

Výrobní návrh robotické sněhové frézy

Bc. Aleš Kužela

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Aleš Kužela
Osobní číslo:	T24481
Studijní program:	N0788A270002 Výrobní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Výrobní návrh robotické sněhové frézy

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Navrhněte technické řešení robotické sněhové frézy.
- Vypracujte pevnostní analýzu vybraných komponentů.
- Zhotovte plán výroby sněhové frézy.
- Diskutujte dosažené výsledky.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
2. Skařupa, J. Průmyslové roboty a manipulátory. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
3. CHUA, Chee Kai a Kah Fai LEONG. 3D printing and additive manufacturing: principles and applications. New Jersey: World Scientific, [2017]. ISBN 978-981-3146-76-1.
4. LEGNANI, Giovanni a Irene FASSI, ed. Robotics: state of the art and future trends. New York: Nova Science Publishers, c2012, viii, 362 s. Computer science, technology and applications. ISBN 9781621004035.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Hanzlík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 3. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je návrh robotické sněhové frézy. Práce zahrnuje výrobní požadavky na zařízení a vymodelování dvou hlavních podsestav (přední část a tělo frézy) v prostředí softwaru Autodesk Inventor Professional 2024. Důležitou součástí práce je také pevnostní analýza vybraného komponentu, která ověřuje konstrukční správnost návrhu. V rámci práce je také vytvořen výrobní plán a kalkulace nákladů na výrobu prototypu.

Klíčová slova: Sněhová fréza, robotická sněhová fréza, RC model, 3D tisk, pevnostní analýza, software Autodesk Inventor Professional, výrobní návrh, výrobní plán.

ABSTRACT

The topic of the master thesis is the design of a robotic snow blower. The thesis includes manufacturing requirements for the device and modelling of two main subassemblies (front part and body of the snow blower) in the Autodesk Inventor Professional 2024 software. An important part of the thesis is also a stress analysis of the selected component, which verifies correctness of the design. The work also includes the production plan and cost calculation of the prototype.

Keywords: Snow blower, robotic snow blower, RC model, 3D printing, strength analysis, Autodesk Inventor Professional software, production design, production plan.

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Janu Hanzlíkovi, Ph.D. a také všem, kteří mi ochotně poskytli konzultace a pomohli při řešení odborných otázek. Závěrem patří mé poděkování rodině a přítelkyni za jejich neustálou podporu a trpělivost po celou dobu psaní této práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 SNĚHOVÁ FRÉZA.....	13
1.1 ROZDĚLENÍ SNĚHOVÝCH FRÉZ	14
2 ÚVOD DO ROBOTIKY	15
2.1 ZÁKONY ROBOTIKY	15
2.2 DEFINICE SLOVA ROBOT	15
2.3 VÝVOJ ROBOTIKY	16
2.4 ROZDĚLENÍ ROBOTŮ	19
2.4.1 Dle pohyblivosti	19
2.4.2 Dle využití	22
3 DEFINICE RC MODELŮ.....	25
3.1 KONSTRUKCE RC VOZIDLA	25
3.1.1 Varianty sestavení RC vozidel	26
3.1.2 Měřítko RC modelů.....	26
3.1.3 Podvozek	27
3.1.4 Karoserie	29
3.2 HLAVNÍ SOUČÁSTI RC MODELŮ	29
3.2.1 Motor.....	30
3.2.2 Servomotor.....	32
3.2.3 Akumulátor	32
3.2.4 Vysílač a přijímač	34
4 3D TISK.....	37
4.1 METODY 3D TISKU	38
4.1.1 FDM (Fused Deposition Modeling).....	38
4.1.2 SLA (Stereolitgrafie).....	40
4.1.3 SLS (Selective Laser Sintering)	41
4.2 MATERIÁLY VHODNÉ K 3D TISKU	42
4.2.1 Materiály pro FDM technologii	42
4.2.2 Materiály pro SLA technologii	44
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	47
6 TECHNICKE ŘEŠENÍ ROBOTICKÉ SNĚHOVÉ FRÉZY	48
6.1 ÚČEL SNĚHOVÉ FRÉZY A VÝROBNÍ POŽADAVKY	48
6.2 KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ	50
6.2.1 Software Autodesk Inventor Professional 2024.....	51
6.2.2 Přední část sněhové frézy	51

6.2.3	Tělo sněhové frézy	58
7	PEVNOSTNÍ ANALÝZA VYBRANÉHO KOMPONENTU	68
7.1	VÝBĚR KOMPONENTŮ	68
7.2	VÝCHOZÍ MATERIÁL	69
7.3	VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	70
7.4	AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2024 – REŽIM PEVNOSTNÍ ANALÝZA	70
7.5	STANOVENÍ ZATÍŽENÍ PŮSOBÍCÍ NA ZVOLENÝ KOMPONENT	71
7.6	OKRAJOVÉ PODMÍNKY NA MODELU DRŽÁKU	73
7.7	NASTAVENÍ FEM SIMULACE	75
7.7.1	Definice materiálu pro analýzu	75
7.7.2	Tvorba sítě držáku	76
7.8	SOUHRN VÝSLEDKŮ PEVNOSTNÍ ANALÝZY	78
7.8.1	Napětí Von Mises	79
7.8.2	Posunutí	81
7.8.3	Součinitel bezpečnosti	82
8	PLÁN VÝROBY ROBOTICKÉ SNĚHOVÉ FRÉZY	83
8.1	PŘEHLED VÝROBNÍCH OPERACÍ	83
8.2	ADITIVNÍ VÝROBA PLASTOVÝCH DÍLŮ	83
8.2.1	Nastavení tisku	84
8.3	VÝROBA KOVOVÝCH KOMPONENT	85
8.4	MONTÁŽ	87
8.5	LOGISTIKA MATERIÁLU	88
8.6	CELKOVÁ KALKULACE PROTOTYPU	89
8.7	ANALÝZA VÝROBNÍCH RIZIK A OPATŘENÍ	91
9	DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	94
	ZÁVĚR	96
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	97
	SEZNAM OBRÁZKŮ	104
	SEZNAM TABULEK	106
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	107

ÚVOD

S postupem času a rozvojem technologií se stále více hledají způsoby, jak zefektivnit a automatizovat činnosti, které jsou pro člověka fyzicky náročné, opakující se nebo časově náročné. Jednou z takových činností v klimatických podmínkách České republiky a podobných oblastí s občasným výskytem sněhových srážek je údržba venkovních ploch v zimním období, konkrétně odklizení sněhu.

Tradiční metody odklizení sněhu, ať už ruční nebo s využitím běžných strojů, jsou často fyzicky vyčerpávající a vyžadují značný čas a úsilí. Využití robotických systémů pro tyto účely nabízí potenciál pro výrazné zvýšení efektivity, snížení fyzické zátěže pro člověka a v neposlední řadě umožňuje autonomní údržbu i ve specifických podmínkách. Díky pokrokům v oblastech senzoriky, navigace, umělé inteligence a pohonných systémů se autonomní venkovní roboti stávají reálnější a dostupnější.

Tato diplomová práce se zaměřuje konkrétně na problematiku výrobního návrhu robotické sněhové frézy. Teoretická část této práce představí přehled současného stavu v oblasti sněhových fréz a úvod do robotiky, vývoje a rozdělení robotů. Dále se bude věnovat definici a konstrukci RC modelů, technologii 3D tisku, metodám a vhodným materiálům pro tisk.

Cílem praktické části diplomové práce je výrobní návrh robotické sněhové frézy. To zahrnuje návrh technického řešení, vytvoření 3D modelů přední části a těla frézy v softwaru Autodesk Inventor Professional 2024, zvolení vhodných kombinací materiálů a výrobních technologií, provedení pevnostní analýzy vybraného komponentu včetně stanovení zatížení a vyhodnocení výsledků. Dále práce zahrnuje vytvoření výrobního plánu a celkové kalkulace nákladů na výrobu prototypu, analýzu potenciálních výrobních rizik a návrh opatření k jejich minimalizaci.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 SNĚHOVÁ FRÉZA

Sněhová fréza je jednostupňové či dvoustupňové mechanické zařízení navržené k odstraňování sněhové pokrývky z povrchů, jako jsou chodníky a příjezdové cesty, ale také z nepevných povrchů. Jako základní prvek můžeme považovat rotující šnekovou spirálu poháněnou motorem frézy.

U jednostupňové frézy se sníh nabírá a dopravuje přímo zmíněnou šnekovou spirálou s lopatkami do vyhazovacího komínu a z něj se odvádí sníh ven. Takové frézy mají obvykle poměrně jednoduchou konstrukci a hodí se na čerstvě napadlý sníh, nikoliv na sníh zledovatělý.

U dvoustupňového systému fréz si šneková spirála, na povrchu opatřena ostrými zuby, poradí s jakýmkoliv typem sněhu, včetně ušlapaného a zledovatělého. Takto vybavená fréza nejprve pomocí ostré spirály sníh podrtí a přesune ho do části, kde se nachází lopatková turbína, jejíž úkolem je odhození sněhu přes vyhazovací komín, a to i do větších vzdáleností. Oproti frézám jednostupňovým jsou robustnější a vysoce výkonné.



Obrázek 1 Dvoustupňová benzinová sněhová fréza MDM Optima ME 66 T [3]

1.1 Rozdělení sněhových fréz

Sněhové frézy můžeme rozdělovat podle jednotlivých kategorií:

Podle základního dělení:

- Jednostupňová,
- dvoustupňová.

Podle typu pohonu:

- Elektrické – tiché, lehké, vybaveny elektromotorem s minimální údržbou.
- Benzínové – vysoký výkon, mobilita, vyšší pořizovací cena.

Podle druhu pojezdu:

- Bezpojezdové – fréza bez pohonů pásů a kol ručně tažená ve směru jízdy.
- Pojezdové – frézy vybaveny poháněnými koly nebo pásy.

Podle výkonu motoru:

- S malým výkonem (<6 HP) – občasné práce na malé ploše.
- Se středním výkonem (6-10 HP) – větší plochy při častějším používání.
- S vysokým výkonem (>10 HP) – do těžkých horských podmínek. [1]

Při rozhodování o výběru sněhové frézy je důležité zvážit několik faktorů, jako například kde a jak často bude fréza používána, v jakých podmínkách, a kdo bude frézu obsluhovat.

2 ÚVOD DO ROBOTIKY

Robotika je obor, který se zabývá návrhem, konstrukcí, provozem a využitím robotů v široké škále aplikací, od průmyslové výroby a zdravotnictví po domácí asistenci anebo například vesmírný průzkum. Hlavním cílem robotiky je vytvořit autonomní nebo řízené systémy, které jsou schopny provádět různé úkoly nebo činnosti s minimální nebo žádnou lidskou interakcí.

Za účelem vytváření komplexních a funkčních robotů kombinuje robotika znalosti a postupy z oblasti strojírenství, informatiky, elektrotechniky, matematiky apod.

2.1 Zákony robotiky

Již v roce 1942 definoval americký spisovatel Isaac Asimov tři zákony robotiky, podle kterých musí robot splňovat daná pravidla. Pojednávají o využití robotů s ohledem na bezpečnost člověka před robotem.

Tyto tři zákony robotiky zní:

Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby bylo člověku ublíženo.

Robot musí uposlechnout příkazy člověka, kromě případů, kdy jsou tyto příkazy v rozporu s prvním zákonem.

Robot musí chránit sám sebe před poškozením, kromě případů, kdy je tato ochrana v rozporu s prvním, nebo druhým zákonem. (Isaac Asimov, The caves of steel, Galaxy No. 13, 1950.)

Je potřeba si ale uvědomit, že Asimovy zákony nebyli původně formulovány jako praktické směrnice pro reálné roboty. S rozvojem stále rostoucí a složitější umělé inteligenci a obtížných autonomních systémů se naskytá i otázka, zda jsou tyto 82 let staré zákony stále ještě dostačující a jestli není potřeba dalších podrobnějších zásad a směrnic k regulaci chování a rozhodování autonomních systémů.

2.2 Definice slova robot

Slovo robot můžeme definovat tak, že je to zařízení, které pracuje s určitou mírou autonomie a vykonává přesně definované úkoly podle stanoveného postupu, přičemž může vyžadovat interakci s okolím a s člověkem, který mu činnosti zadává. Díky senzorům je schopen vnímat své okolí, reagovat na něj a v některých případech si o něm utvářet vlastní představu. [4]

Nicméně existuje řada různých definic přesně definovaných normou. Většina zemí se řídí definicí stanovenou Mezinárodní organizací pro standardizaci v normě ISO 8373, kde jeho definice zní jako „*automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích*“. Odlišné definice robotů používají například v USA nebo Japonsku, kde se robot rozlišuje do několika dalších podružných tříd. [5]

2.3 Vývoj robotiky

Historie robotiky není zasazena do vzdálené minulosti, neboť se jedná o jeden z nejmladších oborů, který vznikl relativně nedávno. Robotika, jakožto multidisciplinární oblast, začala nabírat na významu a rozvíjet se teprve v moderní době, přičemž výzkum a technologický pokrok v tomto oboru se datují zejména do 20. století. Jde o oblast, která vznikla ze spojení poznatků z různých disciplín, včetně strojírenství, informatiky, elektrotechniky a dalších, a která se stále rozvíjí díky neustálému inovačnímu úsilí a technologickým pokrokům. Její vznik je tedy spojen s moderním technologickým a vědeckým vývojem, ačkoli její historie má již své pevné místo v kontextu 20. a 21. století. [6]

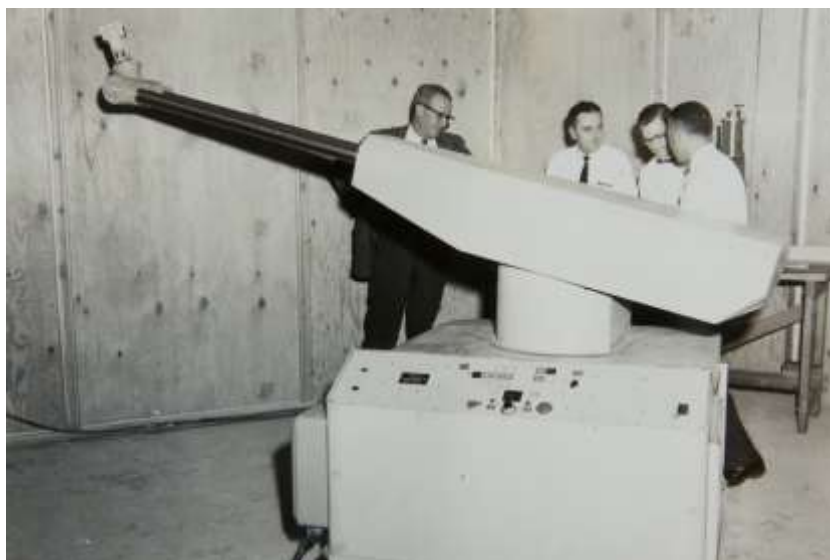
Termín "robot" byl poprvé použit v roce 1920 v divadelní hře R.U.R. od Čapka. Od prvního představení se obliba tohoto slova prudce rozšířila po celém světě. [7]

Od roku 1927 začaly vznikat různé podoby robota, které měli vzhled lidského člověka. Například robot Televox na světové výstavě v New Yorku, robot Erik na výstavě britské asociace inženýrů v Londýně, nebo japonský robot „Přírodovědec“ s hybnými rukama a hlavou. Hlavním rozdílem oproti současným robotům bylo, že tyto starší modely nebyly vybaveny řídicím systémem a možnostmi programování. [6]

S významným krokem směrem k automatizaci je úzce spojeno jméno Henry Ford. V roce 1910 zavedl inovativní koncept pásové výroby automobilů, což přineslo revoluční změnu v průmyslové výrobě, která umožnila sériovou a hromadnou výrobu a vznik výrobních linek. [6]

Při vývoji prvního průmyslového robota byli klíčovými postavami američtí inženýři George Charles Devol a Joseph Frederick Engelberger. Společně začali pracovat na tomto projektu v roce 1956 a v roce 1958 založili firmu Unimation na výrobu jejich

robota s názvem Unimate 1000. Roboty byly nasazovány jako alternativa pracovníků při odstraňování žhavých a těžkých odlitků z forem při lití pod tlakem. Tento robot se začal ukazovat jako úspěšný i v průmyslově vyspělých zemích jako je Anglie, Japonsko apod. Tím začal velký rozmach dalších typů robotů. [6]



Obrázek 2 Vývoj Unimate 1000 (Devol, Engelberger a tým) [8]

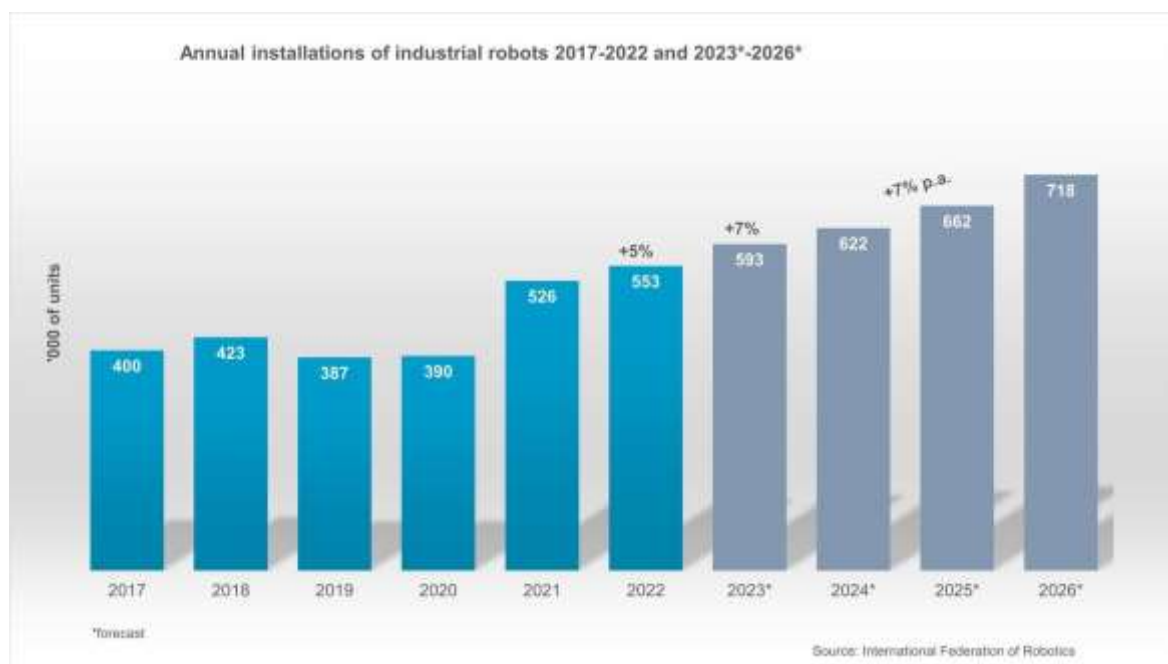
V 70. letech se žádala větší variabilita a možnost přeprogramování výroby, což vyústilo k uplatnění flexibilního průmyslového robota obsluhující výrobní linky. Největší nárůst průmyslových robotů a manipulátorů však přišel až v letech osmdesátých, kdy se ve velké míře využívaly ve flexibilních linkách automobilových společností. [6]

Současnost robotiky lze charakterizovat jako jeden z nejrychleji se rozvíjejících oborů s neustálým technologickým pokrokem a rostoucím využitím robotů v různých odvětvích. Moderní robot je již vybaven pokročilými senzory a řídicími systémy, což mu umožňuje provádět složité úkoly s vysokou přesností a efektivitou. Mezi přední výrobce robotů se v dnešní době řadí společnosti jako ABB, Yaskawa, Fanuc, nebo také například Midea, jejíž součástí je od roku 2017 i německý výrobce Kuka. [9]



Obrázek 3 Moderní roboti předního výrobce Fanuc [10]

Podle statistik IFR (Mezinárodní federace robotiky) se za rok 2022 nainstalovalo po celém světě 553 tisíc průmyslových robotů. Jak značí graf níže (Obrázek 4), meziroční růst činil 5 %. IFR dále uvádí, že nejvíce nově nainstalovaných průmyslových robotů bylo v Asii, a to přibližně 73 % z celkového počtu. Instalace v Evropě činila 15 % a v Americe 10 % z celkového počtu. [11]

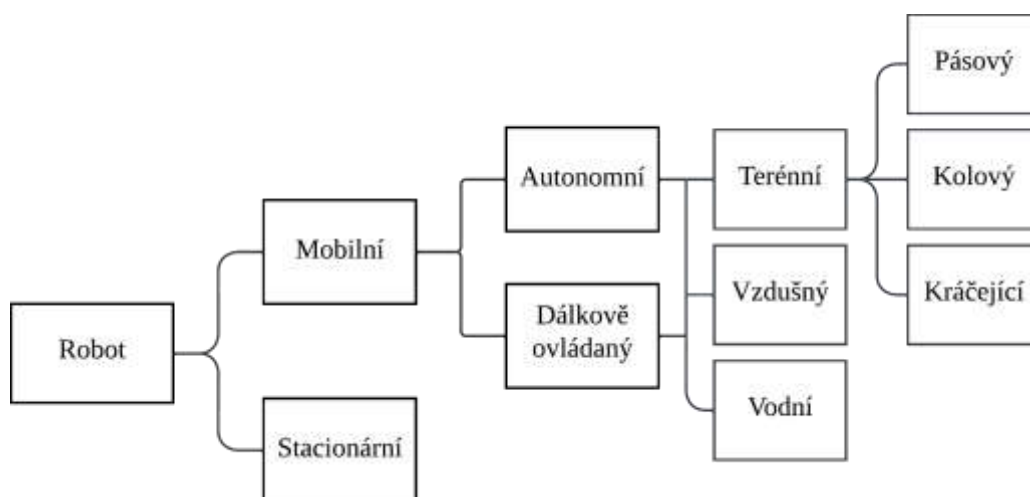


Obrázek 4 Graf ročních instalací průmyslových robotů podle IFR [11]

2.4 Rozdělení robotů

2.4.1 Dle pohyblivosti

Roboty lze klasifikovat podle jejich pohyblivosti. Typické rozdělení zahrnuje stacionární a mobilní roboty, které se liší pracovním prostředím a v požadovaných schopnostech.



Obrázek 5 Dělení robotů dle pohyblivosti [12]

Stacionární robot

Stacionární robot, často využíván v průmyslu, pracuje v pevně definovaném prostředí uzpůsobené pro roboty a často vykonává opakující se úkoly, jako je například svařování nebo lakování součástek v automobilovém průmyslu. [12]

Mobilní robot

Od mobilních robotů se naopak očekává, že budou schopni pohybu ve volném prostoru a plnit úkoly i v těžko přístupných místech. Jsou také vystaveni situacím, které nejsou předem přesně známy a které se mohou v průběhu času měnit, včetně přítomnosti nepředvídatelných prvků, jako jsou lidé a zvířata. Mezi příklady mobilních robotů patří například robotické vysavače nebo autonomní vozidla. [12]

- **Autonomní** – S využitím senzorů a systémových pokynů samostatně plní dané úkoly. Takový robot využívá technologii umělé inteligence, což mu umožňuje orientovat se v neznámém prostředí a přizpůsobovat se danému terénu s překážkami. [13]
- **Dálkově ovládaný** – Pohyb prostřednictvím řízení ze vzdáleného místa pomocí dálkového ovladače, počítače nebo jiného zařízení pro ovládání. Telerobot, jak se

těmto dálkově ovládaným robotům říká, reaguje bez vlastního rozhodování na povely zadané operátorem. [13]

Mobilní roboty je možné dále rozdělovat podle prostředí, ve kterém jsou využíváni, a to na terénní, vzdušné a vodní.

Terénní robot

Speciálně navržený robot určený k pohybu a vykonávání úkolů na různých typech pevných površích. Je konstruován s ohledem na často nepravidelný a nepředvídatelný terén. Jeho schopnost pohybu v různých typech terénu umožňuje provádět úkoly, které by pro člověka byly obtížné nebo nebezpečné. [12]

Podle jejich základního pohybového mechanismu je můžeme dělit na:

- S pásovým podvozkem – Typ složený z pásů, které umožňují stabilitu a schopnost překonávat nerovnosti terénu. Je vhodný na nepevné povrchy, jako jsou lesy, sněhové terény, nebo bažinaté oblasti. Nevýhodou pásů může být jejich protáčení. [14]
- S kolovým podvozkem – Navržen pro pohyb po hladších površích, jako jsou cesty, pole nebo parkové plochy. Podvozek je vybaven koly, což jim poskytuje větší rychlost a snadnější pohyb v porovnání s roboty s pásovým podvozkem. [14]
- Kráčející roboti – Konstrukce inspirovaná lidskými a zvířecími končetinami, což umožňuje překonávat různé překážky a terénní nerovnosti, jako jsou schody, skalnaté úseky nebo nerovné terény. Nevýhoda těchto robotů spočívá v nedostatečné stabilitě, která může vést k pádům nebo selhání robotů. [14]



Obrázek 6 Čtyřnohý robot Spot od Boston Dynamics [20]

Vzdušný robot

Robot využívaný ve vzdušném prostoru je autonomní nebo dálkově ovládané zařízení určené k letu ve vzduchu. Může se jednat o bezpilotní letouny, známé jako drony, nebo další typy letadel se širokým spektrem využití jako například průzkum, monitorování, případně pořizování videí a fotografií. V poslední době se drony staly efektivními prostředky ve vojenských konfliktech, kde nacházejí uplatnění jako účinné bojové zbraně. [14]



Obrázek 7 Bepilotní letoun Parrot Anafi USA s termovizí pro záchranné služby [21]

Vodní robot

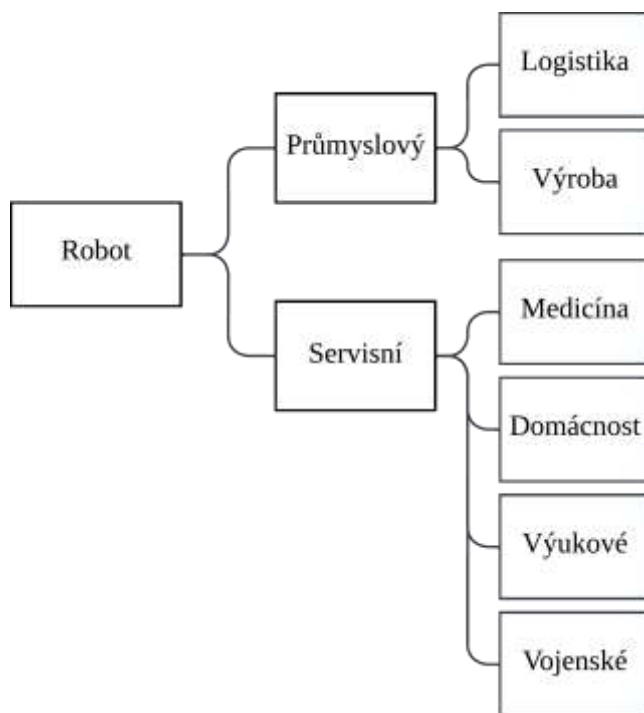
Zařízení určená pro provoz pod vodou nebo na hladině vody. Konstrukce vodních robotů často využívá materiály odolné vůči korozivním účinkům vody a prostředí, ve kterém operují (nerezová ocel, titan apod.). Ve většině případů k pohybu těchto robotů jsou určeny lodní šrouby, elektrické motory a vodní trysky. [14]



Obrázek 8 Robot Defender od VideoRay operující pod vodou [22]

2.4.2 Dle využití

Kromě výše uvedených kategorií můžeme roboty dále rozdělit dle jejich využití. Jedná se o rozdělení na průmyslové roboty, kteří se uplatňují hlavně v automatizovaných výrobních procesech, a servisní roboty, kteří slouží lidem v nejrůznějších oblastech. Každé takové zařízení je navrženo s ohledem na specifické potřeby a prostředí, ve kterém bude používáno.



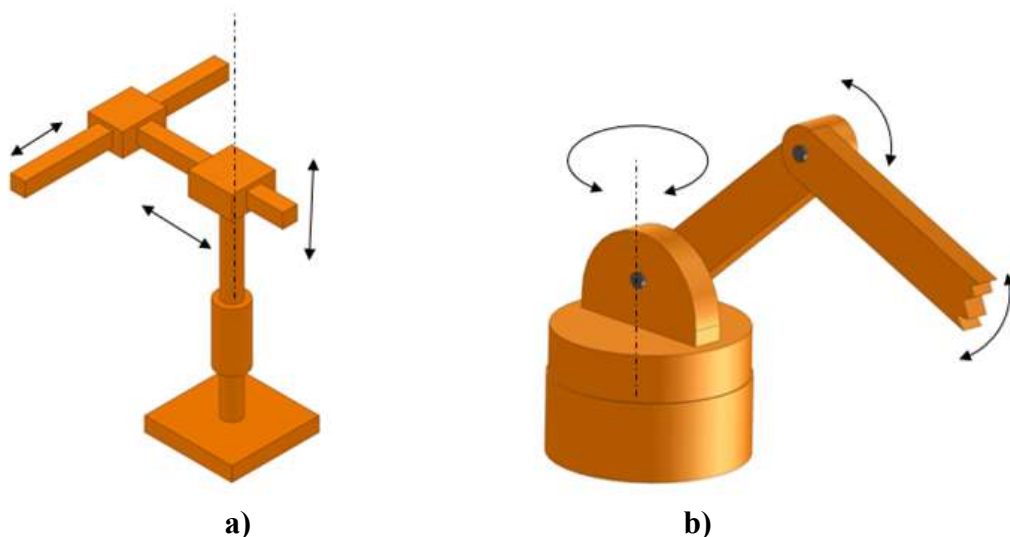
Obrázek 9 Dělení robotů dle jejich využití [12]

Průmyslový robot

Mezinárodní organizace pro standardizaci definuje podle normy ISO 8373:2021 průmyslové roboty jako automaticky ovládané, multi-aktivní a všestranné systémy, které je možné naprogramovat ve třech a více osách. Rozlišujeme dva hlavní typy průmyslových robotů: [16]

- Kartézské roboty – Specifický typ lineárního robota, který se pohybuje v prostoru definovaném osami X, Y a Z. Tyto lineární osy jsou vzájemně kolmé a odpovídají kartézské souřadnicové soustavě. Pohyb robota v těchto osách je zajišťován lineárními aktuátory, které mu umožňují plynulý a přesný pohyb v daném rozsahu. [15]

- Více-klobové roboty – Hlavní předností těchto robotů, nazývaných také jako robotická ramena, je jejich flexibilní pohyb v rozsáhlém 3D prostoru. Toho dosahují díky otočným kloubům a obvykle 6 osám, které jim umožňují napodobovat pohyby lidské paže. [15]



Obrázek 10 a) kartézský systém, b) více-klobový systém [23]

Průmyslové roboty hrají klíčovou roli v moderním průmyslu, zvyšují produktivitu a snižují náklady v mnoha oblastech. Díky své přesnosti, efektivitě, flexibilitě a bezpečnosti jsou ideální pro automatizaci širokého spektra výrobních procesů. V automobilovém průmyslu se roboty používají pro svařování karoserií, lakování a montáž automobilů. V potravinářském průmyslu manipulují s potravinami, balí je a zajišťují kontrolu kvality. Velké využití nacházejí také v logistice při vychystávání zboží, nakládce či vykládce kamionů a kontejnerů, anebo při manipulaci s paletami. [7][17]

Servisní robot

I pojem servisní robot se dá charakterizovat podle mnoha norem, které se zaměřují až na příliš technické detaily. Pro pochopení však postačí jednoduchá definice, že servisní roboty spolupracují s lidmi a usnadňují jim práci v mnoha oblastech, ať už v domácnosti, v průmyslu, ve zdravotnictví, nebo v zemědělství. Pomáhají s úklidem, vařením, péčí o pacienty a mnoha dalšími úkoly. [19]

Rozlišujeme dva typy servisních robotů:

- Osobní – Pro soukromé použití (robotické vysavače, vzdělávací roboty apod.).
- Profesionální – V profesním prostředí (v zemědělství, záchranné práce apod.) [18]



Obrázek 11 Servisní robot AgBot 2.055W3 od AGXeed určený pro sady a vinice [24]

3 DEFINICE RC MODELŮ

RC (Radio Controlled) modely představují zmenšené repliky vozidel, letadel, dronů, lodí a dalších zařízení, která jsou opatřena radiovým řízením pro bezdrátové ovládání na dálku. Klíčovou komponentou pro přenos signálů v těchto modelech jsou rádiové vlny představující formu elektromagnetického záření. [25]

Princip fungování je založen na komunikaci mezi vysílačem v ruce modeláře a přijímačem umístěným vně modelu. Vysílač generuje signál, který je vyslán anténou do prostoru. Přijímač následně zachytí tento signál, dekóduje ho a podle pokynů aktivuje pohon dálkově ovládaného prostředku, čímž zajistíme jejich pohyb. [25] [26]

Rádiové vlny jsou pro RC modely nezbytné, jelikož se dokážou šířit na velké vzdálenosti a pronikat i zdmi a jinými překážkami. To umožňuje modelářům ovládat své modely v širokém spektru prostředí a bez nutnosti přímé viditelnosti.



Obrázek 12 RC vozidlo Suzuki Jimny Sierra [2]

3.1 Konstrukce RC vozidla

Prvním krokem při výběru RC modelu je určení typu napodobeniny, kterou si chcete pořídit. Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole (3), možnosti zahrnují velké množství dopravních prostředků. Vzhledem k tématu této práce, která se zabývá dálkově ovládanou sněhovou frézou, bude naše pozornost zaměřena na konstrukci rádiově řízených vozidel.

3.1.1 Varianty sestavení RC vozidel

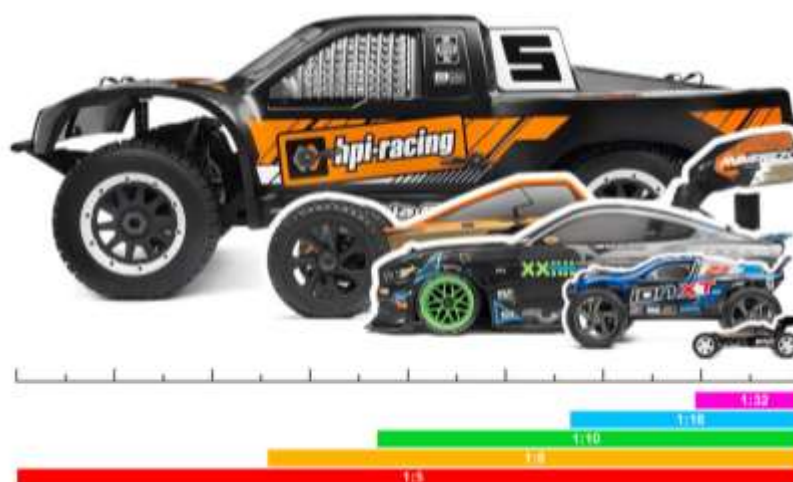
Existují tři varianty sestavení dálkově ovládaných zařízení:

- RTR („Ready to Run“) – Tento termín doslovně znamená „Připraveno k jízdě“. Sestava je kompletně vybavena všemi nezbytnými komponenty nutnými k okamžitému použití.
- ARR („Almost Ready to Run“) – Označení pro téměř kompletně sestavenou a vybavenou RC sestavu. Většina takových setů obsahuje všechny potřebné komponenty s výjimkou řídicí elektroniky.
- Stavebnice – Na rozdíl od předchozích variant stavebnice nabízí zcela rozloženou sadu komponent bez elektrovybavení. [27]

3.1.2 Měřítko RC modelů

Měřítko RC vozidla nám dává informaci o tom, o kolik je model zmenšený oproti skutečnému vozu. Poměr 1:X nám říká, že model je Xkrát menší než reálný automobil. Například dálkově ovládané auto v měřítku 1:10 má desetkrát menší rozměry než jeho předloha v reálné velikosti. [28]

Škála měřítek běžně používaná u RC modelů aut se pohybuje v rozmezí od 1:5 až po 1:32. Měřítko 1:5 je největší běžně používané, zatímco 1:32 představuje nejmenší modely. Každé měřítko se vyznačuje specifickými vlastnostmi, jako je maximální rychlost, dojezd, manévrovatelnost a terénní vlastnosti. V závislosti na měřítku se rozlišuje také vhodnost, kde takové modely můžeme použít. Větší modely se hodí například pro profesionální účely (závody, driftování), zatímco menší jsou ideální pro občasné jízdy a sběratelské účely. [29]



Obrázek 13 Srovnání velikostí běžných měřítek RC vozidel [29]

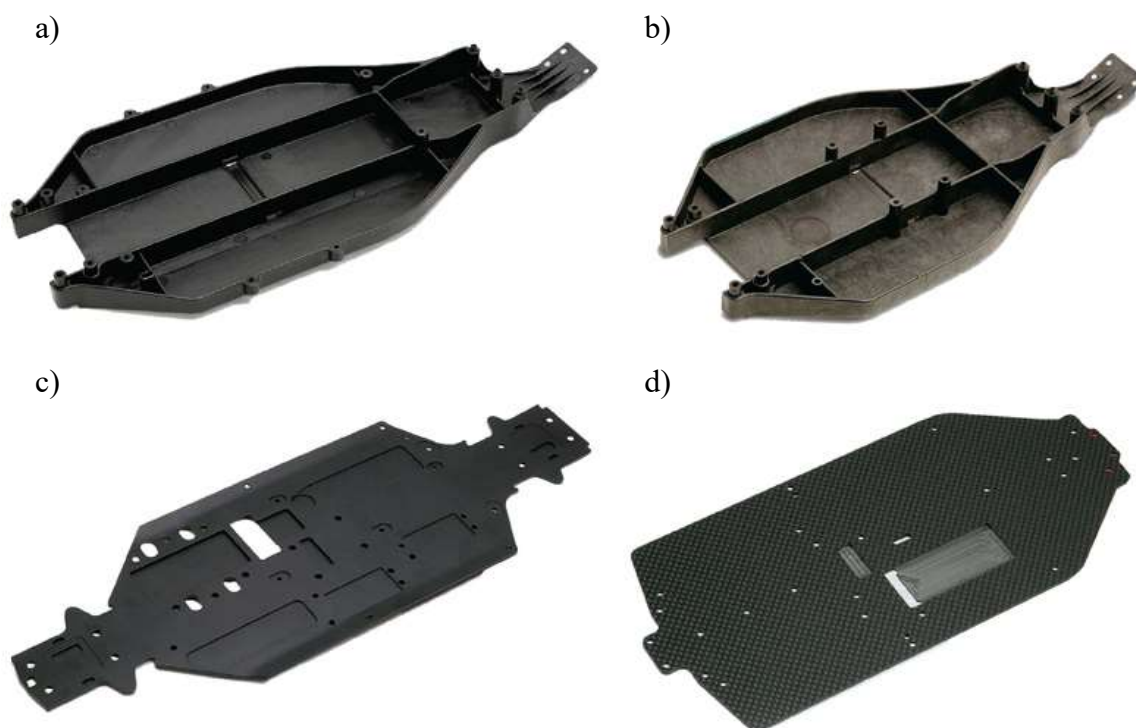
3.1.3 Podvozek

Podvozek RC vozidel tvoří kostru celého modelu. Představuje nosnou platformu, na níž se upevňují všechny klíčové komponenty, jako jsou kola, karoserie a celkový pohonný systém. Konstrukce a vlastnosti podvozku tak zásadně ovlivňují jízdní vlastnosti, stabilitu, ovladatelnost a celkový výkon RC modelu. Design podvozku se liší podle typu modelu a povrchu, na kterém bude jezdit (silnice, nerovný terén). [30] [31]

Mezi nejčastěji používané materiály podvozků patří vstříkovaný plast, kompozitní plasty vyztužené skelnými nebo uhlíkovými vlákny, slitiny hliníku a uhlíková vlákna. Každý z těchto materiálů má své výhody a nevýhody, což je potřeba zohlednit při výběru pro konkrétní použití. Důležitými faktory, které ovlivňují výběr, jsou tuhost, hmotnost, odolnost, cena a dostupnost materiálu. [30]

Tabulka 1 Nejběžněji používané materiály podvozků RC vozidel [30]

Materiál	Vlastnosti	Vhodnost
Vstříkovaný plast	Ekonomické, nízká hmotnost, nižší tuhost a odolnost	Začátečníci, pro běžné použití
Kompozitní plasty vyztužené skelnými nebo uhlíkovými vlákny	Vyvážený poměr tuhosti, odolnosti a ceny	Zkušenější uživatelé, pro náročnější používání
Slitiny hliníku	Dobrá tuhost, vyšší hmotnost a vyšší cena	Závodní modely, pro náročné terénní podmínky
Uhlíková vlákna	Nejvyšší tuhost, odolnost, nízká hmotnost, vysoká cena a náročnější výroba	Profesionální závodní modely



Obrázek 14 Typy podvozků RC modelů aut z různých materiálů.

a) vstříkovaný plast, b) kompozitní plast vyztužený skelnými nebo uhlíkovými vlákny, c) slitina hliníku, d) uhlíková vlákna [30]

3.1.4 Karoserie

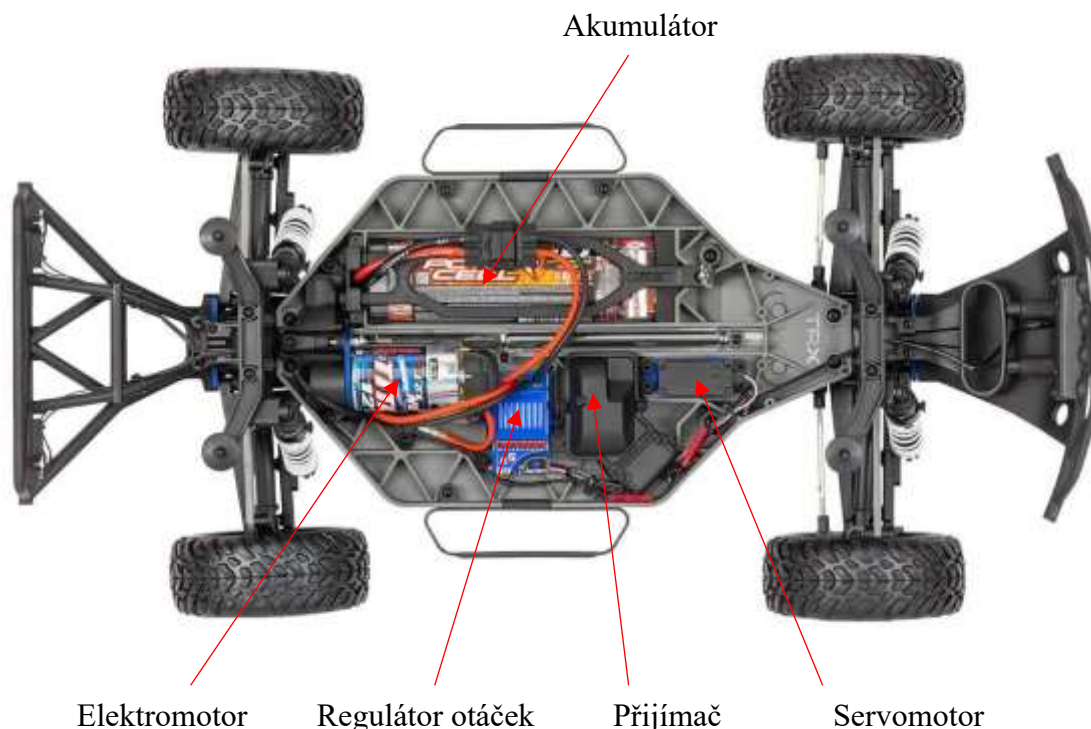
Karoserie RC vozidel se v současnosti převážně zhotovují z transparentního Lexanu o tloušťce 0,5 – 1,5 mm technologií vakuového tvarování. Konkrétně se jedná o obchodní název polykarbonátu, termoplastického polymeru, který se vyznačuje svou průhledností, vynikající flexibilitou, odolností proti nárazům a teplotní stabilitou. Čiré polykarbonátové karoserie se následně barví pomocí speciálních barev. Alternativu k polykarbonátu představují karoserie z ABS plastu. [32] [34]



Obrázek 15 Čirá polykarbonátová karoserie RC auta před barvením [33]

3.2 Hlavní součásti RC modelů

Tato kapitola se zabývá popisem a funkcí hlavních součástí RC modelů aut. Dále se zaměříme na to, jak ovlivňují jednotlivé součásti celkový výkon a vlastnosti modelů.



Obrázek 16 Podvozek RC modelu Traxxas Slash 4x4 s jeho hlavními částmi [53]

3.2.1 Motor

První klíčovou složkou RC modelů jsou motory, které představují základní článek pro jejich pohyb a funkčnost. Tato oblast představuje široké spektrum možností, přičemž základní rozdělení spočívá v rozdílu mezi elektromotory a spalovacími motory.

Elektromotory, dělí se dále na stejnosměrné a střídavé typy, dominují v oblasti RC modelů díky svým nízkým nárokům a relativní jednoduchosti. Naopak spalovací motory, rozlišené na žhavicí a benzinové varianty, poskytují vyšší výkon a jsou preferovány v náročnějších terénních podmínkách či pro závodní účely. [36]

Elektromotory:

- **Stejnoseměrné (kartáčové)** – Levná a jednoduchá varianta pohonu, jejíž využití je u menších a pomalejších modelů. Nevýhodou je kratší životnost a nižší výkon, který je dán omezenými možnostmi chlazení. Maximální rychlost těchto modelů se pohybuje do 50 km/h. [35] [28]
- **Střídavé (bezkartáčové)** – Dražší a složitější než motory kartáčové, ale nabízí delší životnost a vyšší účinnost. Vynikají svým téměř bezúdržbovým provozem a maximální rychlostí i přes 100 km/h. [35] [28]



Obrázek 17 Střídavý elektromotor [51]

Spalovací motory:

- **Žhavicí (nitrometanové)** – Poháněny speciální směsí nitrometanu, metanolu a oleje s autentičtější jízdou díky zvuku a spalínám. Hlučnější varianta vyžadující náročnější údržbu. Předností těchto motorů oproti elektromotorům je jejich vyšší výkon. [35] [36]
- **Benzinové** – Palivem je směs benzínu s olejem. Použití u větších modelů aut (měřítko 1:5 a 1:6). Stejně jako u žhavicích motorů je nevýhodou hlučnost a náročnější údržba. [35]



Obrázek 18 Žhavicí spalovací motor [52]

3.2.2 Servomotor

Servomotory, zkráceně serva, jsou elektromechanická zařízení, jejich úkolem je převádět signály vysílané z přijímače na povely k pohybu, čímž umožňují plynulé a přesné řízení polohy během jízdy.

Uvnitř těla se nacházejí základní prvky v podobě stejnosměrného, či střídavého motoru, ozubených převodů a řídicí elektroniky. Dvě podstatné charakteristiky, které mají vliv na výkon servomotorů v RC modelech, jsou jejich rychlost a moment síly. [38] [39]

Elektronika serva se dělí na dva typy – starší analogová a modernější digitální. Vstupní signál z přijímače je pro analogová i digitální serva stejný, nicméně použití digitální technologie odstranilo teplotní závislost, kterou trpí starší analogové elektroniky. Digitální servomotory vykazují větší přesnost a rychlost a ve srovnání s analogovými servy mohou také nabídnout vyšší moment síly. Tyto výhody ovšem kompenzuje zvýšená spotřeba energie. [37] [39]



Obrázek 19 Servomotor s viditelnými vnitřními částmi [37]

3.2.3 Akumulátor

Akumulátory představují nezbytnou komponentu dálkově ovládaných modelů vybavených elektromotory. Plní funkci energetického zdroje pro pohon motoru, servomotoru a dalších elektronických součástí. Nabídka zahrnuje různé typy akumulátorů, které se odlišují technologií, vlastnostmi a cenovou kategorií. [31]

Li-Pol

Nejpoužívanější lithium-polymerové akumulátory (Li-Pol) v oblasti RC modelů se vyznačují svým poměrem uložené energie k hmotnosti a objemu. Zároveň disponují vysokým napětím článku a nízkým samovybíjením s minimálním paměťovým efektem, což

znamená ztrátu kapacity baterie způsobenou jejím předčasným dobíjením. Díky nízkému vnitřnímu odporu dokáží dodávat také vysoké proudy a spolehlivě odolávají teplotám v rozmezí od cca -10 až do 40 °C. [40]

Hlavním rizikem Li-Pol akumulátorů je náchylnost ke vznícení a výbuchu při mechanickém poškození. Pro udržení optimální funkce a životnosti je nutné striktně dodržovat pokyny pro nabíjení a skladování. Například pokud klesne napětí pod hodnotu 2,7 V (nominální napětí 3,7 V), hrozí velké riziko trvalého poškození akumulátoru. [41]



Obrázek 20 Li-Pol akumulátor 5800 mAh [54]

Ni-MH

V oblasti modelářství se nikl-metal hybrid (Ni-MH) akumulátory s nominálním napětím 1,2 V staly populární náhradou za Ni-Cd baterie, které obsahovaly škodlivé kadmium a negativně ovlivňovaly životní prostředí. Ni-MH baterie se pyšní nízkými pořizovacími náklady a vysokou mírou bezpečnosti. Vynikají velkou kapacitou, odolností vůči mechanickému poškození a nízkým paměťovým efektem. Oproti Li-Pol akumulátorům je jejich nevýhodou menší výkon a kratší doba provozu. [42]



Obrázek 21 Ni-MH akumulátor 1600 mAh [50]

S klesajícími cenami Li-Pol a Li-Ion (lithium-iontových) akumulátorů klesá i významnost Ni-MH akumulátorů v oblasti RC modelů. Přesto i nadále představují Ni-MH akumulátory finančně dostupnou variantu s relativně dlouhou životností pro modely s nižším výkonem. [43]

Dalšími používanými akumulátory v RC modelech jsou například zmiňované Li-Ion (lithium-iontové), Li-Fe (lithium-železo-fosfátové), nebo Ni-Cd (nikl-kadmium) baterie. U posledních zmiňovaných akumulátorech se složkou kadmia byl avšak v roce 2017 zastaven Evropskou unií prodej těchto baterií a v obchodech se již pouze doprodávají. [43] [44]

3.2.4 Vysílač a přijímač

Základní RC soupravy (vysílač + přijímač) pro vozidla disponují minimálně dvěma kanály – jeden pro řízení a druhý pro plyn/brzdu. Pokročilejší modely nabízí tři a více kanálů pro ovládání dalších funkcí, jako jsou uzávěrky diferenciálů, vícerychlostní převodovky, světla atd. Profesionálnější jezdci preferují již vysílače s počítačovým displejem, které umožňují rozsáhlé možnosti nastavení a ukládání konfigurací pro různé modely. [36]

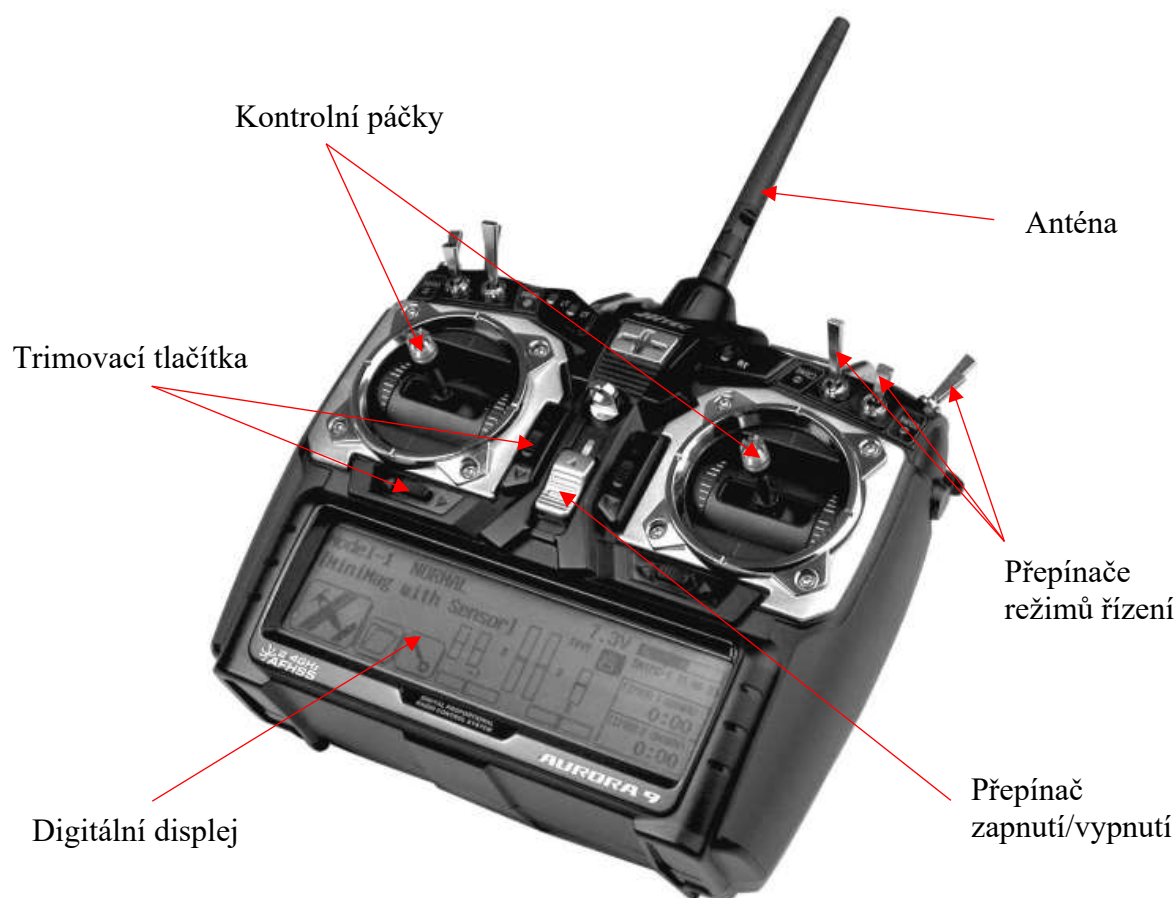
Vysílač (Tx)

Vysílač slouží jako rozhraní mezi řidičem a modelem. Přijímá povely řidiče a transformuje je do radiového signálu, který je odeslán do přijímače v modelu. Všechny RC vysílače pracují na specifické frekvenci. Moderní digitální vysílače obvykle pracují v gigahertzovém pásmu, nejčastěji na frekvenci 2,4 GHz. [46]

Počet kanálů vysílače udává, kolik funkcí v modelu je schopen ovládat. Například tříkanálový ovladač umožňuje řídit tři funkce, jako jsou tři serva, tři motory nebo jejich kombinace. [47]

RC vysílače pro auta se dělí na dva základní typy: páčkové a volantové.

Páčkové (ruční) vysílače představují nejrozšířenější typ ovladačů v RC modelech. Řidič ho drží oběma rukama a k ovládání kontrolních páček používá většinou palce. Na ovladači nalezneme trimovací tlačítka pro jemné doladění polohy servomotorů a rychlosti motorů, dále různá tlačítka a přepínače, například pro volbu mezi režimy řízení. Kvalitnější modely disponují digitálním displejem, který zobrazuje informace o nastavení, stavu baterie a kvalitě signálu. [46]



Obrázek 22 Páčkový vysílač [46]

Volantové ovladače jsou oblíbené u RC modelů závodních aut, rychlých člunů a lodí. Řidič drží vysílač jednou rukou, která zároveň ovládá spoušť plynu/brzdy, zatímco druhá ruka řídí směr jízdy pomocí otočného kola (volantu) umístěného na boční straně ovladače. Stejně jako u páčkového typu můžeme nalézt i na volantovém ovladači trimovací tlačítka, přepínače a digitální displej pro nastavení parametrů modelu. [46]



Obrázek 23 Volantový vysílač [46]

Přijímač (Rx)

Přijímač zajišťuje bezdrátové propojení s vysílačem a umožňuje ovládání RC modelu na dálku. Jedná se o malé obdélníkové zařízení, které se montuje dovnitř modelu.

Hlavním úkolem přijímače je zpracovávat radiové signály z vysílače a převést je do řídicích signálů pro servomotory a regulátor otáček motoru. Díky tomu je možné ovládat jednotlivé funkce modelu, jako je zatáčení, akcelerace, brzdění atd. Některé typy přijímačů disponují integrovanou telemetrií, která umožňuje získávat v reálném čase informace o stavu baterie modelu, teplotě motoru, otáčkách motoru a dalších důležitých parametrech. [31] [48]

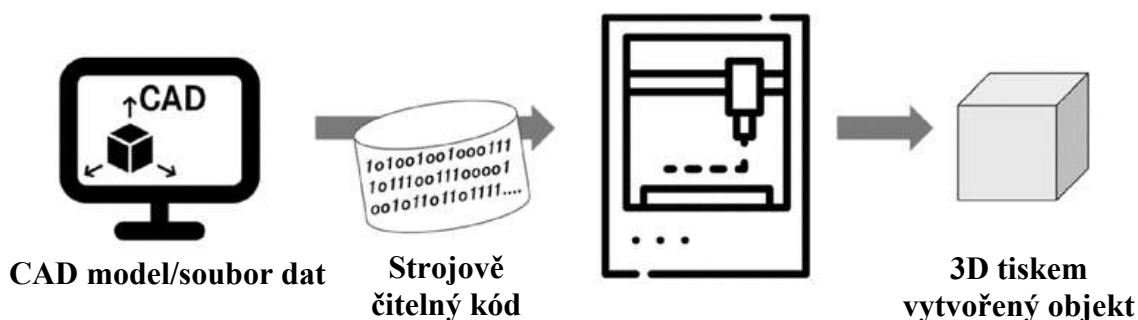
Přijímače se rozlišují podle počtu kanálů, které určují počet nezávislých funkcí, jež lze ovládat. Nejčastější jsou 3-, 4-, 6-, 8- a 16kanálové přijímače. [45]



Obrázek 24 10kanálový přijímač Fly Sky 2,4 GHz [49]

4 3D TISK

Technologie 3D tisku se výrazně liší od klasických výrobních metod tím, že objekty vytváří postupným nanášením materiálu po jednotlivých vrstvách. Materiál se neodebírá, ale naopak se přidává tam, kde je potřeba, a to v průběhu tvorby objektu. Tuto technologii označujeme jako aditivní proces výroby (dříve označováno jako rapid prototyping). Způsoby přidávání materiálu se mohou lišit, ať už jde o vytlačování roztaveného plastu, svařování práškového materiálu nebo vytvrzování pryskyřice pod UV světlem. Základní princip však zůstává stejný – přeměna digitálních dat na fyzický díl přidáváním materiálu a tím postupné vytvoření požadovaného objektu. Díky těmto schopnostem je technologie vhodná pro výrobu složitých tvarů a struktur, které by se jinými metodami obtížně vyráběly. 3D tisk je taktéž ideální pro výrobu prototypů, čímž usnadňuje a zrychluje proces vývoje produktů. [55] [56]



Obrázek 25 Postup 3D tisku od digitálního modelu k fyzickému objektu [57]

Prototyp představuje první příklad nebo předběžnou verzi produktu, sloužící k jeho otestování a zdokonalení před uvedením na trh. Z hlediska designu se jedná o znázornění celého produktu nebo jeho částí v určité fázi vývoje. [56]

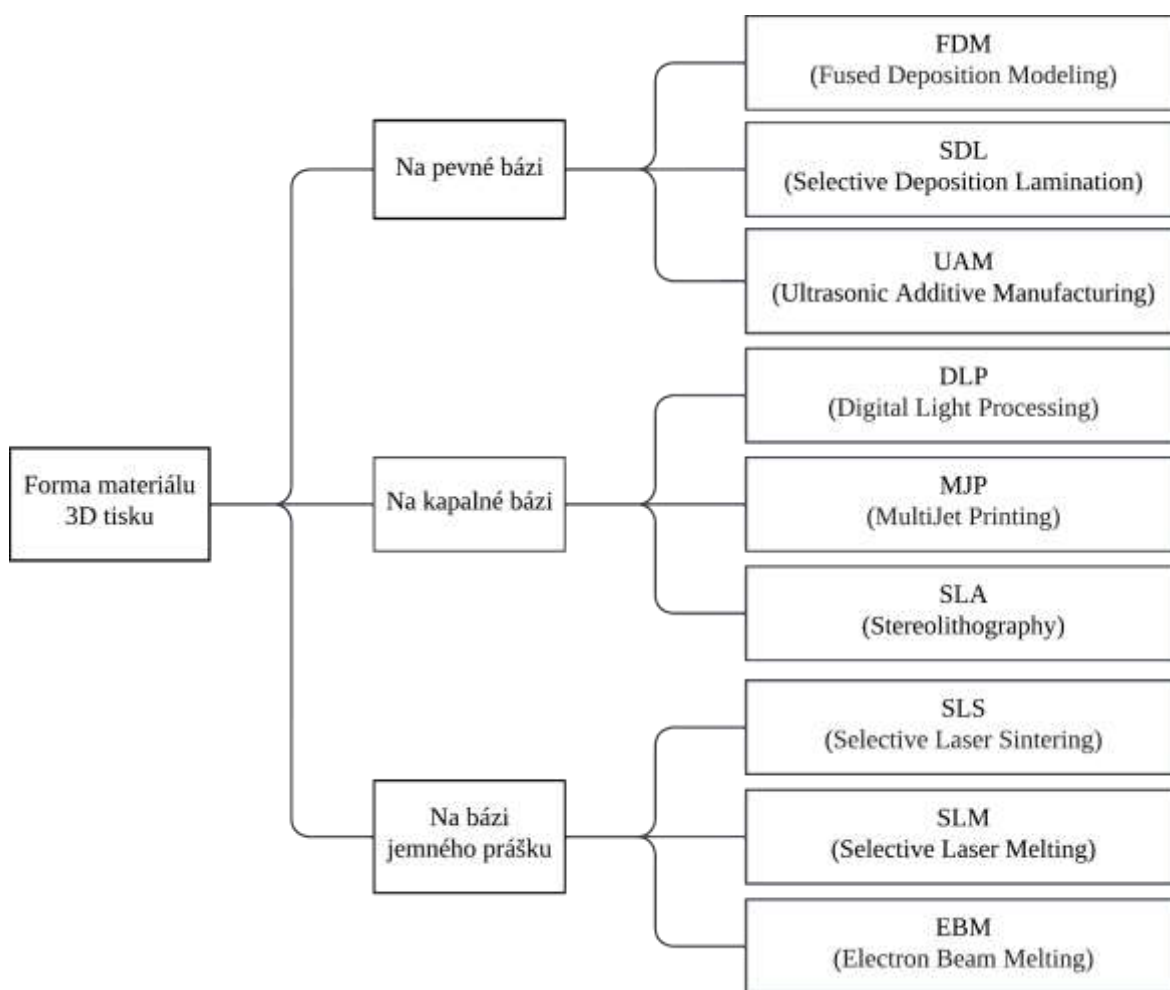
Mezi hlavní účely prototypování patří experimentování a získávání poznatků, testování a ověřování funkčnosti, optimalizace produktu a jeho prezentace investorům a klientům. Díky včasné identifikaci a řešení problémů v rané fázi vývoje šetří prototypování čas i náklady a vede k finálnímu produktu, který je promyšlený, funkční a efektivní. [56]

Tato kapitola se věnuje základním metodám 3D tisku (4.1) a poté se zaměříme na jednotlivé materiály vhodné pro tuto technologii (4.2).

4.1 Metody 3D tisku

V dnešní době neexistuje jednotná technologie 3D tisku, která by byla vhodným řešením pro všechna použití. Před zahájením tisku je tedy nezbytné zvážit specifika zamýšleného objektu a vlastnosti jednotlivých technologií.

Nejrozšířenější technologie 3D tisku můžeme rozdělit do tří hlavních kategorií dle typu materiálu použitého pro základní strukturu tištěného objektu. Vzhledem k rozsáhlosti a rozmanitosti technologií 3D tisku zahrnuje Obrázek 26 pouze nejrozšířenější a nejvyužívanější technologie. [58]

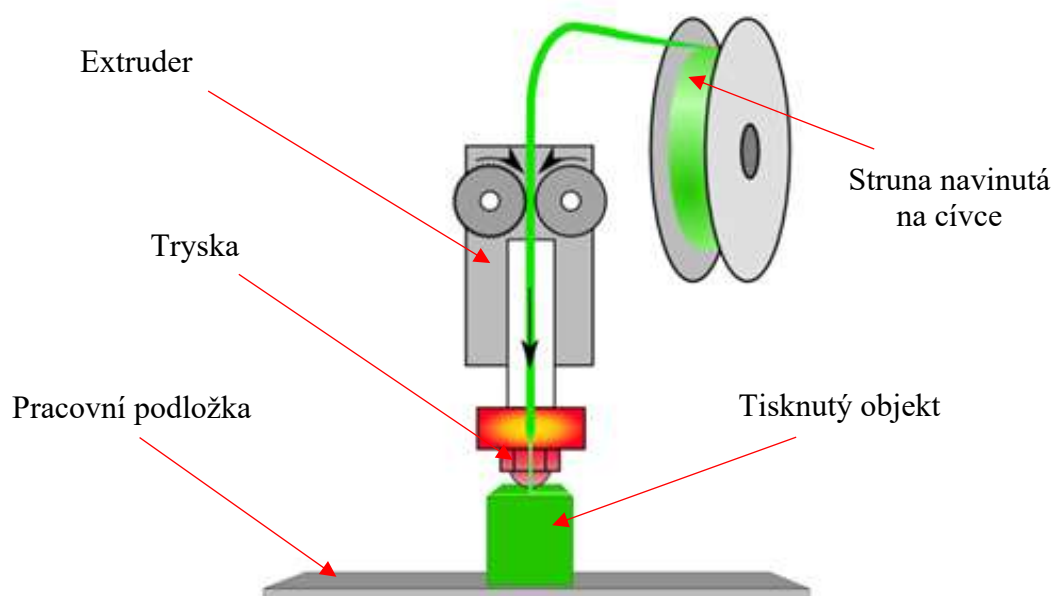


Obrázek 26 Rozdělení 3D tisku dle použitého typu materiálu [56]

4.1.1 FDM (Fused Deposition Modeling)

Technologie FDM, označovaná též jako FFF (Fused Filament Fabrication) či PJP (Plastic Jet Printing), představuje jednu z nejrozšířenějších metod aditivní výroby. Tiskový materiál v podobě polymerové struny (filamentu) je dopravován z cívky do tiskové hlavy (extruderu) pomocí PTFE trubičky. Uvnitř extruderu se taví struna na určenou teplotu a je vytlačována

přes trysku. Princip technologie FDM spočívá ve vrstvení roztaveného materiálu. Po nanesení úvodní vrstvy na vyhřívanou pracovní podložku se tisková hlava posune o výšku vrstvy a pokračuje se nanášením dalších vrstev až do finálního vytvoření modelu či prototypu. [58] [59]



Obrázek 27 FDM technologie [60]

Tabulka 2 Výhody a nevýhody metody FDM [56]

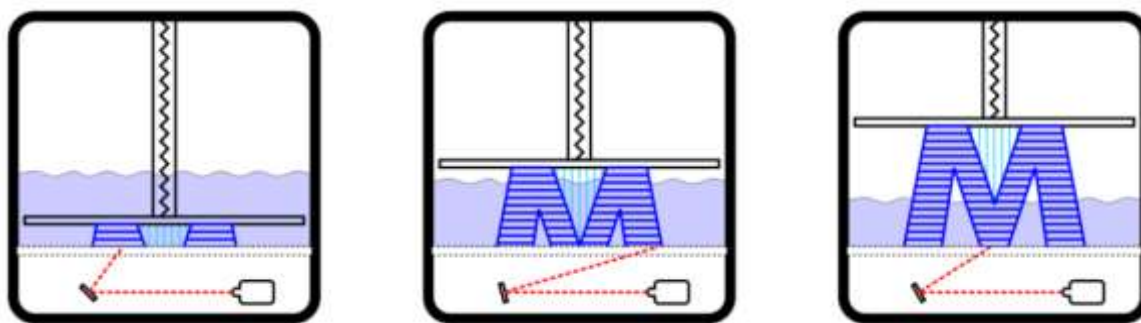
Výhody	Nevýhody
+ Dobré mechanické vlastnosti	- Nízká kvalita povrchu
+ Multimateriálový tisk	- Tloušťka vrstvy
+ Minimum odpadu	- Rychlost tisku
+ Široký výběr materiálů	- Použití podpůrných struktur u převisů
+ Nízké náklady	
+ Čistota	

4.1.2 SLA (Stereolitografie)

Stereolitografie (SLA) je technologie 3D tisku, která využívá fotocitlivý polymer, tzv. fotopolymerní pryskyřici, k vytváření trojrozměrných objektů. Princip fungování je založen na vytvrzování pryskyřice (resinu) pomocí UV světelného paprsku. [61]

Počítačově řízený laserový paprsek ozařuje v nádobě nalitou fotopolymerní pryskyřici. Na tiskové podložce, která je ponořena v resinu, dochází k následné polymerizaci, tzn. vytvrzování pryskyřice. Po vytvrzení první vrstvy se podložka s vytištěnou vrstvou o kousek posune dolů (obvykle o tloušťku vrstvy 0,05-0,25 mm). Následně se proces ozařování a vytvrzování opakuje pro další vrstvu. Tímto způsobem se postupně vytváří 3D objekt vrstvu po vrstvě. [56] [61]

U vytištěného objektu se dále provádí fáze post-proces, která zahrnuje odstranění podpůrných struktur, namáčení v isopropylalkoholu (ke smytí přebytečné pryskyřice) a vytvrzení objektu UV zářením (pro dosažení optimální pevnosti). [58]



Obrázek 28 Technologie SLA [62]

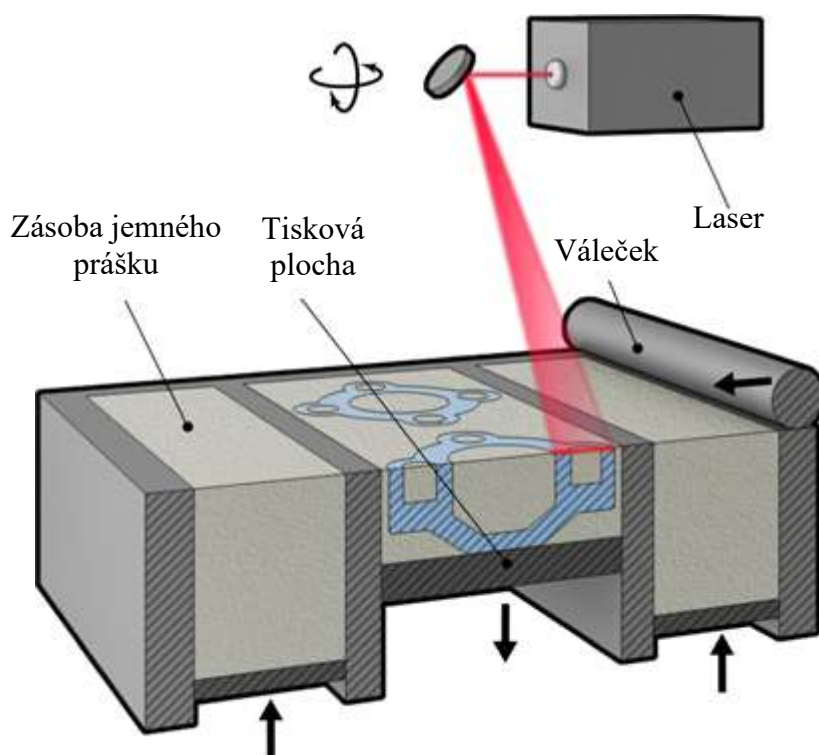
Tabulka 3 Výhody a nevýhody metody SLA [56]

Výhody	Nevýhody
+ Vysoce přesné a detailní výrobky	- Toxicita pryskyřice
+ Hladký povrch	- Menší tisková plocha
+ Široký výběr materiálů	- Post-proces
	- Použití podpůrných struktur u převisů
	- Doba tisku

4.1.3 SLS (Selective Laser Sintering)

Podstatou technologie 3D tisku SLS (Selective Laser Sintering) je spékání prášku laserovým paprskem v tiskové komoře. Během tisku se na pohyblivé dno rovnoměrně rozprostře pomocí válečku tenká vrstva jemného prášku, která je následně laserem ozařována v místech odpovídajících průřezu daného dílu. Laserový paprsek spéká (sinteruje) práškové částice dohromady, čímž dochází k jejich pevnému spojení. Tento proces se opakuje po vrstvách, dokud není objekt kompletně vytištěn. Neroztavený prášek v okolí tisknutého objektu slouží jako podpůrná struktura, která eliminuje nutnost vytvářet dočasné podpory. Po dokončení tisku se objekt vyjme z tiskárny a zbaví se přebytečného prášku, který lze dále recyklovat. [57] [58]

Mezi materiály používané při metodě SLS patří polyamidy (nylon), elastomery (TPU, TPE), keramika a také kovy (nerezová ocel, titan, inconel). Pro přímé laserové spékání kovů se v praxi běžně používá pojem DMLS (Direct Metal Laser Sintering). [56]



Obrázek 29 Technologie SLS [63]

Tabulka 4 Výhody a nevýhody metody SLS [56]

Výhody	Nevýhody
+ Nevýrazné vrstvení materiálu	- Vysoká cena tiskáren
+ Bez podpůrných struktur	- Vysoká spotřeba energie
+ Minimální odpad	- Rozměry tiskáren
+ Možnost tisknutí kovů	- Drsný povrch výtisků

4.2 Materiály vhodné k 3D tisku

U 3D tisku je základním spotřebním materiálem filament nebo pryskyřice. Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole (4.1), v případě FDM tiskáren se používají struny (filamenty) navinuté na cívce převážně v podobě termoplastů, kdežto u SLA zařízení se jedná o tekuté pryskyřice (resiny). Výběr vhodného materiálu závisí na určitých kritériích, jako například účel tištěného dílu a schopnost tiskárny. V této kapitole budou uvedeny nejčastěji používané varianty materiálů pro FDM a SLA technologie.

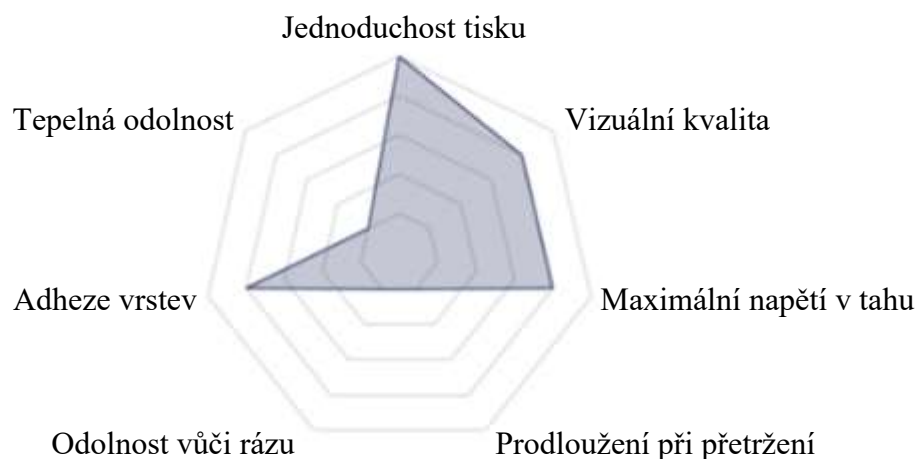
4.2.1 Materiály pro FDM technologii

V současnosti již existuje široká škála materiálů vhodných pro metodu FDM. Převládající skupinou jsou termoplastické polymery, mezi nimiž patří k nejrozšířenějším ABS, PLA a PETG. Výběr materiálu ovlivňuje vlastnosti a vzhled finálního dílu. Cílem je poskytnout komplexní přehled a usnadnit tak jejich výběr.

PLA (Polylactic acid)

Kyselina polyléčná (PLA) je polyester vyrobený z rostlinných materiálů a řadí se mezi nejsnadněji tisknutelné materiály. Díky své nízké ceně a snadnému tisku je ideální volbou pro začátečníky a prototypování. PLA nevyžaduje vyhřívanou podložku a tiskne se při nízkých teplotách (bod tání okolo 175 °C). Tisk je rychlý a bezproblémový, s minimem deformací a kroucení filamentu. [65]

Nicméně tento materiál má i svá omezení. Rozkládá se vlivem UV záření, a proto není vhodný pro venkovní použití (měkne už při 60 °C). Také je křehčí a méně odolný proti nárazu ve srovnání s jinými materiály. Pro technické a venkovní použití s náročnými podmínkami je vhodné zvolit odolnější materiály. [65]

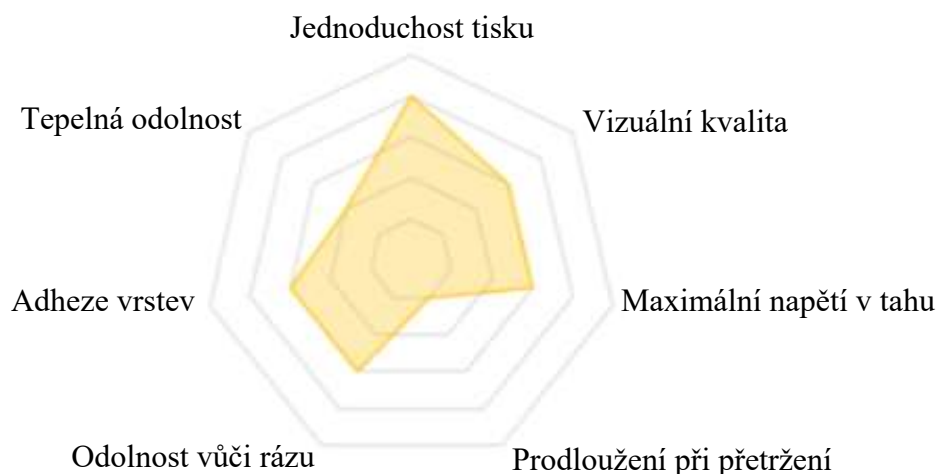


Obrázek 30 Vyhodnocení vlastností PLA materiálu pomocí paprskového grafu [64]

PETG (Polyethylene terephthalate glycol)

PETG (polyethylentereftalát modifikovaný glykolem) je polymer vyvinutý speciálně pro 3D tisk a stejně jako u PLA je oblíbený pro jeho nízkou cenu a snadnou tisknutelnost. PETG se vyznačuje vysokou tuhostí, pevností, odolností proti teplotám, rázům a vlhkosti. Díky těmto vlastnostem je ideální pro tisk funkčních a mechanických dílů, které vyžadují odolnost, houževnatost a pevnost. Teplotní odolnost tohoto materiálu dosahuje až 80 °C, čímž umožňuje jeho použití jak v interiérech, tak i v exteriérech. Dobrá adheze vrstev dělá z PETG ideální materiál pro tisk vodotěsných objektů. Při tisku se téměř nekrouť, a proto je vhodný i pro tisk velkých modelů. [66] [57]

Nevýhodou PETG je stringování, tvorba nežádoucích "vláken" materiálu, ke které dochází při nesprávném nastavení tisku a zhoršuje vzhled i funkčnost modelu. [66]

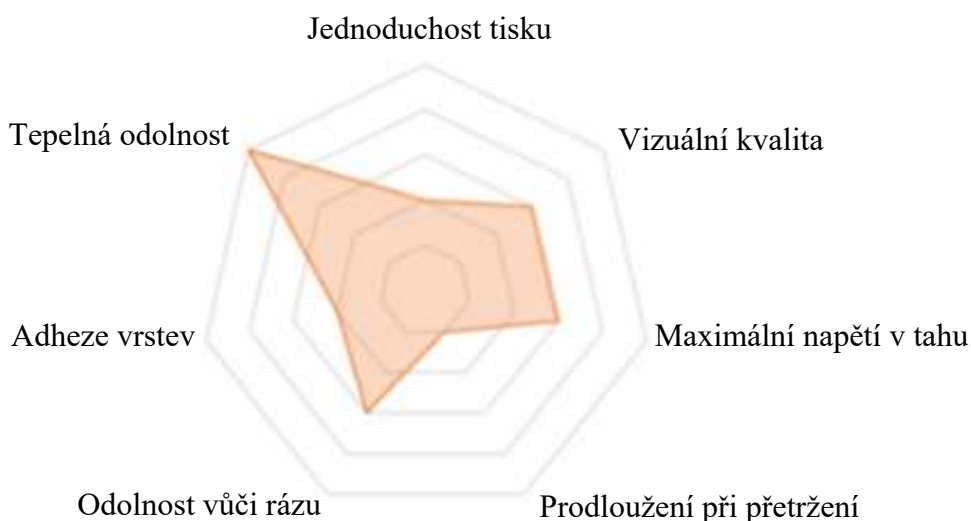


Obrázek 31 Vyhodnocení vlastností PETG materiálu pomocí paprskového grafu [64]

ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)

Akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer (ABS), termoplastický materiál s teplotou tání mezi 220 a 250 °C, se vyznačuje vysokou houževnatostí a teplotní odolností, což ho předurčuje pro tisk mechanicky namáhaných dílů, jako jsou díly do aut, kryty mobilů, LEGO kostky apod.). ABS je předchůdcem materiálu ASA (akrylonitril-styren-akryl), který má oproti ABS vylepšenou odolnost proti UV záření a nižší tendenci k deformaci. [67] [57]

Mezi nevýhody ABS materiálu patří jeho silná deformace (kroucení) při změně teploty. Během tisku se uvolňuje nepříjemný zápach a toxické výpary, proto je nezbytné tisknout v prostoru s dostatečným větráním. ABS není ideální pro trvalé venkovní použití, jelikož UV záření a povětrnostní vlivy materiál degradují a zhoršují jeho vlastnosti (zežloutnutí a zkrěhnutí). Důležitou součástí u tisku z ABS je vyhřívaná podložka a uzavřený box, ve kterém se tisk provádí. [67] [57]



Obrázek 32 Vyhodnocení vlastností ABS materiálu pomocí paprskového grafu [64]

4.2.2 Materiály pro SLA technologii

Resiny, používané jako materiály u technologií SLA či DLP, představují základní materiál, který lze dále upravovat přidáním barev a přísad. Typické dopady aditiv zahrnují zvýšení tvrdosti nebo houževnatosti tištěného objektu. Vytvrzují se působením UV záření, včetně slunečního světla. [68]

Resiny se obvykle skládají ze tří základních složek – jádra resinu, fotoiniciátorů a aditiv. Jádro resinu tvoří monomery a oligomery, které se po vystavení UV záření polymerizují a vytváří pevný materiál. Fotoiniciátory jsou molekuly, které reagují na

UV světlo a iniciují proces polymerizace. Aditiva jsou přísady, které mění vlastnosti resinu, jako je jeho barva, tvrdost, flexibilita, odolnost a další. [68]

Při práci s resiny je nezbytné dbát na bezpečnost a dodržovat bezpečnostní pokyny. Vždy je nutné používat ochranné rukavice a brýle, aby se zabránilo přímému kontaktu resinu s kůží a očima. Při tisku s resiny se uvolňují také výpary, které mohou být dráždivé pro dýchací cesty. Proto je důležité tisknout v dobře větrané místnosti. [69]

Rozdělení resinů:

- Hard – Velmi tvrdý výtisk bez deformací i při velkém zatížení.
- Flex – Ohebné a stlačitelné výtisky, které se po deformaci vrátí do původního tvaru.
- Firm – Výtisky s vysokou pevností v tahu.
- Odlévatelný – Pro přípravu velmi kvalitních odlévacích forem. [69]



Obrázek 33 Resin Anycubic UV [70]

II PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle diplomové práce byly stanoveny následovně:

- Navrhnout technické řešení robotické sněhové frézy.
- Vytvořit 3D model přední části prototypu v softwaru Autodesk Inventor Professional 2024.
- Vytvořit 3D model těla sněhové frézy v softwaru Autodesk Inventor Professional 2024.
- Zvolit vhodné kombinace materiálů a výrobních technologií pro jednotlivé komponenty frézy.
- Vybrat komponent pro pevnostní analýzu v softwaru Autodesk Inventor Professional 2024.
- Stanovit zatížení, kterým bude zvolený díl namáhán.
- Provést pevnostní analýzu vybraného komponentu v modulu Pevnostní analýzy softwaru Autodesk Inventor Professional 2024.
- Vyhodnotit výsledky pevnostní analýzy.
- Vytvořit výrobní plán pro prototyp robotické sněhové frézy.
- Vytvořit kalkulaci celkových nákladů na výrobu prototypu.
- Analyzovat potenciální výrobní rizika a navrhnout opatření k jejich minimalizaci.
- Diskutovat výsledky práce.

6 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ ROBOTICKÉ SNĚHOVÉ FRÉZY

Cílem technického návrhu je vytvořit zařízení, které bude schopno efektivně odstraňovat sníh z různých povrchů, přičemž konstrukce musí odolat vyššímu namáhání a také nepříznivým podmínkám v zimním provozu. Technické řešení bude kombinovat aditivní výrobu, tedy 3D tisk pro plastové komponenty, s kovovýrobou pro více namáhané části frézy. Důležitou vlastností frézy bude její schopnost pracovat na různých typech povrchů, ať už jde o asfalt, beton, trávník či štěrk. Zároveň je kladen důraz na odolnost konstrukce vůči nízkým teplotám a mechanickému opotřebení, aby zařízení zvládalo jak čerstvý, lehký sníh, tak i sníh mokrá a těžší. Odlišnost oproti klasické ruční sněhové fréze spočívá v integraci dálkového ovládání, které umožní bezdrátové řízení frézy na větší vzdálenost prostřednictvím komunikace mezi vysílačem a přijímačem.

Tato kapitola se bude věnovat technickým požadavkům navrhovaného zařízení, popisu klíčových konstrukčních řešení, které jsou nezbytné pro realizaci výroby, dále pak samostatnou konstrukcí sněhové frézy a její výslednou vizualizací prototypu.

6.1 Účel sněhové frézy a výrobní požadavky

Účel sněhové frézy

- Hlavní funkce:
 - Odklizení sněhu z chodníků, příjezdových cest nebo veřejných ploch.
 - Drcení těžkého a zledovatělého sněhu pro snadnější manipulaci.
 - Odhoz sněhu na předem definované místo (např. do různých směrů).
- Specifika robotického provozu:
 - Provoz s minimální potřebou lidského zásahu (dálkové ovládání).

Cílové prostředí a podmínky provozu

- Provozní podmínky:
 - Nízké teploty (např. -20 °C až 5 °C).
 - Různé povrchy (asfalt, beton, tráva, štěrk).
- Typ sněhu:
 - Čerstvý a lehký sníh.

- Těžký a mokrý sníh.
- Zledovatělý sníh.

Technické požadavky

- Výkon:
 - Minimální výkon motoru potřebný k odklizení určitého množství sněhu za hodinu
- Rozměry a hmotnost:
 - Pásový podvozek a nižší konstrukční výška ke zvýšení stability.
 - Hmotnost zařízení vhodná pro snadnou manipulaci.
 - Šířka záběru (zvoleno 300 mm).
 - Maximální výška sněhu (zvoleno 150 mm).
- Kapacita:
 - Napájení lithium-iontový akumulátorem

Jedním z klíčových aspektů robotické frézy bude její mobilita a flexibilita, které budou zajištěny použitím pásového podvozku. Tato konstrukce umožní fréze pohyb na různých površích, aniž by došlo ke ztrátě stability nebo účinnosti.

Pohon frézy bude realizován pomocí elektromotorů z důvodu své účinnosti, nízké hlučnosti a šetrnosti k životnímu prostředí. Celkově se bude jednat o tři motory – elektromotor, jenž bude pohánět lopatkový mechanismus, a dva elektromotory pro zajištění pohonu pásového podvozku.

Napájení celého zařízení bude zajišťovat lithium-iontový akumulátor s takovou kapacitou, aby umožnil provoz frézy po dobu až dvou hodin na jedno nabití.

Výrobní požadavky

- Ekonomické požadavky:
 - Minimalizace nákladů na materiály a výrobu.
 - Modularita komponentů pro snadnou montáž a výměnu.

- Technologické požadavky:
 - Využití moderní aditivní technologie 3D tisku.
 - Obrábění klíčových částí, jako jsou hřídele a sběrné části šneku, pro zajištění odolnosti.
 - Použití dostupných materiálů, které splňují mechanické požadavky.

Plastové díly budou tvořit většinu konstrukce. Z důvodu kusové výroby budou tyto díly vyráběny na 3D tiskárnách, jelikož náklady na vstřikovací formy by byly příliš vysoké. Pokud by se jednalo o sériovou výrobu, doporučovala by se technologie vstřikování. Volba plastových dílů přinese několik výhod, konkrétně snížení hmotnosti zařízení, rychlou výrobu a snadnou úpravu návrhu během vývoje.

Použitý materiál bude zejména PETG, známý svou odolností vůči mechanickému namáhání i nízkým teplotám. Komponenty vystavené vysokým mechanickým zátěžím, jako jsou sběrné části šneku a hřídel, budou vyrobeny z kovu.

Bezpečnostní požadavky

- Ochrana obsluhy:
 - Kryty pohyblivých částí.
 - Nouzové vypnutí zařízení.
- Spolehlivost:
 - Ochrana před přetížením motoru.
 - Odolnost vůči nárazům a vibracím.

6.2 Konstrukce jednotlivých částí

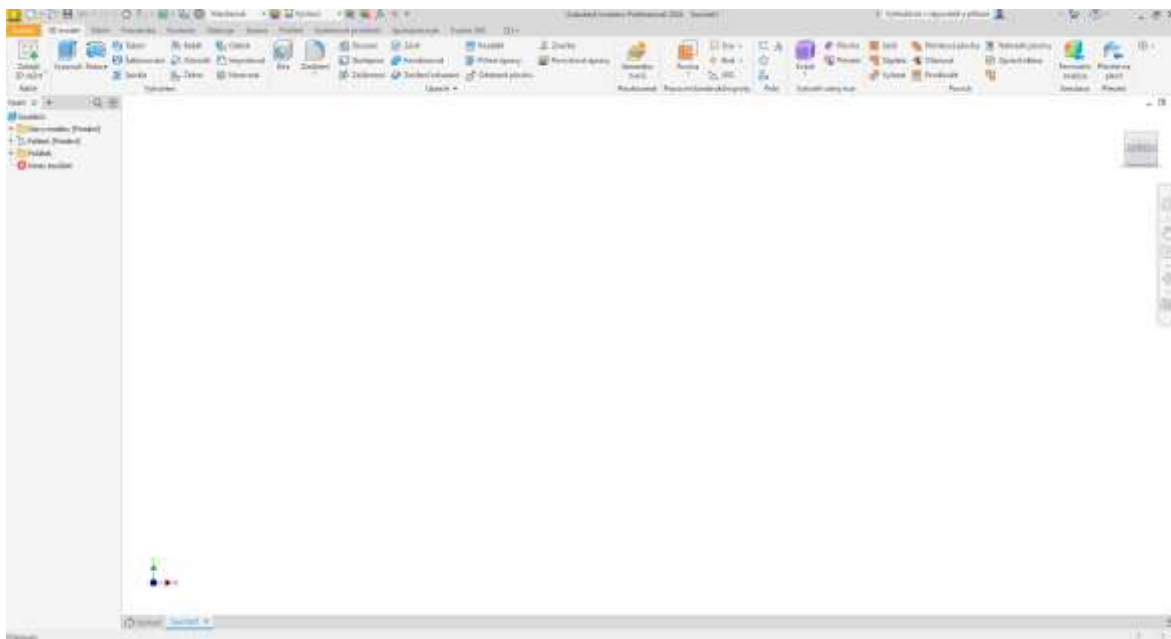
Tato kapitola se bude zaměřovat na detailní popis jednotlivých částí robotické sněhové frézy, jejich konstrukčního řešení a vzájemné integrace do funkčního celku. Cílem této části je přiblížit návrh klíčových mechanických dílů, jejich geometrii, materiálové provedení a funkční požadavky, které musí splňovat pro zajištění spolehlivého provozu zařízení.

Robotická sněhová fréza se bude skládat ze dvou hlavních konstrukčních celků – přední části, která slouží k odebírání a odhozu sněhu, a těla frézy, jenž tvoří nosnou strukturu zařízení a slouží k umístění akumulátorů, elektromotorů, řídicích prvků a pásového podvozku.

V následujících podkapitolách budou detailně popsány oba hlavní konstrukční celky, jejich funkční prvky, použité materiály a technologické aspekty výroby.

6.2.1 Software Autodesk Inventor Professional 2024

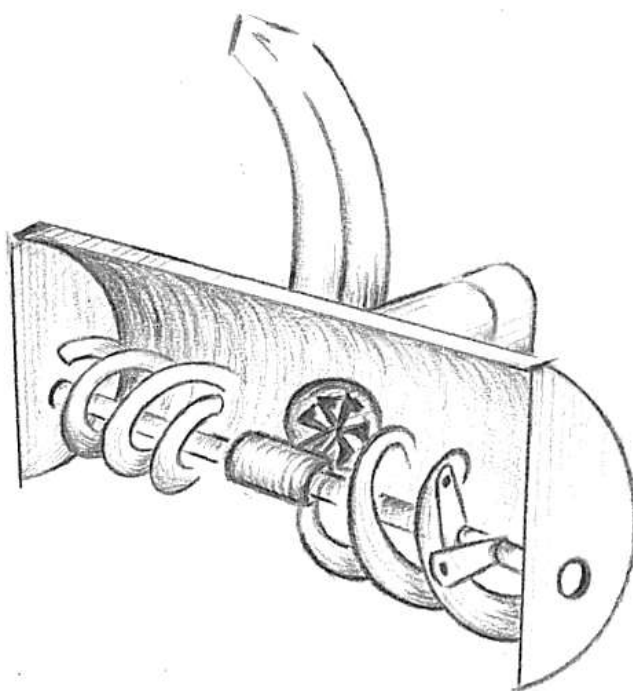
Pro účely této diplomové práce byl použit softwarový program Autodesk Inventor Professional 2024, který je určen pro profesionální 3D modelování strojních součástí a sestav. Tento pokročilý CAD nástroj sloužil k vytvoření detailních modelů jednotlivých komponent robotické sněhové frézy i k jejich konstrukčnímu uspořádání do funkčního celku. V prostředí softwaru byly navrženy a sestaveny všechny 3D modely, které jsou dále prezentovány v následujících kapitolách této práce.



Obrázek 34 Pracovní prostředí programu Autodesk Inventor Professional 2024

6.2.2 Přední část sněhové frézy

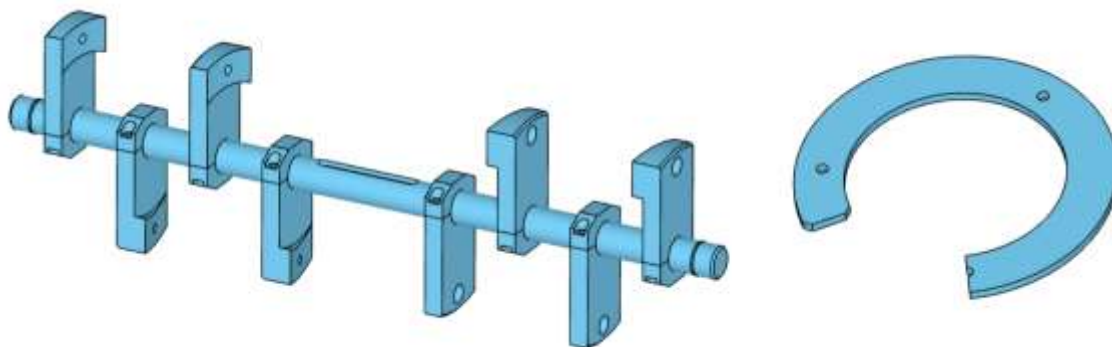
Na úvod kapitoly je znázorněn ručně načrtnutý návrh přední části sněhové frézy, který poskytuje hrubou představu o její konstrukci a jednotlivých částí. Tento koncept zahrnuje hlavní kryt, který slouží jako nosná a ochranná část celé frézy, podávací šnek, jehož úkolem je nabírat sníh a posouvat ho směrem k lopatce, která zajišťuje efektivní odhoz sněhu skrze vyhazovací komín.



Obrázek 35 Koncept přední části sněhové frézy

Podavací šnek

Tato sestava bude tvořena dlouhou nerezovou hřídelí (materiál 1.4301), na níž budou pevně uchyceny držáky z materiálu PETG pro montáž zahnutých sběrných částí šneku z plechu, které budou zajišťovat rozdrčení, nabírání a transport sněhu k lopatce umístěnou uvnitř tunelu zadní skříně základního krytu. Tyto sběrné části budou k držákům připevněny pomocí šroubových spojů, což umožní jejich případnou výměnu v případě opotřebení či poškození. Celá konstrukce bude dimenzována tak, aby odolávala mechanickému zatížení způsobenému těžkým a přemrzlým sněhem, přičemž plechové části zajistí optimální kompromis mezi pevností a hmotností.



Obrázek 36 3D model podavacího šneku

Hřídel podávacího šneku bude poháněna prostřednictvím šnekové převodovky. Jako nejvhodnější se nabízí šneková převodovka řady CLOD od společnosti Raveo, která se vyznačuje nízkou hmotností, odolností a spolehlivostí v náročných podmínkách. Je navržena přímo pro venkovním prostředí díky ochraně IP66, eloxovanému povrchu a nerezovými komponenty. Převodovka bude sloužit ke snížení otáček přenášených z elektromotoru na podávací šnek. [71]

Bude volena šneková převodovka **Raveo CLOD030010U-14**. Parametry vybrané šnekové převodovky jsou uvedeny v tabulce dole.

Tabulka 5 Parametry šnekové převodovky Raveo CLOD030010U-14 [71]

Typ převodovky	Šneková převodovka CLOD
Převodový poměr	10
Vstupní otáčky	3000 ot/min
Výstupní otáčky	300 ot/min
Jmenovitý kroutící moment	16 Nm
Průměr vstupní hřídele	11 mm
Průměr výstupní hřídele	14 mm
Hmotnost	1,1 kg



Obrázek 37 Šneková převodovka řady CLOD [71]

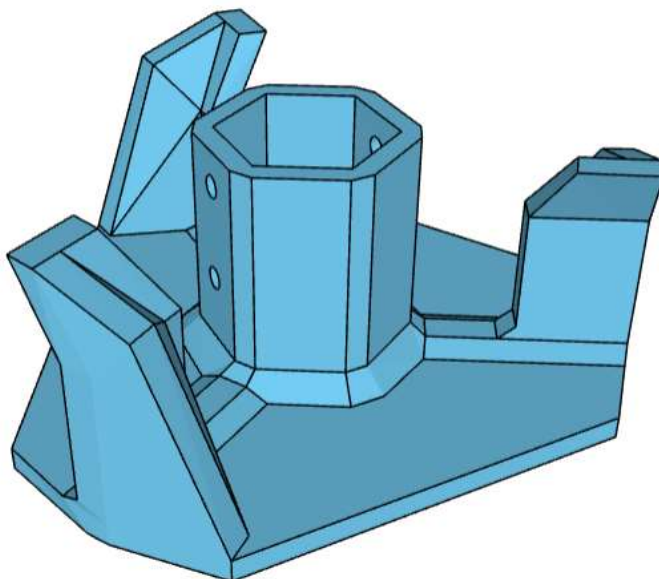
Lopatka

Lopatka sněhové frézy představuje rotační prvek, který zajišťuje odhoz nabraného sněhu skrz vyhazovací komín. Tento díl bude navržen tak, aby efektivně pracoval s nabraným sněhem, minimalizoval odpor při jeho dopravě a maximalizoval účinnost odhozu.

Tvar navržené lopatky bude optimalizován pro směřování sněhu do vyhazovacího komínu, přičemž její geometrie zahrnuje zesílené nosné prvky a šikmo orientované vodící plochy vůči těmto nosným prvkům, které zlepšují transport sněhu. Náboj lopatky je opatřen otvory pro montáž na hnací hřídel, což zajišťuje pevné a bezpečné uchycení.

Tabulka 6 Materiál lopatky a její výrobní proces

Kategorie	Možnost	Důvod výběru
Zvolený materiál	PETG	Vysoká houževnatost, odolnost vůči vlhkosti a nízkým teplotám.
Výrobní proces	3D tisk	Možnost optimalizace geometrie, rychlá výroba, nízké náklady.



Obrázek 38 3D model lopatky

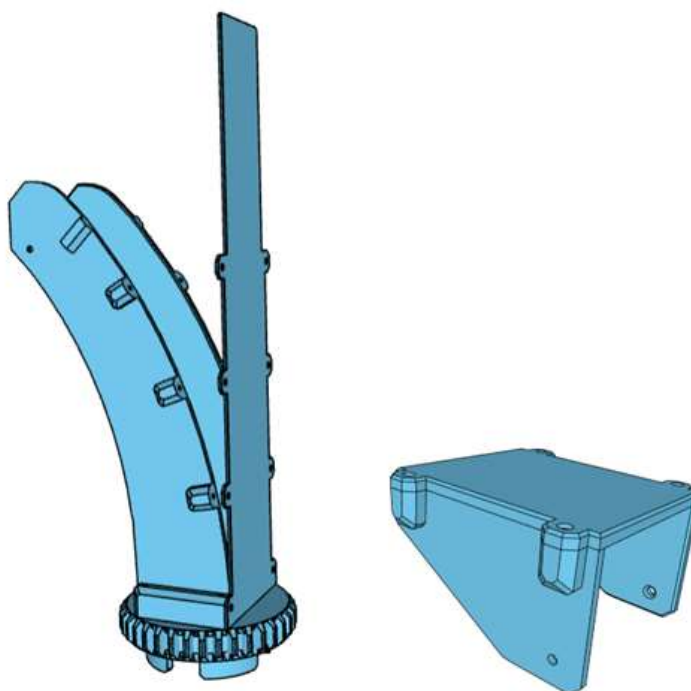
Vyhazovací komín

Tato část sněhové frézy bude konstruována z několika segmentů z důvodu snadné výroby metodou 3D tisku a zároveň kvůli usnadnění montáže. Tento způsob konstrukce minimalizuje potřebu podpěr při tisku a umožňuje optimální orientaci jednotlivých částí pro dosažení maximální pevnosti.

Hlavní tělo komínu má zakřivený tvar pro efektivní usměrnění proudu sněhu, zatímco polohovatelná horní krytka umožňuje regulaci trajektorie výhozu. Komín je upevněn na otočném ozubeném kole, který umožňuje jeho natáčení podle potřeby. Otáčení bude zajištěno servomotorem, který přes ozubený převod umožní přesné a plynulé nastavení směru odhozu sněhu.

Tabulka 7 Materiál vyhazovacího komínu a jeho výrobní proces

Kategorie	Možnost	Důvod výběru
Zvolený materiál	PETG	Vysoká houževnatost, odolnost vůči vlhkosti a nízkým teplotám.
Výrobní proces	3D tisk	Výroba jednotlivých segmentů efektivně, s minimálním odpadem a s možností snadné úpravy konstrukce.



Obrázek 39 3D model vyhazovacího komínu

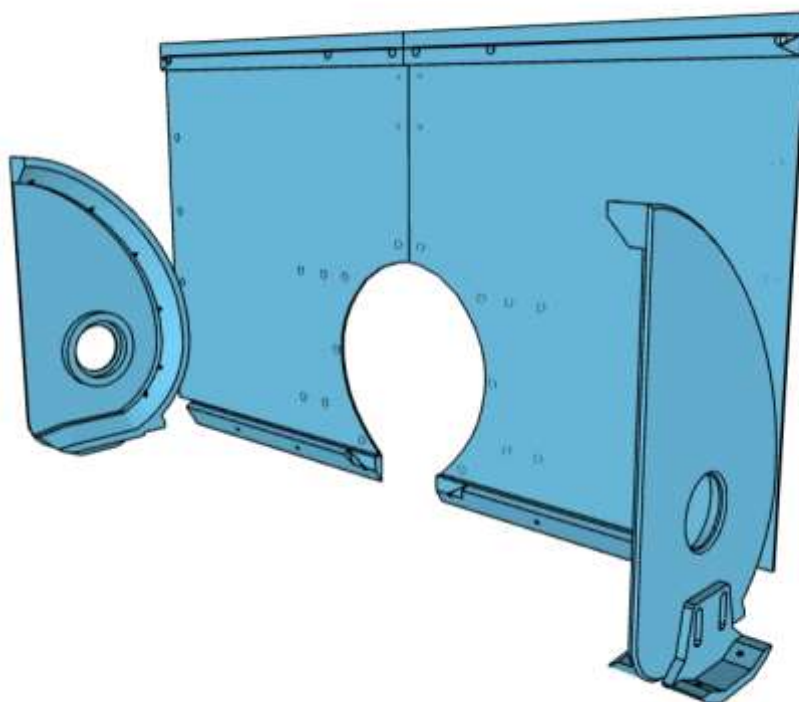
Základní kryt

Základní kryt tvoří ochrannou a nosnou část celé přední části sněhové frézy. Skládá se z několika dílů, které jsou navrženy tak, aby byl optimalizován pro výrobu metodou 3D tisku z materiálu PETG. Tento materiál byl zvolen z důvodu jeho mechanické odolnosti, houževnatosti a schopnosti odolávat nízkým teplotám, přičemž použití 3D tisku přispívá ke snížení celkové hmotnosti krytu. Rozdělení konstrukce do více částí navíc umožňuje snadnější tisk bez nutnosti nadměrných podpěr, což zefektivňuje výrobu a usnadňuje montáž jednotlivých dílů.

Boční panely obsahují otvory pro usazení ložisek pro hnací hřídel podávacího šneku. Horní část krytu je rozdělena do dvou částí a je vybavena výztuhami pro zajištění odolnosti proti mechanickému namáhání při provozu. Spojením těchto částí je vytvořen kruhový otvor, který značí začátek tunelu pro lopatku. Konstrukce krytu zároveň slouží k ochraně rotujících částí před vnějšími vlivy, jako je sníh a nečistoty, čímž se zvyšuje životnost celé frézy.

Tabulka 8 Materiál základního krytu a jeho výrobní proces

Kategorie	Možnost	Důvod výběru
Zvolený materiál	PETG	Vysoká houževnatost, odolnost vůči vlhkosti a nízkým teplotám.
Výrobní proces	3D tisk	Snížení hmotnosti krytu, výroba jednotlivých segmentů efektivně, s minimálním odpadem a s možností snadné úpravy konstrukce.



Obrázek 40 3D model základního krytu

Stavitelná ližina umístěná v dolní části bočního základního krytu slouží k regulaci výšky záběru sněhové frézy a zajišťuje optimální kontakt se sněhovou vrstvou. Je navržena tak, aby odolávala nepřetržitému kontaktu s různými typy povrchů, čímž chrání frézu před nadměrným opotřebením a zajišťuje plynulý pohyb zařízení.

Ližina bude vyrobena z materiálu PETG, přičemž její spodní část, vystavená největšímu opotřebením, bude z nerezové oceli s označením 1.4301 pro vyšší odolnost a delší životnost.

Motor přední části sněhové frézy

Hlavním pohonným prvkem sněhové frézy, který zajistí otáčení lopatky a podávacího šneku, byl zvolen stejnosměrný elektromotor 550-12T 1/10 Surpass. Díky kompaktním rozměrům, nízké hmotnosti (265 g) a vysokým otáčkám (21 000 RPM) poskytuje dostatečný výkon pro efektivní odhoz sněhu přes vyhazovací komín.

Motor bude umístěn na zadní skříni základního krytu společně s vyhazovacím komínem. Přenos výkonu na hřídel lopatky zajistí řemenový převod.

Tabulka 9 Parametry stejnosměrného elektromotoru 550-12T 1/10 Surpass [72]

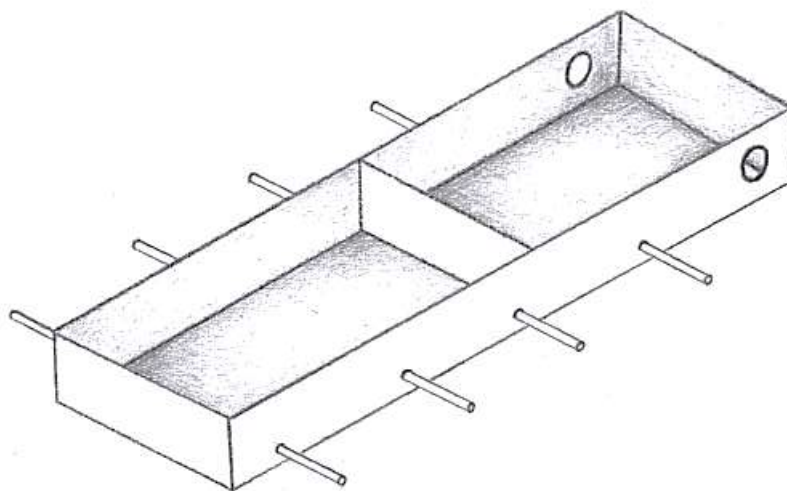
Parametr	Hodnota
Typ motoru	Stejnoseměrný (brushed)
Napětí	7,4 V – 12 V
Otáčky	21 000 RPM (při 7,4 V)
Počet závitů	12 T
Hmotnost	265 g
Průměr hřídele	3,175 mm
Doporučený ESC	60 A



Obrázek 41 Stejnoseměrný elektromotor 550-12T 1/10 Surpass [72]

6.2.3 Tělo sněhové frézy

Na úvod této kapitoly je znázorněn ručně načrtnutý koncept těla sněhové frézy (Obrázek 42), kde bude soustředěna veškerá pohonná a řídicí technika – motory a veškerá elektronika, čímž se tyto citlivé prvky ochrání před vlhkostí a sněhem. Z bočních stěn skříně bude vystupovat několik hřídelí, na něž se osadí kola pásového podvozku.

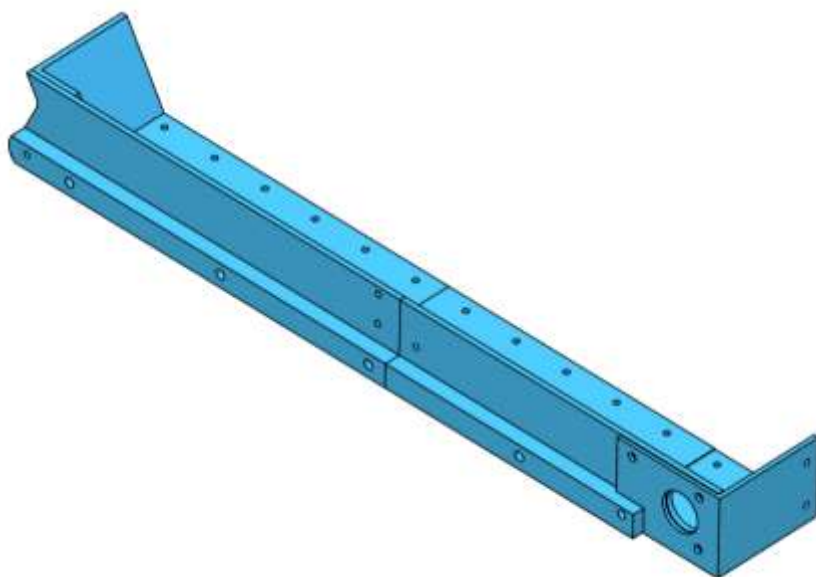


Obrázek 42 Koncept těla sněhové frézy

Rám těla

Rám těla sněhové frézy je tvořen dvěma identickými, zrcadlově otočenými polovinami – levou a pravou rámovou částí. Obě poloviny jsou konstruovány ze čtyř segmentů z důvodu optimalizace tiskového procesu a zajištění jednoduché montáže i případné výměny jednotlivých částí.

Jednotlivé díly každé poloviny rámu jsou spojeny pomocí průchozích otvorů a šroubových spojů. Důležitým konstrukčním prvkem jsou šrouby M5x60, které jsou vedeny skrze předem vytvořené průchozí otvory ve stěnách rámu. Tyto šrouby slouží nejen ke konstrukčnímu spojení vnitřních částí, ale budou následně využity i pro uchycení komponent pásového podvozku. Upevnění je realizováno pomocí samojistících matic, které zabráňují uvolnění vlivem vibrací a mechanického namáhání během provozu.

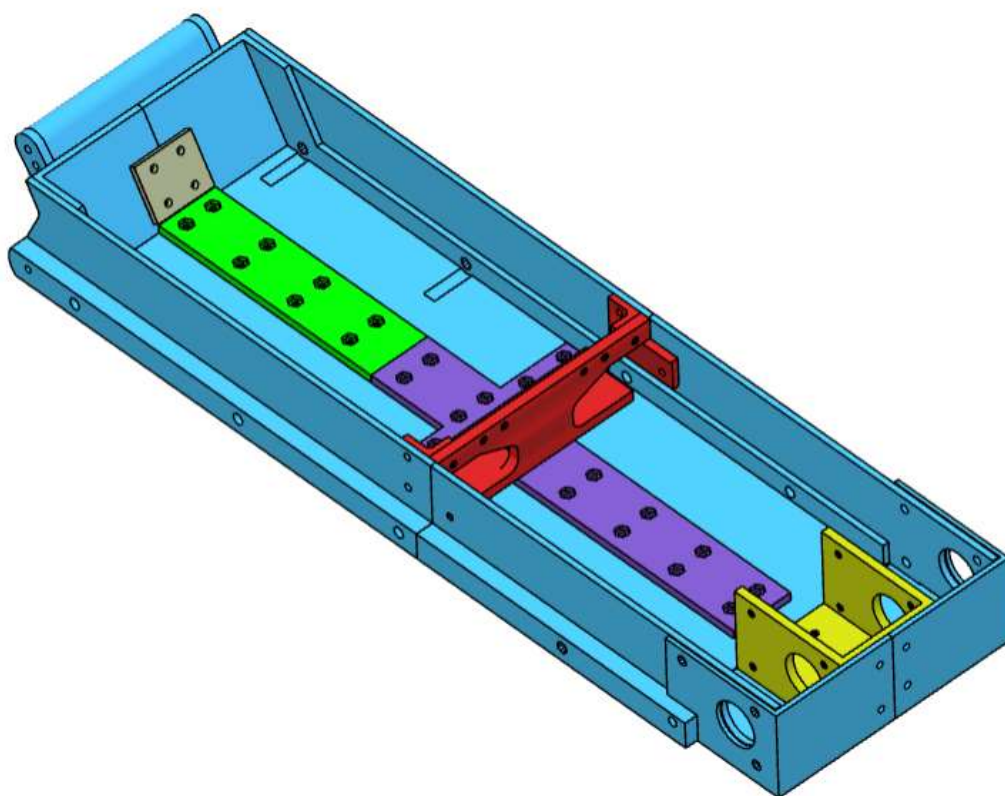


Obrázek 43 Levá část rámu těla sněhové frézy

Levá a pravá část rámu těla sněhové frézy byly navrženy jako zrcadlově identické a jsou spojeny pěti konstrukčními díly. Tyto prvky zajišťují pevnost, stabilitu a zároveň umožňují upevnění navazujících komponent. V přední části je použit spojovací segment, na Obrázek 44 znázorněn šedou barvou, který slouží jako konstrukční výztuha předních bočnic. Spodní část spojují profily ve tvaru T a I (zelená a fialová barva), jenž zároveň stabilizují základnu rámu.

Ve střední části je osazen vnitřní výztužný díl (červeně znázorněn), který rozděluje prostor a přispívá k celkové tuhosti. Zadní díl, vyznačen žlutou barvou, slouží zároveň jako držák dvou hlavních elektromotorů a zároveň propojuje zadní části obou bočnic.

Celý rám těla sněhové frézy bude vyroben metodou 3D tisku z materiálu PETG. Tento materiál bude zvolen s ohledem na odolnost vůči mechanickému namáhání a nízkým teplotám.

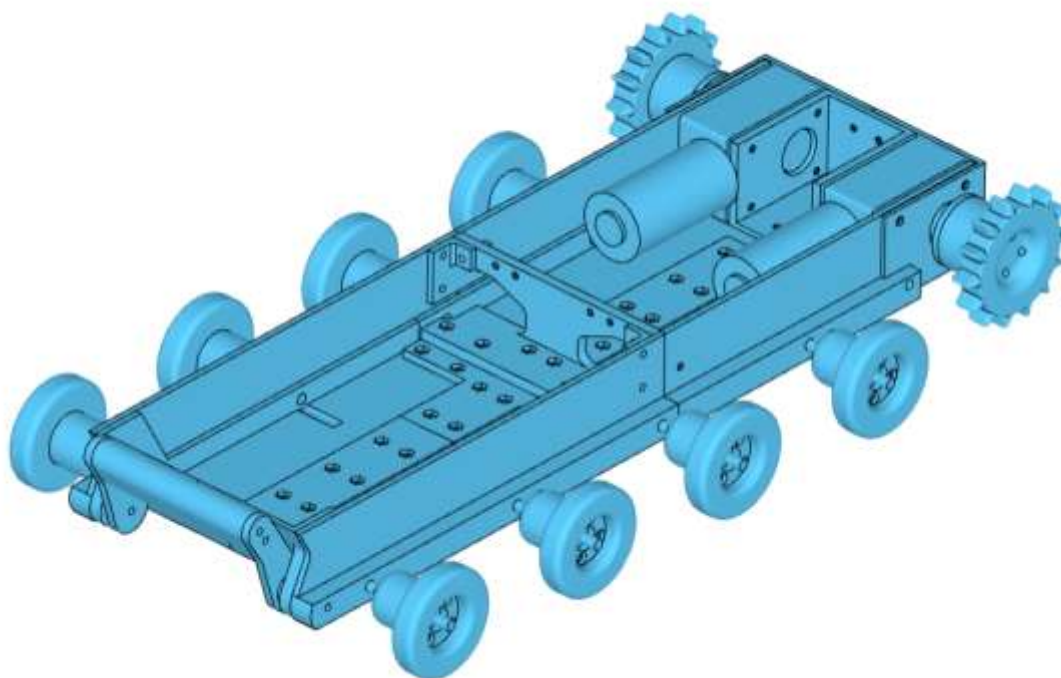


Obrázek 44 Spojení rámových polovin těla sněhové frézy

Kola pro pásový podvozek

Sestava kol pásového podvozku je navrhována jako kombinace hnacích a vodicích prvků, jejichž prostřednictvím je zajišťován přenos síly z motoru na pás a zároveň vedení pásu v požadované trajektorii. Pro realizaci pohonu jsou využívána hnací kola, která jsou tvořena dvěma hlavními komponenty – centrální částí kola a nábojem. Obě části jsou spojovány pomocí šroubového spoje, přičemž vnitřní část náboje je nasazována přímo na hřídel pohonu.

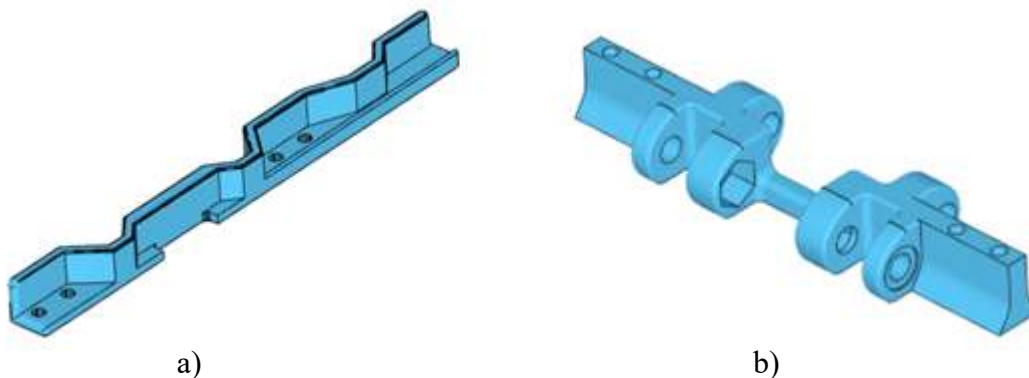
Vedení pásu je zajišťováno vodicími kladkami, které jsou nasazovány na osy tvořené šrouby a uloženy do konstrukce rámu. Pro zajištění plynulého otáčení a snížení tření jsou do kladek vkládána ložiska.



Obrázek 45 Tělo sněhové frézy

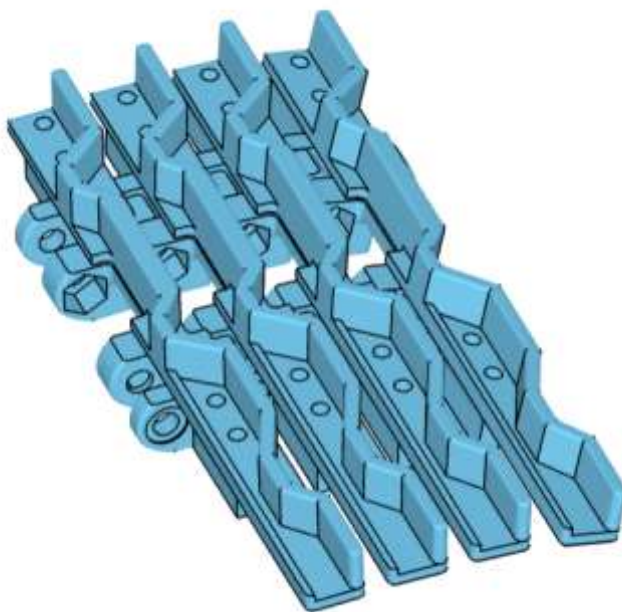
Pásový podvozek

Pásový podvozek je považován za klíčovou část mobilní platformy robotické sněhové frézy. Jeho konstrukce je založena na sestavě opakujících se článků, z nichž je vytvořen souvislý pás umožňující pohyb po kolech podvozku. Návrh vychází ze dvou základních komponent – nosného článku a zajišťovacího segmentu. Tyto články jsou vzájemně propojeny prostřednictvím otvorů a osazení a tím je vytvořen spoj, který umožňuje potřebnou flexibilitu při pohybu v terénu a současně poskytuje dostatečnou mechanickou pevnost celého pásového systému.



Obrázek 46 Nosný článek (a) a zajišťovací segment (b) pásového podvozku

Sestavení jednotlivých článků je realizováno postupným přišroubováním do podélného pásu. V každém spoji je použit šroub a matice, kterými je zajištěno pevné a přesné spojení. Výhodou tohoto konstrukčního řešení je jednoduchost montáže a možnost snadné výměny poškozeného článku. Geometrie jednotlivých dílů je navržena tak, aby byl zajištěn dobrý záběr na sněhovém nebo zledovatělém povrchu.



Obrázek 47 Část složeného pásového podvozku

Pohon pásového podvozku

Při návrhu těla robotické sněhové frézy bylo nezbytné zvolit vhodný typ pohonné jednotky, která bude sloužit k zajištění pohybu pásového podvozku. S ohledem na charakter provozu, požadavky na údržbu, konstrukční náročnost i ekologické aspekty byla provedena analýza dvou základních řešení – spalovacího motoru a elektromotoru. Obě varianty byly posouzeny z hlediska technického, provozního, ekologického i konstrukčního.

Tabulka 10 Porovnání klíčových parametrů spalovacího motoru a elektromotoru

Kritérium	Spalovací motor	Elektromotor
Hlučnost a vibrace	Vysoká hlučnost, znatelné vibrace	Tichý provoz, minimální vibrace
Řízení výkonu	Omezené, závislé na otáčkách motoru	Okamžitý a přesný nástup momentu, plynulá regulace
Údržba	Vysoká – nutnost výměny oleje, paliva, filtrů, svíček	Minimální – bez paliva, bez emisních systémů
Provozní náklady	Vysoké (palivo, servis, spotřební díly)	Nízké (dobíjení, bez nutnosti pravidelného servisu)
Spouštění v zimě	Může být problematické, nutný startér nebo předehřev	Spolehlivý start i při nízkých teplotách
Ekologie	Produkce emisí, hlučný provoz	Bez emisí, šetrný k životnímu prostředí
Integrace do konstrukce	Složitější – nutnost nádrže, chlazení, výfuku	Snadná – kompaktní rozměry, jednoduché uložení
Hmotnost a rozměry	Vyšší hmotnost, robustní konstrukce	Lehký, snadno přenositelný komponent
Dostupnost energie	Palivo běžně dostupné, dlouhý provoz bez nutnosti „dobítí“	Omezený provozní čas – závislý na kapacitě akumulátoru

Přestože spalovací motory umožňují delší dobu provozu bez nutnosti přerušení kvůli dobíjení, jejich použití by v konstrukci sněhové frézy znamenalo vyšší technickou a servisní náročnost. Prostorové požadavky na palivovou nádrž, výfukový systém, chlazení a přenos síly by výrazně zkomplikovaly konstrukční řešení těla frézy. Kromě toho by spalovací motor znamenal výrazně vyšší hlučnost, vibrace a emise, což je v kontextu robotického a automatizovaného zařízení nežádoucí.

Naopak elektromotor, přestože je závislý na kapacitě akumulátoru a má omezený dojezd, poskytuje zásadní výhody v oblasti jednoduchosti integrace, přesného řízení otáček, bezúdržbového provozu a šetrnosti k životnímu prostředí. Díky nízké hmotnosti, kompaktním rozměrům a tichému chodu představuje ideální řešení pro aplikaci, kde je žádoucí snadné řízení, flexibilní ovládání a provoz v obytném nebo klidovém prostředí.

Z těchto důvodů byla pro návrh robotické sněhové frézy zvolena dvojice stejnosměrných elektromotorů, které budou samostatně pohánět levý a pravý pás. Toto řešení umožní nejen plynulý pojezd, ale i diferenční řízení, včetně možnosti otáčení na místě. Napájení bude řešeno lithiovým akumulátorem, umístěným uvnitř těla frézy.

Pro pohon pásového podvozku robotické sněhové frézy byl zvolen stejnosměrný elektromotor s čelním šnekovým převodem typu **A58SW31ZY (Model 1280)**. Tento motor je napájen napětím 12 V, má integrovaný převodový poměr 50:1 a poskytuje vysoký točivý moment až 35 kg·cm ($\approx 3,43 \text{ N}\cdot\text{m}$), což z něj činí vhodné řešení pro jízdu ve sněhu a na kluzkých površích.



Obrázek 48 Stejnosměrný elektromotor typu A58SW31ZY [73]

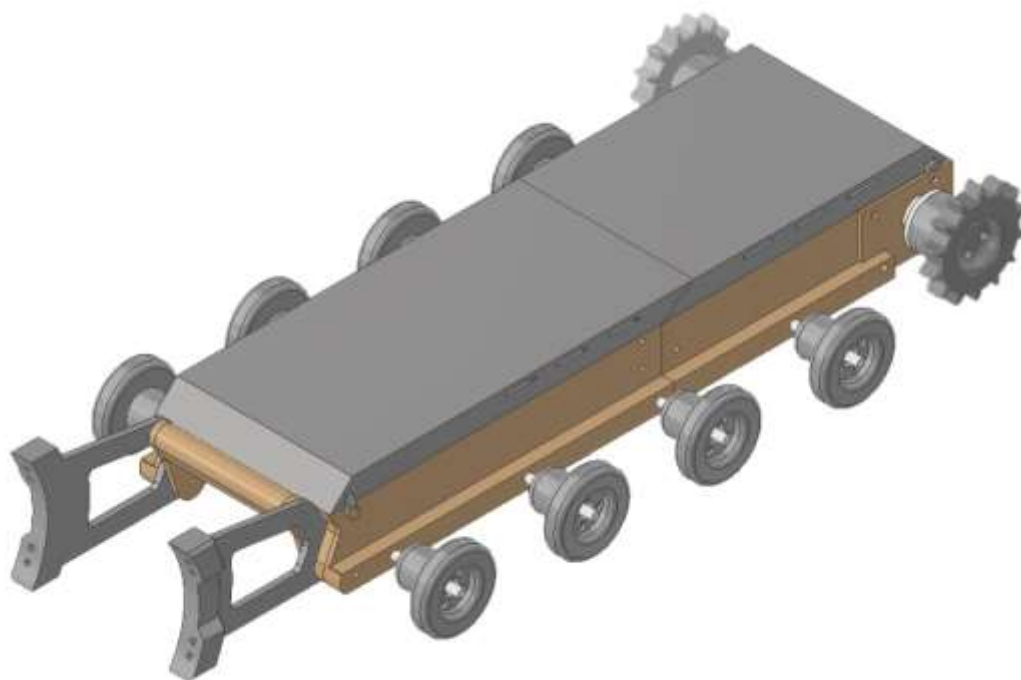
Díky samosvornému převodu se zařízení po zastavení neodvaluje, což zvyšuje stabilitu při provozu. Výhodou je i nízký proudový odběr při chodu naprázdno a kompaktní konstrukce motoru, která usnadňuje jeho integraci do těla frézy. Celkově motor splňuje požadavky na výkon, prostorovou úspornost a spolehlivost v zimních podmínkách. [73]

Tabulka 11 Parametry elektromotoru A58SW31ZY [73]

Parametr	Hodnota
Typ motoru	Stejnoseměrný motor se šnekovou převodovkou (brushed)
Napětí	12 V DC
Otáčky	160 ot/min
Hmotnost	350–400 g
Průměr hřídele	8 mm (plochá hřídel typu D-shaft)
Doporučený ESC	DC regulátor s proudovou rezervou min. 5 A
Převodový poměr	50:1

Vizualizace těla prototypu robotické sněhové frézy

Následující obrázek znázorňuje vizualizaci sestavy těla prototypu robotické sněhové frézy vytvořenou v softwaru Autodesk Inventor Professional 2024. Tato vizualizace slouží k lepšímu pochopení jednotlivých komponent a celkového designu zařízení. Je vhodné poznamenat, že vizualizace přední části sněhové frézy není v této práci plně prezentována. Důvodem je přítomnost dílů, které jsou po následné výrobě ohnuty do požadovaného tvaru (základní kryt, sběrné části šneku, vyhazovací komín). Takový ohyb nebylo v rámci tvoření sestavy v CAD softwaru možné nasimulovat, tudíž jsou tyto díly modelovány jako rovné plochy.



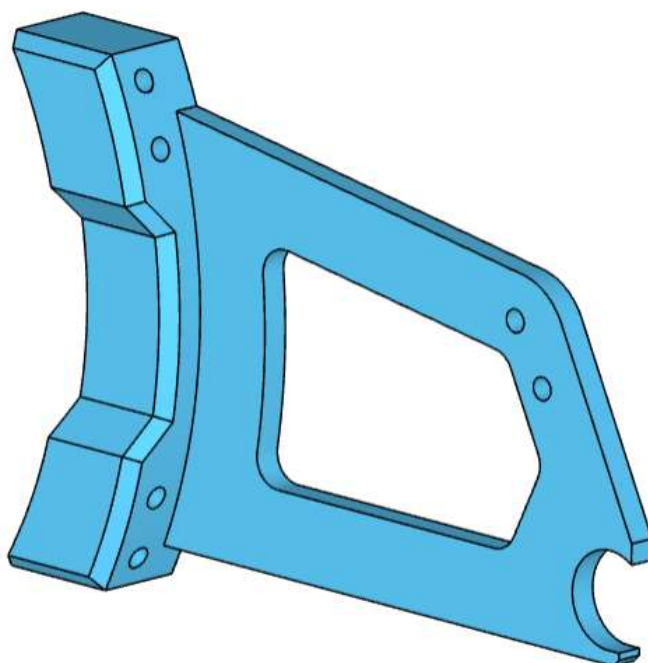
Obrázek 49 Vizualizace těla prototypu robotické sněhové frézy

7 PEVNOSTNÍ ANALÝZA VYBRANÉHO KOMPONENTU

V této kapitole je provedena pevnostní analýza vybraného komponentu s cílem ověřit, zda navržená geometrie a zvolený materiál bezpečně odolají zatížení, jež na díl bude působit při reálném provozu. Na základě simulace se vyhodnotí rozložení napětí, maximální deformace a bezpečnostní faktor, přičemž výsledky poslouží k případnému doporučení konstrukčních úprav a k celkovému zhodnocení spolehlivosti komponentu.

7.1 Výběr komponentů

Pro pevnostní analýzu byl zvolen držák přední části sněhové frézy, jehož konstrukční řešení je klíčové pro zajištění správné funkce celého zařízení. Tento držák je navržen k upevnění přední části sněhové frézy k hlavnímu rámu, a tím přenáší veškeré zatížení vznikající jak od vlastní hmotnosti sněhové frézy, tak i od dynamických účinků při provozu.

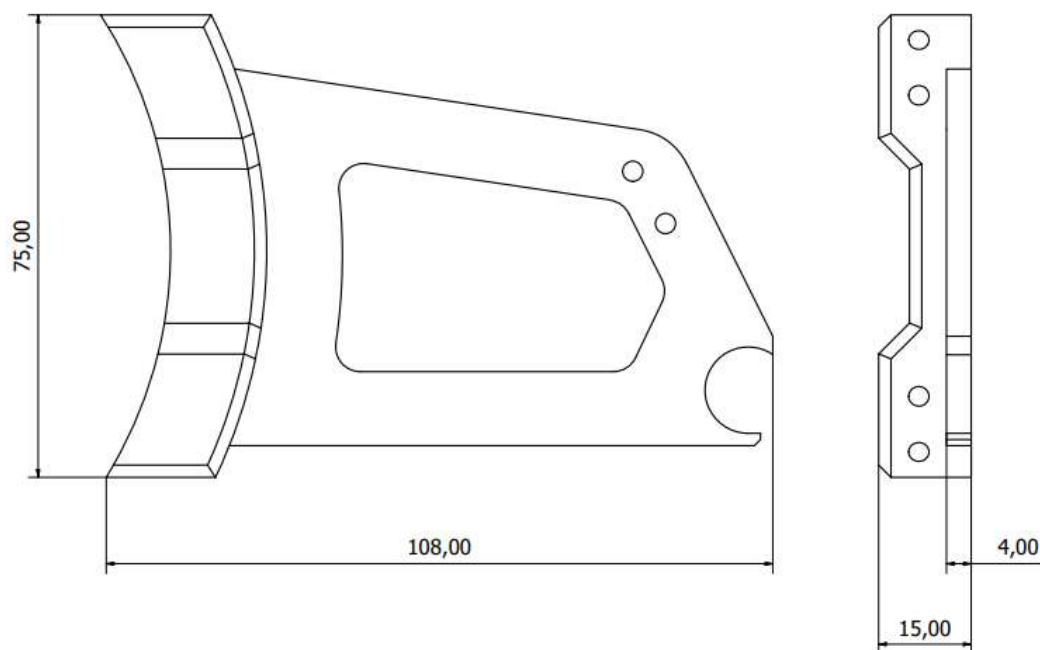


Obrázek 50 Držák přední části sněhové frézy

Výběr komponentu byl proveden na základě analýzy kritických bodů zatížení v konstrukci. Držák musí odolávat jak statickému zatížení od gravitačních sil, tak i namáhání způsobenému vibracemi a nerovnostmi terénu, na kterém se fréza pohybuje.

Pevnostní analýza se zaměří na:

- Stanovení maximálního napětí v kritických oblastech.
- Výpočet maximální deformace držáku pod zatížením.
- Určení bezpečnostního faktoru vůči mezní pevnosti materiálu.
- Vyhodnocení vhodnosti navržené geometrie pro předpokládané provozní podmínky.



Obrázek 51 Rozměrové parametry držáku

7.2 Výchozí materiál

Pro účely pevnostní analýzy držáku sněhové frézy byl zvolen materiál PETG (polyethylentereftalát-glykol). Materiál PETG se vyznačuje vynikající kombinací mechanických vlastností a teplotní odolnosti, což jej činí vhodným pro venkovní aplikace i při nízkých teplotách. Vzhledem ke své houževnatosti a dobré odolnosti proti nárazům je často používán pro konstrukci mechanicky namáhaných dílů vyrobených technologií 3D tisku. Mechanické vlastnosti byly převzaty ze zdroje technického listu výrobce filamentů PETG (Prusament PETG Technical Data Sheet) [74] a ze studie J. M. Mercado-Colmenero [75]

Tabulka 12 Materiálové charakteristiky PETG [74][75]

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Hustota	1,27	g/cm ³
Modul pružnosti v tahu (E)	1800	MPa
Mez pevnosti	42	MPa
Poissonova konstanta	0,35	-
Maximální pracovní teplota	74	°C
Tepelná vodivost	0,25	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Měrné teplo	1 200	J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
Součinitel tepelné roztažnosti	7,0·10 ⁻⁵	K ⁻¹
Mez kluzu	40	MPa
Modul pružnosti ve smyku	800	MPa

7.3 Výrobní technologie

Pro výrobu vybraného komponentu byla zvolena technologie aditivní výroby FDM (Fused Deposition Modeling). Díl byl připraven k tisku tak, aby byla zajištěna maximální pevnost a spolehlivost v provozních podmínkách.

Tisková orientace držáku byla nastavena v poloze naležato, tedy tak, aby hlavní zatěžované oblasti byly vytištěny v souvislých vrstvách vedle sebe, nikoliv vrstveny nad sebou. Tento přístup minimalizuje riziko delaminace mezi vrstvami a zvyšuje celkovou pevnost dílu při mechanickém namáhání.

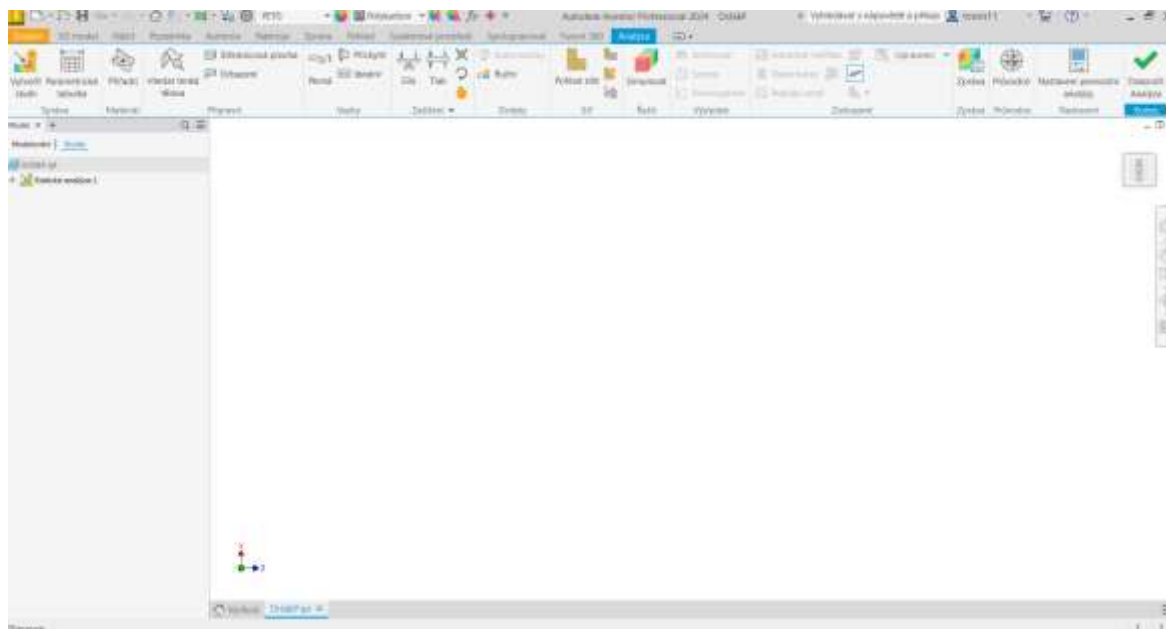
Infill (vnitřní výplň) byl nastaven na hodnotu 100 %, aby byl dosažen maximální objem pevného materiálu a eliminována možnost vnitřních dutin, které by mohly snižovat pevnost nebo způsobit koncentraci napětí. Výběr plného infillu byl proveden se zřetelem na zajištění potřebné tuhosti konstrukce a rovnoměrného přenosu zatížení v celém objemu dílu.

Po vytištění bude u dílu provedeno dodatečné převrtání otvorů. Všechny otvory určené pro šroubové spoje budou převrtány na přesné rozměry. Závity budou následně vytvořeny pomocí závitníků také zvlášť, nikoliv tisknuty přímo při výrobě. Tento postup zajistí vyšší přesnost, pevnost a spolehlivost závitových spojů při dlouhodobém zatížení.

7.4 Autodesk Inventor Professional 2024 – Režim Pevnostní analýza

Pro pevnostní analýzu držáku bude využit software Autodesk Inventor Professional 2024, který ve svém prostředí nabízí plně integrovaný modul Pevnostní analýza (Stress Analysis)

založený na výpočtovém programu Autodesk Nastran. V rámci jediné aplikace tak mohou být nativně vytvořené či importované 3D modely převáděny na sít' konečných prvků, definovány okrajové podmínky (vetknutí, kloubové uložení, tlak, síly, momenty) a přiřazeny uživatelské materiály s libovolnými mechanickými parametry.



Obrázek 52 Pracovní prostředí softwaru Autodesk Inventor Professional 2024

7.5 Stanovení zatížení působící na zvolený komponent

Zatížení držáku je odvozeno z hmotnosti celé přední části sněhové frézy, která na něj působí vlastní tíhou. Nejprve bude souhrnně zjištěna hmotnost všech dílů umístěných v přední části – od 3D tisknutých částí, převodovky, elektromotoru, ložisek, až po spojovací materiál. Tato hmotnost bude převedena na gravitační sílu podle vztahu a následně rovnoměrně rozdělena mezi oba symetrické držáky, jež přední část spojují s tělem frézy. Takto určená výsledná síla bude představovat vstupní zatížení pro naši pevnostní analýzu držáku.

Tabulka 13 Součet celkové hmotnosti přední části sněhové frézy

Položka	Hmotnost [kg]
3D tištěné díly (PETG)	1,65
Šneková převodovka	1,10
Elektromotor 550-12 T	0,27
Spojovací komponenty	0,30
Servomotor	0,05
Hřídel podávacího šneku	0,75
Sběrné části šneku (lopatky)	1,36
Spodní část ližin	0,06
2x ložisko 6202-14 - 2RS	0,10
Ložisko 6202 - 2RS	0,05
Celkem	5,69 kg

Celková hmotnost přední části sněhové frézy byla stanovena na 5,69 kg. Níže je uveden přepočítaný zatížení pro dva symetrické držáky.

$$F = m \cdot g = 5,69 \cdot 9,81 = 55,85 \text{ N} \quad (1)$$

Kde:

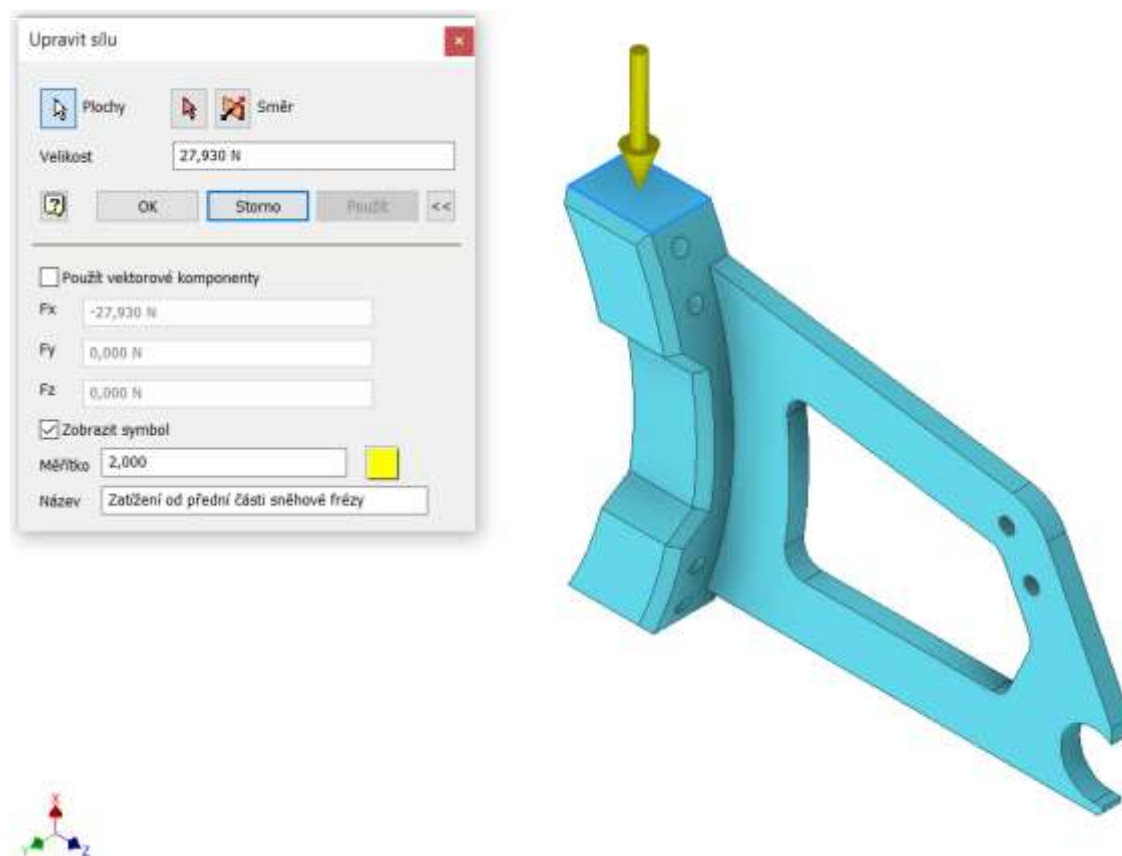
- F – Zatížení působící na dva držáky [N].
- m – Celková hmotnost přední části sněhové frézy [kg].
- g – Tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

Protože celková hmotnost je nesena dvěma symetrickými držáky, je nutné vypočtené zatížení vydělit dvěma, abychom získali zatížení působící na každý držák zvlášť.

$$F_{1D} = \frac{F}{2} = \frac{55,85}{2} = 27,93 \text{ N} \quad (2)$$

Kde:

- F_{1D} – Zatížení působící na jeden držák [N].
- F – Zatížení působící na dva držáky [N].



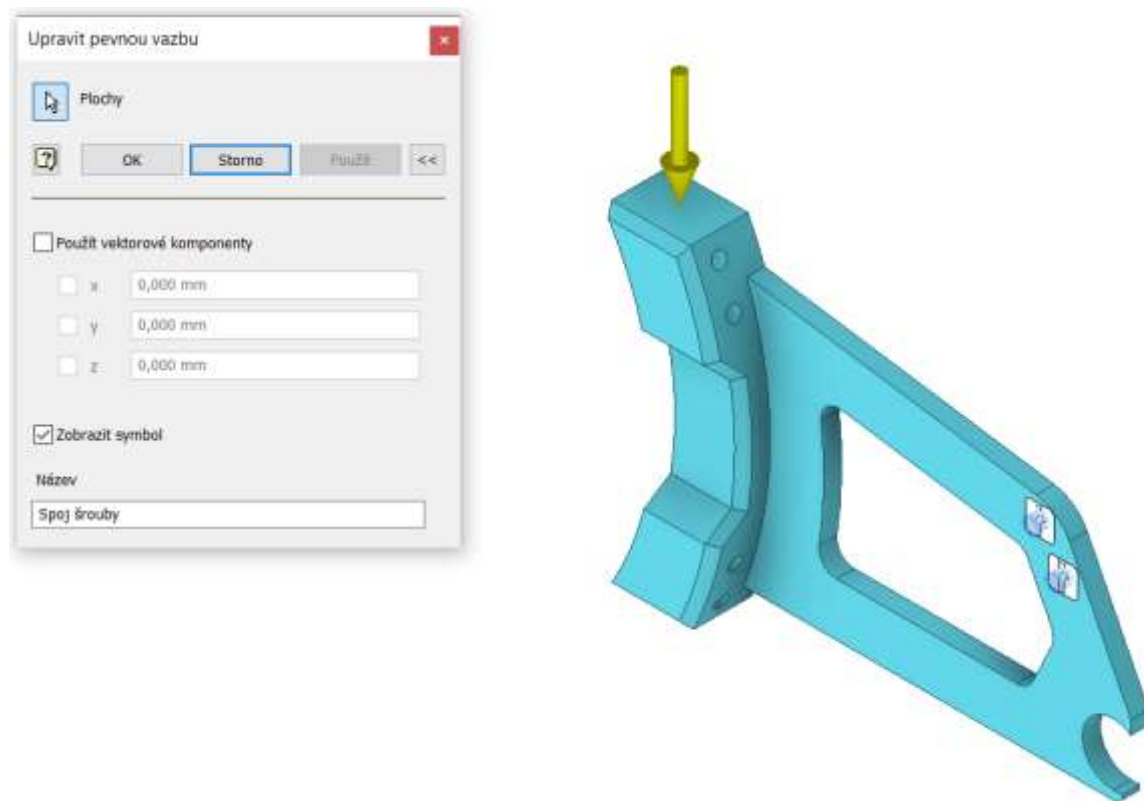
Obrázek 53 Znázornění zatížení na držák od přední části sněhové frézy

Na Obrázek 53 je znázorněno nastavení zatížení v prostředí modulu Pevnostní analýza softwaru Autodesk Inventor Professional 2024. Na horní plochu držáku byla umístěna soustředěná síla o velikosti 27,93 N, která představuje polovinu zatížení přední sestavy sněhové frézy rozložené rovnoměrně na oba symetrické držáky. Při umístění zatížení přímo na hranu této plochy vznikaly lokální koncentrace napětí a docházelo ke zkreslování výsledků, tudíž byla soustředěná síla aplikována na střed horní plochy. V rámci zavedeného souřadnicového systému je směr zatížení orientován podél osy X.

7.6 Okrajové podmínky na modelu držáku

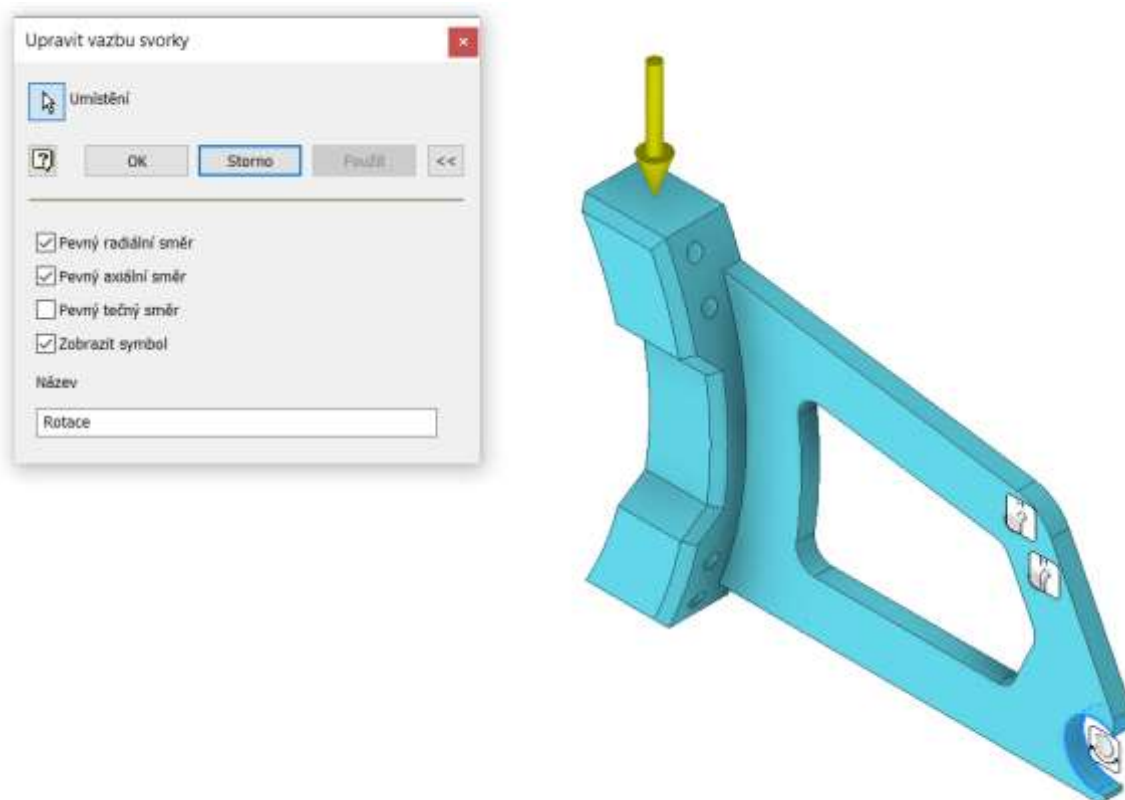
Pro správný chod výpočtového modelu je nutné v modulu Pevnostní analýzy vydefinovat správné uložení modelu, tak aby odpovídalo reálnému uchycení držáku k rámu těla sněhové frézy.

Vazba mezi držákem a tělem je v modelu určena pevným uložením (vetknutím) na vnitřních plochách obou otvorů pro šrouby M4. Je zvolena funkce Pevná vazba, která odebírá všechny stupně volnosti a simuluje tak spojení pomocí šroubu.



Obrázek 54 Vazba vetknutí

Čelní vybrání držáku dosedá v sestavě těla frézy na čep, který umožňuje pomocí servomotoru změnu polohy přední části sněhové frézy. Tento kontakt je v modelu pojmenován jako vazba Přichytit (Vazba svorky). Po výběru vnitřní válcové plochy výseče byly v dialogu zaškrtnuty volby „Pevný radiální směr“ a „Pevný axiální směr“. Volba „Pevný tečný směr“ zůstala nezaškrtnuta jakožto volná rotace.



Obrázek 55 Vazba rotace

7.7 Nastavení FEM simulace

Další důležitou věcí pro správný chod analýzy je vydefinování materiálu a tvorba sítě. Nejprve bude v modulu Pevnostní analýzy přiřazen materiálový model PETG a poté bude vygenerována síť, jejíž velikost a zhuštění zajistí dostatečnou přesnost výpočtu při rozumném výpočetním čase.

7.7.1 Definice materiálu pro analýzu

Nejprve byl do knihovny materiálů v softwaru Autodesk Inventor Professional 2024 vytvořen nový materiál s označením PETG. Pro správné vyhodnocení analýzy je v jeho editoru nejdůležitější záložka „Fyzikální“, kam byly zadány charakteristické hodnoty zvoleného materiálu z Tabulka 12.

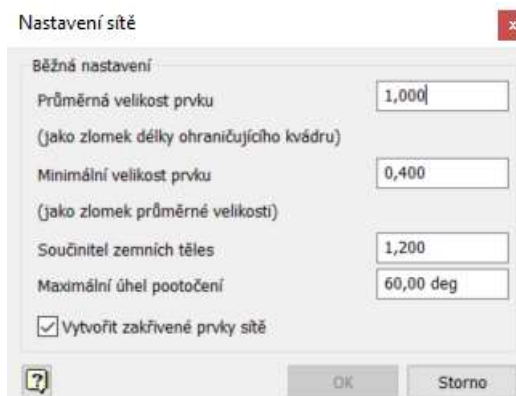
Obrázek 56 Definování materiálu PETG do modulu pevnostní analýzy

Chování materiálu PETG bylo nastaveno na izotropní. Tato idealizace byla zvolena z důvodu, že držák bude tištěn naležato a zatěžován v rovině vrstev. Podle studie J. M. Mercado-Colmenero [75] lze materiál PETG považovat za izotropní materiál pro účely numerických simulací, zejména pokud je tisknut ve směrech X nebo Y a aplikované zatížení je jednoosé. Experimentálně bylo ověřeno, že při tomto vrstvení se modul pružnosti i mez kluzu v osách X a Y liší o méně než 5 %, takže použití izotropního materiálového chování v analýze neovlivní její přesnost v rámci tolerance. [75]

Po uložení záznamu byl materiál přiřazen k dílu držáku a modul automaticky vypočetl další související parametry. Tímto krokem byly vytvořeny podmínky pro následné generování sítě a vyhodnocení výsledků.

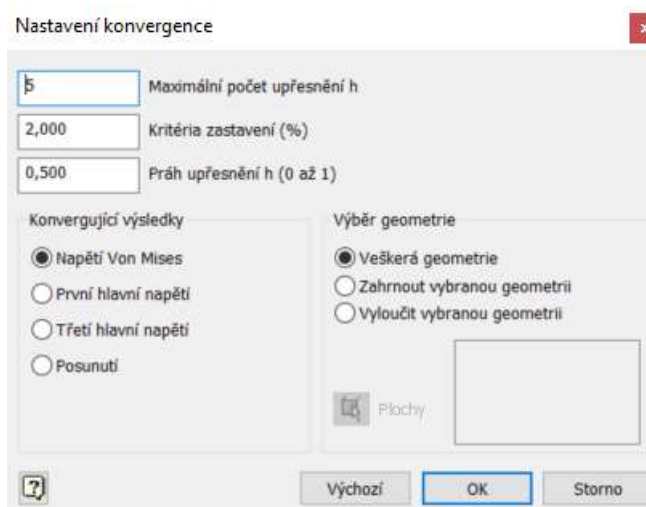
7.7.2 Tvorba sítě držáku

K vytvoření statické analýzy byla na model vygenerována globální tetraedrická síť s průměrnou hranou 1 mm, minimální velikostí 0,4 mm a koeficientem růstu 1,2. Síť byla vygenerována se zakřivenými prvky, čímž se omezila geometrická chyba na zakřivených plochách.



Obrázek 57 Nastavení sítě

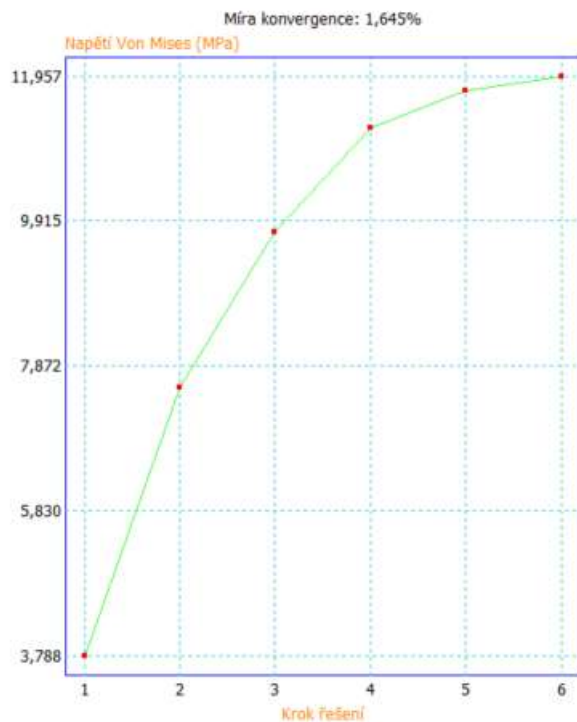
Pro ověření kvality sítě byla aktivována adaptivní konvergence. V dialogu Nastavení konvergence byl povolen maximálně pátý stupeň zjemnění, kritérium zastavení bylo nastaveno na 2 % a prahová hodnota na 0,5. Jako konvergující veličina bylo zvoleno napětí von Mises v celé geometrii. Po prvním výpočtu Inventor automaticky provedl pět iterací zjemnění v regionech s nejvyšším gradientem napětí a po každém kroku síť znovu spočítal.



Obrázek 58 Nastavení konvergence

Průběh konvergence znázorňuje graf na Obrázek 59. Hodnota maximálního napětí stoupla z 3,8 MPa na 11,96 MPa. Po šestém kroku byla dosažena míra konvergence 1,645 %, což splňuje nastavené kritérium zastavení. Síť v posledním kroku obsahuje 4532 prvků a 8300 uzlů. Vzhledem k dosažené stabilitě výsledků byla pro další hodnocení považována za dostatečně jemnou.

Vykreslování konvergence

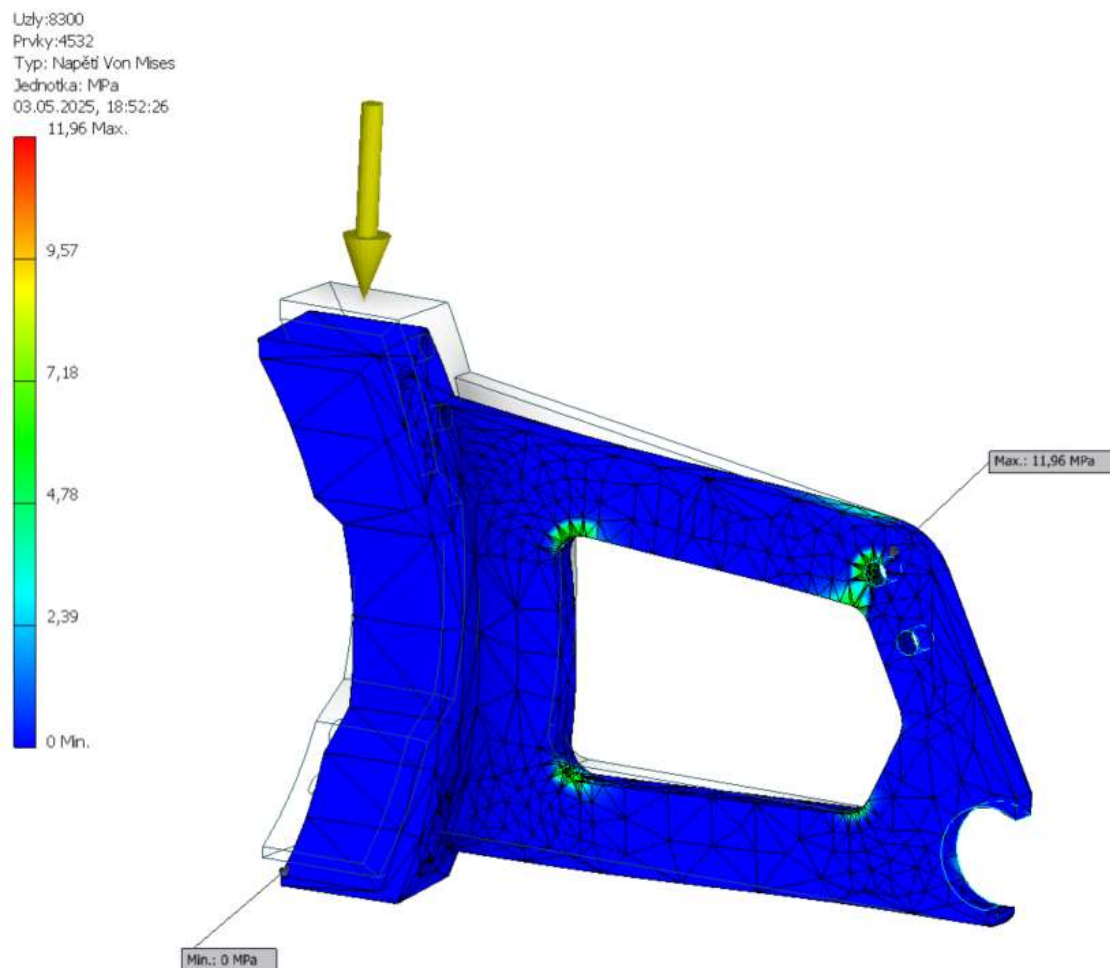


Obrázek 59 Průběh konvergence – závislost počtu kroků řešení na napětí Von Mises

7.8 Souhrn výsledků pevnostní analýzy

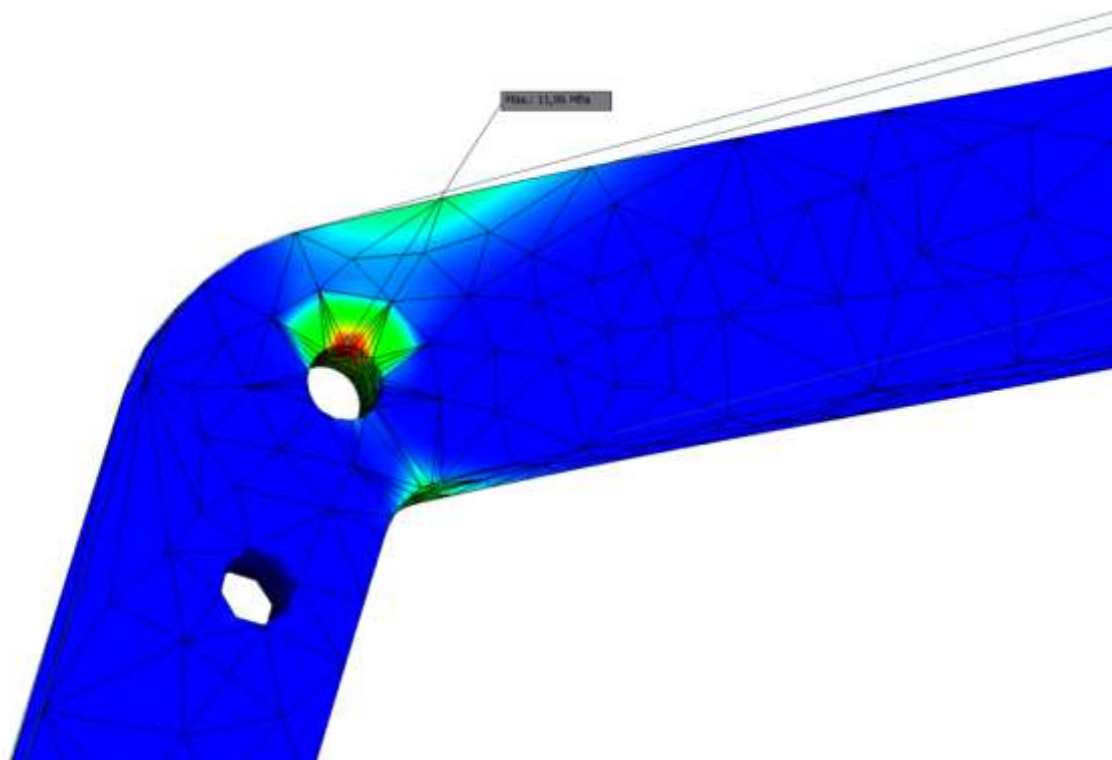
Tato kapitola předkládá přehled několika výstupů provedené pevnostní analýzy držáku. Z celého souboru simulací byly vybrány nejzajímavější výsledky, které nejlépe ilustrují chování dílu, a každý z nich je doplněn stručným komentářem hodnotícím jeho význam pro konstrukci i další vývoj prototypu.

7.8.1 Napětí Von Mises



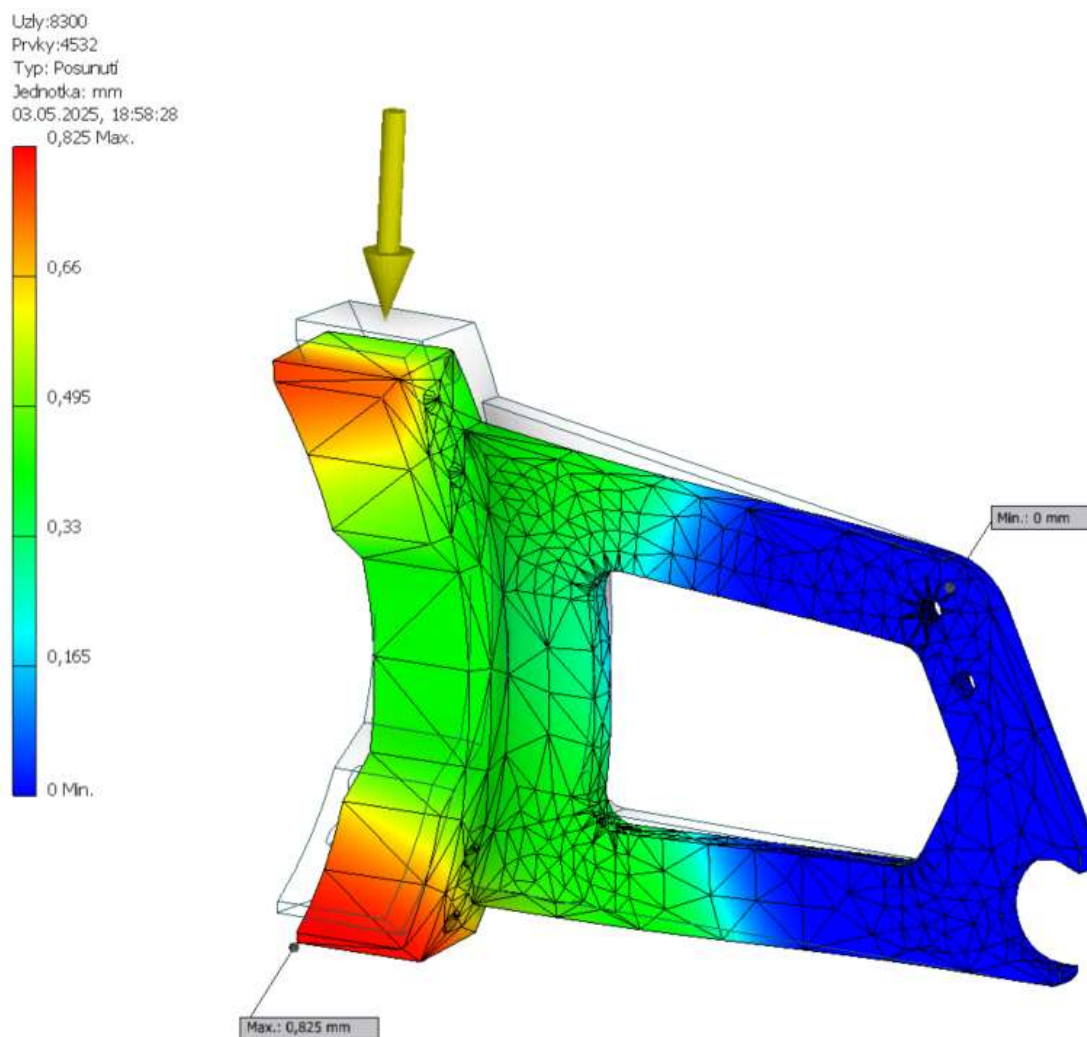
Obrázek 60 Výsledek pevnostní analýzy napětí Von Mises

Nejvyšší napětí Von Mises, naměřené na hodnotě 11,96 MPa, vzniká v bezprostředním okolí horního otvoru pro šroub, který v modelu značí vetknutí držáku do rámu těla frézy. V těchto místech dochází ke kombinaci ohybového momentu a lokálního svěrného zatížení šroubu, čímž se koncentruje napěťové pole na ostřejších přechodech mezi válcovou stěnou a čelní rovinou dílu. Zvýšené napětí se dále objevuje i v zaoblených rozích odlehčovacího okna, jenž slouží ke snížení hmotnosti a spotřeby materiálu. Zde se však hodnoty pohybují maximálně kolem 9 MPa.



Obrázek 61 Oblast maximálního napětí Von Mises

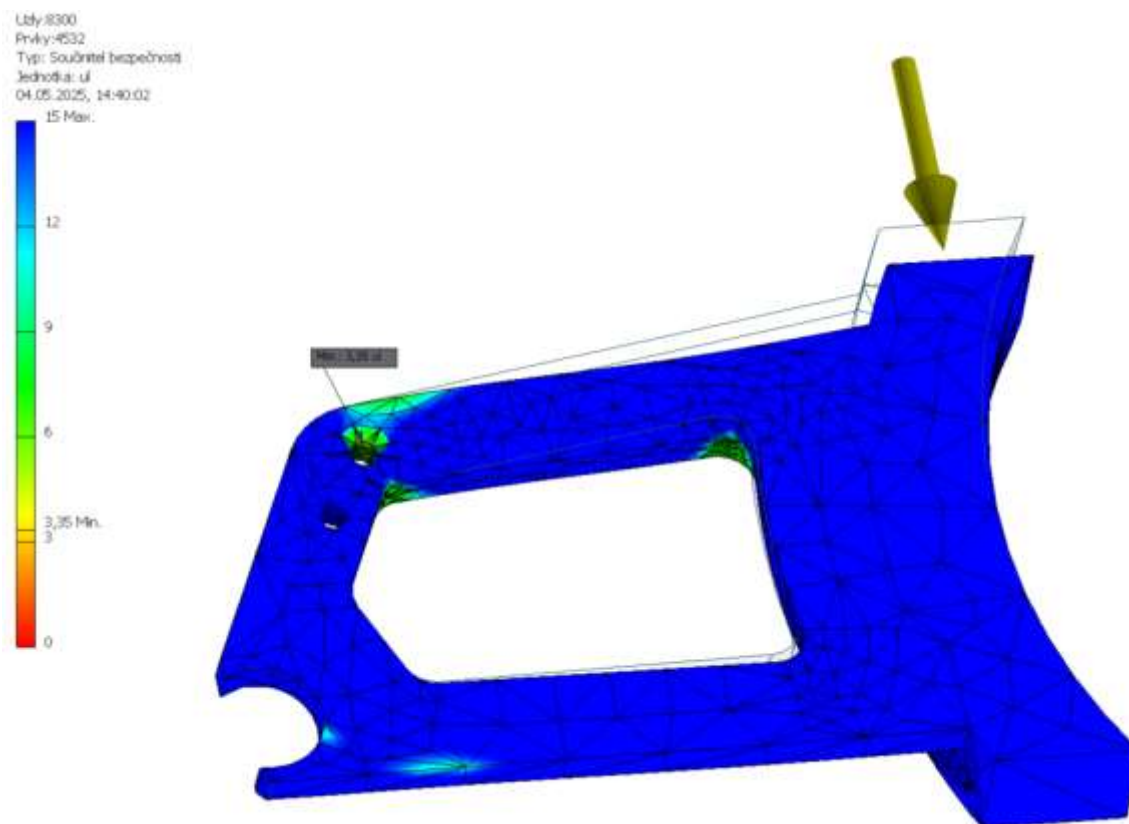
7.8.2 Posunutí



Obrázek 62 Pevnostní analýza posunutí

Analýza celkového posunutí ukazuje, že maximální průhyb 0,825 mm vzniká v horní a spodní patce levé části držáku – tedy v místech největší vzdálenosti od uložení. Deformace má charakter ohybu podél svislé osy vetknutí. Stěna držáku se v důsledku momentu od zatížení přední části sněhové frézy elasticky vyklání směrem dolů. Minimum posunutí (≈ 0 mm) se vyskytuje u pevné vazby u otvorů pro šrouby, což potvrzuje správnou fixaci modelu.

7.8.3 Součinitel bezpečnosti



Obrázek 63 Výsledek součinitele bezpečnosti na mez kluzu

Z výsledku analýzy součinitele bezpečnosti na mez kluzu vyplývá, že nejnižší hodnota činí $k = 3,35$ a vyskytuje se u vnitřní hrany otvoru pro horní šroub. V ostatních částech držáku se koeficient pohybuje mezi 6 a 15. Požadavek projektu ($k \geq 2,0$) je tedy s rezervou splněn i s ohledem na případné lokální oslabení (např. nehomogenita tisku nebo drobné poškození povrchu).

8 PLÁN VÝROBY ROBOTICKÉ SNĚHOVÉ FRÉZY

V této kapitole bude představen komplexní plán výroby prototypu robotické sněhové frézy, jenž propojuje aditivní technologii 3D tisku s konvenční výrobou kovových součástí a následnou montáží. Dále bude detailně rozebrána cenová kalkulace prototypu a analýza výrobních rizik. Cílem je prokázat technickou realizovatelnost a ekonomickou efektivitu navrženého výrobního procesu.

8.1 Přehled výrobních operací

Účelem této podkapitoly je stručně nastínit, jak budou jednotlivé výrobní kroky robotické sněhové frézy logicky navazovat a v jakém sledu bude probíhat přechod od digitálního modelu k hotovému prototypu. Výroba prototypu robotické sněhové frézy je rozdělena do čtyř hlavních procesních bloků, jejichž vzájemné časové i kapacitní vazby určují výsledný plán projektu. Tyto čtyři hlavní procesní bloky jsou:

- Aditivní výroba plastových dílů,
- výroba kovových součástí,
- nákup katalogových elektromechanických komponentů,
- finální montáž.

8.2 Aditivní výroba plastových dílů

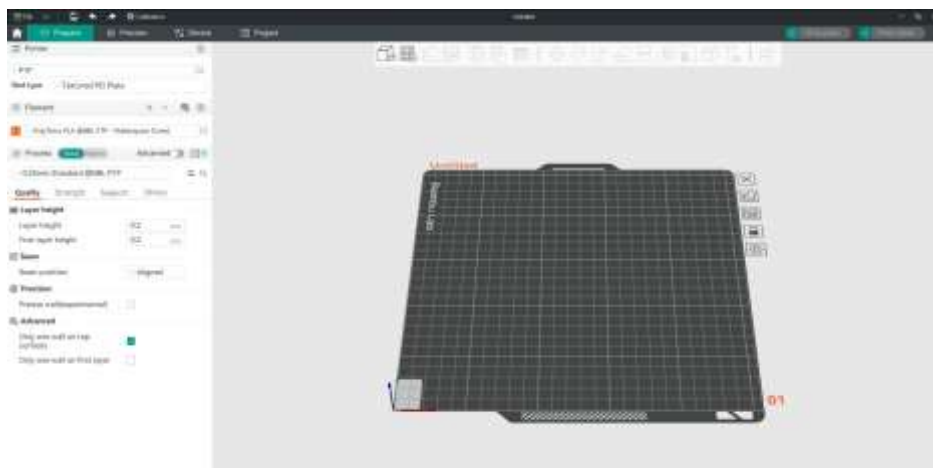
Aditivní výroba plastových dílů tvoří jádro výrobního procesu, protože téměř všechny konstrukční komponenty robotické sněhové frézy jsou navrženy k výrobě technologií Fused Deposition Modeling (FDM). Jedná se o technologii, kde objekt vzniká postupným nanášením roztaveného materiálu (filamentu) ve vrstvách.

Výroba bude probíhat na stolní tiskárně Bambu Lab P1S, která disponuje uzavřenou komorou, vyhřívanou PEI podložkou a automatickou kalibrací trysek. Pracovní rozměry 256 x 256 x 256 mm postačují pro všechny tištěné díly a stroj dosahuje přesnosti $\pm 0,15$ mm, tudíž po tisku postačí pouze lehké dokončovací operace, jako je případné odstranění podpěr nebo převrtání otvorů. Uzavřená komora tiskárny je výhodná zejména pro tisk materiálů náchylnějších k deformacím při změnách teploty, jako je ABS, i když primárním materiálem bude PETG. [74]



Obrázek 64 3D tiskárna Bambu Lab P1S [74]

Z CAD softwaru Autodesk Inventor Professional 2024 budou všechny modely exportovány ve formátu .stl a následně importovány do programu OrcaSlicer. Tento open-source software umožňuje detailní nastavení parametrů tiskové úlohy a generuje G-code přímo kompatibilní s tiskárnou Bambu Lab P1S. Díly jsou na podložce rozmístěny tak, aby se maximálně využil tiskový rozměr 256x256 mm.



Obrázek 65 Software OrcaSlicer

8.2.1 Nastavení tisku

Pro většinu dílů se nastaví výchozí šablona s tryskou $\varnothing 0,4$ mm, výškou vrstvy 0,20 mm, teplotou trysky 245 °C a teplotou podložky 85 °C. Rychlost vnější stěny je omezena na $45 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ pro zajištění kvalitního povrchu. Konkrétní nastavení se bude ale u jednotlivých dílů lišit v závislosti na jejich funkci a namáhání.

- **Konstrukční namáhané prvky** (např. držák přední části, části rámu) budou vyžadovat 100% výplň (infill) pro vysokou pevnost. Bude použita snížená rychlost tisku a případně menší výška vrstvy (např. 0,16 mm) pro lepší soudržnost vrstev a přesnost. Orientace dílů při tisku bude volena tak, aby zatížení působilo pokud možno v rovině vrstev, nikoliv kolmo na ně, čímž se minimalizuje riziko delaminace.
- **Rozměrné kryty a méně namáhané díly** lze tisknout s nižší výplní (např. 50 %), vyšší rychlostí a případně větší výškou vrstvy (např. 0,28 mm), čímž se významně zkrátí strojní čas.
- **Podpůrné struktury** budou generovány automaticky slicerem tam, kde je to nutné (převisy, mosty) a po tisku budou manuálně odstraněny. Nicméně všechny tištěné díly byly navrhovány tak, aby se podpěrám předešlo.

Primárním materiálem bude PETG díky jeho vysoké tuhosti, pevnosti, odolnosti vůči rázům, vlhkosti a nízkým teplotám (až do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dobrá adheze vrstev ho činí vhodným i pro vodotěsné díly. Při tisku se minimálně krouťe, což usnadňuje tisk velkých modelů. Je třeba počítat s možným stringováním ("vlasý" materiál), které lze minimalizovat optimalizací nastavení retrakce ve sliceru.

Celkový objem všech tištěných dílů prototypu (včetně podpěr) je odhadován na 2903 cm^3 . Při hustotě PETG $1,27\text{ g/cm}^3$ to odpovídá přibližně 3,69 kg filamentu. Se standardní cenou 1199 Kč za 2 kg Prusament PETG vychází materiálový náklad dvou 2kg tiskových strun pro výrobu plastových dílů prototypu na necelých 1400 Kč.

Po tisku budou díly očištěny od případných podpěr a stringování. Otvory pro šrouby budou převrtány na přesný rozměr. Závity budou řezány závitníkem až do hotových děr, nebudou tištěny, aby byla zajištěna jejich vyšší přesnost a pevnost.

8.3 Výroba kovových komponent

Ačkoliv většina dílů frézy je plastová, některé klíčové komponenty vystavené vysokému mechanickému zatížení nebo specifickým požadavkům jsou vyrobeny z kovu. Jedná se o tyto komponenty:

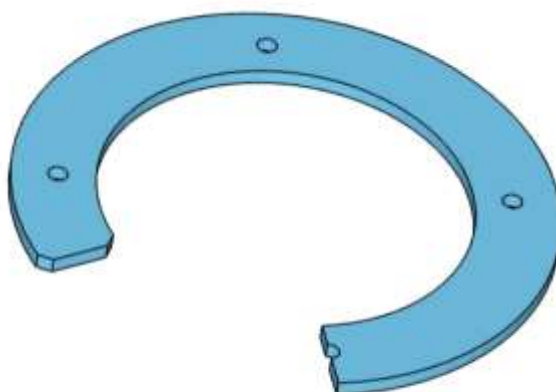
- **Hřídel podávacího šneku:** Dlouhá hřídel o průměru 14 mm a délce 320 mm, která přenáší krouticí moment od převodovky na sběrné části šneku a lopatku. Bude

vyrobena z nerezové oceli s označením 1.4301 soustružením a frézováním. Materiál je zvolen pro odolnost vůči korozi a dostatečnou pevnost.



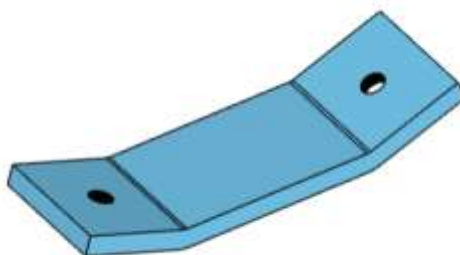
Obrázek 66 Hřídel podávacího šneku

- **Sběrné části šneku (lopatky):** 4 kusy zahnutých lopatek z nerezového plechu s označením 1.4301 a tloušťkou 2 mm. Tyto díly zajišťují nabírání sněhu a jeho transport k centrální odhazovací lopatce. Budou vyrobeny technologií řezání laserem nebo vodním paprskem. K plastovým držákům na hřídeli budou připevněny šroubovými spoji.



Obrázek 67 Sběrná část šneku (lopatka)

- **Spodní část ližin:** Spodní plocha stavitelných ližin, která je v přímém kontaktu s povrchem, bude vyrobena z nerezového plechu (1.4301) a následně ohnuta. Bude připevněna k hlavní (plastové) části ližiny.



Obrázek 68 Spodní část ližin

Výroba těchto kovových dílů bude zajištěna externě u specializované firmy disponující potřebným vybavením (CNC soustruh, frézka, laser/vodní paprsek, ohraňovací lis).

8.4 Montáž

Finální montáž bude představovat proces spojení všech vyrobených (plastových i kovových) a nakoupených dílů do funkčního celku robotické sněhové frézy. Bude probíhat v několika krocích:

- **Předmontáž podsestav:**
 - **Přední část:** Sestavení základního krytu, instalace ložisek, montáž podávacího šneku (hřídel, držáky, plechové lopatky), montáž odhazovací lopatky, sestavení a montáž vyhazovacího komínu včetně servomotoru otáčení, montáž šnekové převodovky a hnacího elektromotoru 550-12T.
 - **Tělo frézy:** Sestavení levé a pravé rámové poloviny ze segmentů, spojení obou polovin pomocí spojovacích dílů. Montáž dvou hlavních elektromotorů A58SW31ZY do zadního držáku. Instalace os, vodících a hnacích kol pro pásový podvozek.
 - **Pásový podvozek:** Sestavení dvou pásů z jednotlivých nosných článků a zajišťovacích segmentů pomocí šroubových spojů s následným nasazením a napnutím pásů.
- **Kompletace:** Spojení přední části a těla frézy pomocí držáků.
- **Instalace elektroniky:** Umístění řídicí jednotky, akumulátorů a potřebné kabeláže do vnitřního prostoru těla frézy. Naprogramování přijímače RC soupravy. Elektroinstalace je zmíněna jen okrajově, jelikož není detailně řešena v této práci.

- **Funkční testy:** Ověření funkčnosti všech mechanických a elektrických systémů – pohon šneku a lopatky, otáčení komínu, pohon pásů, dálkové ovládání.

Odhadovaná pracnost pro sestavení jednoho prototypu je 10 hodin. Pro sériovou výrobu 10 kusů lze očekávat snížení pracnosti na kus díky optimalizaci procesů a získané zkušenosti.

8.5 Logistika materiálu

Logistika materiálu bude zahrnovat zajištění všech potřebných materiálů, komponentů a nástrojů pro výrobu a montáž.

- **Plastový filament:** Nákup PETG filamentu (4 kg pro prototyp) od dodavatele. Nicméně s výpočtem 3,69 kg tiskové struny pro výrobu plastových dílů máme rezervu jen 0,31 kg zbylého materiálu. Je dobré si uvědomit, že k bezpečnému tisku a k zajištění dostatečné skladové zásoby pro případné opakované tisky bude potřeba koupit alespoň další 1 kg PETG filamentu.
- **Kovové díly:** Zadání výroby externí firmě dle výkresové dokumentace. Nutno počítat s dodací lhůtou. Zajištění dopravy hotových dílů.
- **Nakupované komponenty:**
 - Elektromotory – 1x 550-12T, 2x A58SW31ZY.
 - Převodovka – 1x Raveo CLOD030010U-14.
 - Servomotory – 1x pro otáčení komínu, 1x pro zdvih přední části frézy.
 - Elektronika – RC vysílač a přijímač (min. 5 kanály – 2x pohon, 1x šnek/lopatka, 1x otáčení komínu, 1x zdvih přední části), Li-Ion akumulátor, kabeláž, konektory.
 - Ložiska – 2x 6202-14 - 2RS, 1x 6202-2RS, 16x MR115-2RS.
 - Spojovací materiál – Šrouby (různé velikosti), matice, podložky.

Nákup těchto standardizovaných dílů bude realizován u specializovaných prodejců RC komponentů a v obchodech prodávající sortiment strojírenských dílů. Je nutné ověřit dostupnost a dodací lhůty.

- **Nástroje a vybavení:** 3D tiskárna, dílenské nářadí pro montáž (šroubováky, klíče, kleště, lepidlo), nástroje pro dokončovací práce (vrtačka, závitníky), pájecí vybavení pro elektroniku.

8.6 Celková kalkulace prototypu

Tato sekce bude zaměřena na odhad nákladů spojených s výrobou jednoho kusu prototypu robotické sněhové frézy a porovnání s odhadem pro malou sérii 10 kusů. Kalkulace bude zahrnovat přímé materiálové náklady, náklady na výrobní operace (strojní čas, práce) a náklady na nakupované komponenty.

Předpoklady:

- **Strojní sazby:** Budou použity standardní průmyslové hodnoty pro FDM 3D tisk, CNC obrábění (soustružení, frézování) a řezání laserem/vodním paprskem.
- **Pracnost:** Montáž 10 h/kus prototyp, pro sérii se očekává snížení. Náklady na práci budou kalkulovány standardní hodinovou sazbou (nutno doplnit).
- **Elektroinstalace:** Náklady na řídicí elektroniku a RC soupravu jsou zahrnuty v nakupovaných komponentech, ale práce na jejich zapojení a programování není detailně kalkulována.

Struktura kalkulace (pro 1 ks prototypu robotické sněhové frézy):

Tabulka 14 Celková kalkulace pro 1 ks robotické sněhové frézy

Kategorie	Položka	Množství/ Čas	Jednotková cena	Celkem [Kč]
Materiál	PETG filament	3,69 kg	700 Kč/kg	2583
	Spojovací materiál	Sada	400 Kč	400
				2983
Výroba a Montáž	3D tisk	200 hod	30 Kč/hod	8600
	CNC obrábění	4 hod	600 Kč/hod	2400
	Řezání laserem/vodou	1 hod	800 Kč/hod	800
	Dokončovací práce	5 hod	250 Kč/hod	1250
	Montáž prototypu	10 hod	250 Kč/hod	2500
				15 550
Nakupované díly	Motor 550-12T	1 ks	400 Kč	400
	Motor A58SW31ZY	2 ks	400 Kč/ks	800
	Šneková převodovka	1 ks	1500 Kč	1500
	Servomotor	2 ks	400 Kč	800
	RC souprava	1 sada	1800 Kč	1500
	Akumulátory	2 ks	800 Kč	1600
	Ložiska	19 ks	40 Kč/ks	760
	Kabeláž, konektory	Sada	500 Kč	500
				9760
Celkem odhadované náklady na prototyp				28 293 Kč

Je důležité poznamenat, že ve výše uvedené kalkulaci nákladů jsou zahrnuty položky spojené s potenciální sériovou výrobou a prodejem finálního produktu. Pokud by byl prototyp sněhové frézy vyvíjen a vyroben pouze pro interní potřeby, výsledná cena by byla výrazně nižší. Zejména by odpadly náklady za montáž a 3D tisk. Při výrobě dílů na 3D tiskárně by bylo placeno prakticky pouze za spotřebovanou energii 3D tiskárny a cenu použitého filamentu. Pokud by bylo tedy tištěno 200 hodin s průměrnou spotřebou 0,1 kWh za hodinu a cena 1 kWh by byla 5 Kč, náklady na elektřinu pro tento tisk

by činily 100 Kč. V tomto případě by se celková odhadovaná cena pohybovala okolo 14 143 Kč.

Srovnání se sérií 10 ks:

Při výrobě malé série 10 kusů lze očekávat snížení nákladů na jeden kus z následujících důvodů:

- **Materiálové náklady:** Možnost menších slev při nákupu většího množství filamentu nebo spojovacího materiálu.
- **Náklady na výrobu:**
 - Náklady na přípravu (programování CNC, laseru) se rozloží mezi více kusů.
 - Hodinové sazby strojů zůstávají, ale celková efektivita může mírně vzrůst.
 - Pracnost montáže na kus se pravděpodobně sníží (např. na 8 hodin/kus) díky získané praxi a optimalizaci postupu.
- **Nakupované díly:** Možnost získání množstevních slev u některých dodavatelů.

Celkové náklady na jeden kus v sérii 10 kusů by tak mohly klesnout odhadem k 24 000 až 27 000 Kč, nicméně přesné číslo závisí na reálných úsporách a slevách.

8.7 Analýza výrobních rizik a opatření

Identifikace potenciálních rizik během výroby a montáže je pro nás klíčová z důvodu zajištění hladkého průběhu projektu a kvality výsledného produktu. Specifická rizika jsou pro přehlednost rozdělena a shrnuta v následujících tabulkách.

Problémy při 3D tisku:

Tabulka 15 Rizika při 3D tisku

Problém	Deformace dílů (warping), špatná adheze vrstev, stringování, ucpání trysky, selhání tiskárny.
Pravděpodobnost	Střední (zejména u velkých dílů nebo složitějších geometrií).
Dopad	Ztráta materiálu, zpoždění výroby, nutnost opakovaného tisku.
Opatření	Pečlivé nastavení parametrů tisku, správná orientace dílů na podložce, případně použití adhezivních prostředků na podložku.

Nepřesnost vyrobených dílů:

Tabulka 16 Riziko nepřesnosti vyrobených dílů

Problém	Rozměrové odchylky u 3D tištěných nebo kovových dílů, které brání správné montáži.
Pravděpodobnost	Nízká až střední.
Dopad	Problémy při montáži, nutnost úprav dílů nebo jejich nové výroby.
Opatření	Kontrola rozměrů klíčových dílů po výrobě, kalibrace 3D tiskárny.

Zpoždění výroby nebo nakupovaných komponentů:

Tabulka 17 Riziko zpoždění výroby a dodání

Problém	Opožděné dodání nakupovaných komponentů nebo externě vyráběných dílů.
Pravděpodobnost	Nízká.
Dopad	Zpoždění montáže a celého projektu.
Opatření	Včasně objednání všech komponentů s dostatečnou časovou rezervou, ověření skladové dostupnosti, komunikace s dodavateli.

Problémy při montáži:

Tabulka 18 Riziko při montáži

Problém	Obtížné sestavení dílů, nekompatibilita komponentů, poškození dílů během montáže.
Pravděpodobnost	Nízká až střední.
Dopad	Zvýšení pracnosti, poškození dílů.
Opatření	Pečlivý návrh konstrukce s ohledem na montáž, vytvoření montážního postupu, opatrnost při manipulaci s díly.

9 DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Hlavním cílem diplomové práce byl výrobní návrh robotické sněhové frézy. Výsledný návrh představuje kombinaci aditivní výroby pro plastové komponenty a kovovýroby pro více namáhané části. Využití 3D tisku pro plastové díly skýtá výhodu flexibilních úprav modelů a potenciálně i rychlé výroby prototypu, přičemž volba materiálu PETG se ukázala jako vhodná s ohledem na jeho odolnost vůči mechanickému namáhání a nízkým teplotám. Pro komponenty vystavené vysokým mechanickým zátěžím byly navrženy kovové díly, což má zajistit potřebnou odolnost a spolehlivost.

Pro pevnostní analýzu byl vybrán díl držící přední část sněhové frézy. Analýza, provedená v softwaru Autodesk Inventor Professional 2024, prokázala vhodnost navržené geometrie a zvoleného materiálu PETG pro dané zatížení. Výsledky simulace poskytly podklady pro ověření konstrukční správnosti držáku. Konkrétně analýza ukázala maximální napětí v držáku 11,96 MPa, maximální posunutí 0,825 mm a minimální součinitel bezpečnosti 3,35. To potvrzuje, že držák je schopen odolat předpokládanému zatížení.

V rámci práce byl vytvořen detailní výrobní plán, který zahrnuje aditivní výrobu plastových dílů, výrobu kovových komponent a montáž. Součástí práce byla také celková kalkulace potenciálních nákladů na výrobu prototypu a analýza potenciálních výrobních rizik s návrhem opatření k jejich minimalizaci. Celkové odhadované náklady na výrobu prototypu činí 28 293 Kč.

Pro případný další vývoj prototypu se nabízí několik klíčových oblastí pro zdokonalení. Jednou z nich je optimalizace konstrukce pásového podvozku pro zjednodušení montáže. Pro zvýšení autonomie provozu by bylo přínosné integrovat pokročilejší senzory a algoritmy pro autonomní navigaci a detekci překážek. Nezbytnou součástí dalšího vývoje by mělo být testování v reálných podmínkách a úvaha nad adaptabilní konstrukcí těla frézy, která by umožnila snadnou výměnu předního nástavce pro různé účely (např. pro sečení trávy nebo zametání). Pro kompletní realizaci funkčního prototypu je však nutné zahrnout i návrh a implementaci odpovídajícího řídicího systému, včetně výběru a zapojení vhodné elektroniky a naprogramování vysílače s přijímačem, což přesahuje rámec kompetencí této práce.

ZÁVĚR

Diplomová práce úspěšně naplnila stanovené cíle a vytvořila podrobný výrobní návrh robotické sněhové frézy. Tento návrh kombinuje moderní výrobní technologie a splňuje požadavky na efektivní odklizení sněhu. Práce přináší ucelený pohled na proces návrhu a potenciální výroby řešeného zařízení. Pro případný další vývoj prototypu se nabízí několik klíčových oblastí pro zdokonalení, jako je optimalizace pohonu a konstrukce podvozku, zvýšení autonomie provozu a zvážení rozšíření využitelnosti zařízení pro jiné účely. Je třeba zdůraznit, že návrh, implementace a naprogramování kompletního řídicího systému přesahuje rámec kompetencí této práce. Závěrem lze konstatovat, že navržený koncept má potenciál pro další rozvoj a realizaci efektivní robotické sněhové frézy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Jak vybrat sněhovou frézu. Online. *Akce Pardubice*. Dostupné z: <https://www.akcepardubice.cz/clanky/jak-vybrat-snehovou-frezu/>. [cit. 2024-02-29].
- [2] Mini-Z 4X4 MX-01 Suzuki Jimny Sierra. Online. *Profi Model*. Dostupné z: <https://profimodel.cz/cs/mini-z/275881-mini-z-4x4-suzuki-jimny-sierra-rtr-kinetic-yellow-4548565380091.html>. [cit. 2024-02-29].
- [3] MTD OPTIMA ME 66 T dvoustupňová pásová sněhová fréza. Online. *Namir*. Dostupné z: <https://www.namir.cz/dvoustupnova-pasova-snehova-freza-mtd-me-66-t-10514.html#popis>. [cit. 2024-02-29].
- [4] MIEKISCH, Ing. Jiří. *Robotika*. Online. 2012, s. 4. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/AUT_IV/VY_32_INOVACE_E-15-20.pdf. [cit. 2024-02-29].
- [5] VOLNÁ, Eva a KOTYRBA, Martin. *Umělá inteligence*. Online. 2013. ISBN 978-80-7464-330-9. Dostupné z: https://projekty.osu.cz/svp/opory/PrF_Volna,Kotyrba_Umela-intelig.pdf. [cit. 2024-02-29].
- [6] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Online. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1522-0. [cit. 2024-02-29].
- [7] BLECHA, Petr a KOLÍBAL, Zdeněk. *Mechatronika Modul 10: Robotika*. Online. Brno, 2008. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8054951-Mechatronika-modul-10-robotika.html>. [cit. 2024-02-29].
- [8] The Unimate. Online. *Kawasaki Robotics*. Dostupné z: https://robotics.kawasaki.com/en1/anniversary/history/history_01.html. [cit. 2024-02-29].
- [9] Výrobci robotů. Online. *Robotic journal*. Dostupné z: <https://www.roboticjournal.cz/clanky/2019-cislo-3-trh-s-roboty-roste-kdo-jsou-hlavni-vyrobcu>. [cit. 2024-02-29].
- [10] Průmyslové roboty FANUC. Online. FANUC. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty>. [cit. 2024-02-29].
- [11] World Robotics 2023 Report. Online. *International Federation of Robotics*. Dostupné z: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas>. [cit. 2024-02-29].

- [12] BEN-ARI, Mordechai a MONDADA, Francesco. *Robots and Their Applications. Online. Elements of Robotics*. 2018, s. 1-20. ISBN 978-3-319-62532-4. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62533-1_1. [cit. 2024-03-01].
- [13] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Online. Robotika. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0141-1. [cit. 2024-03-01].
- [14] DUDEK, Gregory a JENKIN, Michael. *Computational Principles of Mobile Robotics*. 2, přepracované vydání. Cambridge University Press, 2010. ISBN 9781139855594. [cit. 2024-02-29].
- [15] Robot: Jak funguje? Online. *Kuka*. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/robot-clanek>. [cit. 2024-02-29].
- [16] TARANTINO, Anthony. *Smart Manufacturing - The Lean Six Sigma Way*. Online. John Wiley, 2022. ISBN 978-1-119-84661-1. [cit. 2024-02-29].
- [17] RADHAKRISHNAN, P. *Computer Numerical Control Machines and Computer Aided Manufacture (2nd Edition)*. Online. New Academic Science, 2015. ISBN 978-1-5231-1898-4. Dostupné z: https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpCNCMCAM2/toc?b-q=use%20of%20industrial%20robots&include_synonyms=no [cit. 2024-02-29].
- [18] NOVOTNÝ, František; HOTAŘ, Vlastimil; HORÁK, Marcel; STARÁ, Marie a STARÝ, Michal. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra sklářských strojů a robotiky, 2020. ISBN 978-80-7494-545-8. [cit. 2024-02-29].
- [19] Servisní robotika. Online. *Automa*. 2014. Dostupné z: https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/co-je-to-servisni-robotika-a-jake-jsou-jeji-perspektivy-2014_05_52496_7768/. [cit. 2024-02-29].
- [20] Spot. Online. *Boston Dynamics*. Dostupné z: <https://bostondynamics.com/blog/spot-to-the-rescue/>. [cit. 2024-02-29].
- [21] Drones. Online. *Fly Ability*. Dostupné z: <https://www.flyability.com/commercial-drones>. [cit. 2024-02-29].
- [22] Mission Specialist Defender. Online. *VideoRay*. Dostupné z: <https://videoray.com/products/mission-specialist-defender/>. [cit. 2024-02-29].
- [23] SAHEB, Shaik Himam; BABU, G.Satish a RAJU, N.V.Subba. Relative Kinematic Analysis of Serial and Parallel Manipulators. Online. IOP Conference Series:

- Materials Science and Engineering. 2018, roč. 455. ISSN 1757-899X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/455/1/012040>. [cit. 2024-03-01].
- [24] AgBot 2.055W3. Online. *AgXeed*. Dostupné z: <https://www.agxeed.com/our-solutions/agbot-2-055w3/>. [cit. 2024-02-29].
- [25] Radio-Controlled Cars. Online. *American Radio Archives*. Dostupné z: <https://www.americanradioarchives.com/radio-controlled-cars-how-they-work/>. [cit. 2024-02-29].
- [26] ARIMANY, Guillem. *Radio Frequency communication for Modular Robots*. Online, Master thesis, vedoucí Kasper Støy. Odense, Denmark: University of Southern Denmark, 2011. Dostupné z: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14698/70000.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [cit. 2024-02-29].
- [27] Jak vybrat RC auta. Online. *RC obchodak*. Dostupné z: <https://www.rcobchodak.cz/poradna/jak-vybrat-rc-auta/>. [cit. 2024-02-29].
- [28] Jak vybrat RC model auta. Online. *Himoto*. Dostupné z: <https://www.himoto.cz/blog/jak-vybrat-rc-auto/>. [cit. 2024-02-29].
- [29] Remote Control cars. Online. *RC Geeks*. Dostupné z: <https://www.rcgeeks.co.uk/blogs/news/buyers-guide-best-remote-control-cars>. [cit. 2024-02-29].
- [30] Chassis. Online. *Radio Control Car Action*. Dostupné z: <https://www.rccaraction.com/understand-chassis-tech/>. [cit. 2024-02-29].
- [31] JHA, Keshav; DINESH KAKARLAMUDI, Sai Phanindra a KONDURU, Bharath. *Design and fabrication of radiocontrolled car*. Online. International Journal of Mechanical Engineering and Technology: IAEME, 2015. Dostupné z: https://www.academia.edu/15623020/RC_CAR_FABRICATION_AND_DESIGN. [cit. 2024-02-29].
- [32] Radio Control. Online. *Tamiya*. Dostupné z: <https://www.tamiyausa.com/tamiya-there-support-your-rc-hobby-experience/>. [cit. 2024-02-29].
- [33] RC Car Shell Truck Body. Online. *Hosim*. Dostupné z: <https://www.hosim.com/products/hosim-rc-car-shell-truck-body-parts-new-transparent-car-shell-25-dj09-9125-rc-car>. [cit. 2024-02-29].
- [34] RC Car Body Size Guide. Online. *Euro RC*. Dostupné z: <https://www.eurorc.com/page/138/rc-car-body-size-guide>. [cit. 2024-02-29].

- [35] Jak vybrat RC auto. Online. *Astra model*. Dostupné z: <https://www.astramodel.cz/cz/blog/jak-vybrat-rc-auto.html>. [cit. 2024-02-29].
- [36] Get Started in RC – Everything You Need to Know. Online. *RC Car Action*. Dostupné z: <https://www.rccaraction.com/get-started-rc-everything-need-know/>. [cit. 2024-02-29].
- [37] Jak vybrat správné servo? Online. *Big Hobby*. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/modelarska-poradna/jak-vybrat-spravne-servo/>. [cit. 2024-02-29].
- [38] BROOKER, Graham. *Introduction to biomechatronics*. Raleigh, NC: SciTech Pub., [2012]. ISBN 9781936059843. Dostupné také z: https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIB000019/introduction_to_biomechatronics. [cit. 2024-02-29].
- [39] Serva pro RC modely. Online. *RC Profi*. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/poradna/serva-pro-rc-modely>. [cit. 2024-02-29].
- [40] Vše o Lithium-polymerových akumulátorech. Online. *RC Profi*. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/poradna/vse-o-lithium-polymerovech-akumulatorech>. [cit. 2024-02-29].
- [41] Jak vybrat správnou baterii. Online. *Big Hobby*. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/modelarska-poradna/jak-vybrat-spravnou-baterii/#baterie-nimh>. [cit. 2024-02-29].
- [42] BODDULA, Rajender a INAMUDDIN, Pothu. *Rechargeable Batteries - History, Progress, and Applications*. Online. John Wiley, 2020. ISBN 978-1-5231-3323-9. Dostupné z: https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpRBHPA003/toc?b-q=ni-mh%20battery&include_synonyms=no. [cit. 2024-02-29].
- [43] Vše o Ni-MH akumulátorech. Online. *RC Profi*. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/poradna/vse-o-ni-mh-akumulatorech>. [cit. 2024-02-29].
- [44] Jak správně vybrat baterie do RC modelů. Online. *RC Profi*. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/poradna/jak-vybrat-baterie-do-rc-modelu>. [cit. 2024-02-29].
- [45] Vysílačka a přijímače. Online. *Live Rotorama*. Dostupné z: <https://live.rotorاما.cz/tutorial/komponenty/vysilacka-a-prijimace/>. [cit. 2024-02-29].

- [46] BÜCHI, Roland. *Radio Control with 2.4 GHz*. Books on Demand, 2014. ISBN 978-3-73229-340-7.
- [47] The Complete Guide to RC Electronics. Online. *Instructables*. Dostupné z: <https://www.instructables.com/The-Complete-Guide-to-RC-Electronics/>. [cit. 2024-02-29].
- [48] QUAN, Quan. *Introduction to Multicopter Design and Control*. Online. Singapore: Springer Singapore, 2017. ISBN 978-981-10-3381-0. Dostupné z: <https://link-springer-com.proxy.k.utb.cz/book/10.1007/978-981-10-3382-7>. [cit. 2024-02-29].
- [49] Přijímač Fly Sky. Online. *Big Hobby*. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/prijimac-fly-sky-ftr10-10ch-2-4ghz-afhds3/>. [cit. 2024-02-29].
- [50] XTEC Race pack. Online. *RC Profi*. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/xtec-race-pack-side-by-side-2-3a-nimh-mini-tamiya-7.2v-1600mah>. [cit. 2024-02-29].
- [51] Střídavý elektromotor 3548 1100kv BH Power V2. Online. *Big Hobby*. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/stridavy-elektromotor-3548-1100kv-bh-power-v2/>. [cit. 2024-02-29].
- [52] OS SPEED B21 RONDA DRAKE Edition 2. Online. *RC Profi*. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/os-speed-b21-ronda-drake-edition-2-samotny-motor>. [cit. 2024-02-29].
- [53] Traxxas Slash 4x4. Online. *RC Geeks*. Dostupné z: <https://www.rcgeeks.co.uk/products/traxxas-slash-4x4-1-10-4wd-brushed-orange>. [cit. 2024-02-29].
- [54] Traxxas LiPol Car 25C 5800mAh 2S1P 7.4V iD. Online. *RC Profi*. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/traxxas-lipol-car-25c-5800mah-2s1p-7.4v-id>. [cit. 2024-02-29].
- [55] HORVATH, Joan a CAMERON, Rich. *Mastering 3D Printing - A Guide to Modeling, Printing, and Prototyping*. Online. 2nd Edition. Apress, 2020. ISBN 978-1-5231-5057-1. Dostupné z: https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpMDPAGMPG/toc?b-q=3d%20printing&include_synonyms=no. [cit. 2024-02-29].
- [56] CHUA, Chee Kai a LEONG, Kah Fai. *3D printing and additive manufacturing: principles and applications*. Online. New Jersey: World Scientific, [2017]. ISBN 978-981-3146-76-1. [cit. 2024-02-29].

- [57] ANDERHOFSTADT, Ralf a DISSELKAMP, Marcus. *Disruptive 3D Printing*. Online. Hanser Publishers, 2023. ISBN 978-1-56990-925-6. Dostupné z: https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpDDP00001/toc?b-q=3d%20printing&include_synonyms=no. [cit. 2024-02-29].
- [58] STRÍTESKÝ, Ondřej a PRŮŠA, Josef. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Online. Prusa Research, 2019. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/ped/jaro2021/TI9009/111101390/zaklady-3d-tisku.pdf>. [cit. 2024-02-29].
- [59] MIZERA, Ales; BEDNARIK, Martin; MIZERA, Martin; TOMANOVA, Katarina; MOHORKO, Martin et al. *Tensile impact behaviour of 3D printed parts on FFF/FDM printer Zortrax M200*. Online. MATEC Web of Conferences. 2018, roč. 210. ISSN 2261-236X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821004049>. [cit. 2024-02-29].
- [60] Basic Introduction Of FDM 3D Printer. Online. *Kywoo3D*. Dostupné z: <https://www.kywoo3d.com/blogs/3d-printer-news/basic-introduction-of-fdm-3d-printer>. [cit. 2024-02-29].
- [61] CRAWFORD, R. J. a MARTIN, Peter J. *Plastics engineering*. Online. Fourth edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier, 2020. ISBN 978-0-08-100710-5. [cit. 2024-02-29].
- [62] Technologie 3D tisku. Online. *3D tisk Online*. Dostupné z: <https://www.3dtisk-online.cz/3d-tisk-brno-technologie-3d-tisku/>. [cit. 2024-02-29].
- [63] Selective Laser Sintering, SLS. Online. *Manufacturing guide*. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/sv/selective-laser-sintering-sls>. [cit. 2024-02-29].
- [64] What's the ideal filament for FDM 3D printing? 3D printing materials compared. Online. *Protolabs network by Hubs*. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>. [cit. 2024-02-29].
- [65] PLA. Online. *Prusa 3D*. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/pla_2062. [cit. 2024-02-29].
- [66] PETG. Online. *Prusa 3D*. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/petg_2059. [cit. 2024-02-29].

- [67] ABS. Online. *Prusa 3D*. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/abs_2058. [cit. 2024-02-29].
- [68] Resiny. Online. *Prusa 3D*. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/resiny_1977. [cit. 2024-02-29].
- [69] Resiny. Online. *Materiálpro3D*. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/resiny/>. [cit. 2024-02-29].
- [70] Anycubic Basic UV Resin. Online. Richvalsky. Dostupné z: <https://www.richvalsky.cz/anycubic-basic-uv-resin---grey-1l/>. [cit. 2024-02-29].
- [71] Šnekové převodovky. Online. *Raveo*. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/snekove-prevodovky-rada-clod/>. [cit. 2024-02-29].
- [72] Stejnosměrný elektromotor 550-12T 1/10 Surpass. Online. *Bighobby*. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/elektricke-motory/>. [cit. 2024-02-29].
- [73] A58SW31ZY DC 12V 24V Worm Geared Motor. Online. *Amazon*. Dostupné z: <https://www.amazon.com/A58SW31ZY-7-470rpm-Rotating-Self-Lock-70kg-cm/dp/B0DRNZMM51?th=1>. [cit. 2024-02-29].
- [74] *Technical datasheet Prusament PETG by Prusa Polymers*. Online. Dostupné z: https://prusament.com/wp-content/uploads/2023/07/PETG_V0_ENG.pdf. [cit. 2024-02-29].
- [75] Mercado-Colmenero, J.M; , La Rubia, M.D. a , Mata-Garcia, E. *Experimental and Numerical Analysis for the Mechanical Characterization of PETG Polymers Manufactured with FDM Technology under Pure Uniaxial Compression Stress States for Architectural Applications*. Online. *Polymers* 2020. S. 12. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/polym12102202>. [cit. 2024-02].
- [76] Bambu Lab P1S. Online. *Cotu*. Dostupné z: <https://shop.cotu.eu/cs/3d-tiskarny/930-bambu-lab-p1s-6975337033134.html>. [cit. 2024-02].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Dvoustupňová benzínová sněhová fréza MDM Optima ME 66 T [3]	13
Obrázek 2 Vývoj Unimate 1900 (Devol, Engelberger a tým) [8]	17
Obrázek 3 Moderní roboti předního výrobce Fanuc [10]	18
Obrázek 4 Graf ročních instalací průmyslových robotů podle IFR [11]	18
Obrázek 5 Dělení robotů dle pohyblivosti [12]	19
Obrázek 6 Čtyřnohý robot Spot od Boston Dynamics [20]	20
Obrázek 7 Bezpilotní letoun Parrot Anafi USA s termovizí pro záchranné služby [21]	21
Obrázek 8 Robot Defender od VideoRay operující pod vodou [22]	21
Obrázek 9 Dělení robotů dle jejich využití [12]	22
Obrázek 10 a) kartézský systém, b) více-kloubový systém [23]	23
Obrázek 11 Servisní robot AgBot 2.055W3 od AGXeed určený pro sady a vinice [24]	24
Obrázek 12 RC vozidlo Suzuki Jimny Sierra [2]	25
Obrázek 13 Srovnání velikostí běžných měřítek RC vozidel [29]	27
Obrázek 14 Typy podvozků RC modelů aut z různých materiálů	28
Obrázek 15 Čirá polykarbonátová karoserie RC auta před barvením [33]	29
Obrázek 16 Podvozek RC modelu Traxxas Slash 4x4 s jeho hlavními částmi [53]	30
Obrázek 17 Střídavý elektromotor [51]	31
Obrázek 18 Žhavicí spalovací motor [52]	31
Obrázek 19 Servomotor s viditelnými vnitřními částmi [37]	32
Obrázek 20 Li-Pol akumulátor 5800 mAh [54]	33
Obrázek 21 Ni-MH akumulátor 1600 mAh [50]	33
Obrázek 22 Páčkový vysílač [46]	35
Obrázek 23 Volantový vysílač [46]	35
Obrázek 24 10kanálový přijímač Fly Sky 2,4 GHz [49]	36
Obrázek 25 Postup 3D tisku od digitálního modelu k fyzickému objektu [57]	37
Obrázek 26 Rozdělení 3D tisku dle použitého typu materiálu [56]	38
Obrázek 27 FDM technologie [60]	39
Obrázek 28 Technologie SLA [62]	40
Obrázek 29 Technologie SLS [63]	41
Obrázek 30 Vyhodnocení vlastností PLA materiálu pomocí paprskového grafu [64]	43
Obrázek 31 Vyhodnocení vlastností PETG materiálu pomocí paprskového grafu [64]	43
Obrázek 32 Vyhodnocení vlastností ABS materiálu pomocí paprskového grafu [64]	44
Obrázek 33 Resin Anycubic UV [70]	45
Obrázek 34 Pracovní prostředí programu Autodesk Inventor Professional 2024	51

Obrázek 35 Koncept přední části sněhové frézy	52
Obrázek 36 3D model podavacího šneku	52
Obrázek 37 Šneková převodovka řady CLOD [71].....	53
Obrázek 38 3D model lopatky	54
Obrázek 39 3D model vyhazovacího komínu.....	55
Obrázek 40 3D model základního krytu	57
Obrázek 41 Stejnoseměrný elektromotor 550-12T 1/10 Surpass [72]	58
Obrázek 42 Koncept těla sněhové frézy	59
Obrázek 43 Levá část rámu těla sněhové frézy	60
Obrázek 44 Spojení rámových polovin těla sněhové frézy	61
Obrázek 45 Tělo sněhové frézy	62
Obrázek 46 Nosný článek (a) a zajišťovací segment (b) pásového podvozku	62
Obrázek 47 Část složeného pásového podvozku	63
Obrázek 48 Stejnoseměrný elektromotor typu A58SW31ZY [73]	65
Obrázek 49 Vizualizace těla prototypu robotické sněhové frézy	67
Obrázek 50 Držák přední části sněhové frézy	68
Obrázek 51 Rozměrové parametry držáku	69
Obrázek 52 Pracovní prostředí softwaru Autodesk Inventor Professional 2024.....	71
Obrázek 53 Znázornění zatížení na držák od přední části sněhové frézy.....	73
Obrázek 54 Vazba vetknutí.....	74
Obrázek 55 Vazba rotace	75
Obrázek 56 Definování materiálu PETG do modulu pevnostní analýzy.....	76
Obrázek 57 Nastavení sítě	77
Obrázek 58 Nastavení konvergence	77
Obrázek 59 Průběh konvergence – závislost počtu kroků řešení na napětí Von Mises	78
Obrázek 60 Výsledek pevnostní analýzy napětí Von Mises.....	79
Obrázek 61 Oblast maximálního napětí Von Mises	80
Obrázek 62 Pevnostní analýza posunutí	81
Obrázek 63 Výsledek součinitele bezpečnosti na mez kluzu	82
Obrázek 64 3D tiskárna Bambu Lab P1S [74]	84
Obrázek 65 Software OrcaSlicer	84
Obrázek 66 Hřídel podavacího šneku	86
Obrázek 67 Sběrná část šneku (lopatka).....	86
Obrázek 68 Spodní část ližin	87

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Nejběžněji používané materiály podvozků RC vozidel [30]	28
Tabulka 2 Výhody a nevýhody metody FDM [56]	39
Tabulka 3 Výhody a nevýhody metody SLA [56]	40
Tabulka 4 Výhody a nevýhody metody SLS [56]	42
Tabulka 5 Parametry šnekové převodovky Raveo CLOD030010U-14 [71]	53
Tabulka 6 Materiál lopatky a její výrobní proces	54
Tabulka 7 Materiál vyhazovacího komínu a jeho výrobní proces	55
Tabulka 8 Materiál základního krytu a jeho výrobní proces	56
Tabulka 9 Parametry stejnosměrného elektromotoru 550-12T 1/10 Surpass [72]	58
Tabulka 10 Porovnání klíčových parametrů spalovacího motoru a elektromotoru	64
Tabulka 11 Parametry elektromotoru A58SW31ZY [73]	66
Tabulka 12 Materiálové charakteristiky PETG [74][75]	70
Tabulka 13 Součet celkové hmotnosti přední části sněhové frézy	72
Tabulka 14 Celková kalkulace pro 1 ks robotické sněhové frézy	90
Tabulka 15 Rizika při 3D tisku	92
Tabulka 16 Riziko nepřesnosti vyrobených dílů	92
Tabulka 17 Riziko zpoždění výroby a dodání	93
Tabulka 18 Riziko při montáži	93

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
ARR	Almost Ready to Run
ASA	Akrylonitril-styren-akryl
CAD	Computer-Aided Design
CNC	Číselné řízení počítačem (Computer Numerical Control)
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
ESC	Electronic Speed Controller
F [N]	Zatížení působící na dva držáky
F _{1D} [N]	Zatížení působící na jeden držák
FDM	Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
g [m · s ⁻²]	Tíhové zrychlení
HP	Koňská síla (Horse power)
IFR	Mezinárodní federace robotiky
ISO	International Organization for Standardization
k	Součinitel bezpečnosti na mez kluzu
Kč	Korun českých
Li-Fe	Lithium-železo-fosfátové akumulátory
Li-Ion	Lithium iontové akumulátory
Li-Pol	Lithium-polymerové akumulátory
m [kg]	Celková hmotnost přední části sněhové frézy
Ni-Cd	Nikl kadmiové akumulátory
Ni-MH	Nikl-metal hybrid akumulátory

PETG	Polyethylentereftalát modifikovaný glykolem
PJP	Plastic Jet Printing
PLA	Kyselina polymléčná (Polylactic acid)
PTFE	Polytetrafluorethylen
RC	Rádiově řízený (Radio controlled)
RTR	Ready to Run
Rx	Přijímač
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
TPE	Termoplastický elastomer
TPU	Termoplastický polyuretan
Tx	Vysílač
UV	Ultrafialové záření
Ø	Průměr