



FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE

Ústav konstruování a části strojů

**Konceptní návrh pásové 3D tiskárny
Conceptual Design of Belt 3D Printer**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Huy Hai DO

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Jiří MRÁZEK Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Do** Jméno: **Huy Hai** Osobní číslo: **461716**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
 Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
 Specializace: **Transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Koncepční návrh pásové 3D tiskárny

Název diplomové práce anglicky:

Conceptual Design of Belt 3D Printer

Pokyny pro vypracování:

- Provedte návrh koncepčního řešení pásové 3D tiskárny. Konstrukci zařízení řešte stavebnicovým systémem hliníkových konstrukcí Bosch Rexroth. Maximální rozměr pracovního prostoru (průchodu) portálu zvolte 500x500mm. Stručná osnova zadání: 1. Zpracujte rešerši problematiky konstrukce pásových 3D tiskáren. Zaměřte se na dostupné prvky konstrukce, které lze koupit hotové, standardizované.
 2. Provedte koncepční návrh několika variant řešení.
 3. Vyberte vhodnou variantu a tu dále rozpracujte
 4. Navrhněte mechanismus tiskárny, tak aby umožňoval tisk pod úhlem naklonění 30-45° vzhledem k rovině pásu
 5. Zpracujte nezbytné návrhové a kontrolní výpočty.
 6. Zpracujte parametricky koncepční 3D model řešení.
 7. Vytvořte 2D koncepční výkres řešení s vybranými detaily.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Stránky projektu REPRAP. Dostupné z: <http://reprap.org/>
- 2) CHUA, Che e Kai, a Kah Fai. LEONG. 3D printing and additive manufacturing: principles and applications. Fourth edition of Rapid prototyping. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte., 2014. ISBN 9789814571401.
- 3) PRŮŠA, Josef. 3D tisk [online]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Mrázek, Ph.D. ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **25.10.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce:

Ing. Jiří Mrázek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
 Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

27.10.2022
Datum převzetí zadání

Podpis studenta





Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Koncepční návrh pásové 3D tiskárny“ vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jiřího Mrázka, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci této práce v seznamu použité literatury.

Dne:.....

Podpis:.....



Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali nejen při samotném studiu, ale i při psaní této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat také panu Ing. Jiřímu Mrázkovi, Ph.D., za jeho důsledné vedení a cenné rady při konzultacích.

Anotační list

| | |
|-----------------------|---|
| Jméno autora: | Huy Hai DO |
| Název DP: | Koncepční návrh pásové 3D tiskárny |
| Anglický název: | Conceptual Design of Belt 3D Printer |
| Rok: | 2022 |
| Studijní program: | N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ |
| Obor studia: | 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika |
| Ústav: | Ústav konstruování a částí strojů |
| Vedoucí DP: | Ing. Jiří Mrázek, Ph.D. |
| Bibliografické údaje: | Počet stran: 89 |
| | Počet obrázků: 96 |
| | Počet tabulek: 28 |
| | Počet příloh: 12 |
| Klíčová slova: | 3D tisk, pásový dopravník, 3D tisk pod úhlem |
| Keywords: | 3D printing, belt conveyor, 3D printing at an angle |
| Anotace: | Tato diplomová práce se zabývá koncepčním návrhem konstrukce pásové 3D tiskárny |
| Abstract: | This diploma thesis deals with the conceptual design of belt 3D printer |



Obsah

| | | |
|-------|--|--------|
| 1 | Úvod | - 1 - |
| 1.1 | Motiv práce | - 1 - |
| 2 | Zadání | - 2 - |
| 3 | Procesy 3D tisku | - 3 - |
| 4 | Technologie 3D tisku | - 4 - |
| 4.1 | SLA technologie (Stereolitografie)..... | - 4 - |
| 4.1.1 | SLA – Laser..... | - 5 - |
| 4.1.2 | SLA – DLP (Digital Light Processing)..... | - 5 - |
| 4.1.3 | SLA-MSLA (Mask Stereolithography)..... | - 6 - |
| 4.2 | SLS / DMLS technologie..... | - 7 - |
| 4.2.1 | DMLS..... | - 7 - |
| 4.2.2 | SLS..... | - 7 - |
| 4.3 | FDM/ FFF technologie | - 9 - |
| 4.3.1 | FFF- Kartézská tiskárna | - 10 - |
| 4.3.2 | FFF- Delta tiskárna | - 10 - |
| 4.3.3 | FFF- Polární tiskárna | - 11 - |
| 4.3.4 | 3D tisk ve stavebnictví..... | - 11 - |
| 4.3.5 | Struktura FFF/FDM 3D tiskárny | - 12 - |
| 5 | Patenty | - 13 - |
| 5.1 | Blackbelt 3D..... | - 13 - |
| 6 | Mechanické převody | - 15 - |
| 6.1 | Změna převodového poměru..... | - 15 - |
| 6.2 | Převod rotačního pohybu na lineární pohyb..... | - 16 - |
| 6.2.1 | Ozubené kolo a ozubený hřeben..... | - 16 - |
| 6.2.2 | Pohybový šroub..... | - 16 - |
| 6.2.3 | Synchronní (ozubený) řemen | - 17 - |
| 7 | Lineární vedení | - 18 - |
| 7.1 | Vodící tyče a kuličková pouzdra | - 18 - |
| 7.2 | Vedení s oběhovými kuličkami | - 18 - |
| 8 | Senzory | - 19 - |
| 8.1 | Mechanické senzory (koncové spínače)..... | - 20 - |
| 8.2 | Magnetické senzory | - 20 - |
| 8.3 | Indukční senzory..... | - 21 - |
| 8.4 | Optické senzory | - 21 - |

| | | |
|---------|--|--------|
| 9 | Pohony..... | - 22 - |
| 9.1 | Krokové motory..... | - 22 - |
| 9.2 | Servomotory..... | - 23 - |
| 10 | Extruder..... | - 24 - |
| 11 | Praktická část..... | - 25 - |
| 11.1 | Pásový dopravník..... | - 25 - |
| 11.1.1 | Koncepční návrhy dopravníku | - 25 - |
| 11.1.2 | Dopravníkový buben | - 26 - |
| 11.1.3 | Sklopné rameno..... | - 27 - |
| 11.1.4 | Rámová konstrukce dopravníku | - 27 - |
| 11.1.5 | Vyhřívání silikonové podložky | - 28 - |
| 11.1.6 | Topná deska..... | - 29 - |
| 11.1.7 | Kluzný plech..... | - 30 - |
| 11.1.8 | Dopravníkový pás | - 30 - |
| 11.1.9 | Napínání pásu | - 31 - |
| 11.1.10 | Výpočet pohonu dopravníku | - 31 - |
| 11.1.11 | Návrh pohonu dopravníku | - 33 - |
| 11.1.12 | Převod kroutícího momentu na dopravník | - 34 - |
| 11.1.13 | Kontrola pohonu dopravníku | - 35 - |
| 11.1.14 | Kontrola pera v řemenicích | - 36 - |
| 11.1.15 | Návrh ložisek pro bubny..... | - 37 - |
| 11.1.16 | Trvanlivost ložisek pro bubny | - 38 - |
| 11.1.17 | MKP analýza nosných profilů | - 44 - |
| 11.2 | Výběr extruderu | - 50 - |
| 11.2.1 | Vedení extruderu..... | - 50 - |
| 11.2.2 | Pohon vodorovné osy..... | - 51 - |
| 11.2.3 | Návrhové výpočty motoru..... | - 51 - |
| 11.2.4 | Výběr motoru | - 52 - |
| 11.2.5 | Kontrola motoru..... | - 53 - |
| 11.3 | Nosná rámová konstrukce..... | - 54 - |
| 11.3.1 | Zatížení od vodorovné osy | - 56 - |
| 11.3.2 | Návrh trapézového šroubu..... | - 58 - |
| 11.3.3 | Uložení šroubu..... | - 59 - |
| 11.3.4 | Kontrola šroubu..... | - 60 - |
| 11.3.5 | Návrh pohonu pro šrouby | - 62 - |

| | | |
|--------|--|--------|
| 11.3.6 | Převod kroutícího momentu na šrouby | - 63 - |
| 11.3.7 | Lineární vedení | - 64 - |
| 11.4 | Výběr ložiskových jednotek pro šroub | - 65 - |
| 11.4.1 | Trvanlivost ložisek | - 66 - |
| 11.5 | Kontrola čepu | - 67 - |
| 11.5.1 | Kontrola na stříh | - 68 - |
| 11.5.2 | Kontrola na otláčení | - 69 - |
| 11.6 | Nastavování pásu | - 70 - |
| 11.6.1 | Vzpěr šroubu | - 71 - |
| 11.6.2 | Kontrola otláčení závitů | - 73 - |
| 11.7 | Návrh senzorů | - 74 - |
| 12 | Závěr | - 75 - |
| | Seznam symbolů | - 77 - |
| | Seznam použitých zdrojů: | - 81 - |
| | Knižní | - 81 - |
| | Webové | - 81 - |
| | Seznam zkratk | - 84 - |
| | Seznam obrázků | - 85 - |
| | Seznam tabulek | - 88 - |
| | Seznam příloh | - 89 - |



1 Úvod

Tato práce se bude zabývat konstrukcí pásové 3D tiskárny. Prvním krokem bude provedení rešerše technologií 3D tisku a dostupných prvků konstrukce, které lze použít při návrhu koncepcí. Po návržení koncepčních řešení, bude následovat porovnání a výběr nejvhodnější varianty, která bude dále rozpracována. Součástí koncepčních návrhů je i návrh mechanismu pro tisk pod úhlem naklonění 30-45° vzhledem k rovině pásu. Bude nezbytné ověřit kritická místa návrhovými a kontrolními výpočty. Největší předností a výhodou pásové 3D tiskárny je, že se proces může automatizovat. V této práci nebudou řešeny softwary a kontroler.

1.1 Motiv práce

Běžné 3D tiskárny, které využívají FDM/FFF technologii nejsou automatizované, to znamená, že tiskárny mají vymezené pracovní prostory, na které tisknou, po dokončení tisku komponentů se pracovní prostor musí manuálně vyklidit, aby tiskárna mohla zahájit nový cyklus tisku.

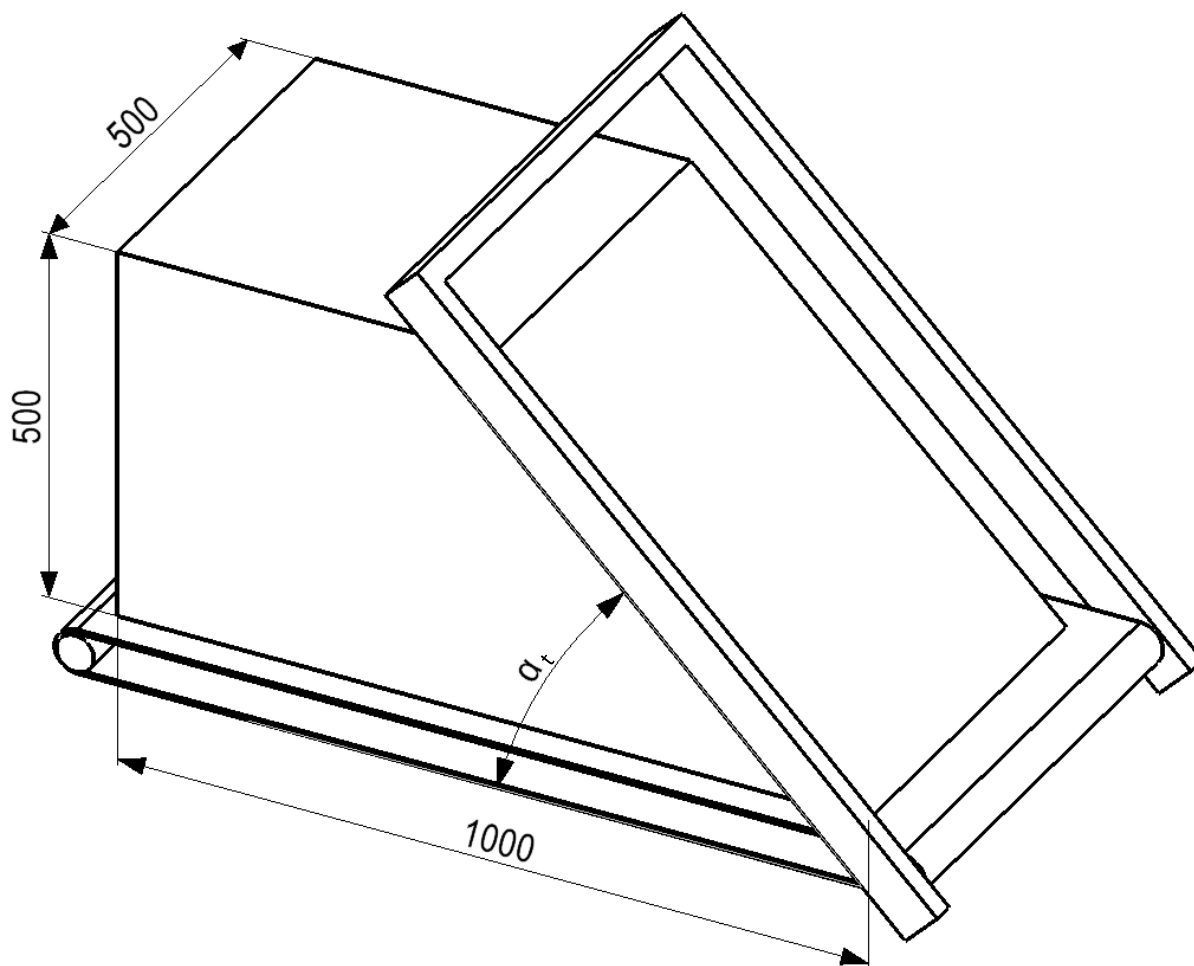
Pásová tiskárna tuto nevýhodu nemá, protože komponenty, které se vytisknou na pásový dopravník se po dokončení tisku jednoduše posunou dál, a tím se pracovní prostor uvolní pro další cyklus tisku. Tištěné komponenty se tímto způsobem posouvají do té doby, než dojedou na konec pásového dopravníku, odkud vypadne jako hotový výrobek.

Toto téma bylo vybráno z více důvodů. Jedním z důvodů je, že se v posledních letech odvětví 3D tisku vyvíjí tak rychle, že 3D tiskárny jsou v současnosti relativně levné, že si je běžné domácnosti mohou koupit a dalším důvodem je že se vytvořila komunita, která si říká „RepRap“. Je to vlastně komunita, která si vyrábí, vyvíjí své 3D tiskárny a své know-how sdílí dál.

2 Zadání

Níže jsou uvedeny parametry, které tiskárna musí splnit a dle kterých bude konstrukce tiskárny dimenzována.

- Maximální rozměry tištěného dílu (obr(1)) – $V_{td} = 0,5 \times 0,5 \times 1 = 0,25 \text{ [m}^3\text{]}$
- Výplň průřezu při tisku v maximálních rozměrech – $f_{výplň} = 50\%$
- Hustota filamentu – $\rho_{fila} = 1350 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$
- Minimální teplota topné podložky – $t_{pad} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$
- Minimální teplota extruderu – $t_{ext} = 280 \text{ }^\circ\text{C}$
- Úhel tisku – $\alpha_t = 30^\circ \div 45^\circ$
- Maximální rychlosti os – $v_{os} = 0,06 \text{ [m/s]}$
- Pro návrh koncepcí využijte prvky, které lze koupit hotové, pokud možno



obr(1): Rozměry tištěného dílu

3 Procesy 3D tisku

- 1) Příprava modelu: V tomto kroku se vytvoří digitální model objektu, který se má vytisknout. To může být provedeno pomocí 3D modelovacího softwaru nebo skenováním fyzického objektu.
- 2) Slicing: V tomto kroku se digitální model rozdělí na řady tenkých vrstev, které se budou tisknout. Tiskárna poté načte informace o každé vrstvě a připraví se na tisk.
- 3) Tisk: V tomto kroku tiskárna fyzicky tiskne objekt vrstvu po vrstvě, používající různé materiály, jako je plast, kov nebo sklo. Tisk může trvat několik hodin nebo dokonce dní, v závislosti na velikosti a složitosti objektu.

Po dokončení tisku, může být objekt připraven k použití nebo může vyžadovat dodatečnou úpravu, jako je broušení nebo leštění povrchu.

4 Technologie 3D tisku

V této kapitole budou vyjmenovány nejnámější technologie 3D tisku. Pro větší přehled bude u každé technologie jednoduché schéma částí tiskárny a popis na jakém principu pracuje. Následně každá technologie bude zakončena tabulkou, kde budou shrnuty výhody a nevýhody, kterými disponuje.

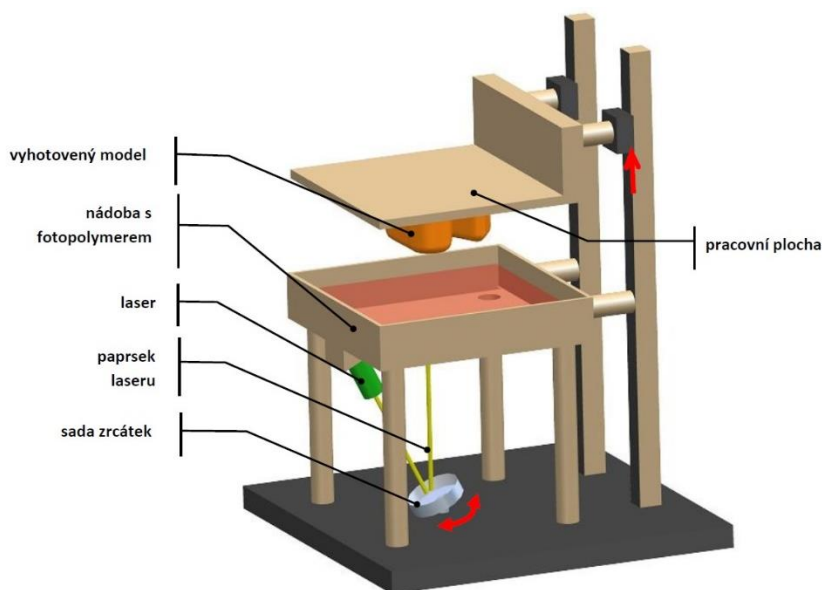
4.1 SLA technologie (Stereolitografie)

Stereolitografie je nejstarší technologií 3D tisku. Využívá se již od roku 1987, kdy byla prodána první 3D tiskárna s touto technologií. Tiskárny s SLA technologií mohou být založeny na dvou různých principech:

Princip 1: Pracovní plocha je na začátku úplně ponořena v nádobě s tekutým fotorpolymerem. Postupně, vrstvu po vrstvě, vytvrzuje laserem vytvořené UV záření. Laser působí na pracovní plochu zespodu, skrze nádobu s fotorpolymerem. Pracovní plocha se tak pohybuje směrem vzhůru, přičemž doslova vytahuje zhotovovaný model ven z nádoby.

Princip 2: V tomto případě je pracovní plocha, na kterou má být vyhotoven model, postupně ponořována do tekutého fotorpolymeru. Laserový paprsek působí narozdíl od předešlého principu shora. To znamená, že se pracovní plocha na začátku procesu ponoří do hloubky o velikosti jedné vrstvy.

Laserový paprsek vytvrdí fotorpolymer v místech, kde má vzniknout model a poté se pracovní plocha spolu s modelem ponoří opět o velikost jedné vrstvy do tekutého fotorpolymeru. Tento proces se opakuje až do úplného vyhotovení modelu (obr(2)). Nevýhodou této technologie může být menší tisková plocha oproti FFF tiskárnám, a především toxicita pryskyřice. Je třeba se vyvarovat kontaktu pryskyřice s pokožkou a dýchání výparů během tisku. Tiskárna je obvykle dodána s průhledným pastovým krytem, který zabrání úniku výparům do ovzduší při tištění a také brání průniku vnějšímu UV záření do pracovního prostoru. [2.1]

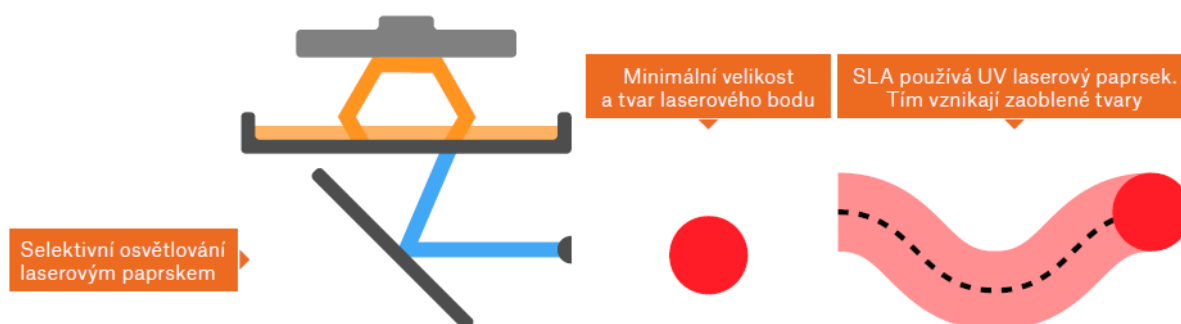


obr(2): Schéma SLA tiskárny [2.1]

SLA technologie se dále dělí na 3 pod skupiny, které se mezi sebou liší jen způsobem osvětlení a vytvářením fotopolymerní vrstvy. Ačkoliv se mohou zdát velmi podobné, kvalita a doba tisku se mohou výrazně lišit. [2.2]

4.1.1 SLA – Laser

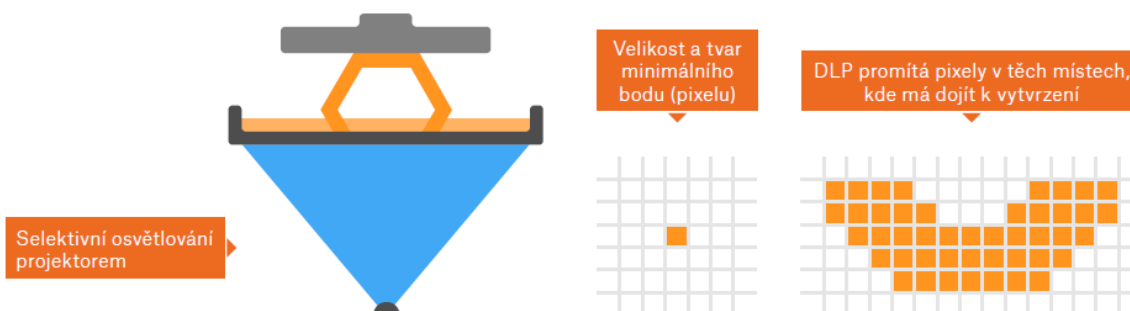
Osvětlení pomocí UV laserového paprsku, kdy je paprsek směřován dvěma zrcadly, a postupně vytváří tiskovou vrstvu (obr(3)). Doba tisku jedné vrstvy je závislá na ploše, která se v dané vrstvě vytváří. Zjednodušeně řečeno: čím více objektů se tiskne, tím déle tisk trvá. [2.2]



obr(3) SLA-tisk laserem [2.2]

4.1.2 SLA – DLP (Digital Light Processing)

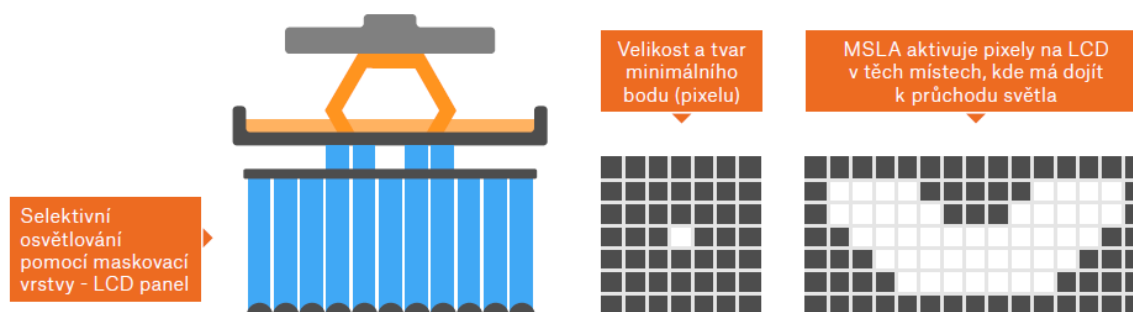
Osvětlení celé tiskové vrstvy najednou pomocí digitálního projektoru (obr(4)). V místech osvětlení dochází k vytváření. Výhodou této technologie je nezávislost doby tisku jedné vrstvy na počtu tiskových objektů a jejich ploše v dané vrstvě. Jeden model se bude tisknout stejně dlouho jako modely dva. Tiskový čas jedné vrstvy je fixní. [2.2]



obr(4): SLA- tisk pomocí DLP [2.2]

4.1.3 SLA-MSLA (Mask Stereolithography)

Osvit pomocí UV LED a maskování celé tiskové vrstvy LCD displejem. UV světlo prostoupí jen tam, kde jsou pixely aktivované (svítí bíle) a jen tam dojde k vytvrzení pryskyřice (obr(5)). Protože se LCD displej skládá ze čtvercových pixelů o pevně daném rozlišení, rozlišení objektu je v osách X a Y pevně dané rozlišením LCD displeje. Díky vytvrzování celé vrstvy najednou je i tato technologie časově nezávislá a počtu tištěných objektů. Tiskový čas jedné vrstvy je pořád stejný. [2.2]



obr(5): SLA- tisk pomocí UV LED [2.2]

Pro shrnutí si v následující tabulce (tab(1)) vyjmenujeme výhody a nevýhody této technologie tisku.

Tab (1): Výhody a nevýhody SLA [2.1]

| Výhody | Nevýhody |
|--|---|
| + výborná přesnost v řádu mikronů | - model se po vytisknutí musí dále dotvrdit, aby se zlepšily jeho mechanické vlastnosti |
| + tiskárny jsou poměrně tiché při tisku oproti tiskárnám s principem FFF tisku | - výběr materiálu je omezen pouze na fotocitlivé materiály (fotopolymery) |
| + tvorba tvarově složitých součástí | - odpad z pryskyřice a potištěné díly vyžadují speciální likvidaci |
| + není potřeba využívat podpůrný materiál | - vysoká pořizovací cena materiálu |

4.2 SLS / DMLS technologie

Tiskárny s technologií SLS/ DMLS se řadí mezi tiskárny s nejvyšší pořizovací cenou na trhu, proto se tyto tiskárny užívají převážně průmyslově.

4.2.1 DMLS

Tento druh 3D tisku, patentován roku 1987, je založen na tisku kovových modelů, které se mohou dále obrábět a zpracovávat. Práškový materiál je opět zpevňován po tenkých vrstvách, pomocí laserového záření.

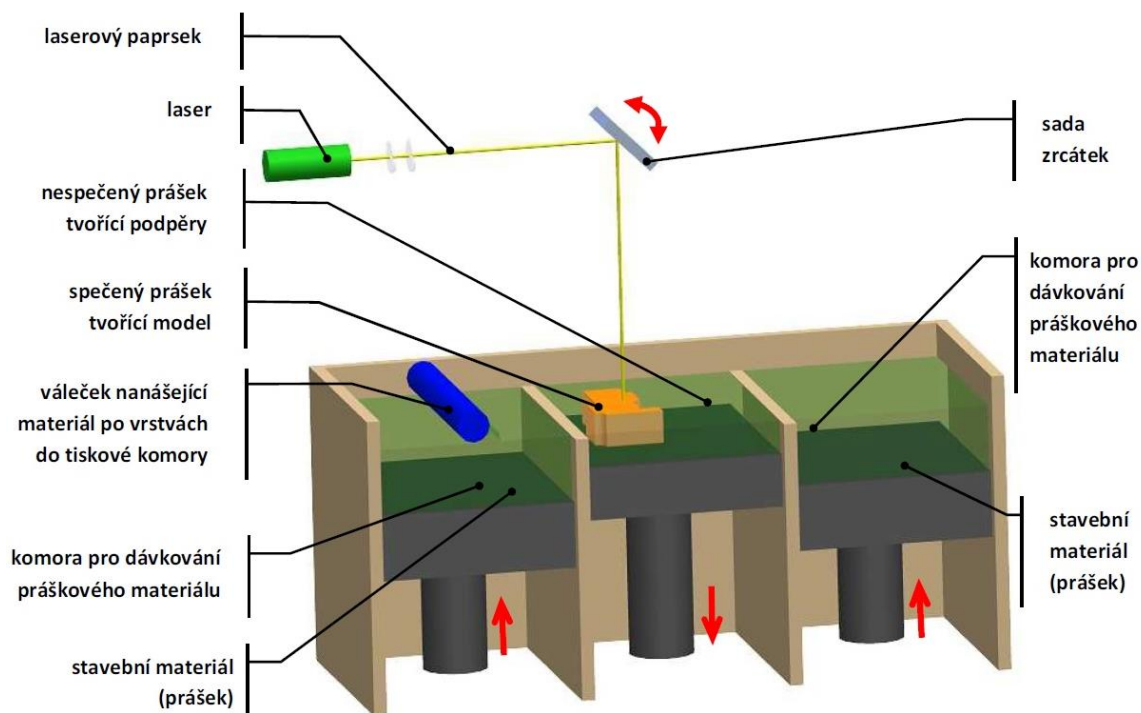
Princip: DMLS technologie je založena na stejném principu jako SLS technologie. Aby laser přetavil kovový prášek, musí však vyvinout podstatně větší teplotu než u SLS, kde se taví pouze plastové materiály, nebo keramika. Proto je jedním z rozdílů mezi DMLS a SLS výkon laseru. Využívá se zde ochranná atmosféra plynu Argon. Materiál je v tomto případě kov, a to například nerezová ocel, titan, bronz, nebo inconel, který má díky své žáruvzdornosti využití v letectví a podobně. [2.1]

4.2.2 SLS

SLS technologie využívá k výrobě 3D součástí práškový materiál, který je zapékán pomocí tepelné energie vyvinuté laserovým paprskem (obr(6)). Tato technologie 3D tisku byla patentována roku 1987.

Princip: Na pracovní plochu je nanесena tenká vrstva práškového materiálu. Paprsek se soustředí na jemný prášek, který se díky laseru taví a vzniká jedna z mnoha vrstev. Hotová vrstva se pokryje další vrstvou prášku a proces se opakuje. [2.1]

Výhody a nevýhody technologie jsou shrnuty v tab(2).



obr(6): Schéma SLS / DMLS tiskárny [2.1]

Tab (2): Výhody a nevýhody SLS/ DMLS technologie [2.1]

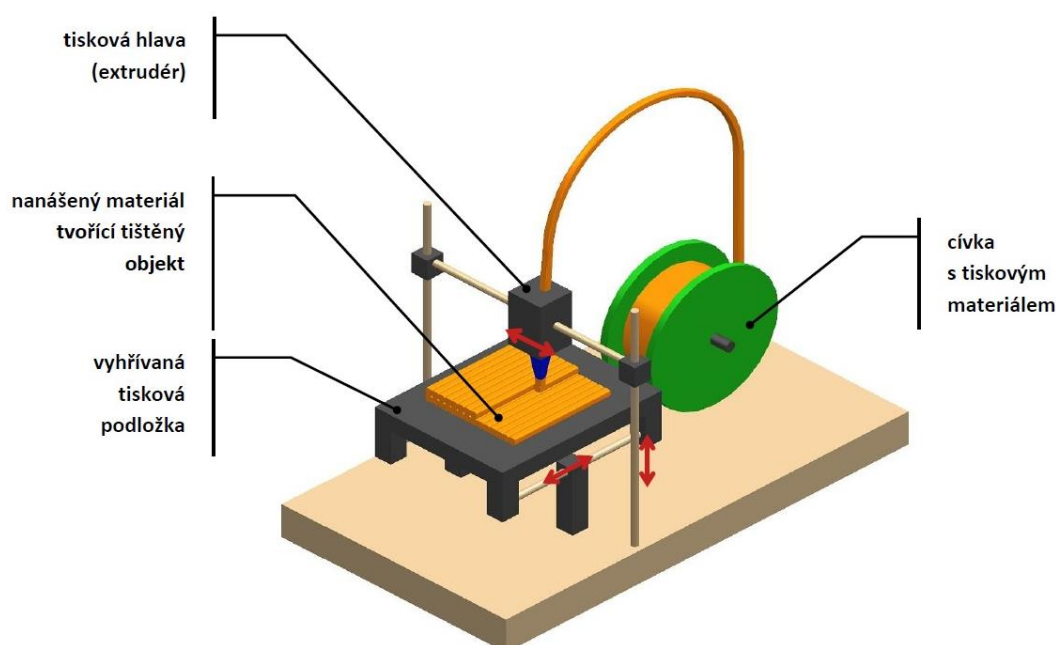
| Výhody | Nevýhody |
|--|--------------------------|
| + tvorba tvarově složitých součástí | - vysoká pořizovací cena |
| + není potřeba využívat podpůrný materiál | - nedokonalý povrch |
| + nepoužitý prášek je 100% recyklovatelný, a tak se může použít v další výrobě | |
| + nízká pořizovací cena materiálu | |

4.3 FDM/ FFF technologie

Jedná se o nejrozšířenější, nejnámějnější a nejdostupnější technologii 3D tisku. Patent, pro tuto technologii 3D tisku, byl podán roku 1989. FDM je v dnešní době nejrozšířenější technologie 3D tisku.

Princip: Roztavený materiál se, ve formě tenkého vlákna, nanáší na pracovní desky pomocí trysky (obr(7)). Nanášení probíhá po vrstvách. Materiál, který se využívá pro výrobu modelu, musí být ve formě struny (filamentu). Pro tisk složitějších součástí, se musí navíc použít podpurný materiál. [2.1]

FDM a FFF tiskárny jsou svými konstrukčními prvky téměř identický, jediný rozdíl mezi nimi je, že pracovní prostor FDM tiskárny se nachází v tiskové komoře, která má za úkol udržovat stabilní teplotu, tím se předejde nežádoucím účinkům jako je například zbytková napětí. Takže by se dalo říct, že FDM tiskárny jsou svou účinností, kvalitou i cenou na vyšší úrovni než FFF tiskárny. [2.3]



obr (7): Schéma FDM / FFF tiskárny [2.1]

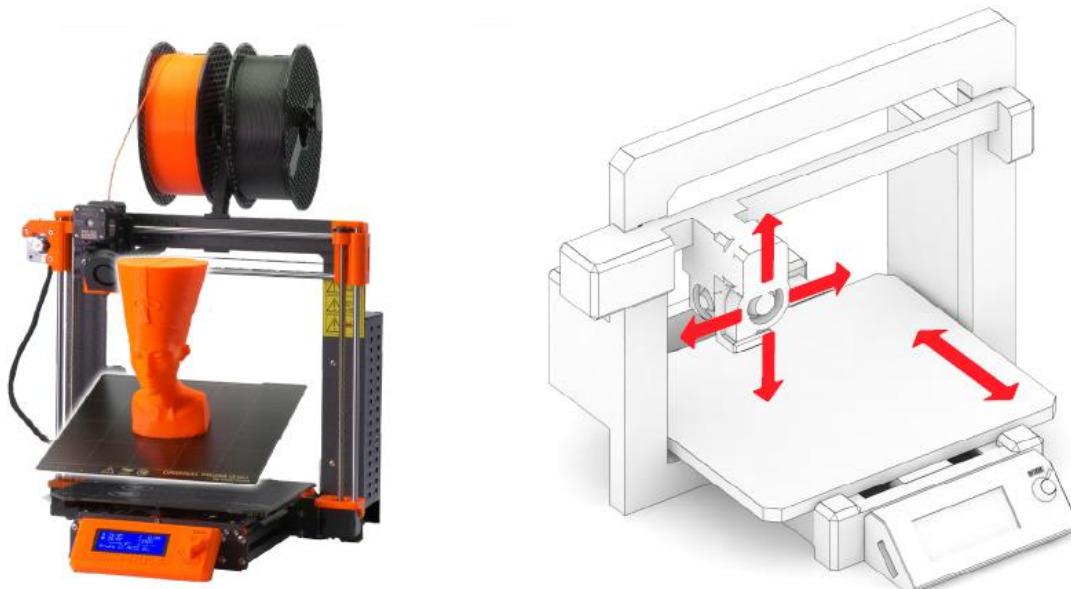
Výhody a nevýhody technologie jsou shrnuty níže v tab(3).

Tab (3): Výhody a nevýhody FDM/FFF technologie [2.1]

| Výhody | Nevýhody |
|--|--|
| + jednoduchý princip | - kvalita povrchu tištěného komponentu je horší (v porovnání vůči SLA technologii) |
| + nízká pořizovací cena tištěného materiálu | - hlučnost |
| + tištěné komponenty mají lepší mechanické vlastnosti než komponenty z technologie SLA | |
| + velký výběr tištěného materiálu | |
| + nízká pořizovací cena tiskárny | |

4.3.1 FFF- Kartézská tiskárna

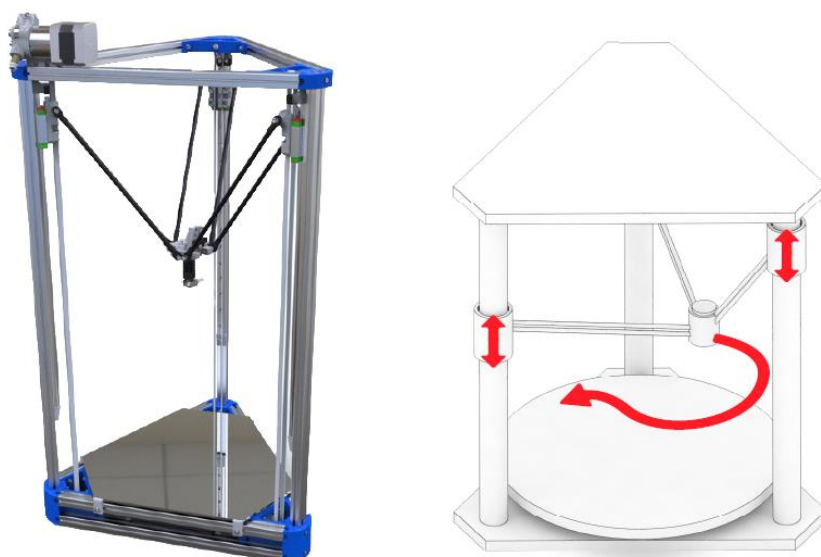
Tiskárna je založena na principu pohybu po třech lineárních osách, přičemž tisková hlava vytlačující materiál (extruder) se pohybuje ve dvou osách (X, Z) a podložka po jedné (Y). Tisková podložka je proto u většiny tiskáren pravoúhlého tvaru (obr(8)). [2.2]



obr (8): FFF-kartézská tiskárna [2.2]

4.3.2 FFF- Delta tiskárna

Tiskárna využívá zavěšeného extruderu na třech ramenech, která jsou spolu spojená právě v místě extruderu. Výhodou jsou rychlé pohyby a velký tiskový prostor především v ose Z. Naopak tiskárna vyžaduje vysokou přesnost při stavbě a následné kalibraci. Složitá geometrie vyžaduje náročné výpočty pro pohyby krokových motorů jednotlivých ramen(obr(9)). [2.2]



obr (9): FFF-Delta tiskárna [2.2]

4.3.3 FFF- Polární tiskárna

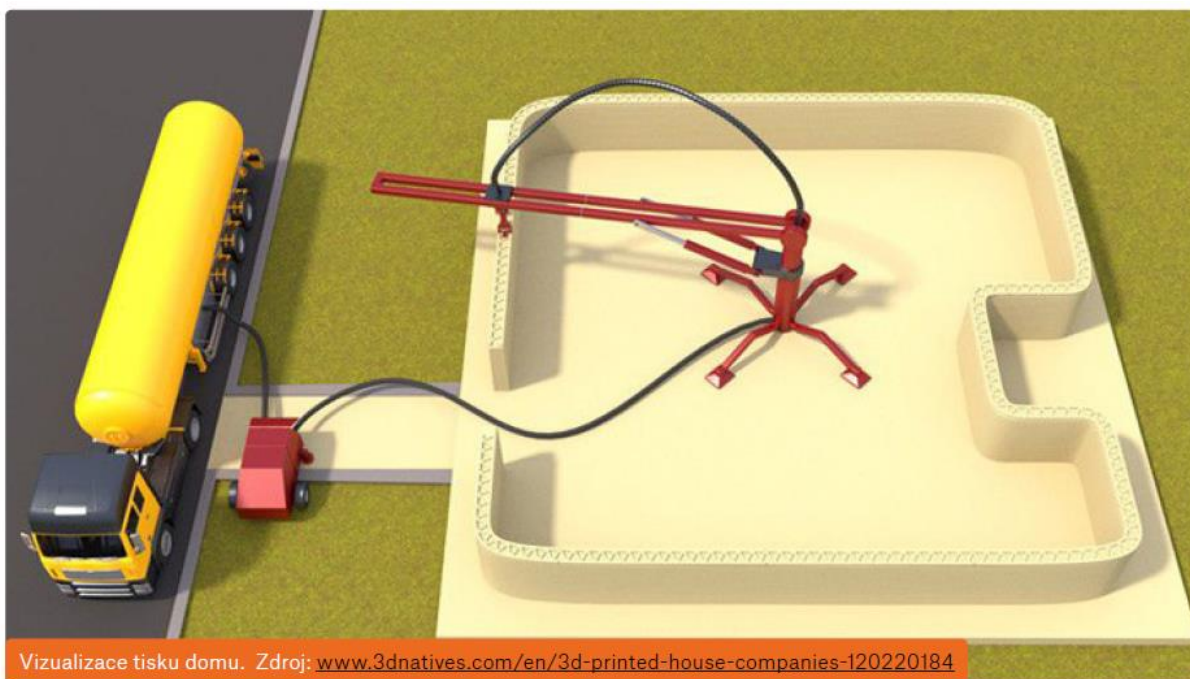
Tiskárna je méně používaný systém založený na polárním pohybu tiskové hlavy po dvou osách a rotační podložce. Tento systém je konstrukčně velmi jednoduchý, ale převedení a příprava modelu pro tisk je naopak v tomto případě poměrně komplikovaná (obr(10)). [2.2]



obr(10): FFF- Polární tiskárna [2.2]

4.3.4 3D tisk ve stavebnictví

V současné době se objevují i stavební projekty, které se pokouší o aplikaci této technologie tisku i ve stavebnictví, k tisku staveb (obr(11)). Ve stavebnictví používají tekutý beton, to znamená že oproti klasické 3D tiskárně se zde nemusí tavit žádný Filament (struna). Toto jen dokazuje, jak je tato technologie jednoduchá a všestranná.



Vizualizace tisku domu. Zdroj: www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184

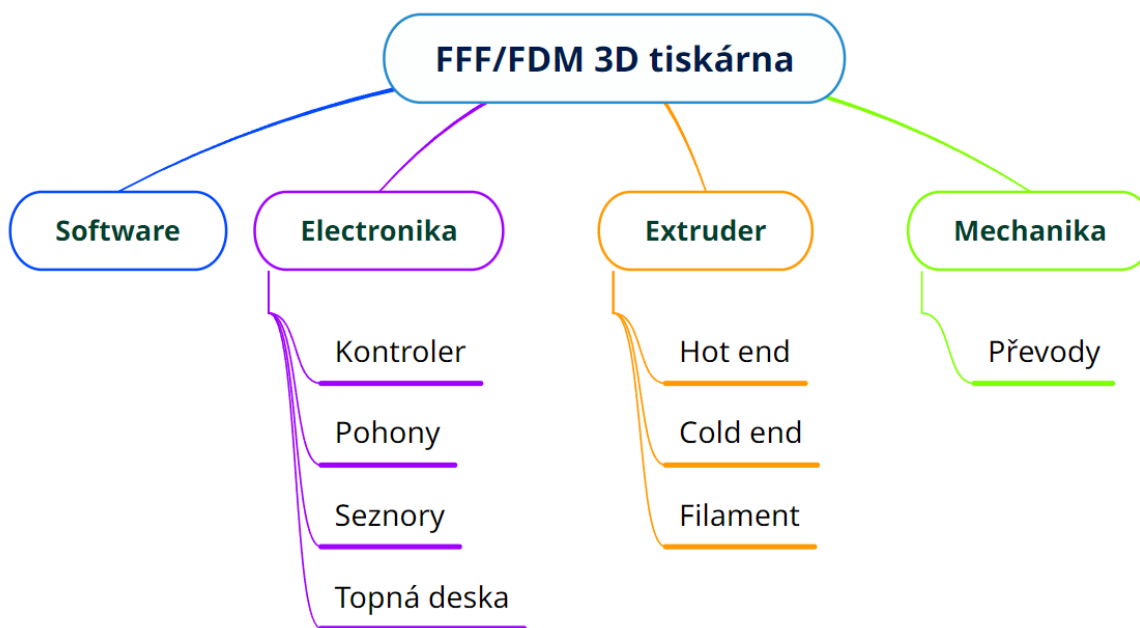
obr(11): 3D tisk domu [2.2]

4.3.5 Struktura FFF/FDM 3D tiskárny

Základní struktura FFF 3D tiskárny obvykle zahrnuje následující komponenty:

- 1) Mechanika: převody kroutících momentů z motorů na osy, které pohání například vyhřívanou podložku, je platforma, která se pohybuje podél vertikální osy (osa Z) a vytváří vrstvy tištěného objektu. Portál je rám, který podpírá extrudér a umožňuje mu pohyb podél os X a Y.
- 2) Extruder: je část tiskárny, která taví a vytlačuje filament. Skládá se z topného tělesa, motoru a trysky.
- 3) Elektronika: je například řídicí deska, topná deska, napájecí zdroj a různé senzory a motory, které řídí pohyb tiskárny a teplotu extrudéru.
- 4) Software: 3D tiskárny obvykle vyžadují specializovaný software k převodu digitálního 3D modelu na pokyny, kterým tiskárna porozumí a použije je k sestavení fyzického objektu. Tento typ softwaru se nazývá „slicing software“ v překladu software na krájení, protože rozděluje 3D model na tenké vrstvy, které tiskárna následně vytiskne. Kromě softwaru pro krájení některé 3D tiskárny také vyžadují další software pro komunikaci s tiskárnou a správu procesu tisku. To může zahrnovat software pro nastavení tiskárny, vkládání a vyjímání filamentu a sledování průběhu tisku.

Aby tiskárna byla plně funkční, musí být dosaženo všech čtyř bodů (obr(12)). Výkon tiskárny je dán podle toho, jak rychle extruder roztaví tištěný materiál a také jakou má kapacitu, další podmínkou je jakou maximální rychlost mohou dosáhnout pohony os.



obr(12): Struktura FFF tiskárny

5 Patenty

Tato kapitola bude zaměřena na patentová práva týkajících se pásových 3D tiskáren. Budou prostudovány různé patenty a jejich práva na použití technologií, které jsou spojené s tímto druhem tiskáren. Cílem této kapitoly bude poskytnout komplexní přehled o patentových právech souvisejících s pásovými 3D tiskárnami.

5.1 Blackbelt 3D

Společnost je známá svými vysoce kvalitními tiskárnami. Cena jedné tiskárny se pohybuje v řádech 10 000 \$, což je v přepočtu 230 000 Kč. Rozměry pracovního prostoru jsou (340 x 340 x ∞) mm, na obr(13) je vidět, že pro tištěné díly, které jsou delší používají k podpoře dílu válečkovou podporu. Tiskárna také umožňuje tisknout pod úhlem, což znamená, že některé složitější díly by se mohly vytisknout bez podpěrných materiálů, když se správně nastaví na sliceru, což by na běžné kartézské tiskárně viz obr(8) nedalo. Na obr(14) je vidět aretační mechanismus, který je zajištěn kolíkem.

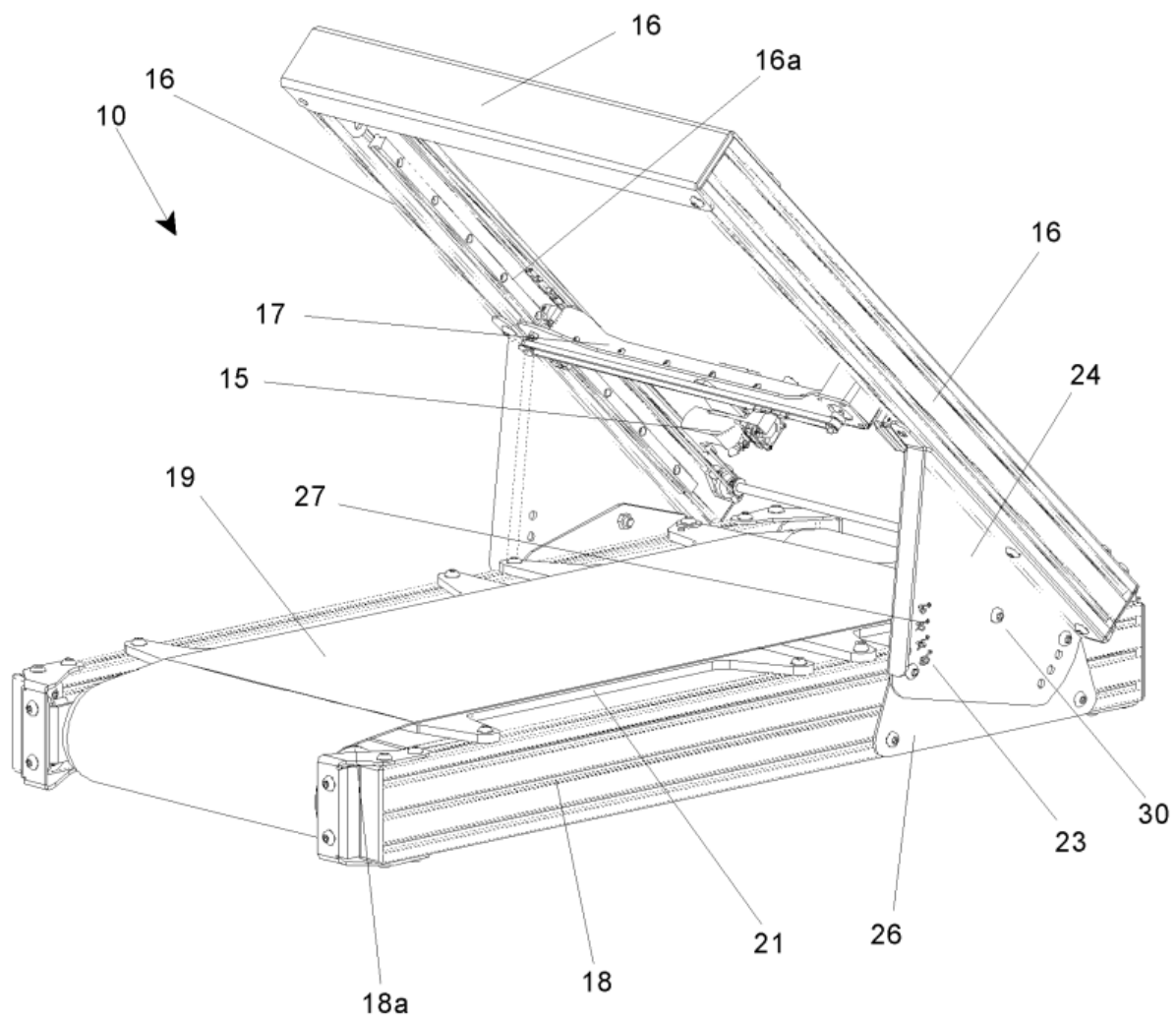
Společnost Blackbelt 3D si nechala v roce 2020 patentovat následující myšlenky a výrobky, které jsou uvedeny níže v tab(4).

Tab (4): Blackbelt patenty [2.4]

| | |
|----------------------|--|
| dopravníkový pás | vyroben z vláknité kompozitní tkaniny, impregnována epoxidovou pryskyřicí |
| aretační mechanismus | sloužící k nastavení úhlu sklonu (15°/25°/35°/45°) roviny ve, které se pohybuje extruder |



obr(13): FFF tiskárna od Blackbelt [2.5]



obr(14): Schéma tiskárny s aretačním mechanismem [2.4]

6 Mechanické převody

Jedním z úkolů převodů je změna převodového poměru, tento úkon se provádí za účelem, aby byla dosažena požadovaná rychlost nebo požadovaný kroutící moment, pro ideální převod platí rovnice (5.1). Dalším úkolem převodů je převést rotační pohyb na lineární pohyb, a naopak. V této kapitole budou vyjmenovány převody, které se běžně používají u 3D tiskáren.

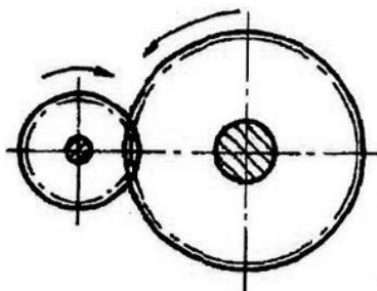
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{M_{k2}}{M_{k1}} \quad (1)$$

Kde:

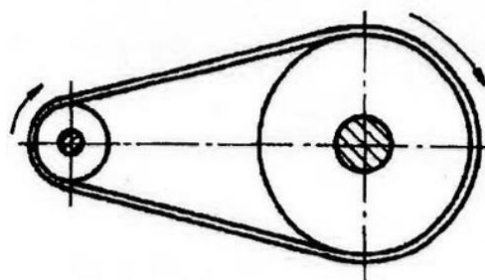
| | | |
|------------|---|---------|
| i | převodový poměr | [-] |
| n_1 | otáčky na vstupu | [1/s] |
| n_2 | otáčky na výstupu | [1/s] |
| ω_1 | úhlová rychlost na vstupu | [rad/s] |
| ω_2 | úhlová rychlost na výstupu | [rad/s] |
| z_1 | počet zubů ozubeného kola na vstupu | [-] |
| z_2 | počet zubů ozubeného kola na výstupu | [-] |
| d_1 | roztečný průměr ozubeného kola na vstupu | [mm] |
| d_2 | roztečný průměr ozubeného kola na výstupu | [mm] |
| M_{k1} | Kroutící moment na vstupu | [Nmm] |
| M_{k2} | Kroutící moment na výstupu | [Nmm] |

6.1 Změna převodového poměru

Měnit převodový poměr lze za pomoci ozubených kol (obr(16)) nebo řemenů (obr(15)).



obr (15): Ozubený převod [2.6]



obr (16): Řemenový převod [2.6]

Je-li převodový poměr $i > 1$, jde o převod do pomala, tzn., že otáčky hnacího kola jsou větší než otáčky kola hnaného ($n_1 > n_2$).

Je-li převodový poměr $i < 1$, jde o převod do rychla, tzn., že otáčky hnacího kola jsou menší než otáčky kola hnaného ($n_1 < n_2$).

Je-li převodový poměr $i = 1$, otáčky hnacího i hnaného kola jsou stejné ($n_1 = n_2$).

6.2 Převod rotačního pohybu na lineární pohyb

Pro tento převod se běžně užívají:

- Ozubené kolo a ozubený hřeben
- Pohybový šroub
- Synchronní (ozubený) řemen

6.2.1 Ozubené kolo a ozubený hřeben

Přesné ozubené kolo (pastorek) se pohybuje vpřed i vzad po ozubeném hřebenu (obr(17)), což je ve skutečnosti rozvinuté ozubené kolo. Ozubené hřebeny jsou nejčastěji v délkách od 500 mm do 2000 mm a lze je navzájem napojovat do libovolných délek a v případě správné montáže neklesá přesnost. Nespornou výhodou je, že lze zároveň pohybovat několika pastorky po jednom hřebenu, což umožňuje pohyb v různých směrech současně, nebo lze pohybovat dvěma pastorky současně stejným směrem s výslednou dvojnásobnou silou. Pastorek je nejčastěji připevněn k převodovce, která zvyšuje točivý moment a redukuje rychlost. Nejznámějšími aplikacemi jsou pohony posuvných bran nebo portálové CNC stroje. [2.7]



obr(17): Ozubený hřeben [2.7]

6.2.2 Pohybový šroub

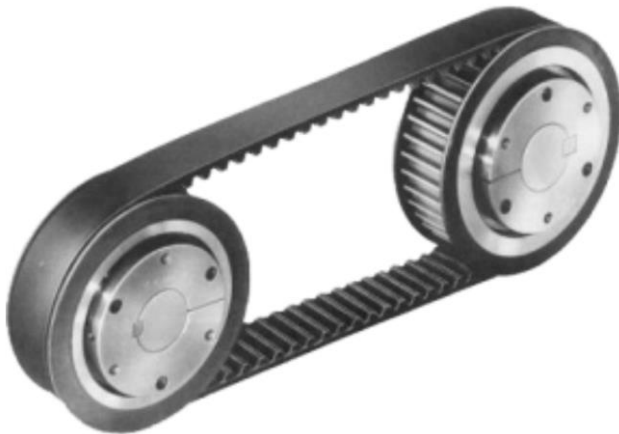
Pohybový šroub je vlastně závitová tyč (obr(18)), po níž se pohybuje matice dopředu a nazpět. V případě rotace šroubu nebo matice lze dosáhnout lineárního pohybu. Matice je nejčastěji osazena kuličkami, díky kterým dochází k menšímu tření, a je možné její vyšší zatížení. Právě z tohoto důvodu se tato kombinace nazývá kuličkový šroub s maticí. Pokud není použit kuličkový šroub, pak je závit často „zešíkmen“ a odborně nazývá trapézový nebo také lichoběžníkový šroub. Šroubový pohon je snadný mechanický způsob pro omezené lineární posuvy. Typickým příkladem použití trapézových šroubů jsou zvedáky automobilů. [2.7]



obr(18): Pohybový šroub [2.7]

6.2.3 Synchronní (ozubený) řemen

Synchronní řemen je napnut přes soustavu řemenic příp. kladek (obr(19)), kde ozubení řemene zabraňuje jeho proklouznutí. Ozubený řemen může být použit také k přenosu otáčivého pohybu bez nebo s převodováním. Pomocí velikosti řemenice lze podstatně ovlivnit výsledný točivý moment a rychlost. V případě potřeby vyšších točivých momentů jsou také využívány převodovky snižující rychlost a zvyšující točivý moment. Výhodou tohoto systému je levné a jednoduché řešení. Naopak nevýhodou je žádoucí napnutí řemene a vyskytující se nepřesnosti ve spojitosti s (mnohdy limitním) natahováním ozubeného řemene. Nejznámějším příkladem lineárního synchronního řemene je polohování tiskové hlavy tiskáren nebo pohon elektrických garážových vrat, typickou aplikací rotačních jednotek se synchronním řemenem jsou rozvody spalovacích motorů. [2.7]



obr(19): Synchronní řemen [2.7]

V tab(5) jsou srovnány mezi sebou jednotlivé lineární jednotky.

+ nejlepší

0 neutrální

– nejhorší

Tab (5): Srovnání převodů [2.7]

| | šroubový pohon | rozvodový řemen | hřeben a pastorek | lineární motor | pohon řetězem |
|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| rychlost | + | + | ++ | ++ | + |
| síla | + | + | ++ | - | ++ |
| akcelerace | 0 | + | + | + | 0 |
| přesnost | ++ | 0 | ++ | + | 0 |
| délka | - | - | ++ | ++ | - |
| vertikální řízení | ++ | 0 | ++ | - | ++ |
| životnost | 0 | + | + | ++ | 0 |
| pořizovací náklady | + | ++ | 0 | - | 0 |
| efektivita | + | - | + | - | 0 |
| náklady na opravy | - | 0 | + | - | - |
| instalace a montáž | + | ++ | + | - | + |

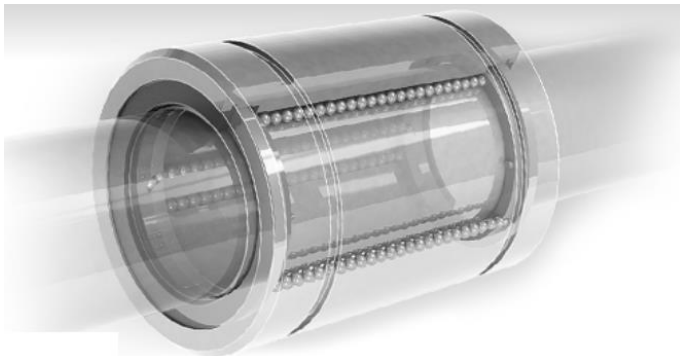
7 Lineární vedení

Lineární vedení má za úkol sloužit jako přesný a jednoduchý vodící systém, jinak řečeno, musí zachytávat síly a momenty, které směřují jinam než do směru pohybu lineárního vedení, aby tyto síly nezatěžovali lineární převodové mechanismy ve směrech ve kterých, na to nebyly dimenzovány. Dále jsou uvedeny dvě nejpoužívanější a nejnámější typy vedení:

- vodící tyče a kuličková pouzdra
- vedení s oběhovými kuličkami

7.1 Vodící tyče a kuličková pouzdra

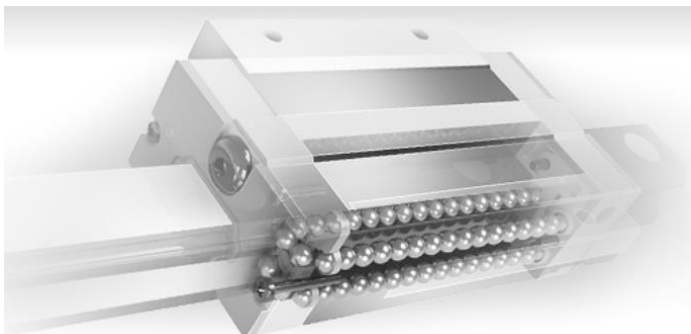
Pro menší zatížení s nižšími nároky na přesnost a na kratší dráze nebo v místech bez možnosti uchytní kolejnici po celé její délce, je ideální volbou k aplikaci kuličkových pouzder (obr(20)), někdy také označovaná jako lineární ložiska s kalenými vodícími tyčemi. [2.8]



obr(20): kuličková pouzdra [2.8]

7.2 Vedení s oběhovými kuličkami

Lineární vedení se zpravidla skládá z profilové kolejnice a vozíku, který je opatřen zpravidla čtyřmi řadami kuliček, případně válečků, které zajišťují dokonale hladký a přesný přímočarý pohyb. Na rozdíl od kluzných řešení se kuličkové či válečkové může pochlubit až 90% účinností, což oproti 40-50 % účinnosti u kluzných systémů lineárního vedení mluví za vše. Lineární vedení (obr(21)) se využije všude tam, kde je potřeba vymezit přesný pohyb v jedné přímočaré ose. [2.8]



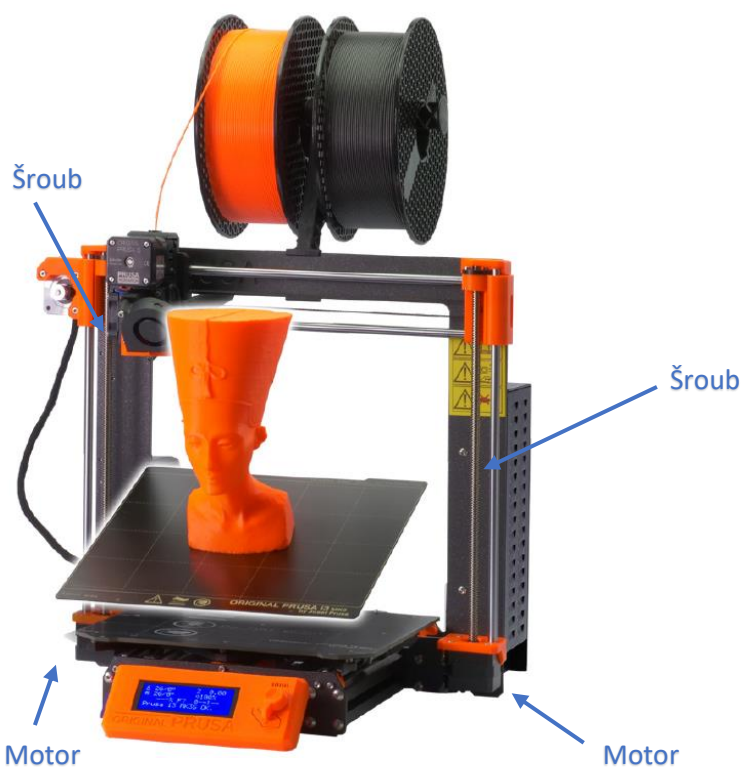
obr(21): Lineární vedení [2.8]

Kuličkové pouzdro je levnější než lineární vedení, ale také má mnohem menší únosnost.

8 Senzory

Aby 3D tiskárna pracovala správně, musí mít svoji referenční pozici, známou jako home (domov), od které se odvíjí její další pohyby. Referenční pozice je pozice kde jsou všechny osy x,y,z v (0,0,0). Pomocí této pozice zjistí tiskárna, kde se nachází její výstupní tryska z extruderu. Účelem senzorů je, aby detekovali umístění extruderu. Běžně když zapne tiskárna, tak by měla tiskárna měla najet na konce všech os, aby si určila pozici trysky, nebo případně aby synchronizovala pohony (obr(22)).

Běžná vzdálenost trysky extruderu od roviny tisku by měla být mezera o velikosti 0,1mm, což je tloušťka papíru, jedné A4. K nastavení vzdálenosti trysky od roviny tisku jsou dva způsoby, jak toho dosáhnout. Jedním je, že se vloží papír mezi tryskou a rovinou tisku, a při pokusu o odebrání papíru by měl být cítit menší odpor. Druhý způsobem je, že se koupí senzor, který toto nastavování provede automaticky.



obr(22): FFF tiskárna [2.2]

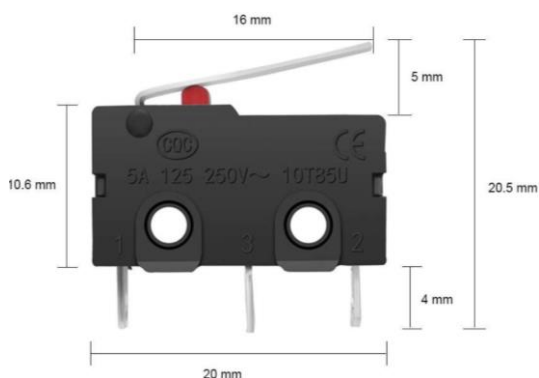
Níže budou uvedeny nejznámější a nejpoužívanější typy senzorů:

- mechanické
- magnetické
- indukční
- optické

8.1 Mechanické senzory (koncové spínače)

Mechanický koncový spínač (obr(23)) je nejběžněji používaný pro svou jednoduchost a nízkou cenu. Je to v podstatě tlačítko, které se spouští, když je jeho kovové pružinové rameno naraženo. Po stisknutí spínač buď otevře nebo zavře okruh, v závislosti na tom, jak je zapojen. Při umístění na lineární kolejnici narazí vozík do koncového spínače a mikrokontrolér zaznamená změnu stavu spínače a zastaví motor. [2.9]

Největší výhodou těchto senzorů je jejich nízká pořizovací cena, ale jejich velkou nevýhodou je, že se po určitých cyklech musejí vyměnit, protože uvnitř senzoru je pružina, a ta se s každým cyklem opotřebovává.



obr(23): Mechanický senzor [2.9]

8.2 Magnetické senzory

Magnetické koncové spínače (obr(24)) fungují buď na principu elektromagnetické indukce nebo Hallova jevu. Podobně jako optický koncový spínač Hallovy spínače jsou bezkontaktní, ale místo detekce změn světla, měří změny v magnetických polích. Tyto typy spínačů vyžadují připevnění magnetu k pohybující se části (u 3D tiskáren to jsou vozíky lineárního vedení). Když se vozík posune s magnetem blíže k minimu, kde se nachází magnetický senzor, tím dojde ke spuštění výstupní signál. Podobně jako optický senzor potřebuje Hallův senzor další vodič, ale v tomto případě je to pro referenční napětí, potřebné pro spínací efekt. Na rozdíl od optického senzoru, magnetický senzor není ovlivněn okolním světlem. [2.9]

Výhodou těchto senzorů spočívá v bezkontaktním snímání, dlouhé životnosti, odolnost proti prachu a vysokým teplotám. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a ke snímání je za potřebí magnet.



obr(24):Magnetický senzor [2.9]

8.3 Indukční senzory

Princip funkce těchto snímačů (velmi zjednodušeně řečeno) spočívá v tom, že senzor (obr(25)) ve svém okolí aktivně vytváří magnetické pole, které se změní, pokud je v blízkosti kovový předmět. Snímač obsahuje vyhodnocovací elektroniku, která tuto změnu magnetického pole rozpozná a přepne svůj výstup z log. 0 do log. 1 (nebo naopak). [2.10]

Výhodou těchto senzorů spočívá v bezkontaktním snímání, dlouhé životnosti, odolnost proti prachu a vysokým teplotám, vysoké frekvenci spínání. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a detekuje jen ocelové materiály. Indukční senzory a magnetické senzory vypadají velmi podobně.

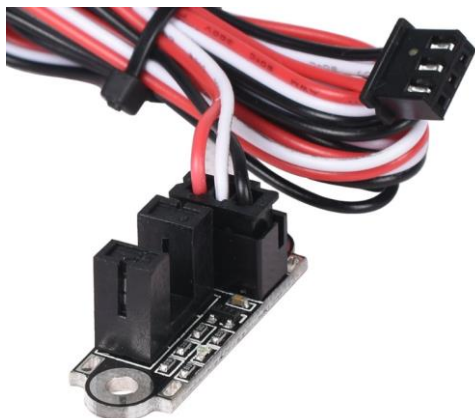


obr(25): Indukční senzor [2.10]

8.4 Optické senzory

Optické koncové spínače (obr(26)) se skládají z LED a fototranzistoru. Když je světelná dráha mezi LED a fototranzistorem zablokována, proud fototranzistoru klesá. Většina optických spínačů vydává digitální signál vysoké nebo nízké úrovně podle toho, zda je přítomna překážka, díky čemuž je tento typ koncového spínače kompatibilní s mnoha základními deskami 3D tiskáren. Na rozdíl od mechanického spínače však optický spínač vyžaduje další vodič, který napájí LED. S optickými koncovými spínači je detekce vozíku bezkontaktním procesem. U tohoto senzoru nejsou starosti s únavou materiálu nebo opotřebením dílů, jako je pružinové rameno u mechanického spínače. Mírné obavy však vyvolává rušení okolním světlem. [2.9]

Výhodou těchto senzorů je bezkontaktní měření, možnost detekce velkého množství materiálů, vysoká citlivost detekce, dlouhá životnost, levná pořizovací cena a dlouhá životnost. Nevýhodou je, že senzor může být rušen okolním světlem, nebo dorazem barvou materiálu, prach může výrazně ovlivnit funkci senzoru. [2.10]



obr(26): Optický senzor [2.9]

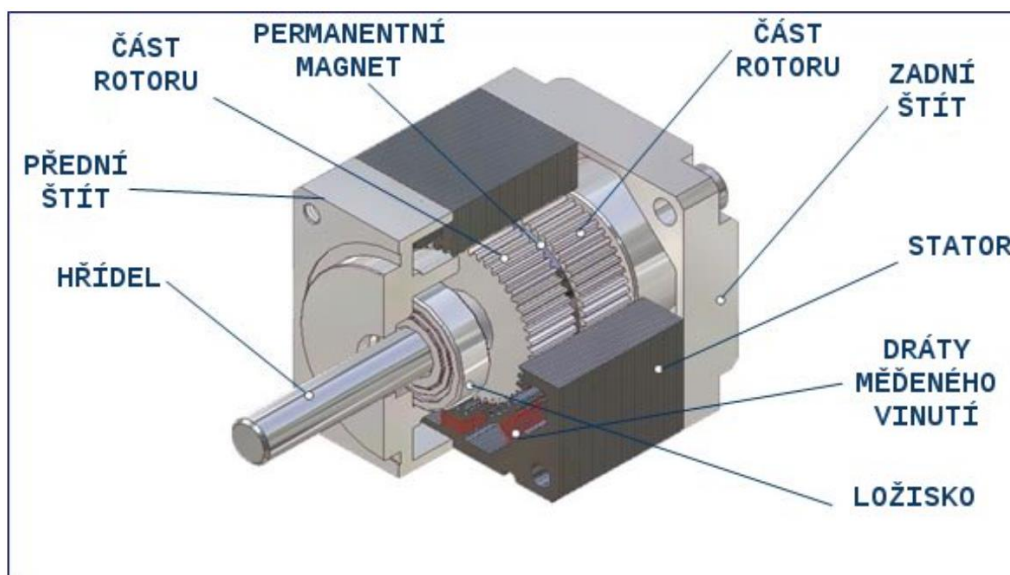
9 Pohony

V této kapitole budou vyjmenovány 2 typy pohonů, které se nejčastěji používají k pohonu os 3D tiskáren a řekneme si jaké jsou jejich výhody a nevýhody. Nejpoužívanějšími motory jsou krokové motory a servomotory.

9.1 Krokové motory

Asynchronní motory jsou elektrické motory, které pracují na principu rozdílu frekvence mezi rotorem a statorem. Rotor v asynchronním motoru se pohybuje rychlostí, která je nižší než rychlost elektrického pole v statoru, což vede ke vzniku torzní síly a tím i k pohybu rotoru. [2.11]

Krokový motor je typem asynchronního motoru (obr(27)), který se pohybuje v malých, přesně definovaných krocích. Jeho pohyb je řízen speciálním řídicím elektronickým zařízením, které určuje počet kroků, rychlost a směr pohybu. Je často používán v automatizačních aplikacích, kde je potřeba přesné řízení pozice nebo rychlosti pohybu.



obr (27): krokový motor [2.11]

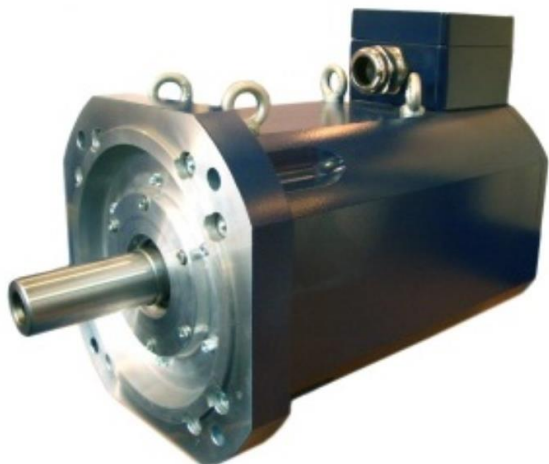
Níže v tab (6) jsou uvedeny výhody a nevýhody krokového motoru, nejpoužívanějším motorem u 3D tiskáren.

Tab (6): Výhody a nevýhody krokového motoru [2.11]

| Výhody | Nevýhody |
|--|--|
| + rychlost/moment může být jednoduše určena a řízena | - točivý moment klesá s rostoucí rychlostí |
| + nízké pořizovací náklady | - konstantní odběr proudu bez ohledu na zatížení |
| + vynikající točivý moment při nízkých otáčkách | |
| + malé rozměry a hmotnost | |

9.2 Servomotory

Servomotory jsou typem synchronních motorů (obr(28)). V synchronních motorech je rotor navržen tak, aby se pohyboval v přesně definovaných intervalech, takzvaných "krocích", a udržoval synchronizaci s elektrickým polem. Umožňuje přesné řízení pozice, rychlosti a momentu. Jsou často používány v automatizačních aplikacích, kde je potřeba přesné řízení pohybu nebo síly. [2.11]



obr(28): servomotor [2.11]

Níže v tab (7) jsou uvedeny výhody a nevýhody servomotoru.

| Tab (7): Výhody a nevýhody servomotoru [2.11] | |
|--|--|
| Výhody | Nevýhody |
| + Přesnost řízení pozice, rychlosti a momentu | - Vyšší pořizovací náklady |
| + Malé rozměry a hmotnost | - Vyšší požadavky na řídicí elektroniku a snímače pozice |
| + Vysoká účinnost | |
| + Schopnost pracovat s velmi malými pohyby | |

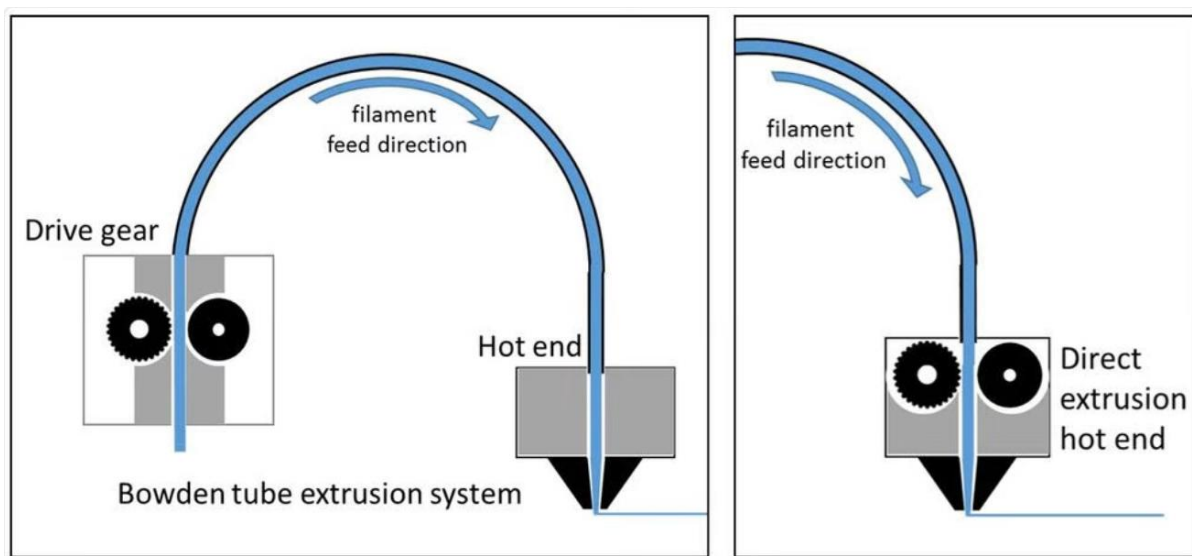
10 Extruder

Extrudér je jedna z nedůležitějších součástí FFF 3D tiskárny, protože je zodpovědný za kvalitu konečného tisku a extrudér může ovlivnit přesnost a konzistenci tisku, údržba a kalibrace extruderu jsou zásadní pro zajištění kvalitu konečného produktu. Účelem extruderu je, že taví plastové vlákno a protlačuje ho malou tryskou, aby vytvořila tištěný objekt. Extrudér se obvykle skládá z topného prvku, hnacího ozubeného kola a krokového motoru. Topné těleso taví plastové vlákno, když je přiváděno do extruderu hnacím kolem. Krokový motor pak řídí pohyb filamentu a vytlačuje ho skrz trysku, aby se vytvořil tištěný objekt.

Existují dva typy extruderů, extrudéry s přímým pohonem (obr(29) napravo) a pak tu jsou bowdeny (obr(29) nalevo).

Extrudéry s přímým pohonem mají hnací ozubené kolo přímo spojené s krokovým motorem, to znamená, že pohon os musejí být výkonnější než u bowdenu, ale obecně extrudery s přímým pohonem jsou považovány za spolehlivější a více užívané.

Bowdenové extrudéry mají pohon a hnací ozubené kolo umístěno mimo trysku, což snižuje hmotnost jednotky, kterou musejí pohony os pohánět. Tento typ extruderu je vhodný pro tiskárny, které vyžadují vysokou rychlost os. Není vhodný pro tisk elastických materiálů.



obr(29): Typy extruderů [2.23]

11 Praktická část

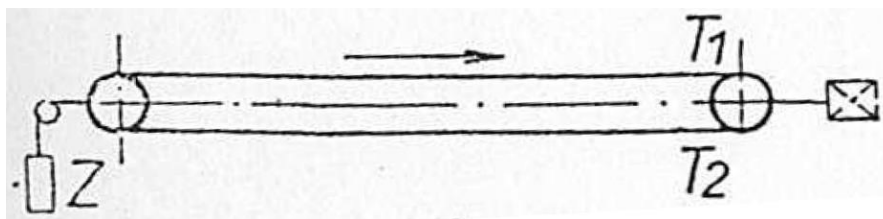
Praktická část se dělí na tři podkapitoly. V každé podkapitole budou řešeny koncepční návrhy a následně se vybere nejhodnější koncept. Pro daný koncept se provedou kontrolní výpočty, a pokud bude nutno, tak se na základě výpočtů následně zvolí potřebné komponenty (pohony, řemeny, senzory, ...). Praktická část se dělí na tyto tři podkapitoly:

- Pásový dopravník
- Vodorovná osa
- Rámová konstrukce a svislá osa

Než se začne s praktickou částí, všechny veličiny se kterými, se bude pracovat v kontrolních výpočtech, jsou uvedeny v kapitole 2, a pokud zde nejsou uvedeny, tak budou doplněny.

11.1 Pásový dopravník

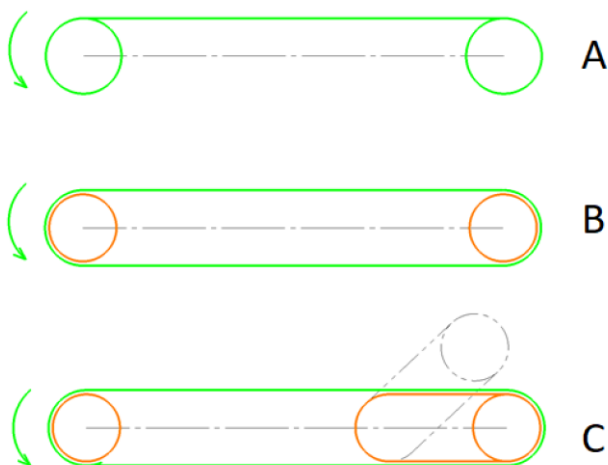
Pásový dopravník se skládá z pásu jako nosný prvek, je poháněn elektromotorem, který se obvykle nachází na výstupu. Pás je podpírán válečky nebo kluznou deskou, dále je napínán závažím viz obr(30). Pásové dopravníky jsou vynikajícím transportním zařízením pro sypké a kusové materiály, proto se hojně využívají v dolech.



obr(30): pásový dopravník [1.4]

11.1.1 Koncepční návrhy dopravníku

Níže v obr (31) jsou schematicky znázorněny koncepční návrhy pásového dopravníku.



obr(31): koncepce pásového dopravníku

Koncept A je založen na relativně jednoduchém principu, bubny navíjejí pás, který je svojí délkou limitován, to znamená že, pokud se výstupní buben zcela navine, tak se navinutý pás na výstupním bubnu bude muset navinout zpět na vstupní buben, aby tisk mohl pokračovat.

- + Výhodou tohoto konceptu je, že pás se nemusí nijak spojovat. Z tohoto důvodu se předpětí v pásu nemusí dosahovat závažím nebo jiným složitým mechanismem na napínáním. Jednoduše, bubny musejí napnout pás, tak aby v pásu vzniklo předpětí.
- Nevýhodou je, že se s tímto konceptem nedá tisknout nekonečně dlouhé díly, ale automatizace procesu tisku je zde možná.

Koncept B je založen na principu nekonečného pásu, s tímto konceptem dopravníku se dá tisknout nekonečně dlouhé díly, automatizace tisku je bez problému.

- Nevýhodou těchto nekonečných pásů u 3D tiskáren bývá místo spoje pásu, kde spoj musí být dostatečně hladký a dostatečně pružný.

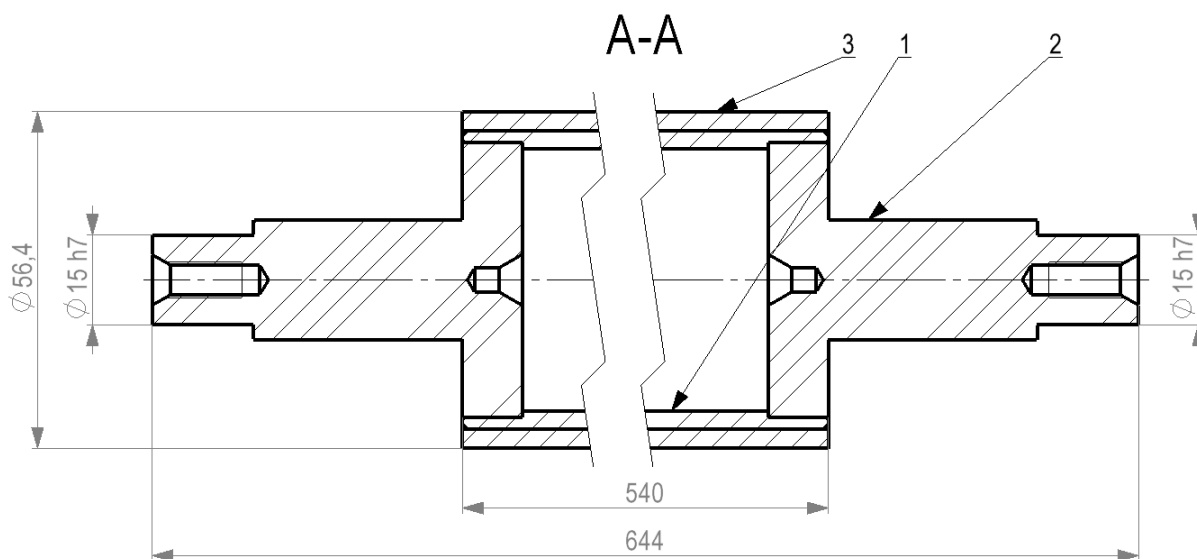
Koncept C je v podstatě, inovace konceptu B. V tomto konceptu je přidáno sklopné rameno, které umožňuje rychlou výměnu pásu.

K dalšímu rozpracování je vybrán koncept C.

11.1.2 Dopravníkový buben

Dopravníkové válečky jsou běžně dostupné normované díly, ale z důvodu pracnosti předělání válečků na vyhovující rozměry, bylo rozhodnuto, že se budou vyrábět.

Dopravníkový váleček (obr (32)) se skládá, z obrobené trubky (pozice 1), dále je vidět hřídel (pozici 2), která je nalisována do trubky. Následně se na váleček navleče pryžový ochranný kryt (pozice 3), který má za úkol zvýšit tření mezi pásem a válečkem.

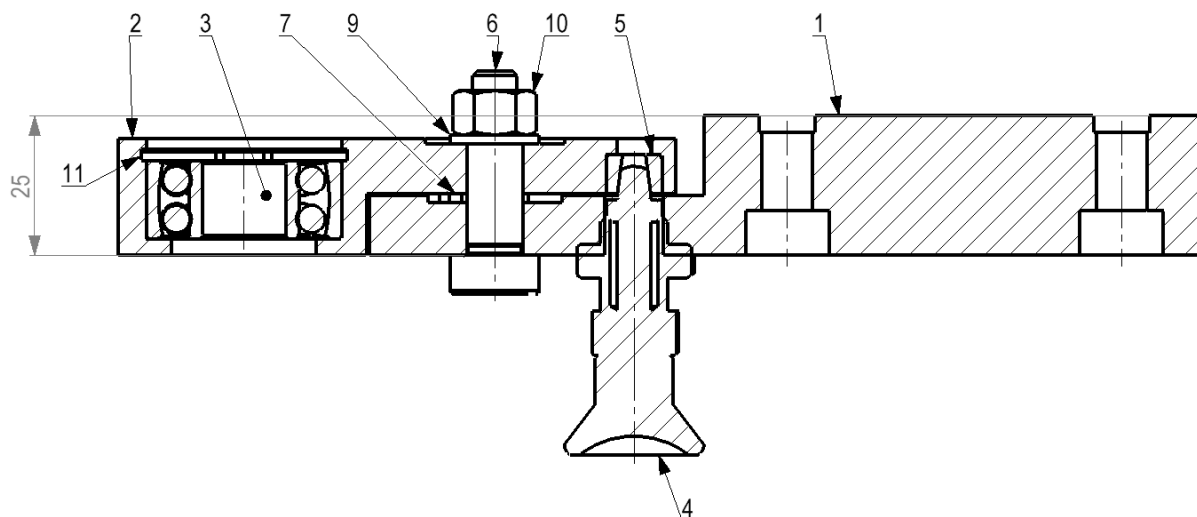


obr(32): Dopravníkový váleček

11.1.3 Sklopné rameno

Sklopné rameno bylo navrženo za účelem snadné výměny pásu, pro případy jako jsou testování pásu nebo prosté opotřebení pásu.

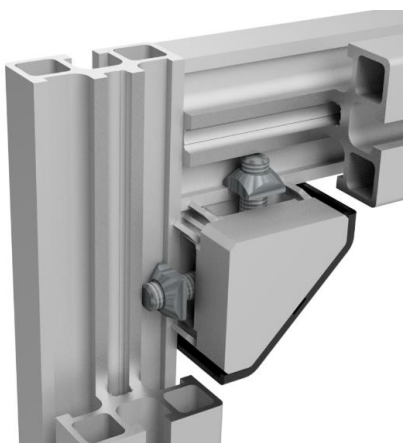
Na obr(33) příruba (pozice 1), která je smontována ke sklopnému ramenu (pozice 2) pomocí lícovaného šroubu (pozice 6). Mezi přírubou a sklopným ramenem je vloženo axiální kluzné ložisko (pozice 7). Aretace je zajištěna kuželovým aretačním kolíkem (pozice 4), který zaručuje bezvůlovost.



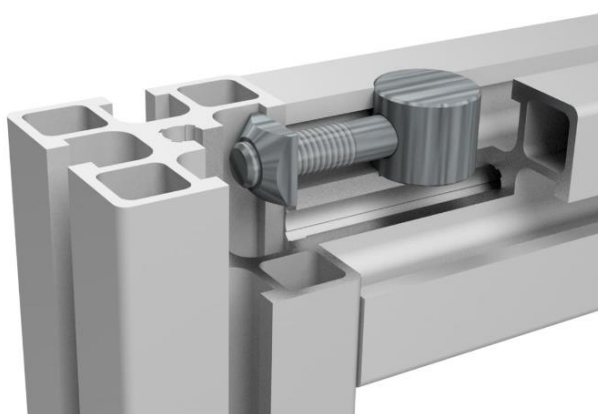
obr(33): Sklopné rameno

11.1.4 Rámová konstrukce dopravníku

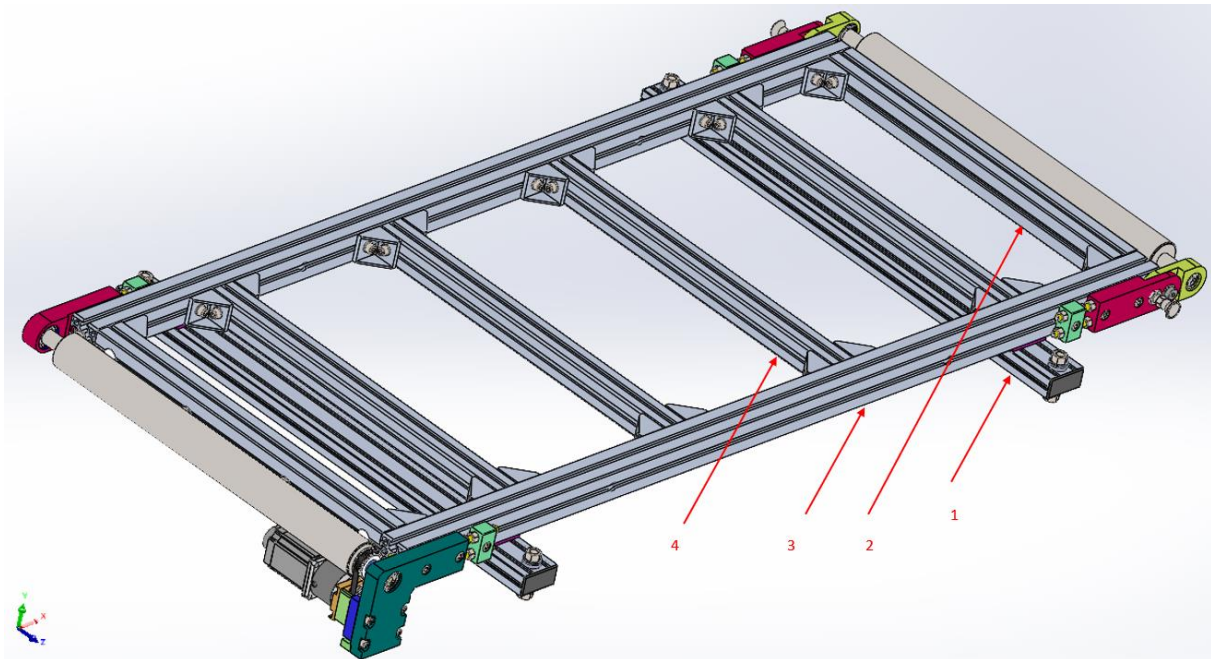
Rámová konstrukce dopravníku (obr(36)) se skládá z hliníkových profilů od společnosti Alutec KK, rám je složen z několika typů profilů (tab(8)), které jsou mezi sebou spojeny úhelníky (obr(34)) a šroubovým spojením s válečkem (obr(35)).



obr(34): úhelníkový spoj [2.12]



obr(35): šroubový spoj s válečkem [2.12]



obr(36): rámová konstrukce dopravníku

Tab (8): Seznam profilů

| Č. | Označení | Rozměry profilu [mm] | Ks [-] |
|----|-------------------|----------------------|--------|
| 1 | ALUTECKK - 103060 | 30x60x745 | 2 |
| 2 | ALUTECKK - 104545 | 45x45x520 | 2 |
| 3 | ALUTECKK - 104545 | 45x45x1350 | 2 |
| 4 | ALUTECKK - 104040 | 40x40x520 | 4 |

11.1.5 Vyhřívání silikonové podložky

Pro některé tištěné materiály, je velmi důležité, aby povrch, na který se tisklo byl vyhříván na určitou teplotu, jinak tištěný materiál nepřilne na podložku, nebo se při tisku hrany a okraje začnou odlepovat. Z tohoto důvodu je zapotřebí tiskárnu vybavit vyhřívanou podložkou. V tab (9) jsou uvedeny pracovní teploty topné desky a extruderu pro základní typy materiálů.

Na základě tab(9) byla zvolena samolepící, silikonová podložka (obr(37)) s parametry (tab(10)). Podložka obsahuje termistor. Jelikož vyhřívání pásu je žádáno jen u prvotní vrstvy nanášeného materiálu, proto jsou podložky rozmístěny jen na začátku dopravníku (obr(38)).

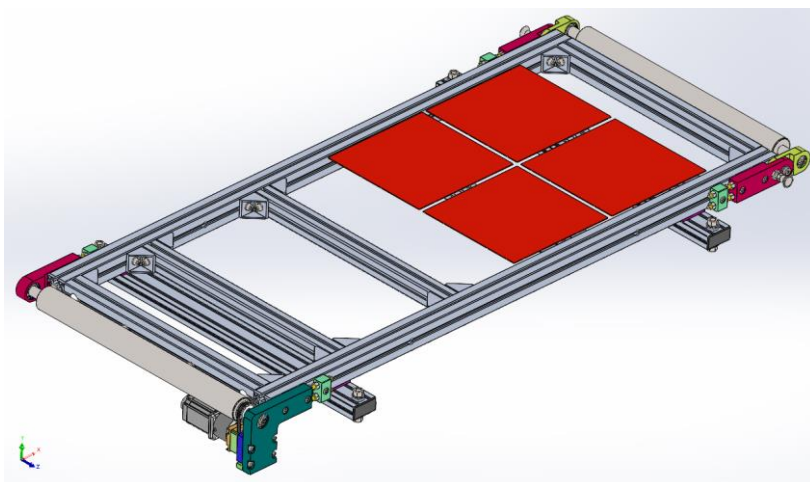
Tab (9) pracovní teploty [2.13]

| označení materiálu | T. desky [°C] | | T. extruderu [°C] | | ρ [kg/m ³] |
|--------------------|---------------|-----|-------------------|-----|------------------------|
| ABS | 100 | 130 | 240 | 255 | 1050 |
| CPE | 90 | 105 | 275 | 275 | 1250 |
| PA (NYLON) | 100 | 130 | 240 | 285 | 1100 |
| PC (Polycarbonate) | 100 | 130 | 265 | 275 | 1200 |
| PET, PET-G | 70 | 90 | 220 | 270 | 1350 |
| PLA | 55 | 60 | 185 | 235 | 1250 |
| PVB | 75 | 75 | 215 | 215 | 1090 |



obr(37): Silikonová vyhřívaná podložka [2.14]

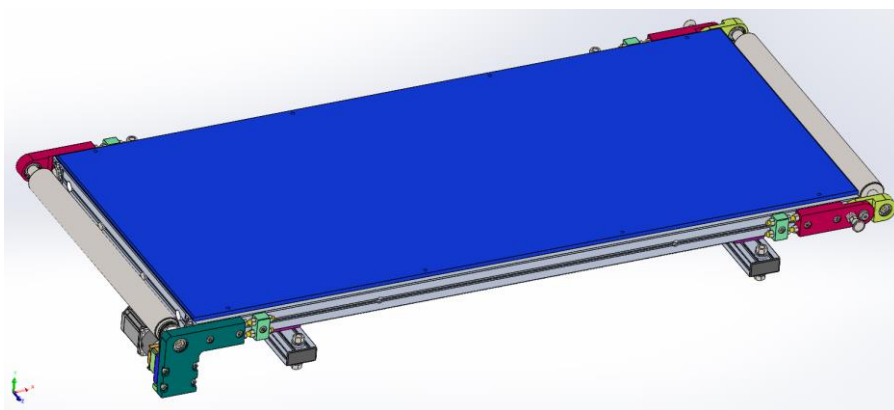
| Tab (10): Parametry podložky [2.14] | |
|--------------------------------------|-------------|
| Max. pracovní teplota [°C] | 150 |
| Elek. proud [A] | 12,5 |
| Elek. napětí [V] | 24 |
| Rozměry [mm] | 250x250x1,5 |



obr(38): Rozmístění podložek na rámu

11.1.6 Topná deska

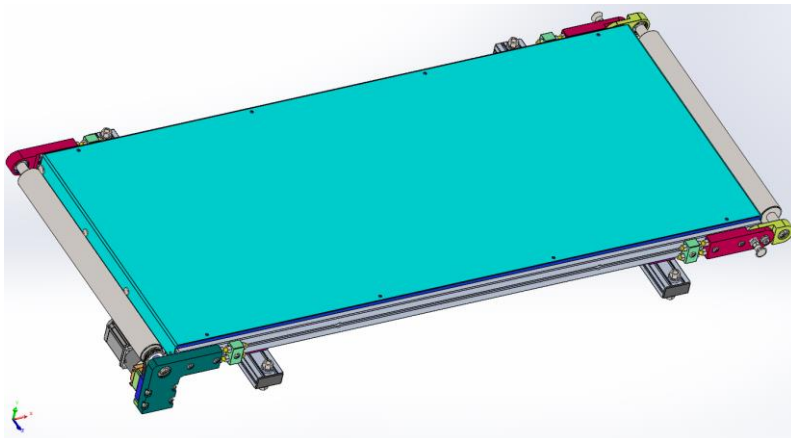
Topná deska (obr(39)) je vyrobená z materiálu hliník s označením (3.3547), tento materiál byl zvolen z důvodu, že je jedním z materiálů, které mají vysokou tepelnou vodivost, a také pro svou cenovou dostupnost. Účel této desky je, aby zajistila rovinnost pracovní plochy a také aby převáděla rovnoměrně teplo mezi silikonovou podložkou a dopravníkovým pásem.



obr(39): Topná deska

11.1.7 Kluzný plech

Na hliníkovou topnou desku je namontován leštěný plech o tloušťce 2 mm (obr(40)). Účelem plechu je snížit třecí odpor, proto je plech leštěný, tím se docílí, že celkový odpor bude nižší. Jako materiál kluzného plechu byl použit materiál s označením 1.4310. Kluzný plech a topná deska jsou zajištěny po stranách šrouby.



obr(40): Kluzný plech

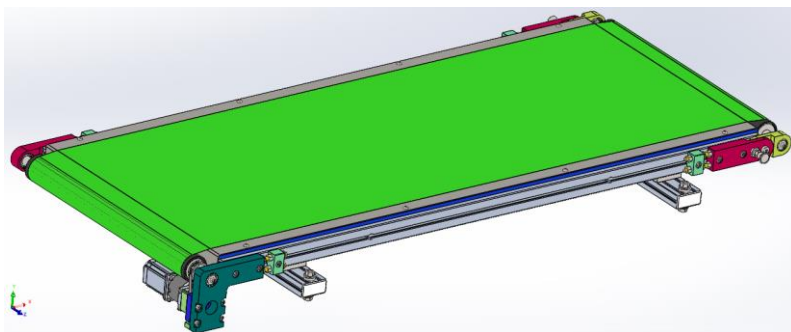
11.1.8 Dopravníkový pás

Dopravníkový pás (obr(41)) je nejdůležitější komponentou pásové 3D tiskárny. Při výběru materiálu pásu se musí počítat s tím, že tiskárna bude v nepřetržitém provozu, a také s tím, že tato komponenta bude nejvíce namáhána, jak na tah, tak na ohyb a i tepelně. Proto navržený materiál pásu by měl mít tyto vlastnosti:

- odolnost vůči vysokým teplotám
- vysokou pevnost v tahu
- chemickou odolnost
- dobrou přilnavost tištěných materiálů

Výběr správného materiálu pro pás je jedna z obtížnějších rozhodnutí. Po výběru se musí experimentovat kompatibilita materiálu pásu s tištěnými materiály a jejich přilnavostí.

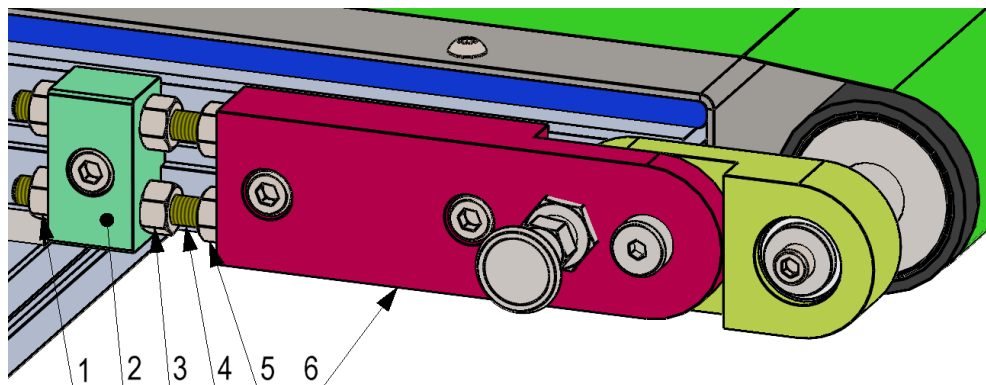
Jako materiál dopravníkového pásu byl zvolen leštěný plech o tloušťce 0,2mm z materiálu 1.4310. Aby pás byl nekonečného charakteru, tak se plech bude muset spojit pomocí technologie svařování. Kritickým místem bude v místě svaru, svar musí být hladký, ale zároveň pružný. V případě, že zvolený materiál pro pás nebude nevyhovovat, bude za potřebí experimentovat s jinými materiály.



obr(41): Pás dopravníku

11.1.9 Napínání pásu

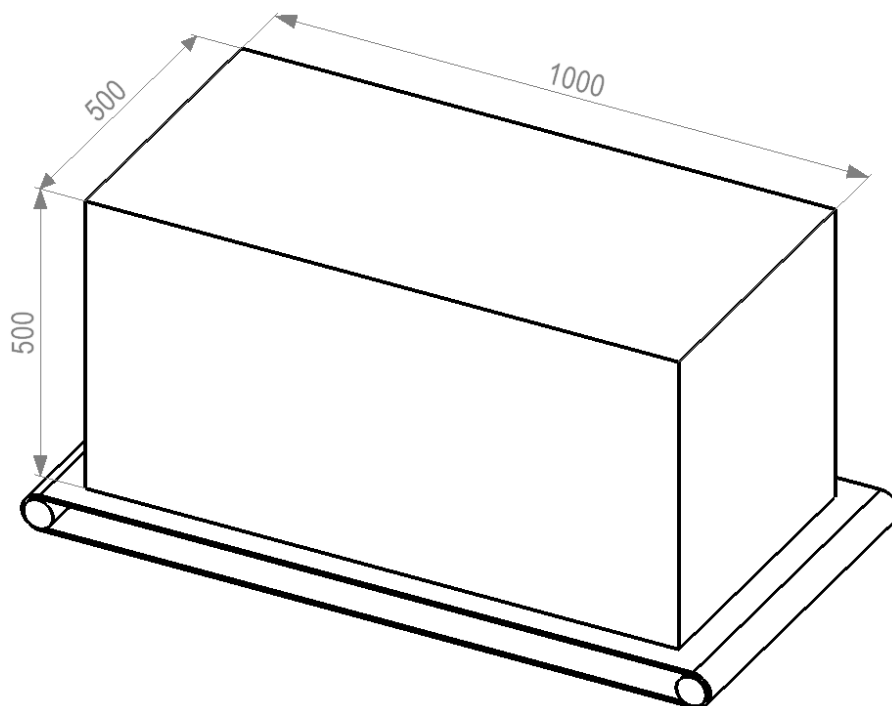
Napínání pásu je realizováno za pomoci závitových tyčí (pozice 4), které jsou pevně našroubovány na přírubu (pozice 6) a jsou zajištěny kontra maticemi (pozice 5). Napínání se nastavuje utahováním nebo uvolněním maticemi (pozice 3), které se opírají o přířubovou kostku (pozice 2). Kontra matice (pozice 1) jsou zde pro uzamčení polohy. Na každé straně a každém konci je pás napínán tímto způsobem (obr(42)).



obr(42): Napínání pásu

11.1.10 Výpočet pohonu dopravníku

Zatížení dopravníku je správně rozloženo dle obr(1), ale pro zjednodušení výpočtu se bude vycházet dle obr(43). Veličiny, které jsou použity ve výpočtech jsou buď uvedeny v kapitole 2, anebo budou doplněny.



obr(43): Schéma zatížení pásu

Nejdříve je zapotřebí vypočítat zatížení, které působí na dopravník. Toto zatížením se vypočte ze zadaných maximálních rozměrů tištěného dílu, ze zadané hustoty filamentu a výplň průřezu při tisku v maximálních rozměrech. Dále jsou určeny požadované otáčky a kroutící moment na bubnu. Následně se pomocí těchto veličin navrhne motor a bude-li zapotřebí, tak i převodovka.

$$m_{td} = \rho_{fila} \cdot V_{td} \cdot f_{výplň} \quad (2)$$

$$m_{td} = 1350 \cdot 0,25 \cdot 0,5 = 168,75 \text{ [kg]} \quad (3)$$

| | | | | |
|------|---------------|------------------------------|-------|----------------------|
| kde: | m_{td} | hmotnost tištěného materiálu | | [kg] |
| | V_{td} | Max. rozměry tištěného dílu | 0,22 | [m ³] |
| | $f_{výplň}$ | výplň tištěného dílu | 0,5 | [-] |
| | ρ_{fila} | hustota filamentu | 1 350 | [Kg/m ³] |

$$O_c = f_t \cdot g \cdot (m_{td} + m_p) \quad (4)$$

$$O_c = 0,2 \cdot 9,81 \cdot (168,75 + 2) = 335,5 \approx 336 \text{ [N]} \quad (5)$$

| | | | | |
|------|-------|------------------|------|---------------------|
| Kde: | O_c | celkový odpor | | [N] |
| | f_t | třecí koeficient | 0,2 | [-] |
| | g | tíhové zrychlení | 9,81 | [m/s ²] |
| | m_p | hmotnost pásu | 2 | [kg] |

Třecí koeficient byl zvolen 0,2 na základě zdroje [2.15], kde se uvádí 0,17 pro kontaktní materiály kov na kov za sucha. Hmotnost pásu byla změřena v softwaru Solidworks.

$$n_{2-bub} = \frac{60 \cdot \frac{v_{os}}{r_{bub}}}{2\pi} \quad (6)$$

$$n_{2-bub} = \frac{60 \cdot \frac{0,06}{0,029}}{2\pi} = 19,8 \left[\frac{1}{min} \right] \quad (7)$$

| | | | | |
|------|-------------|------------------------|-------|---------|
| Kde: | n_{2-bub} | otáčky bubnu | | [1/min] |
| | r_{bub} | poloměr bubnu | 0,029 | [m] |
| | v_{os} | Maximální rychlosti os | 0,06 | [m/s] |

$$M_{K-bub} = O_c \cdot r_{bub} \quad (8)$$

$$M_{K-bub} = 336 \cdot 0,029 = 9,744 \text{ [Nm]} \quad (9)$$

| | | | | |
|------|-------------|--------------------------|--|------|
| Kde: | M_{k-bub} | kroutící moment na bubnu | | [Nm] |
|------|-------------|--------------------------|--|------|

$$P_{bub} = M_{K-bub} \cdot \omega_{bub} \quad (10)$$

$$P_{bub} = M_{K-bub} \cdot \frac{2\pi \cdot n_{2-bub}}{60} \quad (11)$$

$$P_{bub} = 9,744 \cdot \frac{2\pi \cdot 19,8}{60} = 20,16 \text{ [W]} \quad (12)$$

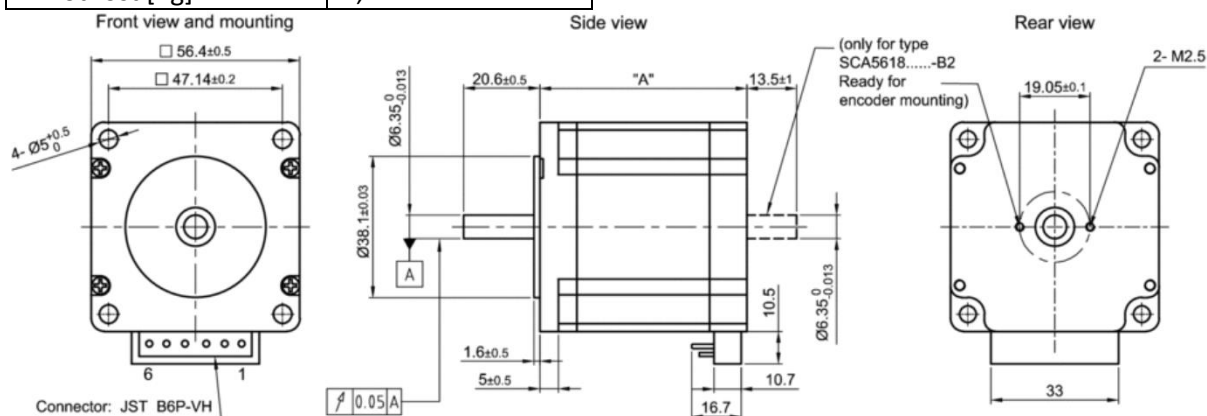
| | | |
|----------------|-------------------------------------|---------|
| P_{bub} | požadovaný výkon na bubnu | [W] |
| ω_{bub} | požadovaná úhlová rychlost na bubnu | [rad/s] |

11.1.11 Návrh pohonu dopravníku

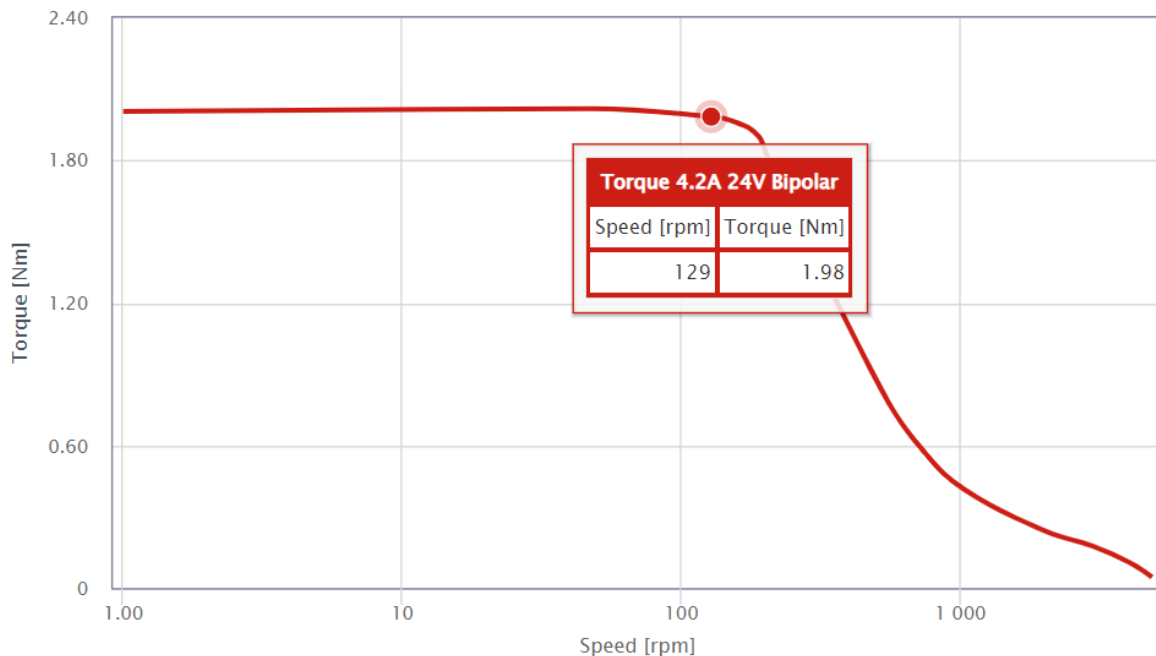
Dle výpočtů z kapitoly 11.1.10 byl vybrán krokový motor s parametry tab(11) s rozměry obr (44).

Tab (11): parametry krokového motoru dopravníku [2.16]

| | |
|---------------------|-----------------|
| Označení motoru | SCA5618L4204-B2 |
| Elek. proud [A] | 4,2 |
| Elek. napětí [V] | 24 |
| Průměr hřídele [mm] | 6,3 |
| Délka „A“ [mm] | 76,5 |
| Hmotnost [Kg] | 1,1 |



obr(44): Krokový motor dopravníku [2.16]

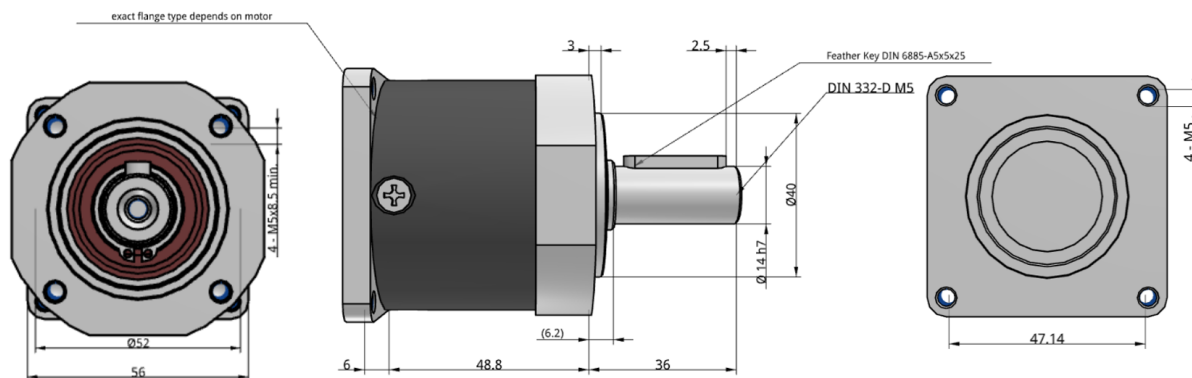


obr(45): charakteristiky krokového motoru pro dopravník [2.16]

Dle charakteristiky motoru obr(45) je vidět, že maximální kroutící moment motoru nebude vyhovovat potřebnému kroutícímu momentu na bubnu. Z tohoto důvodu bude motor doplněn o planetovou převodovku s parametry tab(12) a rozměry obr(46), která zajistí požadovaný kroutící moment.

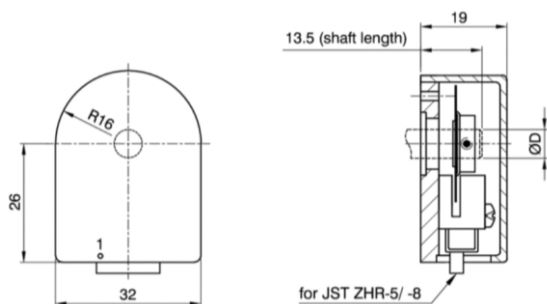
Tab (12): parametry planetové převodovky [2.17]

| | |
|---------------------|--------------|
| Označení převodovky | GP56-T1-7-HR |
| Účinnost [%] | 95 |
| Převodový poměr [-] | 6,3 |
| Hmotnost [Kg] | 0,67 |



obr(46): planetová převodovka [2.17]

Pro přesnější řízení pohony pásu byl vybrán enkodér s parametry tab(13) a rozměry obr(47). Enkodér je elektronické zařízení, jeho hlavním účelem je zaznamenávat pozici nebo rychlost pohybu mechanického zařízení a převádět ji na elektrický signál, který lze snadno zpracovávat.



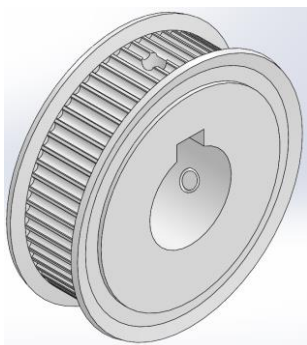
obr(47): Rozměry enkodéru [2.18]

Tab (13): Parametry enkodéru [2.18]

| | |
|---------------------|--------------|
| Označení | WEDS5541-B06 |
| Max. otáčky [1/min] | 6000 |
| Pracovní napětí [V] | 5 |
| Průměr hřídele [mm] | 6,3 |

11.1.12 Převod kroutícího momentu na dopravník

Převod kroutícího momentu z motoru, který bude pohánět dopravník, bude realizován prostřednictvím řemenu GT2 a řemenic (obr(48)) s parametry tab(14). Převodový poměr je 1:1.

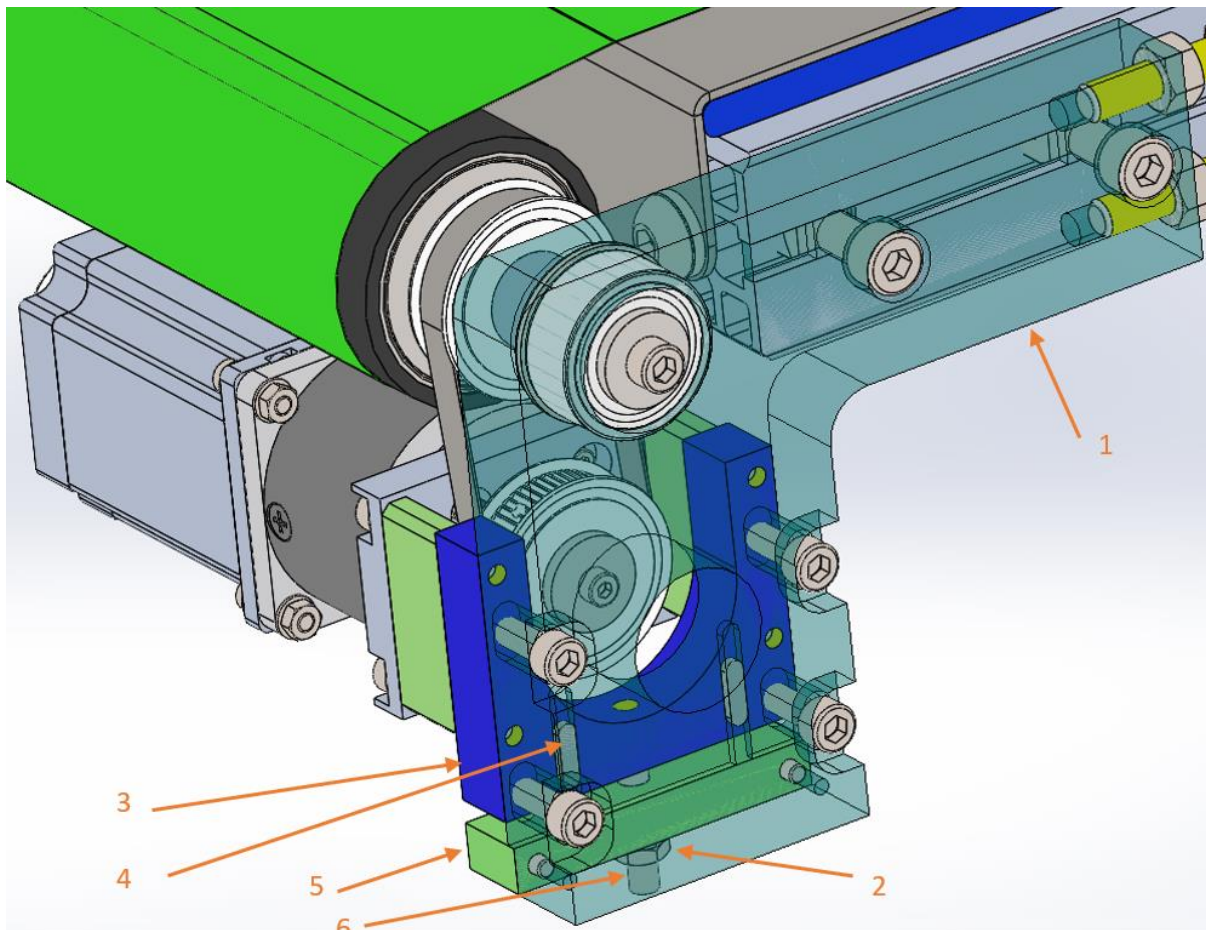


obr(48): Řemenice

Tab (14): Parametry řemenice [2.19] [2.20]

| | |
|----------------------|-----------------|
| Označení řemenice | GPA60GT2090 |
| Počet zubů [-] | 60 |
| Roztečný průměr [mm] | 38,2 |
| Materiál | Slitina hliníku |
| Typ řemenu | GT2 |
| Šířka řemenu | 9 |

Na obr(49) je vidět mechanismus, který má za úkol napínat řemen. Napínání je realizováno pomocí závitového spoje. Stavěcí šroub M6 (pozice 6), který je na šroubován na U přírubu (pozice 3), je přitahován k dorazu (pozice 5) pomocí matice (2). Pera (4) jsou zde za účelem zachycování radiálních sil, aby šroub (pozice 6) byl namáhán jen na tah.



obr(49): Napínání řemene

11.1.13 Kontrola pohonu dopravníku

V této části budou provedeny kontrolní výpočty zvoleného pohonu dopravníku. Kontrolovat se bude kroučící moment a otáčky.

$$i = \frac{n_{1-mot}}{n_{2-bub}} \quad (13)$$

$$n_{1-mot} = i \cdot n_{2-bub} \quad (14)$$

$$n_{1-mot} = 6,3 \cdot 19,8 = 124,74 \left[\frac{1}{min} \right] \quad (15)$$

Kde: n_{1-mot} otáčky na motoru [1/min]

n_{2-bub} otáčky na bubnu 19,8 [1/min]

i převodový poměr převodovky 6,3 [-]

Z charakteristiky motoru obr(44) je odečten M_{1D} pro n_{1D} (jsou přibližné otáčky pro „ n_{1-mot} “).

| | | | |
|---------------|-----------------------------------|------|---------|
| Kde: n_{1D} | otáčky motoru z diagramu | 129 | [1/min] |
| M_{1D} | kroučící moment motoru z diagramu | 1,98 | [Nm] |
| $M_{Sku-bub}$ | skutečný kroučící moment na bubnu | | [Nm] |

$$i = \frac{M_{Sku-bub}}{M_{1D}} \quad (16)$$

$$M_{Sku-bub} = i \cdot M_{1D} \quad (17)$$

$$M_{Sku-bub} = 6,53 \cdot 1,95 = 12,73 \text{ [Nm]} \quad (18)$$

$$M_{Sku-bub} \geq M_{K-bub} \quad (19)$$

$$12,73 \geq 9,74 \quad (20)$$

Z rovnice (20) vyplývá že kroučící moment, který je přiváděný na buben je větší než požadovaný moment pro buben. Vybraný pohon vyhovuje.

11.1.14 Kontrola pera v řemenicích

V této kapitole se provedou kontrolní výpočty na tlak ve stykové ploše per viz rovnice (21) a (22), kde zatížení je kroučícím momentem z planetové převodovky (rovnice (18)), jelikož převodový poměr mezi řemenicemi je 1:1, zatížení od kroučícího momentu v obou perech budou stejné. Dovolený tlak pro pero z oceli je (100 N/mm²), byl převzat z literatury [2.31].

Kontrola na otláčení

$$p = \frac{M_{Sku-bub} \cdot 1000}{\frac{d}{2} \cdot \frac{h}{2} \cdot l_a \cdot n_p} \leq p_D \quad (21)$$

Kontrola na stříh

$$\tau = \frac{M_{Sku-bub} \cdot 1000}{\frac{d}{2} \cdot b \cdot l_a \cdot n_p} \leq \tau_D \quad (22)$$

| | | | |
|---------------|-----------------------------------|-----|----------------------|
| Kde: b | šířka pera | 5 | [mm] |
| d | průměr hřídele | | [mm] |
| h | výška pera | | [mm] |
| $M_{Sku-bub}$ | skutečný kroučící moment na bubnu | | [Nm] |
| l_a | činná délka pera | | [mm] |
| n_p | počet per | 1 | [-] |
| p | tlak v kontaktní ploše | | [N/mm ²] |
| p_D | dovolený tlak v kontaktní ploše | 100 | [N/mm ²] |
| τ | smykové napětí | | [N/mm ²] |
| τ_D | dovolené smykové napětí | 60 | [N/mm ²] |

Kontrola pera řemenice u motoru

$$p = \frac{12,73 \cdot 1000}{\frac{14}{2} \cdot \frac{5}{2} \cdot 18 \cdot 1} = 40,4 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq p_D = 100 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (23)$$

Kde: d průměr hřídele 14 [mm]
 h výška pera 5 [mm]
 l_a činná délka pera 18 [mm]

$$\tau = \frac{12,73 \cdot 1000}{\frac{14}{2} \cdot 5 \cdot 18 \cdot 1} = 20,2 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq \tau_D = 60 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (24)$$

Kontrola pera řemenice u bubnu

$$p = \frac{12,73 \cdot 1000}{\frac{15}{2} \cdot \frac{5}{2} \cdot 13 \cdot 1} = 56 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq p_D = 100 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (25)$$

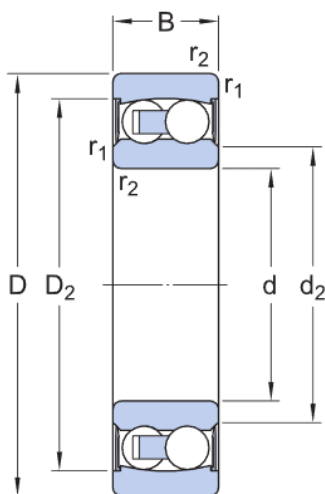
Kde: d průměr hřídele 15 [mm]
 h výška pera 5 [mm]
 l_a činná délka pera 13 [mm]

$$\tau = \frac{12,73 \cdot 1000}{\frac{15}{2} \cdot 5 \cdot 13 \cdot 1} = 26,1 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq \tau_D = 60 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (26)$$

Pera byla kontrolována na stříh a otláčení, obě pera vyhovují.

11.1.15 Návrh ložisek pro bubny

Jako ložisko k zachytávání radiálních sil bubnů, bylo zvoleno naklápěcí ložisko s parametry Tab(15) a rozměry obr(50). Důvodem, proč nebylo použito běžné kuličkové ložisko je, že se pás bude napínat na každé straně bubnu jinak, dojde k tomu, že ložiska nebudou nikdy souosá, proto naklápěcí ložiska.



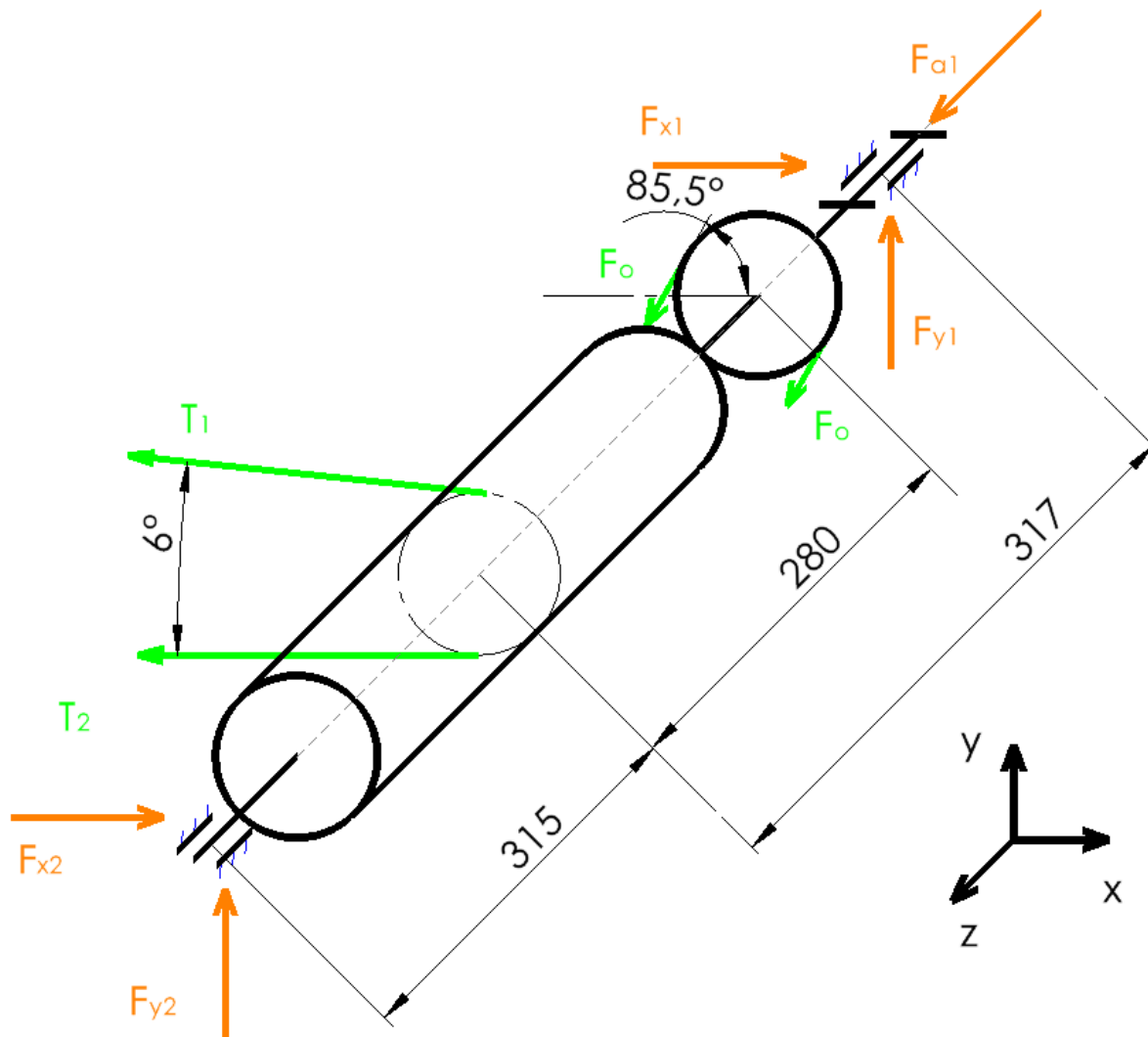
Tab (15): Naklápěcí ložisko [2.21]

| | |
|---|----------------|
| Označení | 2202 E-2RS1TN9 |
| Vnější průměr - D [mm] | 35 |
| Vnitřní průměr- d [mm] | 15 |
| Dynamická únosnost – C [kN] | 7.41 |
| Statická únosnost – C ₀ [kN] | 1.76 |
| Mezní otáčky [1/min] | 14 000 |

obr(50): rozměry ložiska [2.21]

11.1.16 Trvanlivost ložisek pro bubny

Pro výpočet trvanlivosti ložisek, je za potřebí nejprve zjistit jakými silami jsou ložiska zatěžována. Z obr(51) je zřejmé, že se musejí určit síly působící pásem a síly od řemenu.



obr(51): Schéma působících sil v hnacím bubnu

11.1.16.1 Výpočet sil od řemene

Na obr(52) je vidět rozklad napínací síly řemenu na x a y složky, které budou potřeba pro další výpočet trvanlivosti ložiska. Doporučená napínací síla je 13 N ze zdroje [2.19].

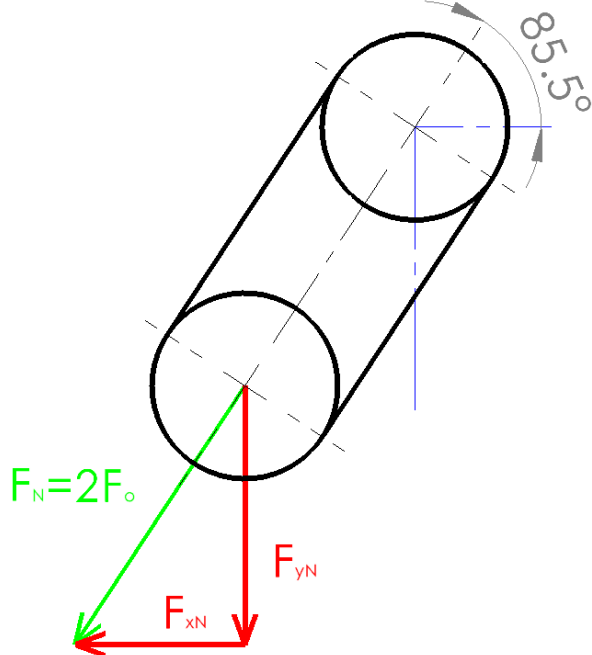
$$F_{xN} = \cos(85,5) \cdot F_N \quad (27)$$

$$F_{xN} = \cos(85,5) \cdot 13 = 1,01 \text{ [N]} \quad (28)$$

$$F_{yN} = \sin(85,5) \cdot F_N \quad (29)$$

$$F_{yN} = \sin(85,5) \cdot 13 = 12,96 \text{ [N]} \quad (30)$$

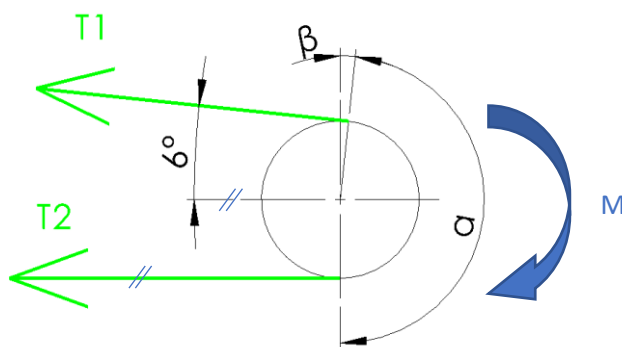
Kde: F_N napínací síla řemene 13 [N]
 F_{xN} x-ová složka napínací síly [N]
 F_{yN} y-ová složka napínací síly [N]



obr(52): Schéma rozkladu napínací síly

11.1.16.2 Výpočet sil od pásu

V této části se vypočtou tahové síly obr(53) a následně se vypočítá jejich výslednice. V dalším kroku se výslednice rozloží na x a y složky obr(54), které jsou potřebné pro výpočet trvanlivosti ložiska. Výpočtová metoda sil v pásu byla čerpána ze zdroje [1.4].



obr(53): Schéma tahových sil pásu na hnacím bubnu

$$\alpha = 180 - 6 = 174 [^\circ] = 3,037 [rad] \quad (31)$$

$$T_1 = O_c \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} \quad (32)$$

$$T_1 = 336 \frac{e^{0,4 \cdot 3,037}}{e^{0,4 \cdot 3,037} - 1} = 477,8 [N] \quad (33)$$

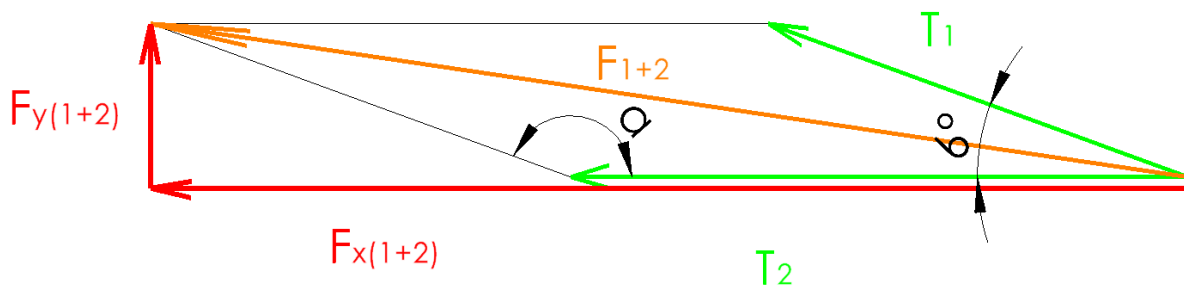
| | | |
|------------|--------------------------------------|---------|
| Kde: T_1 | tahová síla v nosné větvi | [N] |
| O_c | celkový odpor | 336 [N] |
| α | úhel opásání | [°] |
| μ | třecí koeficient mezi bubnem a pásem | 0,4 [-] |

Třecí součinitel μ je 0,4 pro materiály kov a pryž, součinitel byl převzat ze zdroje [1.4].

$$T_2 = O_c \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1} \quad (34)$$

$$T_2 = 336 \frac{1}{e^{0,4 \cdot 3,037} - 1} = 141,8 \text{ [N]} \quad (35)$$

| | | |
|------------|-----------------------------|-----|
| Kde: T_2 | tahová síla ve vratné větvi | [N] |
|------------|-----------------------------|-----|



obr(54): Schéma rozkladu tahových sil

Výslednice sil T_1 a T_2 se vypočítá pomocí kosinové věty, viz rovnice (36).

$$F_{1+2} = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 - 2T_1T_2 \cdot \cos(\alpha)} \quad (36)$$

$$F_{1+2} = \sqrt{477,8^2 + 141,8^2 - 2 \cdot 477,8 \cdot 141,8 \cdot \cos(174)} \quad (37)$$

$$F_{1+2} = 619 \text{ [N]} \quad (38)$$

| | | |
|----------------|------------------------------|-----|
| Kde: F_{1+2} | výslednice sil T_1 a T_2 | [N] |
|----------------|------------------------------|-----|

Rozklad síly F_{1+2} na x a y složky se provede goniometrickou funkcí.

$$F_{y(1+2)} = F_{1+2} \cdot \cos\left(\frac{6}{2}\right) \quad (39)$$

$$F_{y(1+2)} = 619 \cdot \cos\left(\frac{6}{2}\right) = 618,2 \text{ [N]} \quad (40)$$

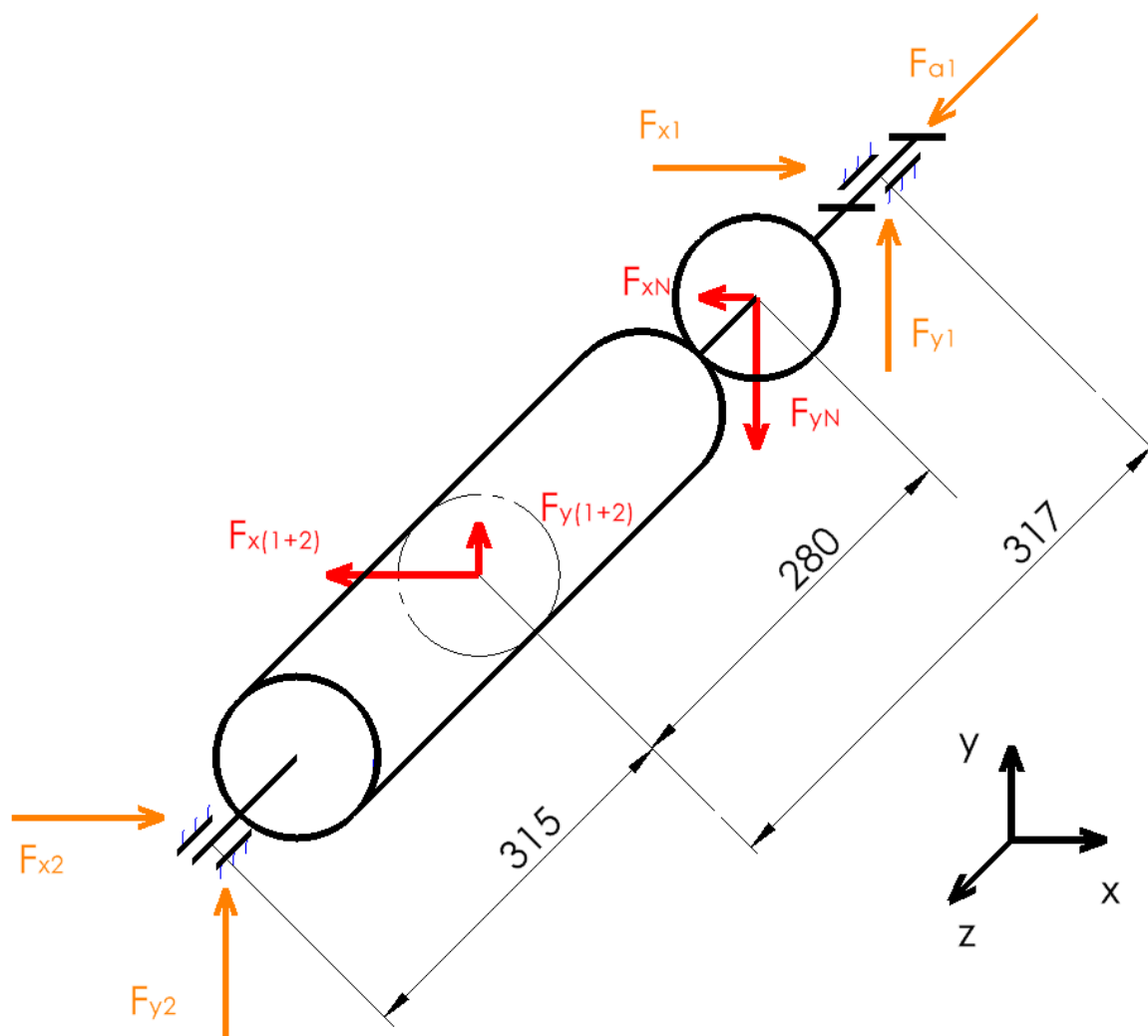
$$F_{x(1+2)} = F_{1+2} \cdot \sin\left(\frac{6}{2}\right) \quad (41)$$

$$F_{x(1+2)} = 619 \cdot \sin\left(\frac{6}{2}\right) = 32,4 \text{ [N]} \quad (42)$$

| | | |
|-------------------|-------------------------|-----|
| Kde: $F_{y(1+2)}$ | y-složka síly F_{1+2} | [N] |
| $F_{x(1+2)}$ | x-složka síly F_{1+2} | [N] |

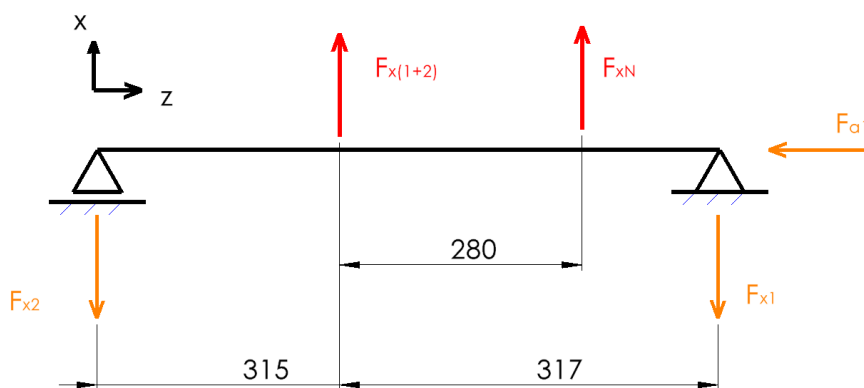
11.1.16.3 Trvanlivosti ložisek

Nyní když jsou zatěžující síly (obr(55)) známe, tak se rozloží do rovin a sestaví se statické rovnice rovnováhy, ze který se vypočítají reakční síly v ložiskách a následně se vypočítá trvanlivost ložisek.



obr(55): Schéma zatěžující síly

Sestavení statické rovnice rovnováhy dle schématu obr(56) pro rovinu XZ a následně se z nich vypočítají reakční síly.



obr(56): Schéma zatíženého profilu pro rovinu XZ

Rovnice rovnováhy

$$M_{F_{x1}}: F_{x(1+2)} \cdot 317 + F_{xN} \cdot 37 - F_{x2} \cdot (315 + 317) = 0 \quad (43)$$

$$x: F_{x(1+2)} + F_{xN} - F_{x1} - F_{x2} = 0 \quad (44)$$

$$z: F_{A1} = 0 \quad (45)$$

Kde: F_{A1} reakce v ložisku 1 do osy z [N]

F_{x1} reakce v ložisku 1 do osy x [N]

F_{x2} reakce v ložisku 2 do osy x [N]

Úprava rovnice (11.41).

$$F_{x2} = \frac{F_{x(1+2)} \cdot 317 + F_{xN} \cdot 37}{(315 + 317)} \quad (46)$$

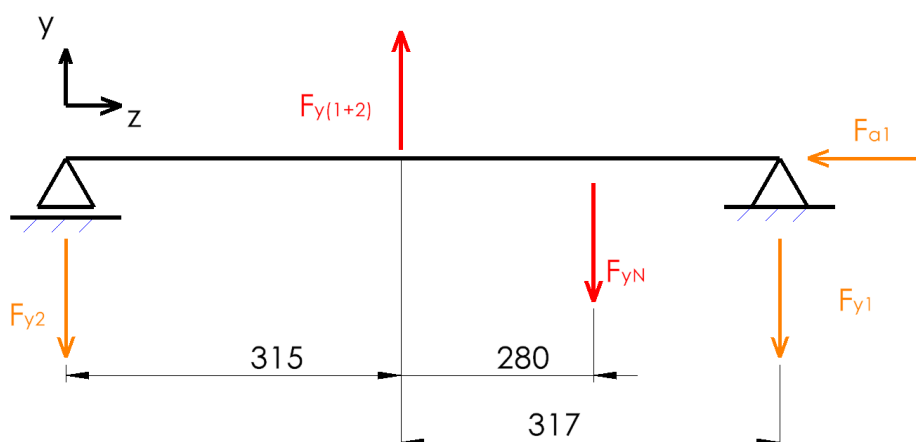
$$F_{x2} = \frac{32,4 \cdot 317 + 1,01 \cdot 37}{(315 + 317)} = 16,3 \text{ [N]} \quad (47)$$

Nyní když je síla F_{x2} známá, tak se dosadí do rovnice (44) a zjistí se síla F_{x1} .

$$F_{x1} = F_{x(1+2)} + F_{xN} - F_{x2} \quad (48)$$

$$F_{x1} = 32,4 + 1,01 - 16,3 = 17,11 \text{ [N]} \quad (49)$$

Sestavení statické rovnice rovnováhy dle schématu obr(57) pro rovinu YZ a následně se z nich vypočítají reakční síly.



obr(57): Schéma zatíženého profilu pro rovinu YZ

Rovnice rovnováhy

$$M_{F_{y1}}: F_{y(1+2)} \cdot 317 - F_{yN} \cdot 37 - F_{y2} \cdot (315 + 317) = 0 \quad (50)$$

$$y: F_{x(1+2)} + F_{xN} - F_{x1} - F_{x2} = 0 \quad (51)$$

$$z: F_{A1} = 0 \quad (52)$$

Kde: F_{y1} reakce v ložisku 1 do osy y [N]

F_{y2} reakce v ložisku 2 do osy y [N]

Úprava rovnice (50).



$$F_{y2} = \frac{F_{y(1+2)} \cdot 317 - F_{yN} \cdot 37}{(315 + 317)} \quad (53)$$

$$F_{y2} = \frac{618,2 \cdot 317 - 12,96 \cdot 37}{(315 + 317)} = 309,3 \text{ [N]} \quad (54)$$

Nyní když je síla F_{y2} známá, dosadí se do rovnice (51) a zjistí se síla F_{y1} .

$$F_{y1} = F_{y(1+2)} - F_{yN} - F_{y2} \quad (55)$$

$$F_{y1} = 618,2 - 12,96 - 309,3 = 295,94 \text{ [N]} \quad (56)$$

Dále se vypočítá výsledná reakční síla v ložisku 1.

$$F_{r1} = \sqrt{F_{y1}^2 + F_{x1}^2} \quad (57)$$

$$F_{r1} = \sqrt{295,94^2 + 17,11^2} = 296,4 \text{ [N]} \quad (58)$$

F_{r1} výsledná reakční síla v ložisku 1 [N]

Dále se vypočítá výsledná reakční síla v ložisku 2.

$$F_{r2} = \sqrt{F_{y2}^2 + F_{x2}^2} \quad (59)$$

$$F_{r2} = \sqrt{309,3^2 + 16,3^2} = 309,7 \text{ [N]} \quad (60)$$

F_{r2} výsledná reakční síla v ložisku 1 [N]

K výpočtu trvanlivosti ložiska bude použita maximální reakční síla, což je síla F_{r2} . Trvanlivost ložiska se vypočítá dle rovnice (61).

$$L_{10} = \left(\frac{C}{F_k}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \geq 25\,000 \text{ [hod]} \quad (61)$$

| | | | |
|------|----------|---------------------------------|----------|
| Kde: | L_{10} | trvanlivost ložiska | [hod] |
| | C | Dynamická únosnost ložiska | 7410 [N] |
| | p | exponent trvanlivosti | [-] |
| | F_k | dynamické ekvivalentní zatížení | [N] |
| | n | otáčky | [1/min] |

Na ložiska budou působit axiální síly od napínání pásu (kvůli sbíhavosti pásu), ale jelikož budou malá, tak je lze zanedbat. Jelikož se axiální síly zanedbaly, tak dynamické ekvivalentní zatížení (F_k) bude zjednodušeno dle rovnice (62). Exponent trvanlivosti je 3 pro kuličková ložiska, pro ostatní typy ložisek (válečková, kuželíková, soudečková) je 10/3. [1.2]

$$F_k = \max\{F_{r1}; F_{r2}\} = \max\{296,4; 309,7\} = 309,7 \text{ [N]} \quad (62)$$

$$L_{10} = \left(\frac{7410}{309,7}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 19,8} = 11\,529\,608,7 \text{ [hod]} \quad (63)$$

Podmínka trvanlivosti

$$L_{10} \geq 25\,000 \text{ [hod]} \quad (64)$$

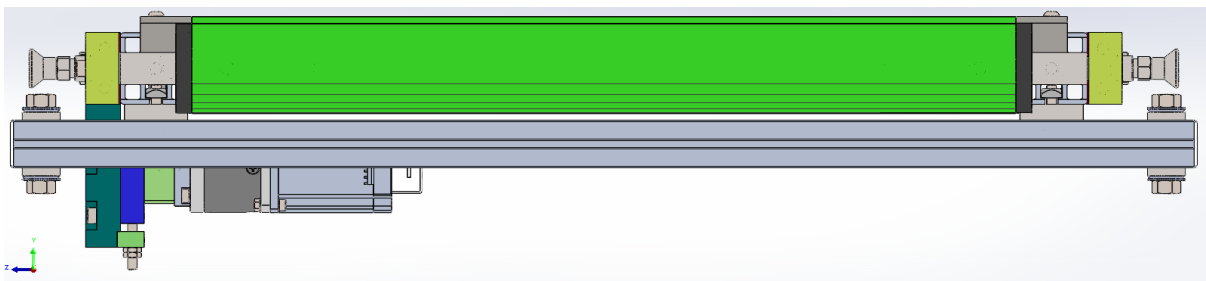
$$11\,529\,608,7 \geq 25\,000 \text{ [hod]} \quad (65)$$

Ložisko vyhovuje.

11.1.17 MKP analýza nosných profilů

V této kapitole bude popsán postup při MKP analýze dvou hliníkových profilů (obr(58)) s parametry (tab(16)), které jsou zatíženy tíhovou silou tištěného dílu a tíhovou silou od pásového dopravníku obr(58). Analýza bude obsahovat průběh napětí a posuvy profilů po zatížení. Maximální zatížení od tištěného dílu je známo ze zadání. Zatížení od dopravníku bylo stanoveno na 65 Kg ze softwaru Solidworks.

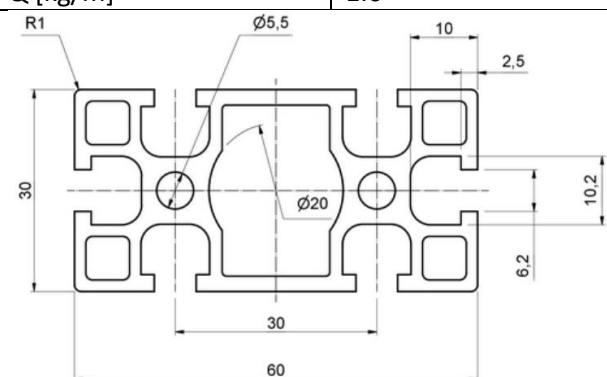
Pro MKP analýzu byl použit software Solidworks. Použité materiálové vlastnosti byly převzaty z knihovny materiálů ze softwaru Solidworks viz tab(17). Profily jsou symetricky zatěžovány od dopravníku a tištěného dílu.



obr(58): Příčný pohled dopravníku

Tab (16): Parametry profilu [2.22]

| | |
|--------------------------|--------|
| označení | 103060 |
| W_x [cm ³] | 3.72 |
| W_y [cm ³] | 7.06 |
| Q [kg/m] | 1.6 |



obr(59): Rozměry profilu [2.22]

Tab (17) Materiálové vlastnosti profilu

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Označení materiálu | 6063-T6 |
| Hustota [Kg/m ³] | 2700 |
| Younguv modul [N/m ²] | 69 x 10 ⁹ |
| Poissonova konstanta [-] | 0,33 |
| Mez kluzu [N/m ²] | 215 x 10 ⁶ |

Znamé veličiny:

| | | | |
|----------|------------------------------|--------|------|
| m_{td} | hmotnost tištěného materiálu | 168,75 | [kg] |
| m_{pd} | hmotnost pásového dopravníku | 65 | [kg] |

$$G_{pd} = \frac{(m_{pd} + m_{td}) \cdot g}{n_k} \quad (66)$$

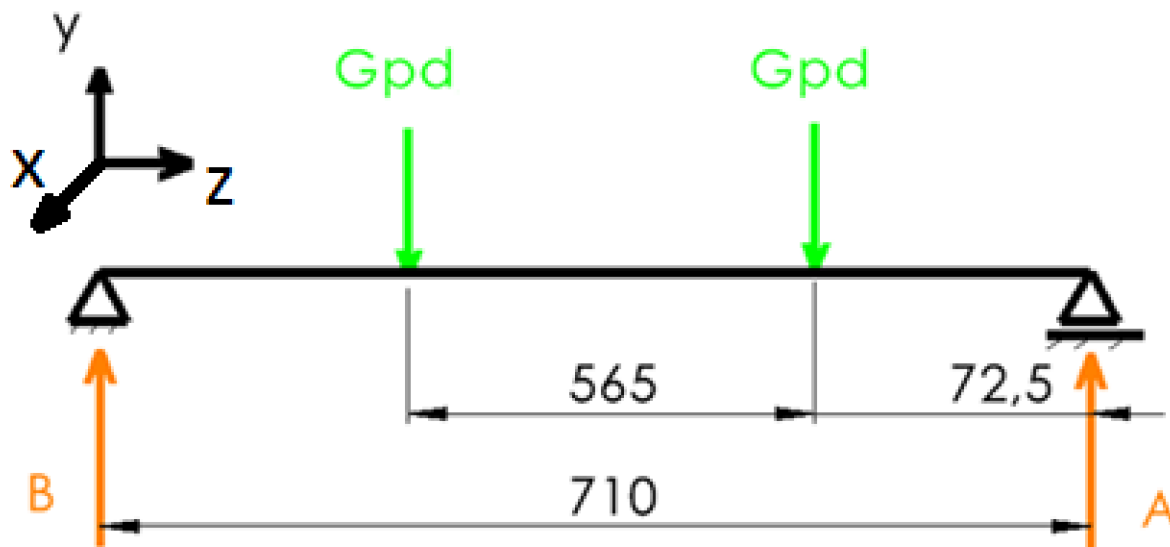
$$G_{pd} = \frac{(65 + 168,75) \cdot 9,81}{4} = 573 \text{ [N]} \quad (67)$$

Kde: G_{pd} působící síla v kontaktním místě doprav. s profilem [N]

g tíhové zrychlení 9,81 [m/s²]

n_k počet kontaktních míst 4 [-]

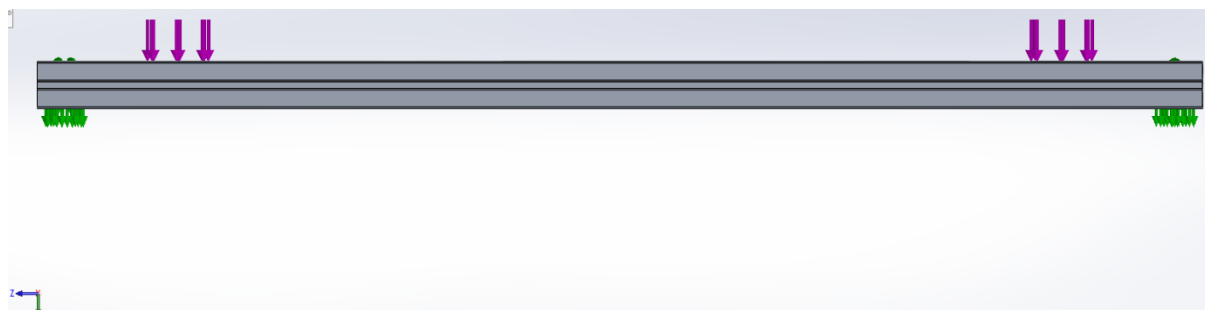
Podmínky uložení a zatížení profilu jsou nastaveny dle obr(58), kde posuv v podpěrách A a B se rovná nule, nosník je staticky určitý, profil je zatížen symetricky silami G_{pd} v daných vzdálenostech.



obr(60): Schéma zatížení profilu

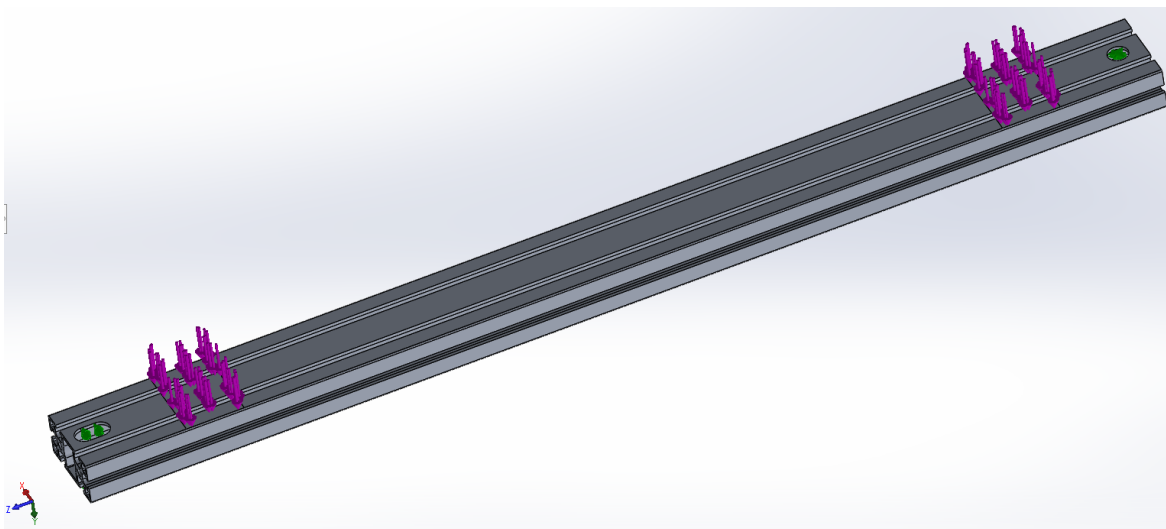
11.1.17.1 Zatížení a definování kontaktních ploch

V první části se musejí definovat plochy, na které bude zatížení působit a také plochy, o které se profil opírá. V místech opěru se definuje nulový posuv ve směru zatížení obr(61), fialové šipky znázorňují zatížení, zelené šipky znázorňují opory neboli vazby. Celkové zatížení působící na jeden nosník je 1146 [N].



obr(61): Zatížení profilu

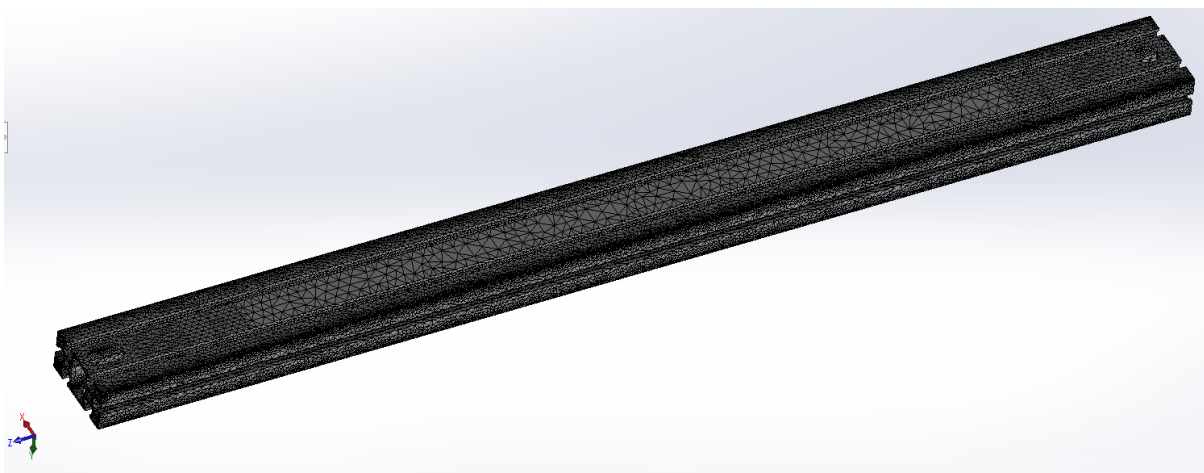
V otvorech jsou definovány reakce, které mají zamezit posuv do směru osy x obr(62).



obr(62): Reakce v otvorech

11.1.17.2 Meshing

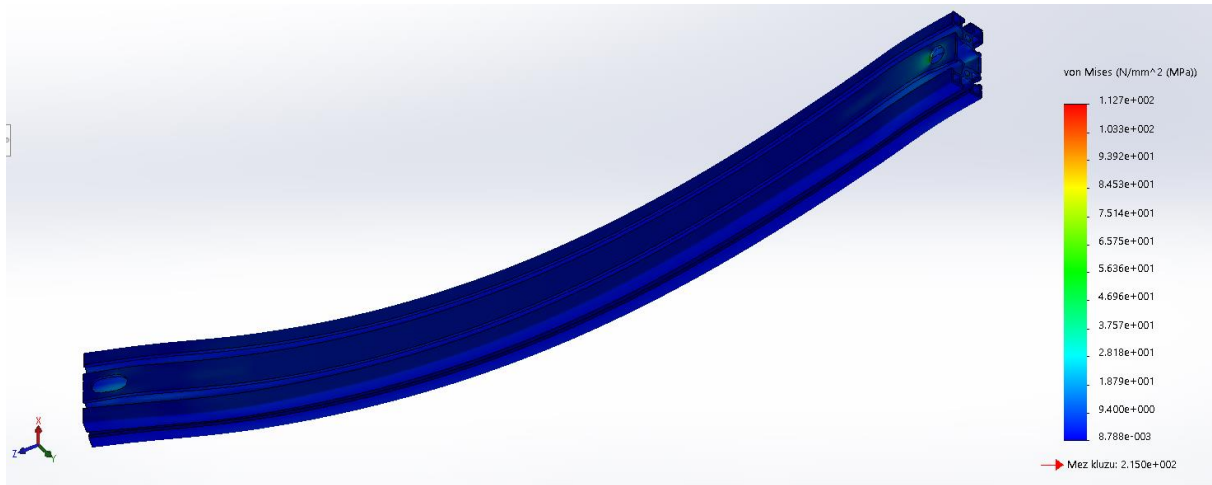
Dále se nastavovala síť. V kontaktních plochách a okolo otvorů je nastavená síť s jemnějšími prvky, u zbytku komponenty byla nastavena hrubá síť, aby výpočet analýzy netrvala zbytečně dlouhou viz obr (63). Po provedení síťování, už bylo možno nechat software provést analýzu.



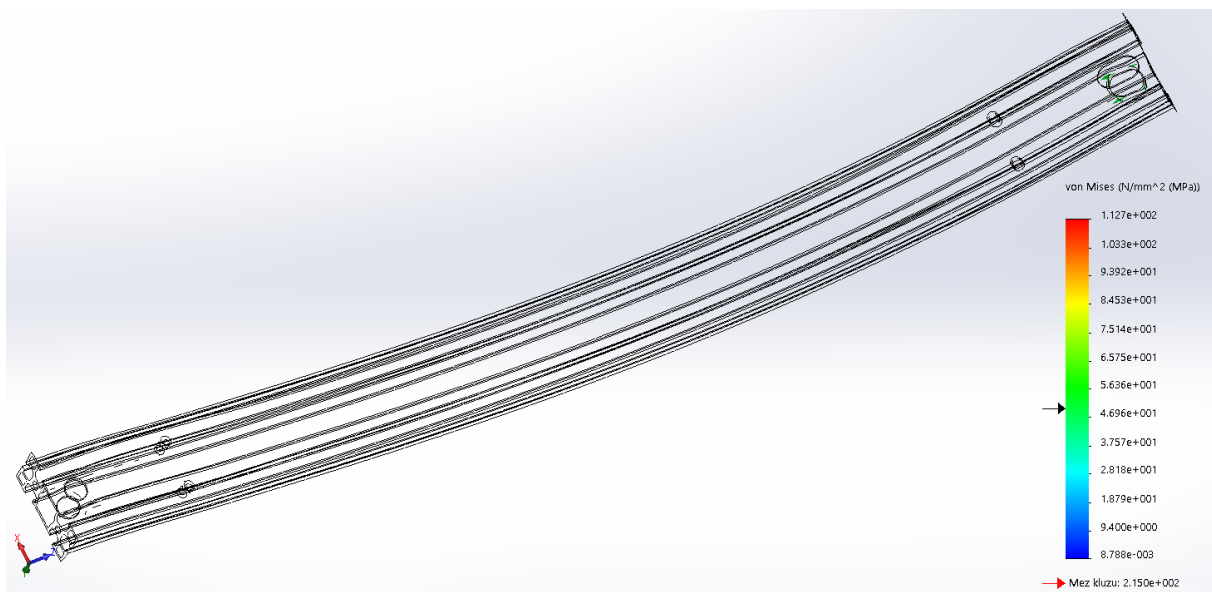
obr(63): Síťování profilu

11.1.17.3 Výsledky MKP analýzy

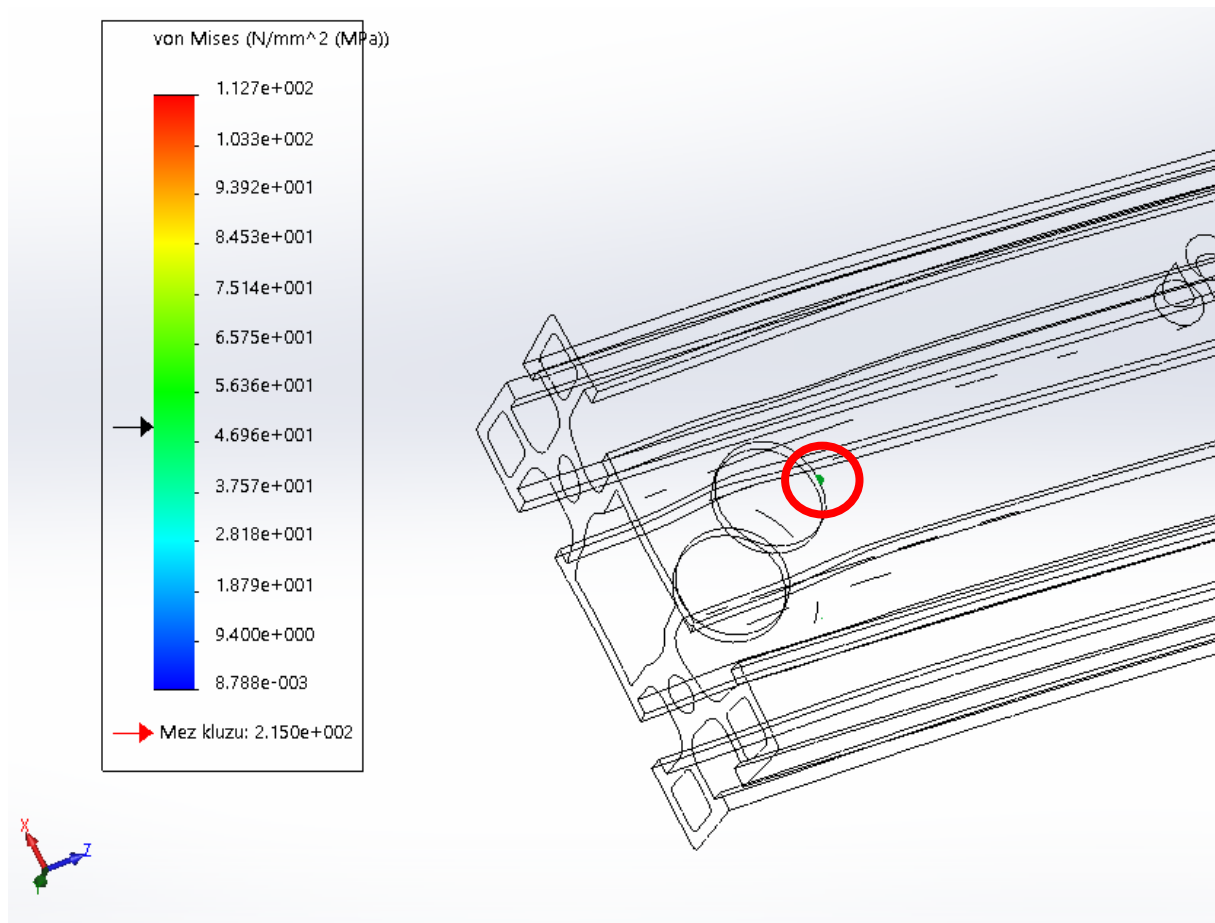
Na obr(64) je vidět výsledek analýzy s průběhem dosahující maximální napětí $112,7 \text{ N/mm}^2$. Dále byl výsledek filtrován, tak aby zobrazoval napětí vyšší než 50 N/mm^2 (obr(65)), aby byly vidět oblasti se špičkami. Po bližším prozkoumání výsledku je vidět, že největší napětí se nachází v oblasti otvorů, detaily obr(66) a obr(67).



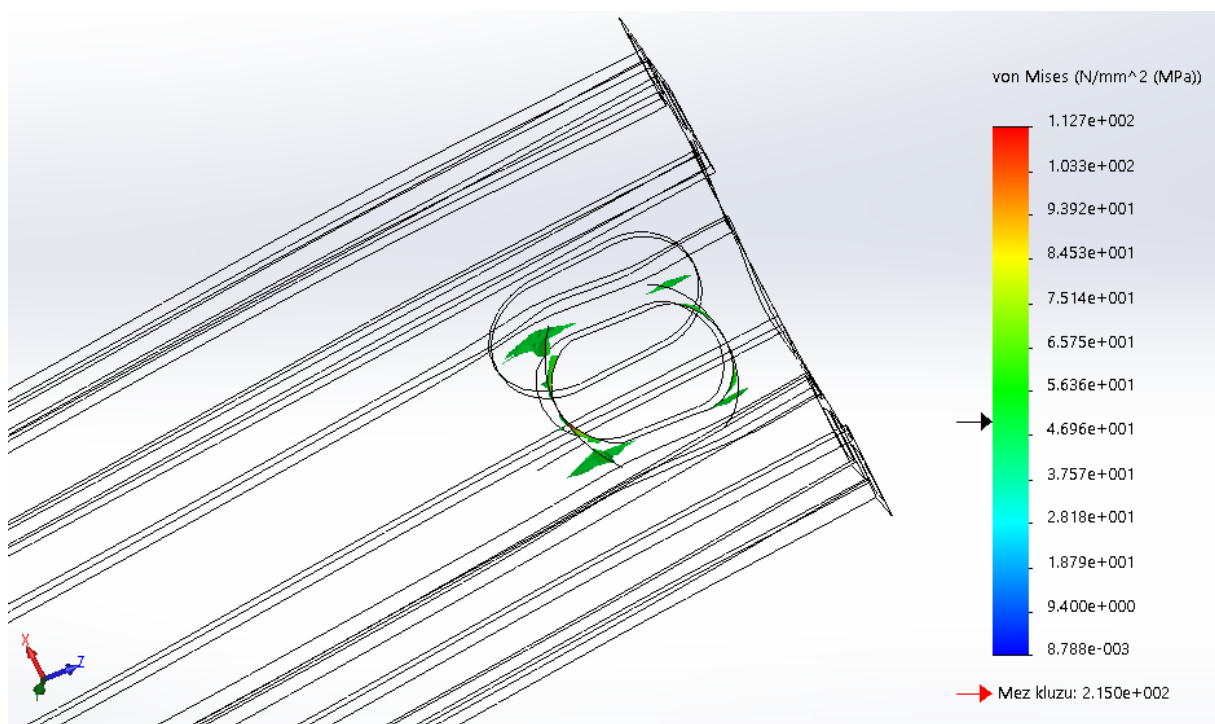
obr(64): Průběh Misesova napětí na profilu



obr(65): Filtrovaný výsledek

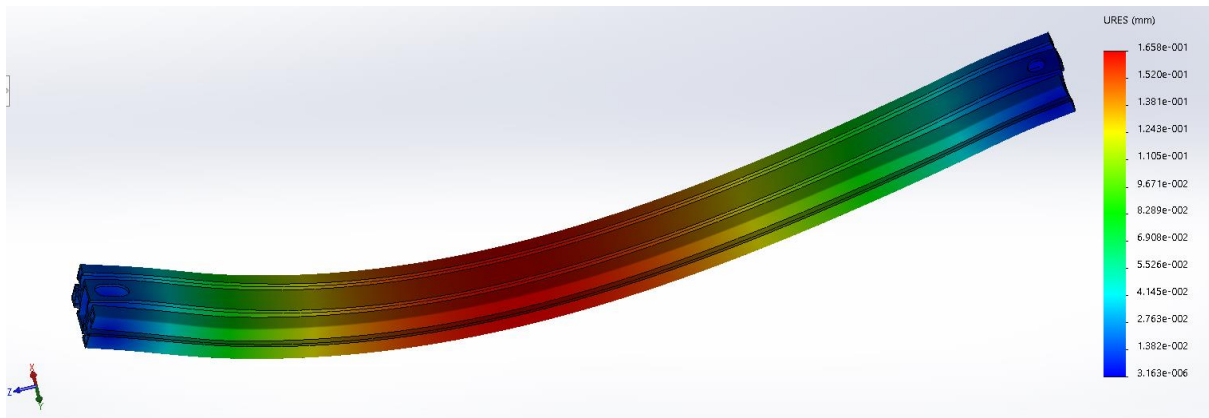


obr(66): Detail špičky okolo otvoru 1



obr(67): detail špičky okolo otvoru 2

Z výsledků analýzy průhybu vyplývá, že maximální průhyb profilu je 0,166 mm obr(68).



obr(68): Průhyb profilu

$$K = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{215}{112,7} = 1,9[-] \quad (68)$$

| | | | |
|------------------|------------------------|-------|----------------------|
| Kde: K | koeficient bezpečnosti | [-] | |
| R _e | mez kluzu materiálu | 215 | [N/mm ²] |
| σ _{red} | reduované napětí | 112,7 | [N/mm ²] |

$$K \geq K_{min} \quad (69)$$

$$1,9 \geq 1,5 \quad (70)$$

| | | | |
|-----------------------|----------------------------------|-----|-----|
| Kde: K _{min} | minimální koeficient bezpečnosti | 1,5 | [-] |
|-----------------------|----------------------------------|-----|-----|

$$v_D = \frac{L}{300} = \frac{710}{300} = 2,4 [mm] \quad (71)$$

$$v_D \geq v_p \quad (72)$$

$$2,4 \geq 0,166 \quad (73)$$

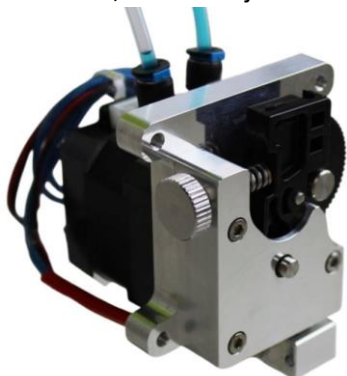
| | | | |
|----------------|-----------------|-------|------|
| Kde: L | délka nosníku | 710 | [mm] |
| v _D | dovolený posuv | | [mm] |
| v _p | posuv z analýzy | 0,166 | [mm] |

Z rovnic (11.68) a (11.71) vyplývá, že průběh napětí a maximální průhyb v profilu jsou vyhovující.

11.2 Výběr extruderu

Jako extruder tiskárny byl vybrán, Titan Aqua extruder s přímým pohonem obr(69), jeho parametry jsou uvedeny v tab(18).

Titan Aqua je vodou chlazený extruder. Extruder je dodán s topným tělesem, pracovní teplota může dosáhnou až na komfortních 285 °C a může se dostat i přes 400°C. Celý systém je vysoce účinný a velmi tichý, protože je chlazen vodou. Titan Aqua je vhodný pro užívání v teplých a vyhřívaných komorách, a umožňuje snadný tisk všech typů vysoce pevných plastů. [2.24]



Tab (18): Parametry extruderu [2.24]

| | |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Označení | Titan Aqua - Standard 1.75mm 24V |
| Pracovní napětí [V] | 24 |
| Hmotnost [kg] | 0,1 |
| Průměr filamentu [mm] | 1,75 |
| Max. teplota [°C] | 400 |

obr(69): Extruder Titan Aqua [2.24]

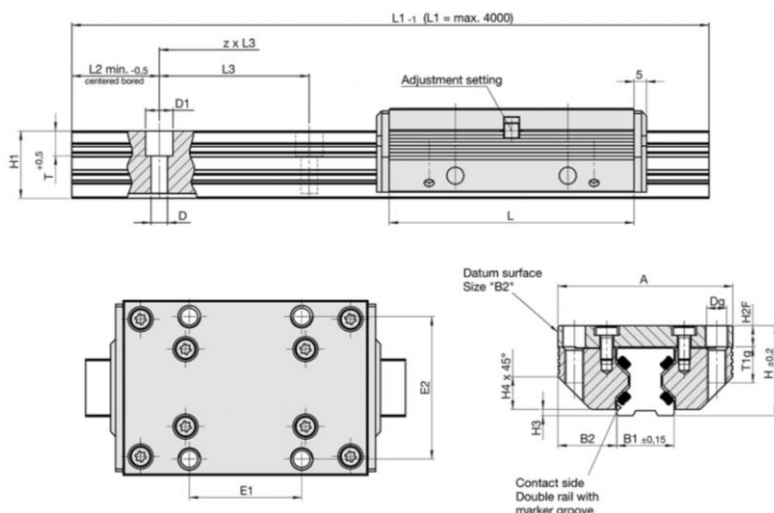
11.2.1 Vedení extruderu

Jako vedení extruderu bylo zvoleno lineární vedení od společnosti Franke, lineární vedení této firmy jsou hliníková (obr(70)), proto hmotnost těchto vedení (tab(19)) je mnohonásobně menší oproti běžným lineárním vedením. Důvodem volby těchto vedení je, aby se předešlo případnému bimetalickému efektu.

Bimetalický efekt je fyzikální jev který vzniká, když na dva různé materiály o různé tepelné roztažnosti začne působit teplo, tak se začnou rozpínat. Ale tím, že mají různou tepelnou roztažnost, dojde k tomu, že se jedem materiál začne ropínat rychleji a do větších rozměrů než druhý.

Příklad: Pokud by byla použita kovová kolejnice, která je uložena na hliníkovém profilu, a toto díly by byly nějak ořívány, může dojít k deformaci (ohnutí) rámu.

Proto kvůli možnému tepelnému působení tepla na rám, byly zvoleny hliníkové lineární vedení.



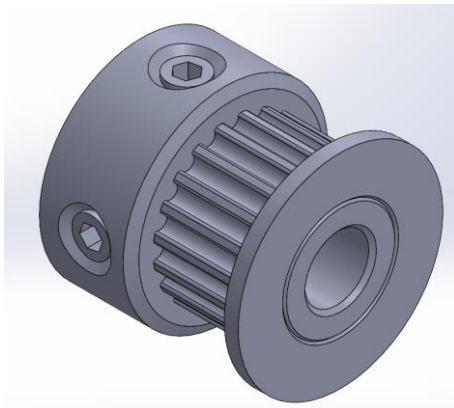
Tab (19): Parametry lin. vedení [2.25]

| | |
|------------------------------------|--------|
| Označení | 84494L |
| Velikost | 12 |
| Hmotnost [kg] | 0,09 |
| C [N] | 620 |
| C ₀ [N] | 170 |
| Max. rychlost [m/s] | 10 |
| Max. zrychlení [m/s ²] | 40 |

obr (70): Franke lineární vedení [2.25]

11.2.2 Pohon vodorovné osy

Převod kroutícího momentu je přenášen přes řemen GT2 s šířkou 6 mm a řemenicí (obr(71)) s parametry tab(20).



| | |
|----------------------|-----------------|
| Počet zubů [-] | 20 |
| Roztečný průměr [mm] | 12,73 |
| Materiál | Slitina hliníku |
| Šířka řemenu [mm] | 6 |
| Typ řemenu | GT2 |

obr(71): Řemenice

11.2.3 Návrhové výpočty motoru

V této části budou vypočítány požadované otáčky a kroutícího momentu motoru, které jsou potřebné pro návrh motoru.

Znamé veličiny:

| | | | |
|-----------|----------------------------------|-------|-------|
| m_{ex} | hmotnost poháněné jednotky | 1 | [kg] |
| t_{ex} | čas zrychlení jednotky extruderu | 0,1 | [s] |
| $d_{řem}$ | roztečný průměr řemenice | 12,73 | [mm] |
| v_{os} | rychlost os | 0,06 | [m/s] |
| f | součinitel tření v lin. vedení | 0,004 | [-] |

$$F_{ex} = m_{ex} \cdot \frac{v_{os}}{t_{ex}} + m_{ex} \cdot g \cdot f \quad (74)$$

$$F_{ex} = 1 \cdot \frac{0,06}{0,1} + 1 \cdot 9,81 \cdot 0,004 = 0,64 \text{ [N]} \quad (75)$$

$$M_{ex} = F_{ex} \cdot \frac{d_{řem}}{2 \cdot 1000} \quad (76)$$

$$M_{ex} = 0,64 \cdot \frac{12,73}{2 \cdot 1000} = 0,004 \text{ [Nm]} \quad (77)$$

$$n_{ex} = \frac{60 \cdot v_{os}}{2\pi \cdot \left(\frac{d_{řem}}{2 \cdot 1000}\right)} \quad (78)$$

$$n_{ex} = \frac{60 \cdot 0,06}{2\pi \cdot \left(\frac{12,73}{2 \cdot 1000}\right)} = 90 \left[\frac{1}{min} \right] \quad (79)$$

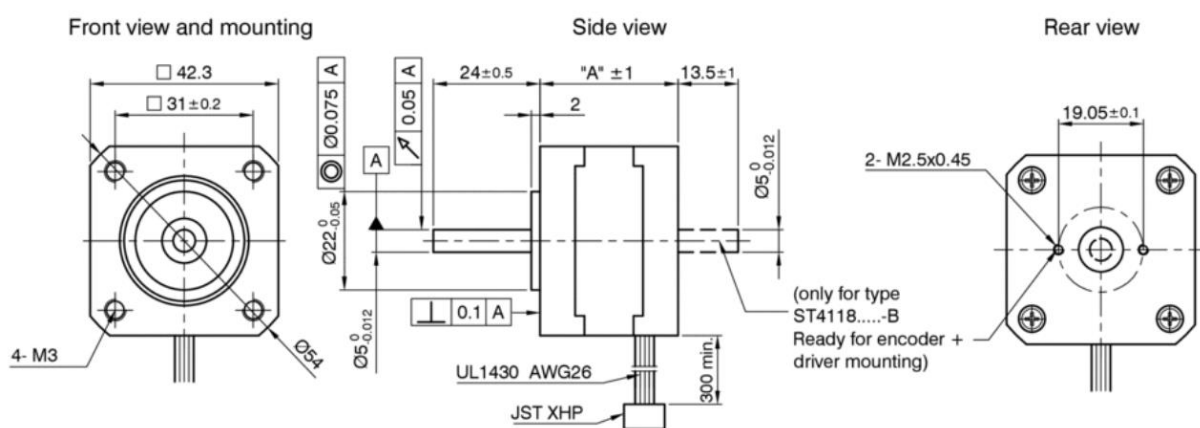
| | | | |
|------|----------|--------------------------|---------|
| Kde: | F_{ex} | požadovaná síla motoru | [N] |
| | M_{ex} | požadovaný moment motoru | [Nm] |
| | n_{ex} | požadované otáčky motoru | [1/min] |

11.2.4 Výběr motoru

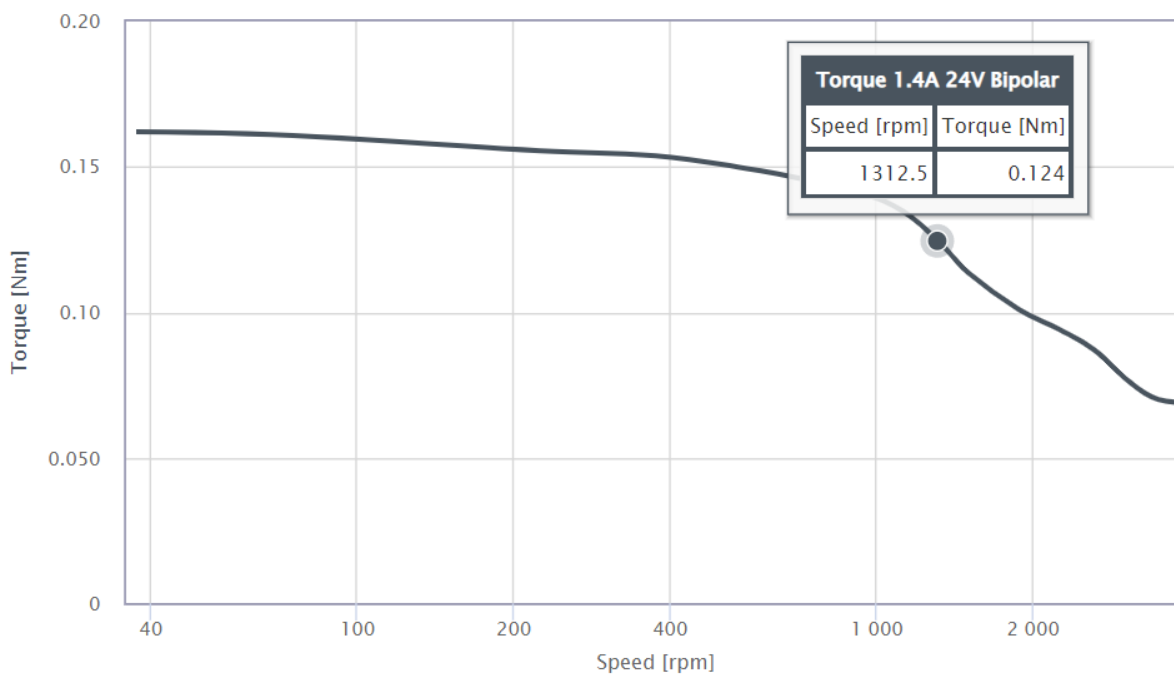
Na základě výpočtů z kapitoly 11.2.3, byl vybrán krokový motor s rozměry obr(72) a parametry tab(21), jako pohon extruderu. Charakteristika motoru je vidět na obr(73), která bude potřeba u kontrolních výpočtů.

Tab (21): parametry krokového motoru extruderu [2.26]

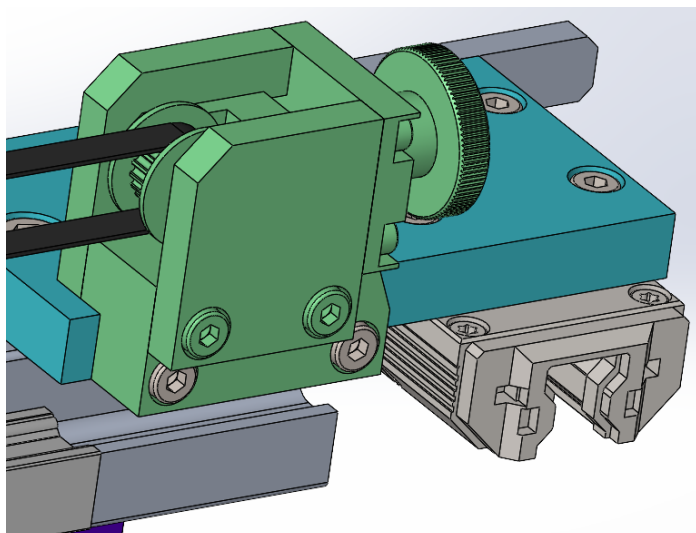
| | |
|---------------------|---------------|
| Označení motoru | ST4118X1404-B |
| Elek. proud [A] | 1,4 |
| Elek. napětí [V] | 24 |
| Průměr hřídele [mm] | 5 |
| Délka „A“ [mm] | 26 |
| Hmotnost [Kg] | 0,15 |



obr(72): krokový motor [2.26]



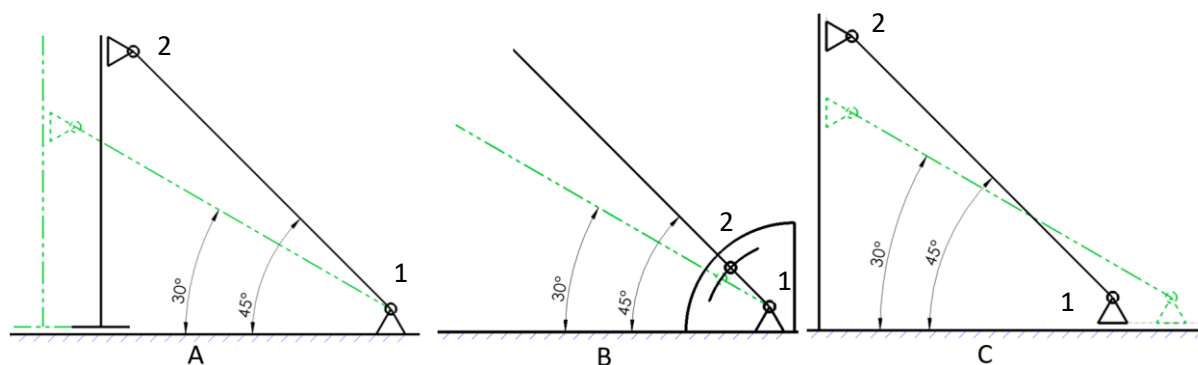
obr(73): Charakteristika motoru [2.26]



obr(76): Napínání řemene

11.3 Nosná rámová konstrukce

Tato podkapitola bude zaměřená na návrh nosné konstrukce a dalším její mechanismy. Nejprve budou popsány koncepční návrhy naklápěcího mechanismu rámu, následně se vyjmenují jejich výhody a nevýhody. Dále se detailně rozpracuje vybraná koncepce.



obr(77): Koncepční návrhy naklápěcí rámové konstrukce

Koncepce A obr(77) je založená na principu, kde se sloup na posuvné vazbě posouvá. Když se sloup posune blíže k vazbě 1, úhel se otevírá. Když se sloup posune dále od vazby 1, úhel se zavírá. Aretace mechanismu je přes posuvný sloup, kde se utáhnou šrouby.

- + Výhodou je jednoduchost a tuhost konstrukce.
- seřizování úhlů a aretace mechanismu je složitější než u koncepce B.

Koncepce B obr(77) pracuje na principu, kde se rameno otáčí okolo bodu 1 a aretace mechanismu zajišťuje kolík, který se nachází v bodě 2. Podle toho, kolik otvorů je v přírubě, podle toho má mechanismus tolik poloh. Inspirováno od tiskárny od společnosti Blackbelt 3D (obr(14)).

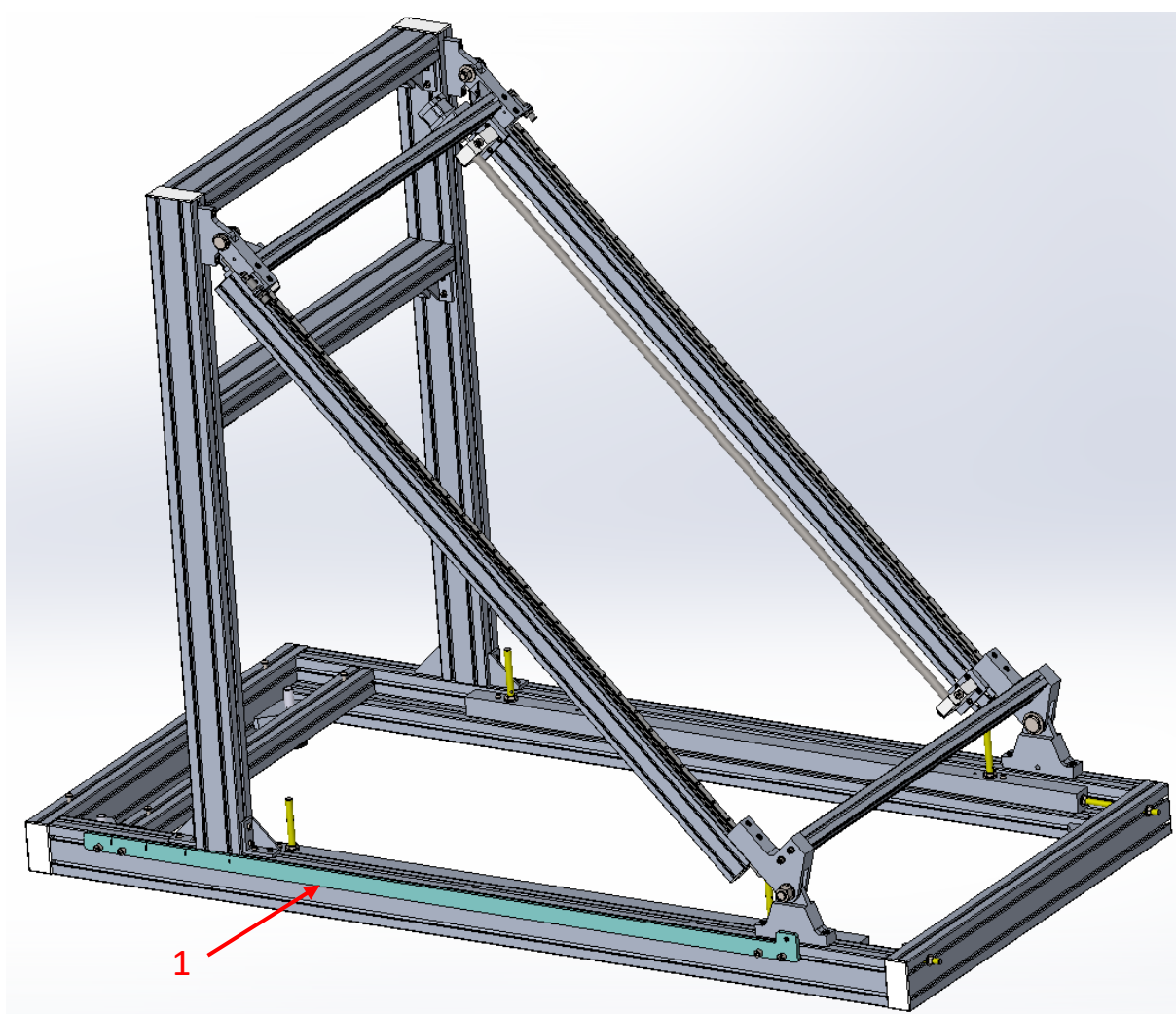
- + Výhodou této koncepce je, že je jednoduchá, nastavování poloh je jednoduché a rychlé.
- Nevýhodou této koncepce je, že zde může docházet ke kmitání ramena.

Koncepce C obr(77) je podobná koncepci A, rozdíl mezi nimi je v tom, že zde rotační vazba 1 je zároveň posuvnou vazbou, vazba 2 se opírá o sloup. Tím, že se vazba 1 přibližuje ke sloupu, tak se úhel otevírá a opačně. Aretace je zajištěna buď kolíkem nebo šrouby.

- + Výhodou je, tuhost konstrukce, oproti koncepci B.
- Nevýhodou této koncepce je, že seřizování úhlů je nejsložitější ze 3 koncepcí.

Pro další rozpracování byla zvolena koncepce A.

Na obr(78) je vidět rozpracovaná koncepce A rámové konstrukce, která se skládá z několika typů profilů, a které jsou spojené mezi sebou pomocí úhelníků. Typy a délky profilů jsou detailně uvedeny ve výkresové dokumentaci, která je přiložená v příloze. Pomocí pravítka (pozice 1) se nastavují úhly naklápění.

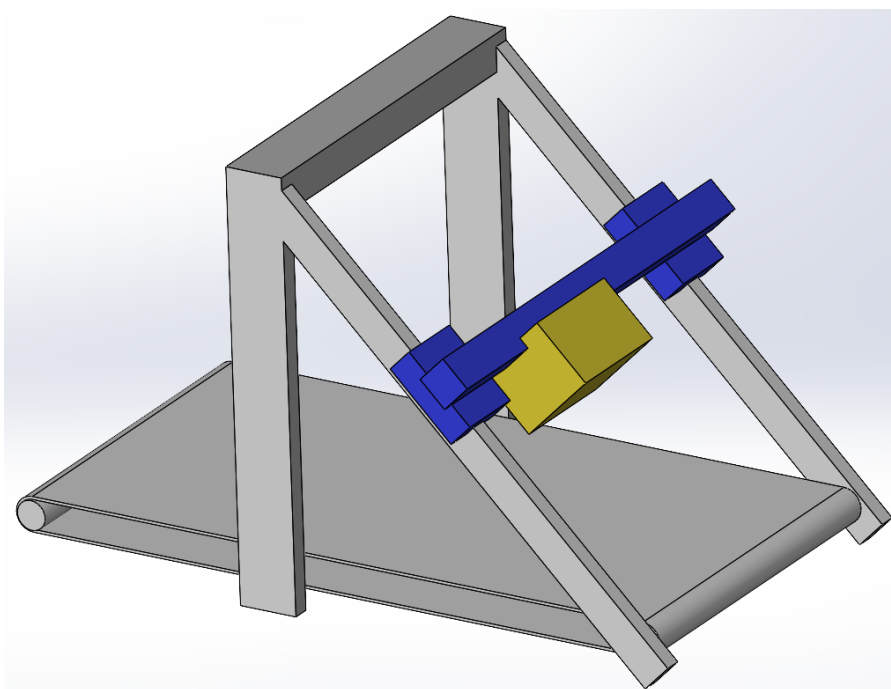


obr(78): Rámová konstrukce

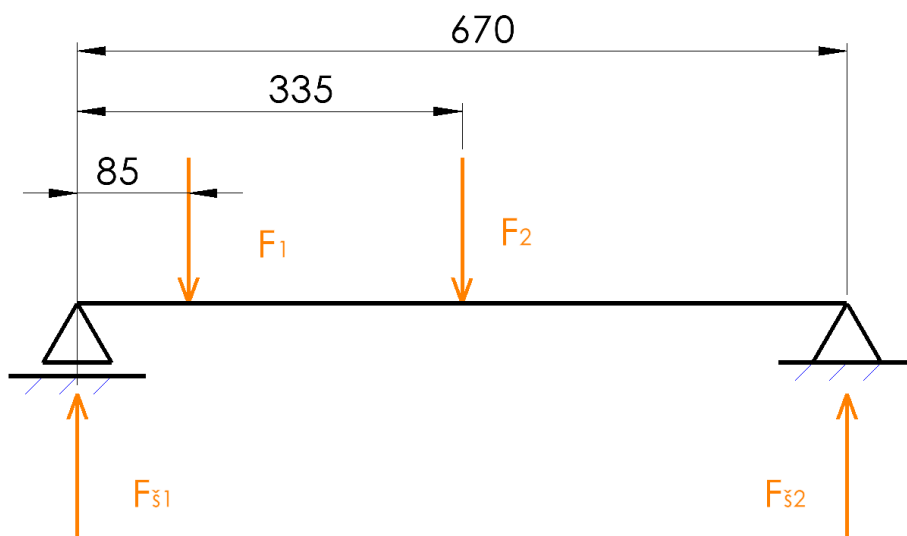
11.3.1 Zatížení od vodorovné osy

Jako pohon extruderu na svislé ose byl zvolen krokový motor s trapézovým šroubem. Důvodem, proč nebyl použit řemen ve svislé ose je, že když se krokový motor zastaví a nezabrdí, tak stane se to, že kvůli vlastní tíze vodorovné osy, extruder sjede do dolní polohy, což je nežádoucí. Proto byl použit trapézový šroub, u kterého tento problém nenastane, a zároveň je mnohem přesnější, ale také dražší.

Trapézový šroub bude nejvíce zatížen, když je extruder v krajní poloze na vodorovné ose, a naklápěcí mechanismus je pod úhlem 45° . Na obr(79) je znázorněno vodorovná osa, která namáhá šroub, žlutý díl znázorňuje extruder, který se pohybuje ve vodorovné ose což je modrý díl. Hmotnost žlutého dílu je 1 Kg. Modrý díl vodorovná osa. Hmotnost modrého dílu jsou 3 Kg. Na obr(80) je schéma působících sil na šrouby, dle kterého budou provedeny výpočty.



obr(79): Osa extruderu



obr(80): Schéma zatížení šroubů

známé veličiny:

| | | | |
|-------|------------------------|---|------|
| m_z | hmotnost extruderu | 1 | [kg] |
| m_m | hmotnost vodorovné osy | 3 | [kg] |

$$F_1 = m_z \cdot g \quad (82)$$

$$F_1 = 1 \cdot 9,81 = 9,81 \approx 10 \text{ [N]} \quad (83)$$

$$F_2 = m_m \cdot g \quad (84)$$

$$F_2 = 3 \cdot 9,81 = 29,43 \approx 30 \text{ [N]} \quad (85)$$

| | | |
|------------|---------------------------|-----|
| Kde: F_1 | zatížení od extruderu | [N] |
| F_2 | zatížení od vodorovné osy | [N] |

Statické rovnice rovnováhy sestaveny dle schématu obr(80).

$$M_{F_{\check{s}1}}: F_1 \cdot 85 + F_2 \cdot 335 - F_{\check{s}2} \cdot 670 = 0 \quad (86)$$

$$y: F_{\check{s}1} + F_{\check{s}2} - F_2 - F_1 = 0 \quad (87)$$

Úprava rovnice (86).

$$F_{\check{s}2} = \frac{F_1 \cdot 85 + F_2 \cdot 335}{670} \quad (88)$$

$$F_{\check{s}2} = \frac{10 \cdot 85 + 30 \cdot 335}{670} = 15,96 \text{ [N]} \quad (89)$$

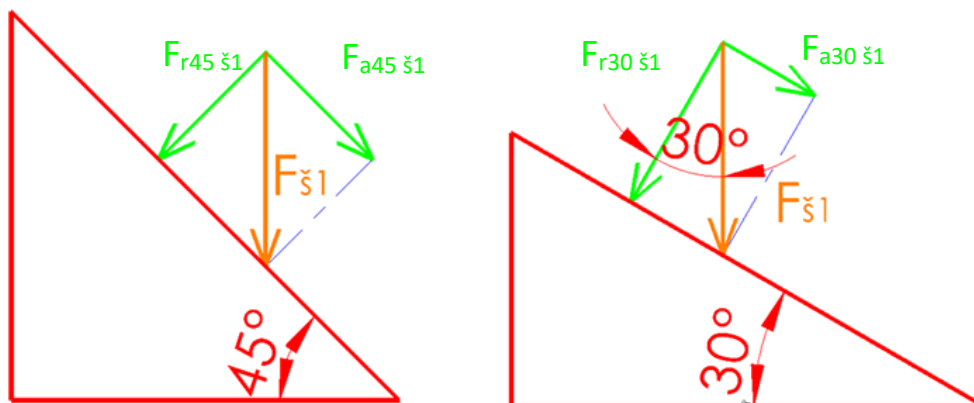
Když je síla $F_{\check{s}2}$ známá, tak se dosadí do rovnice (87) a vypočte se síla $F_{\check{s}1}$.

$$F_{\check{s}1} = F_1 + F_2 - F_{\check{s}2} \quad (90)$$

$$F_{\check{s}1} = 10 + 30 - 15,96 = 24,04 \text{ [N]} \quad (91)$$

| | | |
|-----------------------|--------------|-----|
| Kde: $F_{\check{s}1}$ | reakční síla | [N] |
| $F_{\check{s}2}$ | reakční síla | [N] |

Další výpočty budou provedeny pro reakční sílu, která je největší. Síla $F_{\check{s}1}$ bude rozložena na axiální a radiální složku, dle který budou následně provedeny kontrolní výpočty navržených komponentů. Na obr(81) jsou schémata na rozklad sil, nalevo je schéma, kdy je šroub nejvíce zatížen při 45° , napravo je schéma pro lineární vedení, kdy je vedení nejvíce zatížené při 30° .



obr(81): Rozklad sil



$$F_{r45 \xi 1} = \cos(45) \cdot F_{\xi 1} \quad (92)$$

$$F_{r45 \xi 1} = \cos(45) \cdot 24,04 = 17 \text{ [N]} \quad (93)$$

$$F_{a45 \xi 1} = \sin(45) \cdot F_{\xi 1} \quad (94)$$

$$F_{a45 \xi 1} = \sin(45) \cdot 24,04 = 17 \text{ [N]} \quad (95)$$

$$F_{r30 \xi 1} = \cos(30) \cdot F_{\xi 1} \quad (96)$$

$$F_{r30 \xi 1} = \cos(30) \cdot 24,04 = 20,8 \text{ [N]} \quad (97)$$

$$F_{a30 \xi 1} = \sin(30) \cdot F_{\xi 1} \quad (98)$$

$$F_{a30 \xi 1} = \sin(30) \cdot 24,04 = 12 \text{ [N]} \quad (99)$$

| | | | |
|------|-----------------|---|-----|
| Kde: | $F_{r45 \xi 1}$ | radiální síla ve šroubu při náklonu 45° | [N] |
| | $F_{a45 \xi 1}$ | axiální síla ve šroubu při náklonu 45° | [N] |
| | $F_{r30 \xi 1}$ | radiální síla ve šroubu při náklonu 30° | [N] |
| | $F_{a30 \xi 1}$ | axiální síla ve šroubu při náklonu 30° | [N] |

Trapézový šroub zachycuje axiální sílu. Největší axiální zatížení je působeno, když je naklápací mechanismus pod úhlem náklonu 45° viz rovnice (95). Tato síla bude dále použita při návrhovém výpočtu a kontrolním výpočtu šroubu.

Lineární vedení má za úkol zachycovat radiální síly, protože šroub není dimenzován na radiální zatížení. Největší zatížení je působeno, když je naklápací mechanismus pod úhlem náklonu 30° viz rovnice (97). Tato síla bude dále použita při kontrolním výpočtu lineárního vedení.

11.3.2 Návrh trapézového šroubu

Tato kapitola bude zaměřená na návrh trapézového šroubu, jeho uložení a kontrolní výpočty. Nejdříve se provede výpočet, kde se stanoví nejmenší střední průměr závitu pro největší působící zatížení v axiálním směru šroubu, což je síla $F_{a45 \xi 1}$ z rovnice (95).

$$d'_2 = \sqrt{\frac{F_{a45 \xi 1}}{\pi \cdot \psi_H \cdot \psi_h \cdot p_D}} \quad (100)$$

$$d'_2 = \sqrt{\frac{17}{\pi \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 8}} = 0,95 \text{ [mm]} \quad (101)$$

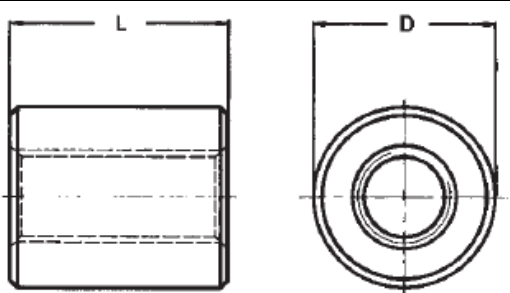
| | | | | |
|------|-----------------|---------------------------------|-----|----------------------|
| Kde: | $F_{a45 \xi 1}$ | axiální síla ve šroubu | 17 | [N] |
| | ψ_H | součinitel výšky závitů | 0,5 | [-] |
| | ψ_h | součinitel výšky matice | 1,5 | [-] |
| | p_D | dovolený tlak | 8 | [N/mm ²] |
| | d'_2 | minimální střední průměr závitu | | [mm] |

Veličiny (součinitelé a dovolený tlak) byly převzaty z literatury [1.3]. Pro každý materiál je dovolený tlak odlišný. Záleží na tom, z jakých materiálů jsou matice a šroub vyrobené. Pro materiály ocel-bronz je dovolený tlak v rozmezí (8-10) N/mm².

Pro další rozpracování byl zvolen závit Tr16x4. Parametry matice jsou uvedené v tab(23), rozměry matice obr(82). Parametry šroubu jsou uvedeny v tab(24), rozměry šroubu obr(83).

Tab (23): Parametry trapézového matice [2.28]

| | |
|------------------------|---------------|
| Označení | MR-Tr 16x4 BZ |
| Závit | Tr 16x4 |
| Průměr matice D - [mm] | 36 |
| Délka matice L - [mm] | 32 |
| Materiál | Bronz |
| Hmotnost [kg] | 0,24 |

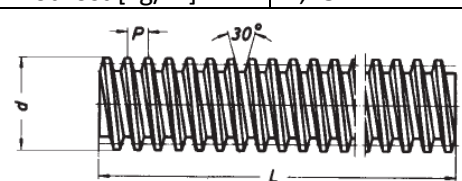


Kruhové trapézové matice

obr(82): Rozměry matice [2.28]

Tab (24): Parametry trapézového šroubu [2.28]

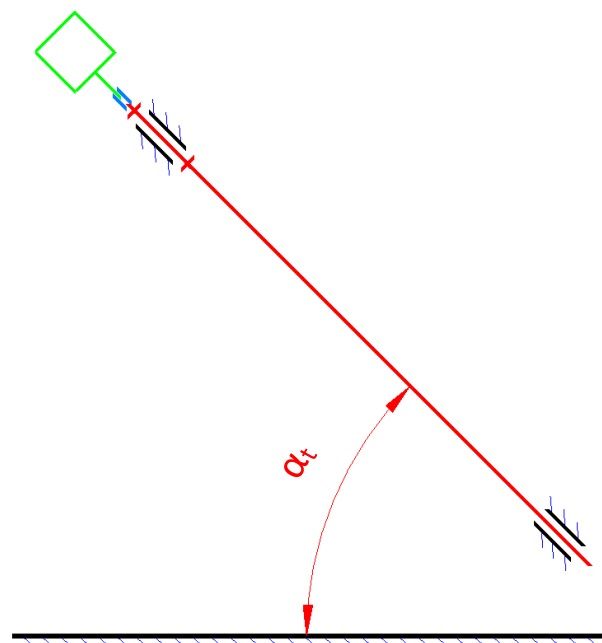
| | |
|-----------------|--------------|
| Označení | Tr 16x4-2000 |
| Závit | Tr 16x4 |
| Materiál | C15 |
| Hmotnost [kg/m] | 1,18 |



obr(83): Rozměry šroubu [2.28]

11.3.3 Uložení šroubu

Trapézový šroub bude uložen dle schématu (obr(84)), kde je horní část šroubu uložena v radiálně axiální ložiskové jednotce a spodní část je uložena jen radiálně. Šroub bude poháněn krokovým motorem, který bude spojen napřímo se šroubem přes spojku. Jelikož je šroub takto uložen, tak nebude namáhán na vzpěr.



obr(84): Schéma uložení a pohonu šroubu

11.3.4 Kontrola šroubu

V této kapitole se provede kontrolní výpočet na otláčení závitu a následně vypočte koeficient bezpečnosti. Kontrola otláčení činných závítů bude stanovena pro největší působící zatížení v axiálním směru šroubu, což je síla $F_{a45\ 31} = 17\text{ N}$ z rovnice (95).

$$p = \frac{F_{a45\ 31}}{\pi \cdot z_{\check{c}} \cdot d_2 \cdot H_1} \leq p_D \quad (102)$$

$$p = \frac{17}{\pi \cdot 8 \cdot 14 \cdot 2} = 0,02 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \leq p_D = 8 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (103)$$

$$z_{\check{c}} = \frac{h_m}{P_z} \quad (104)$$

$$z_{\check{c}} = \frac{32}{4} = 8 [-] \quad (105)$$

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} \quad (106)$$

$$H_1 = \frac{16 - 12}{2} = 2 [\text{mm}] \quad (107)$$

| | | | | |
|------|-----------------|------------------------|----|----------------------|
| Kde: | d_2 | střední průměr šroubu | 14 | [mm] |
| | d | velký průměr šroubu | 16 | [mm] |
| | D_1 | malý průměr matice | 12 | [mm] |
| | H_1 | pracovní výška | | [mm] |
| | h_m | výška matice | 32 | [mm] |
| | $F_{a45\ 31}$ | axiální síla ve šroubu | 17 | [N] |
| | p_D | dovolený tlak | 8 | [N/mm ²] |
| | P_z | rozteč závitu | 4 | [mm] |
| | $z_{\check{c}}$ | počet činných závítů | | [-] |

Z rovnice (103) vyplývá, že kontrola na otláčení závítů vyhovuje.

Výpočet koeficientu bezpečnosti. Koeficient bezpečnosti je poměr mezi dovoleným napětím a maximálním napětím. Je to způsob, jak posoudit, zda konstrukce nebo materiál jsou dostatečně silné pro svůj účel a zda jsou schopné vydržet předpokládané zatížení. Větší koeficient bezpečnosti znamená větší rezervu sil, což znamená, že konstrukce nebo materiál jsou dostatečně tuhé. Obvyklé koeficienty bezpečnosti se pohybují mezi 1,5 až 5

$$K = \frac{R_e}{\sigma_{red}} \geq K_{min} \quad (108)$$

$$K = \frac{345}{0,2} = 1\,725 \geq K_{min} = 1,5 \quad (109)$$

Redukované napětí podle HMH hypotézy

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \quad (110)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{0,16^2 + 3 \cdot 0,07^2} = 0,2 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (111)$$

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------|
| Kde: K | koeficient bezpečnosti | [-] |
| R _e | mez kluzu materiálu | [N/mm ²] |
| K _{min} | minimální bezpečnost | [-] |
| σ _{red} | redukované napětí | [N/mm ²] |
| σ _d | napětí v tlaku | [N/mm ²] |
| τ _s | smykové napětí | [N/mm ²] |

Dále se provede výpočet napětí v tlaku, který se pak dosadí do rovnice (110).

$$\sigma_d = \frac{F_{a45\ \dot{s}1}}{\left(\frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \right)} \quad (112)$$

$$\sigma_d = \frac{17}{\left(\frac{\pi \cdot 11,5^2}{4} \right)} = 0,16 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (113)$$

Kde: d₃ malý průměr šroubu 11,5 [mm]

Výpočet napětí v krutu, který se pak dosadí do rovnice (110).

$$\tau_s = \frac{M_{k\dot{s}}}{W_{k3}} \quad (114)$$

$$\tau_s = \frac{20,8}{298,6} = 0,07 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (115)$$

Kde: M_{kš} kroutící moment na šroubu [Nmm]
W_{k3} průřezový modul v krutu [mm³]

$$W_{k3} = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16} \quad (116)$$

$$W_{k3} = \frac{\pi \cdot 11,5^3}{16} = 298,6 [mm^3] \quad (117)$$

$$M_{k\dot{s}} = F_{a45\ \dot{s}1} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg(\gamma + \varphi') \quad (118)$$

$$M_{k\dot{s}} = 17 \cdot \frac{14}{2} \cdot tg(5,19 + 4,73) = 20,8 [N \cdot mm] = 0,0208 [N \cdot m] \quad (119)$$

Výpočet úhlu stoupání

$$tg \gamma = \frac{i_{\dot{s}} \cdot P_{\dot{s}}}{\pi \cdot d_2} \quad (120)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{1 \cdot 4}{\pi \cdot 14} = 0,091 [-] \quad (121)$$

$$\gamma = 5,19 [^\circ] \quad (122)$$

Výpočet úhlu boku

$$\operatorname{tg} \beta_n = \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \gamma \quad (123)$$

$$\operatorname{tg} \beta_n = \operatorname{tg} 15 \cdot \cos 5,19 = 0,266 [-] \quad (124)$$

$$\beta_n = 14,896 [^\circ] \quad (125)$$

Výpočet třecího úhlu

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{f}{\cos \beta_n} \quad (126)$$

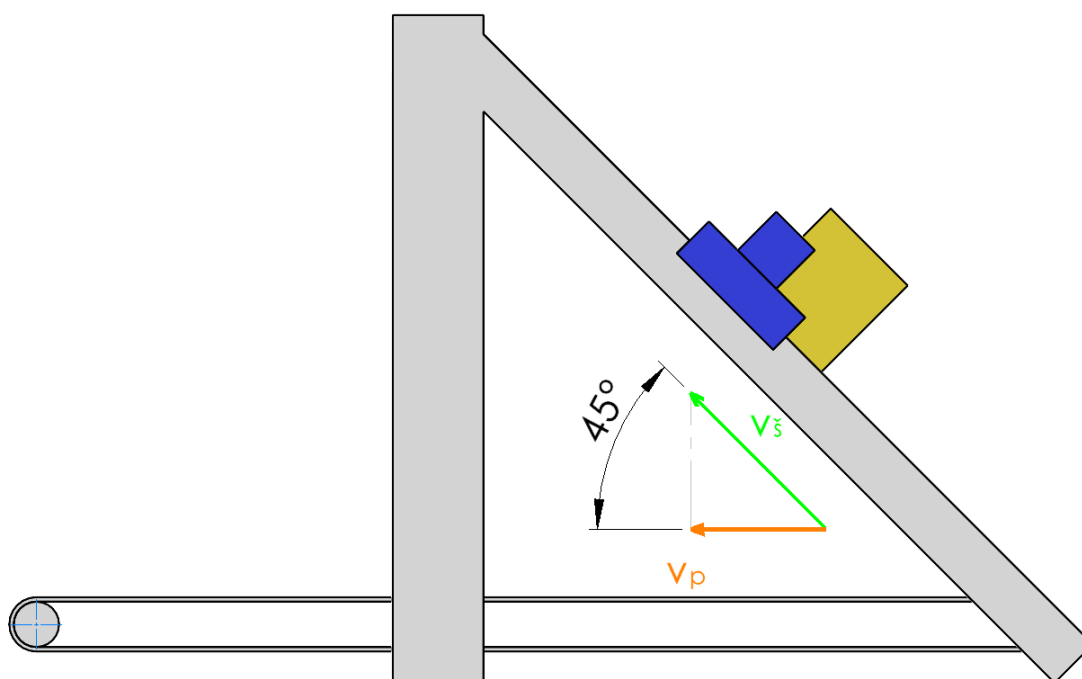
$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{0,08}{\cos 14,896} = 0,083 [-] \quad (127)$$

$$\varphi' = 4,73 [^\circ] \quad (128)$$

Koeficient bezpečnosti závitů vyhovuje.

11.3.5 Návrh pohonu pro šrouby

V této kapitole budou provedeny výpočty rychlosti, požadovaných otáček a momentu motoru, který bude pohánět šroub. Následně se navrhne motor pro trapézové šrouby dle těchto výpočtů. Rychlost ve svislé ose neboli rychlost ve šroubu musí být vyšší než rychlost dopravníku (obr(85)), aby vodorovná složka rychlosti ve šroubu byla stejně veliká jako rychlost v dopravníku. Pohon šroubu musí vyvinout nejvyšší rychlost, když je naklápěcí mechanismus pod úhlem 45° .



obr(85): Schéma rychlosti os

Nejdříve se vypočítá rychlost šroubu.

$$v_{\xi} = \frac{v_{os}}{\cos 45^{\circ}} \quad (129)$$

$$v_{\xi} = \frac{0,06}{\cos 45^{\circ}} = 0,085 \left[\frac{m}{s} \right] \quad (130)$$

Nyní se rychlost šroubu převede na otáčky.

$$n_{\xi} = \frac{v_{\xi} \cdot 60 \cdot 1000}{i_{\xi} \cdot P_{\xi}} \quad (131)$$

$$n_{\xi} = \frac{0,085 \cdot 60 \cdot 1000}{1 \cdot 4} = 1\,275 \text{ [1/min]} \quad (132)$$

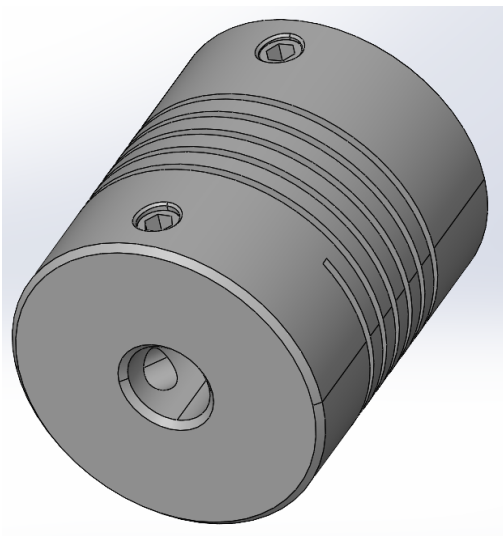
| | | | |
|-----------|-------------------------------|---|---------|
| n_{ξ} | požadované otáčky na šroubu | | [1/min] |
| v_{ξ} | požadovaná rychlost na šroubu | | [m/s] |
| i_{ξ} | počet chodů ve šroubu | 1 | [-] |
| P_{ξ} | stoupání závitu | 4 | [mm] |

Kroutící moment na šroubu je 0,02 Nm viz rovnice (119). Dle výpočtů, byl zvolen stejný krokový motor, který byl použit v kapitole 11.2.4 pro podrobnější viz tab(21). Z charakteristiky motoru obr(73) je vidět, že pro otáčky 1 312 1/min je kroutící 0,12 Nm, což je větší než požadovaný moment na šroubu, který je 0,0208 Nm. Navrhovaný motor vyhovuje.

Ke Krokovým motorům jsou také použity enkodéry z kapitoly 11.2.4, pro podrobnější parametry viz tab(22).

11.3.6 Převod kroutícího momentu na šrouby

Pro převod kroutícího momentu z krokového motoru na trapézový šroub bude napřímo, za pomoci spojky. Pro tento účel byla vybrána spirálová spojka (obr(86)) od společnosti Teatechnik. Parametry zvolené spojky jsou uvedeny v tab(25).



obr(86): Spojka

| | |
|---------------------------|--------------|
| Označení | WKAS19220505 |
| Max. otáčky [1/min] | 8 000 |
| Max. kroutící moment [Nm] | 0,6 |
| Hmotnost [kg] | 0,013 |
| Materiál | Hliník |

11.3.7 Lineární vedení

Jako lineární vedení svislé osy, bylo použito stejné vedení, které bylo použito v kapitole 11.2.1 viz tab(19). Pro vedení extruderu, nebyly provedeny žádné kontrolní výpočty, protože vedení není zatěžováno větší zátěží, ale v této kapitole už bude provedena životnost vozíčků, protože zde už dochází k většímu zatížení.

Lineární vedení má za úkol absorbovat radiální síly, aby šroub nebyl radiálně namáhán. Největší radiální zatížení, které působí na vedení je síla $F_{r30\text{š1}}$ z rovnice (97), kdy je naklápěcí mechanismus pod úhlem 30° . Vozíček lineárního vedení je také zatěžován bočně od zrychlení od extruderu, toto zatížení je rozloženo mezi dva vozíčky. Minimální životnost vozíčku je 25 000 hod [1.2].

Znamé veličiny:

| | | | |
|--------------------|--|-------|-------|
| M_{sku-ex} | Skutečný moment na motoru | 0,16 | [Nm] |
| $d_{řem}$ | roztečný průměr řemenice | 12,73 | [mm] |
| $F_{r30\text{š1}}$ | radiální síla ve šroubu při náklonu 30° | 20,8 | [N] |
| n_v | počet vozíčků | 2 | [-] |
| C | Dynamická únosnost | 620 | [N] |
| $v_{\text{š}}$ | rychlost ve šroubu | 0,085 | [m/s] |

$$F_b = \frac{\left(\frac{M_{sku-ex} \cdot 2 \cdot 1000}{d_{řem}}\right)}{n_v} \quad (133)$$

$$F_b = \frac{\left(\frac{0,16 \cdot 2 \cdot 1000}{12,73}\right)}{2} = 12,6 \text{ [N]} \quad (134)$$

$$F_c = F_{r30\text{š1}} + F_b \quad (135)$$

$$F_c = 20,8 + 12,6 = 33,4 \text{ [N]} \quad (136)$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{F_c}\right)^3 \cdot \frac{50}{v_{\text{š}} \cdot 3,6} \quad (137)$$

$$L_{10} = \left(\frac{620}{33,4}\right)^3 \cdot \frac{50}{v_{\text{š}} \cdot 3,6} = 1\,045\,164 \text{ [hod]} \quad (138)$$

$$L_{10} \geq 25\,000 \text{ [hod]} \quad (139)$$

$$L_{10} = 1\,045\,164 \geq 25\,000 \text{ [hod]} \quad (140)$$

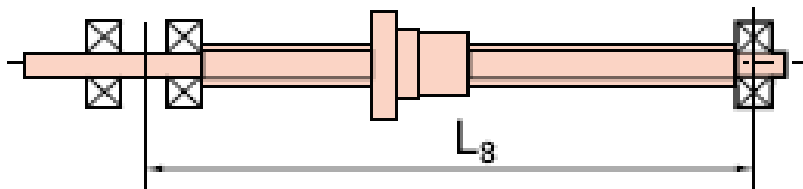
| | | | |
|------|----------------|-----------------------------------|-------------|
| Kde: | F_c | Síla působící na lineární vozíček | [N] |
| | $v_{\text{š}}$ | rychlost ve šroubu | 0,085 [m/s] |
| | L_{10} | trvanlivost | [hod] |

Z rovnice (140) vyplývá, že lineární vedení vyhovuje.

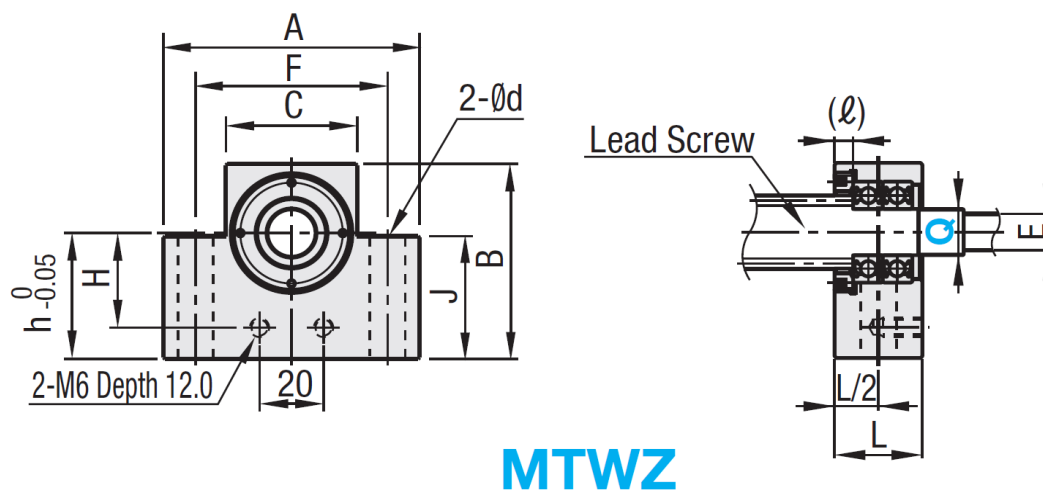
11.4 Výběr ložiskových jednotek pro šroub

Šroub je uložen dle obr(87), kde je na jedné straně axiálně radiálně uložen, na druhé straně jen radiálně. Pro stranu, kde je šroub radiálně axiálně uložen, byla použita ložisková jednotka s parametry tab(26) a rozměry obr(88). Na stranu, kde je šroub uložen jen radiálně, byla použita ložisková jednotka s parametry tab(27) a rozměry obr(89).

$L_8 = 1\,231\text{ mm}$



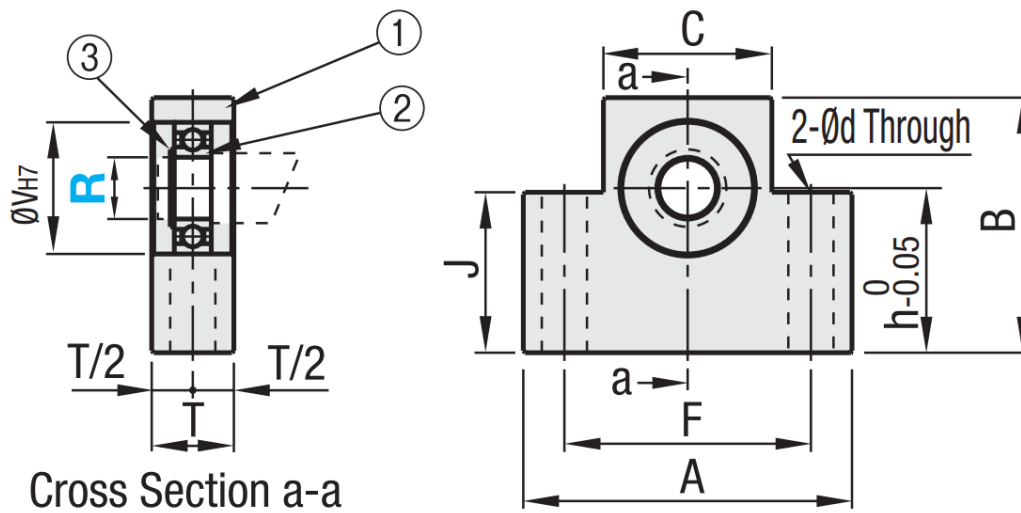
obr (87): Uložení šroubu



obr(88): Rozměry ložiskové jednotky [2.32]

| Tab (26): Parametry ložiskové jednotky [2.32] | |
|--|--------|
| Označení | MTWZ10 |
| Přípustné axiální zatížení [N] | 2 300 |
| Průměr otvoru pro hřídel [mm] | 10 |
| Dynamická únosnost [N] | 4 550 |
| Statická únosnost [N] | 1 960 |
| Max. otáčky [1/min] | 30 000 |

| Tab (27): Parametry ložiskové jednotky [2.33] | |
|--|--------|
| Označení | MTUZ10 |
| Průměr otvoru pro hřídel [mm] | 10 |
| Dynamická únosnost [N] | 4 550 |
| Statická únosnost [N] | 1 960 |
| Max. otáčky [1/min] | 30 000 |



obr(89): Rozměry ložiskové jednotky [2.33]

11.4.1 Trvanlivost ložisek

Jelikož je šroub poháněn napřímo, neměly by zde vznikat žádné tečné síly a všechny radiální síly jsou zachyceny lineárním vedením. Takže ložiska jsou axiálně zatěžována od síly $F_{a45\ 51}$ viz rovnice (95) a vlastní tíhy šroubu viz tab(24). Minimální životnost vozíčku je 25 000 hod [1.2].

Znamé veličiny:

| | | | |
|---------------|---|-------|---------|
| $F_{a45\ 51}$ | axiální síla ve šroubu při náklonu 45° | 17 | [N] |
| C | dynamická únosnost | 4 550 | [N] |
| n_s | požadované otáčky na šroubu | 1 275 | [1/min] |
| F_r | radiální zatížení | 0 | [N] |
| L_8 | Vzdálenost ložiskových jednotek | 1 231 | [mm] |
| m_s | hmotnost šroubu na 1 metr | 1,18 | [kg/m] |

$$F_c = F_{a45\ 51} + F_r + G_s \cdot \cos(45^\circ) \quad (141)$$

$$F_c = F_{a45\ 51} + F_r + \frac{L_8}{1000} \cdot g \cdot m_s \cdot \cos(45^\circ) \quad (142)$$

$$F_c = 17 + 0 + \frac{1231}{1000} \cdot 9,81 \cdot 1,18 \cdot \cos(45^\circ) = 27,1 \text{ [N]} \quad (143)$$

Kde: F_c celkové zatížení [N]

G_s tíha šroubu [N]

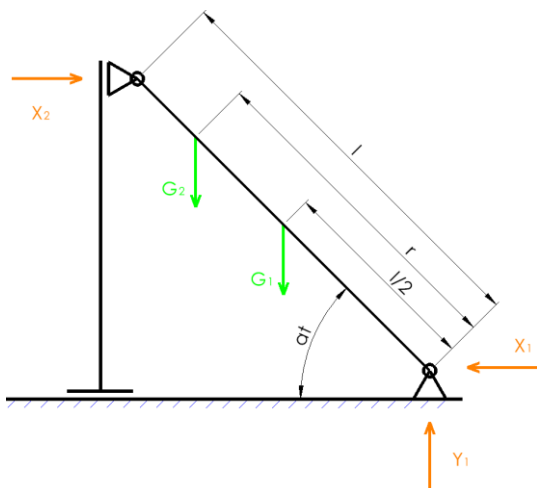
$$L_{10} = \left(\frac{C}{F_c}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_s} \quad (144)$$

$$L_{10} = \left(\frac{4550}{27,1}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1275} = 61\,867\,830 \text{ [hod]} \geq 25\,000 \text{ [hod]} \quad (145)$$

Ložiskové jednotky vyhovují.

11.5 Kontrola čepu

Aby bylo možno provést kontrolu čepu na stříh, tak se nejdříve musejí vypočítat síly které ho zatěžují. Čep je zatěžován od tíhy rámu naklápěcího mechanismu a od tíhy vodorovné osy. Zatížení je proměnlivé, a to ze dvou důvodů. Rameno je sklopné, s každým jiným úhlem naklonění je zatížení jiné a také tím, že se vodorovná osa pohybuje po ramenu, se zatížení mění. Sestavení rovnic rovno váhy bude dle schématu obr(90).



obr(90): Schéma působících sil

Znamé veličiny:

| | | | |
|------------|--------------------------------------|------------|---------------------|
| m_1 | hmotnost naklápěcího rámu | 19 | [kg] |
| m_2 | hmotnost vodorovné osy | 4 | [kg] |
| l | vzdálenost od čepu k čepu | 1 450 | [mm] |
| g | tíhové zrychlení | 9,81 | [m/s ²] |
| α_t | úhel naklápěcího mechanismu | 30° ÷ 45° | [°] |
| r | vzdálenost ve, které se osa pohybuje | 224 ÷ 1274 | [mm] |

$$G_1 = m_1 \cdot g \quad (146)$$

$$G_2 = m_2 \cdot g \quad (147)$$

G_1 tíha naklápěcího rámu [N]

G_2 tíha vodorovné osy [N]

Rovnice rovnováhy:

$$x: x_2 - x_1 = 0 \quad (148)$$

$$y: y_1 - G_2 - G_1 = 0 \quad (149)$$

$$M_1: \frac{l}{2} \cdot G_2 \cdot \cos\alpha_t + r \cdot G_1 \cdot \cos\alpha_t - l_{rot} \cdot x_2 \cdot \sin\alpha_t = 0 \quad (150)$$

Po úpravě rovnic:

$$x_1 = x_2 \quad (151)$$

$$y_1 = G_2 + G_1 \quad (152)$$

$$x_2 = \frac{\frac{l}{2} \cdot G_2 \cdot \cos\alpha_t + r \cdot G_1 \cdot \cos\alpha_t}{l \cdot \sin\alpha_t} \quad (153)$$

Po dosažení do rovnice (153), se vypočetla reakční síla x_2 . Výpočet síly je proveden pro různé vzdálenosti „r“ a také pro různé úhly „ α_t “ v excelu, který je přiložen v příloze.

Reakční síla x_2 je největší, když je úhel naklopení 30° a rozměr r je 1274 mm. x_2 vychází 221 N a tím pádem je x_1 také 221 N, y_1 vyšlo 225 N. Čepy budou zatíženy výslednicí sil x_1 a y_1 .

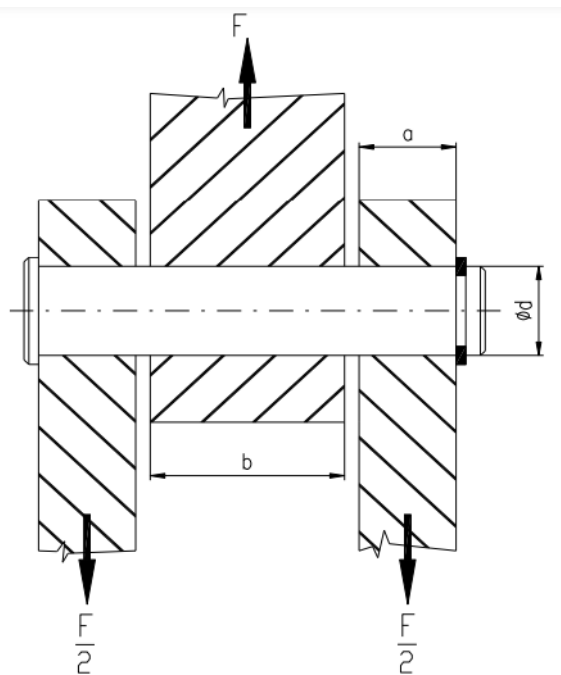
$$F_{vys} = \frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{n_\xi} \quad (154)$$

$$F_{vys} = \frac{\sqrt{221^2 + 225^2}}{2} = 157,7 \text{ [N]} \quad (155)$$

Kde: F_{vys} výslednice reakčních sil [N]
 n_ξ počet čepů 2 [-]

11.5.1 Kontrola na stříh

Čep je uložen dle schématu obr(91). Pro výpočet stříhu čepu je potřeba znát dovolené napětí na stříh, a pro materiál 11 600 je dovolené napětí na stříh $\tau_D=50 \text{ N/mm}^2$ viz. [1.1] strana 55.



obr(91): Uložení čepu [2.35]

$$\tau = \frac{F_{vys} \cdot 2}{\pi \cdot d_\xi^2} \leq \tau_D \quad (156)$$

$$\tau = \frac{157,7 \cdot 2}{\pi \cdot 20^2} = 0,25 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq \tau_D = 50 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (157)$$

d_ξ průměr čepu 20 [mm]
 τ smykové napětí [N/mm²]
 τ_D dovolené smykové napětí [N/mm²]

Z rovnice (157) vyplývá, že smykové napětí v čepu je menší než dovolené smykové napětí, čep vyhovuje.

11.5.2 Kontrola na otláčení

Jelikož je čep vyroben z pevnějšího materiálu než jeho objímky, tak kontrola na otláčení bude provedena pro táhlo a vidlici, které jsou vyrobené z hliníkové slitiny s označením 3.3547. Hodnota dovoleného tlaku byla převzata z přílohy č. 13.

Znamé veličiny:

| | | | |
|-------|----------------------------|----|----------------------|
| a | šířka jedné strany vidlice | 8 | [mm] |
| b | šířka táhla | 10 | [mm] |
| p_D | dovolený tlak | 18 | [N/mm ²] |

Tlak ve vidlici

$$p_{vid} = \frac{F_{vys}}{2 \cdot a \cdot d_{\zeta}} \leq p_D \quad (158)$$

$$p_{vid} = \frac{157,5}{2 \cdot 8 \cdot 20} = 0,49 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq p_D = 18 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (159)$$

Kde: p_{vid} tlak ve vidlici [N/mm²]

Tlak v táhlu

$$p_{tah} = \frac{F_{vys}}{b \cdot d_{\zeta}} \leq p_D \quad (160)$$

$$p_{tah} = \frac{157,7}{10 \cdot 20} = 0,775 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \leq p_D = 18 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (161)$$

Kde: p_{tah} tlak v táhlu [N/mm²]

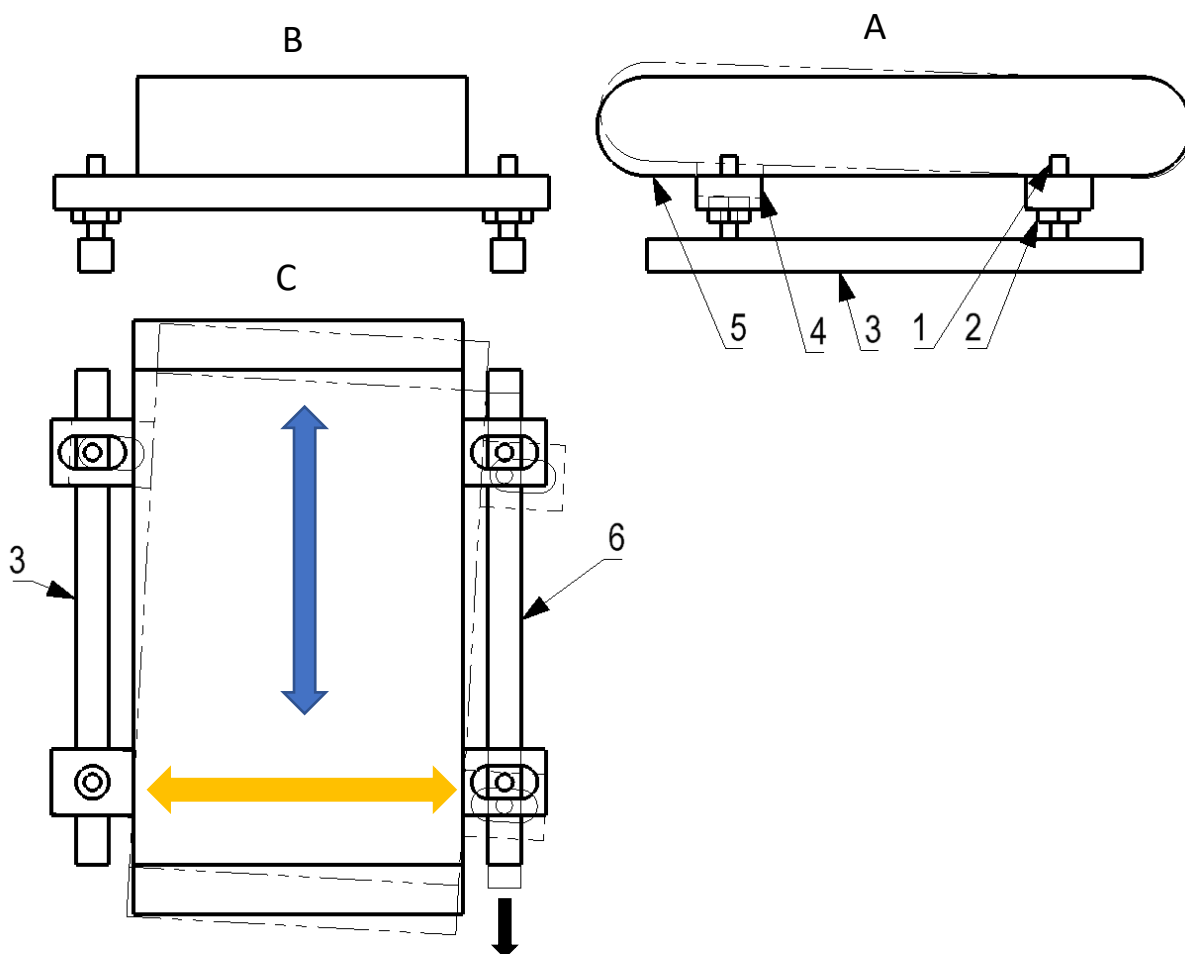
Výsledky kontroly na otláčení vidlice a táhla vyhovují. Kontrolní výpočet čepu byl také proveden v softwaru Mitcalc, pro detailnější prozkoumání viz příloha č. 13.

11.6 Nastavování pásu

Aby tiskárna správně pracovala, musí se nejdříve správně nastavit pásový dopravník.

Na schématu obr(92) pohledu C, je znázorněn mechanismus, který natáčí dopravník. Směr chodu dopravníku (modrá šipka) musí být kolmý vůči chodu vodorovné ose extruderu (oranžová šipka). Kluzné tyče (pozice 3 a 6) jsou uloženy v drážce hliníkového profilu. Kluzná tyč s pozicí 3 je uzamčená, tím že se kluzná tyč s pozicí 6 posune dolů, dojde k tomu, že se dopravník natočí doprava, a opačně.

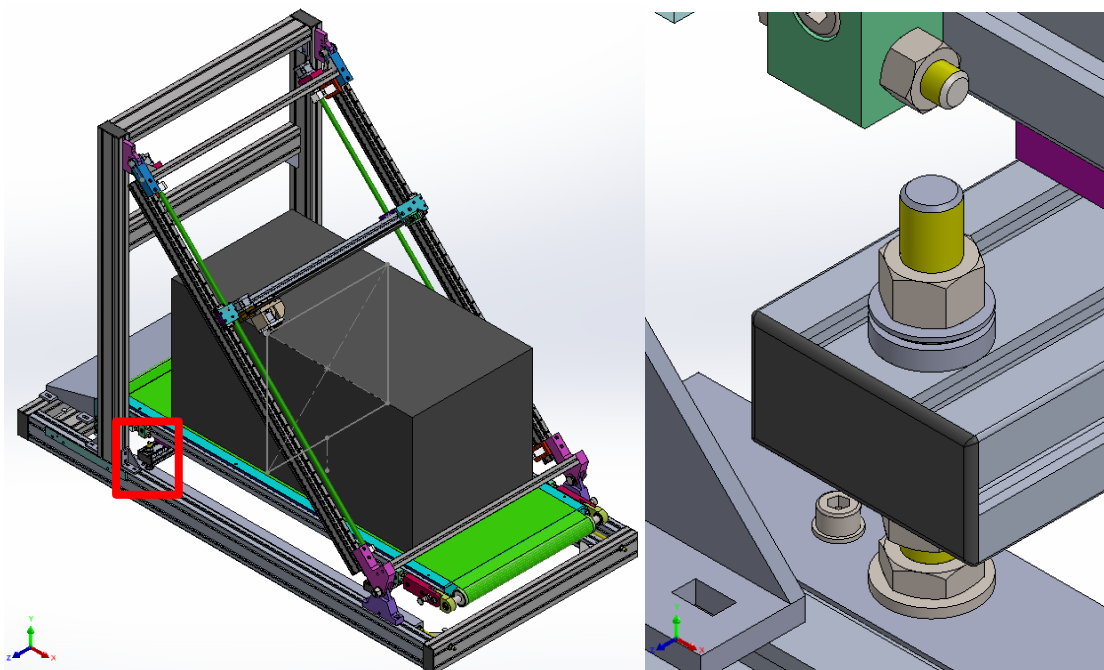
Na obr(92) pohledu A, je znázorněno naklápění dopravníku. Mechanismus pracuje na principu závitového spoje, kde pozice 1 je šroub a pozice 2 je matice, tím že se utáhne matice nebo uvolní, dojde k naklonění dopravníku.



obr(92): Schéma dopravníku

11.6.1 Vzpěr šroubu

V této kapitole se provede pevnostní kontrola šroubu M12x1,5 na vzpěr viz obr(93). Šroub bude ztížen od hmotnosti dopravníku a hmotnosti tištěného materiálu. Nejdříve se vypočítá štíhlostní poměr, pomocí kterého se zjistí z diagramu obr(94) jak je šroub namáhán.



obr(93): Šroub namáhaný na vzpěr

Znamé veličiny

| | | | |
|-------|-------------------------|-------|------|
| d_3 | malý průměr závitu | 10,16 | [mm] |
| l_v | výpočtová vzpěrná délka | 20 | [mm] |

Průřez řešeného šroubu

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 10,16^2}{4} = 81,1 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (162)$$

Osový moment setrvačnosti

$$J_x = \frac{\pi \cdot d_3^4}{64} = \frac{\pi \cdot 10,16^4}{64} = 523,1 \text{ [mm}^4\text{]} \quad (163)$$

Poloměr setrvačnosti

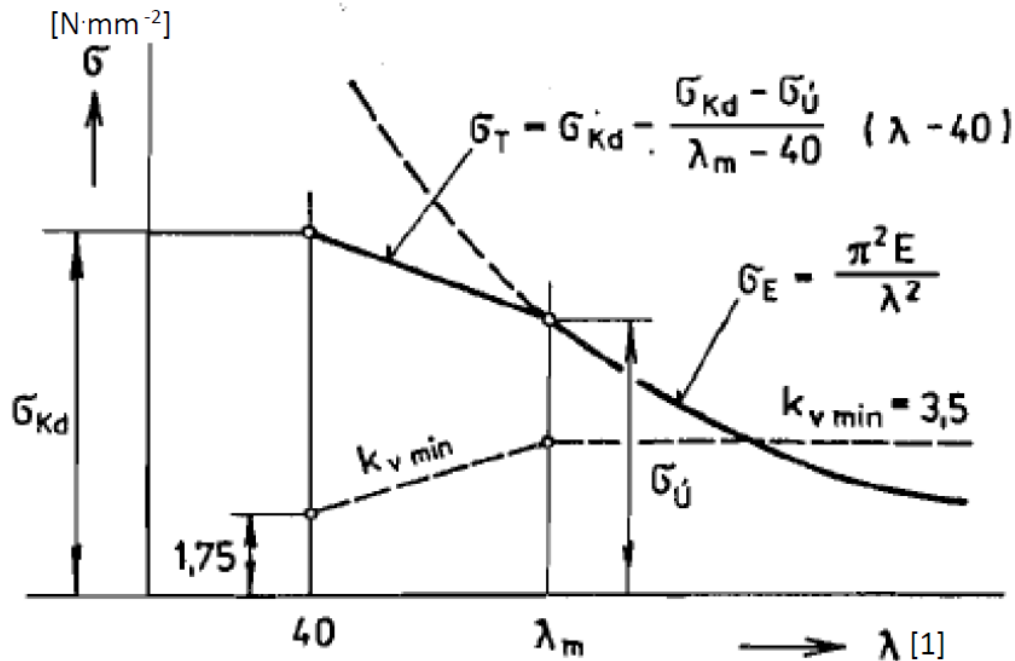
$$i_x = \frac{d_3}{4} = \frac{10,16}{4} = 2,54 \text{ [mm]} \quad (164)$$

Štíhlostní poměr

$$\lambda = \frac{l_v}{i_x} = \frac{20}{2,54} = 7,87[-] \quad (165)$$

$$\lambda = 7,87 \leq 40 \quad (166)$$

Dle diagramu obr(94) je šroub namáhán čistě na vzpěr.



obr(94): Diagram kritických napětí [2.36]

Známé veličiny:

| | | | |
|----------|------------------------------|--------|---------------------|
| g | tíhové zrychlení | 9,81 | [m/s ²] |
| m_p | hmotnost pásu | 2 | [kg] |
| m_{td} | hmotnost tištěného materiálu | 168,75 | [kg] |
| m_d | hmotnost dopravníku | 65 | [kg] |
| n_s | počet šroubů | 4 | [kg] |

Koeficient bezpečnosti

$$K = \frac{R_e}{\sigma_d} \geq K_{min} \quad (167)$$

$$K = \frac{265}{7,1} = 37,3 \geq K_{min} = 1,5 \quad (168)$$

Napětí v tlaku

$$\sigma_d = \frac{F_s}{\left(\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}\right)} \quad (169)$$

$$\sigma_d = \frac{578}{\left(\frac{\pi \cdot 10,16^2}{4}\right)} = 7,1 \left[\frac{N}{mm^2}\right] \quad (170)$$

Síla působící na jeden šroub

$$F_s = \frac{g \cdot (m_{td} + m_d + m_p)}{n_s} \quad (171)$$

$$F_s = \frac{9,81 \cdot (168,75 + 65 + 2)}{4} = 578 [N] \quad (172)$$

Koeficient bezpečnosti vyhovuje.

11.6.2 Kontrola otláčení závitů

Kontrola na otláčení závitů šroubu M12x1,5. Zatěžující síla zde bude síla F_s z rovnice (172). Dovolený tlak byl převzat z literatury [1.1] viz strana (398), kde je dovolený tlak 150 N/mm^2 pro šrouby z oceli s pevností třídou 8.8 .

Znamé veličiny:

| | | | |
|-------|------------------------|--------|----------------------|
| d | velký průměr šroubu | 12 | [mm] |
| d_1 | malý průměr matice | 10,376 | [mm] |
| d_2 | střední průměr šroubu | 11,026 | [mm] |
| F_s | axiální síla ve šroubu | 578 | [N] |
| h_m | výška matice | 12 | [mm] |
| p_D | dovolený tlak | 150 | [N/mm ²] |
| P_z | rozteč závitu | 1,5 | [mm] |

$$p = \frac{F_s}{\pi \cdot z_\zeta \cdot d_2 \cdot H_1} \leq P_D \quad (173)$$

$$p = \frac{578}{\pi \cdot 8 \cdot 11,026 \cdot 0,812} = 2,6 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \leq P_D = 150 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (174)$$

$$z_\zeta = \frac{h_m}{P_z} \quad (175)$$

$$z_\zeta = \frac{12}{1,5} = 8 [-] \quad (176)$$

$$H_1 = \frac{d - d_1}{2} \quad (177)$$

$$H_1 = \frac{12 - 10,376}{2} = 0,812 [\text{mm}] \quad (178)$$

Kde:

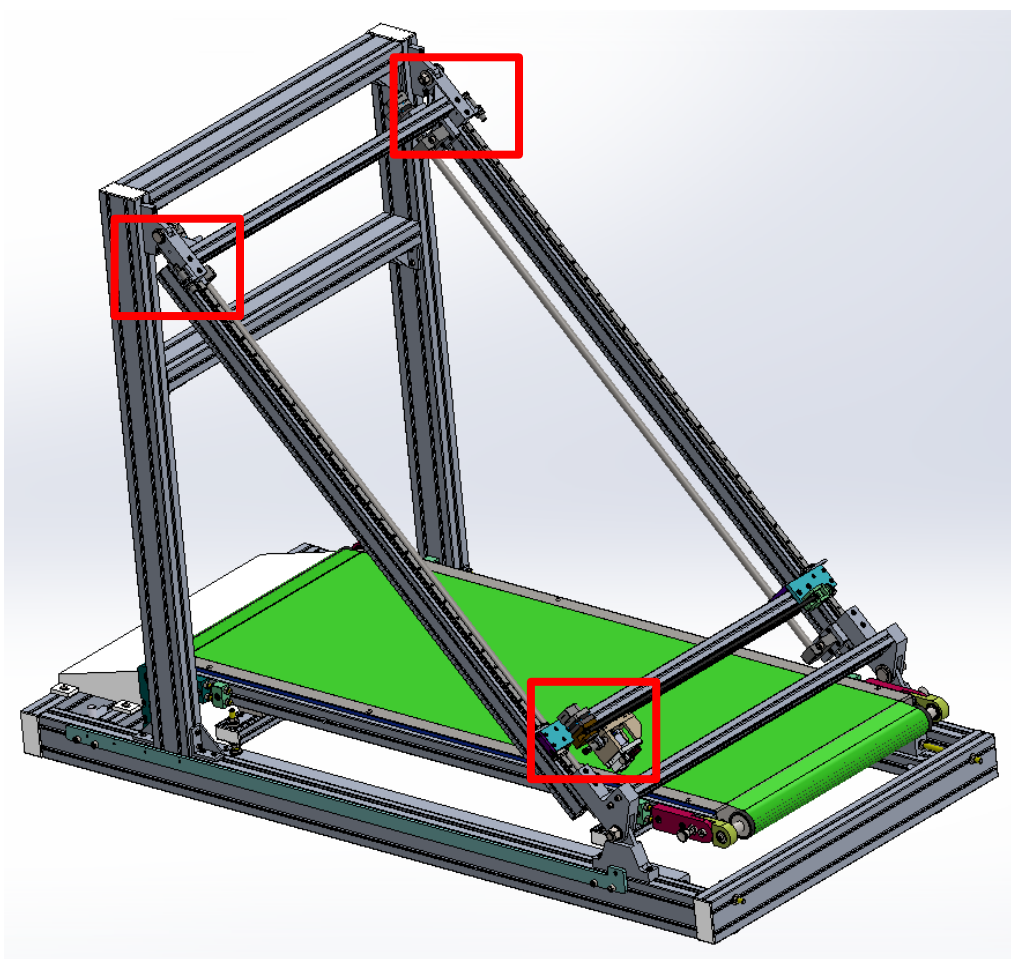
| | | |
|-----------|----------------------|----------------------|
| H_1 | pracovní výška | [mm] |
| p | tlak ve šroubu | [N/mm ²] |
| z_ζ | počet činných závitů | [-] |

Kontrola na otláčení vyhovuje.

11.7 Návrh senzorů

Jako senzor pro tiskárnu byl zvolen indukční senzor od firmy Balluff, parametry zvoleného senzoru jsou uvedeny v tab(28). Výhodou těchto senzorů spočívá v bezkontaktním snímání, odolnost proti prachu, vysokým teplotám, vysoké frekvenci spínání a dlouhé životnosti, na rozdíl od mechanických senzorů. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a detekuje jen ocelové materiály.

Použity jsou tři senzory viz obr(95), jeden je umístěn na vodorovné ose, aby byla známá poloha extruderu. Dva jsou umístěny na svislé ose, ty jsou použity k definování polohy extruderu a k synchronizování motorů. Obvykle na definování polohy stačí jeden senzor, ale jelikož jsou zde použity dva pohony, tak je nutno použít dva senzory, aby se na začátku každého prvního tisku, pohony šroubů synchronizovaly. Senzory byly umístěny do horní části rámu, z důvodu, že pro každý úhel naklápění je vždy jiná kontaktní vzdálenost mezi tryskou s pásem, ale jelikož extruder nepřichází do kontaktu s ničím v horní části naklápění, tak zde může vždy dojet do stejné polohy.



obr(95): Umístění senzoru [2.34]

Tab (28): Parametry senzoru [2.34]

| | |
|------------------------|--------------------------------------|
| Označení | BES0068 |
| Rozměr [mm] | Ø 12 × 65 |
| Dosah [mm] | 4 |
| Spínací frekvence [Hz] | 2 500 |
| Provozní napětí [V] | 10–30 |
| Připojení | Konektory, konektor M12 × 1, 3pólový |

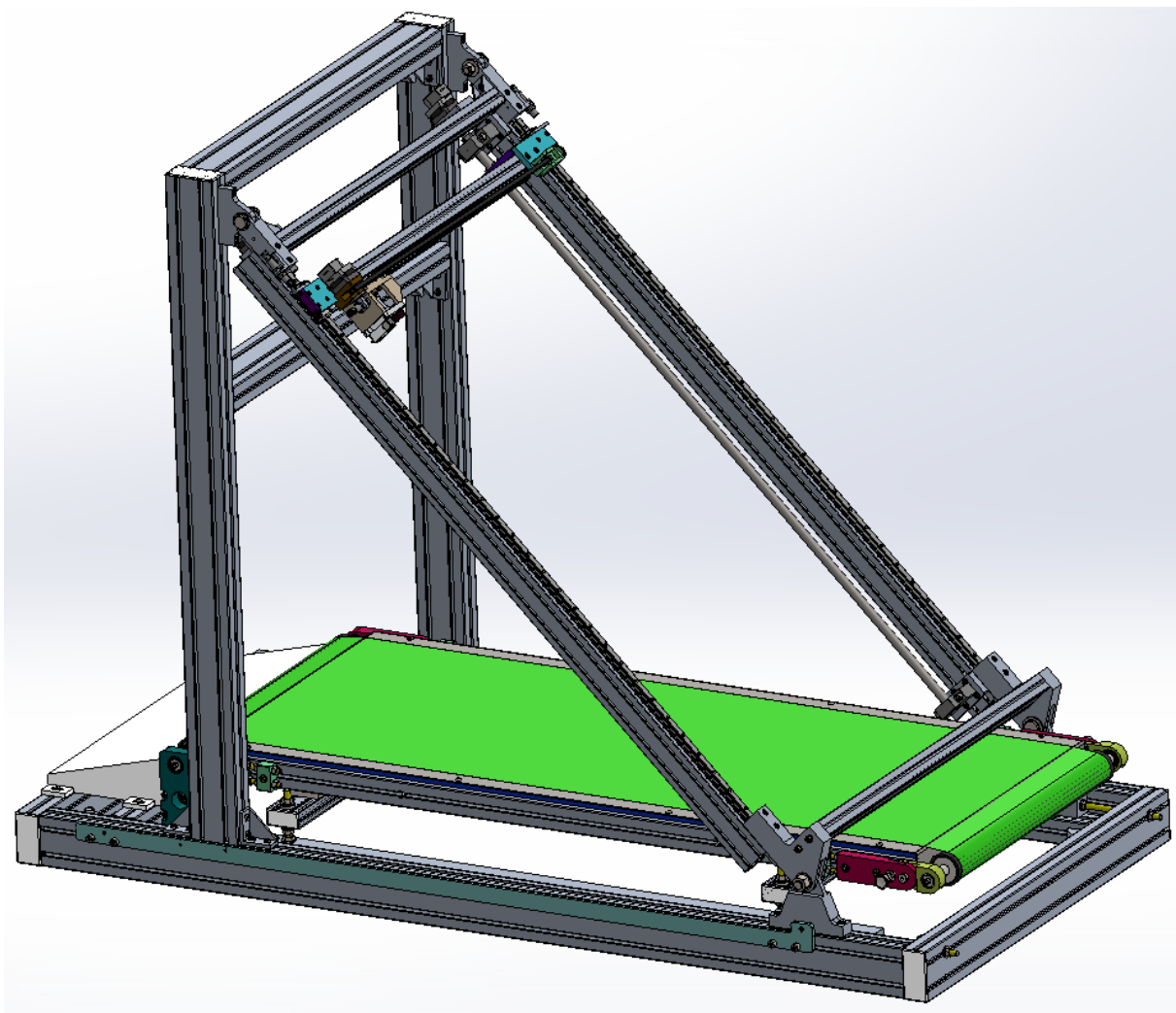
12 Závěr

Na základě zadání diplomové práce byl navržena 3D pásová tiskárna, která je schopna vytisknout komponenty o rozměrech 500 x 500 x ∞ mm a je schopna pracovat s běžnými materiály viz tab(9).

V prvních kapitolách byla řešena rešerše, která se rozděluje na technologie 3D tisku, následně byly řešeny patenty pásových 3D tiskáren a v poslední řadě byly řešeny podrobně části a komponenty FFF tiskáren.

Praktická část byla rozdělena na tři velké celky. V prvním celku je řešen pásový dopravník, kde byly vypracovány koncepce a následně byl zvolen jeden koncept, který se dále rozpracoval. Pro dopravník byla také řešena MKP analýza, která řešila výpočet průhybu profilu a jeho průběh namáhání, dále zde byly řešeny návrhové výpočty pro návrh pohonu dopravníku. V dalším celku je řešen extruder a jeho pohony, v posledním se řešila nosná rámová konstrukce, kde byly provedeny návrhové výpočty pro svislý pohon extruderu, který je složen z trapézového šroubu a krokového motoru. Pro komponenty (např. pera, čepy, ložiska atd...), které jsou kriticky namáhány, se provedly kontrolní výpočty. Všechny kontrolní výpočty a výsledky MKP analýzy jsou vyhovující.

Finální sestava koncepčního návrhu je vidět na obr(96).



obr(96): Finální sestava



Seznam symbolů

| | | |
|----------------------|--|------|
| μ | třecí koeficient mezi bubnem a pásem | [-] |
| a | šířka jedné strany vidlice | [mm] |
| b | šířka táhla | [mm] |
| C | Dynamická únosnost | [N] |
| d | průměr hřídele | [mm] |
| d | velký průměr šroubu | [mm] |
| d'_2 | minimální střední průměr závitu | [mm] |
| D_1 | malý průměr matice | [mm] |
| d_2 | střední průměr šroubu | [mm] |
| d_3 | malý průměr závitu | [mm] |
| $d_{\check{e}}$ | průměr čepu | [mm] |
| d_{rem} | roztečný průměr řemenice | [mm] |
| f | součinitel tření v lin. vedení | [-] |
| F_1 | zatížení od extruderu | [N] |
| F_{1+2} | výslednice sil T_1 a T_2 | [N] |
| F_2 | zatížení od vodorovné osy | [N] |
| F_{A1} | reakce v ložisku 1 do osy z | [N] |
| $F_{a30 \check{s}1}$ | axiální síla ve šroubu při náklonu 30° | [N] |
| $F_{a45 \check{s}1}$ | axiální síla ve šroubu při náklonu 45° | [N] |
| F_c | celkové zatížení | [N] |
| F_{ex} | požadovaná síla motoru | [N] |
| F_k | dynamické ekvivalentní zatížení | [N] |
| F_N | napínací síla řemene | [N] |
| F_r | radiální zatížení | [N] |
| F_{r1} | výsledná reakční síla v ložisku 1 | [N] |
| F_{r2} | výsledná reakční síla v ložisku 1 | [N] |
| $F_{r30 \check{s}1}$ | radiální síla ve šroubu při náklonu 30° | [N] |
| $F_{r45 \check{s}1}$ | radiální síla ve šroubu při náklonu 45° | [N] |
| $F_{\check{s}1}$ | reakční síla | [N] |



| | | |
|--------------------|---|---------------------|
| $F_{\xi 2}$ | reakční síla | [N] |
| f_t | třecí koeficient | [-] |
| $f_{\text{výplň}}$ | výplň tištěného dílu | [-] |
| $F_{\text{výs}}$ | výslednice reakčních sil | [N] |
| $F_{x(1+2)}$ | x-složka síly F_{1+2} | [N] |
| F_{x1} | reakce v ložisku 1 do osy x | [N] |
| F_{x2} | reakce v ložisku 2 do osy x | [N] |
| F_{xN} | x-ová složka napínací síly | [N] |
| $F_{y(1+2)}$ | y-složka síly F_{1+2} | [N] |
| F_{y1} | reakce v ložisku 1 do osy y | [N] |
| F_{y2} | reakce v ložisku 2 do osy y | [N] |
| F_{yN} | y-ová složka napínací síly | [N] |
| g | tíhové zrychlení | [m/s ²] |
| G_1 | tíha naklápěcího rámu | [N] |
| G_2 | tíha vodorovné osy | [N] |
| G_{pd} | působící síla v kontaktním místě doprav. s profilem | [N] |
| h | výška pera | [mm] |
| H_1 | pracovní výška | [mm] |
| h_m | výška matice | [mm] |
| i | převodový poměr převodovky | [-] |
| i_{ξ} | počet chodů ve šroubu | [-] |
| K | koeficient bezpečnosti | [-] |
| K_{min} | minimální koeficient bezpečnosti | [-] |
| L | délka nosníku | [mm] |
| l | vzdálenost od čepu k čepu | [mm] |
| L_{10} | trvanlivost | [hod] |
| l_a | činná délka pera | [mm] |
| l_v | výpočtová vzpěrná délka | [mm] |
| m_1 | hmotnost naklápěcího rámu | [kg] |
| M_{1D} | krouticí moment motoru z diagramu | [Nm] |
| m_2 | hmotnost vodorovné osy | [kg] |

| | | |
|---------------|-----------------------------------|----------------------|
| m_d | hmotnost dopravníku | [kg] |
| m_{ex} | hmotnost poháněné jednotky | [kg] |
| M_{ex} | požadovaný moment motoru | [Nm] |
| M_k | kroučící moment | [Nm] |
| M_{k-bub} | kroučící moment na bubnu | [Nm] |
| $M_{kš}$ | kroučící moment na šroubu | [Nmm] |
| m_m | hmotnost vodorovné osy | [kg] |
| m_p | hmotnost pásu | [kg] |
| m_{pd} | hmotnost pásového dopravníku | [kg] |
| $M_{sku-bub}$ | skutečný kroučící moment na bubnu | [Nm] |
| M_{sku-ex} | Skutečný moment na motoru | [Nm] |
| m_{td} | hmotnost tištěného materiálu | [kg] |
| m_z | hmotnost extruderu | [kg] |
| n | otáčky | [1/min] |
| n_{1D} | otáčky motoru z diagramu | [1/min] |
| n_{1-mot} | otáčky na motoru | [1/min] |
| n_{2-bub} | otáčky na bubnu | [1/min] |
| $n_{\dot{c}}$ | počet čepů | [-] |
| n_{ex} | požadované otáčky motoru | [1/min] |
| n_k | počet kontaktních míst | [-] |
| n_p | počet per | [-] |
| $n_{\dot{s}}$ | počet šroubů | [kg] |
| $n_{\dot{s}}$ | požadované otáčky na šroubu | [1/min] |
| n_v | počet vozíčků | [-] |
| O_c | celkový odpor | [N] |
| p | exponent trvanlivosti | [-] |
| p | tlak v kontaktní ploše | [N/mm ²] |
| P_{bub} | požadovaný výkon na bubnu | [W] |
| p_D | dovolený tlak v kontaktní ploše | [N/mm ²] |
| p_D | dovolený tlak | [N/mm ²] |
| $P_{\dot{s}}$ | stoupání závitu | [mm] |

| | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| ρ_{tah} | tlak v táhlu | [N/mm ²] |
| ρ_{vid} | tlak ve vidlici | [N/mm ²] |
| P_z | rozteč závitu | [mm] |
| r | vzdálenost ve, které se osa pohybuje | [mm] |
| r_{bub} | poloměr bubnu | [m] |
| R_e | mez kluzu materiálu | [N/mm ²] |
| T_1 | tahová síla v nosné větvi | [N] |
| T_2 | tahová síla ve vratné větvi | [N] |
| t_{ex} | čas zrychlení jednotky extruderu | [s] |
| v_D | dovolený posuv | [mm] |
| v_{os} | Maximální rychlosti os | [m/s] |
| v_p | posuv z analýzy | [mm] |
| v_s | požadovaná rychlost na šroubu | [m/s] |
| V_{td} | Max. rozměry tištěného dílu | [m ³] |
| W_{k3} | průřezový modul v krutu | [mm ³] |
| z_{ξ} | počet činných závitů | [-] |
| α | úhel opásání | [°] |
| α_t | úhel naklápěcího mechanismu | [°] |
| ρ_{fila} | hustota filamentu | [Kg/m ³] |
| σ_d | napětí v tlaku | [N/mm ²] |
| σ_{red} | redukované napětí | [N/mm ²] |
| τ_s | smykové napětí | [N/mm ²] |
| Ψ_h | součinitel výšky matice | [-] |
| Ψ_H | součinitel výšky závitů | [-] |
| ω_{bub} | požadovaný úhlová rychlost na bubnu | [rad/s] |
| $\bar{\sigma}_{\text{red}}$ | redukované napětí | [N/mm ²] |

Seznam použitých zdrojů:

Knižní

- [1.1] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-718-3164-6.
- [1.2] KUGL, Otmar, Jiří HOUKAL, Pavel TOMEK a Jiří ZÝMA. *Projekt - 3. ročník*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-010-1638-2.
- [1.3] SHIGLEY, Joseph E. *Konstruování strojních součástí*. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [1.4] ČSN 26 3102: *Pásové transportéry*. Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1971.

Webové

- [2.1] Přehled technologií 3D tisku [online]. DK Metal, 2018 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologie-3D-tisku>
- [2.2] Základy 3D tisku s Josefem Průšou [online]. Praha: Prusa Research, 2019 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou-490/?gclid=Cj0KCQiA3rKQBhCNARIsACUEW_ZqZRWNbSc-TmURHu35g6lrbWdb0q87b0Q5-8OxwBoekk9BSF1uhe8aAIEUEALw_wcB
- [2.3] FDM vs. FFF: Differences and Comparison [online]. Xometry, 2022 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/fdm-vs-fff-3d-printing/#:~:text=FFF%20employs%20the%20same%20process,stresses%20in%20the%20finished%20product.>
- [2.4] THREE DIMENSIONAL PRINTING APPARATUS [online]. Blackbelt Holding B.V., 2020 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.patentguru.com/US20200047411A1>
- [2.5] BLACKBELT [online]. Blackbelt Holding [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://blackbelt-3d.com/the-blackbelt-3d-printer/>
- [2.6] Mechanické převody [online]. Eluc [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1900>
- [2.7] Mechanické převody [online]. Apexdynacech, 2018 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.apexdynacech.cz/linearni-jednotky-8-vyhod-ozubeneho-hrebenu-pastorku/#:~:text=Ozubený%20hřeben%20a%20pastorek&text=Nespornou%20výhodou%20je%20že%20ze,směrem%20s%20výslednou%20dvojnásobnou%20sílu.>
- [2.8] Lineární jednotky [online]. Hiwin [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-technika>
- [2.9] Limit switches [online]. Dr. D-Flo [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.drdflo.com/pages/Guides/How-to-Build-a-3D-Printer/Limit-Switches.html>
- [2.10] SVOBODA, Aleš. Koncový spínač 20x jinak [online]. Drátek návody [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/technikuv-blog/o-koncovem-spinaci.html>
- [2.11] FAQ: často pokládané otázky o krokových motorech [online]. Servo-drives [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: https://www.servo-drive.cz/často_pokládání_otázky_o_krokových_motorech.php#Co%20je%20to%20krokový%20motor%20a%20jak%20funguje%20
- [2.12] Typy spojení profilů [online]. Aluteckk [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.aluteckk.cz/typy-spoju#gallery-jednoduche-spojenia>



- [2.13] Přehled dostupných materiálů [online]. Na3D [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/our-services/blog/overview-of-available-materials>
- [2.14] CNC Silicone heating pad [online]. AliExpress [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/i/2251832487205535.html?gatewayAdapt=4itemAdapt>
- [2.15] SMYKOVÉ TŘENÍ [online]. Edu techmania [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/sila/odporove-sily/smykove-treni>
- [2.16] NEMA 23 [online]. Nanotec [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://en.nanotec.com/products/2779-sca5618l4204-b2>
- [2.17] PLANETARY GEARBOXES [online]. Nanotec [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://en.nanotec.com/products/2688-gp56-t1-7-hr>
- [2.18] ROTARY ENCODER [online]. Nanotec [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://en.nanotec.com/products/242-weds5541-b06-635-mm>
- [2.19] Timing Belt [online]. Sdp-si [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://sdp-si.com/resources/beltdesignsuggestions.php>
- [2.20] GT2 Timing Belt Pulley [online]. Misumi [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110302193470/?PNSearch=GPA60GT2090-A-N12&HissuCode=GPA60GT2090-A-N12&searchFlow=suggest2products&Keyword=GPA60GT2090-A-N12&list=SuggestPreview>
- [2.21] Self-aligning ball bearing [online]. SKF [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/productinfo/productid-2202%20E-2RS1TN9?syst=>
- [2.22] Profil 30x60 [online]. Aluteckk [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://katalog.aluteckk.cz/produkt/profil-30x60-103060/>
- [2.23] 3D Printer Extruder – The Ultimate Guide [online]. All3DP, 2021 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printer-extruder-nozzle-guide/>
- [2.24] Titan Aqua - standard 1,75 mm [online]. MD [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: https://www.dold-mechatronik.de/Titan-Aqua-Standard-175mm-24V_1
- [2.25] Katalog lineárních systémů [online]. Franke [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <blob:https://www.franke-gmbh.com/1b8c5c8a-8c55-4c15-8516-0473ac7086b7>
- [2.26] Krokový motor ST4118X1404-B [online]. Nanotec [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://en.nanotec.com/products/330-st4118x1404-b>
- [2.27] Enkodér WEDS5541-B14 [online]. Nanotec [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://en.nanotec.com/products/243-weds5541-b14-5-mm>
- [2.28] Trapézové šrouby [online]. Teatechnik [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/trapezove-srouby/>
- [2.29] Krokový motor [online]. Nanotec [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://en.nanotec.com/products/346-st4118s1404-b>
- [2.30] Spirálové spojky typ WKAS [online]. Teatechnik [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/typ-wkas/>
- [2.31] Spoje a spojovací součásti [online]. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-10.pdf
- [2.32] Ložiskové jednotky [online]. Misumi [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302193130/?PNSearch=MTWZ10&HissuCode=MTWZ10&searchFlow=suggest2products&Keyword=MTWZ10>
- [2.33] Ložiskové jednotky [online]. Misumi [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110302193220/?PNSearch=MTUZ10&HissuCode=MTUZ10&searchFlow=suggest2products&Keyword=MTUZ10>

- [2.34] Indukční senzor [online]. Balluff [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://us.mhttps://www.balluff.com/cs-cz/products/BES0068#cadCaeBtnisumi-ec.com/vona2/detail/110302193220/?PNSearch=MTUZ10&HissuCode=MTUZ10&searchFlow=suggest2products&Keyword=MTUZ10>
- [2.35] Kolíky a čepy [online]. Střední škola průmyslová a umělecká, Opava, 2011 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/sablony/SPS_II/VY_32_INOVACE_C-07-04.pdf
- [2.36] DYNBYL, Vojtěch. Části mechanismů a strojů. Čvut fs-ústav konstruování a části strojů (Ú12113) [online]. Praha: cvut fs, 2014 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: přednášky čvut fs-Části a mechanismy strojů I.

Seznam zkratk

| | |
|----------|---|
| G-code | Výstupní formát sliceru. 3D objekt převedený do jednotlivých vrstev (plátků) obohacený o nastavení (teploty, rychlosti pohybu, chlazení,...). Model v tomto formátu již není vhodný k editaci. Posloupnost textových příkazů. Obecně se jedná o programovací jazyk pro řízení NC a CNC strojů |
| Resin | Tekutá tisková náplň pro SLA tiskárny (fotopolymer a pryskyřici) |
| SLA | Technologie 3D tisku. Založené na vytvrzování fotocitlivé pryskyřice. (Stereolitografie) |
| SLS | Technologie 3D tisku. Založené na laserovém spékání (sintrování) sypkého materiálu. |
| FDM/ FFF | Technologie 3D tisku. Aditivní způsob výroby modelu vrstvu po vrstvě. (Fused Deposition Modeling)/ (Fused Filament Fabrication) |
| STL file | Možný vstupní formát 3D modelu pro slicer. |
| Heatbed | Vyhřívaná tisková podložka. |
| Extruder | Celá tisková hlava. |
| Filament | Tiskový materiál používaný v FDM/FFF tiskárnách. |
| Firmware | Software nahraný v tiskárně, který se stará o její chod. |

Seznam obrázků

| | |
|--|--------|
| obr(1): Rozměry tištěného dílu..... | - 2 - |
| obr(2): Schéma SLA tiskárny [2.1] | - 4 - |
| obr(3) SLA-tisk laserem [2.2] | - 5 - |
| obr(4): SLA- tisk pomocí DLP [2.2]..... | - 5 - |
| obr(5): SLA- tisk pomocí UV LED [2.2] | - 6 - |
| obr(6): Schéma SLS / DMLS tiskárny [2.1] | - 7 - |
| obr(7): Schéma FDM / FFF tiskárny [2.1]..... | - 9 - |
| obr(8): FFF-kartézská tiskárna [2.2]..... | - 10 - |
| obr(9): FFF-Delta tiskárna [2.2] | - 10 - |
| obr(10): FFF- Polární tiskárna [2.2]..... | - 11 - |
| obr(11): 3D tisk domu [2.2] | - 11 - |
| obr(12): Struktura FFF tiskárny..... | - 12 - |
| obr(13): FFF tiskárna od Blackbelt [2.5] | - 13 - |
| obr(14): Schéma tiskárny s aretačním mechanismem [2.4]..... | - 14 - |
| obr(16): Ozubený převod [2.6]..... | - 15 - |
| obr(15): Řemenový převod [2.6] | - 15 - |
| obr(17): Ozubený hřeben [2.7]..... | - 16 - |
| obr(18): Pohybový šroub [2.7]..... | - 16 - |
| obr(19): Synchronní řemen [2.7] | - 17 - |
| obr(20): kuličková pouzdra [2.8] | - 18 - |
| obr(21): Lineární vedení [2.8]..... | - 18 - |
| obr(22): FFF tiskárna [2.2] | - 19 - |
| obr(23): Mechanický senzor [2.9]..... | - 20 - |
| obr(24):Magnetický senzor [2.9] | - 20 - |
| obr(25): Indukční senzor [2.10] | - 21 - |
| obr(26): Optický senzor [2.9]..... | - 21 - |
| obr(27): krokový motor [2.11]..... | - 22 - |
| obr(28): servomotor [2.11]..... | - 23 - |
| obr(29): Typy extruderů [2.23]..... | - 24 - |
| obr(30): pásový dopravník [1.4] | - 25 - |
| obr(31): koncepce pásového dopravníku..... | - 25 - |
| obr(32): Dopravníkový váleček..... | - 26 - |
| obr(33): Sklopné rameno..... | - 27 - |
| obr(34): úhelníkový spoj [2.12] obr(35): šroubový spoj s válečkem [2.12]..... | - 27 - |
| obr(36): rámová konstrukce dopravníku..... | - 28 - |
| obr(37): Silikonová vyhřívaná podložka [2.14] | - 29 - |
| obr(38): Rozmístění podložek na rámu | - 29 - |
| obr(39): Topná deska..... | - 29 - |
| obr(40): Kluzný plech..... | - 30 - |
| obr(41): Pás dopravníku | - 30 - |
| obr(42): Napínání pásu..... | - 31 - |
| obr(43): Schéma zatížení pásu..... | - 31 - |
| obr(44): Krokový motor dopravníku [2.16] | - 33 - |
| obr(45): charakteristiky krokového motoru pro dopravník [2.16]..... | - 33 - |
| obr(46): planetová převodovka [2.17] | - 34 - |



| | |
|--|--------|
| obr(47): Rozměry enkodéru [2.18]..... | - 34 - |
| obr(48): Řemenice | - 34 - |
| obr(49): Napínání řemene | - 35 - |
| obr(50): rozměry ložiska [2.21]..... | - 37 - |
| obr(51): Schéma působících sil v hnacím bubnu | - 38 - |
| obr(52): Schéma rozkladu napínací síly | - 39 - |
| obr(53): Schéma tahový sil pásu na hnacím bubnu | - 39 - |
| obr(54): Schéma rozkladu tahových sil | - 40 - |
| obr(55): Schéma zatěžující síly | - 41 - |
| obr(56): Schéma zatíženého profilu pro rovinu XZ..... | - 41 - |
| obr(57): Schéma zatíženého profilu pro rovinu YZ..... | - 42 - |
| obr(58): Příčný pohled dopravníku..... | - 44 - |
| obr(59): Rozměry profilu [2.22]..... | - 44 - |
| obr(60): Schéma zatížení profilu | - 45 - |
| obr(61): Zatížení profilu..... | - 45 - |
| obr(62): Reakce v otvorech | - 46 - |
| obr(63): Síťování profilu | - 46 - |
| obr(64): Průběh Misesova napětí na profilu | - 47 - |
| obr(65): Filtrovaný výsledek | - 47 - |
| obr(66): Detail špičky okolo otvoru 1 | - 48 - |
| obr(67): detail špičky okolo otvoru 2 | - 48 - |
| obr(68): Průhyb profilu..... | - 49 - |
| obr(69): Extruder Titan Aqua [2.24] | - 50 - |
| obr(70): Franke lineární vedení [2.25]..... | - 50 - |
| obr(71): Řemenice | - 51 - |
| obr(72): krokový motor [2.26]..... | - 52 - |
| obr(73): Charakteristika motoru [2.26] | - 52 - |
| obr(74): Enkodér [2.26] | - 53 - |
| obr(75): Pohon extruderu..... | - 53 - |
| obr(76): Napínání řemene | - 54 - |
| obr(77): Koncepční návrhy naklápěcí rámové konstrukce | - 54 - |
| obr(78): Rámová konstrukce | - 55 - |
| obr(79): Osa extruderu..... | - 56 - |
| obr(80): Schéma zatížení šroubů | - 56 - |
| obr(81): Rozklad sil | - 57 - |
| obr(82): Rozměry matice [2.28] | - 59 - |
| obr(83): Rozměry šroubu [2.28] | - 59 - |
| obr(84): Schéma uložení a pohonu šroubu | - 59 - |
| obr(85): Schéma rychlosti os | - 62 - |
| obr(86): Spojka | - 63 - |
| obr(87): Uložení šroubu..... | - 65 - |
| obr(88): Rozměry ložiskové jednotky [2.32]..... | - 65 - |
| obr(89): Rozměry ložiskové jednotky [2.33]..... | - 66 - |
| obr(90): Schéma působících sil..... | - 67 - |
| obr(91): Uložení čepu [2.35]..... | - 68 - |
| obr(92): Schéma dopravníku | - 70 - |
| obr(93): Šroub namáhaný na vzpěr | - 71 - |



| | |
|--|--------|
| obr(94): Diagram kritických napětí [2.36] | - 72 - |
| obr(95): Umístění senzoru [2.34] | - 74 - |
| obr(96): Finální sestava | - 75 - |

Seznam tabulek

| | |
|--|--------|
| Tab (1): Výhody a nevýhody SLA [2.1] | - 6 - |
| Tab (2): Výhody a nevýhody SLS/ DMLS technologie [2.1]..... | - 8 - |
| Tab (3): Výhody a nevýhody FDM/FFF technologie [2.1] | - 9 - |
| Tab (4): Blackbelt patenty [2.4] | - 13 - |
| Tab (5): Srovnání převodů [2.7]..... | - 17 - |
| Tab (6): Výhody a nevýhody krokového motoru [2.11] | - 22 - |
| Tab (7): Výhody a nevýhody servomotoru [2.11]..... | - 23 - |
| Tab (8): Seznam profilů..... | - 28 - |
| Tab (9) pracovní teploty [2.13] | - 28 - |
| Tab (10): Parametry podložky [2.14] | - 29 - |
| Tab (11): parametry krokového motoru dopravníku [2.16]..... | - 33 - |
| Tab (12): parametry planetové převodovky [2.17] | - 34 - |
| Tab (13): Parametry enkodéru [2.18] | - 34 - |
| Tab (14): Parametry řemenice [2.19] [2.20] | - 34 - |
| Tab (15): Naklápěcí ložisko [2.21]..... | - 37 - |
| Tab (16): Parametry profilu [2.22]..... | - 44 - |
| Tab (17) Materiálové vlastnosti profilu | - 44 - |
| Tab (18): Parametry extruderu [2.24] | - 50 - |
| Tab (19): Parametry lin. vedení [2.25]..... | - 50 - |
| Tab (20): Parametry řemenice [2.20] | - 51 - |
| Tab (21): parametry krokového motoru extruderu [2.26] | - 52 - |
| Tab (22): Parametry enkodéru [2.27] | - 53 - |
| Tab (23): Parametry trapézového matice [2.28] | - 59 - |
| Tab (24): Parametry trapézového šroubu [2.28] | - 59 - |
| Tab (25): Parametry spojky [2.30] | - 63 - |
| Tab (26): Parametry ložiskové jednotky [2.32]..... | - 65 - |
| Tab (27): Parametry ložiskové jednotky [2.33]..... | - 65 - |
| Tab (28): Parametry senzoru [2.34]..... | - 74 - |

Seznam příloh

- | | |
|-------------------|-----------------------------------|
| 1. DP2022-1 | Finální sestavný výkres |
| 2. DP2022-2 | Sestavný výkres dopravníku |
| 3. DP2022-3 | Sestavný výkres vodorovné osy |
| 4. DP2022-4 | Sestavný výkres rámové konstrukce |
| 5. DP2022-1-002 | Podsestava kyvného ramena |
| 6. DP2022-1-009 | Podsestava hnaného bubnu |
| 7. DP2022-1-011 | Podsestava hnacího bubnu |
| 8. DP2022-1-017 | Podsestava extruderu |
| 9. DP2022-1-026 | Podsestava napínacího mechanismu |
| 10. DP2022-1.STEP | 3D model ve formátu step |
| 11. Síla x2.xlsx | výpočet síly x2 v programu excel |
| 12. Kloub | kontrolní výpočet kloubu |