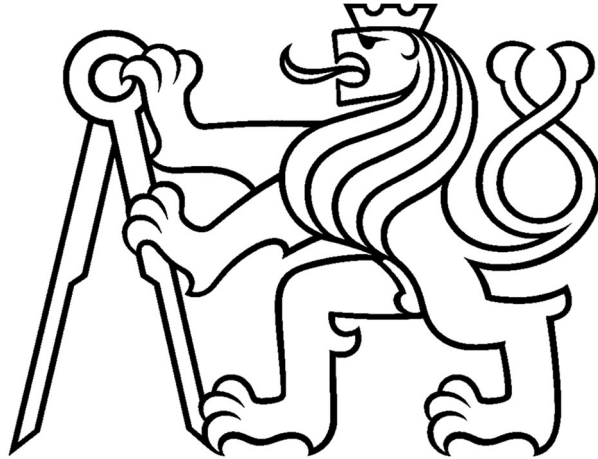


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Návrh zařízení k řízenému strojnímu odmotávání pásky sloužící ke
konsolidaci navinutého výrobku

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Novák** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **475047**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh zařízení k řízenému strojnímu odmotávání pásky sloužící ke konsolidaci navinutého výrobku

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a device for controlled machine unwinding of a tape used to consolidate a wound product

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte konstrukční zařízení ke strojnímu odmotávání pásky umožňující odvíjení pásky různé šíře a ze špulek různých průměrů. Hlavní požadavky na celou konstrukci jsou: implementace odměřování tahu v pásce a realizace brzdného účinku tak, aby bylo možné následně tah v pásce řídit automaticky pomocí zpětnovazebního řízení (návrh zpětnovazebního řízení není součástí této práce). Návrhová hmotnost zařízení by neměla vzhledem k zatížitelnosti robota Fanuc přesáhnout 10kg. Maximální zatížitelnost robota Fanuc M-20iA/35M použitého ve výrobě je 30-35kg (v oblasti manipulace s tímto přípravkem) a plánované rozdělení je 20kg využit na tah od pásky a 10kg na vlastní hmotnost přípravku. Návrh zařízení by měl být dimenzován na maximální rychlost odvíjení 0,7 m/s při tahu v pásce 260N. Rozsah textové části: 40-60 stran; Rozsah grafické části: výkres sestavy včetně kusovníku, vybrané výrobní výkresy;

Seznam doporučené literatury:

BAREŠ, Richard. Kompozitní materiály. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988. ISBN 04-734-88.; MACEK, Karel a Petr ZUNA. Nauka o materiálu. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1507-6.; Ruční kladení. Spolek pro technickou podporu a propagaci polymerních kompozitů [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <https://polymer-composites.cz/hand-lay-up/>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Krannich, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS

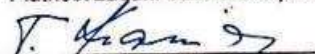
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Ing. Zdeněk Pošvář, Ph.D., Compo Tech PLUS, spol. s r.o.

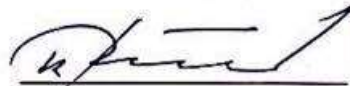
Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2020**


Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. Matěj Sulítko, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 16.7.2020

.....

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Tomáši Krannichovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Také chci poděkovat Ing. Pavlu Vrbovi, Ph.D., který vedl mou práci ze začátku. Rád bych také poděkoval konzultantovi Ing. Zdeňku Pošvářovi, Ph.D. z firmy Compo Tech PLUS s.r.o. za jeho cenné rady a připomínky.

Anotace

| | |
|----------------------------|--|
| Autor: | Martin Novák |
| Název BP: | Návrh zařízení k řízenému strojnímu odmotávání pásky sloužící ke konsolidaci navinutého výrobku |
| Rozsah práce: | 69 str., 34 obr., 1 tab. |
| Akademický rok vyhotovení: | 2020 |
| Škola: | ČVUT v Praze, Fakulta strojní |
| Ústav: | Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení |
| Vedoucí bakalářské práce: | Ing. Tomáš Krannich, Ph. D. |
| Konzultant: | Ing. Zdeněk Pošvář, Ph. D. |
| Zadavatel: | Compo Tech PLUS, spol. s r. o. |
| Využití: | Zvýšení stupně automatizace odvíjení konsolidační pásky pro výrobu kompozitních materiálů. |
| Klíčová slova: | kompozitní materiál, výroba kompozitů, konsolidace, konsolidační páska, odvíjení pásky |
| Anotace: | Bakalářská práce se zabývá návrhem zařízení pro řízené odmotávání konsolidační pásky pro firmu Compo Tech PLUS, spol. s r. o. V rámci práce jsou popsány různé metody výroby kompozitních materiálů. Jsou srovnány různé způsoby upínání cívky s páskou, metody odměřování síly v pásce a brzdové systémy. |

Annotation

| | |
|---------------------------------|---|
| Author: | Martin Novák |
| Title of bachelor dissertation: | Design of a device for controlled machine unwinding of a tape used to consolidate a wound product |
| Extent: | 69 p., 34 fig., 1 tab. |
| Academic year: | 2020 |
| Univerzity: | CTU in Prag, Faculty of Mechanical Engineering |
| Department: | Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment |
| Supervisor: | Ing. Tomáš Krannich, Ph. D. |
| Consultant: | Ing. Zdeněk Pošvář, Ph. D. |
| Submitter of the Theme: | Compo Tech PLUS, spol. s r. o. |
| Application: | Increasing the degree of automation of a consolidation tape unwinding for a composite processing. |
| Keywords: | Composite material, automation, composite processing, consolidation, consolidation tape, tape unwinding |
| Annotation: | Bachelor's thesis deals with designing of a device for controlled unwinding of a consolidation tape for company Compo Tech PLUS, spol. s r. o. In thesis are described various methods of composite processing. In paper are also compared methods of bobbin clamping, methods of tape tension measurements and breaking systems. |

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 13 |
| 2 | Cíl práce..... | 14 |
| 3 | Řešení firmy CompoTech..... | 15 |
| 4 | Kompozity | 16 |
| 4.1 | Výroba kompozitů | 16 |
| 4.1.1 | Ruční kladení | 17 |
| 4.1.2 | Vysokotlaké vstřikování..... | 17 |
| 4.1.3 | Pultruze | 17 |
| 4.1.4 | Navíjení | 18 |
| 4.1.5 | ATL, AFP..... | 18 |
| 4.2 | Konsolidace | 19 |
| 5 | Řízení tahu v pásce | 20 |
| 5.1 | Měření síly v pásce | 20 |
| 5.1.1 | Měření pomocí takzvané tanečnice | 20 |
| 5.1.2 | Měření pomocí snímačů síly | 22 |
| 5.1.3 | Shrnutí metod pro měření síly v pásce..... | 23 |
| 5.2 | Upínání cívky | 24 |
| 5.2.1 | Upínání pomocí komolých kuželů | 24 |
| 5.2.2 | Expanzní hřídele..... | 25 |
| 5.2.3 | Rozpínací čepy | 26 |
| 5.2.4 | Paralelogram | 27 |
| 5.2.5 | Shrnutí metod pro upínání cívky s páskou..... | 28 |



| | | |
|-------|---|----|
| 5.3 | Brzdové systémy | 29 |
| 5.3.1 | Bubnové brzdy | 29 |
| 5.3.2 | Kotoučové brzdy | 30 |
| 5.3.3 | Pásové brzdy | 31 |
| 5.3.4 | Tekutinové brzdy | 31 |
| 5.3.5 | Elektrické brzdy | 32 |
| 5.3.6 | Shrnutí brzdových systémů | 32 |
| 6 | Vlastní řešení | 33 |
| 6.1 | Vstupní parametry | 33 |
| 6.2 | Měřicí systém | 35 |
| 6.2.1 | Návrh kinematiky měřicího mechanismu | 35 |
| 6.2.2 | Snímač síly | 36 |
| 6.2.3 | Páka | 37 |
| 6.2.4 | Kontrola hřídele pro uložení páky | 37 |
| 6.2.5 | Kontrola hřídele měřicího válečku | 37 |
| 6.2.6 | Kontrola hřídele naváděcího válečku | 38 |
| 6.2.7 | Válečky měřicího a naváděcího hřídele | 38 |
| 6.3 | Upínací mechanismus cívky | 39 |
| 6.4 | Brzdový systém | 40 |
| 6.4.1 | Rozpěrný váleček | 40 |
| 6.4.2 | Brzdové čelisti | 41 |
| 6.4.3 | Vratné pružiny | 42 |
| 6.4.4 | Brzdový buben | 42 |



| | | |
|-------|--|----|
| 6.5 | Hlavní hřídel | 43 |
| 6.5.1 | Části hřídele | 43 |
| 6.5.2 | Kontrola hřídele | 45 |
| 6.6 | Ložiska hřídele | 49 |
| 6.6.1 | Dynamická a statická kontrola ložisek..... | 49 |
| 6.7 | Rám..... | 50 |
| 6.7.1 | Návrhy řešení konstrukce rámu | 50 |
| 6.7.2 | Volba nejlepšího návrhu | 53 |
| 6.7.3 | Navržená konstrukce rámu..... | 54 |
| 6.7.4 | Materiál rámu | 55 |
| 7 | Odvíjecí zařízení | 56 |
| 8 | Závěr | 59 |
| | Seznam použité literatury | 60 |
| | Seznam obrázků..... | 64 |
| | Seznam použitého softwaru..... | 66 |
| | Seznam tabulek..... | 67 |
| | Seznam příloh..... | 68 |



Seznam použitých zkratk a veličin

| Označení | Jednotka | Název veličiny/popis |
|----------|------------------|-----------------------------|
| B | [mm] | Šířka ložiska |
| C | [N] | Základní dynamická únosnost |
| C_0 | [N] | Základní statická únosnost |
| d | [mm] | Vnitřní průměr ložiska |
| D | [mm] | Vnější průměr ložiska |
| d_{dr} | [mm] | Vnitřní průměr drážkování |
| D_{dr} | [mm] | Vnější průměr drážkování |
| d_h | [mm] | Průměr hřídele |
| d_v | [mm] | Průměr vrtání |
| f | [mm] | Velikost sražení hrany |
| F | [N] | Síla |
| F_V | [N] | Výsledná síla |
| h | [mm] | Šířka cívky |
| h_v | [mm] | Účinná výška boku |
| li | [mm] | Rozměr i |
| L_{10} | [10^6 otáček] | Základní trvanlivost |
| M | [$N \cdot mm$] | Moment |
| M_b | [$N \cdot mm$] | Brzdný moment |
| M_k | [$N \cdot mm$] | Kroutící moment |
| M_o | [$N \cdot mm$] | Ohybový moment |
| r | [mm] | Rameno síly |



| | | |
|----------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| R_i | [N] | Reakce v podpoře i |
| R_e | [MPa] | Mez kluzu |
| R_m | [MPa] | Mez pevnosti |
| $R_{p0,2}$ | [MPa] | Smluvní mez kluzu |
| s' | [mm ² · mm ⁻¹] | Účinná styková plocha |
| s_0 | [1] | Součinitel statické bezpečnosti |
| W_o | [mm ³] | Průřezový modul v ohybu |
| W_k | [mm ³] | Průřezový modul v krutu |
| σ_{Co} | [MPa] | Mez únavy při ohybu za rotace |
| σ_{oi} | [MPa] | Ohybové napětí v průřezu i |
| σ_{red} | [MPa] | Redukované napětí |
| τ_k | [MPa] | Smykové napětí v krutu |
| ψ | [1] | Opravný součinitel |
| ω | [rad · s ⁻¹] | úhlová rychlost |

1 Úvod

Kompozitní materiály ve dvacátém století zažily velký rozmach. Jejich ceněnými vlastnostmi je zejména vysoká tuhost a pevnost při nízké hmotnosti. Proto se kompozitní materiály často používají v letectví a kosmonautice, ale i dalších oblastech, kde nahrazují tradiční kovové materiály.

Pro výrobu kompozitních materiálů existuje mnoho výrobních technologií, jejichž složitost závisí na potřebné kvalitě vyrobeného dílu. U dílů s vyššími požadavky na mechanické vlastnosti je nutné zajistit co nejkvalitnější výrobu a její opakovatelnost. Aby vyrobené díly měly srovnatelnou nebo v nejlepším případě identickou kvalitu, jsou používány další technologické postupy. K těmto postupům patří i konsolidace.

2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout zařízení, které bude schopno obalit navíjecí trn konsolidační páskou s potřebným tahem. Tohoto lze dosáhnout úpravou síly v pásce pomocí brzdy, která bude řízena na základě naměřené síly v pásce. Toto zařízení bude upnuto k robotu Fanuc M-20iA/35M, který je součástí navíjecího pracoviště firmy Compo Tech PLUS s.r.o. Díky použití tohoto odvíjecího zařízení se nebude muset manipulovat s navíjecím trnem na pracoviště pro převíjení konsolidační páskou, ale převine se přímo na pracovišti pro navíjení uhlíkového vlákna. Dále díky možnosti elektronického řízení tahu v pásce bude moci řídit tento technologický proces i méně zkušený pracovník. V současnosti ve firmě Compo Tech PLUS s.r.o. musí být při převíjení konsolidační páskou pracovník, který dokáže nastavit správný tah v pásce díky svým zkušenostem.

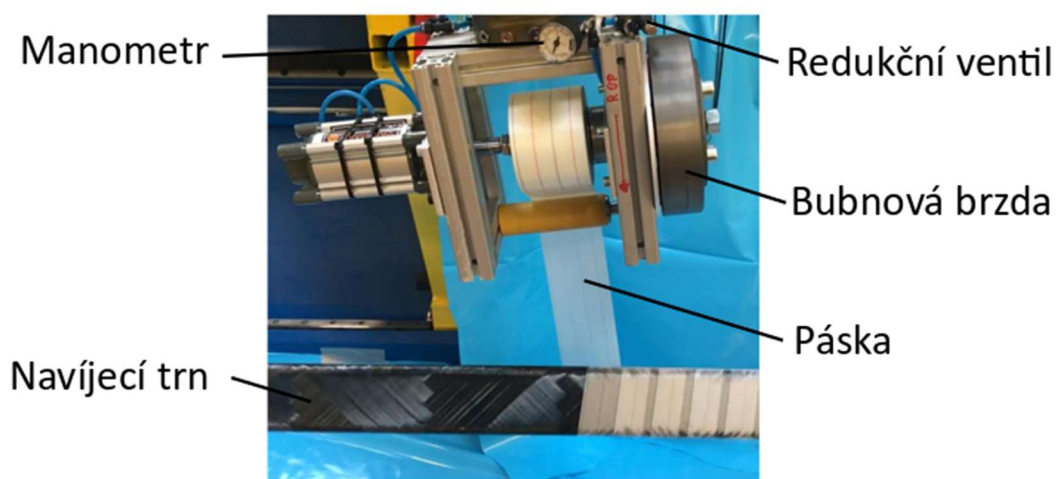
Zařízení by mělo být také modulární, protože v procesu navíjení se využívá více pásek. Například se navíjí mikrotenová fólie přímo na trn. Přes ni se navine separační páska, aby se trn oddělil od kompozitu a po konsolidaci šel vyjmout. Dále perforační páska, která odděluje matici od lisu. Tyto materiály se odvíjejí z cívek rozdílných průměrů, proto by navrhované zařízení mělo být schopno pokrýt tyto upínací rozměry. Separační páska je po jedné straně opatřena vrstvou lepidla. Konstrukci zařízení je tedy nutno přizpůsobit, aby tato vrstva nebyla při odvíjení poškozena.

Odvíjecí zařízení zajistí vyšší stupeň automatizace a sníží čas potřebný k výrobě kompozitního dílu. Tím se zvýší efektivita výroby a sníží náklady na jeho výrobu. Také se sníží potřebná kvalifikace pracovníků, kteří řídí proces konsolidace. Při použití navrhovaného zařízení odpadne i nutnost manipulace s navíjecím trnem z navíjecího pracoviště na pracoviště pro převíjení páskou.

3 Řešení firmy CompoTech

Firma CompoTech vyrábí díly z kompozitního materiálu metodou navíjení. Takto vyrobený materiál konsolidují. V současné době disponují pouze zařízením k odvíjení úzké konsolidační pásky. Tah v pásce je regulován pomocí pásové brzdy. Nevýhodou je nutnost nastavení tahu v pásce zkušeným pracovníkem, který dokáže odhadnout správné napnutí pásky na základě jeho znalostí. Další nevýhodou je, že toto zařízení slouží k odvíjení pouze dvou typů pásek, které se při odvíjení používají. Zbylé pásky odvíjejí zkušení pracovníci z ruky.

Firma CompoTech už začala s vývojem nového zařízení pro odvíjení pásek. Vytvořili zatím demonstrátor, který je zobrazen na Obr. 1.



Obr. 1 – Demonstrátor zdroj: CompoTech PLUS s.r.o.

- Upínání pásky je realizováno bezhřídelovým upínáním pomocí komolých kuželů. Tah pásky a tlak kuželů způsobí, že se cívka pásky při provozu zbortí.
- Brzdovým systémem tohoto zařízení je bubnová brzda, která je regulována pneumaticky. Maximálního brzdného momentu je však dosaženo při tlaku 2,5 bar z dostupného tlaku 6 bar. Kvůli tomu je obtížnější nastavit tah pásek s nižším požadovaným tahem.
- Zařízení neměří tah pásky. Tudíž tlak v brzdě není možné řídit pomocí zpětné vazby.

4 Kompozity

„Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více fází, z nichž alespoň jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoliv složkou samostatně ani prostou sumací.“ [1]

Nejčastěji se lze setkat s kompozity tvořenými dvěma složkami. Nespojité složky se nazývají výztuží. Ta zlepšuje tuhost a pevnost. Složku, která vše drží pohromadě, zajišťuje houževnatost výsledného materiálu, přenáší napětí na výztuž a chrání ji před okolními vlivy, nazýváme matricí.

Kompozity se dělí podle několika kritérií, jedním z nich je materiál matrice. Ta může být polymerní, kovová, skleněná, sklokeramická, uhlíková nebo keramická. Dalším kritériem rozdělení kompozitů je geometrie výztuže. Dělí se na vláknové a částicové kompozity. Vláknové kompozity lze dále rozdělit na kompozity s kontinuálními vlákny a kompozity s krátkými vlákny. Částicové kompozity se dělí na kompozity se sférickými částicemi a kompozity s destičkovými částicemi. Vlákna se nejčastěji vyrábí skleněná, polymerní, kovová, uhlíková a keramická. Materiál vláken má obvykle vyšší modul pružnosti v tahu než matrice, aby docházelo k přenosu namáhání na vlákna. [2]

Vlastnosti kompozitů výrazně ovlivňuje nejen použitá výztuž a matrice, ale i způsob výroby. Pokud známe směry, ve kterých budou orientovány síly, kterými bude díl namáhán, můžeme vlákna v tomto směru položit, a tím zlepšíme vlastnosti dílu. Aby se vlákna jednodušeji orientovala, lze je zakoupit třeba ve formě rohoží, tkaniny nebo jako roving, což je vlákno navinuté na cívce.

4.1 Výroba kompozitů

Pro výrobu kompozitů existuje velké množství různých výrobních procesů. Ty se liší pracností, rychlostí, kvalitou nebo cenou vyrobeného dílu. V této kapitole je sepsán výběr z metod používaných pro výrobu kompozitních materiálů.

4.1.1 Ruční kladení

Ruční kladení patří mezi nejstarší metody výroby kompozitních materiálů. Výztuž ve formě tkaniny nebo rohože je do formy pokládána ručně a následně je prosycena matricí. Kompozit se následně nechá vytvrdit volně ve formě buď při okolní teplotě, nebo při zvýšené teplotě. Tento postup je velice levný a univerzální. Jde pomocí něj vyrobit nepřeborné množství produktů. Povrch je však definován formou pouze na jedné straně. Touto metodou se také dosahuje nižšího objemového podílu vlákna. Tento postup se hodí spíše pro malovýrobu produktů velkého rozsahu velikostí. Ručním kladením se vyrábí trupy lodí, díly do automobilového průmyslu nebo listy turbín větrných elektráren. [3] [4]

Ruční kladení lze zefektivnit používáním prepregů, což jsou polotovary výztuže, které se dodávají předimpregnované matricí. Prepregy obsahují více matrice, než je ve výsledném kompozitu potřeba, proto se použitím tlaku přebytečná matrice vytlačí. Zároveň se pomocí tlaku vytlačují vzduchové bubliny, které při vrstvení zůstaly mezi vrstvami. Po tomto spojení vrstev se díl nechá vytvrdit. Tento proces spojování vrstev se nazývá konsolidace a bude mu věnován celý odstavec dále v práci. [4]

4.1.2 Vysokotlaké vstřikování

Možností výroby je i vysokotlaké vstřikování (RTM – resin transfer moulding), při kterém se suchá tkanina vloží do vícedílné formy, která se uzavře, a kam se následně pod vysokým tlakem vžene matrice. Oproti ručnímu kladení je možné dosáhnout stejného výsledku u každého dílu. [5]

Modifikací této metody je VARTM (vacuum assisted resin transfer moulding), kde není potřeba k vstřikování tak veliký tlak, protože z formy je odsáván vzduch, a tím je podporováno proudění matrice ve formě. Z důvodu absence vysokých tlaků není potřeba používat robustních forem. [6]

4.1.3 Pultruze

Výrobní metodou vhodnou pro výrobu otevřených i uzavřených profilů je pultruze, což je kontinuální proces výroby kompozitních dílů. Výztuž se po smísení s matricí dostane do formy, která udá požadovaný tvar, a následně se kompozit vytvrdí. Na konci výrobního

zařízení se díly dělí na požadovanou délku. Pultruze je velmi rychlá a efektivní. Hodí se pro velké série výrobků. Pro malé série se výrobní proces nevyplatí kvůli vysokým pořizovacím nákladům na výrobní zařízení. [4]

4.1.4 Navíjení

Navíjení je metoda výroby kompozitních dílů. Pomocí navíjecího robotu, je na navíjecí trn navinuta výztuž ve formě vlákna prosyceného matricí. Robot je připevněn na lože přes lineární vedení a jeho poloha je numericky řízena. To umožňuje navíjet vlákno pod určitými úhly. Díly vytvořené navíjením vlákna pod úhlem 0° (k ose trnu) jsou vhodné pro namáhání tahem nebo ohybem. Pokud budou vlákna navinuta pod úhlem 45° , bude díl vhodný pro torzní namáhání. Při úhlech blízkých k 90° budou díly odolné proti vnitřnímu přetlaku. Kombinací vrstev s různými úhly navíjení je možné vytvořit díl uzpůsobený konkrétnímu namáhání. Tato metoda se využívá zejména pro výrobu trubek, nosníků, hřídelů nebo jiných rotačních dílů. [4] Touto metodou výroby kompozitů se zabývá firma CompoTech PLUS s. r. o., která je zadavatelem této bakalářské práce. V této firmě využívají jako výztuž uhlíkové vlákno s vysokým modulem pružnosti a jako matrici epoxidovou pryskyřici.

4.1.5 ATL, AFP

Aby se při kladení prepregů zvýšila přesnost a rychlost pokládání, byly vyvinuty technologie ATL/AFP (Automated Tape Laying/ Automated Fibre Placement). Jedná se o metody automatického kladení prepregů řízeného pomocí počítače. Kladecká hlava zajišťuje přítlak pokládané vrstvy pomocí normálové síly, čímž se spojuje nová vrstva s přechozí a vytlačují se vzduchové bubliny. Hlavice také zahřívá pásku prepregu, aby matrice byla měkčí a přilnavější, což umožňuje výrobu geometricky složitějších tvarů. Tato výrobní technologie je zobrazena na Obr. 2 při výrobě kuželové plochy firmou LIBRE. [7]



Obr. 2 - Automated Tape Laying [8]

4.2 Konsolidace

Při výrobě pokročilých kompozitních materiálů, u kterých musí být zaručené jisté pevnostní vlastnosti, je důležitým krokem konsolidace, která předchází vytvrzování. Při kladení vrstev na sebe vznikají v kompozitu malé vzduchové bubliny, které nepříznivě ovlivňují výsledné vlastnosti kompozitu. Těchto bublin se zbavuje stlačením vrstev k sobě pod vysokým tlakem. Tlak způsobí, že se výztuž stáhne blíže k sobě a bubliny se dostanou k povrchu dílu. S bublinami se vytlačí i přebytečná matrice, což je také cílem konsolidace, protože se tím zvýší objemový podíl vláken. Vyšší objemový podíl vláken umožňuje lepší přenos napětí mezi vlákny pomocí matrice. [7], [9]

Poté se konsolidovaný kompozit ještě musí vytvrdit za zvýšené teploty. Tím se v reaktoplastické matrici vytvoří nové vazby, které způsobí její pevnou formu.

5 Řízení tahu v pásce

Pro schopnost zařízení řídit tah v pásce je zapotřebí mít dva akční prvky, jejichž rozdíl rychlostí je možné regulovat. Jedním z nich je navíjecí trn, jehož otáčení je vyvoláno motorem, a druhým je cívka s páskou, připevněná na hřídel, která bude brzděna brzdou. Dále je nutné zajistit měření síly v pásce. Na základě naměřených hodnot lze regulovat akční prvky.

Danou problematiku lze rozdělit na dílčí úkoly.

- Měření síly v pásce
- Upínání cívky s páskou
- Regulace otáček brzděním

Cílem této kapitoly je popsat postupy a možnosti používané k realizaci těchto tří bodů.

5.1 Měření síly v pásce

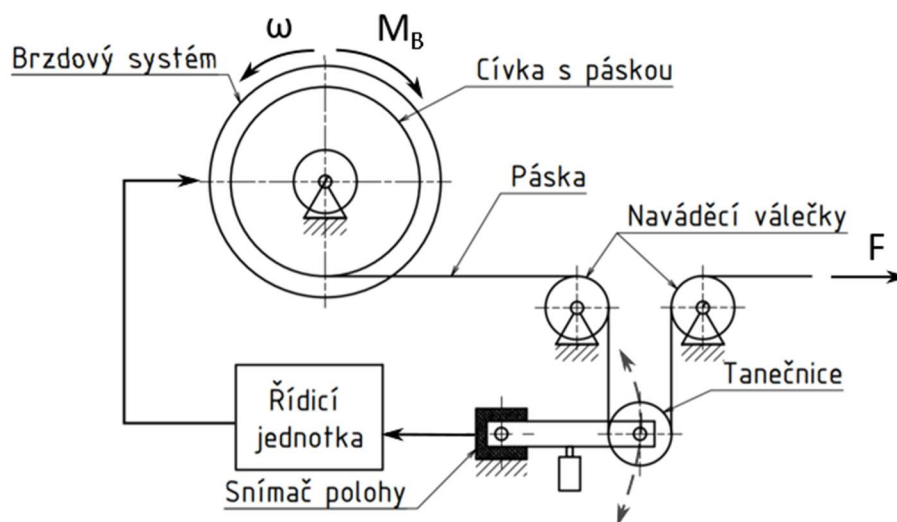
Při navíjení příliš velkou silou se konsolidační páska může zkroutit, nebo může proříznout vyráběný materiál. V opačném případě, když nebude tah pásky dostatečný, nedojde k dostatečné konsolidaci vláken a mohou mezi nimi zůstat vzduchové bubliny, které ovlivní výsledné vlastnosti dílu. Proto je nutné navíjet pásku s ideálním tahem. Aby se dal regulovat, je zapotřebí znát okamžitý tah v pásce. Ten lze zjistit pomocí měřících metod běžně používaných v papírenském průmyslu.

5.1.1 Měření pomocí takzvané tanečnice

Prvním způsobem zjištění síly v pásce je měření pomocí takzvané tanečnice. Tanečnice je válec s jedním stupněm volnosti, který přímo předepíná pásku na požadovaný tah.

Osa tanečnice se může pohybovat lineárně nebo po kružnici. U tanečnic s lineárním pohybem se objevuje problém, že se oba konce tanečnice nepohybují shodně. Proto se častěji používají tanečnice pohybující se po kružnici. Tento druh tanečnic ještě můžeme rozdělit na tanečnice uchycené vodorovně nebo svisle. Svisle uchycené tanečnice se pohybují v okolí stabilní polohy, což znamená, že síly způsobené hmotností často mění

svůj směr. Nejčastěji se tedy používá tanečnice pohybující se po kružnici a uchycená vodorovně. Její schéma je na Obr. 3.



Obr. 3 - Schéma měření pomocí tanečnice

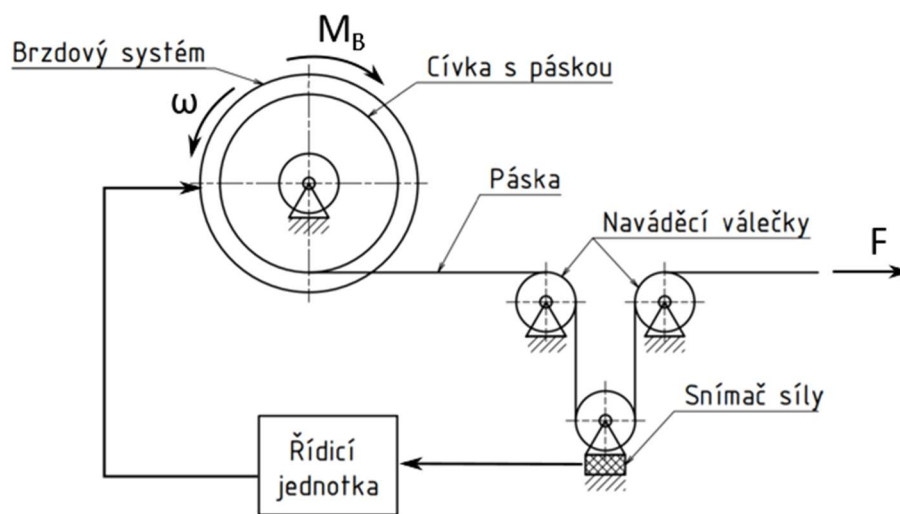
Pro zajištění požadovaného tahu v pásce je nutné na tanečnici působit vnější silou. Tuto sílu lze vyvodit například pomocí závaží, pružin, pneumatických válců a jiných způsobů. K vyvolání předepínací síly se nejčastěji používá pneumatického válce. Je to díky možnosti měnit předepínací sílu a také proto, že síla se nemění s polohou tanečnice.

Zpětnou vazbou k řízení rychlosti odvíjení slouží poloha tanečnice, která je měřena absolutním snímačem polohy. Na základě naměřených hodnot se změní rychlost odvíjení, aby se tanečnice dostala do své nulové pozice. Regulace musí být dostatečně rychlá, aby se tanečnice nedostala mimo meze, ve kterých se má pohybovat, a nedošlo k jejímu kontaktu s jinou částí stroje. To by nepříznivě ovlivnilo tah v pásce a mohlo by dojít i k poškození zařízení.

K zajištění co nejlepší funkčnosti měřícího mechanismu je zapotřebí snížit veškeré pasivní odpory ovlivňující pohyb tanečnice. Tření v ložiscích i tření, které je mezi těsněním pneumatického válce a pístnicí, je většinou zanedbatelné. Nepříznivě ovlivňuje měřící mechanismus hmotnost tanečnice. S vyšší hmotností roste moment setrvačnosti, který způsobuje pomalejší zrychlení tanečnice. [10], [11]

5.1.2 Měření pomocí snímačů síly

Druhým způsobem měření tahu v pásce je měření pomocí snímačů síly. Ty jsou připevněné mezi rám a měřicí váleček. Páska se odvíjí z cívky a následně jde na měřicí váleček. Pro zajištění stále stejných úhlů přivedení a odvedení pásky je použito vodících válečků. Páska pak pokračuje dále na místo, kde se navíjí konstantní rychlostí. Schéma tohoto měření je na Obr. 4. [11], [10]



Obr. 4 - Schéma měření pomocí snímače síly

Základem všech metod měření síly je použití síly k deformaci určitého členu. Z Hookova zákona je známo, že tato deformace je přímo úměrná napětí, které jej vyvolalo. Při přesně definovaných geometrických i materiálových vlastnostech deformovaného členu lze určit sílu, kterou byla tato deformace způsobena. Nejčastěji se tato deformace měří pomocí tenzometrů, což jsou elektronické součástky, které při deformaci mění svůj elektrický odpor. Tenzometry se pro zvýšení přesnosti měření zapojují do můstku. Zařízení, které má tenzometry předem zapojené, se nazývá snímač síly. Výstupem měření snímačů je elektrický signál, který je přímo úměrný tahu v pásce. [12]

Síla v pásce funguje jako zpětná vazba pro regulátor, který řídí rychlost odvíjení. Pokud je síla vysoká, rychlost odvíjení se zvýší. Regulátor se snaží, aby odchylka mezi požadovaným tahem a reálným tahem v pásce byla nulová.

5.1.3 Shrnutí metod pro měření síly v pásce

Měření pomocí snímačů síly umožňuje přímé zjištění tahu v pásce. Ale při změně tahu v pásce musí reagovat skrze akční zásah do rychlosti odvíjení. Tanečnice reaguje na změnu tahu přímo svým pohybem. Změna rychlosti odvíjení je až reakcí na změnu polohy tanečnice. Proto pokles tahu při použití tanečnice není tak velký, jako při použití snímačů síly. Tanečnice také dokáže dobře vykompenzovat krátké změny tahu v pásce způsobené třeba proklouznutím pásky na cívce nebo nekruhovým tvarem cívky.

Nevýhodou měření pomocí tanečnice je tanečnice samotná, pro kterou je nutné vymezit větší prostor. Jedná se o pohyblivou část, tudíž je třeba věnovat jí častější pozornost kvůli údržbě. Snímače síly stačí jen po určité době znovu zkalibrovat, aby naměřené hodnoty byly přesnější. [10]

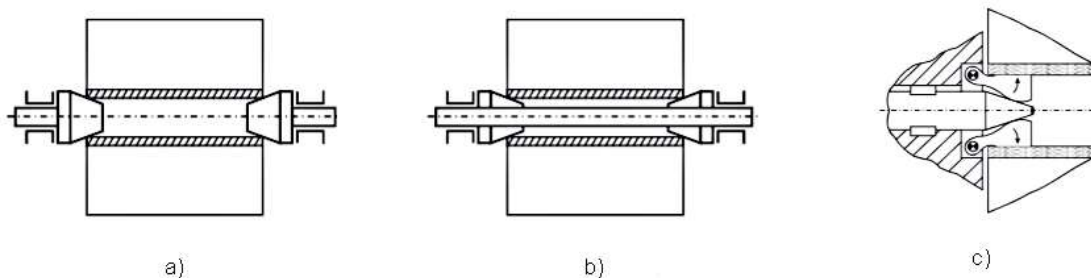
Metoda měření síly v pásce pomocí snímače síly byla vyhodnocena jako výhodnější. Tato metoda je oproti metodě měření pomocí tanečnice lepší díky nižším nárokům na prostor. Další výhodou je rychlá změna požadovaného tahu při odvíjení jiné technologické pásky.

5.2 Upínání cívky

Pro správné a přesné řízení tahu v pásce je důležité, aby měla cívka odezvu na akční zásah regulátoru. Pokud regulátor řídí brzdu, je nutné přenést krouticí moment z brzdy na cívku. Toho lze dosáhnout pomocí upnutí. Upnutí musí zajistit cívku radiálně a axiálně. Radiální zajištění zabraňuje relativnímu pohybu vůči hřídeli, jehož otáčení lze regulovat pomocí brzdy. Axiální zajištění definuje pozici cívky ve stroji. Znat polohu cívky je důležité, aby bylo možné zajistit, správnou polohu pásy při dalších technologických operacích. Cílem upnutí je také správné vycentrování cívky, aby při odvíjení nedocházelo ke vzniku kmitání vlivem nevyvážené rotující hmoty.

5.2.1 Upínání pomocí komolých kuželů

Jedním ze způsobů upínání cívky je upínání pomocí komolých kuželů. Toto upínání patří mezi bezhřídelové upínání. To znamená, že cívka je podepřena pouze na stranách. Schéma tohoto způsobu je zobrazeno na Obr. 5 a). Cívka se vloží mezi komolé kužely a sevře se potřebnou silou. Tím se cívka zajistí axiálně. Aby byla cívka zajištěna i radiálně, jsou na pláštích komolých kuželů vyrobené drážky, které přenášejí krouticí moment na cívku.



Obr. 5 - Bezhřídelové upínání [13]

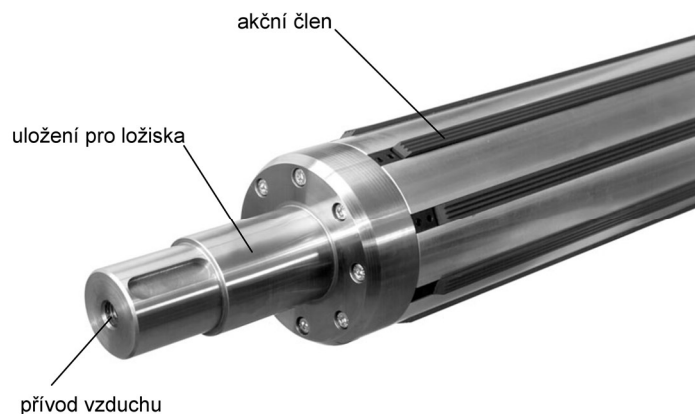
Výhodou této metody je rychlost výměny prázdné cívky za plnou. Další výhodou je schopnost upnutí cívek s větším rozsahem průměrů. Komolé kužely však musí být uloženy v dostatečně tuhé konstrukci, aby vlastní tíha odvíjeného materiálu a vnější síly nezpůsobily vyosení cívky, což by vytvářelo dynamické namáhání.

K udržení jednotné osy je možné kužely spojit hřídelem, který bude procházet osou kuželů i cívky. Manipulace s cívkou na hřídeli je ale složitější. (Obr. 5 b))

Kužely se také dají nahradit upínacími hlavami. Jedna je zobrazena na Obr. 5 c). K radiálnímu zajištění zde slouží rozpínací svěrky, které jsou přitlačeny na vnitřní průměr cívky. [13]

5.2.2 Expanzní hřídele

Expanzní hřídel patří mezi další možnosti upnutí cívky. Hřídel je po obvodu pokryt akčními prvky, které se vysunou v případě, že je potřeba přenášet kroutící moment. Tyto prvky je možné vysouvat několika možnými způsoby. Podle toho se dělí na mechanické, pneumatické a pneumaticko-mechanické. Dovolovaný rozsah průměru cívek je dán průměrem hřídele a maximálním vysunutím akčních členů. Na Obr. 6 je zobrazen zástupce pneumatických expanzních hřídelů od firmy WISTEC GmbH.



Obr. 6 - Pneumatický expanzní hřídel [14]

Mechanické expanzní hřídele využívají k vysunutí akčních prvků mechanismus, který je ukryt uvnitř hřídele. Základem jsou kužely, které svým pohybem vytlačují akční prvky ven z hřídele. Pohyb těchto kuželů vyvolává pohybový šroub, který je ovládán obsluhou při upínání cívky. Výhodou mechanického hřídele je, že pomocí utahování šroubu jde přesně nastavit vysunutí akčních prvků, a tím i upínací sílu. Vysunutí je po celém hřídeli

stejně. Expanzní hřídele jsou méně náročné na údržbu. Kvůli mechanismu, zajišťujícímu přesné upnutí, je hmotnost mechanických expanzních hřídelů vyšší než u ostatních expanzních hřídelů.

Pneumatické expanzní hřídele využívají k rozeprání akčních prvků přetlaku vzduchu uvnitř hřídele. Aby nedocházelo k úniku vzduchu, je uvnitř hřídele vak vyrobený z pružného materiálu. Vak je buď jeden centrální, nebo může být pod každým akčním členem zvlášť. Toho se využívá v případě, že akčním členem jsou lišty, které jsou přes celou upínací délku hřídele. Pro vysunutí se do vaku přivede vzduch, který způsobí, že vak zvětší svůj objem. Vak tak začne tlačit na spodní stranu akčního prvku, který se tím vysune. Pneumatické hřídele jsou oproti mechanickým lehčí. Výhodou je také rychlejší upínání a uvolňování cívky.

Pneumaticko-mechanické hřídele získávají přesnost mechanických a rychlost pneumatických expanzních hřídelů. Systém vysouvání akčních členů je realizován stejně jako u mechanických expanzních hřídelů pomocí kuželů. Liší se však mechanismus vyvolávající jejich pohyb. Ten je řízen pomocí tlaku vzduchu uvnitř pístu pneumatického válce. [15]

5.2.3 Rozpínací čepy

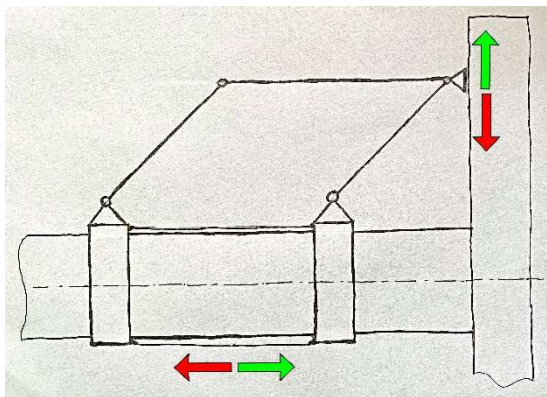
Modifikací expanzních hřídelů jsou rozpínací čepy. Vysouvání rozpěrných členů funguje v obou případech stejně. Stejně jako u expanzních hřídelů je možné je rozdělit na mechanické, pneumatické a pneumaticko-mechanické. Jedná se o další způsob zajištění pro bezhřídelové odvíjení. Na Obr. 7 je vidět expanzní čep od firmy Vorwald. [15]



Obr. 7 - Expanzní čep [15]

5.2.4 Paralelogram

Upínání za vnitřní průměr cívky lze realizovat také rozpínacím mechanismem na principu paralelogramu, jehož princip je znázorněn na Obr. 8. Když se akční člen pohybuje směrem doprava rozpínací člen se pohybuje dále od osy otáčení. Tím vznikne tlak na cívku a ta se pak není schopna pohybovat relativně vůči hřídeli. Pohyb akčního členu se vyvozuje mechanicky nebo pneumaticky. Tohoto způsobu upínání se využívá zejména pro zajištění těžkých materiálů. Na Obr. 9 je zařízení sloužící k odvíjení plechových svitků, které je osazeno tímto upínacím zařízením.



Obr. 8 - Schéma paralelogramu



Obr. 9 – Uncoiler [16]

5.2.5 Shrnutí metod pro upínání cívky s páskou

Nejvhodnější vyráběné zařízení pro upnutí cívky s páskou je expanzní čep. Díky jednostrannému uchycení expanzního čepu lze cívku snadno a rychle vyměnit. Axiální a radiální zajištění je také velmi rychlé díky pneumatickému ovládní akčních členů. Expanzní čepy se ale vyrábějí pouze na zakázku, což se velmi negativně projevuje na jejich ceně. Podle odhadu manažera firmy BIBUS s.r.o., která se distribucí expanzních čepů zabývá, by se cena čepu pro tuto aplikaci pohybovala mezi 25 000 až 30 000 Kč.

Z toho důvodu se v práci věnuje i návrhu jednoduššího způsobu upínání, který je inspirován bezhřídelovým upínáním cívek s páskou pomocí komolých kuželů.

5.3 Brzdové systémy

K vytvoření požadovaného tahu v pásce je potřeba snížit rychlost odvíjení. Toho je možné dosáhnout pomocí brzd. Ty jsou schopné vytvořit kroutící moment působící proti směru otáčení hřídele. Brzda je obecně tvořena dvěma částmi. První část je připevněna k zařízení a druhá k hřídeli. Při brzdění vznikají mezi brzdami silové účinky, které snižují velikost relativní rychlosti, kterou mají obě části brzdy vůči sobě.

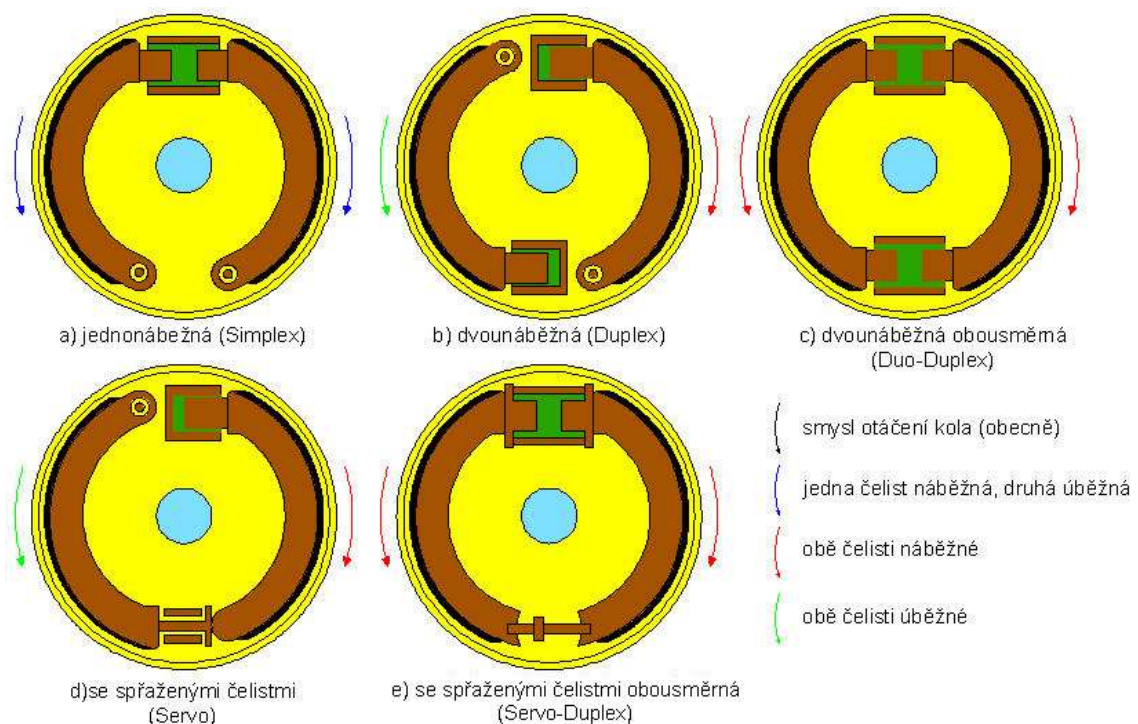
5.3.1 Bubnové brzdy

Bubnová brzda je zástupcem mechanických brzd. Své jméno získala díky brzdovému bubnu, který je hlavní součástí brzdy. Buben je pevně připojen na pohyblivou část zařízení. Uvnitř jsou schované brzdové čelisti, jejichž pohyb se ovládá pomocí brzdového válečku. Tyto části jsou pevně připojeny k zařízení a buben se vůči nim pohybuje. Při brzdění brzdové válečky rozepřou brzdové čelisti tak, aby byly čelisti v kontaktu s bubnem. Díky tření mezi bubnem a brzdovými čelistmi se vyvozuje brzdná síla. Zpětný pohyb brzdových čelistí je zajištěn vratnými pružinami.

Brzdové čelisti mohou být náběžné nebo úběžné. Náběžné čelisti mají oproti úběžným vyšší brzdný účinek díky třecí síle, která je tlačí více do záběru. Úběžné brzdové čelisti jsou naopak třecí silou odtlačovány od bubnu.

Na základě toho můžeme rozlišit několik typů brzd. Prvním typem je Simplex. Jednoduché uspořádání, kdy jedna čelist je náběžná a druhá úběžná. U typu Duplex jsou obě čelisti náběžné, ale pouze při otáčení v jednom směru otáčení. Náběžné čelisti při obou směrech otáčení má brzda typu Duo-Duplex. Jeden z válečků také lze nahradit spřažením. Tím vzniknou brzdy typu Servo a Duo-Servo. Tyto typy brzd jsou zobrazeny na Obr. 10.

Dalším typem brzdy je brzda ovládaná klíčem. Jedná se v podstatě o brzdu typu Simplex, kde je brzdný váleček nahrazen vačkou, která se ovládá pomocí páky. Díky tomu lze brzdu ovládat mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky pomocí externího zařízení.

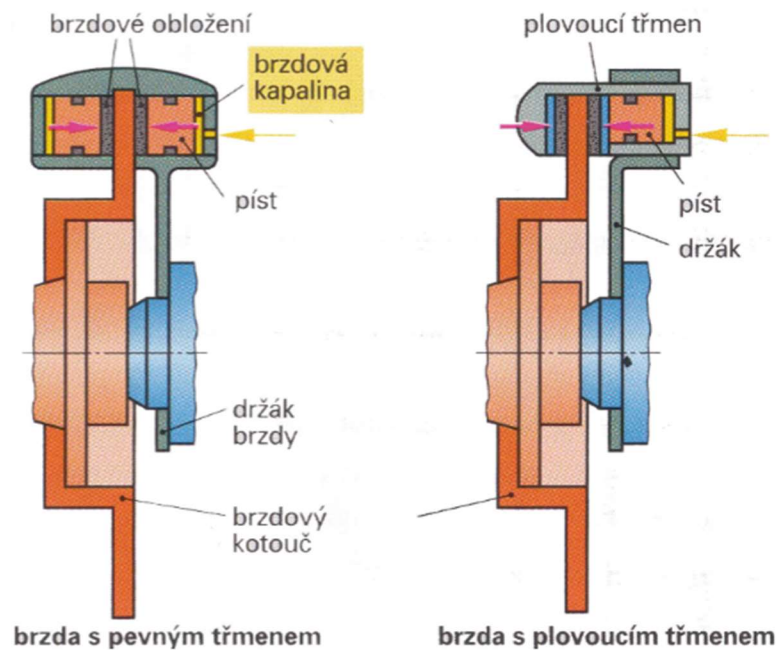


Obr. 10 - Druhy bubnových brzd [17]

Bubnová brzda je vhodná do těžkých podmínek, jelikož buben ochraňuje mechanismus brzdy před vnějšími vlivy. Díky velkým třecím plochám se obložení brzd méně opotřebovává. Při dlouhodobém brždění se však buben zahřeje a účinnost brzdy se snižuje. [17]

5.3.2 Kotoučové brzdy

Dalším zástupcem mechanických brzd jsou brzdy kotoučové. Zde je pohybliví se částí kotouč, na který působí brzdové destičky uchycené ve třmenu. Brzdy se podle třmenů dělí na brzdy s pevným třmenem a brzdy s plovoucím třmenem. Brzdy s pevným třmenem vznikly dříve. Pohyb brzdové destičky v pevném třmenu je vytvořen tlakem na každou destičku samostatně. U plovoucího třmenu působí tlak pouze na jednu destičku. Druhá destička se pohybuje s celým třmenem díky síle, která vzniká mezi kotoučem a pohyblivou destičkou. Rozdíl mezi brzdou s plovoucím a pevným třmenem je možné pozorovat na Obr. 11. [18]



Obr. 11 - Kotoučové brzdy [17]

Oproti bubnovým brzdám jsou kotoučové brzdy konstrukčně jednodušší a účinnější. Životnost brzdových destiček je oproti brzdovým čelistem nižší, kvůli malé stykové ploše. [17]

5.3.3 Pásové brzdy

Brzdná síla je v pásové brzdě vyvozována třením mezi brzdovým bubnem a pásem. Čím větší silou je pás přitlačován, tím vyšší je brzdný účinek. Pásové brzdy jsou účinnější než brzdy bubnové, proto k jejich řízení stačí menší síla. Řídící síla však vyvolává u hřídele namáhání na ohyb. Další nevýhodou je, že pásová brzda se opotřebovává nerovnoměrně a je proto potřeba ji častěji měnit. [19]

5.3.4 Tekutinové brzdy

Tyto brzdy jsou tvořené rotorem a statorem, které jsou vybaveny lopatkami. Prostor mezi rotorem a statorem je vyplněn tekutinou. Při pohybu rotoru se vytváří proudy, které jsou brzděné lopatkami statoru. Vnitřní tření v tekutinách tvoří brzdný účinek. Dělí se podle použitého média na hydraulické a pneumatické. Čím vyšší viskozitu tekutina má, tím vyšší je brzdný účinek. [19]

5.3.5 Elektrické brzdy

Jako elektrické brzdy se používají asynchronní motory. Jsou tvořeny rotorem a státorem. Rotor i stator tvoří své magnetické pole. Tato dvě pole se snaží bránit vzájemnému pohybu. Existují tři principy brzdění: protiproudé, generické a brzdění stejnosměrným proudem. U protiproudého brzdění se přepojí dva fázové vodiče na statoru, a tím se vytvoří točivé magnetické pole, které má opačný směr než rotor. Generické brzdění přeměňuje mechanickou energii na elektrickou, kterou dodává zpět do sítě. U brzdění stejnosměrným proudem se na stator přivede stejnosměrný proud, který na statoru vytvoří stálé magnetické pole. Toto pole působí na pole vytvářené rotorem, a tím vzniká brzdňý moment. [20]

5.3.6 Shrnutí brzdových systémů

Pro brzdění je nejvýhodnější použít bubnovou brzdu. Tu je možné dobře řídit pneumaticky. Výhoda bubnové brzdy oproti brzdě kotoučové tkví v tom, že má menší rozsah brzdňých momentů a je tedy plynuleji regulovatelná. Díky tomu je možné na bubnové brzdě vytvořit požadovaný brzdňý moment i pomocí méně přesného a levnějšího regulátoru tlaku. Možností by byly i elektrické brzdy. Ty však k jejich provozu potřebují dodávat nebo odebírat velké proudy, které jsou vyšší než jmenovité proudy vodičů robotu.

6 Vlastní řešení

Z informací získaných při rešeršní části práce vyplynuly poznatky, které jsou nezbytné ke správnému návrhu odvíjecího zařízení.

- K měření síly v pásce bude použita metoda měření pomocí snímače síly, která je pro tuto aplikaci vhodnější.
- Pro upínání cívky s páskou bude navržen upínací mechanismus, který je inspirován upínáním pomocí komolých kuželů.
- K vytvoření brzdného momentu bude použita bubnová brzda s uspořádáním Duo-Duplex, kde obě čelisti fungují jako náběžné.

6.1 Vstupní parametry

V tabulce (Tabulka 1) jsou vypsány pásy používané při výrobě kompozitních materiálů ve firmě Compo Tech PLUS s.r.o. Význam rozměrů je zobrazen na Obr. 12.

Tabulka 1 - Používané pásy

| Páska | d [mm] | D [mm] | h [mm] | F [N] |
|--------------------------|--------|--------|--------|-------|
| Červená separační | 75,4 | 125 | 48 | - |
| Čirá separační | 75,3 | 115 | 50,6 | - |
| Perforační | 76,5 | 130 | 129 | - |
| Peel ply | 76,2 | 155 | 80 | 260 |
| Mikroten | 74,9 | 285 | 110,7 | - |
| Uhlíkový pásek | 75,5 | 143 | 25,8 | 10 |
| Alto modulo | 70,2 | 235 | 20,5 | 260 |
| Superstiro | 70,2 | 233 | 21,7 | 260 |

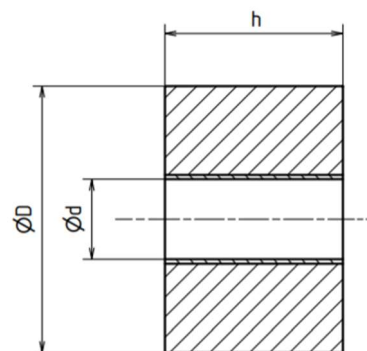
Navržené zařízení by mělo pokrývat upnutí všech pásek vyjma těch, které jsou označené oranžově.

Oranžově označené pásky vyžadují vlastní upínací zařízení, které zamezuje sesunutí pásky mimo cívku, a k navádění se používají válečky s konkávní plochou. Z těchto důvodů není v práci řešeno upínání těchto pásek. Navrhované zařízení by však mělo být dimenzováno tak, aby nedošlo k jeho poškození, kdyby se z něj odvíjely i tyto pásky.

Žlutě označené pásky jsou z jedné strany lepicí, proto je důležité zkonstruovat zařízení tak, aby nebyla vrstva lepidla narušena.

Zeleně jsou označeny limitní připojovací rozměry.

Rozsah sil v pásce je 10 až 260 N



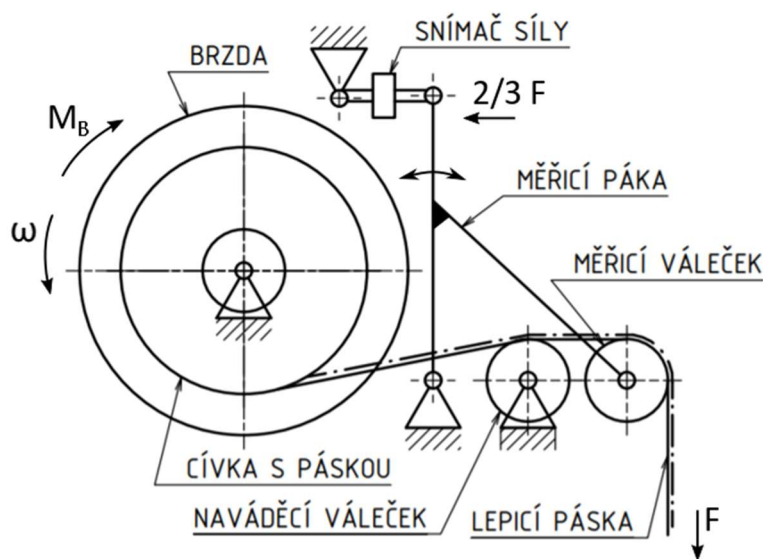
Obr. 12 - Páska

6.2 Měřicí systém

Měření síly v pásce bude probíhat pomocí snímače síly, který bude měřit účinek síly od pásky na váleček.

6.2.1 Návrh kinematiky měřicího mechanismu

Pro zajištění správného měření síly v pásce je důležité zajistit, aby se úhel, pod kterým páska vstupuje na váleček a pod kterým z válečku odchází, neměnil v průběhu odmotávání. Toho lze dosáhnout pomocí naváděcích válečků s fixní polohou vůči měřicímu válečku. Jedna strana některých pásek je však pokryta lepidlem, a proto se může válečků dotýkat pouze jednou stranu. Z toho důvodu byl navržen měřicí mechanismus zobrazený na Obr. 13



Obr. 13 - Schéma měření síly

Páska jde z cívky na naváděcí váleček, dále na měřicí váleček a poté přímo na navíjecí trn.

Síla F působí na měřicí váleček ve svislém i ve vodorovném směru. Pro správnou funkci zařízení musí být měřena pouze jedna z nich. Toho se docílí pomocí páky, která přenesení sílu působící ve svislém směru na snímač síly, jak je vidět na Obr. 13. Ramena páky jsou v poměru 2:3, aby síla působící na snímač síly byla nižší oproti síle v pásce. Tím se

zmenší i rozsah měřených sil. Při změně požadovaného tahu v pásce se tedy měřená síla méně vzdálí od jmenovité síly snímače.

6.2.2 Snímač síly

K tomuto účelu je nutné použít vhodný snímač síly. Požadavkem je malá hmotnost, přesnost a měření síly v tahu.

Jako nejvhodnější byl vybrán snímač U9C od firmy HBM měřící technika s.r.o., zobrazený na Obr. 14. [21]

Vlastnosti:

- Nominální hodnota síly: 200 N
- Třída přesnosti: 0,2
- Maximální provozní síla: 200% nominální síly
- Referenční teplota: 23 °C
- Hmotnost: 75 g



Obr. 14 - Snímač síly [21]

6.2.3 Páka

Páka je rotačně uložena na hřídeli pomocí dvouřadého kuličkového ložiska, aby měření bylo co nejméně ovlivněno pasivními odpory.

Páku tvoří dva plechy spojené pomocí šroubů. Vzdálenost mezi plechy vymezují tři pouzdra. Do jednoho se ukládá ložisko. Druhé slouží k uložení hřídele pro měřicí váleček. Třetí pouzdro vymezuje vzdálenost plechů v místě, kde se připojuje snímač síly.

6.2.4 Kontrola hřídele pro uložení páky

Páka přenáší zatížení měřicího válečku na hřídel. Ten je namáhán velkou ohybovou silou v místě, kde je páka uložena. Bylo vypočteno ohybové napětí $\sigma_o = 70 \text{ MPa}$. Výpočet v příloze.

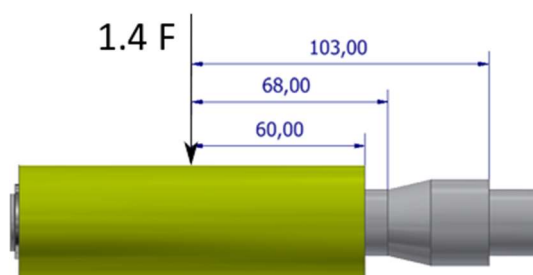
Materiálem pro výrobu tohoto hřídele byl zvolen hliník EA AW-2030, který je dobře obrobitelný a ve stavu T4 má tyto vlastnosti: [22]

- $R_m = 370 \text{ MPa}$
- $R_{p0,2} = 250 \text{ MPa}$

Tento hliník je použit i k výrobě další dvou hřídelů měřicího systému.

6.2.5 Kontrola hřídele měřicího válečku

Kontrola hřídele je provedena pro případ působení největší síly od pásky v polovině válečku. Kontrolován je v místech, kde je předpokládáno největší ohybové napětí. Síla F je vynásobena 1,4 ($\doteq \sqrt{2}$), jelikož síla na hřídel působí ve dvou na sebe kolmých směrech.



Obr. 15 - Zatížení měřicího hřídele



$$\sigma_{o1} = \frac{F \cdot l_1}{\frac{\pi \cdot d_h^3}{32}} = \frac{260 \cdot 1,4 \cdot 60}{\frac{\pi \cdot 20^3}{32}} = 27,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o2} = \frac{F \cdot l_2}{\frac{\pi \cdot d_h^3}{32}} = \frac{260 \cdot 1,4 \cdot 68}{\frac{\pi \cdot 23^3}{32}} = 20,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o3} = \frac{F \cdot l_3}{\frac{\pi \cdot d_h^3}{32}} = \frac{260 \cdot 1,4 \cdot 103}{\frac{\pi \cdot 23^3}{32}} = 31,4 \text{ MPa}$$

Největší ohybové napětí je v místě uložení hřídele do páky. Toto napětí je nižší než mez kluzu hliníku EN AW-2030.

6.2.6 Kontrola hřídele naváděcího válečku

Síla zatěžující naváděcí hřídel se v průběhu odvíjení snižuje, protože je závislá na okamžitém průměru cívky. Výpočet je proveden pro pásku peel ply, pro kterou je požadován i nejvyšší tah. Na Obr. 13 je vidět, že páska nabíhá na váleček pod úhlem. Z modelu byla odměřena velikost úhlu, která činí $18,82^\circ$. Pro zvýšení bezpečnosti je počítáno s úhlem náběhu $\alpha = 20^\circ$. Nejprve se pomocí kosinové věty dopočte výsledná síla působící na váleček. Působíště síly je uvažováno v polovině válečku.

$$F_V = F \sqrt{2(1 - \cos(\alpha))} = 260 \sqrt{2(1 - \cos(20))} = 90,3 \text{ N}$$

$$\sigma_{o1} = \frac{F_V \cdot l}{\frac{\pi \cdot d_h^3}{32}} = \frac{90,3 \cdot 87}{\frac{\pi \cdot 15^3}{32}} = 23,7 \text{ MPa}$$

Ohybové napětí je nižší než mez kluzu hliníku EN AW-2030.

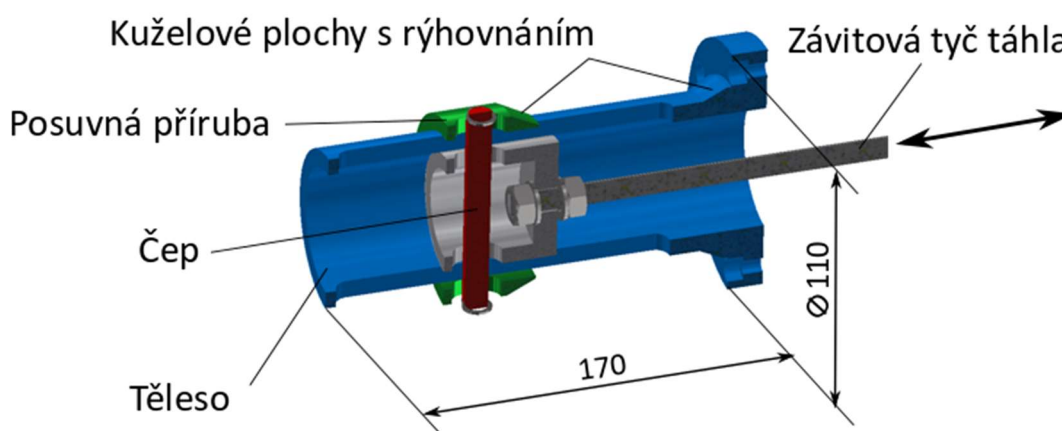
6.2.7 Válečky měřicího a naváděcího hřídele

Jako polotovar pro výrobu válečků vodících pásku byla vybrána tyč z PVC. Tyč se provrtá a z každé strany se vyrobí díra pro uložení ložiska. Ložiska zajišťují snížení pasivních odporů při rotačním pohybu válečku vůči hřídeli.

6.3 Upínací mechanismus cívky

Pro snadnou manipulaci s páskou je ideální, aby bylo upínací zařízení umístěno letmo.

Nejvhodnějším upínacím zařízením je expanzní čep. Ten je však drahý a konstrukčně velmi složitý, tudíž by se nevyplatilo vyrábět ho vlastními prostředky. Proto je navržena jednodušší varianta, inspirovaná je expanzním čepem a bezhřídelovým upínáním komolými kužely. Viz Obr. 16.



Obr. 16 - Upínací zařízení

Těleso, které je opatřeno kuželovou plochou, se pomocí příruba připojí k odvíjecímu zařízení. Na těleso se nasune cívka s páskou. Páska se z volného konce zajistí přírubou. Pomocí čepu se příruba spojí s táhlem. Aby došlo k sevření pásky, utáhne se matice na závitové tyči táhla. Při dotahování se díky kuželovým plochám cívka vystředí. Závitová tyč prochází dutým hřídelem na druhou stranu odvíjecího zařízení. Pro zlepšení přenosu kroutícího momentu jsou kuželové plochy příruba i tělesa vybaveny rýhováním.

Vůči bezhřídelovému upínání pomocí komolých kuželů je toto upínání výhodnější umístěním letmo. Díky tělesu není mezi kuželovými plochami prostor pro zborcení cívky. Oproti expanznímu čepu je tento systém upínání jednodušší a levnější.

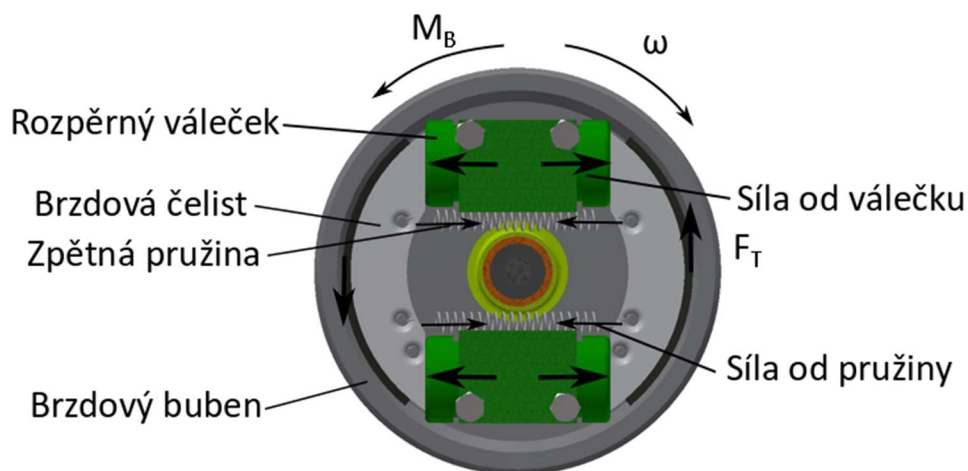
Nedostatkem tohoto upínacího zařízení je, že při příliš silném sevření cívky mohou kužele cívku roztrhnout. Při příliš slabém sevření se cívka bude protáčet.

Je tedy nutné nejprve otestovat, zda zařízení v reálném provozu bude pracovat, jak je předpokládáno.

6.4 Brzdový systém

K vytváření brzdného momentu bude využita bubnová brzda se systémem uspořádání Duo-Duplex. Viz Obr. 17. Toto uspořádání zajišťuje, že obě brzdové čelisti budou náběžné. Dalšími součástmi bubnové brzdy jsou rozpěrné válečky, brzdové čelisti a vratné pružiny a buben. Rozpěrné válečky, brzdové čelisti a vratné pružiny je výhodnější koupit než vyrábět.

Je potřebné sestavit brzdu co nejmenších rozměrů, ale aby se tam stále vešly brzdové válečky. Malé rozměry jsou výhodnější ze dvou důvodů. Zaprvé menší rozměry znamenají menší hmotnost. Zadruhé s menším průměrem bubnu se zvýší potřebný tlak pro maximální potřebný brzdný moment. V CompoTech PLUS s.r.o. mají zkušenost, že pro brzdu s průměrem bubnu 185 mm je nejvyššího požadovaného momentu dosaženo už při tlaku 2,5 bar.



Obr. 17 - Sestava brzdy

Pro odvíječ bude použita brzda s vnitřním průměrem bubnu 125 mm. V příloze je výpočet brzdového momentu této brzdy, který vyšel $35 \text{ N} \cdot \text{m}$. Maximální potřebná brzdý moment je $31 \text{ N} \cdot \text{m}$. Tudiž brzda vyhovuje.

6.4.1 Rozpěrný váleček

Na Obr. 18 je zobrazen rozpěrný váleček vyrobený firmou CIFAM. Těleso válečku je vyrobené z hliníku. Vrtání válce je 19,05 mm.



Obr. 18 - Rozpěrný váleček

Váleček byl vybrán z rozsáhlého výběru podobných rozpěrných válečků stejných parametrů díky jeho ceně, která byla nižší než u ostatních válečků.

6.4.2 Brzdové čelisti

Brzdové čelisti je také lepší koupit sériově vyráběné. Dostupné jsou hlavně čelisti z bubnových malých automobilů a motocyklů. U automobilů se používají bubny s větším průměrem, proto byly zvoleny brzdové čelisti z bubnové brzdy motocyklu. Brzdové čelisti jsou zobrazeny na Obr. 19.



Obr. 19 - Brzdové čelisti

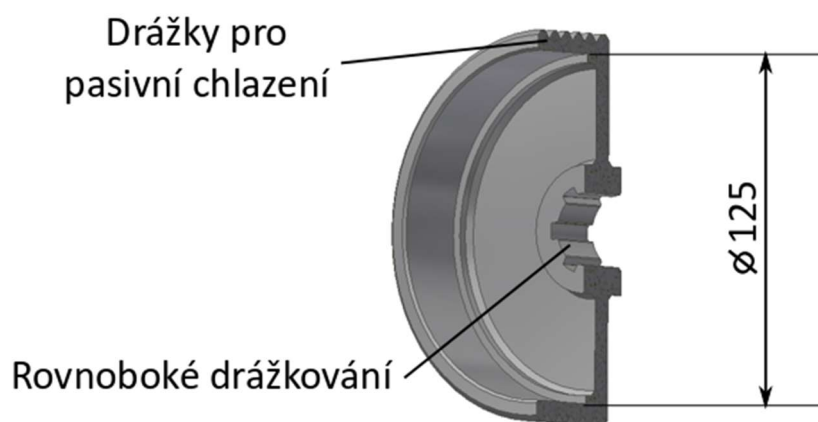
Konkrétně jde o brzdové čelisti do motocyklu Simson určené pro vnitřní průměr bubnu 125 mm. Tyto čelisti se v brzdě rozevírají pomocí vačky, ale jednoduchou úpravou je možné je předělat na brzdový systém Duo – Duplex ovládaný rozpěrnými válečky.

6.4.3 Vratné pružiny

Jako vratné pružiny je nejjednodušší použít originální pružiny z této brzdy. Tyto pružiny se dají jednoduše koupit jako náhradní díl pro motocykl. Pružina bude mít zaručeně potřebnou tuhost a délku.

6.4.4 Brzdový buben

Brzdový buben pro tuto aplikaci se bude vyrábět z oceli. Pro přenos kroutícího momentu na hřídel bude použito rovnoboké drážkování. Na vnějším průměru bubnu jsou vytvořeny drážky, které zvětšují povrch bubnu a zlepšují tak chlazení brzdy. Řez modelem bubnu je zobrazen na Obr. 20.



Obr. 20 - Brzdový buben

6.5 Hlavní hřídel

Jedná se o jednu z nejdůležitějších součástí odvíjecího zařízení. Přenáší brzdny moment z brzdy na upínací systém. Je také namáhán ohybem od síly v pásce. Jelikož se hřídel při zatížení otáčí, jedná se o cyklické namáhání na ohyb. Z toho důvodu je vybraným materiálem pro hřídel ocel 11523 s těmito vlastnostmi: [23]

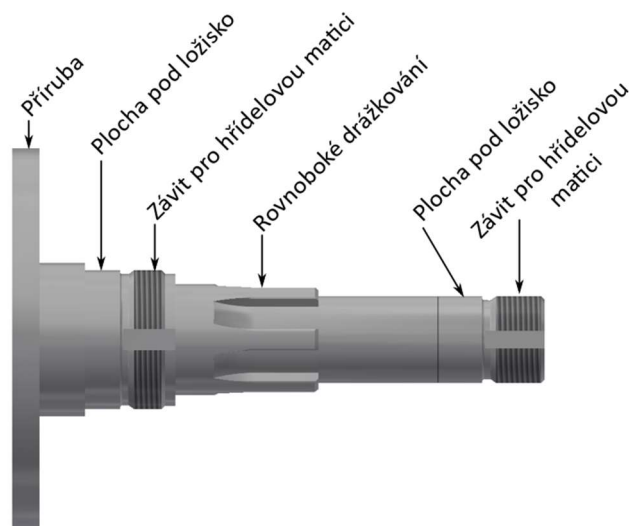
$$R_m = 490 - 630 \text{ MPa}$$

$$R_e = 350 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Co} = 324 \text{ MPa}$$

6.5.1 Části hřídele

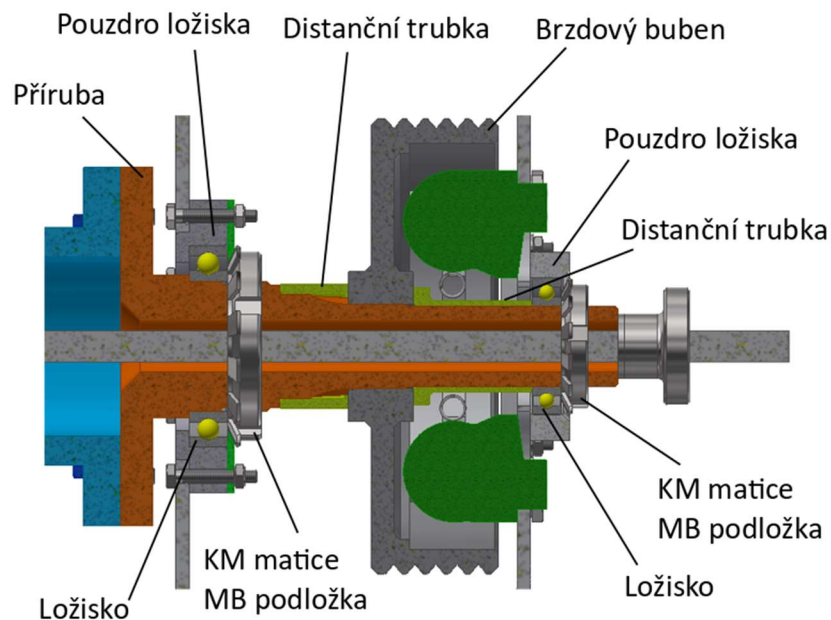
Na Obr. 21 je zobrazen hřídel odvíjecího zařízení. Zleva je možné pozorovat přírubu, ke které se připojí upínací zařízení, plochu pro uložení ložiska, závit pro hřídelovou matici sloužící k axiálnímu zajištění ložiska, rovnoboké drážkování pro přenos kroutícího momentu z brzdy na hřídel, plochu k uložení druhého ložiska a závit pro druhou hřídelovou matici sloužící k axiálnímu zajištění bubnu brzdy a druhého ložiska.



Obr. 21 – Hřídel

Hřídel je dutý. Skrz vrtání hřídele se ovládá upínací zařízení.

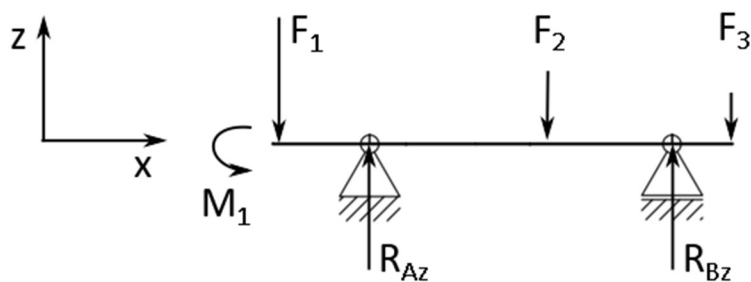
Aby byla zajištěna smontovatelnost, jsou průměry na hřídeli odstupňovány. Umístění jednotlivých komponent lze pozorovat na Obr. 22. Pod větším ložiskem, kde působí zároveň nejvyšší ohybový moment, je průměr 40 mm. Ložisko je zajištěno pomocí KM matice a MB podložky pro závit M40 x 1,5 (KM 8 a MB 8). Na rovnoboké drážkování 6x26x32 je nasazen brzdový buben. Větší distanční trubka vymezuje polohu bubnu. Menší distanční trubka axiálně zajišťuje buben z druhé strany. Za menší distanční trubkou je umístěno druhé ložisko, které je zajištěné KM maticí a MB podložkou pro závit M25 x 1,5 (KM 5 a MB 5).



Obr. 22 - Uložení hřídele

6.5.2 Kontrola hřídele

Hřídel je zatížen nejen silou od pásky, ale i silami způsobenými hmotnostmi připojených prvků. Na Obr. 23 jsou zobrazeny síly působící v rovině xz.



Obr. 23 - Zatížení hřídele

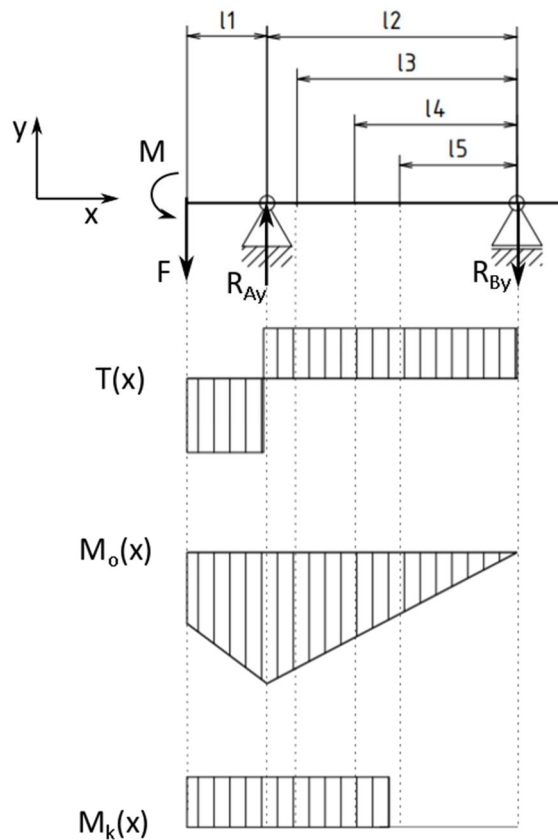
Síla F_1 je dána hmotností upínacího zařízení, které je $1,3 \text{ kg} \rightarrow F_1 = 13 \text{ N}$

Síla F_2 je dána hmotností brzdového bubnu, která je $1,6 \text{ kg} \rightarrow F_2 = 16 \text{ N}$

Síla F_3 je dána hmotností rýhované matice, která je $80 \text{ g} \rightarrow F_3 = 0,8 \text{ N}$

Moment M_1 je dán silou F_1 působící v polovině upínacího zařízení
 $M_1 = F_1 \cdot l = 13 \cdot 80 = 1040 \text{ N} \cdot \text{mm}$

Tyto síly jsou v kontrolním výpočtu zanedbány, protože jsou řádově nižší než síla od pásky. Po zjednodušení vznikne nosník zobrazený na Obr. 24.



Obr. 24 - Průběh momentů na hřídeli

Síla F je dána nejvyšší požadovanou tahovou silou v pásce. Síly F působí na upínací mechanismus pásky. Vzdálenost mezi přírubou a působišťem síly je 55 mm. Příruba tedy nepřenáší pouze posouvající síly, ale i moment.

Na hřídeli dochází ke změně průměru. Vzdálenost míst, kde se mění průměr jsou vzdáleny od podpory B o příslušné rozměry l . Hodnota r je dána poloměrem největší pásky.

Upínací zařízení se dotahuje skrz dutý hřídel. Průměr hřídele v ložisku A je 40 mm a průměr vrtání 16 mm.

Parametry pro výpočet:

$$F = 260 \text{ N}$$

$$l_1 = 27 \text{ mm}$$

$$l_2 = 105 \text{ mm}$$

$$l_3 = 82 \text{ mm}$$

$$l_4 = 61 \text{ mm}$$

$$l_5 = 43 \text{ mm}$$

$$r = 118 \text{ mm}$$



$$M = 55 \cdot 260 = 14\,300 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$R_B = \frac{F \cdot l_1 + M}{l_2} = \frac{260 \cdot 27 + 14\,300}{105} = 203 \text{ N}$$

$$R_A = \frac{F \cdot (l_1 + l_2) + M}{l_2} = \frac{260 \cdot (27 + 105) + M}{105} = 463 \text{ N}$$

Výsledný průběh momentů je zobrazen na Obr. 24.

- Kontrola hřídele na průměru 40 mm

$$(d_h = 40 \text{ mm}, d_v = 16 \text{ mm})$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot l_1 + M}{\frac{\pi d_h^3}{32} \left(1 - \frac{d_v^4}{d_h^4}\right)} = \frac{260 \cdot 27 + 14\,300}{\frac{\pi \cdot 40^3}{32} \left(1 - \frac{16^4}{40^4}\right)} = 3,48 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F \cdot r}{\frac{\pi d_h^3}{16} \left(1 - \frac{d_v^4}{d_h^4}\right)} = \frac{260 \cdot 118}{\frac{\pi \cdot 40^3}{16} \left(1 - \frac{16^4}{40^4}\right)} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{3,48^2 + 4 \cdot 2,5^2} = 6,1 \text{ MPa}$$

- Kontrola hřídele na průměru 32 mm

$$(d_h = 32 \text{ mm}, d_v = 16 \text{ mm})$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{R_B \cdot l_3}{\frac{\pi d_h^3}{32} \left(1 - \frac{d_v^4}{d_h^4}\right)} = \frac{203 \cdot 82}{\frac{\pi \cdot 32^3}{32} \left(1 - \frac{16^4}{32^4}\right)} = 5,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F \cdot r}{\frac{\pi d_h^3}{16} \left(1 - \frac{d_v^4}{d_h^4}\right)} = \frac{260 \cdot 118}{\frac{\pi \cdot 32^3}{16} \left(1 - \frac{16^4}{32^4}\right)} = 5,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{5,5^2 + 4 \cdot 5,1^2} = 11,6 \text{ MPa}$$



- Kontrola hřídele pod drážkováním ($d = 26 \text{ mm}$)

$$(d_h = 26 \text{ mm}, d_v = 16 \text{ mm})$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{R_B \cdot l_4}{\frac{\pi d_h^3}{32} \left(1 - \frac{d_v^4}{d_h^4}\right)} = \frac{203 \cdot 61}{\frac{\pi \cdot 26^3}{32} \left(1 - \frac{16^4}{26^4}\right)} = 8,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F \cdot r}{\frac{\pi d_h^3}{16} \left(1 - \frac{d_v^4}{d_h^4}\right)} = \frac{260 \cdot 118}{\frac{\pi \cdot 26^3}{16} \left(1 - \frac{16^4}{26^4}\right)} = 10,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{8,3^2 + 4 \cdot 10,37^2} = 22,4 \text{ MPa}$$

- Kontrola hřídele na průměru 25 mm

$$(d_h = 25 \text{ mm}, d_v = 16 \text{ mm})$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{R_B \cdot l_5}{\frac{\pi d_h^3}{32} \left(1 - \frac{d_v^4}{d_h^4}\right)} = \frac{203 \cdot 43}{\frac{\pi \cdot 25^3}{32} \left(1 - \frac{16^4}{25^4}\right)} = 6,8 \text{ MPa}$$

- Kontrola rovnobokého drážkování

$$h_v = \frac{D_{dr} - d_{dr}}{2} - 2 \cdot f = \frac{32 - 26}{2} - 2 \cdot 0,4 = 2,2 \text{ mm}$$

$$s' = z \cdot h_v \cdot \psi = 6 \cdot 2,2 \cdot 0,75 = 9,9 \text{ mm}^2 \cdot \text{mm}^{-1}$$

Zvoleno $l = 18 \text{ mm}$

$$p = \frac{4 \cdot M_{kIII}}{s' \cdot (D + d) \cdot l} = \frac{4 \cdot 260 \cdot 118}{9,9 \cdot (32 + 26) \cdot 18} = 11,87 \text{ MPa}$$

- Zhodnocení kontroly

Všechna napětí jsou nižší než mez kluzu materiálu, a to dokonce i s velkou bezpečností. Z toho důvodu nevádí ani uvažované zjednodušení zatížení.

Tlak na boky drážek je nižší než dovolený tlak 80 MPa . [24]

6.6 Ložiska hřídele

Pro uložení hřídele do rámu jsou použita kuličková ložiska. Ložisko na straně upínání cívky je zatěžováno větší silou než ložisko na straně brzdy. Ložiska jsou vybrána z katalogu skf podle rozměrů hřídele. [25]

61905

$d = 25 \text{ mm}$

$D = 42 \text{ mm}$

$B = 9 \text{ mm}$

$C = 7,02 \text{ kN}$

$C_0 = 4,3 \text{ kN}$

61908

$d = 40 \text{ mm}$

$D = 60 \text{ mm}$

$B = 12 \text{ mm}$

$C = 13,8 \text{ kN}$

$C_0 = 10 \text{ kN}$

6.6.1 Dynamická a statická kontrola ložisek

- Ložisko 61908, $P = P_0 = R_A = 406 \text{ N}$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{13\,800}{406}\right)^3 = 26\,476,5 \cdot 10^6 \text{ otáček}$$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{10\,000}{406} = 24,6$$

- Ložisko 61905, $P = P_0 = R_B = 203 \text{ N}$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{7020}{203}\right)^3 = 41\,354,5 \cdot 10^6 \text{ otáček}$$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{4300}{203} = 21,2$$

Obě ložiska s velkou bezpečností zvládnou spočítané zatížení.

6.7 Rám

Nyní je důležité všechny tyto dílčí části spojit do jediného funkčního zařízení. Toto zařízení se pomocí rychloupínací hlavy TK-63-T, která je zobrazena na Obr. 25, připojí k robotu.



Obr. 25 – Rychloupínací hlava

6.7.1 Návrhy řešení konstrukce rámu

Konstrukce rámu musí být dostatečně tuhá, aby vnější síly nedeformovaly tvar zařízení. To by mohlo změnit úhel navíjení pásky nebo ovlivnit měření síly. Všechny části musí být dostupné, aby jejich montáž nebyla příliš náročná. V neposlední řadě je také důležité myslet na hmotnost rámu.

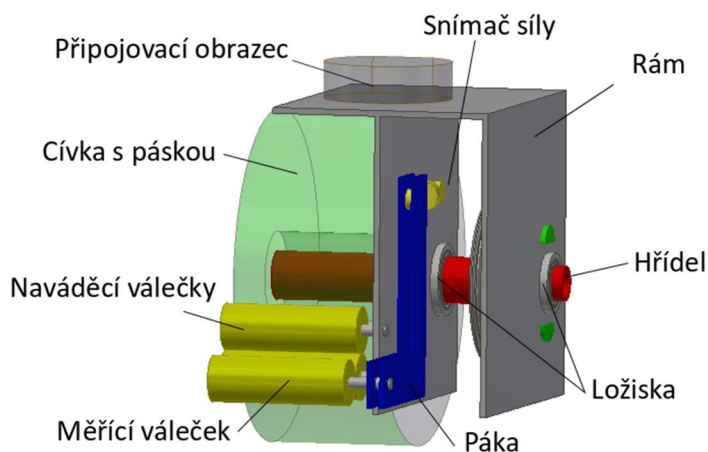
Na základě požadavků byly navrženy rámy těchto konstrukcí.

- *Návrh č. 1: Rám z ohýbaného plechu zpevněného lemy*

Na Obr. 26 je zobrazena konstrukce rámu z ohýbaného plechu. Volné hrany jsou na krajích zahnuté, aby se zvětšil kvadratický moment průřezu, a tím se zvýšila odolnost plechu proti ohnutí. Rychloupínací hlava je umístěna na horním plechu připojeném k ohýbanému plechu tak, aby se výsledný moment všech sil co nejméně přenášel na rameno robotu. Skrz rám prochází hřídel uložený na ložiskách. K tomuto hřídeli je připojeno upínací zařízení i buben brzdy. Snímač síly je umístěn na rámu a je spojen s měřícím válečkem pomocí páky ve tvaru L.

Výhodou tohoto rámu je jednoduchá konstrukce. Všechny části zařízení jsou dobře dostupné. Buben brzdy je chráněn rámem, takže je menší pravděpodobnost popálení pracovníka, který by manipuloval se zařízením, o brzdový buben.

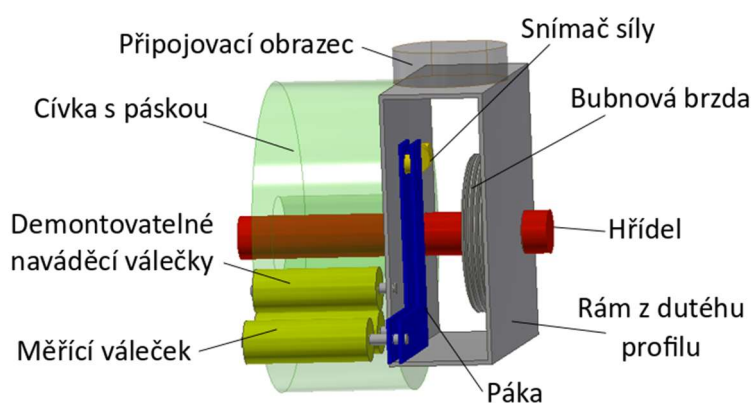
Nevýhodou je nižší tuhost rámu.



Obr. 26 - Návrh č. 1

- *Návrh č. 2: Konstrukce rámu z dutého profilu*

Druhý rám je vyroben ze sériově vyráběného dutého profilu. Celé zařízení je zobrazené na Obr. 27. Ostatní komponenty jsou rozmístěny stejně jako v předchozím návrhu.

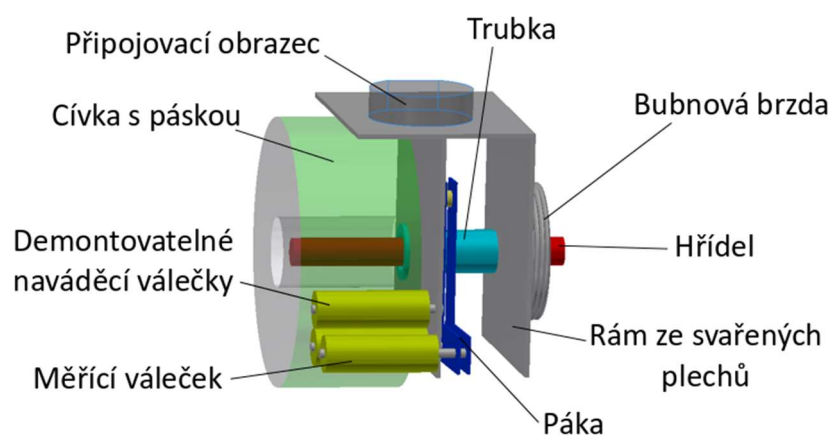


Obr. 27 - Návrh č. 2

Rám z uzavřeného profilu je tužší než předchozí rám. Je ale nutné řídit se rozměry vyráběných profilů. Nevýhodou je i umístění připojovacího obrazce dál od měřících válečků, čímž se na rameno robotu přenese větší moment.

- *Návrh č. 3: Konstrukce rámu zpevněná trubkou*

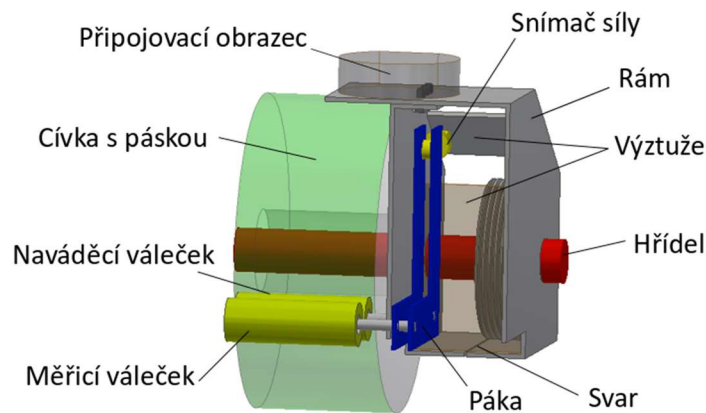
Tento návrh je tvořen ze svařovaných plechů. Aby se zvýšila tuhost, protilehlé plechy se spojí trubkou. Trubkou prochází hřídel, který je umístěn v ložiskách. Ložiska jsou uložena v trubce, což zajistí souosost ložisek. Rám je díky trubce tužší než rám v návrhu č. 1. Kvůli trubce však musí být brzdový buben umístěn venku, kde se o něj může obsluha popálit. Tento návrh lze pozorovat na Obr. 28.



Obr. 28 - Návrh č. 3

- *Návrh č. 4: Konstrukce uzavřeného rámu pomocí ohnutých plechů*

Návrh č. 4 vznikl, jako vylepšení návrhu č. 1. Tato konstrukce je tvořena dvěma plechy, které se spojí dohromady šroubovým spojem v horní části rámu. Ve spodní části se plechy spolu svaří, aby tvořily uzavřený profil. Protilehlé boky se ještě spojí pomocí výztuh, aby se zvýšila tuhost. Tato konstrukce je zobrazena na Obr. 29.



Obr. 29 - Návrh č. 4

6.7.2 Volba nejlepšího návrhu

Hlavními požadavky na rám je vysoká tuhost, nízká hmotnost, jednoduchá výroba a v neposlední řadě cena. Mimo rámu jsou ostatní prvky stejné.

Nejtužší je rám v návrhu č 2, kde je konstrukce rámu tvořena dutým profilem. Profily potřebné velikosti 250 x 100 se však vyrábějí pouze ocelové a s tloušťkou stěny od 4 mm. Rám by měl tedy příliš vysokou hmotnost.

Rám návrhu č. 3, který je vyroben ze svařených plechů zpevněných trubkou je také tuhý. Trubka by navíc zajistila souosost ložisek. Ale kvůli trubce by se zkomplikovalo připojení brzdy, která by musela být umístěna z vnější strany rámu. Další nevýhodou je, že trubka zvýší hmotnost celého odvíječe.

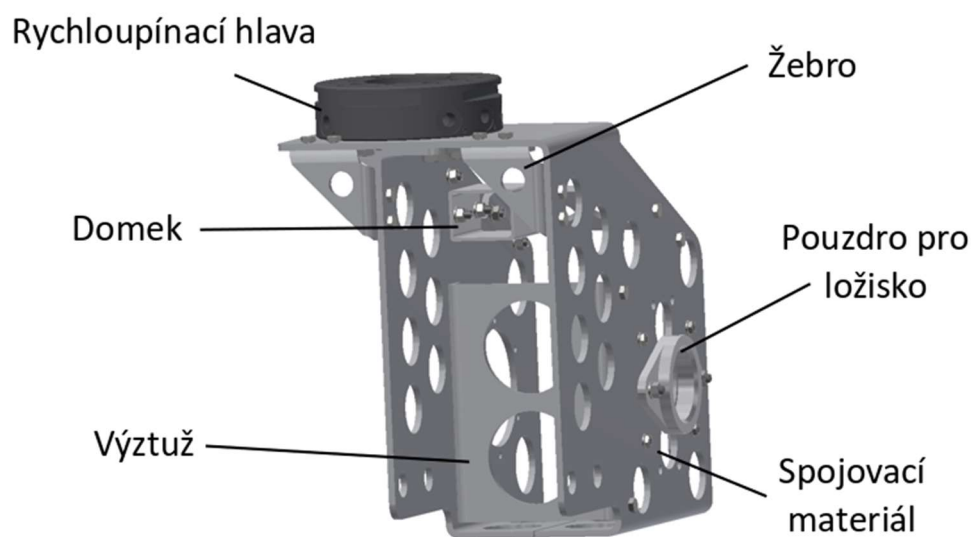
Návrh č. 1 je tvořen z ohýbaného plechu. Takto vytvořená konstrukce je však velmi poddajná. Při zvyšování tuhosti návrhu č. 1 vznikl návrh č. 4.

Ten je díky uzavřenosti výrazně tužší než návrh č. 1. Rozměry tohoto rámu lze libovolně volit. To je vlastnost, kterou nedisponuje návrh č. 2, kde jsou rozměry rámu přímo vázané na rozměry vyráběných profilů.

Jako nejlepší návrh byl zvolen návrh číslo 4 – Konstrukce uzavřeného rámu pomocí ohnutých plechů.

6.7.3 Navržená konstrukce rámu

Výsledný rám je zobrazen na Obr. 30. Jak už bylo psáno, rám je tvořen dvěma ohnutými plechy. Ty jsou ve vrchní části spojeny šrouby M8 ještě s rychloupínací hlavou, pomocí které bude celý odvíječ připojen k robotu Fanuc M-20iA/35M. Ve spodní části jsou plechy svařené dohromady, aby vznikla uzavřená konstrukce. Ke zpevnění se využije také výztuh z plechu, kterými se spojí oba plechy dohromady. Dále je rám ještě zpevněn pomocí žebér, která spojují horní vodorovný plech s boky. Výztuže a žebra se k bokům připojí pomocí šroubů M5.



Obr. 30 – Rám

Boky jsou také spojené pomocí dvou hřídelů měřicího systému. Konkrétně se jedná o hřídel, na kterém je uložena páka, a hřídel naváděcího válečku. Toto spojení také zvýší tuhost rámu.

Pro uložení ložisek hlavního hřídele jsou použita pouzdra. Pouzdro na straně upínacího zařízení je přímo uloženo v bočním plechu. Plech je spojen s pouzdrem a s přírubou, která zajišťuje ložisko v pouzdře pomocí šroubů. Viz Obr. 22. Pouzdro na straně brzdy je z důvodu omezeného prostoru připojeno k plechu dvěma šrouby po jeho bocích. Poloha je zajištěna pomocí dvou čepů, kterými prochází šroub.

Na straně brzdy jsou ještě dvě podložky vymezující polohu brzdových čelistí. Ty jsou k rámu přišroubovány pomocí šroubů se zápusťnou hlavou.

V horní části rámu je přišroubován dutý profil, který slouží jako místo připojení snímače síly k rámu. Ten se k profilu připojí pomocí čepu.

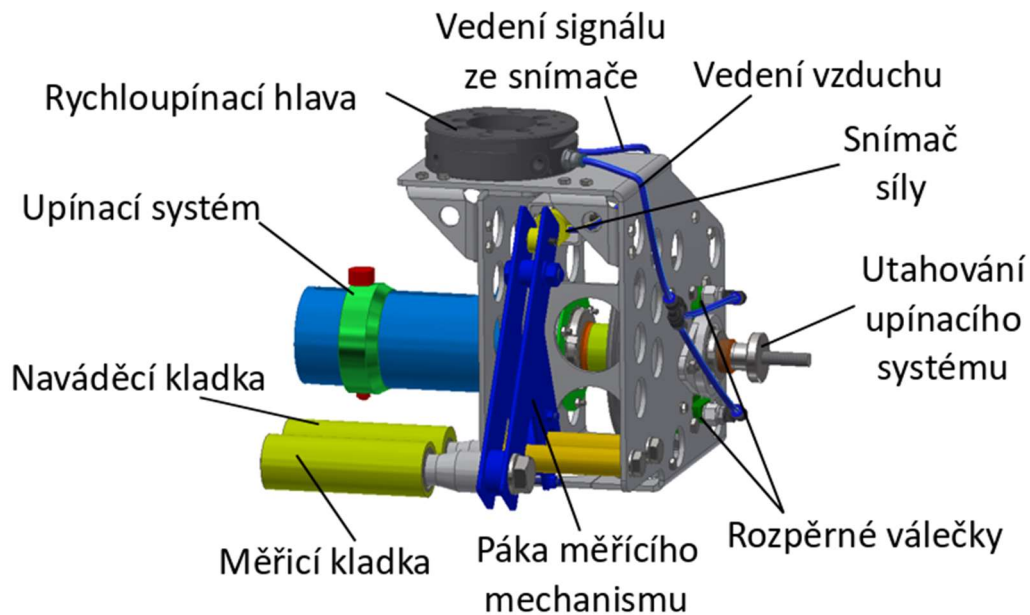
Pro snížení hmotnosti rámu jsou použity odlehčovací otvory.

6.7.4 Materiál rámu

Materiálem pro výrobu rámu byl zvolen hliník, aby byl rám co nejlehčí. Konkrétně se jedná o slitinu hliníku *EN AW-5754 H22*. Jelikož má hliník nižší modul pružnosti v tahu než ocel, je použit plech o tloušťce 4 mm.

7 Odvíjecí zařízení

Kompletní navržené odvíjecí zařízení je zobrazeno na Obr. 31 v pohledu zepředu a na obrázku Obr. 32 v pohledu zezadu.

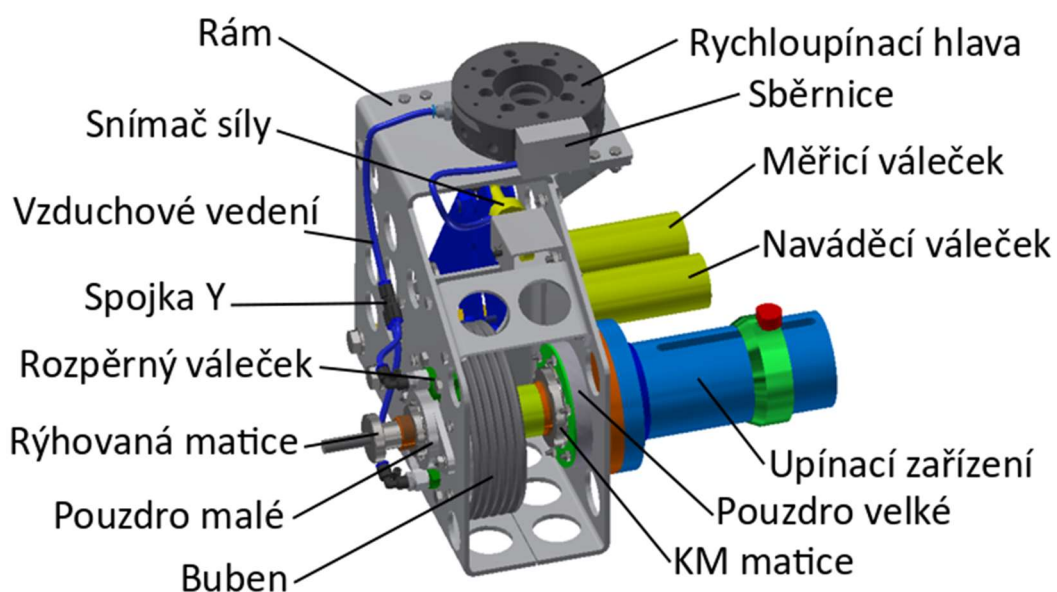


Obr. 31 - Odvíjecí zařízení zepředu

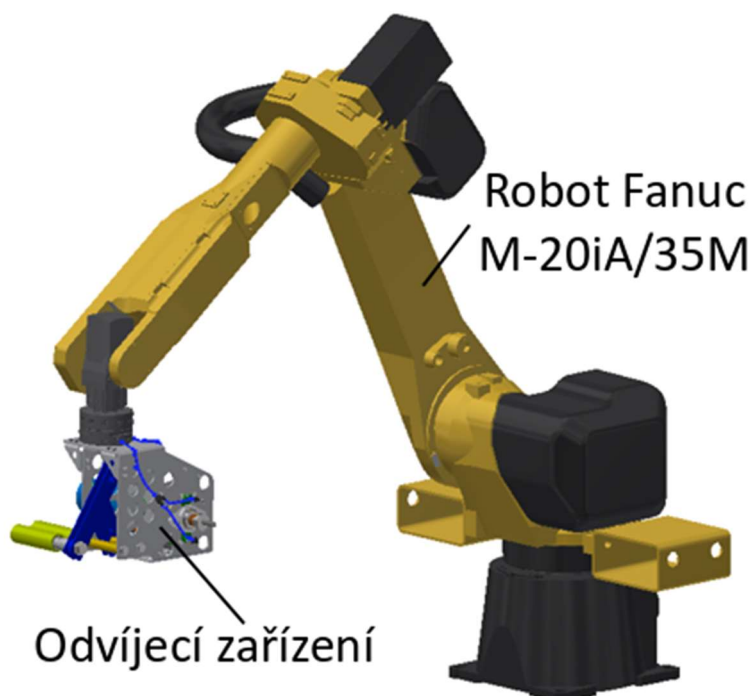
Při výrobě kompozitního materiálu se na upínací mechanismus nasadí cívka s páskou. Cívka se pomocí rýhované matice zajistí axiálně i radiálně. Následně se pomocí robotu přesune odvíjecí zařízení do pracovní polohy nad navíjecím trnem. Páska se protáhne přes naváděcí a měřicí váleček na navíjecí trn, ke kterému se připevní.

Na Obr. 33 je zobrazené odvíjecí zařízení připojené k robotu. Na Obr. 34 je vidět pracoviště firmy Compo Tech PLUS s.r.o., kde by mělo navržené zařízení pracovat.

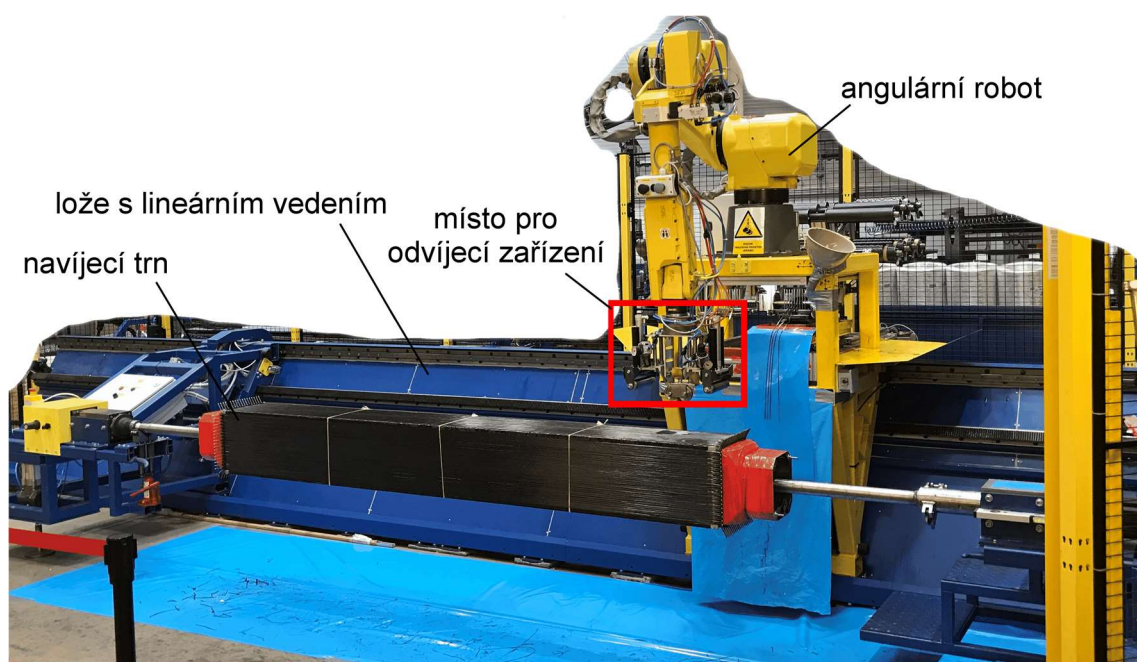
Při odvíjení se robot posouvá pomocí lože na lineárním vedení, aby bylo zajištěno požadované stoupání pásky, které je dáno šířkou pásky. V průběhu odvíjení páka přenáší sílu, která působí na měřicí váleček, na snímač síly, který odesílá naměřené hodnoty do řídicí jednotky. Řídicí jednotka vyhodnotí naměřené hodnoty a podle toho upraví tlak v rozpěrných válečkách pomocí redukčního ventilu. Tím se upraví brzdový moment a zároveň i tah v pásce.



Obr. 32 – Odvíjecí zařízení zezadu



Obr. 33 - Odvíjecí zařízení na robotu



Obr. 34 - Navijecí pracoviště firmy Compo Tech PLUS s.r.o.

8 Závěr

Bakalářská práce se zabývá návrhem zařízení ke strojnímu odmotávání pásky sloužící ke konsolidaci navinutého výrobku.

Zařízení je navrženo pro firmu Compo Tech PLUS s.r.o., která se zabývá výrobou kompozitních dílů metodou navíjení. Firma chce toto zařízení využít ke zvýšení stupně automatizace navíjecího pracoviště, kde bude připojeno k robotu Fanuc M-20iA/35M.

Součástí bakalářské práce je rešerše, která zahrnuje seznámení s kompozitními materiály a jejich rozdělení. Představuje také používané metody výroby kompozitních materiálů a podrobně popisuje proces konsolidace. V druhé části rešerše jsou zkoumány různé možnosti řešení dílčích úloh, na které byla problematika rozdělena.

V úloze odměřování síly v pásce byla porovnána metoda měření pomocí snímačů síly s metodou měření pomocí takzvané tanečnice. Lépe z těchto možností vyšla metoda měření pomocí snímače síly.

Při hledání vyhovujícího systému upínání pásky byl nalezen expanzní čep, který však není sériově vyráběn, a to se neblaze projevuje na jeho ceně, která je prodejcem expanzních čepů odhadnuta na více jak 25 000 Kč. Proto byl v práci navržen i jiný způsob upínání cívky s páskou. Zda je navržené zařízení vhodné k této aplikaci, je nutno ověřit testováním. Pokud zařízení neuspěje, vyplatí se investovat do expanzního čepu.

Při hledání vhodného brzdového systému byly porovnány nejen mechanické, ale i elektrické a tekutinové brzdy. Zde ostatní brzdy převýšila brzda bubnová.

V praktické části práce byly systémy představené v rešerši upraveny a spojeny do jednoho funkčního celku. K tomu byly navrženy 4 varianty konstrukce rámu. Při srovnání kladů a záporů vyšel jako nejlepší návrh konstrukce rámu z ohnutého plechu, která tvoří uzavřený rám. Jelikož se zařízení připojuje k robotu M-20iA/35M, byla maximální hmotnost omezena na 10 kg. Toho bylo dosaženo zejména použitím slitin hliníku jako konstrukčního materiálu.

Seznam použité literatury

- [1] BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988. ISBN 04-734-88.
- [2] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Nauka o materiálu*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1507-6.
- [3] Ruční kladení. *Spolek pro technickou podporu a propagaci polymerních kompozitů* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <https://polymer-composites.cz/hand-lay-up/>
- [4] BHATT, Alpa, Piyush GOHIL a Vijaykumar CHAUDHARY. Primary Manufacturing Processes for Fiber Reinforced Composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. vol. 330. 2018, **330**. DOI: 10.1088/1757-899X/330/1/012107. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1757-899X/330/i=1/a=012107?key=crossref.8e87410821d2729e7621280edb6bf233>
- [5] GASCONS, Marc, Norbert BLANCO a Koen MATTHYS. Evolution of manufacturing processes for fiber-reinforced thermoset tanks, vessels, and silos: a review. *IIE Transactions*. vol. 44. 2012, **44(6)**, 476-489. DOI: 10.1080/0740817X.2011.590177. ISSN 0740-817X. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0740817X.2011.590177>
- [6] Injektážní a infuzní technologie. *Spolek pro technickou podporu a propagaci polymerních kompozitů* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <https://polymer-composites.cz/injektazni-infuzni-technologie/>
-

- [7] ŠIMÁČEK, Pavel a Suresh ADVANI. A continuum approach for consolidation modeling in composites processing. *Composites Science and Technology*. 186. 2020, **186**(2020), 12. DOI: 10.1016/j.compscitech.2019.107892. ISSN 02663538. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026635381932130X>
- [8] Automated Tape Laying. In: *Libre* [online]. b.r. [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <http://libre2020.eu/portfolio-item/lake-in-the-forest/>
- [9] YE, Lin, Klaus FRIEDRICH, Joachim KÄSTEL a Yiu-Wing MAI. Consolidation of unidirectional CF/PEEK composites from commingled yarn prepreg. *Composites Science and Technology*. vol. 54. 1995, **54**(4), 349-358. DOI: 10.1016/0266-3538(95)00061-5. ISSN 02663538. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0266353895000615>
- [10] EBLER, N.A., R. ARNASON, G. MICHAELIS a N. D'SA. Tension control: dancer rolls or load cells. *IEEE Transactions on Industry Applications*. vol. 29. 1993, **29**(4), 727-739. DOI: 10.1109/28.231986. ISSN 00939994. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/231986/>
- [11] KOCNER, Adam. *Návrh pohonu laminovacího zařízení*. Brno, 2014.. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Bohumil Klíma.
- [12] JENČÍK, Josef. *Technická měření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000.
- [13] MACHÁŇ, Josef. *Výroba obalů*. 3., opr. vyd., na SOŠ a VOŠ obalové techniky ve Štětí 2., opr. vyd. Štětí: Střední odborná škola a Vyšší odborná škola obalové techniky, 1999. ISBN 80-863-4301-4.
- [14] Pneumatisch wickelwelle Spannleiste. In: *Wistec* [online]. [Wesenberg], b.r. [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <http://www.wistec.de/produktbilder/pneumatisch-wickelwelle-spannleiste-1.jpg>

- [15] *Expansion Units* [katalog]. Osnabrück: Vorwald, 2017 [cit. 2020-01-23].
- [16] Uncoiler / Decoiler. In: *ShungDar* [online]. [Changhua City], 2020 [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: https://www.shungdar.com.tw/cs/category/Uncoiler-s-jednm-nebo-dvma-hlavami/Single_Double-Head-Uncoiler.html
- [17] KOCIÁN, Karel. *Brzdy a brzdové ústrojí u osobních automobilů*. Praha, 2010.. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. Vedoucí práce Ing. Tomáš Mičunek.
- [18] REIF, Konrad, ed. *Brakes, brake control and driver assistance systems: function, regulation and components* [online]. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2014 [cit. 2020-01-23]. ISBN 978-3-658-03977-6. Dostupné z: <https://www.springer.com/gp/book/9783658039776>
- [19] ŽIVČÁK, Tomáš. *Brzdy. SPS II* [online]. 2016 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <http://ebooks.webpagestudio.cz/ebooks/knihovna/spsii/Brzdy.html>
- [20] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [21] U9C; Force Transducer; Data sheet; B03812. In: *HBM* [online]. Praha: HBM měřicí technika s.r.o., 2020 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.hbm.cz/wp-content/uploads/B03812.pdf>
- [22] Hliník. *ALFUN: metal service center* [online]. Bruntál: ALFUN a.s., b.r. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/hlinik>
- [23] 411523. *ČSN 41 1523: Ocel 11 523*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [24] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2533-0.
-

- [25] Valivá ložiska. In: *SKF* [online]. Göteborg: SKF, 2019 [cit. 2020-07-11].
Dostupné z: https://www.skf.com/binaries/pub54/Images/0901d1968096351e-Rolling-bearings---17000_1-CS_tcm_54-121486.pdf#cid-121486

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1 – Demonstrátor zdroj: CompoTech PLUS s.r.o. | 15 |
| Obr. 2 - Automated Tape Laying [8]..... | 19 |
| Obr. 3 - Schéma měření pomocí tanečnice..... | 21 |
| Obr. 4 - Schéma měření pomocí snímače síly..... | 22 |
| Obr. 5 - Bezhřídelové upínání [13]..... | 24 |
| Obr. 6 - Pneumatický expanzní hřídel [14] | 25 |
| Obr. 7 - Expanzní čep [15] | 27 |
| Obr. 8 - Schéma paralelogramu..... | 27 |
| Obr. 9 – Uncoiler [16] | 27 |
| Obr. 10 - Druhy bubnových brzd [17]..... | 30 |
| Obr. 11 - Kotoučové brzdy [17] | 31 |
| Obr. 12 - Páska | 34 |
| Obr. 13 - Schéma měření síly | 35 |
| Obr. 14 - Snímač síly [21] | 36 |
| Obr. 15 - Zatížení měřicího hřídele | 37 |
| Obr. 16 - Upínací zařízení | 39 |
| Obr. 17 - Sestava brzdy | 40 |
| Obr. 18 - Rozpěrný váleček..... | 41 |
| Obr. 19 - Brzdové čelisti | 41 |
| Obr. 20 - Brzdový buben..... | 42 |
| Obr. 21 – Hřídel..... | 43 |
| Obr. 22 - Uložení hřídele..... | 44 |



| | |
|---|----|
| Obr. 23 - Zatížení hřídele | 45 |
| Obr. 24 - Průběh momentů na hřídeli | 46 |
| Obr. 25 – Rychloupínací hlava | 50 |
| Obr. 26 - Návrh č. 1 | 51 |
| Obr. 27 - Návrh č. 2 | 51 |
| Obr. 28 - Návrh č. 3 | 52 |
| Obr. 29 - Návrh č. 4 | 53 |
| Obr. 30 – Rám | 54 |
| Obr. 31 - Odvíjecí zařízení zepředu | 56 |
| Obr. 32 – Odvíjecí zařízení zezadu | 57 |
| Obr. 33 - Odvíjecí zařízení na robotu | 57 |
| Obr. 34 - Navíjecí pracoviště firmy Compo Tech PLUS s.r.o. | 58 |

Seznam použitého softwaru

- 1) Autodesk Inventor Professional 2018 (studentská licence)
- 2) Inkscape
- 3) Microsoft Office 365 – Word (studentská licence)

Seznam tabulek

| | |
|---------------------------------|----|
| Tabulka 1 - Používané pásy..... | 33 |
|---------------------------------|----|

Seznam příloh

Textové přílohy

Příloha 1 - Výpočet ohybového napětí hřídele pod pákou

Příloha 2 – výpočet brzdného momentu bubnové brzdy

Výkresová dokumentace

Výrobní výkresy

| | |
|---------------|---------------------|
| BP – 01 – 001 | Bok na straně brzdy |
| BP – 01 – 006 | Pouzdro velké |
| BP – 02 – 001 | Hřídel |
| BP – 04 – 001 | Buben |
| BP – 05 – 003 | Pouzdro |

Sestavné výkresy

| | |
|-------------|-------------------|
| BP – S – 01 | Rám |
| BP – S – 03 | Upínací zařízení |
| BP – S – 05 | Páka |
| BP – S – 10 | Odvíjecí zařízení |

Kusovníky

| | |
|-------------|-------------------|
| BP – K – 01 | Rám |
| BP – K – 03 | Upínací zařízení |
| BP – K – 05 | Páka |
| BP – K – 10 | Odvíjecí zařízení |

Elektronické přílohy

Text práce: BP-Novák.pdf

3D model: BP-S-10.stp

Výrobní výkresy:

- Bok na straně brzdy BP-01-001.pdf
- Pouzdro velké BP-01-006.pdf
- Hřídel BP-02-001.pdf
- Buben BP-04-001.pdf
- Pouzdro BP-05-003.pdf

Sestavné výkresy:

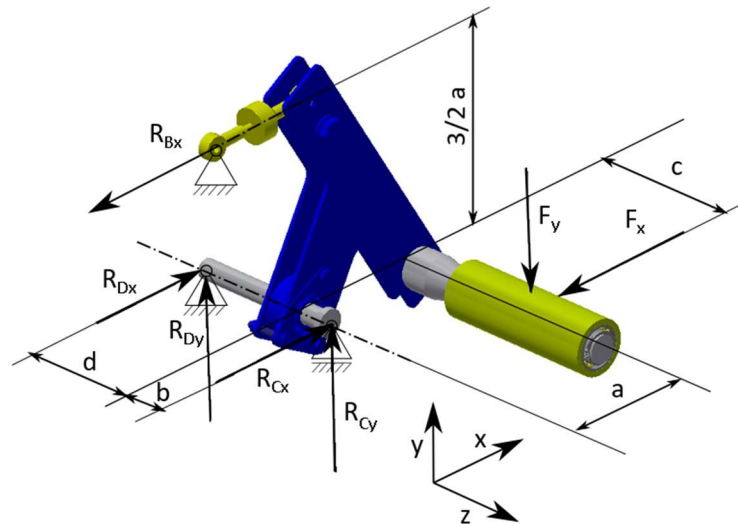
- Rám BP-S-01.pdf
- Upínací zařízení BP-S-03.pdf
- Páka BP-S-05.pdf
- Odvíjecí zařízení BP-S-10.pdf

Kusovníky:

- Rám BP-K-01.pdf
- Upínací zařízení BP-K-03.pdf
- Páka BP-K-05.pdf
- Odvíjecí zařízení BP-K-10.pdf

Textové přílohy

Příloha 1 - Výpočet ohybového napětí hřídele pod pákou



Zatížení páky

$$F_x = 260 \text{ N}$$

$$F_y = 260 \text{ N}$$

$$a = 100 \text{ mm}$$

$$b = 19 \text{ mm}$$

$$c = 103 \text{ mm}$$

$$d = 82 \text{ mm}$$

$$x: \quad -F_x - R_{Bx} + R_{Dx} + R_{Cx} = 0$$

$$y: \quad R_{Dy} + R_{Cy} - F_y = 0$$

$$M_{Dz}: \quad R_{Bx} \cdot \frac{3}{2}a - F_y \cdot a = 0$$

$$M_{Dx}: \quad F_y \cdot (d + c) - R_{Cy} \cdot (d + b) = 0$$

$$M_{Dy}: \quad -F_x \cdot (d + c) + R_{Cx} \cdot (d + b) - R_{Bx} \cdot d = 0^1$$

¹ M_{Dz}

Moment otáčení kolem osy z v bodě D



$$R_{Cy} = F_y \frac{d+c}{d+b} = 260 \frac{82+103}{82+19} = 476 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = \frac{2}{3} F_y = \frac{2}{3} 260 = 173 \text{ N}$$

$$R_{Dy} = F_y - F_y \frac{d+c}{d+b} = 260 - 260 \frac{82+103}{82+19} = -216 \text{ N}$$

$$R_{Cx} = \frac{F_x \cdot (d+c) + R_{Bx} \cdot d}{d+b} = \frac{260 \cdot (82+103) + 173 \cdot 82}{82+19} = 617 \text{ N}$$

$$R_{Dx} = F_x + R_{Bx} - R_{Cx} = 260 + 173 - 617 = -184 \text{ N}$$

Momenty působící na hřídel v místě uložení páky

$$M_y = F_y \cdot c = 260 \cdot 103 = 26\,780 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_x = F_x \cdot c = 260 \cdot 103 = 26\,780 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{oy} = R_{Cy} \cdot b - M_y = 476 \cdot 19 - 26\,780 = -17\,736 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{ox} = R_{Cx} \cdot b - M_x = 617 \cdot 19 - 26\,780 = -15\,057 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_o = \sqrt{M_{oy}^2 + M_{ox}^2} = \sqrt{(-17\,736)^2 + (-15\,057)^2} = 23\,265 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{23\,265}{\frac{\pi \cdot 15^3}{32}} = 70 \text{ MPa}$$

Příloha 2 – výpočet brzdného momentu bubnové brzdy

Tlak: $p = 6 \text{ bar} = 0,6 \text{ MPa}$

Součinitel smykového tření: $f = 0,5 \text{ (ocel – ocel)}$

$h = 77 \text{ mm}$

$b = 30 \text{ mm}$

$d = 125 \text{ mm}$

Průměr vrtání válečku: $d_v = 19,05 \text{ mm}$

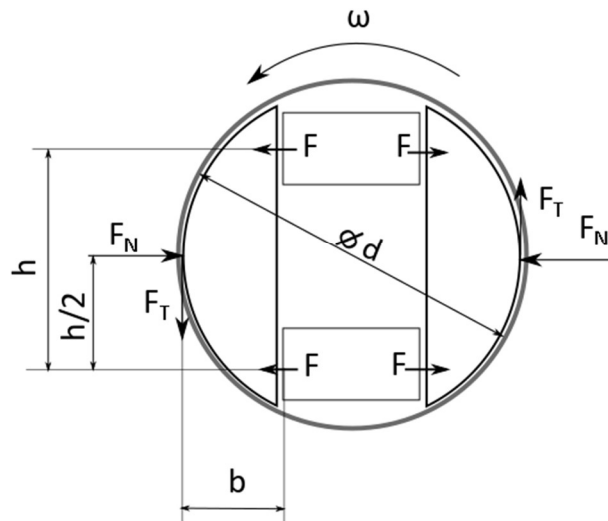


Schéma pro počítání brzdného momentu

$$F_T \cdot b + F \cdot h - F_N \cdot \frac{h}{2} = 0$$

$$F_N = \frac{F_T}{f}$$

$$F_T \cdot b + F \cdot h - \frac{F_T}{f} \cdot \frac{h}{2} = 0$$

$$F = S \cdot p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p = \frac{\pi \cdot 19,05^2}{4} \cdot 0,6 = 171 \text{ N}$$

$$F_T = \frac{F \cdot h}{\frac{h}{2f} - b} = \frac{171 \cdot 77}{\frac{77}{2 \cdot 0,5} - 30} = 280 \text{ N}$$

$$M_T = F_T \cdot d = 280 \cdot 125 = 35\,000 \text{ N} \cdot \text{mm} = 35 \text{ N} \cdot \text{m}$$