nákladového boxu o objemu 234 litrů. Tento prostor, srovnatelný se zavazadlovým prostorem menšího osobního automobilu, definuje NOM4D jako vysoce výkonný logistický nástroj schopný efektivně nahradit nákladnou leteckou dopravu nebo extrémní fyzickou zátěž personálu.

Významným přínosem práce je ucelené designérské řešení, které definuje vizuální identitu celého systému NOM4D. Tvarosloví stroje je založeno na logickém členění funkčních segmentů a využití negativních ploch, které propojují tělo robota s nákladovým boxem v jeden esteticky harmonický celek. Zvolená barevná kombinace krémově bílé RAL 9001 s oranžovými akcenty RAL 2007 byla vybrána pro svou schopnost odlehčit celkovou siluetu stroje a zároveň zajistit jeho vynikající viditelnost v náročném horském prostředí. Grafické prvky a logotyp, aplikované na šasi v souladu s technickými standardy, podtrhují profesionální charakter asistenčního robota a posilují jeho čitelnost jakožto vyspělého technologického nástroje. Design se tak stává klíčovým prostředkem pro budování důvěry a usnadnění akceptace autonomní technologie při jejím nasazení ve veřejném prostoru.

Přestože je NOM4D koncipován jako plně autonomní zařízení, v této vývojové fázi bylo nezbytné prioritně počítat s přímou obsluhou člověkem. Tomuto požadavku odpovídá důraz na ergonomické parametry, které zajišťují bezpečnou a fyzicky udržitelnou spolupráci mezi operátorem a strojem v náročném terénu. Design byl proto optimalizován z hlediska dosahových zón, kdy klíčové úkony, jako je nakládka do boxu nebo výměna energetických modulů, probíhají v ideálních výškových úrovních v poměru k lidské postavě. Tento přístup nejen minimalizuje fyzickou zátěž personálu, ale také zajišťuje intuitivní ovládání systému v krizových situacích.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Tatranskí nosiči. *Gopass* [online]. c 2026 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://blog.gopass.travel/sk/tatranski-nosici/>
- [2] Ladislav Kulanga. *Štrbské-Pleso* [online]. c2026 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: https://strbske-pleso.sk/zaujímavosti-o-strbskom-plese/index.php?pojem=Ladislav_Kulanga
- [3] Alpské chaty – platit prosím!. *DĚVČE Z HOR* [online]. ©2013 [cit. 2026-03-22]. Dostupné z: <https://devcezhor.cz/alpske-chaty-kolik-stoji/>
- [4] Spot® - The Agile Mobile Robot. *BostonDynamics* [online]. c2025 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://bostondynamics.com/products/spot/>
- [5] Unitree Go2-W. *UNITREE* [online]. c2016 - 2026 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.unitree.com/go2-w>
- [6] UNITREE A2. *UNITREE* [online]. c2016 - 2026 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.unitree.com/mobile/A2>
- [7] Unitree B2. *UNITREE* [online]. c2016 - 2026 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.unitree.com/mobile/b2>
- [8] X30. *DEEPRobotics* [online]. c2017-2025 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.deeprobotics.cn/en/wap/product3.html>
- [9] LYNX. *DEEPRobotics* [online]. c2017-2025 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.deeprobotics.cn/en/wap/deeproboticslynx.html>
- [10] LYNXM20. *DEEPRobotics* [online]. c2017-2025 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.deeprobotics.cn/en/wap/lynx.html>
- [11] ANYMAL. *ANYbotics* [online]. c2026 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.anybotics.com/robotics/anymal/>
- [12] PUDU D5 Series. *PUDU* [online]. c2023 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.pudurobotics.com/en/products/d5>

- [13] MagicDog-W. *Magiclab* [online]. c2025 [cit. 2026-02-21]. Dostupné z: <https://www.magiclab.top/en/dog-w>
- [14] SEMINI, Claudio. *HyQ - Design and Development of a Hydraulically Actuated Quadruped Robot*. Via Balbi 5, 16126 Genova, 2010. Disertační. University of Genoa, Italy.
- [15] SANZ-MERODIO, D., E. GARCIA a P. GONZALEZ-DE-SANTOS. Analyzing energy-efficient configurations in hexapod robots for demining applications. *Industrial Robot: An International Journal* [online]. Emerald, 2012, 2012-6-15, **39**(4), 357-364 [cit. 2026-03-20]. ISSN 0143-991X. Dostupné z: doi:10.1108/01439911211227926
- [16] GOAT Robot Leg Demonstrates Explosive Jumping Inspired by mountain goats, this novel robotic leg could result in robots that move in completely new ways. *IEEE Spectrum* [online]. 2016 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/goat-robot-leg-demonstrates-explosive-jumping>
- [17] Quadruped State of The Market - Unitree, Boston Dynamics, ANYbotics, DEEP Robotics, and The Rising Application Ecosystem. *Semianalysis* [online]. c2026 [cit. 2026-04-24]. Dostupné z: <https://newsletter.semianalysis.com/p/quadruped-state-of-the-market-unitree>
- [18] KIM, Joonyoung, Taewoong KANG, Dongwoon SONG a Seung-Joon YI. Design and Control of a Open-Source, Low Cost, 3D Printed Dynamic Quadruped Robot. *Applied Sciences* [online]. MDPI, 2021, 2021-4-22, **11**(9), 3762 [cit. 2026-03-20]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app11093762
- [19] LEE, Joonho, Marko BJELONIC, Alexander RESKE, Lorenz WELLHAUSEN, Takahiro MIKI a Marco HUTTER. Learning robust autonomous navigation and locomotion for wheeled-legged robots. *Science Robotics* [online]. American Association for the Advancement of Science (AAAS), 2024, 2024-4-24, **9**(89), 22 [cit. 2026-03-20]. ISSN 2470-9476. Dostupné z: doi:10.1126/scirobotics.adi9641
- [20] FANKHAUSER, Peter, Michael BLOESCH a Marco HUTTER. Probabilistic Terrain Mapping for Mobile Robots With Uncertain Localization. *IEEE Robotics and Automation Letters* [online]. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018, **3**(4), 3019-3026 [cit. 2026-03-20]. ISSN 2377-3766. Dostupné z: doi:10.1109/lra.2018.2849506

- [21] *An introduction to inertial navigation* [online]. August 2007 [cit. 2026-03-20]. ISSN 1476-2986.
- [22] NOBILI, Simona, Marco CAMURRI, Victor BARASUOL, Michele FOCCHI, Darwin CALDWELL, Claudio SEMINI a Maurice FALLON. Heterogeneous Sensor Fusion for Accurate State Estimation of Dynamic Legged Robots. *Robotics: Science and Systems XIII* [online]. Robotics: Science and Systems Foundation, 2017, 2017-7-12 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: doi:10.15607/rss.2017.xiii.007
- [23] SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB, ed. *Springer handbook of robotics* [online]. Berlin: Springer, c2008 [cit. 2026-03-20]. ISBN 978-3-540-23957-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-30301-5
- [24] Starting on the Right Foot with Reinforcement Learning. *BostonDynamics* [online]. ©2026 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: <https://bostondynamics.com/blog/starting-on-the-right-foot-with-reinforcement-learning/>
- [25] BLEDT, Gerardo, Matthew J. POWELL, Benjamin KATZ, Jared DI CARLO, Patrick M. WENSING a Sangbae KIM. MIT Cheetah 3: Design and Control of a Robust, Dynamic Quadruped Robot. *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* [online]. IEEE, 2018, 2245-2252 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: doi:10.1109/iros.2018.8593885
- [26] BLOESCH, Michael, Christian GEHRING, Peter FANKHAUSER, Marco HUTTER, Mark A. HOEPFLINGER a Roland SIEGWART. State estimation for legged robots on unstable and slippery terrain. *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* [online]. IEEE, 2013, 6058-6064 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: doi:10.48550/arXiv.1904.04600
- [27] MASTALLI, Carlos, Ioannis HAVOUTIS, Michele FOCCHI, Darwin G. CALDWELL a Claudio SEMINI. Hierarchical planning of dynamic movements without scheduled contact sequences. *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* [online]. IEEE, 2016, 4636-4641 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: doi:10.1109/icra.2016.7487664
- [28] Robot Components: The Role and Function of Actuators. *BONSYSTEMS* [online]. c2026 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: <https://en.bonsystems.com/newsletter/robot-components-role-of-actuator/>

- [29] ANDREA, Davide. *Battery management systems for large lithium-ion battery packs* [online]. Boston: Artech House, c2010 [cit. 2026-03-20]. ISBN 978-1-60807-104-3. Dostupné z: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781608071050_A24132283/preview-9781608071050_A24132283.pdf
- [30] LYNXM20. *DEEPRobotics* [online]. ©2017-2025 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: <https://www.deeprobotics.cn/en/index/lynx.html>
- [31] SIEGWART, Roland a Illah Reza NOURBAKHSH. *Introduction to autonomous mobile robots* [online]. II. Title. III. Series. Cambridge: MIT Press, 2004 [cit. 2026-03-20]. Intelligent robots and autonomous agents. ISBN 978-0-262-19502-7. Dostupné z: http://vigir.missouri.edu/~gdesouza/Research/MobileRobotics/Autonomous_Mobile_Robots_Siegwart-Nourbakhsh.pdf
- [32] Zákon č. 114/1992 Sb.: Zákon České národní rady o ochraně přírody a krajiny. In: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-114>. 1992, 28/1992.
- [33] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2023/1230: o strojních zařízeních a o zrušení směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES a směrnice Rady 73/361/EHS. In: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1230>. 2023.
- [34] GUILHERME DOBRIKOPF, Aureo, Lucas SCHULZE, Douglas WIDLGRUBE BERTOL a Victor BARASUOL. MPC-Based Reference Governor Control for Self-Righting of Quadruped Robots: Preliminary Results. *2022 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2022 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2022 Workshop on Robotics in Education (WRE)* [online]. IEEE, 2022, 2022-10-18, 85-90 [cit. 2026-03-20]. Dostupné z: doi:10.1109/lars/sbr/wre56824.2022.9995759
- [35] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>. 2007, 111/2007.

9 VÝSLEDEK VÝZKUMU PODLE RIV

Druh výsledku	Funkční vzorek
Název výsledku	Asistenční robot do horského prostředí
Autoři	Bc. Matyáš Kozel
Původci	-
Místo uložení. výsledku	VUT Brno

9-1 Výsledek výzkumu RIV

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

10.1 Příklady použitých fyzikálních veličin

E	energie
P	výkon
Wh	watthodina
W	watt
t	čas
v	rychlost
s	dráha
km	kilometr
h	hodina
min	minuta
km/h	kilometr za hodinu
Kg	Kilogram
mm	milimetr
°C	stupeň celsia
m/s	metr za sekundu
g	tíhové zrychlení země
kHz	kilohertz
Nm/kg	Newtonmetr na kilogram
W/kg	Watt na kilogram
Wh/kg	Watthodina na kilogram

10.2 Zkratky

<i>NP</i>	národní park
<i>CHKO</i>	chráněná krajinná oblast

<i>IP</i>	ingress protection
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
<i>HRI</i>	human robot interaction
<i>LED</i>	Light-Emitting Diode
€	Euro
°	stupeň
<i>LiDAR</i>	Light Detection and Ranging
<i>DoF</i>	degrees of Freedom
<i>HAA Hip</i>	Abduction - Adduction
<i>HFE Hip</i>	Flexion-Extension
<i>KFE</i>	Knee Flexion-Extension
<i>ToF</i>	Time of Flight
<i>RGBD</i>	red green blue depth
<i>IMU</i>	Inertial Measurements Unit
<i>RL</i>	Reinforcement Learning
<i>3D</i>	třírozměrný
<i>GPS</i>	Global Positioning System
<i>EKF</i>	kalmanuv filter
<i>DD</i>	Direct drive
<i>QDD</i>	quasi direct drive
<i>SEA</i>	Series elastic actuators
<i>Li-Ion</i>	Lithium-iontový akumulátor
<i>BMS</i>	Battery Management system
<i>SoC</i>	State of Charge
<i>AOPK ČR</i>	Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky
<i>HDPE</i>	Highdensity polyethylen
<i>Kč</i>	Koruna česká
<i>PC</i>	polycarbonate

11 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 PRISMA diagram	20
Obr. 2-2 Spot [4]	26
Obr. 2-3 UNITREE GO2-W [5]	27
Obr. 2-4 UNITREE A2 [6]	29
Obr. 2-5 UNITREE B2 [7]	31
Obr. 2-6 DEEPRobotics X30 [8]	32
Obr. 2-7 DEEPRobotics LYNX [9]	34
Obr. 2-8 DEEPRobotics LYNX M20 [10]	36
Obr. 2-9 ANYMAL [11]	38
Obr. 2-10 PUDU D5 Series [12]	39
Obr. 2-11 MagicDog-W [13]	41
Obr. 2-12 Končetina [14]	42
Obr. 2-13 Mammal/Insect [16]	43
Obr. 2-14 Kolenní motor[17]	44
Obr. 2-15 RGB-D [20]	46
Obr. 2-16 Trénink robota [24]	50
Obr. 2-17 Aktuátor BCSA V4 Series [28]	54
Obr. 4-1 Analýza cílů	68
Obr. 4-2 Glass box	69
Obr. 4-3 Funkční schéma	70
Obr. 4-4 Alternativní řešení	71
Obr. 4-5 Varianta I	72
Obr. 4-6 Varianta II	73
Obr. 4-7 Varianta III	74
Obr. 5-1 Tvarování	78
Obr. 5-2 Předběžný návrh box i bez	79
Obr. 5-3 Předběžný návrh bez boxu	79
Obr. 5-4 Předběžný návrh s boxem	80

Obr. 5-5 Předběžný návrh rozměry	81
Obr. 5-6 Tabulka cena	83
Obr. 6-1 Moodboard.....	84
Obr. 6-2 Imageboard	85
Obr. 6-3 NOMAD podhled	86
Obr. 6-4 Proporce a kompozice	87
Obr. 6-5 Perspektiva z leva	87
Obr. 6-6 Perspektiva nadhled	88
Obr. 6-7 Perspektiva zadek	89
Obr. 6-8 Přední pohled	90
Obr. 6-9 Boční pohled z leva.....	91
Obr. 6-10 Boční pohled zprava.....	91
Obr. 6-11 Zadní pohled	92
Obr. 6-12 Pohled shora.....	93
Obr. 6-13 Detail zapadnutí boxu.....	93
Obr. 6-14 Pohled robot a box	94
Obr. 6-15 Plocha pro box.....	94
Obr. 6-16 Kyčelní krytování	95
Obr. 6-17 Holeň robota.....	95
Obr. 6-18 Spodní senzorický prostor.....	96
Obr. 6-19 Senzorický prostor v hlavě.....	96
Obr. 6-20 Box tvarování	97
Obr. 6-21 Otevřený box	98
Obr. 6-22 Rozměry	99
Obr. 6-23 Rozpad.....	100
Obr. 6-24 Vnitřní schéma	101
Obr. 6-25 Odjištění víka	102
Obr. 6-26 Mechanismus upnutí boxu na robota	103
Obr. 6-27 Ovládací panel	104
Obr. 6-28 Odjištění baterií	104

Obr. 6-29 Baterie	105
Obr. 6-30 Pohyb končetin	106
Obr. 6-31 Zorné pole shora	107
Obr. 6-32 Zorné pole kamer zboku	108
Obr. 6-33 Rozměr člověka vůči robotovi	109
Obr. 6-34 Otevření boxu	111
Obr. 6-35 Naložení boxu.....	112
Obr. 6-36 Přenos boxu.....	112
Obr. 6-37 Manipulace s baterií	113
Obr. 6-38 Manipulace s baterií perspektiva	114
Obr. 6-39 Ovládací panel leh.....	115
Obr. 6-40 Ovládací panel ve stoje	115
Obr. 6-41 Madla.....	116
Obr. 6-42 Madlo box	117
Obr. 6-43 Madlo box řez.....	117
Obr. 6-44 Madlo víko boxu	118
Obr. 6-45 Madlo víko boxu řez.....	118
Obr. 6-46 Madlo baterie.....	119
Obr. 6-47 Madlo baterie řez	119
Obr. 6-48 Barevnost	120
Obr. 6-49 Žlutá varianta.....	121
Obr. 6-50 Zelená variant	121
Obr. 6-51 Oranžová varianta	122
Obr. 6-52 Finální varianta	123
Obr. 6-53 Logo	124
Obr. 6-54 Ochranná zóna	124
Obr. 6-55 Typografie.....	125
Obr. 6-56 Použití loga	126
Obr. 6-57 Grafické prvky	127
Obr. 6-58 Mobilní rozhraní	128

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1	65
Tab. 4-1 Zhodnocení	75

13 SEZNAM PŘÍLOH

- Sumarizační poster
- Ergonomický poster
- Technický poster
- Designérský poster

Samostatné přílohy

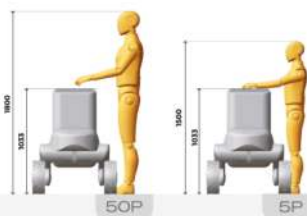
- Sumarizační poster
- Ergonomický poster
- Technický poster
- Designérský poster
- Fyzický model

NOM4D

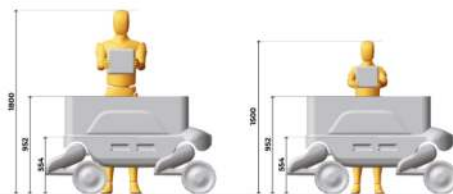
Sumarizační poster



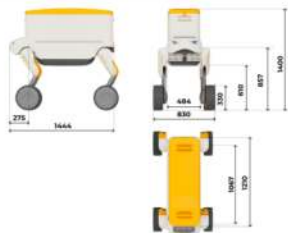
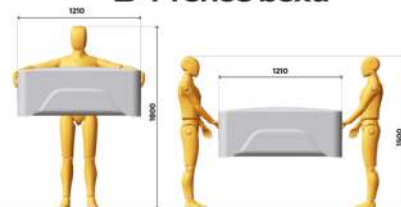
1 Otevírání víka



2 Nakládání



3 Přenos boxu

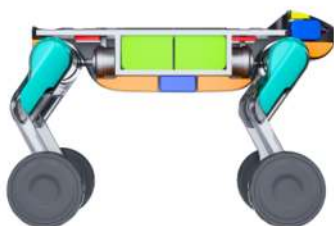


Rozměry

Hybridní kolovo-kráčeč robot NOM4D disponuje geometrií navrženou pro stabilitu a vysokou prostupnost náročným horským terénem. Šířka robota zajišťuje dostatečnou boční stabilitu i při náklonech v kritických svazích. Světla výška k nákladovému boxu umožňuje bezproblémové překonávání terénních zlomů či balvanů. Samotný modulární transportní box je kapacitně koncipován pro efektivní přepravu objemného horského nákladu a materiálu pro horské chaty.

Tvarování

Tvarosloví robota NOM4D je založeno na principech průmyslového designu s důrazem na funkčnost a ochranu vnitřních komponentů. Organická morfologie a čisté linie dávají stroji přívětivý a čitelný výraz, což přispívá k jeho snadší akceptaci veřejností na turistických trasách. Design záměrně upouští od antropomorfních prvků, senzorická hlava je pevně integrovaná do trupu, což snižuje technickou složitost a odbourává psychologické bariéry u kolemjdoucích. Krytování chrání hardware před klimatickými vlivy, zatímco nízko položené těžiště zajišťuje bezpečný pohyb i s plným zatížením.



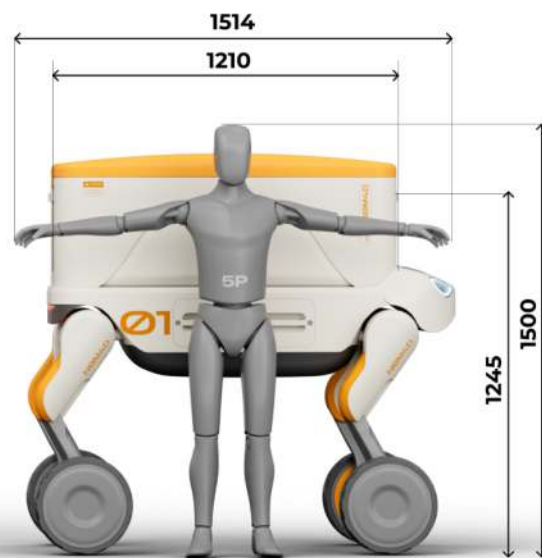
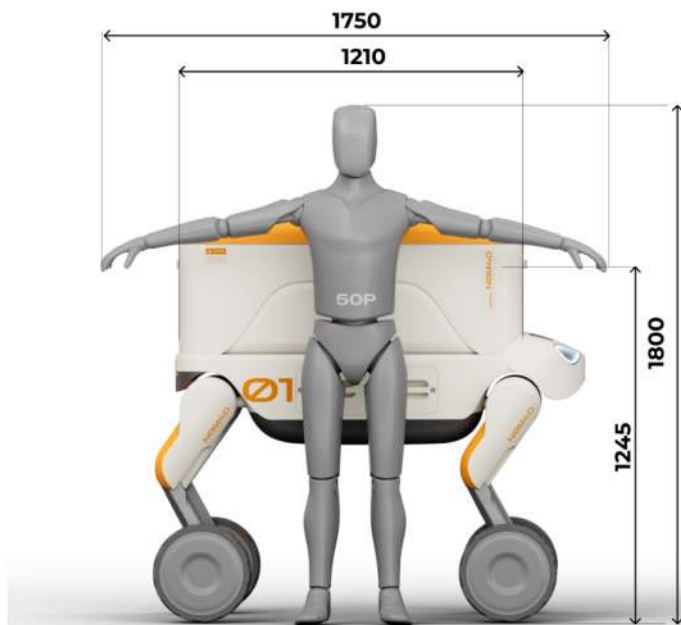
- Kolenní mechanismus
- Baterie
- Senzorika
- Ovládací panel
- Mechanismus uchycení boxu
- Výpočetní jednotky



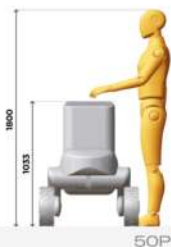
DESIGN ASISTENČNÍHO ROBOTA DO HORSKÉHO PROSTŘEDÍ / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Matyáš Kozel / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2025/26

NOM4D

Ergonomický poster

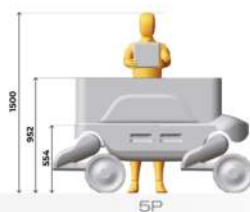
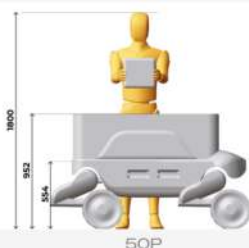


Ergonomické posouzení robota NOM4D se zaměřuje na interakci stroje s personálem při manipulaci v horském terénu. Návrh zohledňuje tělesné proporce standardní populace (5. a 50. percentil). Výška nákladové hrany a šířka robota jsou navrženy tak, aby zajišťovaly bezpečnou obsluhu, stabilitu a snadný přístup k nákladu i ovládacím prvkům.



Otevírání víka

Výška horní hrany transportního boxu je navržena s ohledem na antropometrické charakteristiky obou mezních skupin operátorů. Umístění madla a mechanismu otevírání víka umožňuje přirozený postoj bez nadměrného ohybání zad nebo přetěžování ramen. Ergonomie otevírání tak minimalizuje fyzickou námahu při přístupu k nákladu, a to jak v plně vzpřímené poloze podvozku, tak při jeho snížení.



Nakládání

Konstrukční výška dna nákladového boxu odpovídá ergonomickým doporučením pro manipulaci s břemeny. Umožňuje operátorům efektivní nakládání a vykládání materiálu s optimálním zapojením svalových skupin dolních končetin a s minimálním tlakem na bederní páteř. Poloha boxu usnadňuje bezpečné uchopení a manipulaci s těžšími předměty přímo u těla obsluhy.

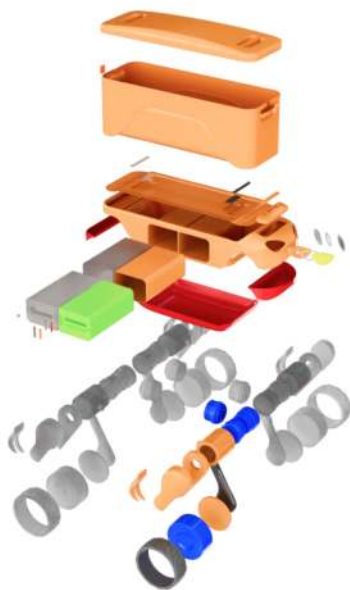


Přenos boxu

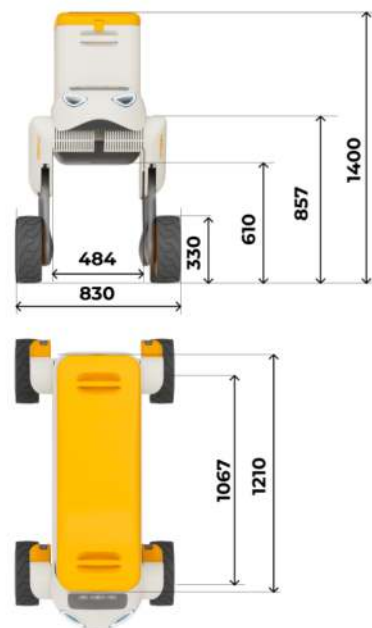
Transportní box je vybaven integrovanými úchyty, které respektují biometriku lidské ruky a šířku úchopu. Rozměry boxu jsou zvoleny tak, aby umožňovaly stabilní přenos jedním operátorem (u průměrné mužské postavy) nebo koordinovaný přenos dvěma osobami menšího vzrůstu. Tím je zajištěna flexibilita při manuálním transportu boxu mimo samotný podvozek robota.

NØM4D

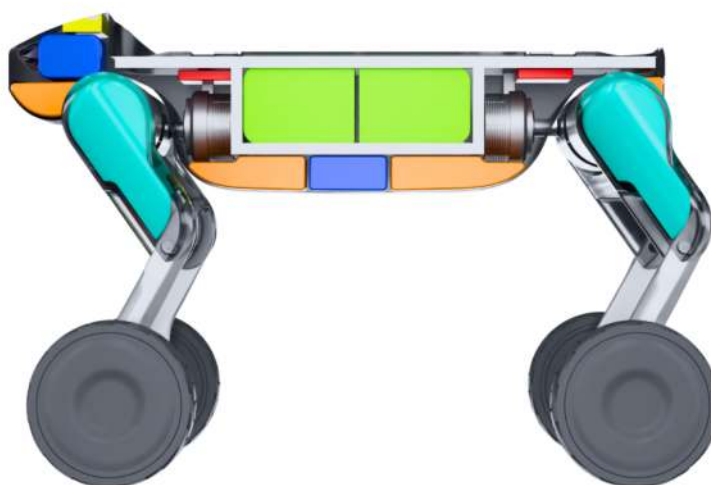
Technický poster



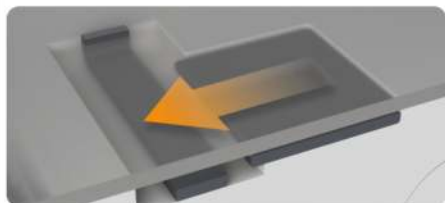
- HDPE
- PC
- PC průhledný
- Baterie
- Motory
- Hliník
- Pryž



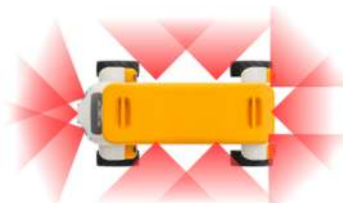
- Kolenní mechanismus
- Baterie
- Senzorika
- Ovládací panel
- Mechanismus uchycení boxu
- Výpočetní jednotky



Mechanismus upevnění boxu



Rozhled senzorů



Uzamykání boxu



DESIGN ASISTENČNÍHO ROBOTA DO HORSKÉHO PROSTŘEDÍ / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Matyáš Kozel / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2025/26

Asistenční robot do horského prostředí

2026

Matyáš Kozel

vedoucí: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

Autonomní platforma NOM4D představuje řešení pro transport nákladu v náročných horských podmínkách a chráněných oblastech. Unikátní koncept hybridní mobility kombinuje polohovatelné nohy s kolovým pohonem pro pohyb v extrémním kamenitém terénu. Bezemisí elektrický pohon a minimální hluk garantují maximální ohleduplnost k horskému ekosystému. Tvarosloví propojuje robustní technickou bázi s čistými kryty pro vysokou viditelnost. Přední stacionární senzorický uzel záměrně postrádá antropomorfní pohyby, díky čemuž robot působí v přítomnosti člověka klidným a neagresivním dojmem. Bezpečně uzamykatelný nákladní box je navržen pro snadnou manipulaci i v nepříznivých klimatických podmínkách. NOM4D tak efektivně propojuje pokročilou mobilitu s respektem k lidem i přírodě.

