

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270017 – Konstruování strojů a
technických zařízení

Studijní specializace: Konstruování výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

3D tiskárna na stavební hmoty

Autor: Bc. Jakub REINHART

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph.D.

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub REINHART**
Osobní číslo: **S19N0118P**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Studijní obor: **Konstruování výrobních strojů a zařízení**
Téma práce: **3D tiskárna na stavební hmoty**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem práce je konstrukční návrh jednoduchého „Design for cost“ stroje pro 3D tisk betonových směsí pro „tisk“ stavebních konstrukcí. Další částí řešení je výběr vhodného systému podávání materiálu pro tiskovou hlavu. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení.
4. Zhodnocení vybraného konstrukčního návrhu.

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- [1] HOSNEDL, S. A KRÁTKÝ, J. *Příručka strojího inženýra*. Brno: Computer Press, 1999
[2] ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.: *Strojnické tabulky*. Scientia, Praha, 2004
[3] SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. *Konstruování strojních součástí*. VUT v Brně, Brno, 2010
[4] MM Průmyslové spektrum: *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha, 2006
Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Pavel Koreš**
Hennlich, s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Josefu Formánkovi, Ph.D. a konzultantovi Pavlu Korešovi za metodické vedení a odbornou pomoc.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Reinhart	Jméno Jakub	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	3D tiskárna na stavební hmoty		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	63	TEXTOVÁ ČÁST	27	GRAFICKÁ ČÁST	32
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje návrh 3D tiskárny, která pro tisk využívá stavební materiál na bázi geopolymérů. Práce obsahuje návrh rámu stroje a systému vytlačování pro použitý materiál. Tiskový prostor je 2x3x2 metrů. Tato 3D tiskárna by měla být využívána pro tisk stavebních prefabrikátů a dekorací.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	3D tiskárna, 3D tisk, geopolymér, stavební průmysl

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Reinhart	Name Jakub	
STUDY PROGRAMME	N0715A270017 Design engineering of machines and technical devices		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	3D printer for building materials		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	63	TEXT PART	27	GRAPHICAL PART	32
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis contains the design of a 3D printer that uses a building material based on geopolymers for printing. The work contains the design of the machine frame and extrusion system for the used material. The print space is 2x3x2 meters. This 3D printer should be used for printing prefabricated peaces of buildings and decorations.
KEY WORDS	3D printer, 3D printer, geopolymer, building industry

Obsah

1	Úvod	1
2	Teoretická část	2
2.1	Technologie 3D tisku	2
2.1.1	Metody tisku	2
2.2	Čerpadla pro stavební hmoty	3
2.2.1	Šneková čerpadla	3
2.2.2	Vřetenová čerpadla.....	4
2.2.3	Pístová čerpadla	5
2.2.4	Hadicová čerpadla.....	5
2.3	Lineární technika.....	6
2.3.1	Vedení.....	6
2.3.2	Mechanismus pohybu.....	7
2.3.3	Pohon.....	7
3	Praktická část	11
3.1	Popis zadání	11
3.1.1	Geopolymer	11
3.2	Varianty řešení	13
3.2.1	Dávkování materiálu	13
3.2.2	Konstrukce rámu	14
3.3	Popis zvolené varianty řešení.....	18
3.3.1	Rám stroje.....	18
3.3.2	Řídicí systém a pohony	20
3.3.3	Dávkování materiálu	21
3.4	Výpočty pro návrh úpravy podávacího čerpadla	25
3.4.1	Výpočet čerpacího tlaku	25
3.4.2	Výpočet síly stěny výměnného šroubení.....	27

3.4.3	Výpočet průměru hřídele unašeče vřetena.....	29
3.5	Návrh testů stroje	31
3.5.1	Výška vrstvy a rychlost vytlačování	31
3.5.2	Zkoušky tisku různých tvarů.....	32
3.6	Testy a následné úpravy.....	34
3.6.1	Přechod na přímé vytlačování.....	35
3.6.2	Volba hromadění materiálu	35
3.6.3	Zkouška tvarů a dodatečná úprava receptury materiálu	37
3.6.4	Návrh koncové trysky.....	39
3.6.5	Přechod na vyšší průměr hadice.....	40
3.6.6	Závěrečný test	40
3.6.7	Rám tiskárny	42
4	Závěr.....	45
5	Literatura.....	47
6	Seznam obrázků	49
7	Seznam příloh	51

1 Úvod

3D tisk jako takový je nově vzkvétajícím odvětvím ve strojírenství a výrobě nových součástí a strojů. 3D tisk lze aplikovat v různých odvětvích a pomocí něho tisknout například z železných a nekovových materiálů. Tisk stavebních hmot je další možnou aplikací této technologie a odpovídá na dnešní velký boom ve stavebním průmyslu. Momentálně trh zažívá velkou poptávku po levném a rychlém bydlení a 3D tisk nabízí řešení této poptávky.

V teoretické části jsou popsány jednotlivé mechanismy a prvky, které jsou následně využívány v praktické části. Hlavní kategorie zde tvoří technologie 3D tisku jako taková, čerpadla na stavební hmoty a lineární technika. Tyto kategorie jsou jednotlivě rozvětveny a popsány.

Praktická část se nejprve zaměřuje na možné varianty řešení dílčích celků, které tvoří rám stroje a systém vytlačování materiálu. Dále následuje popis vybraného řešení z popsanych variant a výpočty potřebné k dimenzaci všech navrhovaných částí. Za těmito výpočty následuje návrh testů a jejich samotné provedení.

V závěru jsou shrnuty všechny poznatky a je navržen další postup ve vývoji stroje.

Smyslem této práce je aplikace technologie 3D tisku do stavebního průmyslu. V tomto případě bude použit materiál na bázi geopolymery, který se aktuálně jeví jako lepší alternativa komerčně používaného betonu. Tiskový prostor by měl být přibližně tři metry ve směru osy Y a dva metry ve směru os X a Z. Ve vizi zadavatele práce je tisk prefabrikátů a různých stavebních prvků.

2 Teoretická část

2.1 Technologie 3D tisku

2.1.1 Metody tisku

- SLS – Selective Laser Sintering, zapékání práškového materiálu laserovým paprskem, tloušťka vrstvy cca 0,1 mm, levný stavební materiál, v ceně modelu kompenzovaný vysokou pořizovací cenou stroje, oblast využití: neomezeno, ideální na subtilní vzdušné struktury – EOS, Německo, www.eos.info [1]
- SLA – stereolitografie, nejstarší technologie používaná od roku 1986, vytvrzování tekutého kompozitu laserovým paprskem, univerzální technologie – 3D Systems, USA, www.3dsystems.com [1]
- ZCORP – v tenké vrstvě nanesený prášek je spojován pojivem, které je vytlačováno z tiskových hlav (obdoba injektové tiskárny), je možné vyrobit i barevný 3D model, povrch není hladký, model je křehký a vyžaduje další povrchovou úpravu, oblast využití: hmotové modely bez požadavku na kvalitu povrchu a míru detailu, jediná technologie na výrobu barevných modelů – Zcorporation, USA, www.zcorp.com [1]
- LOM - Laminated Object Manufacturing, každá vrstva je vyříznuta z plastu a plošně přilepena k vrstvě předchozí, tloušťka vrstvy 0,165 mm, nejlevnější stavební materiál, model je po dokončení umístěn v kvádru materiálu o maximálních rozměrech 3D modelu (X x Y x Z), velké množství stavebního materiálu nevyužito (odpad), podpurný materiál se odstraňuje mechanicky, nejkvalitnější povrch vodorovných ploch, oblast použití: hmotové modely, nevhodné pro velmi subtilní konstrukce, velmi kvalitní povrch a přesnost - Solido, Izrael, www.solido3d.com [1]
- FDM - Fused Deposition Modeling, nanášení roztaveného materiálu v tenké vrstvě, dva stavební materiály - modelovací a podpurný, tloušťka vrstvy 0,25 mm, minimální odpad, hrubá struktura modelu - velká tloušťka vrstvy, nerovný povrch vodorovné vrstvy, podpurný materiál se odstraňuje manuálně event. vodou, oblast využití: pevné, tvarově stálé mechanické modely bez požadavku na kvalitu povrchu, nevhodné pro subtilní konstrukce - Dimension, USA, www.dimensionprinting.com [1]
- FDM COLOR – nově i v barvě na zařízení HP Designjet 3D Color Printer [1]
- POLYJET MATRIX – tiskovými hlavami vytlačovaný fotopolymer je vytvrzován pomocí UV lampy, dva stavební materiály – modelovací a podpurný, velmi kvalitní povrch modelů, tloušťka vrstvy 0,016 mm, podpurný materiál se odstraňuje tlakovou

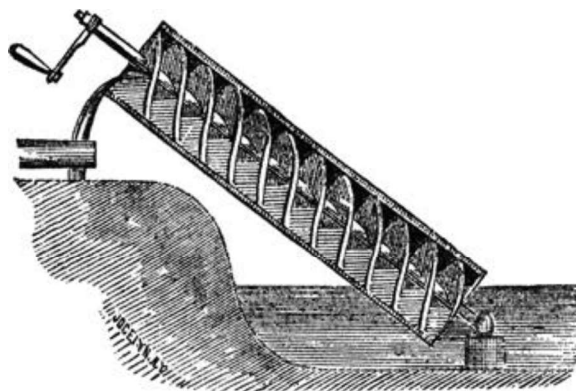
vodou, omezená životnost stavebního materiálu cca 1 rok, několik typů stavebního materiálu, oblast využití: neomezeno, vhodné na modely s vysokou mírou detailu – Objet, Izrael, www.2objet.com [1]

- MULTI JET MODELING – termoplastický materiál – vosk – je vytlačován tiskovými hlavami, dva stavební materiály – modelovací a podpurný – s různou teplotou tání, podpory se odstraní nahřátím modelu – 3D systems, USA, www.3dsystems.com [1]
- THERMOPLASTIC INKJET WITH MILLING – kombinace vytlačování termoplastického materiálu – vosku – s horizontálním frézováním, velmi přesná metoda stavby modelu vhodná pro odlévání metodou ztraceného modelu – Solidscape, USA, www.solid-scape.com [1]
- DIGITAL LIGHT PROJECTION – nejnovější technologie založená na nasvícení fotopolymeru UV projekcí modelového řezu, univerzální technologie, bezodpadová technologie, omezená životnost materiálu – EnvisionTEC, Německo, www.envisiontec.de [1]

2.2 Čerpadla pro stavební hmoty

2.2.1 Šneková čerpadla

Šneková čerpadla využívají ke své funkci principu Archimédova šroubu. Ten jako takový je tvořen šikmo uloženou šnekovou hřídelí uloženou v korytě. Na šroubovici vnikají „kapsy“, ve kterých je následně otáčením hřídele unášena přepravovaná kapalina. Výhoda tohoto principu je v jednoduchosti a v možnosti přepravovat vysoce znečištěné kapaliny. [2]



Obrázek 1 Šnekové čerpadlo [2]

2.2.2 Vřetenová čerpadla

Princip vřetenového čerpadla je ve vzájemném působení pevně uloženého statoru, ve kterém se excentricky otáčí rotor. Rotor je tvořen oblým závitem s velkým stoupáním a malou výškou závitu. Rotor je uložen ve statoru z pružného materiálu (obvykle pryž), který v podstatě tvoří matici s dvojitým chodem. Při otáčení rotorem však nedochází k jeho posuvu jako u obvykle a tím vzniknou v meziprostoru buňky pro čerpanou kapalinu. [3]

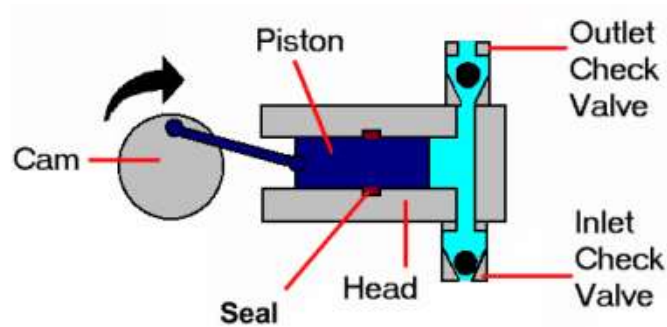
V každém příčném řezu tohoto elementu se při chodu rotor odvaluje po statoru, a tím tvoří samostatné utěsněné buňky, které způsobují čerpání kapaliny. Rotor je uložen přes hřídel v ložiskové části s ucpávkou. Při otáčení rotoru vzniká excentricita, která musí být nějakým způsobem kompenzována tak, aby pohonná hřídel nezpůsobovala poškození uložení ložiska. [3]



Obrázek 2 Schéma funkce vřetenového čerpadla [4]

2.2.3 Pístová čerpadla

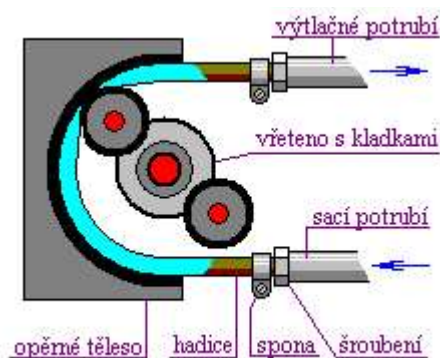
Základem pístového čerpadla, včetně rotačních pístových čerpadel, je dvoudobý pístový cyklus, kdy píst ve válci v první fázi pohybu od otevřeného sacího otvoru k horní úvratí nasává kapalinu do válce, který v následujícím druhém cyklu při pohybu pístu k otevřenému vztlačkovému otvoru vytlačí kapalinu ven ve vysokém tlaku. Jeho konstrukci tvoří tyto hlavní konstrukční prvky: kliková hřídel, ojnice, píst, válec a dva jednocestné ventily. [5]



Obrázek 3 Schéma pístového čerpadla [5]

2.2.4 Hadicová čerpadla

Princip těchto čerpadel je v napevno uchycené a do oblouku stočené hadici, která je za chodu periodicky stlačována proti stěně čerpací hlavy rotujícími rolnami či vačkovým mechanismem kolem poháněný externím motorem. Ten tak před sebou tlačí od sacího otvoru k výtlačnému otvoru určité množství produktu. Tento vzniklý efekt vytváří v hadici na vstupu vysoký podtlak, který zajišťuje nasávání čerpané kapaliny. Z principu funkce je patrné, že konstrukce čerpadla neobsahuje mnoho aktivních mechanických prvků, které by mohly zvyšovat poruchovost. Dále čerpané médium nepřichází do přímého kontaktu s žádnými částmi čerpadla mimo samotné hadice. [6]



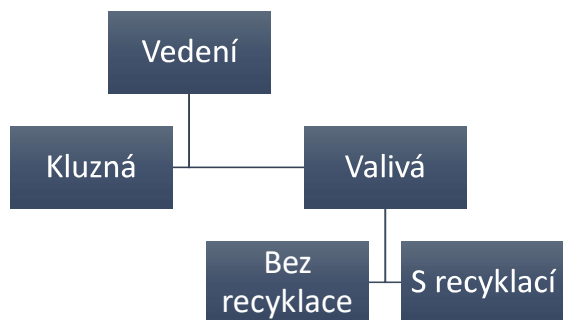
Obrázek 4 Schéma hadicového čerpadla [6]

2.3 Lineární technika

2.3.1 Vedení

Vedení zajišťuje přenos zatížení z vozíku na rám stroje při umožnění jednoho nebo více stupňů volnosti. V praxi se například u soustruhu používají pro uložení supportu. [7]

Vedení lze dělit podle principu funkce dle následujícího schématu: [7]



[7]

2.3.1.1 Kluzná

Kluzná vedení využívají principu tření dvěma tvarovými plochami za nízkého tření. Obvykle je jedna plocha z tvrdšího materiálu než druhá, v praxi např. kalená ocel a bronz. Většinou se třecí plochy navíc mažou tuhými mazacími tuky. [7]

Hlavní výhody tohoto vedení spočívají v jednoduché konstrukci a údržbě. Dále pak ve vysoké únosnosti a malé náchylnosti na vibrace a silové rázy. [7]

Jeden z významných záporů tohoto vedení lze pozorovat v jeho nepřesnosti, která je způsobena vůlí ve vedení (nelze efektivně předepnout) a trhavým pohybem při rozjezdu vozíku. Tento jev je způsoben tím, že při rozjezdu je třeba překonat statické tření. Přesnost vedení lze zvýšit použitím obložení. [7]

2.3.1.2 Valivá

U valivých vedení je pro přenos sil a současného umožnění pohybu využíváno valivých elementů.

Valivé elementy mohou být různých tvarů např.: kuličky, válečky, soudečky a podobně. Dále může být vozík vybaven recyklací valivých elementů.

Hlavní předností valivého vedení je jeho přesnost díky možnosti předepnutí.

Nevýhodami při použití valivého vedení je jeho náchylnost na nečistoty a citlivost na silové rázy, které mohou zdeformovat valivé elementy a tím způsobit nerovnoměrný pohyb vozíku.

2.3.2 Mechanismus pohybu

2.3.2.1 Řemen

Řemenový převod jako takový slouží k přenosu krouťícího momentu mezi dvěma hřídeli, při kterém nemění smysl otáčení. Převod je tvořen dvěma řemenicemi a řemenem, dodatečně může být vybaven napínacím mechanismem. Tento převod vyniká svou jednoduchostí a svými tlumícími vlastnostmi, protože pružný řemen tlumí rázy na vstupní řemenici. [8]

Řemen lze dělit na hladký a ozubený. U hladkých řemenů se využívá k přenosu krouťícího momentu tření mezi samotným řemenem a řemenicí. V případě ozubeného řemenu přibývá k tření také tvarový styk mezi ozubeným řemenem a ozubenou řemenicí. [8]

Pro aplikaci v lineární technice se řemenový převod aplikuje nejčastěji. [8]

2.3.2.2 Řetěz

Řetězový převod je analogický k řemenovému převodu, ale využívá jiné konstrukce k jeho realizaci. Tento převod využívá principu tvarového styku a je tvořen dvěma ozubenými koly a řetězem. Ten je tvořen z dílčích článků spojených dohromady. [8]

2.3.2.3 Kuličkový šroub

Tento převodový mechanismus transformuje otáčivý pohyb šroubu na posuvný pohyb matice nebo obráceně. Daný mechanismus se skládá ze třech základních komponentů: kuličkového šroubu, kuličkové matice a samotných kuliček. [8]

V rámci tohoto převodu lze dělit matice dle samotné konstrukce a systému recyklace kuliček. Z pohledu konstrukce je možné matice rozlišovat na nedělené a dělené. V případě dělených matic lze vyvodit předepnutí a tím zvýšit polohovou přesnost. Dále se dá dělit matice z pohledu recyklace kuliček na matice s recyklací a bez recyklace. [8]

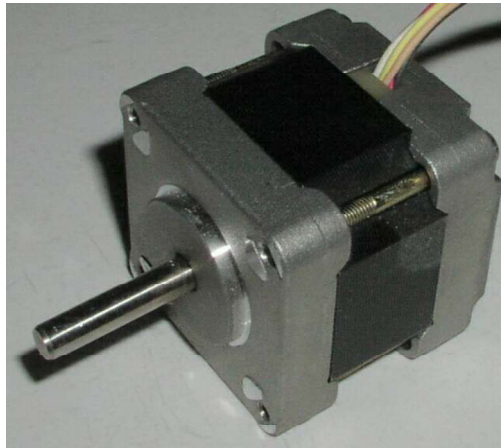
2.3.3 Pohon

2.3.3.1 Krokové motory

Tyto motory fungují na principu rotujícího magnetického pole vytvořeného cívkami. Pomocí driveru, který je zásadní pro funkci krokového motoru, jsou posílány elektrické pulzy do specifických cívek, vytvoří se rotující magnetické pole a tím je rotor uveden do pohybu. Driver také může toto magnetické pole zastavit a tím zastavit také rotor a držet jeho polohu. [9]

Řízení motoru může být buď unipolární nebo bipolární. U unipolárního řízení v jednom okamžiku prochází proud právě jednou cívkou. Takové řízení je velmi jednoduché a má nízký odběr elektrické energie, ale zároveň má při něm motor malý kroutící moment. U bipolárního řízení prochází proud v jednom okamžiku vždy dvěma protilehlými cívkami. Toto řízení má větší odběr elektrické energie a složitější obvod řídicího systému, ale lze díky němu dosáhnout vyšších kroutících momentů. [9]

Řízení u krokových motorů může být bez zpětné vazby (open loop) nebo zpětnovazební (closed loop). U zpětnovazebního řízení je motor vybaven enkodérem, který posílá informace o poloze hřídele rotoru zpět do řízení (driveru) a ten zpětně vyhodnotí, zda motor vykonal pootočení o požadovanou hodnotu. Pokud dojde k chybě pootočení, tak driver chybu zpětně opraví. [9]

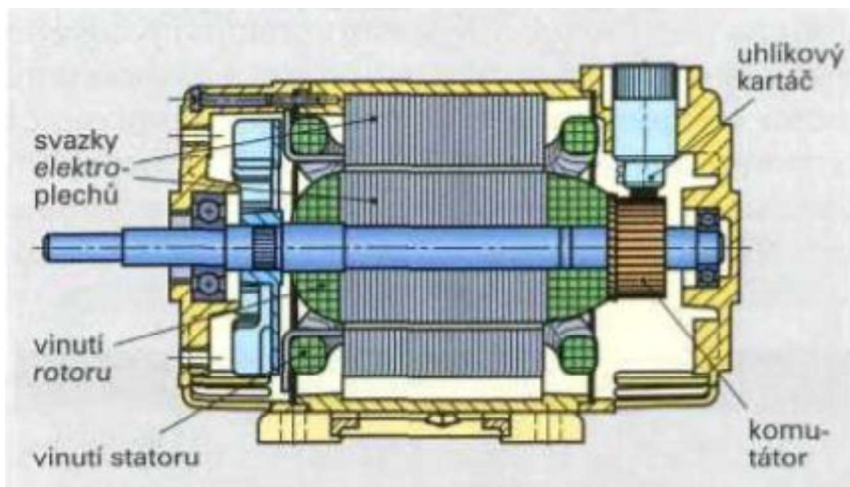


Obrázek 5 Krokový motor [9]

2.3.3.2 Servomotory

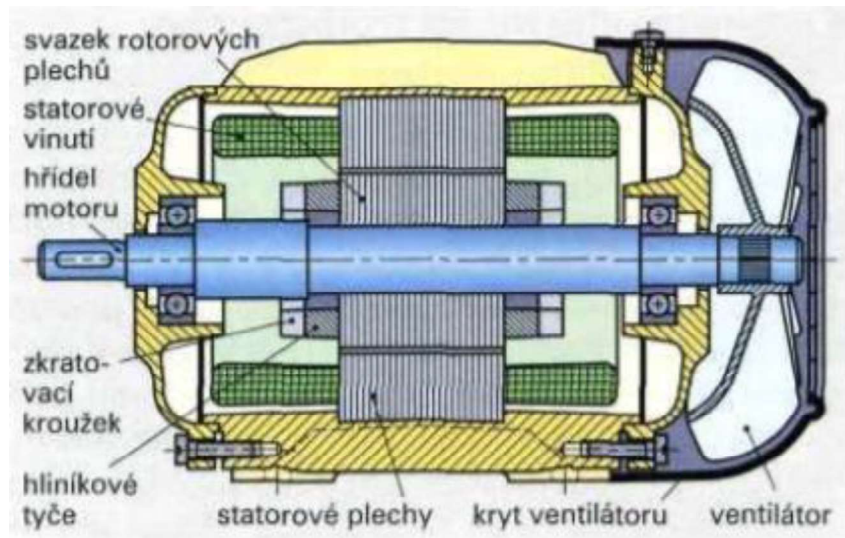
Servomotor je ve své podstatě synchronní nebo asynchronní motor na střídavé elektrické napětí, u kterého je možné řídit úhel natočení hřídele, rychlost a jeho zrychlení. [10]

U synchronního motoru má rotor stejný počet pólů jako stator a otáčí se synchronně s otáčkami magnetického pole vytvořeného státorem. Z konstrukčního hlediska se oproti asynchronního motoru liší tím, že obsahuje komutátor a uhlíkový kartáč. Tyto dva prvky jsou podstatné pro změnu magnetického pole, pokud se rotor při svém otáčení dostane do takzvané mrtvé polohy. [10]



Obrázek 6 Schéma synchronního motoru [10]

Princip funkce asynchronního motoru je v tří fázovém budícím vinutí na statoru, které jsou vůči sobě natočeny po obvodu o 120° . Při připojení trojfázového střídavého proudu vytváří stator točivé magnetické pole. Toto budící magnetické pole indukuje v hliníkových tyčích klecového rotoru proudy, které vytvářejí magnetické pole rotoru a síly působící na rotor jej roztočí. Rotor se pak otáčí s nepatrným skluzem za točivým polem statoru. Díky tomuto řešení není potřeba komutátor a uhlíkový kartáč pro přenos elektrické energie na rotor. [10]



Obrázek 7 Schéma asynchronního motoru [10]

Řízení motoru se provádí pomocí frekvenčního měniče střídavého elektrického napětí a enkodérem na hřídeli. [10]

3 Praktická část

3.1 Popis zadání

Smyslem této práce je aplikace technologie 3D tisku do stavebního průmyslu, tedy tištěním stavebních hmot vytvářet různé prefabrikáty, dekorace a podobně. Konkrétně v tomto případě je použit materiál na bázi geopolymeru. Účelem bylo, aby 3D tiskárna byla, pokud možno, co nejjednodušší a při konstrukci by měly být použity především nakupované díly. Dále by měla být jedna strana tiskárny přístupná tak, aby bylo možné do tiskového prostoru umístit palety, na které následně bude proveden tisk. V návaznosti na tuto podmínku je potřeba manipulovat s vytisknutými objekty na paletách pomocí vysokozdvíhného vozíku. Tiskový prostor by měl být přibližně tři metry ve směru osy Y a dva metry ve směru os X a Z.

3.1.1 Geopolymer

Geopolymerace nastává tehdy, pokud je aluminosilikátový materiál v kontaktu s alkalickým roztokem o vysokém pH ($\text{pH} > 12$). Počáteční tvorba geopolymeru zahrnuje alkalickou hydrolyzu a rozpouštění aluminosilikátu, přičemž dochází k uvolňování $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{SiO}(\text{OH})_3]^-$ a $[\text{SiO}_2(\text{OH})_2]^{2-}$ iontů. [11]

Rozpouštění amorfních aluminosilikátů za vysokého pH je rychlé, proto rychle dochází k tvorbě přesyceného aluminosilikátového roztoku. Monomerní složky $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{SiO}_2(\text{OH})_2]^{2-}$ a $[\text{SiO}(\text{OH})_3]^-$ v kapalně fázi mezi sebou kondenzují a v koncentrovaném roztoku se tvoří gel, přičemž se uvolňuje voda, která byla spotřebována během rozpouštění. Voda má funkci reakčního média, poté přechází do pórů uvnitř gelu. Doba potřebná pro vytvoření souvislého gelu značně závisí jak na složení směsi, tak i na podmínkách syntézy. Po fázi tvorby gelu systém pokračuje v uspořádávání a reorganizaci, propojení gelové sítě se zvyšuje, což má za následek vznik aluminosilikátové struktury geopolymerů. Tyto procesy strukturální reorganizace určují konečnou mikrostrukturu a distribuci pórů v materiálu, což je rozhodující pro výsledné vlastnosti. [11]

Mechanismus geopolymerace je složitý, avšak lze jej rozdělit na tři hlavní fáze: (1) rozpouštění aluminosilikátových surovin v zásaditém roztoku, (2) orientace rozpuštěných složek a (3) polykondenzace – tvorba zesíťované gelové struktury. Protože je proces geopolymerace exotermní reakcí, může být monitorován za pomoci kalorimetru. Proces zahrnuje tyto tři fáze: (1) počáteční rychlé rozpouštění, které je výrazně exotermní, (2) dále následuje indukční perioda, při které rychlost vývinu tepla klesá a (3) nakonec proběhne exotermní reakce, kdy

dochází k precipitaci materiálu, a poté rychlost vývinu tepla opět klesá. Vývin tepla je závislý na koncentraci alkalického aktivátoru, na teplotě okolí a poměru vody a tuhé fáze. S rostoucí koncentrací alkálií a s rostoucím poměrem vody a tuhé fáze se indukční perioda prodlužuje a celkový vývin tepla roste. [11]

Rozpuštěné a hydrolyzované složky kondenzují a vytváří amorfni až semikrystalickou trojrozměrnou strukturu (viz Obrázek 2-2) typu poly(sialát) ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-$), typu poly(sialát-siloxonát) ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$), typu poly(sialát-disiloxonát) ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$) a strukturu typu poly(silát-multisiloxonát). Sialát je zkratka pro silicon-oxoaluminate. Řetězec sialátu totiž sestává z SiO_4 a AlO_4 tetraedrů střídavě spojených v rozích kyslíky. Kladné ionty (Na^+ , K^+ , Li^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , NH_4^+ a H_3O^+) ve struktuře geopolymeru vyrovnávají negativní náboj $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$. [11]

Pokud srovnáme geopolymer s betonem, který je nejpoužívanějším materiálem ve stavebním průmyslu, tak zjistíme, že geopolymery mají po vytvrnutí mnohem lepší mechanické vlastnosti. Pokud se zaměříme na pevnost v tlaku, tak zjistíme:

❖ Beton

- Velikost testovaného objektu 150 x 150 x 150 mm
- Pevnost v rozsahu 3,5 až 43 MPa

❖ Geopolymer

- Velikost testovaného objektu 20 x 20 x 100 mm [11]
- Pevnost v rozsahu 4,1 až 15,5 MPa [11]

3.2 Varianty řešení

3.2.1 Dávkování materiálu

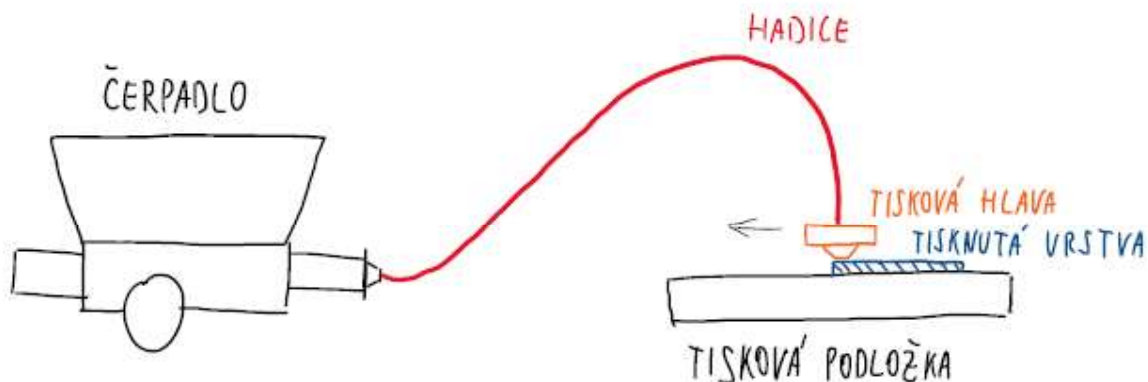
3.2.1.1 Přímé

U přímého dávkování materiálu je použito pouze jedno čerpadlo, které je stacionární a podává materiál do hadice, ze které je materiál nanášen přes trysku na tiskové hlavě přímo na tiskovou podložku.

Taková konstrukce vyniká hlavně svou velmi jednoduchou konstrukcí a jednoduchým řízením. Zároveň je možné takovýto systém rychleji rozebrat a následně čistit.

Jako hlavní nevýhody zde vystupují například nepřesné dávkování a setrvačnost tlaku v hadici podávacího systému. To znamená, že při zastavení dávkovacího čerpadla, nedojde k okamžitému zastavení výtoku materiálu z trysky, ale materiál po určitou dobu stále vytéká. Také může dojít při použití příliš řídkého materiálu k vyprázdnění hadice po zastavení podávacího čerpadla. Další nevýhodou je také možnost použití tohoto řešení v užším rozsahu hustot materiálů.

Schéma tohoto systému je naznačeno zde:



Obrázek 8 Schéma přímého vytlačování

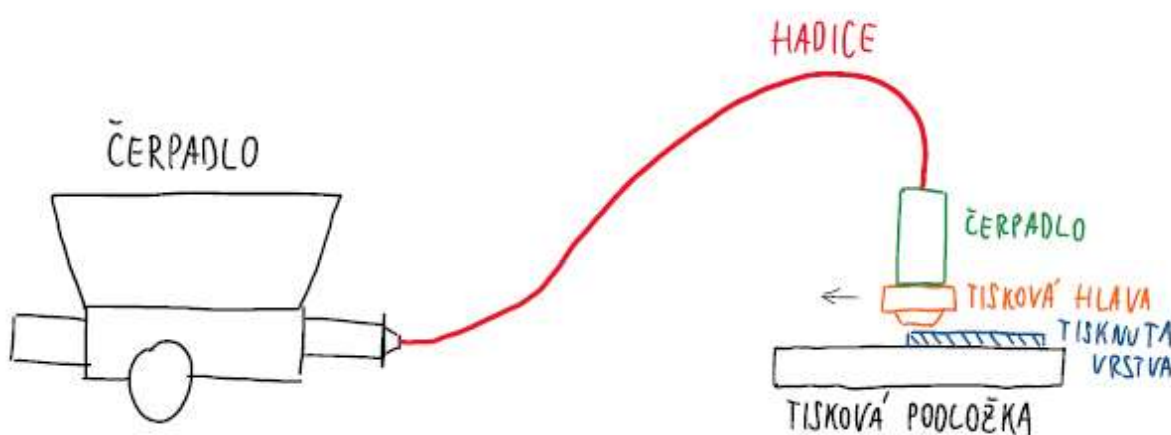
3.2.1.2 Nepřímé

V případě nepřímého materiálu jsou použity dvě čerpadla, jedno stacionární podávací a jedno dávkovací umístěné v tiskové hlavě. Podávací čerpadlo slouží k udržování určité hladiny materiálu uvnitř zásobníku dávkovacího čerpadla.

Mezi hlavní přednosti této konstrukce patří hlavně přesné dávkování a možnost použití materiálů v širším spektru hustot. Dávkování je v tomto případě možné dodatečně regulovat a při zastavení tisku nedochází k tak velkému úniku materiálu z trysky.

Hlavní nevýhodou v tomto konstrukčním řešení je jeho složitost. Je třeba použít dvě čerpadla, která musí být napojena na jednotný systém řízení. Hlavní je v tomto případě řídit chod podávacího čerpadla tak, aby byla udržována určitá zásoba materiálu v tiskové hlavě. Další nevýhodou je horší čištění celého systému díky jeho složitosti.

Schéma tohoto systému je naznačeno zde:



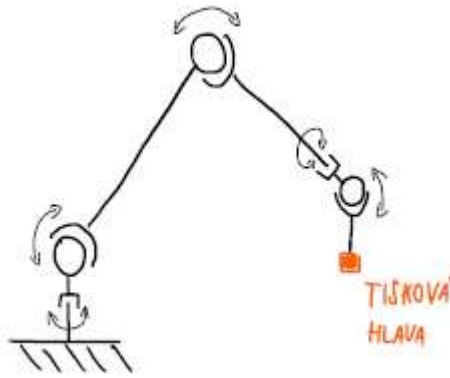
Obrázek 9 Schéma nepřímého vytlačování

3.2.2 Konstrukce rámu

3.2.2.1 Robotické rameno

Rám v podobě robotického ramena vychází z použití průmyslového robota jako „rám“. Na konci ramene průmyslového robota je umístěno vytlačovací zařízení a rameno vykonává všechny potřebné pohyby pro tisk.

Schéma tohoto řešení je uvedeno na následujícím obrázku:



Obrázek 10 Princip funkce robotického ramene

Výhodou je zde jednoduchost ve smyslu, že na trhu je hotové katalogové řešení, které není třeba nijak dodatečně upravovat a přizpůsobovat. Je třeba pouze definovat zadání pro dodavatele (dynamika, řízení a podobně) a ten vybere nejvhodnější řešení z katalogu. Dále je výhodou velmi dobrá dynamika průmyslového robota.

Hlavní nevýhodou v tomto případě je vysoká pořizovací cena a druhotné náklady na provoz. Standardní řídicí systémy průmyslového robota nejsou schopné nahrát program pohybu pomocí gcode souboru a je třeba specializovaných softwarů pro postprocesing celého programu. Dále je nevýhodou skutečnost, že při tištění vzdálených perimetrů ve vyšších výškách může dojít ke kontaktu ramene s tištěným objektem a jeho destrukci.

3.2.2.2 Cube konstrukce

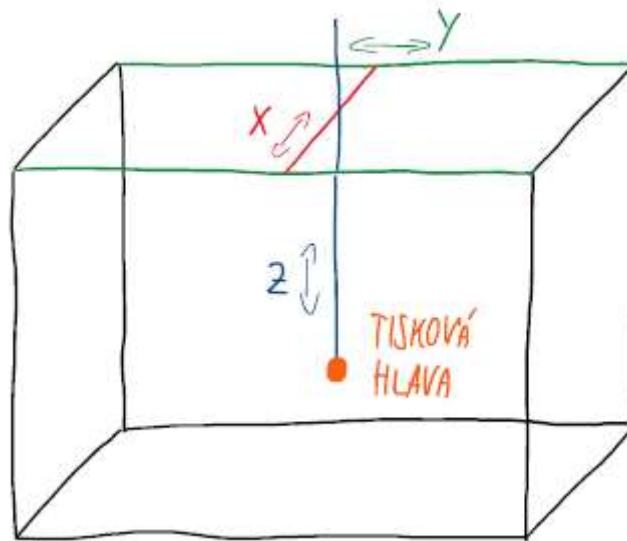
V tomto případě je rám stroje tvořen složenou konstrukcí za použití lineárních jednotek a spojovacích profilů. Takto složený rám ve finální podobě tvoří uzavřený celek většinou ve tvaru kostky.

Z hlediska uspořádání jednotlivých os lze tuto konstrukci rozdělit do dvou podskupin:

3.2.2.2.1 Osa Z tvořena výsuvným pilonem

V případě tohoto řešení je osa Y stacionární a umístěna v horní části rámu. Může dokonce tvořit část rámu stroje. Osa X je unášena vozíky osy Y a tvoří příčku mezi nimi. Vozík osy Z je spojen s vozíkem osy X a vedení osy Z tvoří výsuvný pilon, na jehož konci je umístěn systém vytlačování materiálu.

Schéma tohoto řešení je uvedeno na následujícím obrázku:



Obrázek 11 Cube konstrukce s výsuvným pilonem

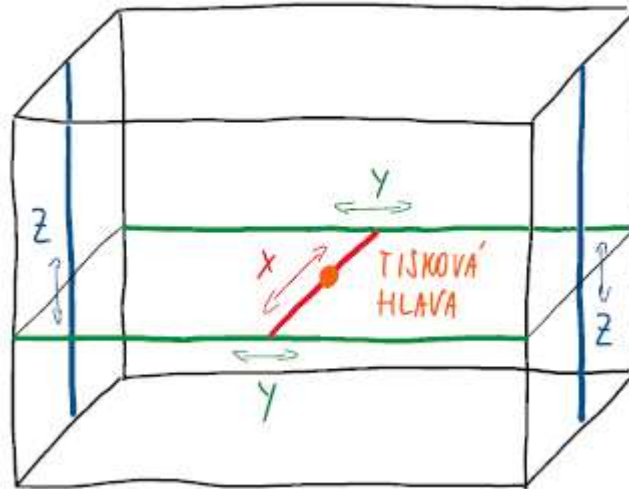
Výhodou je menší pořizovací cena oproti řešení s pohyblivým subrámem z důvodu menšího počtu lineárních jednotek. Zároveň oproti tomuto řešení je toto konstrukčně jednodušší.

Toto řešení je ovšem nevhodné pro aplikaci ve velkém měřítku, řádově v jednotkách metrů. V tomto případě má pilon dlouhý výsuv v dolní poloze (například dva metry) a při pohybu stroje může docházet k poměrně velkým výkyvům (v řádu desítek milimetrů). To následně vede ke snížení kvality výtisku z důvodu vnesené tvarové a rozměrové nepřesnosti. Dále lze podotknout, že při výsuvu pilonu osy Z do horní polohy je třeba zajistit dostatečný prostor nad rámem pro pilon.

3.2.2.2.2 Osa Z tvořena pohyblivým subrámem

Toto řešení spočívá v rozdělení konstrukce na rám a subrám. Subrám je tvořen dvě osami Y a jednou osou X, která je na obou koncích spojena s vozíky os Y a tvoří mezi nimi příčku. Rám stroje je tvořen konstrukcí například z hliníkových profilů, na které jsou přidělané lineární jednotky osy Z. Subrám je přidělán na vozíky osy Z a celý se pohybuje ve vertikálním směru.

Schéma tohoto řešení je uvedeno na následujícím obrázku:



Obrázek 12 Cube konstrukce s pohyblivým subrámem

Takové řešení nabízí vysokou tuhost a v porovnání s předchozím řešením může nabídnout vyšší dynamiku. Zároveň je možné zde dosáhnout vyšších přesností tisku.

Záporem v tomto případě je především vyšší pořizovací cena. Dále je toto řešení komplikovanější a vyžaduje delší čas na jeho samotnou konstrukci.

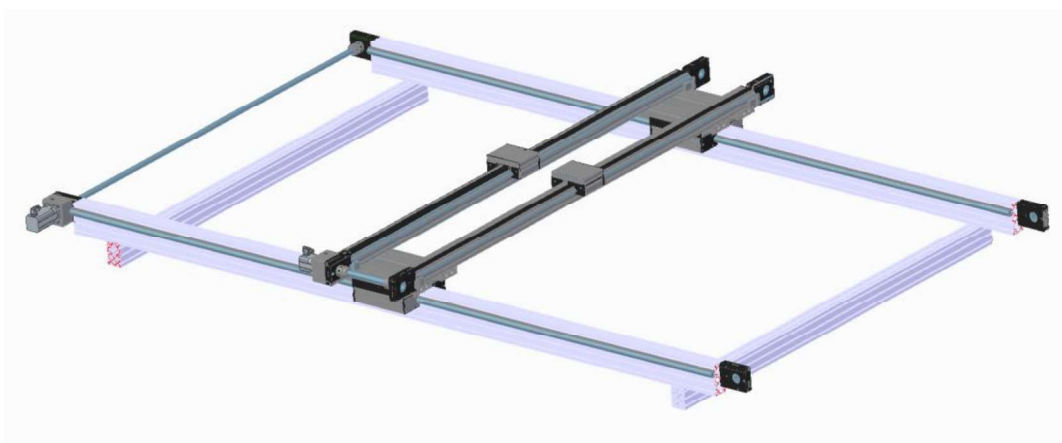
3.3 Popis zvolené varianty řešení

3.3.1 Rám stroje

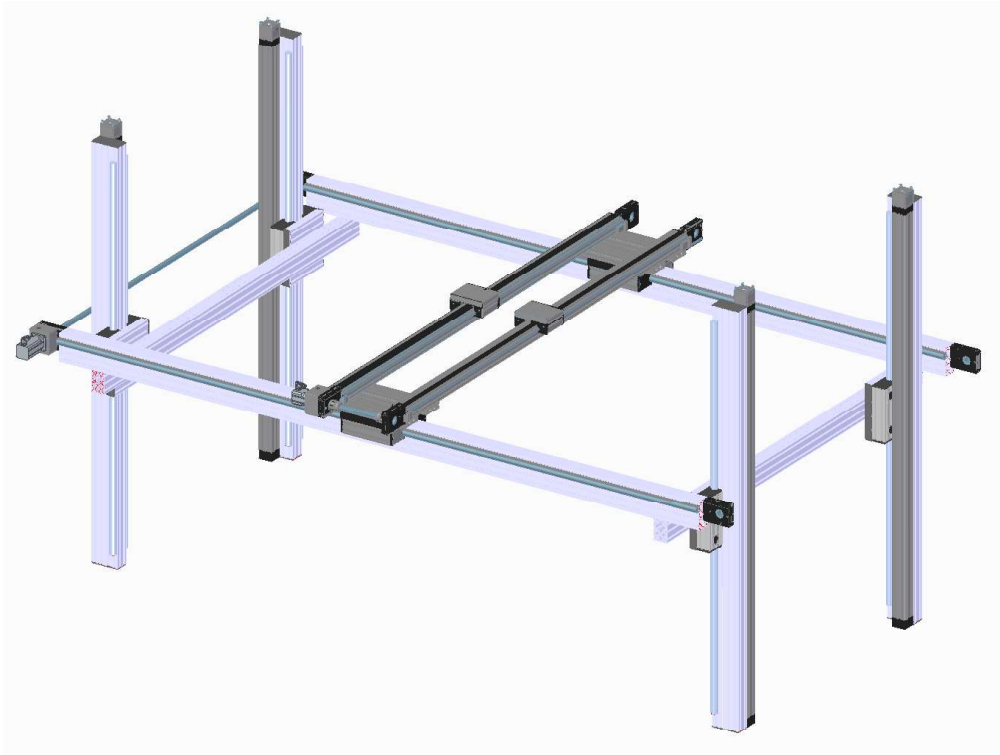
Návrh konkrétní konstrukce rámu probíhala ve spolupráci s dodavatelem celého rámu.

Rám stroje je tvořen vnějším rámem a vnitřním subrámem, který se uvnitř pohybuje ve vertikálním směru. Vnější rám tedy nese osu Z a vnitřní subrám osu X a Y. Rám jako takový je vytvořený z hliníkových profilů a lineárních jednotek od firmy Haberkorn. Pro zesílení konstrukce jsou použity úhelníky v rozích rámu. Lineární jednotky jsou dimenzovány výrobcem tak, aby byly schopné zvládnout dynamické zatížení od hmotnosti břemena až 50 kg při rychlosti maximálně 150 mm/s. Pro případ výpadku napájení a nefunkčnosti brzd na motorech osy Z jsou na rámu umístěny dorazy, které v případě pádu subrámu mají ochránit celý stroj před sebedestrukci.

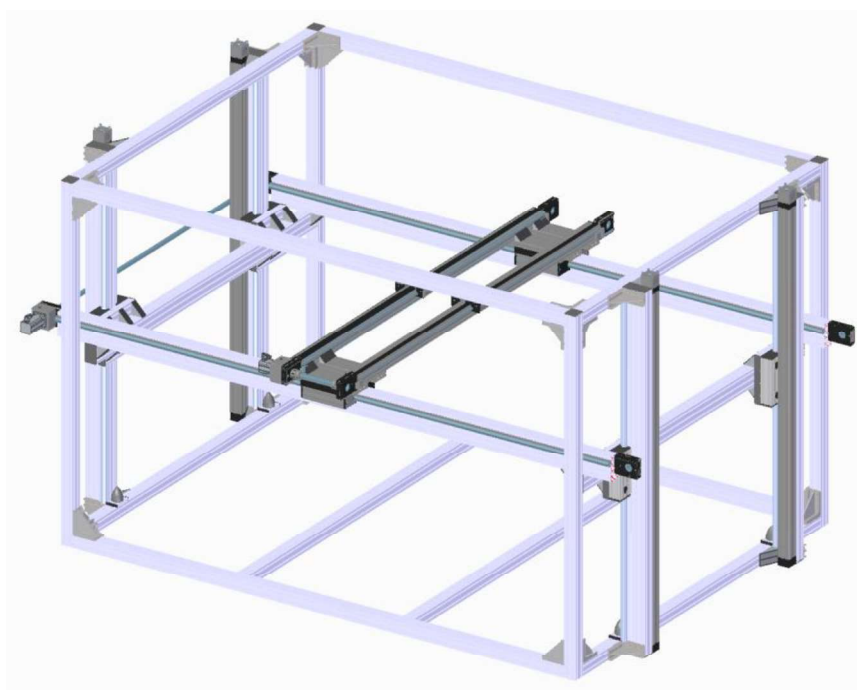
Osa X a Y je tvořena dvěma identickými lineárními jednotkami, které jsou spojeny hřídelí s pružnými spojkami. Toto řešení je zavedené z důvodu zajištění plynulého pohybu samotné osy. Zabrání totiž křížení osy při jejím pohybu.



Obrázek 13 CAD snímek subrámu



Obrázek 14 CAD snímek subrámu s osou Z

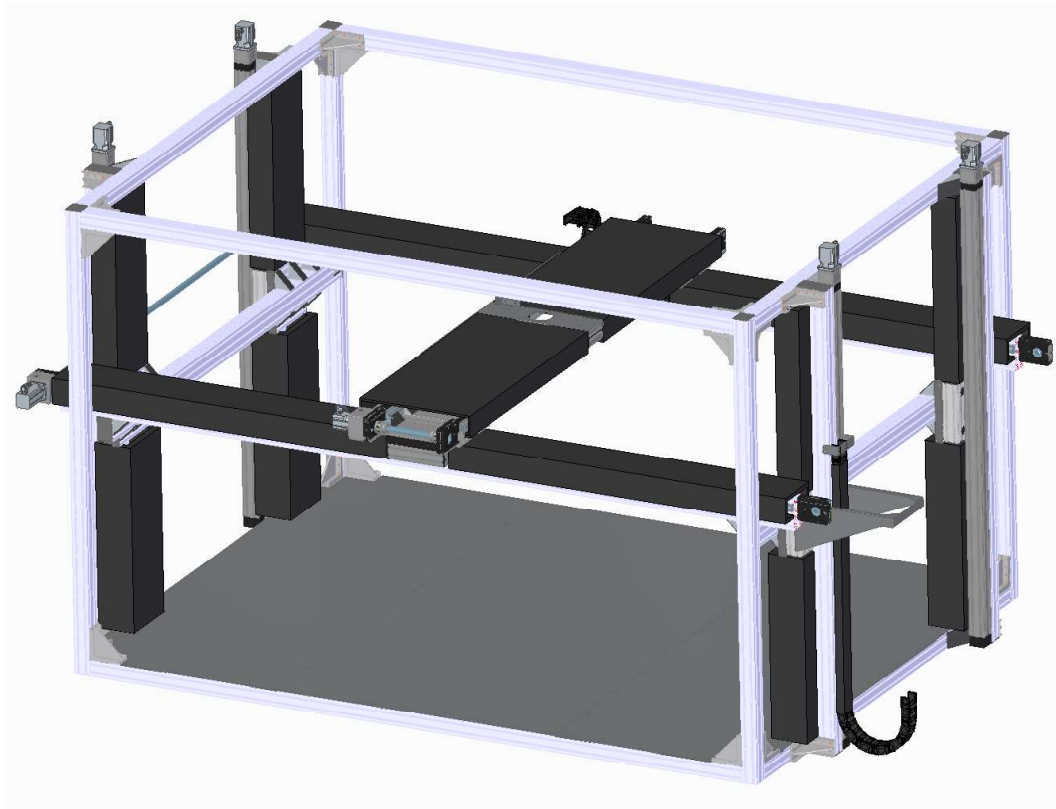


Obrázek 15 CAD snímek celé konstrukce

Pro vedení veškeré kabeláže mezi pohyblivými členy jsou použity energořetězy vedeny v plechových žlabcích a kabelová vlečka. Pro spolehlivé vedení kabelů po hliníkových profilech jsou kabely zasunuty do drážek v hliníkových profilech a drážky jsou zaslepeny plastovými

páskami. V případě kabelů, které se nevejdou do drážek, jsou použity speciální kabelové přichytky umístěné v drážkách hliníkových profilů.

Kvůli zajištění dobré funkce a dlouhé životnosti všech lineárních jednotek jsou všechna vedení zakrytována pryžovými měchy.



Obrázek 16 CAD snímek celé konstrukce s krytováním, energořetězy a dalšími doplňky

3.3.2 Řídicí systém a pohony

Pro pohon jednotlivých os byly na doporučení dodavatele zvoleny servomotory s absolutním enkodérem. Servomotory pro osu Z jsou navíc vybaveny statickou brzdou, která je při výpadku napájení schopna udržet subrám na místě a tím zabránit pádu tohoto subrámu.

Pro zvýšení bezpečnosti a větší zajištění stroje proti sebezničení je každá osa také vybavena na každém konci indukčním provozním koncovým snímačem a havarijním mechanickým koncovým dorazem. V případě nárazu vozíku lineární osy do mechanického dorazu systém zaznamená větší proudový odběr a vypne příslušný motor.

Centrální řídicí jednotka celého systému je umístěna uvnitř stíněného rozvaděče společně s drivery pro jednotlivé motory. Dále je systém vybaven ovládacím pultem s dotykovou obrazovkou a joystickem pro snadnější obsluhu celého stroje. Řídicí jednotka je schopna plně manuálního režimu řízení, nebo automatického tisku ze souborů s příponou Gcode, ze kterých

tisknou také malé stolní 3D tiskárny například Prusa MK3. Během automatického tisku lze upravovat rychlost pohybů os a extruze, což umožňuje přesné nastavení tisku na základě lokálních podmínek.

3.3.3 Dávkování materiálu

Pro dávkování tiskového materiálu byl zvolen princip nepřímého podávání s koncovým dávkovacím extruderem. Podávací vřetenové čerpadlo pod vysokým tlakem podává materiál do koncového šnekového extruderu, který poté přesně dávkuje materiál tryskou na tiskovou podložku.

Extruder je konstruován tak, aby byl schopen mít zásobu alespoň 10 kg materiálu pro tisk. Určité stálé množství materiálu je v extruderu udržováno pomocí dvou ultrazvukových snímačů umístěných na vnější stěně extruderu. Šnek zajišťující podávání materiálu je standardizovaný. Celý extruder je konstruován tak, aby po ukončení tisku byla možná jeho rychlá demontáž a následné čištění. Z tohoto důvodu je tvořen pouze ze dvou hlavních částí spojených rychloupínacími prvky.

Konstrukce podávacího vřetenového čerpadla vychází z čerpadel pro tlakové omítací stroje, kdy se za použití čerpadla pod tlakem stříká omítací hmota na zdi stavby. Toto čerpadlo bylo upraveno vyplastováním násypky pro její lepší čištění a déle došlo k výrobě dílů vycházejících z původní konstrukce pro použití potřebného vřetene. Vřeteno bylo určeno z katalogu na základě dat z výpočtů a z doporučení dodavatele materiálu.

Sestava nových dílů se skládá z podložky, stahovací příruby, trysky a dvou matic.

Podložka slouží k vymezení různých průměrů mezi opěrným místem původního vřetena a dosedacím místem nového vřetena. Zároveň vřeteno vystředuje a drží jeho polohu.

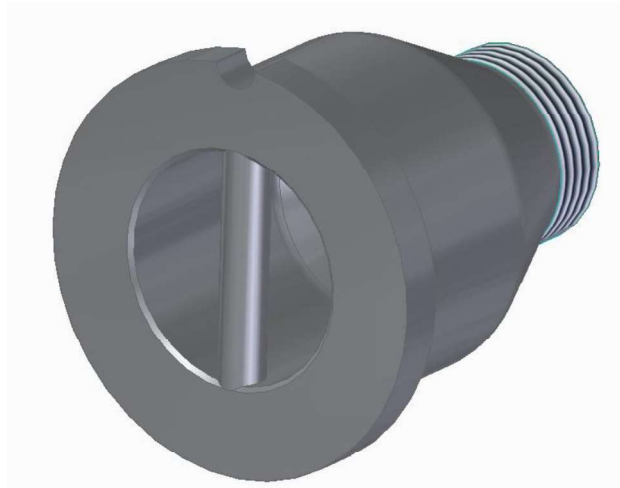


Obrázek 17 CAD snímek podložky

Tryska je přiložena na výtlačnou část vřetena a na konci je opatřena vnějším závitem, na který se následně našroubuje betonářská rychlospojka. Ve výtlačném místě vřetena musí být tryska opatřena prvkem, který při zaseknutí materiálu ve vřetenovém mechanismu čerpadla zabrání vřetenu zašroubování dovnitř a tím i k poškození gumového těla čerpadla. Tento prvek tvoří kus kulatiny připevněného na své místo pomocí koutového svaru. Síla stěny trysky je volena na základě předešlého výpočtu síly stěny.



Obrázek 18 CAD snímek trysky – přední pohled



Obrázek 19 CAD snímek trysky – zadní pohled

Stahovací příruba slouží ke stažení vřetena a všech vyrobených součástí do sebe a tím vytvoření celku. Zároveň tato příruba vystředuje polohu trysky vůči vřetenu a tohoto celku vůči podložce.



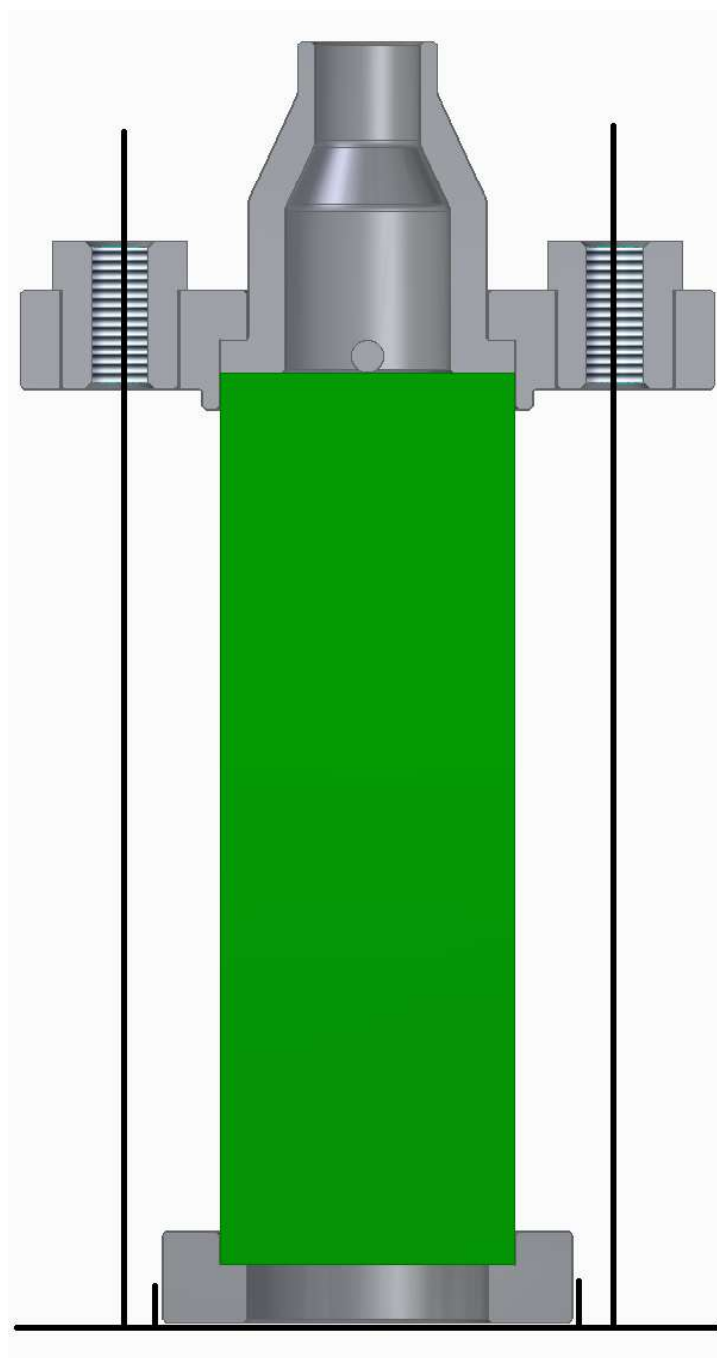
Obrázek 20 CAD snímek – stahovací příruby

Pár matic usazuje přírubu na svém místě a zajišťuje tak správnou polohu stahovací příruby. Matice jsou speciálně upraveny tak, aby vytvořily spolehlivý šroubový spoj bez nutnosti úpravy délky závitu na stávajícím těle čerpadla.



Obrázek 21 CAD snímek – matice

Výsledná sestava vypadá takto:



Obrázek 22 CAD snímek celé sestavy včetně

3.4 Výpočty pro návrh úpravy podávacího čerpadla

Pro návrh všech komponentů bude použita klasická konstrukční ocel S235J2G3, kde je určena mez kluzu 230 MPa.

Pokud bude potřeba u výpočtu uvažovat bezpečnost, musí daná komponenta splňovat bezpečnost alespoň 3.

3.4.1 Výpočet čerpacího tlaku

Pro tento výpočet je použito vztahů pro výpočet tlakového spádu v potrubí. Výsledný tlak, který bude muset čerpadlo vyvinout, musí být větší než tlakový spád. Při proudění kapaliny potrubím dochází ke ztrátě tlaku, který žene kapalinu vpřed potrubím, což je způsobené třením kapaliny o stěny potrubí a také samotným třením uvnitř kapaliny.

Pro výpočet tlakového spádu lze použít tuto základní rovnici:

$$p_{sp} = \frac{\lambda}{d} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot l \quad (1)$$

Kde:

- λ je součinitel tření [-]
- d je vnitřní průměr potrubí [m]
- ρ je hustota čerpané kapaliny [kg/m³]
- w je rychlost proudění kapaliny [m/s]
- l je délka potrubí [m]

Čerpaným materiálem je geopolymer. Pro výpočet je třeba znát jeho hustotu a kinematickou viskozitu. Hustota je přibližně 2200 kg/m³ a kinematická viskozita je přibližně 0,0000125 m²/s.

K výpočtu z této rovnice je třeba dopočítat součinitel tření a rychlost proudění kapaliny.

Pokud známe dynamiku stroje a charakteristický rozměr jedné vrstvy, lze dopočítat rychlost proudění kapaliny.

Vrstva má být přibližně široká $a = 35$ mm, vysoká $b = 20$ mm a rychlost pojezdu tiskové hlavy je $v = 150$ mm/s. Z těchto informací lze dopočítat množství materiálu potřebného za jednu sekundu:

$$\frac{V}{s} = a \cdot b \cdot v \quad (2)$$

Nyní musí platit, že z trysky o průměru $d = 25$ mm bude dodáváno stejné množství materiálu:

$$\frac{V}{s} = w \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (3)$$

Po úpravě a dosazení rovnice (2) dostaneme vztah pro rychlost proudění:

$$a \cdot b \cdot v \cdot \frac{4}{\pi \cdot d^2} = w \quad (4)$$

$$w = 35 \cdot 20 \cdot 150 \cdot \frac{4}{\pi \cdot 25^2}$$

$$w = 213,9 \text{ mm/s}$$

Následně je třeba stanovit dílčí veličinu, Reynoldsovo číslo, které je zásadní pro zjištění, zda jde o laminární nebo turbulentní proudění. Reynoldsovo číslo lze stanovit z následujícího vztahu:

$$R_e = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (5)$$

Kde:

- w je rychlost proudění [m/s]
- d je průměr [m]
- ν je kinematická viskozita [m^2/s]

$$R_e = \frac{0,2139 \cdot 0,025}{0,0000125}$$

$$R_e = 429,47$$

Z výsledku lze určit, o jaký typ proudění se jedná. K tomu slouží následující rozdělení:

- Laminární proudění $R_e \leq 2320$
- Přejícná oblast $2320 < R_e < 4000$
- Turbulentní proudění $R_e \geq 4000$

Dle výsledku z výpočtu vyplývá, že v tomto případě se jedná o laminární proudění. Pro toto proudění je možno určit součinitel tření následovně:

$$\lambda = \frac{64}{R_e} \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{64}{429,47}$$

$$\lambda = 0,15$$

V této fázi jsou vypočteny všechny potřebné veličiny a lze se vrátit k původnímu vztahu (1), který je potřebný pro volbu vřetena pro čerpadlo:

$$p_{sp} = \frac{\lambda}{d} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot l$$

$$p_{sp} = \frac{0,15}{0,025} \cdot 2200 \cdot \frac{0,2139^2}{2} \cdot 10$$

$$p_{sp} = 3020 \text{ Pa} \rightarrow p_{sp} = 3100 \text{ Pa} \rightarrow p_{sp} = 31 \text{ bar}$$

3.4.2 Výpočet síly stěny výměnného šroubení

V konstrukci podávacího čerpadla je třeba navrhnout výměnné šroubení, které bude možné měnit na základě případné výměny průměru hadice. Šroubení bude přiloženo na tlakovém konci vřetena a drženo uvnitř příruby stažené dvěma šrouby na samotné vřeteno.

Tato úloha je analogická s výpočtem tlustostěnné rotačně symetrické otevřené válcové nádoby. Pro tento výpočet je nejprve třeba určit integrační konstanty:

$$D_1 = \frac{p_1 \cdot r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \quad (1)$$

$$D_2 = \frac{p_1 \cdot r_1^2 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \quad (2)$$

Kde:

- p_1 je vnitřní tlak [Pa]
- r_1 je vnitřní průměr [m]
- r_2 je vnější průměr [m]

Z pravidla při namáhání tlustostěnné rotačně symetrické otevřené válcové nádoby vzniká nejvyšší napětí na vnitřním průměru nádoby. Pro výpočet radiálního a tečného napětí je třeba použít následující vztahy:

$$\sigma_{r(r_1)} = D_1 - \frac{D_2}{r_1^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{t(r_1)} = D_1 + \frac{D_2}{r_1^2} \quad (4)$$

V prvotním návrhu trysky byla síla stěny odhadnuta na 10 mm, kdy vnitřní průměr je 50 mm. Vnější průměr je tedy 70 mm.

Po dosazení integračních konstant do těchto vztahů (3) (4) a následně dosazením všech potřebných veličin získáme potřebná tečná a radiální napětí:

$$\sigma_{r(r_1)} = \frac{p_1 \cdot r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{p_1 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \quad (5)$$

$$\sigma_{r(r_1)} = \frac{3100 \cdot 0,05^2}{0,07^2 - 0,05^2} - \frac{3100 \cdot 0,07^2}{0,07^2 - 0,05^2}$$

$$\sigma_{r(r_1)} = -3100 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{t(r_1)} = \frac{p_1 \cdot r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{p_1 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \quad (6)$$

$$\sigma_{t(r_1)} = \frac{3100 \cdot 0,05^2}{0,07^2 - 0,05^2} + \frac{3100 \cdot 0,07^2}{0,07^2 - 0,05^2}$$

$$\sigma_{t(r_1)} = 9558,3 \text{ Pa}$$

V posledním kroku bude spočítáno redukované napětí dle hypotézy HMMH:

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \cdot \sigma_t} \quad (7)$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{-3100^2 + 9558,3^2 - (-3100) \cdot 9558,3}$$

$$\sigma_{RED} = 11428,1 \text{ Pa} \rightarrow \sigma_{RED} = 0,0114 \text{ MPa}$$

Díky tomuto napětí je možné určit bezpečnost této konstrukce:

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{RED}} \quad (8)$$

$$k = \frac{230}{0,0114}$$

$$k = 20175,5$$

3.4.3 Výpočet průměru hřídele unašeče vřetena

Pro úpravu čerpadla je třeba spočítat průměr hřídele unašeče tak, aby byla schopná přenést maximální kroutící moment z motoru s převodovkou.

Pokud víme, že motor má 4,5 kW při otáčkách 1000 ot/min a převodový poměr převodovky je 5, lze zjistit kroutící moment z následujícího vztahu:

$$M_k = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \cdot i \quad (1)$$

Kde:

- P je výkon motoru [W]
- n jsou otáčky [ot/min]
- i je převodový poměr

Nyní je třeba zmínit vztah pro výpočet modulu průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad (2)$$

Pro napětí v krutu platí:

$$\sigma = \frac{M_k}{W_k} \quad (3)$$

Zároveň musí platit že:

$$\frac{R_e}{k} \geq \sigma \quad (4)$$

Po dosazení rovnic (1) (2) (3) do této rovnice (4) získáme:

$$\frac{R_e}{k} \geq \frac{\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}}}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} \quad (5)$$

Po úpravě získáme vztah pro výpočet minimálního průměru hřídele:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot P \cdot k \cdot i}{2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{n}{60} \cdot R_e}} \quad (6)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4500 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{1000}{60} \cdot 230000000}}$$

$$d \geq 0,024 \text{ m} \rightarrow d = 25 \text{ mm}$$

3.5 Návrh testů stroje

Pro zajištění dobrého fungování stroje je třeba zjistit pomocí testů správné nastavení pro tisk. Zadání definuje požadovanou rychlost tisku, na kterou je třeba zjistit konfiguraci ostatních parametrů jako třeba rychlost vytlačování materiálu v závislosti na výšce vrstvy materiálu.

Dalším důležitým faktorem je zjistit celkové chování materiálu na bázi geopolymery při 3D tisku. Tento materiál není v tomto odvětví příliš vyzkoušen a je třeba zjistit jeho chování a následně vlastnosti vytištěného objektu.

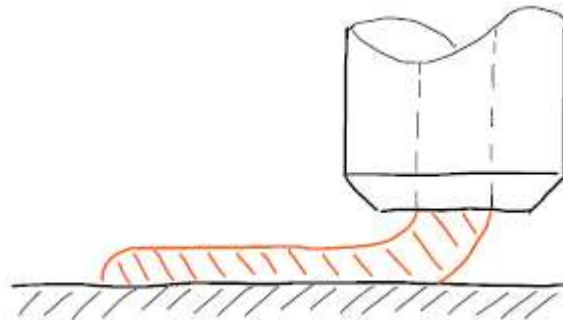
Dále je třeba zjistit, zda je volba nepřímého systému vytlačování správná, nebo je pro tento případ možné použít i přímý systém vytlačování.

3.5.1 Výška vrstvy a rychlost vytlačování

V tomto testu je třeba zjistit závislost rychlosti vytlačování materiálu na výšce vrstvy. Zároveň je třeba zjistit, jestli je pro materiál příznivější „tažení“ materiálu nebo „hromadění“.

3.5.1.1 Tažení materiálu

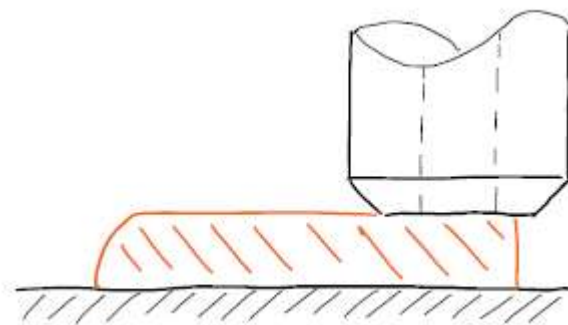
Při tomto tisku dochází k rovnoměrnému podávání materiálu na podložku, kdy vytlačený materiál má přibližně v průřezu tvar kruhu o stejném průměru jako je vnitřní průměr trysky. Materiál není nijak stlačován.



Obrázek 23 Princip tažení materiálu

3.5.1.2 Hromadění materiálu

Při tomto tisku dochází k rovnoměrnému podávání materiálu na podložku, kdy vytlačený materiál se hromadí pod tryskou a je vytlačován do stran. Čelní strana trysky je ve stálém kontaktu s materiálem, který přitiskává k podložce a zároveň uhlazuje vrchní stranu vrstvy.



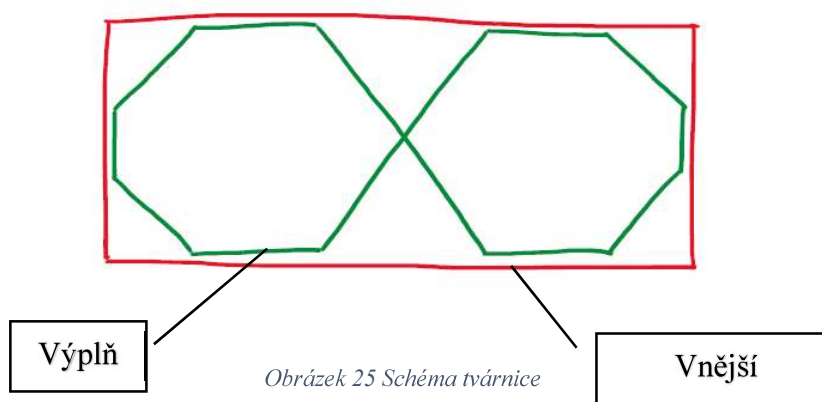
Obrázek 24 Princip hromadění materiálu

3.5.2 Zkoušky tisku různých tvarů

Je třeba vyzkoušet kvalitu tisku při tisknutí různých tvarů. Pro tento test jsou navrženy tři tvary.

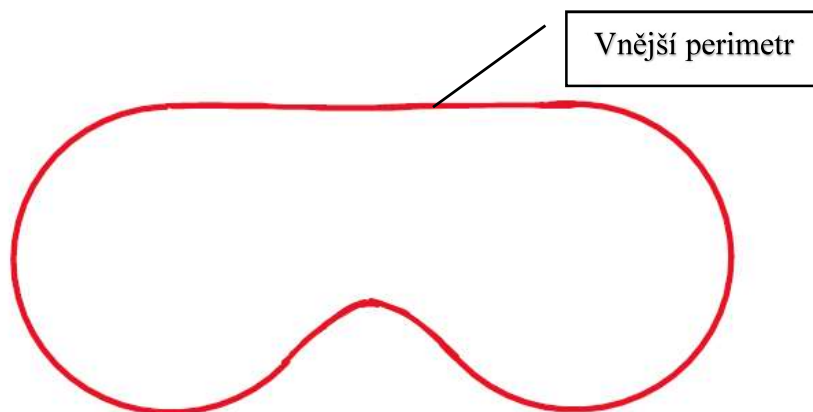
Prvním tvarem je prostá čára o délce 300 mm, která bude hlavně využívána pro zkoušení ideální výšky vrstvy a rychlosti vytlačování.

Dalším tvarem je „tvárnice“, která je tvořena jedním obdélníkovým perimetrem a křížovou výplní. Rozměry tvárnice jsou 250 mm na šířku a 450 mm na délku. Výška bude upravována dle potřeb konkrétního tisku.



Obrázek 25 Schéma tvárnice

Posledním tvarem jsou takzvané „brýle“, které jsou tvořené pouze jedním perimetrem. Rozměry tohoto tvaru jsou podobné jako v případě tvárnice, tedy 250 mm na šířku a 400 mm na délku. Tvar je uveden na následujícím schématu:



Obrázek 26 Schéma brýlí

3.6 Testy a následné úpravy

Kvůli koronavirové pandemii nebylo možné plně zprovoznit rám tiskárny z důvodu zdržení dodacích termínů všech komponentů. Pro zajištění testů byl navržen malý testovací rám, který umožní testování v menším měřítku a následnou adaptaci všech poznatků na původní rám.

Tento nový rám vychází z cube konstrukce s výsuvným pilonem, kdy tiskový objem tvoří 750 mm v ose X, 750 mm v ose Y a 400 mm v ose Z.

Zároveň je pro tisk použita hadice o kratší délce. Konkrétně o délce 5 metrů. Dále je hadice zvolena tak, aby vydržela tlak alespoň 50 barů.



Obrázek 27 Rám s výsuvným pilonem



Obrázek 28 Detail rámu s pohledem na osu X, Y a Z

3.6.1 Přejít na přímé vytlačování

Při práci na podávacím a vytlačovacím zařízení byly práce započaty nejdříve na podávacím čerpadle, kde došlo k prvotnímu testu funkčnosti čerpadla. Bylo třeba otestovat, zda je čerpadlo schopné bez významnějších problémů podávat materiál do hadice o průměru 25 mm, která se standardně používá s vybraným vřetenem.

Při testech bylo zjištěno, že čerpadlo je schopné materiál podávat touto hadicí o délce 5 metrů bez výrazných problémů a materiál na konci hadice vychází téměř kontinuálně. Dále při zastavení a rozběhu čerpadla nedochází k velkým prodlevám v podávání materiálu na konci hadice. Na základě těchto faktů bylo po diskusi s vedením firmy Hennlich s.r.o. rozhodnuto, že dojde k vypuštění extruderu z konstrukce a dojde k přechodu na přímé vytlačování materiálu. Tím se celá konstrukce zjednoduší.

3.6.2 Volba hromadění materiálu

Samotné testy tisku byly započaty tiskem jednoduché čáry v jedné, dvou a třech vrstvách o délce 300 mm. Výška vrstvy byla zvolena 25 mm a rychlost tisku 150 mm/s. Cílem těchto testů bylo zjištění chování materiálu při tisku formou tažení nebo hromadění. Dále bylo třeba zjistit

přibližné nastavení frekvenčního měniče podávacího čerpadla tak, aby docházelo k těmto jednotlivým formám tisku.

Pro první test byl proveden tisk v jedné vrstvě s frekvenčním měničem nastaveným na plný výkon a při tisku dalších testovacích vzorků byl postupně ubírán výkon čerpadla o určité hodnotu. Tím bylo zjištěno nastavení čerpadla na jednotlivé formy tisku.

Při tisku a následném srovnání obou forem tisku nebyl nalezen žádný významný rozdíl, dle kterého by bylo možné určit, která forma tisku je lepší. Po vytvrnutí materiálu se ovšem na vzorcích tisknuté formou tažení materiálu začaly objevovat praskliny, které nebyly povrchové, ale hluboké a v některých případech došlo dokonce ke kompletnímu rozdělení tiskového vzorku. Při pohledu na vzorky tisknuté formou hromadění materiálu bylo nalezeno pouze pár drobných povrchových prasklin, které byly ovšem situovány na konci tisku, kde došlo k vypnutí čerpadla a jednalo se tedy o přechodovou oblast mezi formou tisku tažením a hromaděním. Bylo tedy rozhodnuto, že bude vybrána forma tisku hromaděním.



Obrázek 29 Povrchová textura výtisku



Obrázek 30 Lom skrze celý tisk

3.6.3 Zkouška tvarů a dodatečná úprava receptury materiálu

První test byl proveden prozatím bez koncové trysky pro prvotní ozkoušení funkčnosti. Po poradě ve firmě Hennlich s.r.o. bylo rozhodnuto, že při testech bude upřednostněn tvar tvárnice. Výsledky testů budou použity pro následný návrh koncové trysky.

Při těchto testech bylo zjištěno, že při delším kontinuálním chodu čerpadla dochází k nepříznivému zahřívání materiálu, u kterého je následně výrazně zkrácena doba tvrdnutí. Materiál dodaný do násypky čerpadla měl teplotu okolo 22°C, materiál po průchodu vřetenem byl zahřát na 35°C a materiál vycházející tryskou na konci hadice měl teplotu 41°C. To znamená, že materiál se po průchodu jedním metrem hadice zahřál přibližně o 1°C. To zapříčinilo zatvrdnutí materiálu uvnitř hadice a ucpání celého systému. Na základě těchto informací firma dodávající materiál upravila recepturu tak, aby co nejvíce oddálila tuhnutí materiálu.

Potřebný tlak pro protlačení materiálu hadicí byl pomocí tlakoměru změřen na úrovni přibližně 35 barů. Předchozí odhad výpočtem byl tedy s určitou tolerancí správně.



Obrázek 31 Vytisknutí objektu



Obrázek 32 Boční detail vytisknutého objektu s pohledem na texturu

Následně v tomto testu byla prokázána nutnost koncové trysky pro zajištění vyšší kvality povrchu výtisku. Na povrchu tisku vznikly bublinky a v některých částech docházelo dokonce k třepení povrchu a vzniku ostrých výstupků.

3.6.4 Návrh koncové trysky

Návrh trysky probíhal za průběžné konzultace s vedením firmy Hennlich s.r.o. a dodavatelskou firmou tiskového materiálu. Hlavním požadavkem byla dlouhá ocelová tryska s hladším vnitřním průměrem, v horní části upravenou tak, aby bylo možné připojení hadice pomocí betonářských rychlospojek a konec trysky byl jednoduše vyměnitelný pro případné budoucí testování různých tvarů konce trysky. Zároveň by tryska měla být odolná alkalickému prostředí.

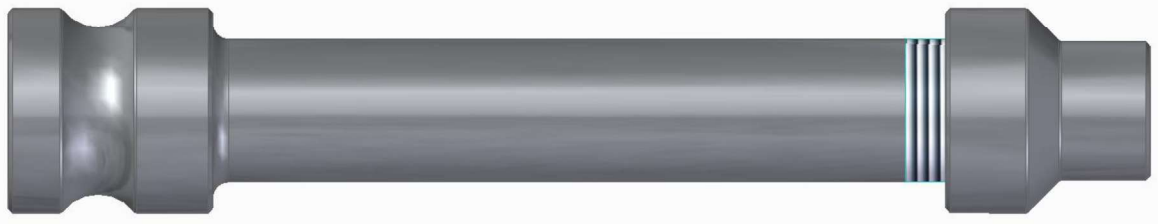
Výstupem je tryska z nerezové oceli o délce 300 mm, která je v horní části opatřena osazením. Na něm je vytvořena kulová drážka pro připojení betonářské rychlospojky. Vnitřní průměr je 25 mm a konec trysky je opatřen vnějším závitem tak, aby bylo možné konec trysky v budoucnu vyměnit za jiný. Hladkého povrchu uvnitř trysky bylo docíleno na soustruhu pomocí dokončování. Tryska je na konec pilonu rámu tiskárny připevněna pomocí svěrné příruby vytištěné z plastu ABS.



Obrázek 33 CAD snímek těla trysky



Obrázek 34 CAD snímek koncovky trysky



Obrázek 35 CAD snímek sestavy trysky

3.6.5 Přejít na vyšší průměr hadice

Další úprava, která byla provedena na základě provedených testů, je přechod na větší průměr hadice. Tato změna by měla zajistit menší odpor způsobený prouděním tiskového materiálu hadicí a tím snížit nejen potřebný tlak pro protlačení materiálu hadicí, ale také jeho zahřívání. Vnitřní průměr hadice byl tedy zvětšen z 25 mm na 35 mm.

3.6.6 Závěrečný test

Při závěrečném testu byly aplikovány všechny poznatky a úpravy zjištěné v předešlých testech. Zvolený větší průměr hadice příznivě ovlivnil čerpání materiálu. Potřebný tlak klesl pod hranici 20 barů a materiál na výstupu z trysky měl teplotu maximálně 33 °C.

Dále byl lehce zvýšen čerpací výkon čerpadla pomocí frekvenčního měniče tak, aby docházelo k většímu hromadění materiálu. V návaznosti na tuto změnu byla dále upravena výška vrstvy z 25 mm na 20 mm. Jako tiskový objekt byla vybrána tvárnice, která byla pouze prodloužena. Bylo naplánováno tvárnici vytisknout ve třech vzorcích, na kterých bude možné postupně doladovat výkon čerpadla. Tisk bude proveden ve výšce alespoň osmi vrstev pro otestování rozjždění spodních vrstev způsobené vahou horních vrstev.



Obrázek 36 Vytištěný objekt

Všechny tři tisky proběhly úspěšně a díky oddálení tvrdnutí materiálu bylo možné téměř kontinuálně vytisknout všechny vzorky.

V případě prvního vzorku byla tiskárna špatně zkalibrována. Tudíž došlo k příliš velkému offsetu od tiskové podložky a nedocházelo tak k hromadění materiálu.

V případě druhého a třetího tisku byl offset tiskárny opět nastaven a tisk proběhl bez větších problémů. Všechny vrstvy byly správně vytištěny a nedocházelo k rozjíždění spodních vrstev. Zároveň nedošlo k následnému vzniku trhlin při schnutí vzorků. Jediným problémem, který se zde objevil, byly povrchové bublinky. Ty byly pravděpodobně způsobeny nevhodným tvarem konce trysky.



Obrázek 37 Boční detail vytištěného objektu



Obrázek 38 Vreční detail vytištěného objektu

3.6.7 Rám tiskárny

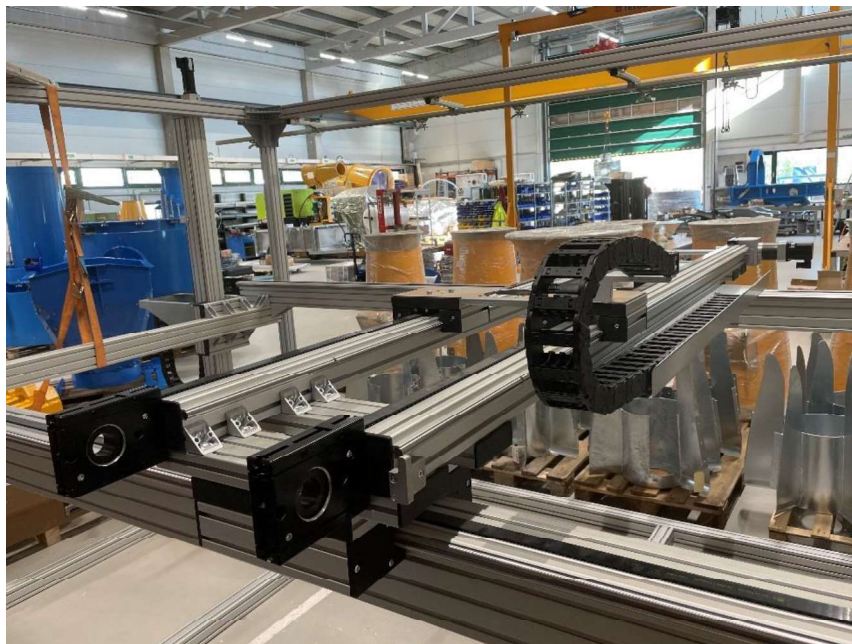
Rám tiskárny nebylo bohužel z důvodu pandemie a následného prodloužení dodacích termínů všech komponentů možno uvést do provozu. Proto bude nyní alespoň uveden aktuální stav rozpracovanosti celého rámu.

Nyní je rám osazen všemi lineárními jednotkami, hliníkovými profily a spojovacími prvky. Dále bylo zatím možné rám vybavit energořetěží a kabelovou vlečkou. V dalších krocích bude

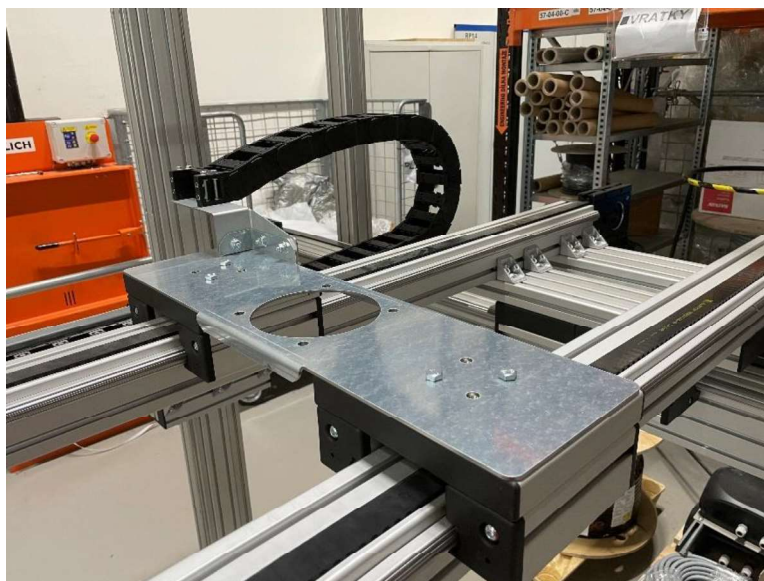
namontováno krytování všech lineárních jednotek a veškerých kabelových instalací. Poté bude možné uvést celý rám do provozu a přejít s testováním této technologie do většího měřítka.



Obrázek 39 Boční pohled na rozpracovaný rám



Obrázek 40 Pohled na osu X rozpracovaného rámu



Obrázek 41 Pohled na místo uchycení trysky na rozpracovaném rámu



Obrázek 42 Pohled na osu Z s energořetězem na rozpracovaném rámu

4 Závěr

Vývoj 3D tiskárny pro použití ve stavebním průmyslu se v průběhu vývoje ukázalo jako úplně nové a neprobádané odvětví strojírenství s velkým potenciálem. Technologie 3D tisku nabízí zrychlení výstavby nového bydlení za současného snížení nákladů na výstavbu. Při dostatečném zvětšení rámu stroje je možné tisknout dokonce celý dům kontinuálně bez zastavení. Jedinou podmínkou je kontinuální příprava materiálu nebo přetržitá dodávka materiálu v takové frekvenci, aby nemuselo dojít k přerušení tisku. Další výhodou je možnost aplikace složitějších geometrických tvarů do designu tisknutých objektů. Posledním nesporným benefitem je jednoduchá obsluha stroje, která výrazně snižuje náklady na lidský kapitál.

Všechny testy provedené v rámci vývoje 3D tiskárny byly přínosné a získané poznatky vedly k pozitivnějším výsledkům v dalších testech.

Velkou komplikací při práci na rámu tiskárny se ukázala právě probíhající pandemie, která výrazně prodloužila dodací lhůty některých komponentů a znemožnila dokončení rámu a jeho zprovoznění. Pro testování byl tedy navržen menší rám sestavený ze skladových zásob dodavatele, který je dostatečný pro otestování systému vytlačování materiálu. Získané poznatky se následně mohou aplikovat při přechodu na původní rám po jeho uvedení do provozu.

Zásadním zlomem v konstrukci bylo upuštění od prvotně plánovaného koncového extruderu a přechod na přímou metodu vytlačování materiálu. Jak testy ukázaly, první předpoklad nevhodnosti vřetenového čerpadla byl milný. Vřetenové čerpadlo bylo schopné dodávat materiál téměř kontinuálně a nemělo nijak významný vliv na kvalitu vytištěného objektu. Při následném aplikování koncové trysky a upravení rychlosti dávkování došlo k tisku v přiměřené kvalitě.

Při prvním testu tisku byly tištěny pruhy vedle sebe o délce 300 mm. Cílem bylo zjistit výhody a nevýhody tisku formou tažení nebo hromadění. Při tisku nebyly viditelné žádné rozdíly, ale při tuhnutí materiálu došlo v případě formy tažením k výskytu prasklin, které vedly i skrz celý objekt. Po pozdějších analýzách se dospělo k závěru, že k prasklinám pravděpodobně došlo kvůli souhře několika faktorů. Prvním bylo vnesení malých trhlinek a vnitřního napětí do materiálu samotným tažením. Při následném tuhnutí materiálu a jeho smrštění, kdy byl materiál zároveň přilnut k tiskové podložce, došlo k vnesení vnitřního napětí. Toto napětí dále vedlo ke vzniku prasklin v místech malých trhlinek uvnitř materiálu. V případě vytlačování formou hromadění nedochází ke vzniku malých trhlinek uvnitř materiálu jednak kvůli absenci tažení

materiálu a také díky tomu, že materiál je lehce stlačován a tím se případné trhlinky mají možnost zacelit.

Důležitým zjištěním bylo nepříznivé zahřívání materiálu po průchodu celým systémem vytlačování při delší době tisku, typicky při kontinuálním tisku více objektů nebo jednoho většího objektu. V návaznosti na toto nepříznivé zahřátí materiálu začal materiál tuhnout ještě před jeho vytlačení z trysky a došlo k ucpání celého systému a k znehodnocení celé hadice. Proto bylo třeba dodavatelskou firmou upravit recepturu tak, aby bylo co nejvíce oddáleno tuhnutí materiálu.

Velkým přínosem byl test tisku za použití hadice o větším průměru. Tato změna měla pozitivní vliv na zahřívání materiálu a tlak v systému. Větší průměr hadice výrazně snížil odpor materiálu při průchodu hadicí, kdy klesl tlak z 35 barů pod hranici 20 barů a materiál se po průchodu jednoho metru hadice zahřál přibližně o 0,75 °C. Teplota tisknutého objektu tak klesla ze 41 °C na 33°C.

Při posledním provedeném tisku bylo docíleno uspokojivých výsledků, kdy došlo ke kontinuálnímu tisku tří objektů bez žádných problémů a u druhého a třetího objektu bylo dosaženo celkově dobré kvality tisku. Při následném úplném ztuhnutí materiálu nedošlo ke vzniku trhlin, které by znehodnotily celý objekt.

V dalších fázích testování je třeba otestovat různé tvary koncovky trysky a tím zjistit vliv tvaru na kvalitu povrchu výtisku. Zároveň byl vznesen návrh na vývoj trysky ve tvaru čtverce, která by obsahovala boční hladítka tisknuté vrstvy a byla by schopná natáčení. Nejbližším cílem v tomto projektu je zprovoznění původního rámu a aplikace všech dosud zjištěných poznatků na testy ve větším měřítku. V tomto případě panují velké obavy z použití dvakrát delší hadice než v případě testů na menším rámu. Pravděpodobně bude třeba použít výkonnější čerpadlo. Po zprovoznění 3D tisku na velkém rámu je dále v plánu provedení větších a déletrvajících tisků, na kterých by byla provedena analýza celého procesu tisku a návrh technologického procesu od přípravy materiálu po čištění a údržbu stroje.

5 Literatura

- [1] M. Chalupa, „Technologie 3D tisku,“ [Online]. Available: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>. [Přístup získán 10 2 2021].
- [2] P. Kantert, Manual for Archimedean Screw Pump: Adviser and Decision Guidance for Planners, Owners and Decision-Makers, Hirshammer, 2008.
- [3] „Technické řešení vřetenových čerpadel,“ 6 6 2001. [Online]. Available: <https://www.mmspektrum.com/clanek/technicke-reseni-vretenovych-cerpadel>. [Přístup získán 12 1 2021].
- [4] A. Vojáček, „Principy průmyslových čerpadel – 8.díl - vřetenová čerpadla,“ 18 3 2011. [Online]. Available: <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-8dil-vretenova-cerpadla>. [Přístup získán 12 2 2021].
- [5] A. Vojáček, „Principy průmyslových čerpadel – 6.díl - pístová čerpadla,“ 26 2 2011. [Online]. Available: <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-6dil-pistova-cerpadla>. [Přístup získán 12 2 2021].
- [6] A. Vojáček, „Principy průmyslových čerpadel – 7.díl - hadicová čerpadla,“ 9 3 2011. [Online]. Available: <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-7dil-hadicova-cerpadla>. [Přístup získán 12 2 2021].
- [7] „Konstrukce výrobních strojů - přednáškový materiál,“ [Online]. Available: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/kvs/prednasky.html>. [Přístup získán 15 11 2020].
- [8] „Části a mechanismy strojů 2 - přednáškový materiál,“ [Online]. Available: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/cms2>. [Přístup získán 15 11 2020].
- [9] K. Řezáč, „Krokové motory,“ 28 10 2002. [Online]. Available: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>. [Přístup získán 11 2 2021].
- [10] „Automatické řízení výrobní techniky - přednáškový materiál,“ [Online]. Available: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/arvt>. [Přístup získán 15 11 2020].

- [11] M. Rinnová, STUDIUM VLIVU SLOŽENÍ ALKALICKÉHO AKTIVÁTORU, Brno, 2012.

6 Seznam obrázků

Obrázek 1 Šnekové čerpadlo [2]	3
Obrázek 2 Schéma funkce vřetenového čerpadla [4]	4
Obrázek 3 Schéma pístového čerpadla [5]	5
Obrázek 4 Schéma hadicového čerpadla [6].....	5
Obrázek 5 Krokový motor [9].....	8
Obrázek 6 Schéma synchronního motoru [10]	9
Obrázek 7 Schéma asynchronního motoru [10].....	10
Obrázek 8 Schéma přímého vytlačování	13
Obrázek 9 Schéma nepřímého vytlačování	14
Obrázek 10 Princip funkce robotického ramene.....	15
Obrázek 11 Cube konstrukce s výsuvným pilonem	16
Obrázek 12 Cube konstrukce s pohyblivým subrámem	17
Obrázek 13 CAD snímek subrámu.....	18
Obrázek 14 CAD snímek subrámu s osou Z.....	19
Obrázek 15 CAD snímek celé konstrukce	19
Obrázek 16 CAD snímek celé konstrukce s krytováním, energořetězy a dalšími doplňky	20
Obrázek 17 CAD snímek podložky.....	21
Obrázek 18 CAD snímek trysky – přední pohled	22
Obrázek 19 CAD snímek trysky – zadní pohled.....	22
Obrázek 20 CAD snímek – stahovací příruby	23
Obrázek 21 CAD snímek – matice.....	23
Obrázek 22 CAD snímek celé sestavy vřetena	24
Obrázek 23 Princip tažení materiálu	31
Obrázek 24 Princip hromadění materiálu	32
Obrázek 25 Schéma tvárnice.....	32
Obrázek 26 Schéma brýlí.....	33
Obrázek 27 Rám s výsuvným pilonem.....	34
Obrázek 28 Detail rámu s pohledem na osu X, Y a Z.....	35
Obrázek 29 Povrchová textura výtisku.....	36
Obrázek 30 Lom skrze celý tisk.....	37
Obrázek 31 Vytisknutí objekt	38
Obrázek 32 Boční detail vytisknutého objektu s pohledem na texturu	38

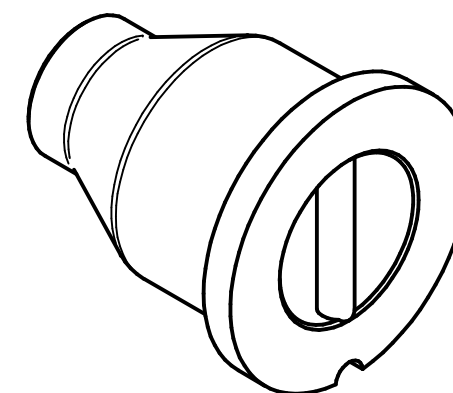
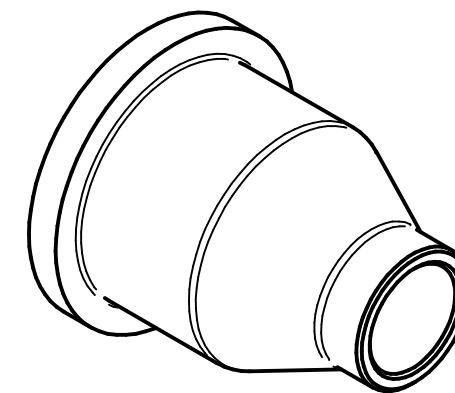
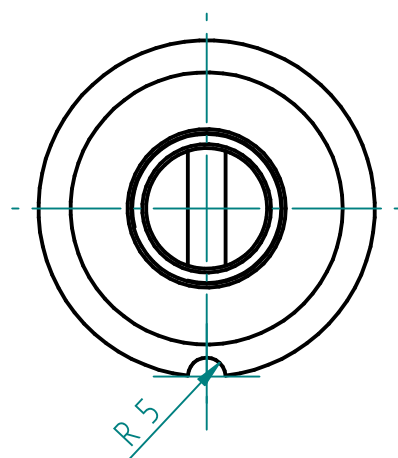
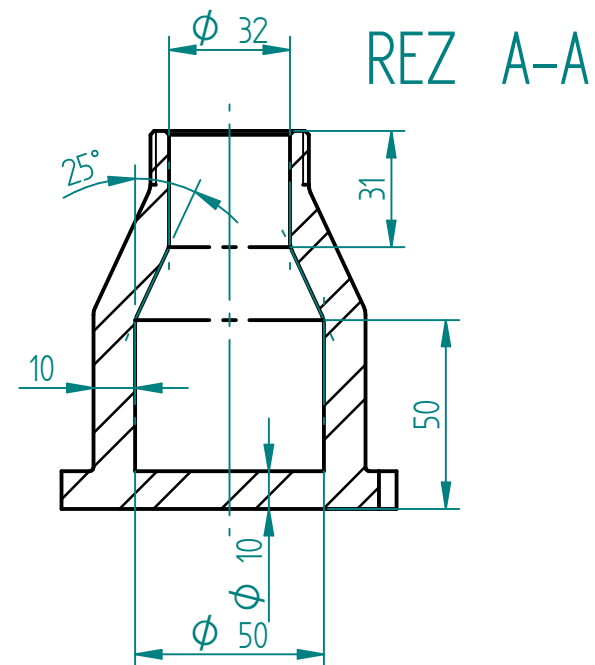
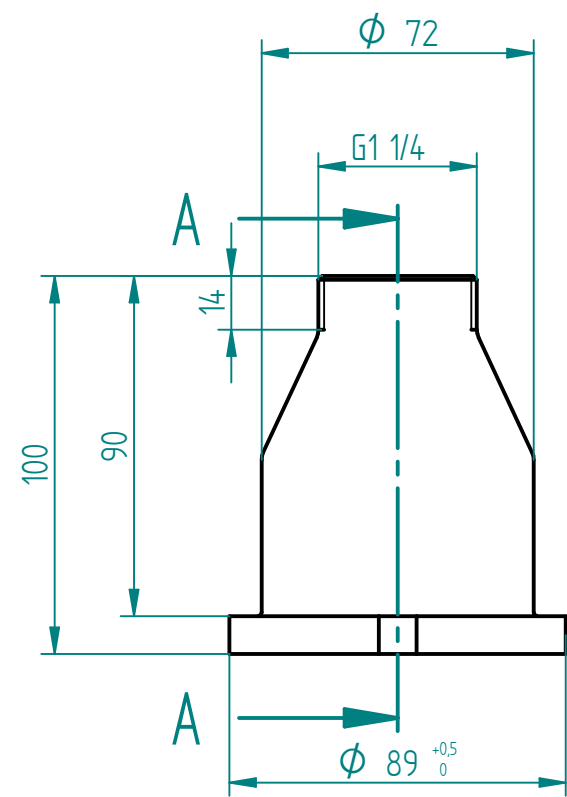
Obrázek 33 CAD snímek těla trysky.....	39
Obrázek 34 CAD snímek koncovky trysky	39
Obrázek 35 CAD snímek sestavy trysky	40
Obrázek 36 Vytištěný objekt.....	41
Obrázek 37 Boční detail vytištěného objektu.....	42
Obrázek 38 Vrchní detail vytištěného objektu.....	42
Obrázek 39 Boční pohled na rozpracovaný rám	43
Obrázek 40 Pohled na osu X rozpracovaného rámu	43
Obrázek 41 Pohled na místo uchycení trysky na rozpracovaném rámu.....	44
Obrázek 42 Pohled na osu Z s energořetězem na rozpracovaném rámu	44

7 Seznam příloh

- Příloha č.1 – výkres trysky
- Příloha č.2 – výkres stahovací příruby
- Příloha č.3 – výkres matice
- Příloha č.4 – výkres podložky

REVISION HISTORY

REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

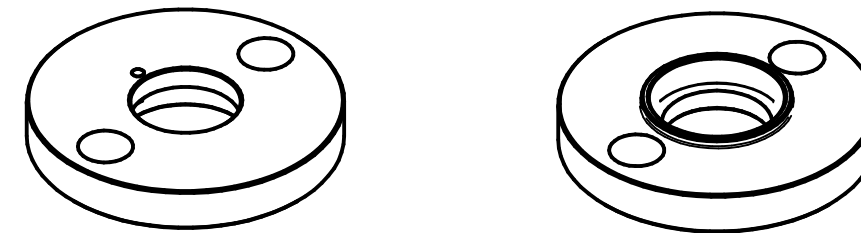
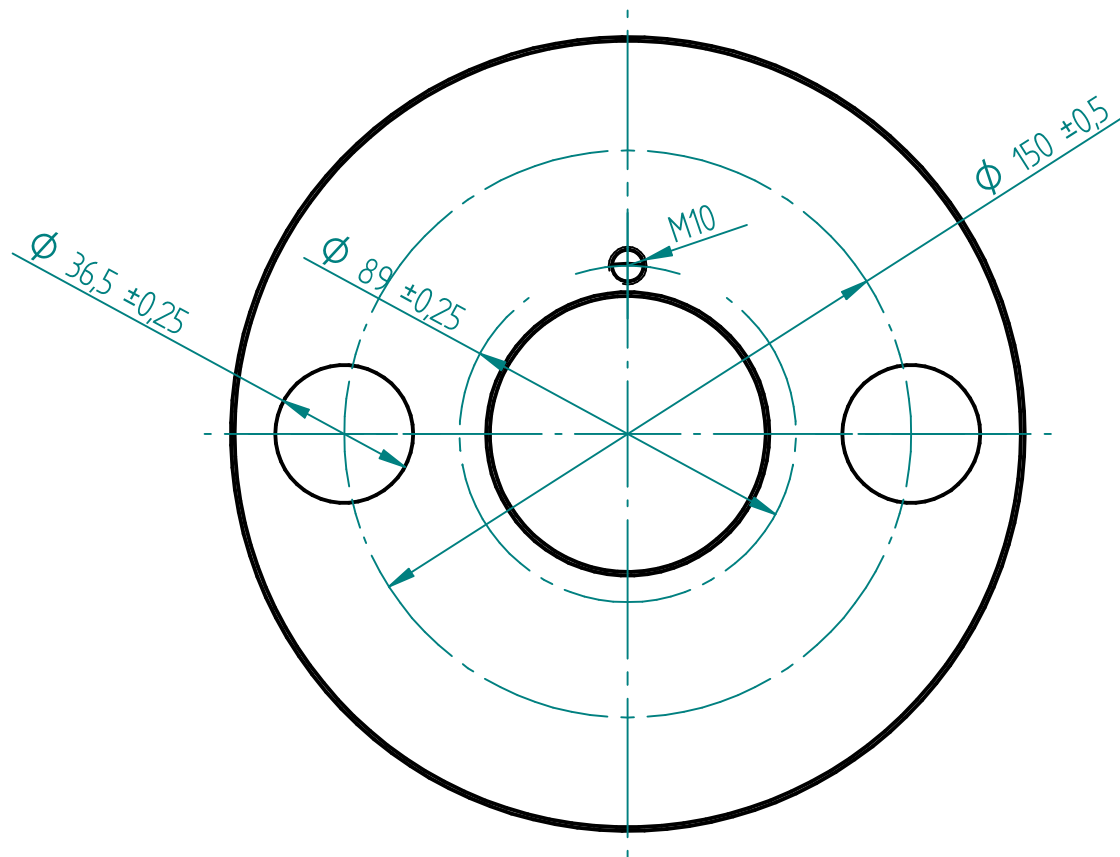
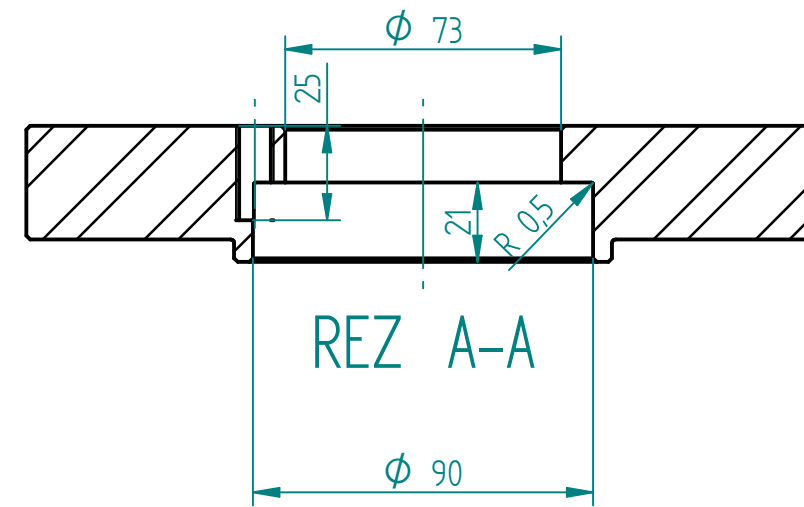
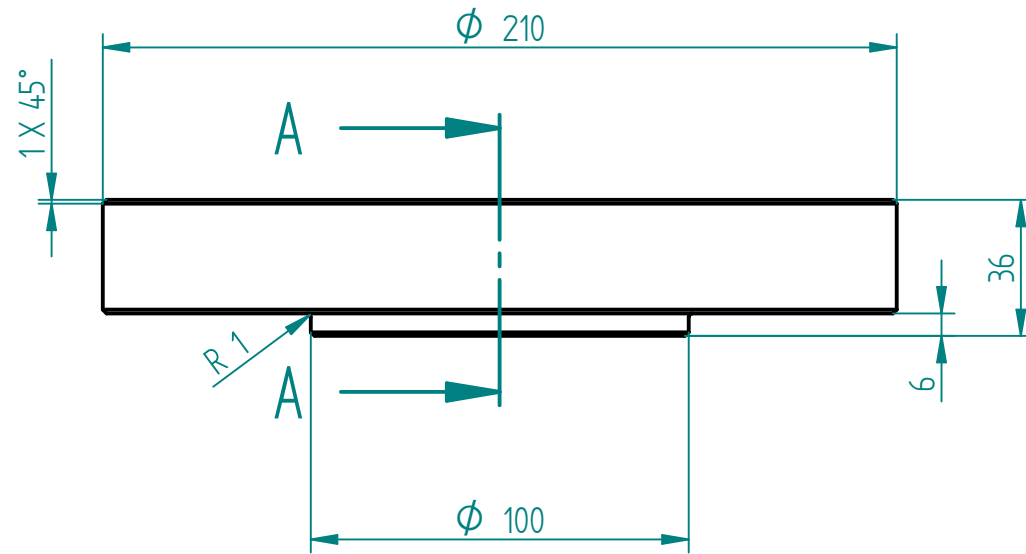


MATERIAL TRYSKY: OCEL S235J2G3

	NAME	DATE	Solid Edge		
DRAWN	Reinhart	05/23/21			
CHECKED					
ENG APPR					
MGR APPR			TITLE TRYSKA		
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±X.X° 2 PL ±X.XX 3 PL ±X.XXX			SIZE A3	DWG NO DP2021 - 1	REV 0
			FILE NAME: TRYSKA.dft		
SCALE:		WEIGHT:	SHEET 1 OF 1		

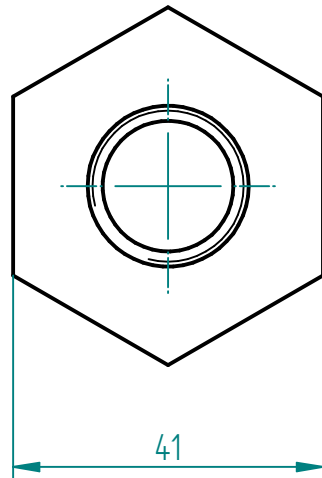
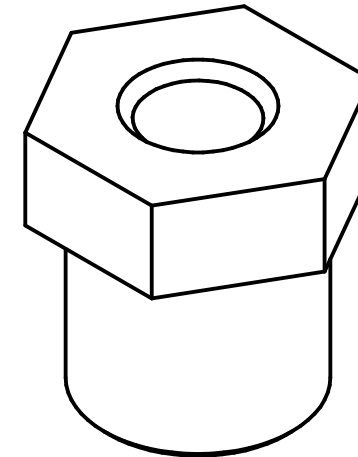
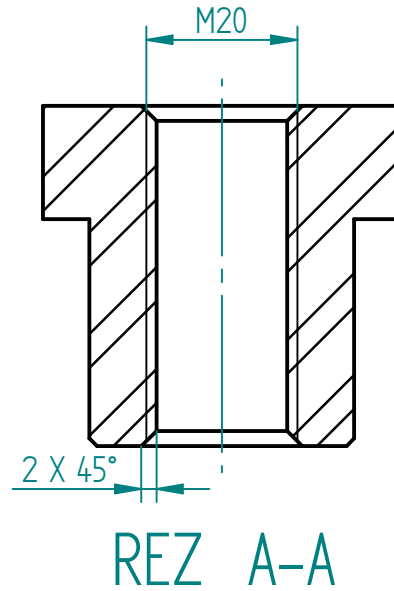
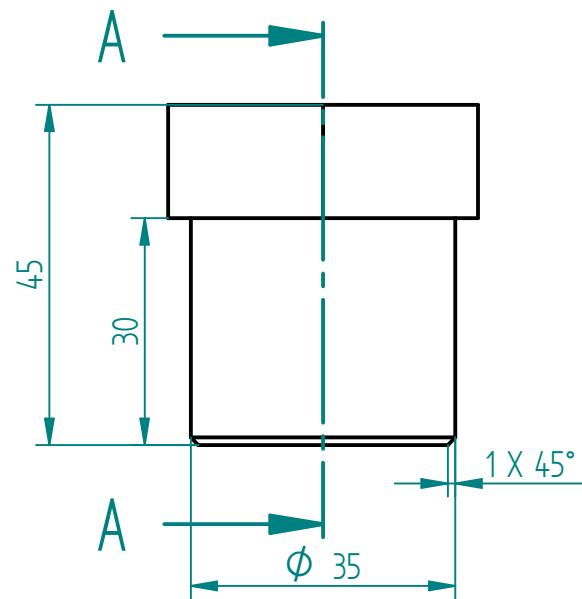
REVISION HISTORY

REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED



MATERIAL PRIRUBY: OCEL S235J2G3

	NAME	DATE	<h1>Solid Edge</h1>		
DRAWN	Reinhart	05/23/21			
CHECKED					
ENG APPR					
MGR APPR			TITLE STAHOVACI PRIRUBA		
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES $\pm X.X^\circ$ 2 PL $\pm X.XX$ 3 PL $\pm X.XXX$			SIZE A3	DWG NO DP2021 - 2	REV 0
			FILE NAME: STAHOVACI PRIRUBA.dft		
SCALE:		WEIGHT:	SHEET 1 OF 1		

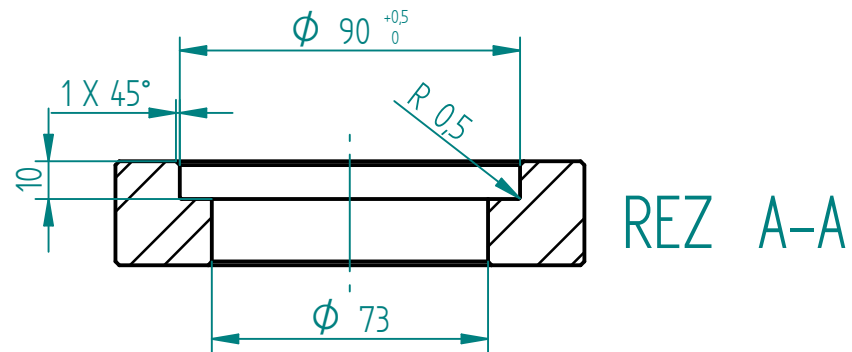
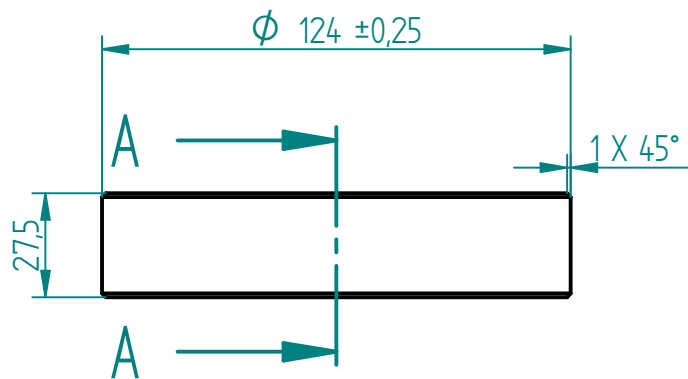


REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

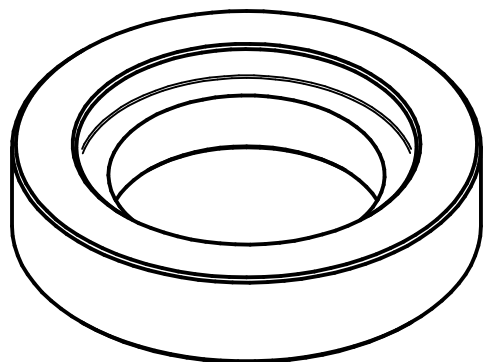
MATERIAL MATICE: OCEL S235J2G3

	NAME	DATE	Solid Edge		
DRAWN	Reinhart	05/23/21			
CHECKED			TITLE MATICE		
ENG APPR					
MGR APPR			SIZE A4	DWG NO DP 2021 - 3	REV 0
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES $\pm X.X^\circ$ 2 PL $\pm X.XX$ 3 PL $\pm X.XXX$			FILE NAME: MATICE.dft		
			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1

REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED



REZ A-A



MATERIAL PODLOZKY: OCEL S235J2G3

	NAME	DATE	Solid Edge	
DRAWN	Reinhart	05/23/21		
CHECKED			TITLE PODLOZKA	
ENG APPR				
MGR APPR			SIZE A4 DWG NO DP 2021 - 4 REV 0 FILE NAME: PODLOZKA.dft	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES $\pm X.X^\circ$ 2 PL $\pm X.XX$ 3 PL $\pm X.XXX$				
			SHEET 1 OF 1	