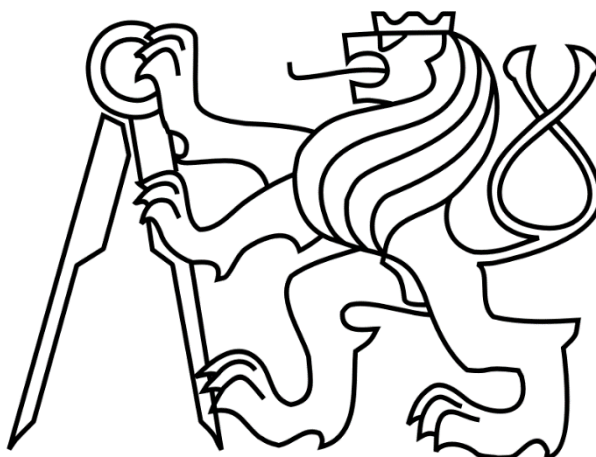


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

Vertikální karuselový sklad rolí s pracovištěm ořezu

2019

Bc. Patrik Jung





Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou 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 21.7.2019

.....

Bc. Patrik Jung



Poděkování

Děkuji doc. Ing. Vladimírovi Andrlíkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při přípravě a vypracování diplomové práce a konzultantovi Milanu Duchkovi z firmy Duratec s.r.o. za technické a konstrukční zkušenosti.

Anotace

Jméno autora:	Bc. Patrik Jung
Název DP:	<i>Vertikální karuselový sklad rolí s pracovištěm ořezu</i>
Rozsah práce:	<i>78 stran, 66 obrázků, 12 tabulek</i>
Akademický rok:	<i>2018/2019</i>
Škola:	<i>ČVUT Fakulta strojní</i>
Ústav:	<i>12135 - Ústav výrobních strojů a zařízení</i>
Vedoucí DP:	<i>doc.Ing. Vladimír Andrlík CSc.</i>
Konzultant:	<i>Milan Duchek</i>
Zadavatel tématu:	<i>Duratec s.r.o.</i>
Využití:	<i>Zařízení bude sloužit ke skladování a ořezu materiálu</i>
Klíčová slova:	<i>Vertikální karuselový sklad rolí, řetězové kolo, lineární vedení, pracovní stůl, tangenciální nůž</i>
Abstrakt:	<p><i>Konstrukční návrh vertikálního karuselového skladu rolí s pracovištěm ořezu. Materiál pro kompozitní výrobu je skladován v rolích. Nachází se v bezprostřední blízkosti pracoviště následného dělení na jednotlivé přířezy. Návrh musí respektovat požadavek na minimální zástavbový prostor a rychlou výměnu pro zpracování. Musí být možnost odvíjení více materiálů současně a tím vytvořit několikanásobné vrstvení. Osnova: Úvod, cíl práce, rešerše, návrhy možných způsobů řešení, výběr, zdůvodnění a konstrukční zpracování optimální varianty včetně pohonů a jejich ovládání, výpočtová část, vizualizace celého pracoviště, zhodnocení; Rozsah grafické části: Zpracování výkresové dokumentace (3D, 2D) na úrovni sestav, podsestav, vybraných výrobních výkresů, kusovník.</i></p>

Annotation

Author:	<i>Bc. Patrik Jung</i>
Title:	<i>Vertical carousels storage rolls with trimming workplace</i>
Extent:	<i>78 pages, 66 figures, 12 tab.</i>
Academic year:	<i>2018/2019</i>
University:	<i>CTU - Faculty of Mechanical Engineering</i>
Department:	<i>12135 - Department of Production Machines and Equipment</i>
Tutor:	<i>doc.Ing. Vladimír Andrlík CSc.</i>
Consultant:	<i>Milan Duchek</i>
Submitter:	<i>Duratec s.r.o.</i>
Application:	<i>The device will be used to store and trim materials</i>
Keywords:	<i>Vertical carousels storage rolls, sprocket wheel, linear guide rail, worktable, tangential knife</i>
Abstract:	<i>Structural design of vertical carousel storage for rolls with trimming workplace. Material for composite production is stored in the rolls. The rolls are located in the immediate vicinity of the subdivision workstation. The design must respect the requirement for minimum build-up space and rapid replacement for processing. There must be a possibility of unwinding more materials at the same time to form multiple layering; Syllabus: Introduction, aim of the thesis, suggestions of possible solutions, selection and design of the optimal variant, computational part, visualization of the whole workplace, evaluation. Scope of graphic part: Processing of drawing documentation (3D, 2D) on the level of assemblies, subassemblies, selected production drawings, bill of material (BOM) .</i>

Obsah

Seznam použitých symbolů, veličin a značek	9
1 Úvod.....	11
2 Zadání	12
2.1 Cíl diplomové práce	13
3 Technologická charakteristika.....	14
3.1 Úvod do problematiky	14
3.1.1 Vertikální karuselové sklady	15
3.1.2 Pracovní stůl s ořezem.....	18
3.1.3 Řezací hlavy a tangenciální nůž.....	20
3.1.4 Průmyslový robot pro zakládání rolí do vertikálního skladu	21
3.2 Dílčí zhodnocení dané problematiky	23
4 Návrh vlastního řešení.....	24
4.1 Návrh v rámci automatizace	24
4.1.1 Návrh č. 1 – Plně automatizované pracoviště.....	24
4.1.2 Návrh č. 2 – Částečně automatizované pracoviště	25
4.1.3 Návrh č. 3 – Pracoviště bez automatizace	26
4.2 Návrh v rámci konstrukce	27
4.2.1 Pohonné ústrojí a konstrukce vertikálního karuselového skladu	27
4.2.2 Pracoviště ořezu	29
4.3 Shrnutí a posouzení vhodnosti navrhovaných řešení.....	32
5 Vlastní řešení.....	34
5.1 Výpočet řetězového kola VKS	35
5.2 Kontrola dopravního řetězu	37
5.3 Stanovení tahu řetězu	40
5.4 Bezpečnostní kontrola dopravního řetězu.....	41
5.5 Pohon celého vertikální karuselového skladu	42



5.6	Řetězový pohon	43
5.6.1	Volba řetězu řetězového pohonu	44
5.7	Rozběh a zastavení vertikálního karuselového skladu	50
5.8	Návrh hnacího hřídele (I)	51
5.9	Kontrola a výběr ložisek	52
5.10	Rám VKS	53
5.11	Řízení pohybu ve VKS	55
5.12	Konstrukce pracovního stolu	56
5.13	Délkové prodloužení a nastavení výšky pracovního stolu	58
5.14	Návrh a výpočet pohybových os pracovního stolu	59
5.14.1	Řezací hlava	63
5.15	Pneumatická přítlačná lišta	63
5.16	Odměřování polohy	65
5.17	Přívod energie a vzduchu	67
6	3D model pracovišť	68
6.1	Vertikální karuselový sklad rolí	68
6.2	Pracoviště ořezu	69
6.3	Vertikální karuselový sklad s pracovištěm ořezu	70
7	Závěr	71

Seznam použitých symbolů, veličin a značek

Označení	Název veličiny	Jednotky
a_i	Skutečná osová vzdálenost	mm
a_i'	Zvolená osová vzdálenost	mm
a_r	Zrychlení	m/s^2
a_z	Zpomalení	m/s^2
b_i	Šířka řetězového kola	mm
C_{dyn}	Dynamická poddajnost	N
d_1	Průměr prodlouženého čepu	mm
d_f	Průměr patní kružnice	mm
d_g	Průměr věnce	mm
d_h	Zvolený minimální průměr hřídele	mm
d_{hmin}	Minimální průměr hřídele	mm
D_i	Průměr roztečné kružnice	mm
F_{gri}	Gravitační síla	N
F_i	Zatížení, Reakce	N
F_{rez}	Řezná síla	N
i_i	Převodový poměr	-
J_{ki}	Moment setrvačnosti	$kg \cdot m^2$
k_d	Bezpečnost proti přetržení při dynamickém zatížení	-
k_s	Bezpečnost proti přetržení při statickém zatížení	-
L_{10h}	Životnost	h
l_{ξ}	Délka čepu	mm
l_q	Délka spojitého zatížení	mm
M_a	Výstupní kroutící moment z převodovky	$N \cdot m$
m_c	Hmotnost tyče s materiálem	kg
M_c	Celkový kroutící moment	$N \cdot m$
M_{ki}	Kroutící moment na hřídeli	$N \cdot m$
M_{kz}	Moment od zátěže	$N \cdot m$
M_o	Ohybový moment	Nm
N	Počet rolí s materiálem	-



η	Účinnost	-
n_i	Otáčky kola	ot/min
P_i	Rozteč řetězu	mm
p_{pera}	Tlak působící na pero	MPa
P_{vozgr}	Zatížení vozíku od gravitační síly	N
P_{voziki}	Zatížení vozíku	N
$P_{vozrezi}$	Zatížení vozíku od řezné síly	N
q	Spojité zatížení	N/m
r_{ei}	Poloměr boku zubu	mm
r_f	Poloměr zubní mezery	mm
T_i	Tažná síla	N
t_{pi}	Hloubka drážky v náboji	mm
t_r	Čas zrychlení	s
t_z	Čas zpomalení	s
v	Zvolená rychlost	m/s
Z	Napínací síla	N
Z_i	Počet zubů	-
λ	Součinitel tření	-
μ	Činitel mazání	-
μ_1	Součinitel tření v kloubech řetězu	-
μ_2	Součinitel čepového tření v ložisku řetězového kola	-
σ_{dov}	Dovolené napětí v ohybu	MPa
φ	Činitel provedení	-
χ	Činitel výkonu	-
α	Úhel otevření	°
τ_{kdov}	Dovolené napětí v krutu	MPa

1 Úvod

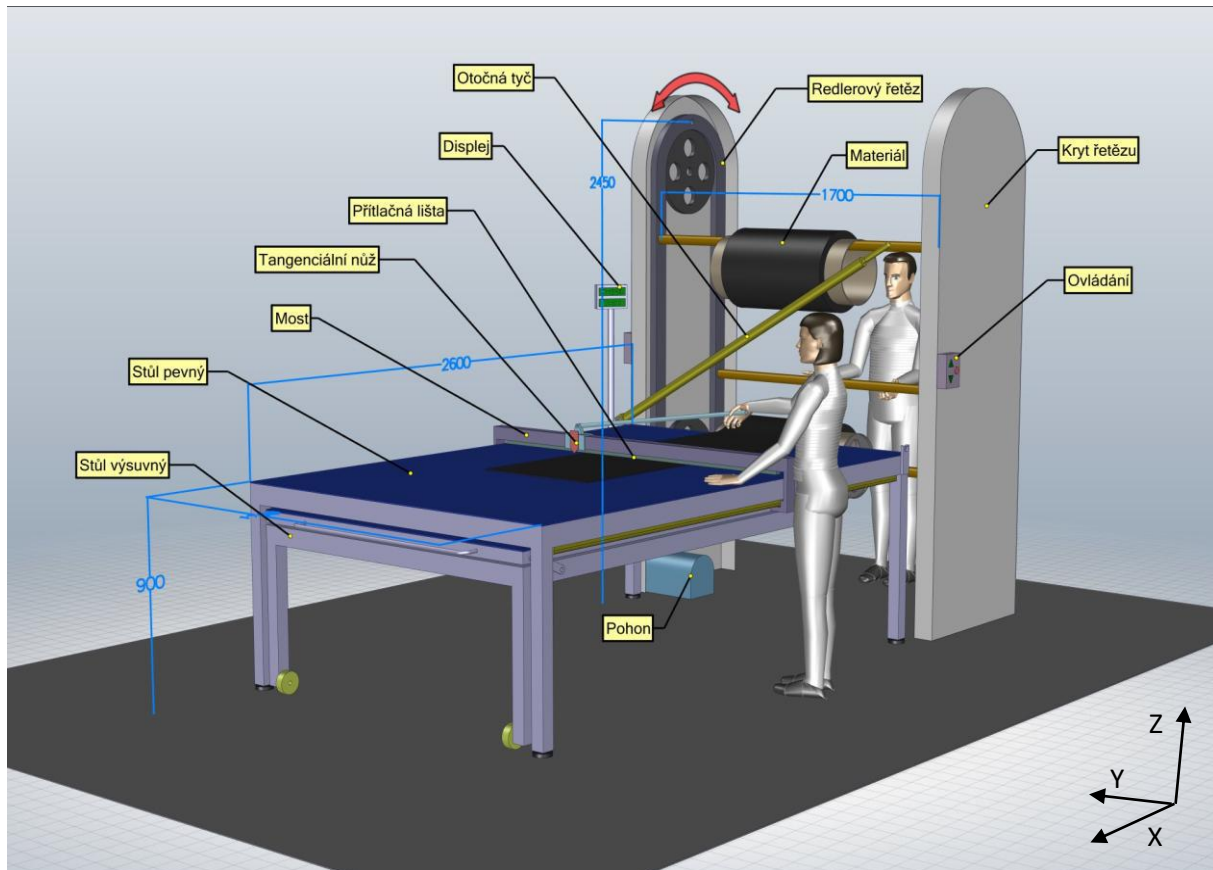
Na oblast skladování jsou v dnešní době kladeny stále vyšší a vyšší nároky jak z hlediska menšího zástavbového prostoru tak i časové náročnosti přípravy daného dílu, následného výdeje obsluze skladu a snadného založení do skladu.

Z výše uvedených důvodů proto firmy využívají vertikální karuselové sklady, které splňují daná kritéria a dají se využít na různé druhy skladování. Tyto sklady umožňují využít výšku haly, kde často bývá nevyužitý prostor. Označení vertikální karuselový sklad ve zkrácené podobě VKS je poněkud zavádějící, jelikož z hlediska konstrukce se jedná o vertikální řetězový zásobník s horizontálním uložením role. V diplomové práci ale tato formulace nebude používána proto, že se v technické literatuře nevyskytuje.

Firma Duratec s.r.o. vznesla požadavek na problémy se skladováním rolí s materiálem a následnou přípravou materiálu v rolích, jelikož aktuálně nemají žádný sklad rolí a tím jejich materiál degraduje. Firma stanovila přesné zadání a požadavky, které sklad rolí s materiálem a pracovištěm ořezu musí splňovat. Celá tato práce je věnována řešením tohoto problému, z důvodu, že žádný výrobce není schopen vyhovět požadavkům, které jsou stanoveny.

2 Zadání

Zařízení je navrženo především pro kompozitní výrobu s potřebou skladování materiálu v rolích a následného dělení na jednotlivé přířezy. Návrh respektuje požadavek na co nejmenší zástavbový prostor a rychlou výměnu materiálu pro zpracování, zároveň umožňuje odvíjení více materiálů současně a tím několikanásobné vrstvení. Předběžný návrh pracoviště s popisy jednotlivých dílů a rozměry je zobrazen na obrázku 1.



Obrázek. 1 - 3D návrh pracoviště

Požadavky:

- Rozměry a hmotnosti rolí např.: uhlíková role: průměr 400 mm
délka 600 mm
hmotnost 30 kg
počet: 4 role
- role folie: průměr 240 mm
délka 1550 mm
hmotnost 50 kg
počet: 8 rolí

- Pracovní délka tyče pro uložení rolí je 1700 mm.
- Tyče s rolemi jsou zavěšeny na držácích umístěných v čepech redlerového řetězu.
- Reverzní elektrický pohon, posun řetězu na straně u stolu nahoru i dolů.
- Role budou zavěšovány buď přímo na dutinku (v tomto případě nejsou vystředěné vůči tyči), nebo se středícím prvkem.
- Ovládání posunu na obou stranách zásobníku.
- Zakládání materiálu v zadní části zásobníku.
- Maximální výška osy tyče pro držení role 2450 mm od podlahy.
- Velikost stolu 2600x1700x900 mm, nohy stavitelné.
- Příkladné vysunutí stolu s délkou 2000 mm.
- Pracovní plocha stolu bude potažena z materiálu DUROCAST o výšce 6 mm.
- Manuálně posuvný most po celé délce stolu (osa X).
- Na mostu bude umístěn tangenciální řezací nůž s manuálním posunem 1600 mm (osa Y).
- Součástí mostu je přítlačná lišta materiálu, která je co nejbližší řezacímu noži, přítlak je řešen mechanicky nebo pneumaticky.
- Nůž je do řezací pozice přítlačen mechanicky nebo pneumaticky, zdvih nože cca 15 mm (osa Z).
- Pozice nože je viditelně zobrazena na displeji (osa X, Y), nulování počátku je možno na obou stranách mostu.
- U všech ovládacích a obslužných prvků bude uvažována obsluha z pravé i levé strany stolu.

2.1 Cíl diplomové práce

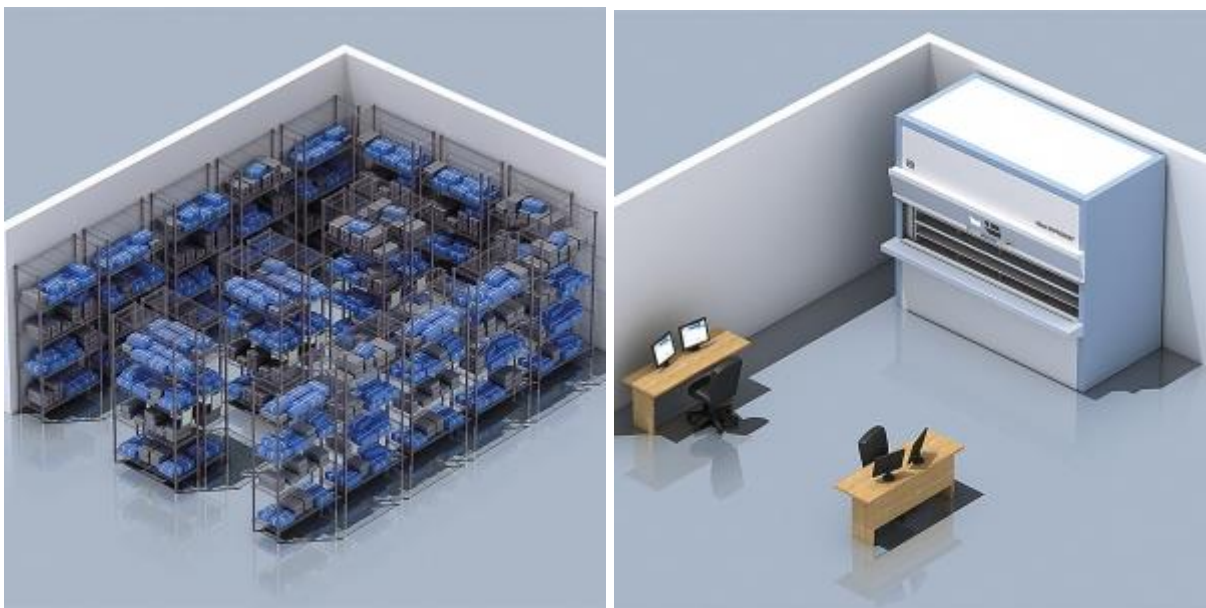
Cílem diplomové práce je vypracovat rešerši, která bude obsahovat možnosti skladování pomocí vertikálních karuselových skladů a následného ořezu materiálu, dále vyhledat firmy, které se daným problémem zabývají a zjistit, jakými způsoby je možné jej řešit a poté se pokusit najít ideální řešení pro daný případ, které by splňovalo všechny zadané podmínky, které uvedla firma Duratec. Cílem je také provést konstrukční výpočty celé konstrukce stroje a pracovního stolu, navrhnout jednotlivé pohony os stolu a skladu rolí, vytvořit 3D model celého pracoviště a vypracovat výkresovou dokumentaci, která následně bude sloužit k sestavení dílu a posléze uvedení celého pracoviště do provozu.

3 Technologická charakteristika

3.1 Úvod do problematiky

Tato část diplomové práce je věnována řešerši na téma vertikálních karuselových skladů. Zde je uveden princip, jak sklady fungují, jejich výhody a české i zahraniční výrobce.

Vertikální karuselové sklady jsou v dnešní době velmi rozšířené z důvodu mnoha výhod, které poskytují. Hlavní výhodou je minimální zástavbový prostor, jelikož to, co by se skladovalo plošně, je možné v tomto případě přesunout do výšky, kde má většina firem nevyužitý prostor. Firma Modula uvádí, že je možné tímto způsobem ušetřit až 90 % plochy, které by jinak zabíraly desítky regálů, což ve velkých halách může znamenat stovky čtverečních metrů [1]. Nejlépe je to znázorněno na obrázku 2. Na levém obrázku jsou vyskládány modré boxy se součástkami, a to samé množství je také umístěno do vertikálního karuselového skladu, aby bylo patrné názorné srovnání, jaká úspora zástavbových prostor může být.

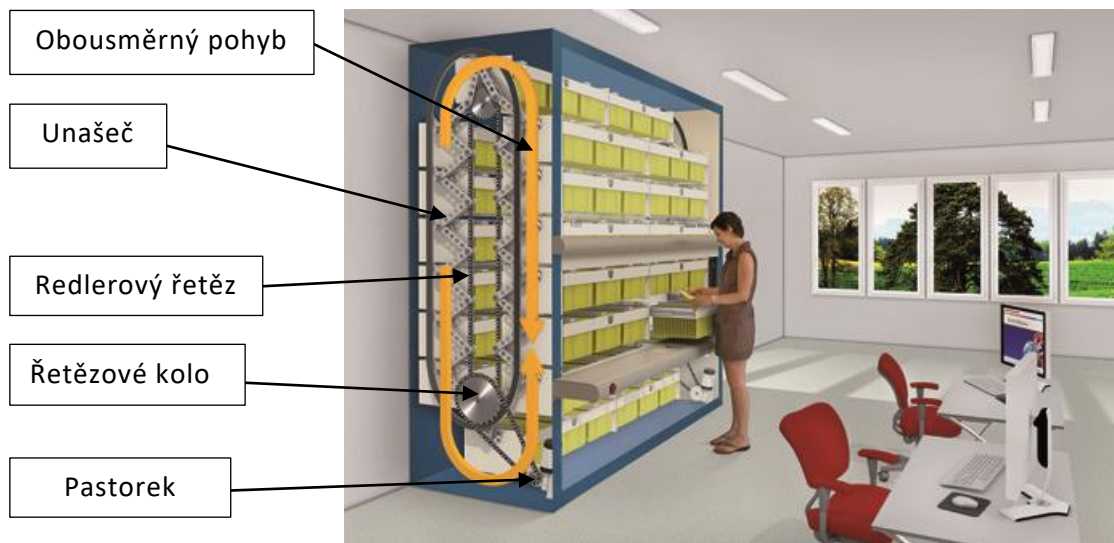


Obrázek 2 - Porovnání zástavbových prostor [1]

Další výhodou je rychlost, kterou je sklad schopen připravit danou součástku k výdeji. Sklad funguje na principu páternosteru – je tedy schopen se pohybovat konstantní rychlostí v obou směrech. Výhodou je vysoká přepravní kapacita, energetická nenáročnost a jednoduchá údržba.

Pohonný mechanismus je nejčastěji poháněn elektromotorem, který je spojen s převodovkou pomocí spojky. Mezi řetězovými koly vertikálního karuselového skladu je přenos hnací síly zajištěn pomocí synchronního hřídele, který přenáší rotační pohyb. Obousměrný pohyb a spojení mezi horními a dolními řetězovými koly je zajištěno redlerovým

řetězem. Pohybový systém je zobrazen v částečném řezu vertikálního karuselového skladu na obrázku 3. Tento VKS slouží jako kartotéka.

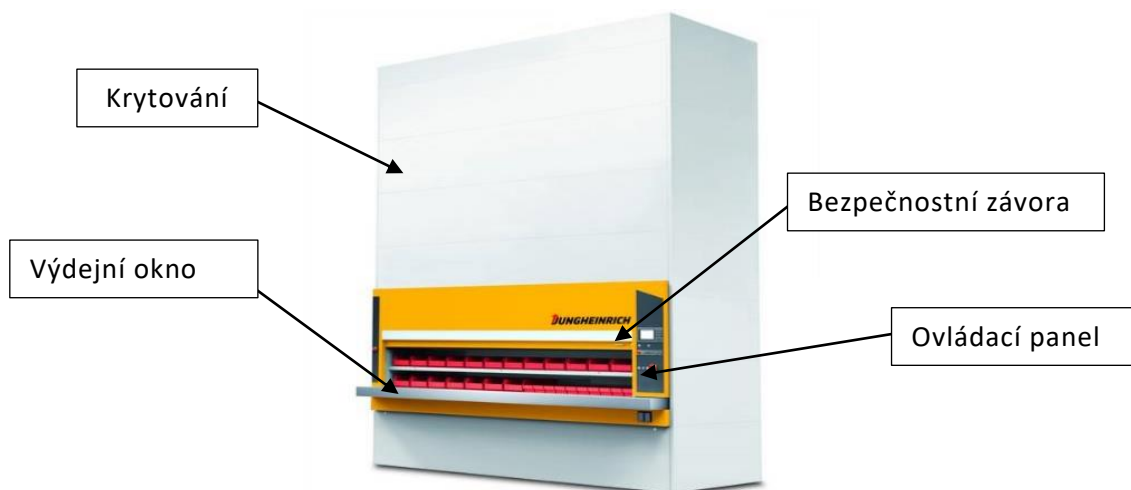


Obrázek 3 - Znárodnění pohybu VKS [2]

K hlavnímu řetězu jsou připevněny unašeče a zásobníky. Sklad může sloužit k ukládání různých druhů součástek. Stačí pouze specifikovat k jakým účelům má sloužit a výrobce daný sklad vyrobí. Rozměry se odvíjí od požadavků zákazníka. Výška může dosahovat až 16 m. Nejčastěji se tento systém využívá k ukládání drobných součástek a dílů např. v automobilovém průmyslu, také k uložení rolí s materiálem a může sloužit i jako kartotéka. Jedinou nevýhodou je, že může vzniknout nevyvážek na jedné straně. V případě, že k tomuto stavu dojde, tak systém okamžitě zareaguje a navrhne ideální řešení, jak zatížení rozložit. [2]

3.1.1 Vertikální karuselové sklady

Výrobou těchto skladů se zabývají české i zahraniční firmy. Na ukázkou je zde několik těchto firem uvedeno. První českou firmou je firma Jungheinrich (Obrázek 4) zabývající se skladovací technikou. Vertikální karuselový zakladač využívá princip páternosteru, tvoří ho nosiče a zásobníky, které jsou přepravovány vždy nejkratší cestou k uživateli. Pomocí ergonomicky umístěného ovládacího okna je automaticky vydáno uskladněné zboží. Aby byla zajištěna bezpečnost při výdeji, je sklad vybaven fotobuňkami, které slouží i ochraně součástek proti odcizení. Vstup je chráněn uzavíratelnými dvířky. Tento sklad pracuje na principu „zboží k člověku“, odpadá čas nutný k přemísťování obsluhy nebo hledání dílů. Obsluha přistoupí k ovládacímu panelu, naskenuje nebo navolí kód zboží a sklad připraví danou součástku k výdeji. [4]



Obrázek 4 - Karuselový sklad firmy Jungheinrich [4]

Druhou českou firmou je Kardex-Remstar. Ta využívá stejného principu skladování jako předchozí firma. Jako zásobníky však používá plechové police, které se dají jednoduše přizpůsobovat požadavkům zákazníka. Pokud se budou skladovat drobné díly, součástky a nástroje budou police vybaveny boxy, tento typ je vhodné využít i v nemocničních zařízeních, kde slouží například k výdeji ložního povlečení. [5]

Ani jedna z výše uvedených firem však neposkytuje možnost ve skladu ukládat role s textilem nebo jiným druhem materiálu, z tohoto důvodu je nutné výrobce hledat v zahraničí.

Americká společnost Southwest-solutions group právě problém s rolemi řeší. Nejčastěji ve skladu najdeme sklolaminátové role nebo role s textilem (Obrázek 5). Systém je z důvodu efektivity a ergonomie velmi výhodný, jelikož se může pohybovat nahoru a dolů a tím si obsluha může připravit materiál do potřebné výšky, kterou potřebuje. Načítání rolí může být plně automatické, kdy se jednotlivým rolím přiřadí číslo a po zadání daného čísla se role nejrychlejší cestou dopraví k obsluze, rovněž může být i využito manuálního ovládání. Do skladu je možné uložit role od průměru 152 mm do 1 118 mm a délky až 4,5 m. Rychlost řetězu s rolemi ve skladu může dosahovat až 6 m/s. [3]

Sklad od této společnosti je možné provozovat s nevyvázkem od 900 – 1 800 kg, celkovou nosností skladu od 5 do 15 tun a maximálním zatížením jednoho unašeče až 1 200 kg. Uvedené hodnoty se však vztahují k jednotlivým sériím, ze které si zákazník dle potřeby vybírá. [3]



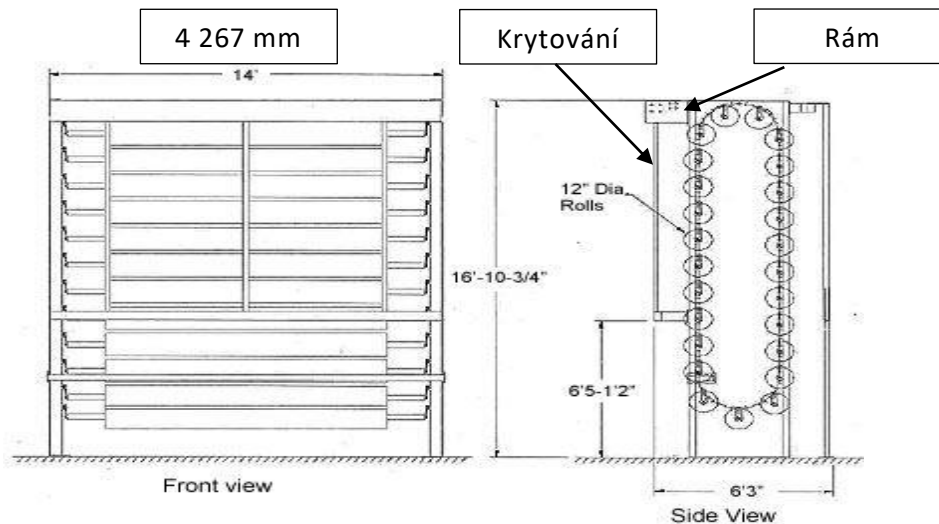
Obrázek 5 - Vertikální karuselový sklad od firmy Southwest – solution [3]

Obdobné řešení poskytuje i firma Vidir. Ta se specializuje na skladování rolí s PVC. Sklad je vybaven patentovým systémem řezání/měření, přetočení, což znamená zpracování přímo z vertikálního karuselového skladu. Opět je vybaven ovládacím panelem, aby se zajistila malá časová náročnost na přípravu. Sklad je také vybaven senzory pro zajištění bezpečnosti obsluhy. Celý tento systém zajišťuje ergonomii pro obsluhu tím, že nemusí manipulovat s těžkými výrobky a sníží se fyzická námaha obsluhy. [6]



Obrázek 6 - Vertikální karuselový sklad rolí od firmy Vidir [6]

Na výběr je několik variant, a to v závislosti na počtu rolí, které sklad pojme. Model R20284-4014-4M je schopen pojmout až 40 rolí s maximální délkou role 4 metry. Rozměry celého skladu jsou poté 7 264 mm na výšku, 4 801 mm na šířku a hloubka je pouze 1092 mm (Obrázek 6). Podobné provedení tentokrát od firmy Southwest - solution (Obrázek 7). Tento sklad pojme 12 rolí s maximální délkou 4 m. [3], [6]

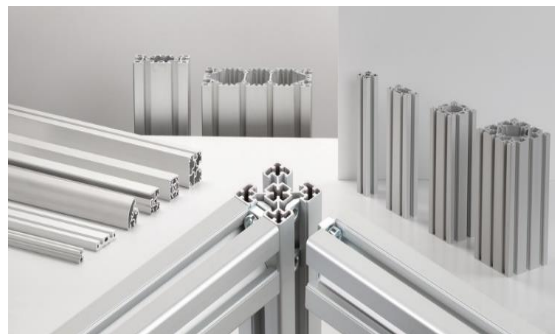


Obrázek 7 - Vertikální karuselový sklad pro 12 rolí od firmy Southwest - solution s rozměry [3]

3.1.2 Pracovní stůl s ořezem

Celá problematika týkající se vertikálního karuselového skladu již zde byla nastíněna a nyní je třeba se zaměřit na druhou část, která bude věnována řešení pracovního stolu s ořezem materiálu. Stůl i nůž však musí splňovat podmínky uvedené v zadání. Nejprve jsou vyhledány firmy, které stoly vyrábí a jakým způsobem řeší celou problematiku. Problematikou je myšleno délkové prodloužení stolu a možnost k němu připevnit řezací hlavu s tangenciálním nožem.

V dnešní době je velký trend stavět různé konstrukce z hliníkových profilů, a to z mnoha důvodů. Hliníkové profily jsou velmi lehké, ale zároveň pevné a relativně tuhé. Celou konstrukci je tedy možné snadno přenést na jiné místo. Profily jsou snadné na manipulaci a jejich drážky zajišťují snadnou smontovatelnost a případnou rozebratelnost (Obrázek 8). K těmto konstrukcím existuje mnoho příslušenství, které lze snadno ke konstrukci namontovat. Česká firma ALUTEC KK se právě zabývá hliníkovým konstrukčním systémem. Je schopna vytvořit různé modulární pracovní stoly dle požadavků zákazníka. Ukázka univerzality hliníkových profilů (Obrázek 9) - stůl je vyroben od firmy Alutec KK a od firmy Suspa jsou namontovány výškově stavitelné patky. [7], [11].



Obrázek 8 - Hliníkové profily [7]



Obrázek 9 - Výškově nastavitelný stůl [7], [11]

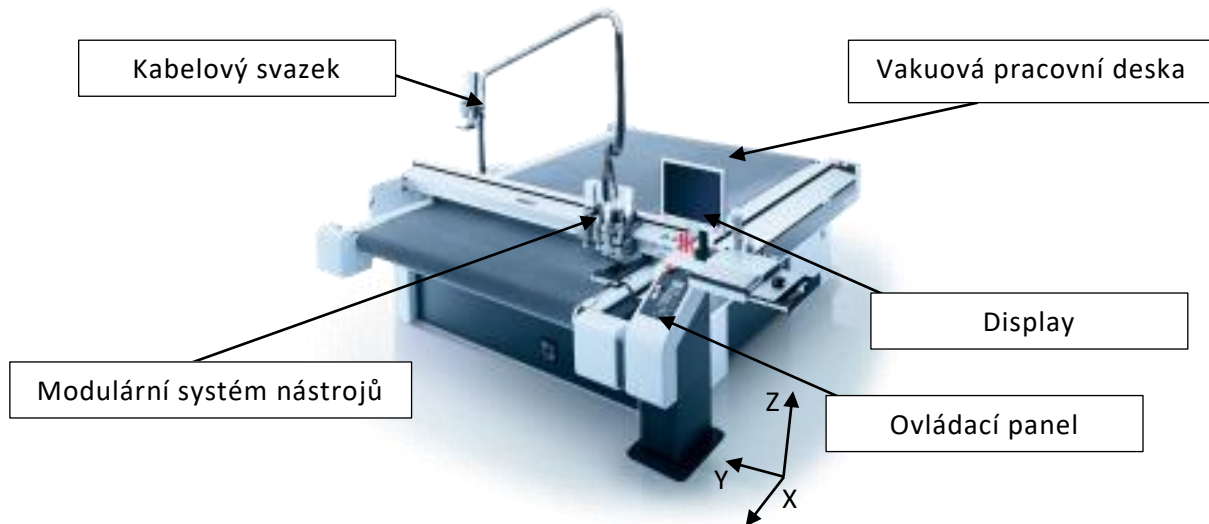
Možností, která se nabízí, je přímo řízený CNC řezací stůl. Nabízí jej firma Zhuoxing (Obrázek 10). Stůl je vybaven odměřováním obou pohybových os, tangenciálním nožem a ovládacím panelem. Stůl je možné délkově prodloužit a zajistit pro řezání dlouhých kusů materiálu. Systém je schopen pracovat s přesností 0,1 mm. Na tomto stroji lze řezat materiál s tloušťkou od 0,1 mm do 55 mm, s maximální rychlostí 1,2m/s. [8]



Obrázek 10 - CNC řezací stroj s tangenciálním nožem [8]

Další firmou, která vyrábí řezací systémy je švýcarská firma Zünd (Obrázek 11). V této kategorii přesných a výkonných obráběcích plotrů je tato firma absolutní světovou špičkou. Hlavní výhodou těchto strojů je univerzálnost a modularita. O pohon se stará kevlarový řemen, který svými vlastnostmi zajišťuje opakovatelnost s přesností $\pm 0,03$ mm. Posun řezaného materiálu v ose X zajišťují elektropohony, které jsou schopny vyvinout sílu až 250 N. Pro uchycení materiálu jsou využívány vakuové upínací pracovní desky. Tyto plotry nabízejí velmi snadnou a rychlou výměnu nástroje a jejich následné nastavení. K řezací hlavě je možné připojit modul až s 12 dalšími nástroji. Na plotru je možné zpracovávat jak deskové, tak také flexibilní rolové materiály. Na plotru je možné zpracovávat jak deskové, tak také flexibilní

rolové materiály. Pro zpracování rolových materiálů je třeba k plotru připojit odvíjecí jednotku, která může být buď univerzální, umožňující odvíjení z dutinek nebo s vlastní hřídelí. Pro zpracování deskových materiálů, jejichž délka přesahuje rozměry pracovního stolu, je možné k plotru na obou jeho kratších stranách připojit ještě pomocné přídavné stoly. Bezpečnost je zajištěna čtyřmi bezpečnostními vypínači a světelnou závorou. [9]

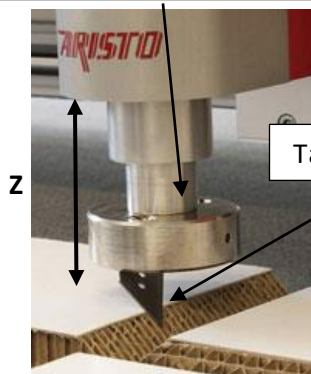


Obrázek 11 - Řezací plotr G3 od firmy Zünd [9]

3.1.3 Řezací hlavy a tangenciální nůž

Nejdůležitější součástí celého pracoviště ořezu je řezací hlava s tangenciálním nožem. I zde je několik variant, které lze použít. Firma Aristo nabízí nástrojové hlavy pro různé aplikace jako jsou CNC frézování, CNC řezání plazmou a také řezání na plotru. K řezání kompozitního materiálu lze použít dva druhy řezacích hlav. Standardní nebo duální řezací hlava je primárně určená pro aplikace ve výrobě reklamy a sítotisku. Díky tangenciálnímu natáčení nože a elektronicky regulovatelnému přítlaku tato hlava zpracuje široké spektrum materiálů jako jsou vinylové a jiné fólie (Obrázek 12). Pro materiály, které mají být v jednom pracovním procesu nařezány a zároveň prořezány. Názvosloví je převzato z angličtiny a vychází z těchto slov kisscutting a diecutting. Pro tyto účely je nabízena duální řezací hlava, která disponuje možností nastavit dvě hloubky řezu. Pokud však budeme potřebovat řezat pevné a tuhé materiály, je zapotřebí mít vyšší přítlak na nůž. Nezbytná přítlačná síla je vytvářena tlakem stlačeného vzduchu a je přesně nastavitelná podle požadovaného materiálu. Díky tangenciálně natáčenému noži je dosahováno vysoké výrobní kvality řezných hran. Pneumatická řezací hlava umožňuje nastavení hloubky řezu pro nařezávání i řezání (Obrázek 13). [10]

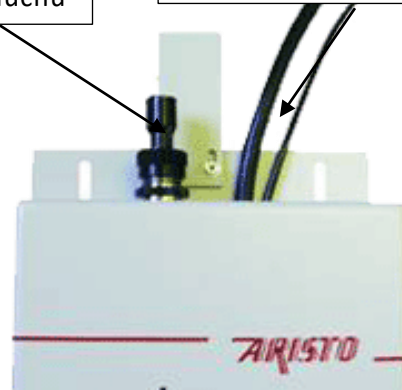
Pneumatically adjustable Z-axis lift



Obrázek 12 - Nástrojová hlava pro šikmý řez [10]

Air supply

Power supply



Obrázek 13 - Pneumatická řezací hlava od firmy Aristo [10]

Tangenciální nůž je nástroj, který je podobný soustružnickému noži. Nůž má určitou geometrii. Geometrie je dána úhlem ostří nože, který si lze zvolit podle požadavku a k jakým operacím je určen. Nejčastěji se setkáme s úhlem 35° , ale existují také s úhlem $45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ anebo další vyrobené na zakázku. Dalším parametrem je rozsah offsetu. Pro nože Roland s úhlem ostří 45° je tento rozsah $0,25 - 1$ mm. Na obrázku 14 jsou znázorněny nože od firmy Roland s příslušným úhlem ostří a s offsetem $0,25$ mm. Úhel ostří 30° se využívá k řezání silných materiálů jako jsou tkaniny a PVC, úhel ostří 45° je univerzální pro běžné řezání a úhel ostří 60° se používá pro velmi tenké materiály jako jsou fólie. [12]

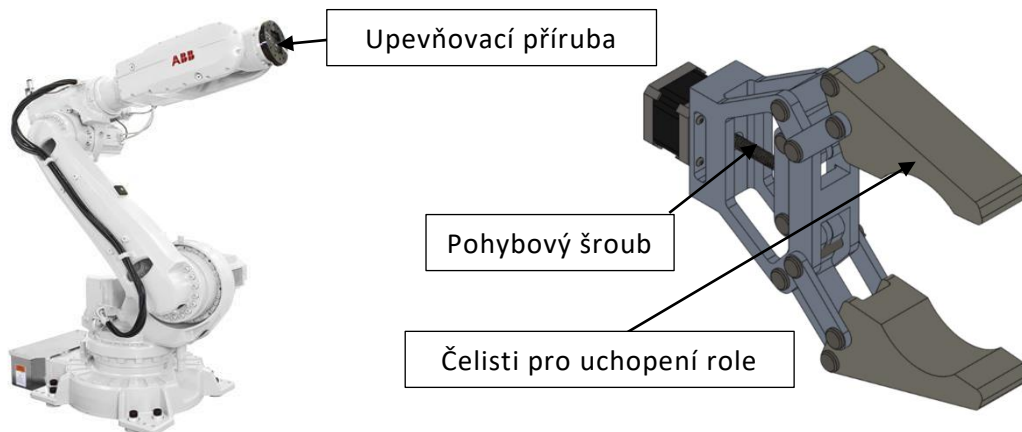


Obrázek 14 - Tangenciální nože [12]

3.1.4 Průmyslový robot pro zakládání rolí do vertikálního skladu

Pro částečnou automatizaci a usnadnění manipulace obsluhy s tyčemi, na nichž je materiál v rolích, je možné využít průmyslového robota. V dnešní době Průmyslu 4.0, kdy automatizace hýbe světem, je automatizace nezbytná pro udržení kroku s ostatními výrobci. Jeho úkolem je přenést tyč s materiálem ze skladu, kde budou tyče uloženy, do vertikálního karuselového skladu a naopak. Výrobci průmyslových robotů je mnoho, a proto je výběr vhodného robota pro tento úkon široký. Nejčastěji jsou využívány roboti od známých výrobců jako je Kuka, ABB, Stäubli, Fanuc. [13]

Nároky na tohoto průmyslového robota obsluhující sklad nejsou výjimečné. Maximální hmotnost role s tyčí bude 58 kg. Vzdálenost skladu rolí od paty robota bude přibližně 1,5 m a ta samá vzdálenost bude od vertikálního karuselového skladu. Přesnost není důležitá, a proto postačí ± 1 mm, kterou většina dnešních robotů splňuje a požadavek na rychlost také není důležitý, jelikož se se nejedná o sériovou výrobu. [13]



Obrázek 15 - Průmyslový robot IRB 6620 [13]

Obrázek 16 - Úchopná hlavice pro role materiálu

Na základě požadavků je možné zvolit průmyslového robota od firmy Fanuc. Podle parametrů je vhodný robot z řady M-900. Jde o model M-900iA/150P, šestiosý robot je určený k montáži a manipulaci. Dosah je 3507 mm a užitečná hmotnost 130 kg. Od firmy Kuka splňoval parametry pouze jeden robot, a to KR Quantec extra. Jeho největší výhodou je hodnota délky údržbového intervalu, která je výrobcem udávána a činí 20 000 hodin. A jako poslední možný kandidát na průmyslového robota je IRB 6620 od firmy ABB (Obrázek 15). Robot je navržen pro automobilový průmysl, jde však o univerzálního robota a lze ho použít i v daném případě. Má vyšší nosnost oproti předchozím robotům a sice 150 kg. Robot by byl vybaven úchopnou hlavicí, která bude schopna uchopit roli s materiálem a přemístit ji z vertikálního karuselového skladu do uložení rolí a z uložení do vertikálního karuselového skladu (Obrázek 16).

Rozdíly mezi vybranými průmyslovými roboty jsou minimální. Roboti disponují 6 pohyblivými osami, nosností až 150 kg a pracovním dosahem až 3 m než dojde k prolomení ramene. Roboti jsou univerzální a lze je vybavit různými uchopovacími hlavicemi, které budou vhodné pro danou výrobu. Tyto roboty lze ukotvit do podlahy, která nemusí být předem speciálně upravena, protože má robot nízkou hmotnost. Další výhodou jsou dlouhé intervaly, po nichž je třeba provést údržbu. Hlavní nevýhodou těchto robotů je především pořizovací cena, která se pohybuje od 1 000 000 Kč do 10 000 000 Kč. [13], [14], [15]

3.2 Dílčí zhodnocení dané problematiky

Tato část práce je věnována shrnutí technologických možností na zadané téma. Vertikální karuselové sklady mají hlavní výhodu v tom, že poskytují malý zástavbový prostor. Celý systém skladu poskytuje možnost skladovat nejen role, ale i mnoho dalších předmětů jako jsou součástky nebo dokumenty. Vynikají také svojí spolehlivostí, bezpečností a snadnou údržbou. Přilehlý pracovní stůl může být složen z hliníkových profilů, které nabízejí mnoho příslušenství a může být doplněn o řezací hlavu s tangenciálním nožem nebo lze vybrat přímo řízený CNC řezací stůl s možností délkového prodloužení. Výhodou CNC řízených stolů je vysoká produktivita. K ulehčení práce obsluhy a ke zvýšení produktivity práce je vhodné použít průmyslové roboty. Výhodou je jejich univerzálnost, přesnost a rychlost. Univerzální průmyslový robot disponuje 6 pohybovými osami a podle potřeby si lze zvolit jakou nosnost a dosah robot bude mít. Nevýhodou je cena, která se pohybuje řádově v milionech korun.

Z informací, které byly uvedené v rešerši je možné navrhnout několik možných řešení celého pracoviště. Návrhy budou zaměřeny nejen na konstrukční problematiku, ale i na případnou automatizaci pracoviště, jelikož ta se stává nedílnou součástí dnešních moderních výrobních firem.

4 Návrh vlastního řešení

Návrh celého řešení je rozložen do dvou částí. V první části budou uvažovány možnosti v rámci automatizace a druhá část se bude skládat z konstrukčních možností a použitých metod pro jednotlivé úkony. Závěrem těchto návrhů bude zhodnocení kladů a záporů daného řešení a následný výběr konkrétního návrhu, který bude splňovat zadané požadavky a bude ideálním kompromisem mezi cenou, časovou a pracovní náročností.

4.1 Návrh v rámci automatizace

4.1.1 Návrh č. 1 – Plně automatizované pracoviště

Plně automatizované pracoviště by bylo navrženo tak, aby bylo zcela samostatné, případně s minimálním zásahem obsluhy. Nepotřebné a prázdné role s materiálem by byly umístěny do konzolového regálu. Obsluhu mezi konzolovým regálem s rolemi a vertikálním karuselovým skladem by zajišťoval průmyslový robot. Robot by byl vybaven speciální uchopovací hlavicí, která bude schopna uchopit tyč s materiálem v jejím těžišti a přemístit a uložit do vertikálního karuselového skladu. Po bezpečném uložení tyče s materiálem do VKS najede nejrychlejší cestou na pozici těsně nad pracovní stůl (Obrázek 17). Tímto způsobem bude materiál připraven k odvinutí do pracoviště ořezu. VKS bude vybaven ovládacím panelem a fotobuňkami, aby nedošlo ke zranění obsluhy.

Celé pracoviště ořezu by bylo řešeno pomocí CNC řezacího stroje, který by byl propojen s VKS pomocí PLC řízení. Materiál by byl pomocí vakua přitažen k pracovnímu pásu, ten se bude pohybovat dopředu a odvíjet materiál až na požadovanou délku. Poté naprogramovaná řezací hlava s tangenciálním nožem s možností pohybovat se ve 3 osách, vyřeže požadovaný tvar s danými rozměry. Samozřejmě by byl stůl vybaven přesným odměřováním a bezpečnostními čidly. Pracovní stůl by byl také elektricky výškově a délkově nastavitelný. Tato varianta je však velmi cenově nákladná především z důvodu použití průmyslového robota.



Obrázek 17 – Pracoviště ořezu se samo odvíjením materiálu z VKS [23], [9]

4.1.2 Návrh č. 2 – Částečně automatizované pracoviště

Tento návrh by byl bez použití průmyslového robota, kterého by nahradila manuální práce obsluhy. Z důvodu vysoké hmotnosti role s materiálem by pro přesun museli být zapotřebí dva pracovníci, kteří by ji přesunuli z konzolového regálu do vertikálního karuselového skladu (Obrázek 18). Princip uchycení ve vertikálním karuselovém skladu by byl identický jako u předchozího návrhu. VKS by byl ovládán obsluhou pomocí ovládacího panelu. Pracoviště ořezu by mohlo opět obsahovat CNC řízený řezací stůl (Obrázek 19) anebo by mohl být nahrazen stolem vyrobeným z hliníkových profilů. Stůl by byl složen ze čtyř hlavních stojek spojených mezi sebou spojovacími profily. Stojky by obsahovaly teleskopický systém, který by umožňoval nastavení výšky stolu dle potřeby obsluhy. Stůl by byl vybaven i vysouvací částí stolu, která by stůl délkově prodloužila. Po vysunutí by tato část zapadla do připravené drážky, aby byl stůl v jedné rovině. Spojovací profily by byly vybaveny drážkami, do kterých je možno zasunout různá příslušenství. V daném případě by to byla přítlačná lišta, na které by byla uchycena řezací hlava. I tento stůl by byl vybaven digitálním odměřováním. Řezací hlavu by bylo možné automaticky řídit. Tato varianta se nachází cenově mezi variantami bez automatizace a s automatizací, jelikož není použit průmyslový robot, ale pouze CNC řízený stůl.



Obrázek 18 – Manuální zakládání rolí s materiálem do skladu [23]

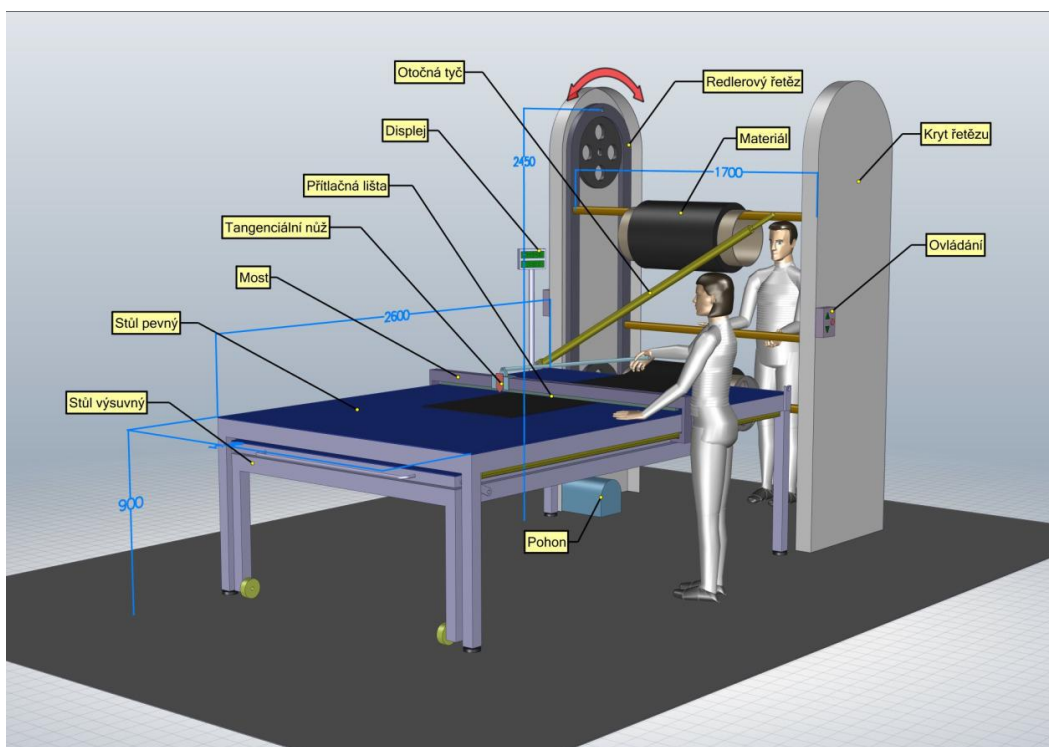


Obrázek 19 – CNC Řízený stůl firmy Zünd [9]

4.1.3 Návrh č. 3 – Pracoviště bez automatizace

V tomto návrhu je předpoklad, že celé pracoviště bude obsluhováno pouze manuálně. Z důvodu hmotnosti role bude opět zakládání do skladu prováděno dvěma pracovníky. Pohyb ve vertikálním karuselovém skladu bude stejný jako u předchozích variant. Obsluha si však manuálně za pomoci ovladače posune roli s materiálem na pozici vhodnou k následnému odvinutí na pracovní stůl.

Stůl bude vybaven pneumatickou nebo mechanickou přitlačnou lištou. Ta slouží k přitlačení materiálu k pracovní desce, aby nedocházelo při řezání k deformaci materiálu. Přitlačná lišta by měla být co nejblíže místu řezání. Ke stolu bude dále upevněn portál, na němž bude připevněna řezací hlava s nožem. Pohyb řezací hlavy na portálu v obou směrech a celého portálu bude prováděn ručně. Výšku nože bude možné nastavit pomocí pneumatiky. Použito bude digitální odměřování, jelikož není nutné mít vysokou přesnost pro řezání materiálu. Postačující přesnost je 1 mm. Nastavení délky a výšky stolu bude prováděno opět ručně. Výška by se nastavovala jednoduchým způsobem, a to pomocí závitových tyčí s maticemi. Délkové nastavení by bylo řešeno vysunutím prodlužovací části stolu a následného zajištění v drážce, která zamezí posun ve vertikálním nebo horizontálním směru. Tato varianta je nejlevnější, protože je většina úkonů prováděna manuálně. Stejně řešení již bylo zobrazeno v zadání této diplomové práce (Obrázek 20).

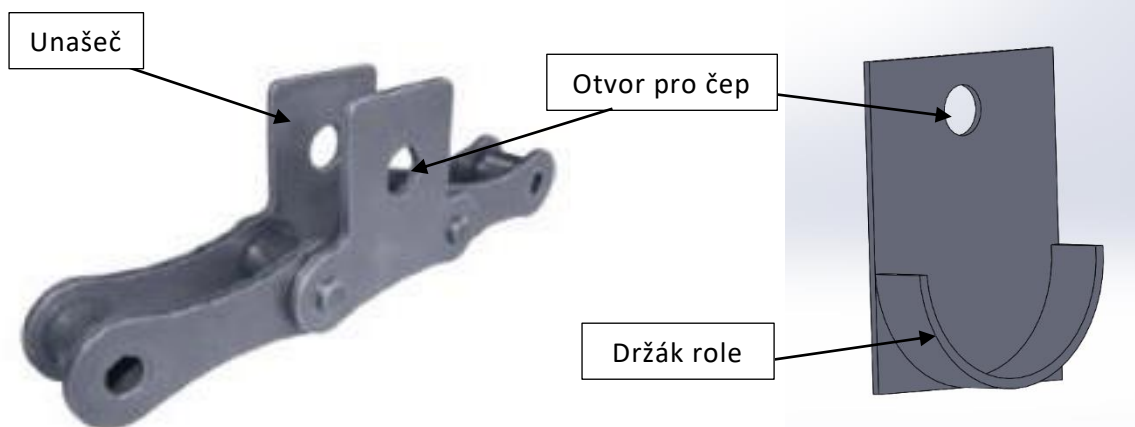


Obrázek 20 - 3D návrh pracoviště

4.2 Návrh v rámci konstrukce

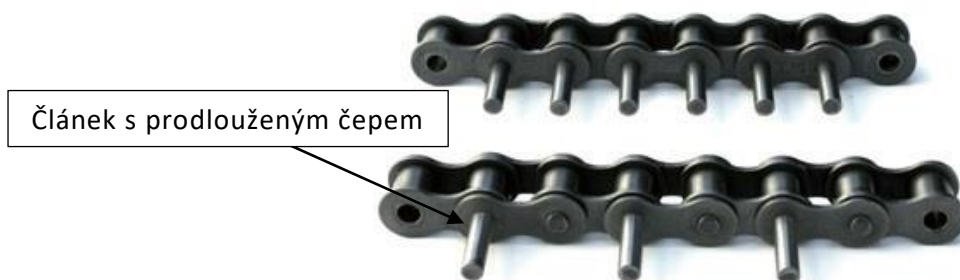
4.2.1 Pohonné ústrojí a konstrukce vertikálního karuselového skladu

Pro pohon celého vertikálního karuselového skladu je jedinou možností využití systému řetězových kol a řetězu. Důvodem je poměrně vysoká celková hmotnost všech rolí s materiálem a také výška VKS, která činí 2450 mm. Další otázkou však je, jak upevnit role s materiálem k řetězu. Výrobce dopravních řetězů nabízí redlerový řetěz s unašeči (Obrázek 21), ke kterému je možné připevnit kazetu, do které se role vloží. Druhou možností je použití dopravního řetězu s prodlouženými čepy (Obrázek 23), kde lze kazetu (Obrázek 22) upevnit přímo na řetěz. U výrobce si lze zvolit po kolika člancích bude článek s prodlouženým čepem. Kazeta upevněna na čepu bude stále směřovat kolmo k podlaze. Stejný princip se využívá u páternosterového výtahu. Druhá varianta je tedy výhodnější z důvodu přímého uchycení k řetězu. U třetí varianty by do unašeče musel být vložen čep, aby bylo dosaženo stejného principu jako u varianty první. Navíc by síla působila mimo osu řetězu, což by mohlo vést k deformaci nebo špatnému vedení vůči řetězovému kolu.



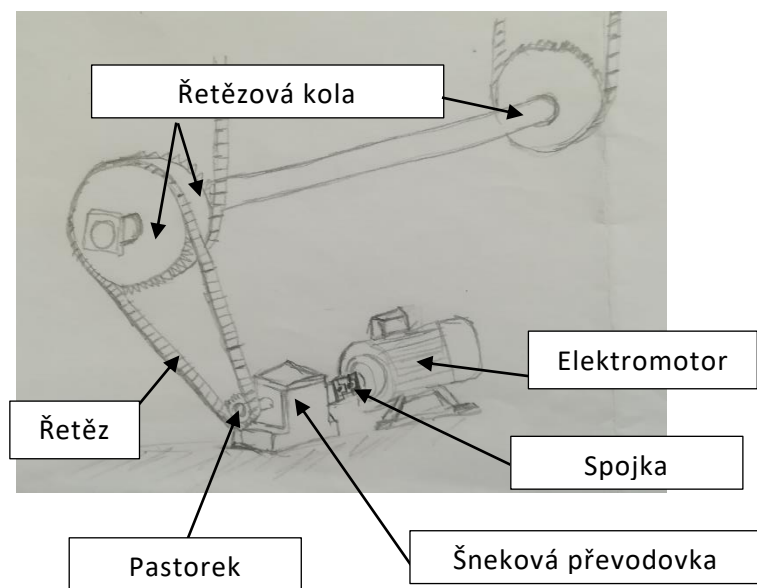
Obrázek 21 - Redlerový řetěz s unašečem [16]

Obrázek 22 - Kazeta pro role s materiálem

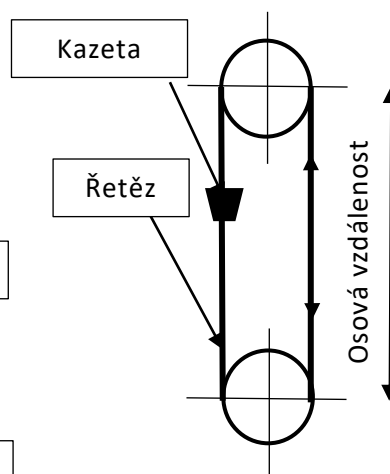


Obrázek 23 – Řetěz s prodlouženými čepy [16]

K roztočení řetězových kol na požadované otáčky bude sloužit asynchronní motor spojený se šnekovou převodovkou a doplněný řetězovým převodem. Asynchronní motor bude použit z důvodu konstrukční jednoduchosti a spolehlivosti. Motor by měl být doplněn frekvenčním měničem pro plynulý rozběh a doběh motoru. Šneková převodovka je nutná z důvodu vysokého převodového poměru, který vzniká mezi otáčkami řetězového kola a otáčkami motoru a samosvornosti. Pohon je doplněn o řetězový nebo řemenový převod tak, aby byly zajištěny minimální zástavbové rozměry. Celý tento mechanismus je popsán a zobrazen na obrázku 24 a obrázku 25. Dále bylo uvažováno i použití asynchronního servomotoru. Hlavní výhodou je vysoká rychlost a vysoký točivý moment. Nevýhodou je náročnost na údržbu, naladění a vysoká cena. Opět by musela být použita šneková převodovka. Z těchto důvodů jsem si vybral možnost s asynchronním motorem s frekvenčním měničem, šnekovou převodovkou a řetězovým převodem. U řetězového převodu nedochází k prokluzu a má účinnost až 98 %.



Obrázek 24 - Zjednodušené schéma pohonu VKS



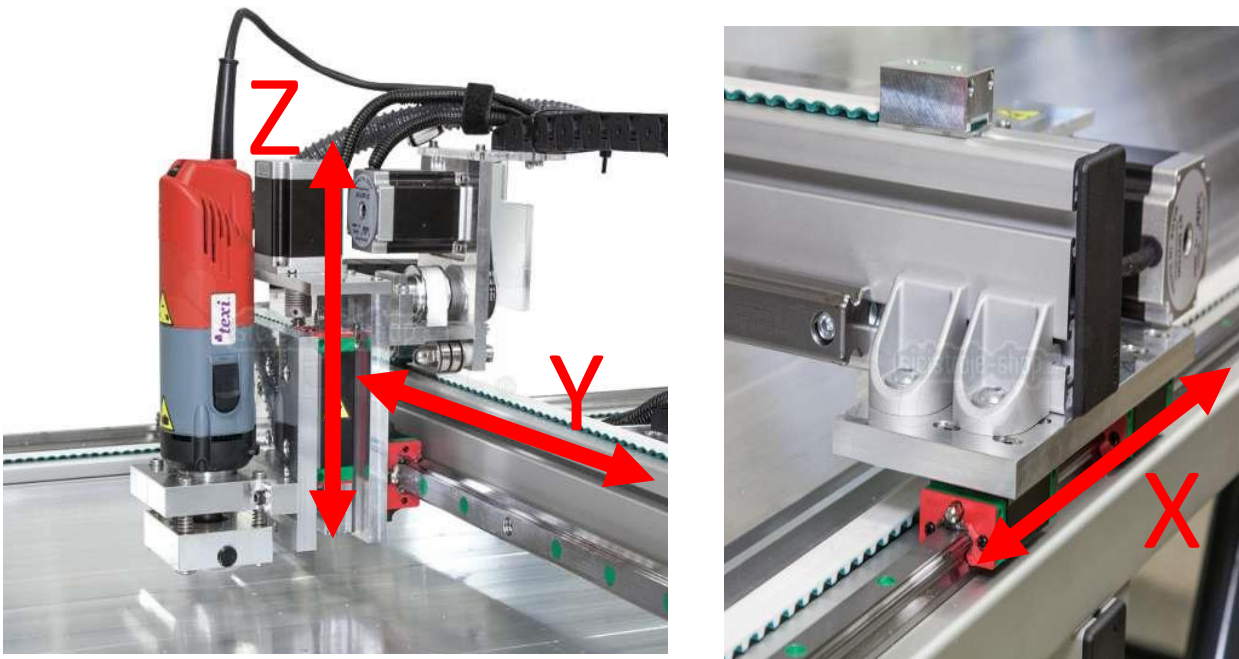
Obrázek 25 – Pohyb materiálu ve VKS (boční pohled)

Celý vertikální karuselový sklad by měl být ovládán za pomoci ovládacího panelu umístěného na rámu VKS. Obsluha může pohybovat materiálem pomocí šipek nahoru a dolů nebo se nabízí možnost očíslovat jednotlivé kazety, do kterých se může role s materiálem umístit. Obsluha by si mohla přepínat mezi automatickým režimem a manuálním režimem. V automatickém režimu obsluha pouze zadá číslo kazety a materiál v ní umístěný, automaticky najede na definovanou pozici. V manuálním režimu bude kazetu s materiálem ovládat pomocí šipek. Druhá varianta je sofistikovanější a ušetří pracovní čas.

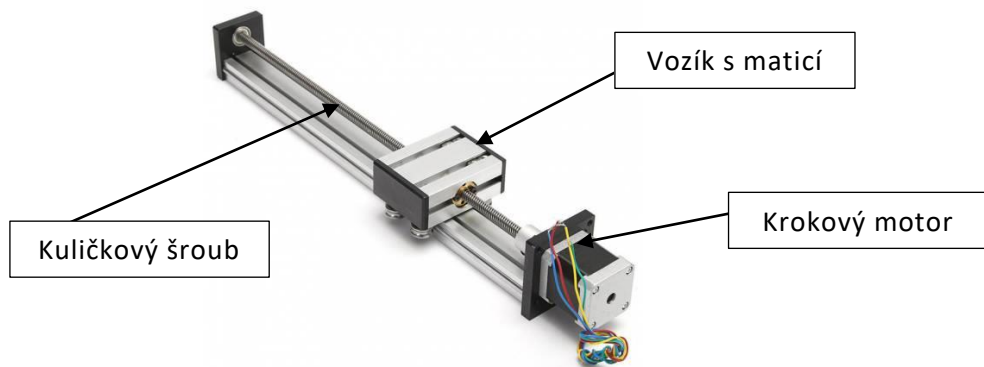
4.2.2 Pracoviště ořezu

Pracoviště ořezu musí splňovat mnoho kritérií na jejichž základě probíhal návrh. První možností byl CNC řízený řezací stůl s elektricky nastavitelnou pracovní výškou a délkou. Toto řešení již bylo řešeno v kapitole 5.1.1 Plně automatizované pracoviště, kde již byly popsány klady i zápory této možnosti. Konstrukci rámu stolu je poté možné sestavit z hliníkových profilů. Stůl nebude zatěžován vysokou hmotností, a tak je tato konstrukce výhodná z důvodu dostatečné tuhosti. Další výhodou, která již byla zmíněna v předchozí kapitole je množství příslušenství, která je možné ke stolu namontovat. Další možností je svařovaná konstrukce stolu. Stůl by mohl být svařen z dutých ocelových profilů. Tato možnost je nejlevnější, ale konstrukce je nerozebíratelná a hmotnost rámu stolu bude vyšší než u hliníkových profilů.

Pohyb jednotlivých os by mohl být řešen několika způsoby. Jako první je pohyb pomocí pastorku, ozubeného hřebenu a lineárního vedení (Obrázek 26). Velkou výhodou je neomezená délka lineárního pohybu. Druhou variantou je pohyb pomocí kuličkových šroubů (Obrázek 27). Kuličkové šrouby by nebyly vhodné pro pohyb jednotlivých os na tomto pracovním stole, protože pořizovací cena je dvojnásobná oproti pastorku s ozubeným hřebenem.



Obrázek 26 – Plošný řezací plotr TEXI [20]



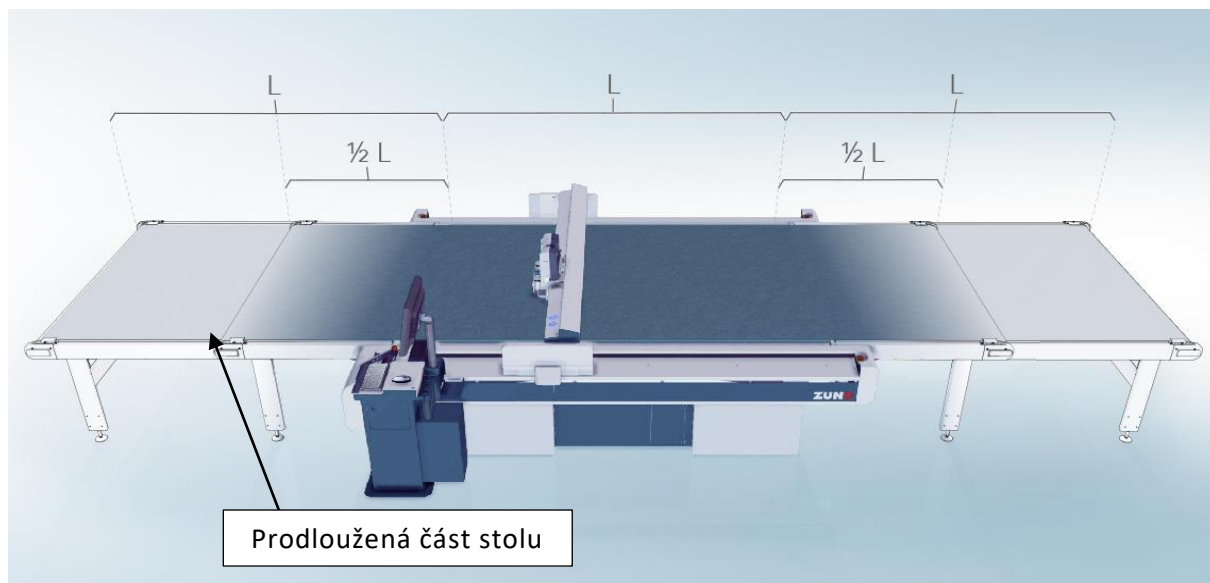
Obrázek 27 – Lineární pohon pomocí kuličkového šroubu [21]

Odměřování je nedílnou součástí při polohování a pohybu jednotlivých os. Při návrhu byla nejdůležitějším hlediskem cena, jelikož přesnost 1 mm v případě ořezu materiálu je dostačující. Lineární magnetické snímače s přesností 0,001 mm jsou tedy naprosto nevhodné. Hlavní podmínkou je, aby nevznikaly příliš velké odřezky. Vybíráno je digitální odměřování (Obr. 28) s nízkou přesností a možností odměřovat délku až 2600 mm



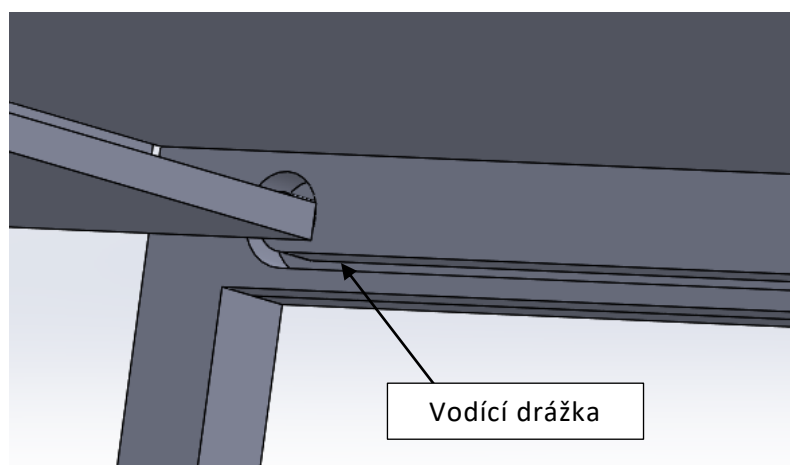
Obrázek 28 – Digitální odměřování [22]

Prodloužení délky stolu se nabízí řešení dvěma způsoby. Oba způsoby však mají pouze dvě pracovní pozice, jelikož z počátečních požadavků je patrné, že není potřeba regulovat délku prodloužení. Stůl bude tedy zcela vysunut nebo zasunut. Prvním způsobem je elektricky ovládané vysouvání a zasouvání. Tento způsob je nabízen firmou ZÜND, která dodává i celý pracovní stůl (Obrázek 29).



Obrázek 29 – Elektrické vysouvání prodloužené části stolu [9]

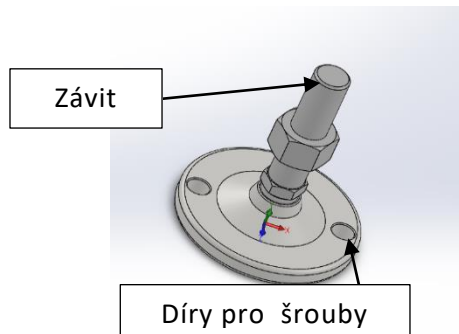
Druhým způsobem je vysouvání prodloužené části stolu manuální (Obrázek 30), kdy pod hlavním stolem bude ukryta prodloužená část a obsluha pomocí madla tuto část vysune. Toto řešení je konstrukčně jednodušší a bezúdržbové.



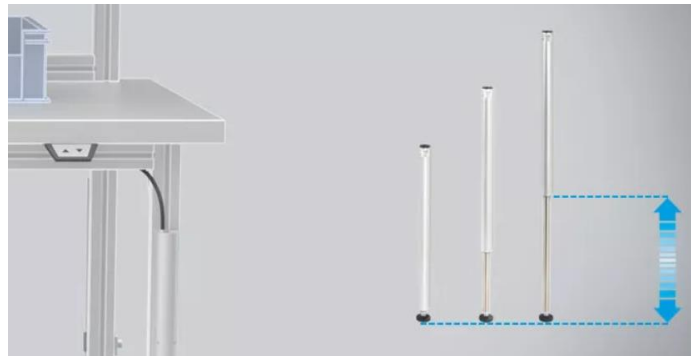
Obrázek 30 – Manuální prodloužení stolu

Pro nastavení výšky stolu lze použít několik možných variant. První variantou je mechanické nastavování. Patka je vybavena závitovou tyčí, maticí a uvnitř nohy stolu je vytvořený závit (Obrázek 31). Při utahování nebo povolování šroubu tak dochází ke zvedání nebo klesání dané nohy. Obsluha musí tento úkon provést u všech nohou stolu, aby se stůl zvedl o stejnou výšku na všech stranách a byl v rovině. Druhou variantou je použití pneumatických válců. Ty jsou součástí každé nohy stolu a po zmáčknutí tlačítka ovládní směrem nahoru nebo dolů se bude stůl rovnoměrně zvedat anebo klesat. Ke stolu tak musí být přivedena vzduchotechnika.

U této varianty je však nutné použití pneumatického zámku, aby nedocházelo k postupnému klesání stolu. Třetí variantou je elektrické zvedání (Obrázek 32). Princip spočívá v elektromotoru, který přenáší rotační pohyb na matici. Poté je již princip shodný s první variantou.



Obrázek 31 - Ustavovací noha stolu



Obrázek 32 – Elektrické nastavování výšky stolu [11]

4.3 Shrnutí a posouzení vhodnosti navrhovaných řešení

V rešeršní části práce byla zhodnocena všechna možná řešení s jejich výhodami a nevýhodami. Na základě těchto výsledků bude vybrána jedna z variant, která bude splňovat stanovené zadání a požadavky firmy. Návrh plně automatizovaného pracoviště není vhodný z důvodu, že firma Duratec s.r.o. se specializuje na výrobu jízdních kol na míru zákazníkovi a jedná se tedy o kusovou výrobu. Tímto způsobem by bylo pracoviště příliš složité na údržbu, ovládání a tím následně i na pracovní čas potřebný k uříznutí daného kusu materiálu. Automatizovaný CNC řezací stroj s tangenciálním nožem je taktéž nevhodný, jelikož při řezání měkkých materiálů jako je folie může docházet ke kroucení materiálu a následnému vzniku zmetkového kusu. V tomto případě je tedy nejlepší volbou ruční ovládání, při kterém může obsluha korigovat případné vlnění materiálu a uzpůsobit tomu rychlost pojezdu. Automatizovaný bude pouze vertikální karuselový sklad, který zkrátí pracovní čas a ulehčí obsluze práci. Toto je shrnutí v rámci části automatizace pracoviště a nyní je druhá část věnována návrhu z hlediska konstrukce.

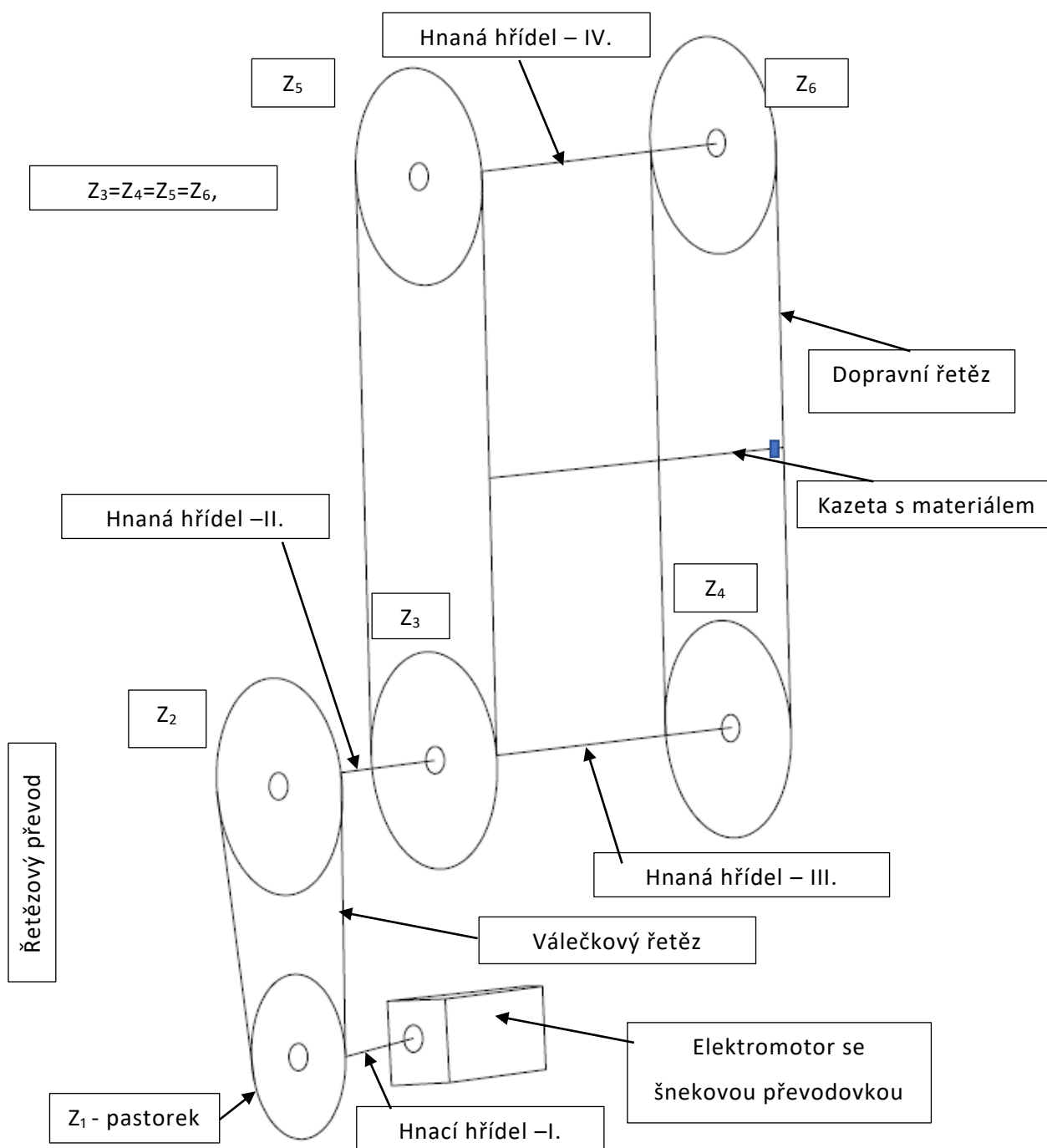
Z důvodu pevnosti a tuhosti a také levného provedení, které by při použití hliníkových profilů nebylo dosaženo, bude konstrukce rámu vertikálního karuselového skladu svařovaná. Celý sklad bude poháněn řetězy s prodlouženými čepy, na kterých budou umístěny kazety pro tyče s materiálem. Roztočení řezových kol, na nichž je řetěz bude, zajištěno asynchronním motorem s frekvenčním měničem spojeným se šnekovou převodovkou a následným řetězovým převodem. Šneková převodovka bude použita z důvodu vysokého převodového poměru mezi otáčkami motoru a řetězového kola. Provedení pracovního stolu může být ve 2 variantách. Stůl



bude konstruován jako v kapitole 4.1.2 Návrh č.2, ale bude manuálně obsluhován. Druhá možná konstrukce stolu by byla nerozebíratelná, stůl by byl svařen z ocelových profilů. Ke stolu by byly přimontovány kolejnice pro lineární vedení, aby se zajistil pohyb řezací hlavy.

5 Vlastní řešení

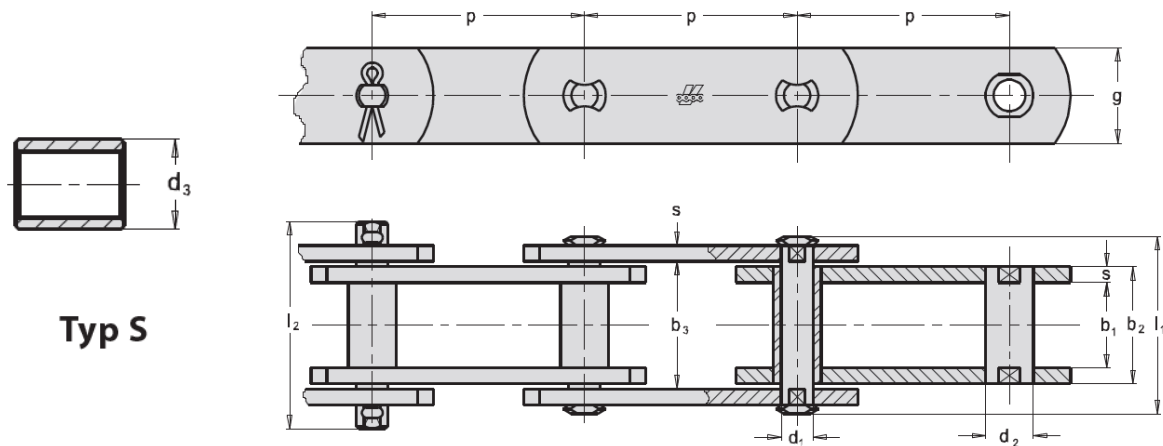
Po zvolení návrhu bylo přistoupeno k výpočtové části, kde byly vypočteny a na dimenzovány jednotlivé části vertikálního karuselového skladu a pracoviště ořezu. Nejprve jsou provedeny výpočty VKS, kde je nutné stanovit velikosti řetězových kol, výkon elektromotoru a další potřebné rozměry. Při výpočtech je postupováno dle doporučení výrobce řetězu. Celé zjednodušené schéma s popisy je zobrazeno na obrázku 33.



Obrázek 33 – Zjednodušené schéma VKS

5.1 Výpočet řetězového kola VKS

K výpočtu řetězového kola je nutné nejprve vybrat vhodný řetěz. Řetěz je vybrán dle normy DIN 8165. Bude též sloužit jako nosný řetěz kazet s tyčemi s materiálem. Byl vybrán řetěz FV 90 s roztečí $P=50$ mm. Další použité rozměry jsou uvedeny a zvýrazněny v tabulce 1.



Typ S

ISO Nor. ISO Nr. ISO St. Cr. ISO	p mm								b ₁ mm min	b ₂ mm max	b ₃ mm min	d ₁ mm	d ₂ mm B	d ₃ mm S	d ₄ mm P	d ₅ mm F	d ₆ mm F	x mm	l ₁ mm max	l ₂ mm max	g mm	s mm	f mm ²	F _g kN min.	F _A kN
FV 40	40	50	63	80	100	125	160	-	18	24,5	25,0	10	15	20	32	40	48	12,5	37	44	26	3	245	40	5,71
FV 63	50	63	80	100	125	160	200	-	22	30,5	31,0	12	18	26	40	50	60	15,5	46	55	30	4	366	63	9,00
FV 90	50	63	80	100	125	160	200	250	25	35,5	36,0	14	20	30	48	63	73	18,5	53	62	35	5	497	90	12,85
FV 112	80	100	125	160	200	250	315	-	30	42,5	43,0	16	22	32	55	72	87	22,0	63	72	40	6	680	112	16,00
FV 140	80	100	125	160	200	250	315	400	35	47,5	48,0	18	26	36	60	80	95	26,0	68	80	45	6	855	140	20,00
FV 180	-	100	125	160	200	250	315	400	45	61,5	62,5	20	30	42	70	100	120	35,0	86	100	50	8	1230	180	25,71
FV 250	-	-	125	160	200	250	315	400	55	72,0	73,0	26	36	50	80	125	145	42,0	98	114	60	8	1870	250	35,71
FV 315	-	-	125	160	200	250	315	400	65	86,0	87,0	30	42	60	90	140	170	50,0	117	133	70	10	2580	315	45,00
FV 400	-	-	-	160	200	250	315	400	70	96,0	97,0	32	44	60	100	150	185	54,0	131	141	70	12	3070	400	57,14
FV 500	-	-	160	200	250	315	400	500	80	106	107	36	50	70	110	160	195	60,0	141	151	80	12	3820	500	71,42
FV 630	-	-	-	200	250	315	400	500	90	116	117	42	56	80	120	170	210	66,0	153	163	100	12	4870	630	90,00

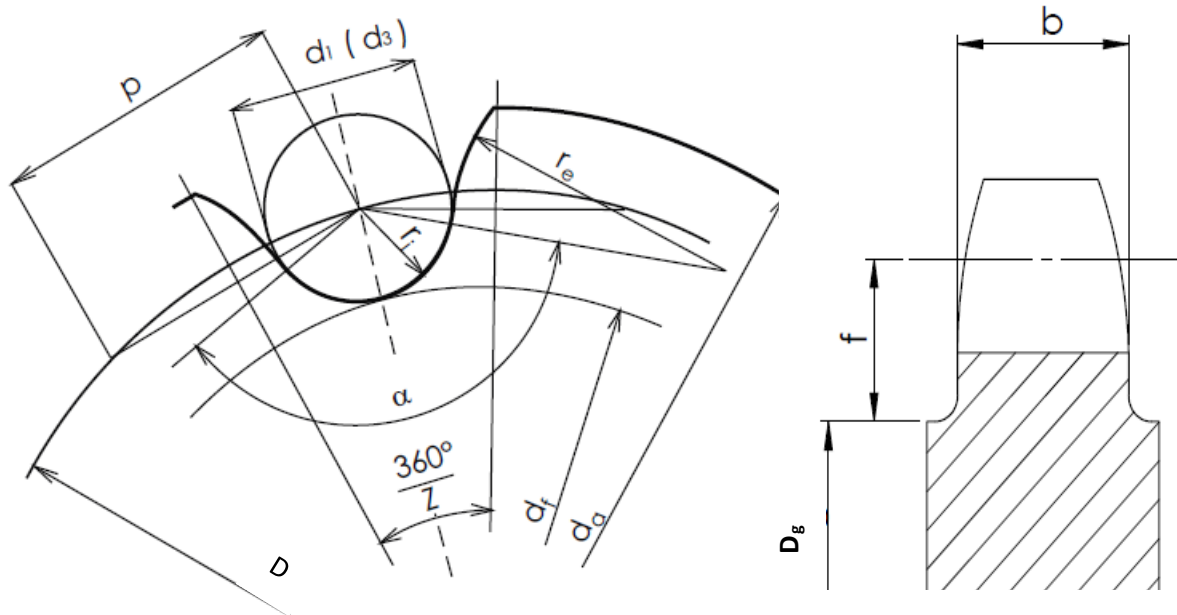
Tabulka 1 - Dopravní řetěz FV s kladkou Typu S [16]

Před výpočtem rozměrů řetězového kola je nutné si zvolit rychlost pohybu tyčí s materiálem ve VKS a počet zubů dopravního řetězového kola. Rychlost byla zvolena $v=0,2$ m/s a počet zubů $Z_3=30$. Tyto rozměry a parametry budou mít i zbylá řetězová kola ve VKS. Označení parametrů je na obr. 34.

Kde: v – zvolená rychlost

D – průměr roztečné kružnice dopravního řetězového kola

Z_3 – počet zubů



Obrázek 34 – Schéma řetězového kola s rozměry [17]

Poloměr roztečné
kola

Obrázek 34 – Schéma řetězového kola s rozměry [17]

kružnice řetězového

$$D = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z_3}\right)} = \frac{50}{\sin\left(\frac{180^\circ}{30}\right)} = 478,34 \text{ mm} \quad (3)$$

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D} = \frac{0,2}{\pi \cdot 478,34} = 8 \text{ ot/min} \quad (4)$$

Poloměr dna zubní mezery

$$r_{fmin} = 0,505 \cdot d_3 = 0,505 \cdot 30 = 15,15 \text{ mm} \quad (5)$$

$$r_{fmax} = 0,505 \cdot d_3 + \sqrt[3]{0,069 \cdot d_3} = 0,505 \cdot 30 + \sqrt[3]{0,069 \cdot 30} = 15,36 \text{ mm} \quad (6)$$

Průměr hlavové kružnice

$$d_{amin} = d + 0,5 \cdot d_3 = 478,34 + 0,5 \cdot 30 = 493,34 \text{ mm} \quad (7)$$

$$d_{amax} = d + 1,25 \cdot P - d_3 = 478,34 + 1,25 \cdot 50 - 30 = 510,34 \text{ mm} \quad (8)$$

Poloměr boku zubu

$$r_{emin} = d + 0,5 \cdot d_3 = 478,34 + 0,5 \cdot 30 = 493,34 \text{ mm} \quad (9)$$

$$r_{max} = d + 0,5 \cdot d_3 = 478,34 + 0,5 \cdot 30 = 493,34 \text{ mm} \quad (10)$$

Průměr patní kružnice

$$d_f = d - 2 \cdot r_{fmin} = 478,34 + 2 \cdot 15,15 = 448,04 \text{ mm} \quad (11)$$

Úhel otevření

$$\alpha = 120 - 2 \cdot \frac{90^\circ}{Z_2} = 120 - 2 \cdot \frac{90^\circ}{30} = 117^\circ \quad (12)$$

Poloměr zaoblení zubu

$$r_j = 1,5 \cdot d_3 = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ mm} \quad (13)$$

Šířka řetězového kola

$$b_{11} = 0,95 \cdot b_1 = 0,95 \cdot 25 = 23,75 \text{ mm} \quad (14)$$

Rozdíl poloměru roztečné kružnice a věnce

$$f = 0,4 \cdot P = 0,4 \cdot 50 = 20 \text{ mm} \quad (15)$$

Největší průměr věnce

$$d_g = d - 2 \cdot f = d - 2 \cdot f = 478,34 - 40 = 438,34 \text{ mm} \quad (16)$$

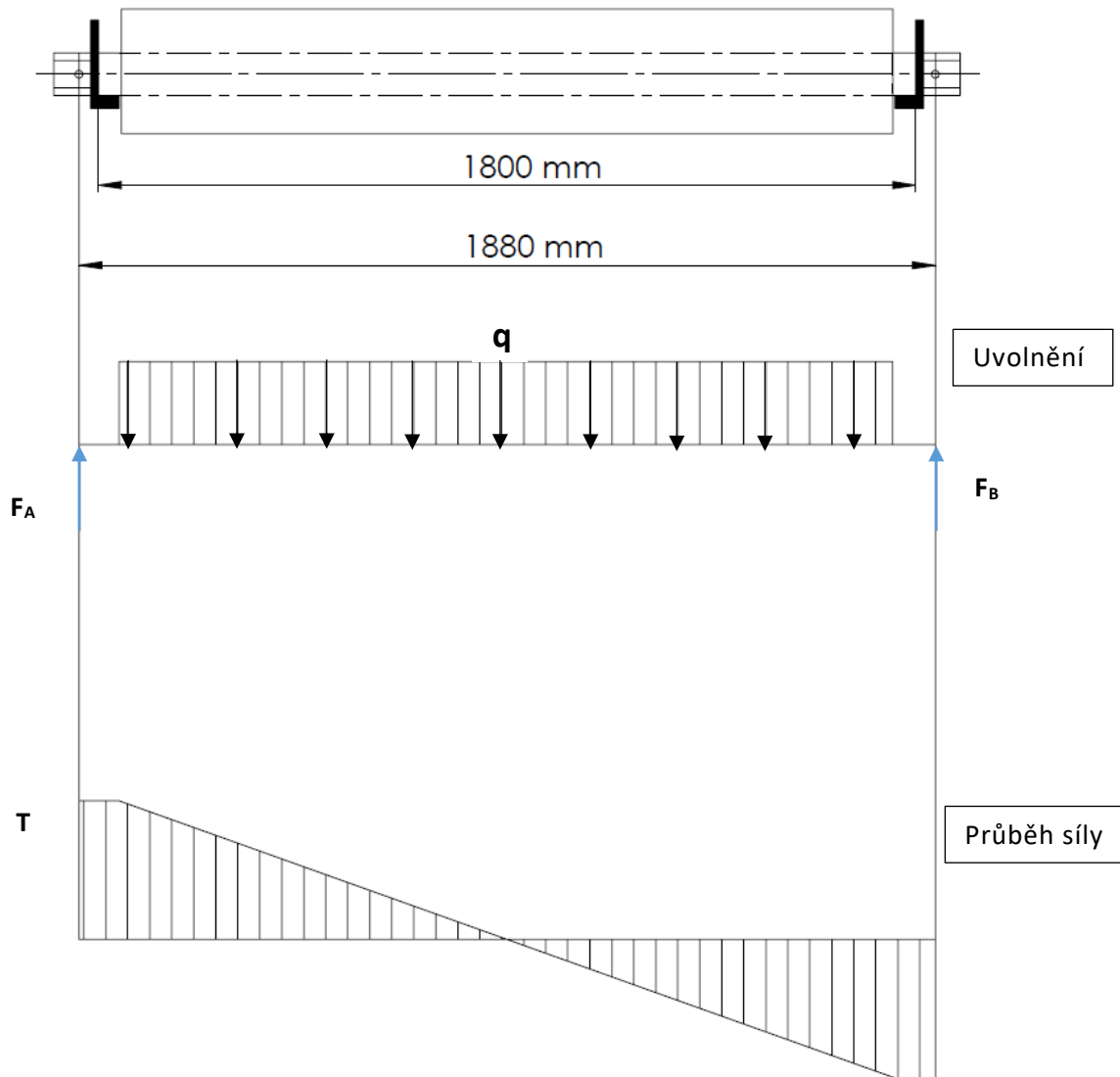
5.2 Kontrola dopravního řetězu

Po zvolení řetězu a výpočtu rozměrů dopravního řetězového kola je nutné provést kontrolu, zda bude řetěz vyhovovat a jak bude namáhán, jelikož budou k řetězu připevněny kazety pro uložení tyčí s materiálem. Do skladu bude možné uložit až 8 rolí a nejtěžší role budou vážit 58 kg. Kazety budou umístěny na člancích s prodlouženými čepy tak, aby nedošlo ke vzájemné kolizi a zároveň aby byl dostatek prostoru mezi rolemi.

Pro výpočet použiji zjednodušený model, ve kterém je uvažováno vetknutí na obou stranách a role s materiálem bude tvořit spojitě zatížený nosník. Toto je schéma zatížení zobrazeno na obrázku 35.

m_c – hmotnost tyče s materiálem

l_q – délka tyče pro spojité zatížení



Obrázek 35 – Schéma zatížení kazety a řetězu s čepem

Ze schématu Obrázek 35 – Schéma zatížení kazety a řetězu s čepem

je poté patrné, že

$$q = \frac{m_c \cdot g}{l_q} = \frac{58 \cdot 9,81}{1,8} = 316,1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \quad (17)$$

síla v obou podporách musí stejná a bude platit tento vztah.

$$F_A = F_B = \frac{q \cdot l_c}{2} = \frac{316,1 \cdot 1,88}{2} = 297,13 \text{ N} \quad (18)$$

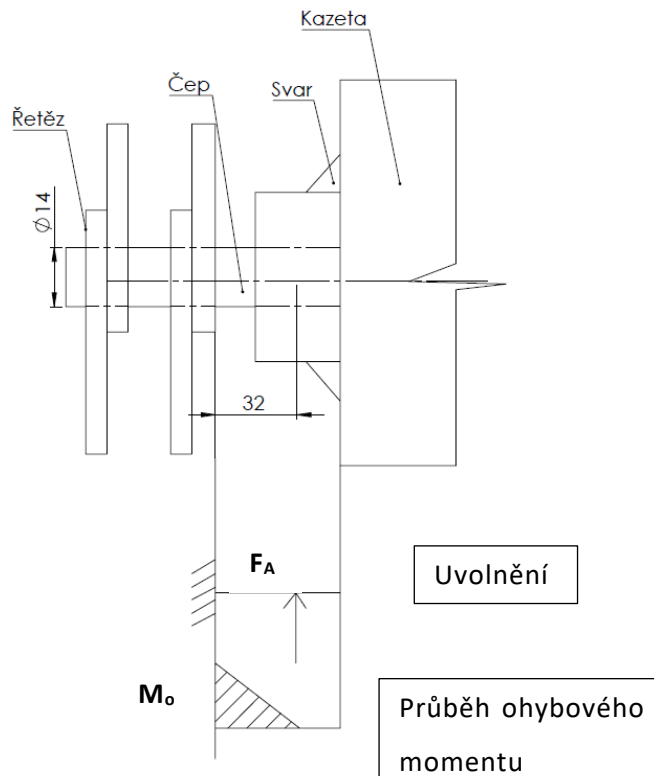
Další kontrolovanou součástí je prodloužený čep, na kterém je zavěšena kazeta (Obrázek 36). Čep bude kontrolován na ohyb. Materiál, ze kterého je čep vyroben, je konstrukční ocel ČSN 11 500. Dovolené napětí v ohybu pro míjivé zatížení je $\sigma_{Do} = 85 \text{ MPa}$. Čep je vyráběn na zakázku. Zvolená délka čepu l_{ξ} je 32 mm.

$$M_o = F_A \cdot l_{\xi} = 297,13 \cdot 0,032 = 9,5 \text{ Nm} \quad (19)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{32}} = \frac{9,5}{\frac{\pi \cdot 0,014^3}{32}} = 35,26 \text{ MPa} < \sigma_{oDo} \quad (20)$$

Kde: M_o – moment od zatížení tyče s materiálem
 d_1 – průměr čepu řetězu

Tato nerovnost platí, jelikož je $35,26 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa}$ a tím je splněna podmínka na ohyb. Po těchto výpočtech je nutné vypočítat tah, který bude v celém dopravním řetězu při maximálním možném zatížení. Ze získaného zatížení lze provést kontrolu proti přetržení při statickém a dynamickém zatížení a na otláčení. [23]



Obrázek 36 – Schéma zatížení čepu

Odpor k překonání dopravní výšky

$$F_1 = N \cdot m_c \cdot g = 8 \cdot 58 \cdot 9,81 = 4551,84 \text{ N} \quad (21)$$

Kde: N – počet rolí s materiálem

m_c – hmotnost tyče s materiálem

Odpor napínací řetězové kladky

$$F_2 = \left(\mu_2 \cdot \frac{d_2}{D} + \mu \cdot \frac{d_1}{D} \right) \cdot Z = \left(0,05 \cdot \frac{0,045}{0,4783} + 0,2 \cdot \frac{0,014}{0,4783} \right) \cdot 800 = 3,88 \text{ N} \quad (22)$$

Kde: μ_2 – součinitel čepového tření v ložisku napínacího řetězového kola

μ – součinitel čepového tření v kloubech řetězu

d_2 – průměr čepu napínacího řetězového kola v ložisku

d_1 – průměr čepu dopravního řetězu

Z – napínací síla

5.3 Stanovení tahu řetězu

Napnutí řetězu

$$T_3 = \frac{Z}{2} = \frac{800}{2} = 400 \text{ N} \quad (23)$$

$$T_2 = T_3 \quad (24)$$

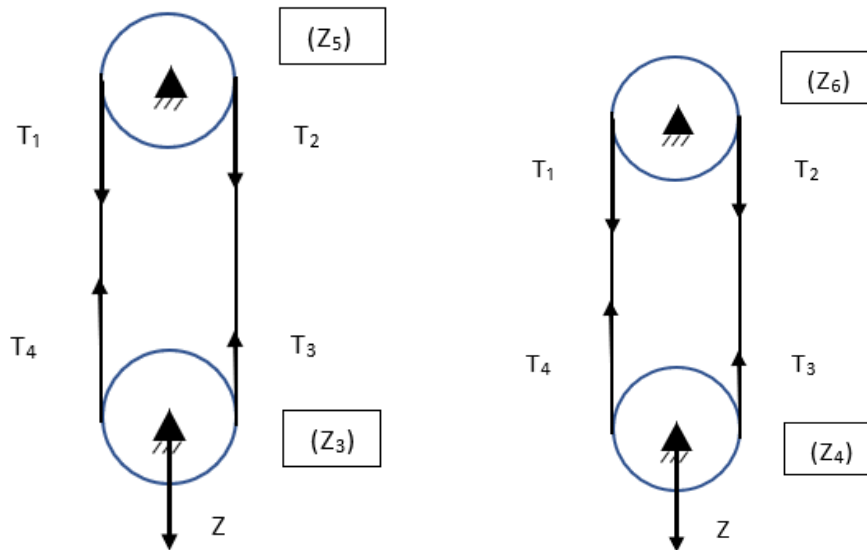
$$T_1 = F_1 + T_4 = 4551,84 + 9,28 = 4961,12 \text{ N} \quad (25)$$

$$T_4 = T_3 + F_2 = 400 + 9,28 = 403,88 \text{ N} \quad (26)$$

Odpor hnací řetězové kladky

$$\begin{aligned} F_3 &= \left(\mu_1 \cdot \frac{d}{D} + \mu \cdot \frac{d_1}{D} \right) \cdot (T_1 + T_2) \\ &= \left(0,05 \cdot \frac{0,1}{0,4783} + 0,2 \cdot \frac{0,014}{0,4783} \right) \cdot (T_1 + T_2) = 56,81 \text{ N} \end{aligned} \quad (27)$$

Z výsledku je patrné, že odpor hnací a hnané kladky je zanedbatelný oproti odporu k překonání dopravní výšky. Kladky však nemusí být použity a mohou být nahrazeny napnutím pomocí šroubů, tedy posunutím hnacího kola v připravené drážce dolů. Působící síly jsou zobrazeny na obrázku 37. [23]



Obrázek 37 - Schéma působení sil v řetězu (boční pohled)

Zvolená osová vzdálenost mezi oběma řetězovými koly ve VKS je 1800 mm. Počet článku je X .

$$X = 2 \cdot \frac{a'}{P} + \frac{Z_3 + Z_5}{2} + \left(\frac{Z_5 - Z_3}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{P}{a'} = 2 \cdot \frac{1800}{50} + \frac{30 + 30}{2} = 100 \quad (28)$$

Kde: P – rozteč dopravního řetězu

a' – zvolená osová vzdálenost

Z_3 – počet zubů řetězového kola Z_3

Z_5 – počet zubů řetězového kola Z_5

5.4 Bezpečnostní kontrola dopravního řetězu

Bezpečnost proti přetržení dopravních řetězů dle normy ČSN 01 4809 zanedbává vliv odstředivé síly do rychlosti $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Uvedené hodnoty jsou střední hodnoty při vzdálenosti os $a = 40 p$. Za nepříznivých podmínek je třeba počítat s přídávky.	Hnací stroje										
	Elektrické motory	Spalovací motory					Vodní turbíny		Parní turbíny	Pístové parní stroje	Transmise hnané (skupinový pohon)
		pomalooběžné		rychloběžné			rychlé	pomalé			
		1 válece	2 válece	do 2 válců	4 válece	6 válců a více					
Dopravníky pro sypký materiál	1,5	3	2,8	2,5	2,2	2				2,8	1,5
Dopravníky pro kusový materiál	2	4	3,5	3	2,7	2					
Zdvihadla	2,5	5	4	3,5	3	2,6					
Vidlicové zdvihací vozíky	3			4,5	3,5						
Důlní rumpály	2,5										
Generátory	velké zařízení		1	2			1,2	1,5	1	1,8	1
	malé zařízení		1,5	2,8			1,7	2,5	1,5	2	1,5
Transmise hnané	1,5			2,3	2	2	2,5	1,5	2,5	1,5	

Tabulka 2 – Činitelé rázu Y [18]

Bezpečnost proti přetržení při statickém zatížení

$$k_s = \frac{F_{pt}}{T_1} = \frac{90000}{4955,73} = 36,21 \geq 7 \quad (29)$$

Bezpečnost proti přetržení při dynamickém zatížení

Kde: Y – činitel rázu (2,5) pro pohon zdvihadel elektromotorem (Tabulka 2)

F_{pt} – maximální síla při přetržení řetězu

$$k_d = \frac{F_{pt}}{T_1 \cdot Y} = \frac{90000}{4955,73 \cdot 2,5} = 14,53 \geq 5 \quad (30)$$

Zvolený dopravní řetěz splňuje bezpečnostní kontrolu proti přetržení při stanovených podmínkách a zatížení.

5.5 Pohon celého vertikální karuselového skladu

Po výpočtu všech zatěžujících sil je možné vypočítat výkon motoru, který bude roztáčet všechna 4 řetězová kola ve VKS. Navrhnout je také nutné převodovku s řetězovým převodem, jelikož musí být zajištěna zvolená rychlost. Celé toto pohonné ústrojí musí splňovat minimální zástavbový prostor, a proto bude umístěno pod pohybující se role s materiálem.

Obvodová síla

$$F = T_1 - T_2 = 4955,73 - 400 = 4555,73 \text{ N} \quad (31)$$

Výkon elektromotoru je závislý nejen na zátěži, ale i na účinnosti převodovky a řetězového převodu.

$$\eta_c = (\eta_p \cdot \eta_r) \cdot 100 = (0,75 \cdot 0,97) = 72,75 \% \quad (32)$$

$$P_{el} = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta_c} = \frac{4555,73 \cdot 0,2}{1000 \cdot 0,7275} = 1,29 \text{ kW} \quad (33)$$

Kde: η_p - teoretická účinnost šnekové převodovky

η_r - teoretická účinnost řetězového převodu

η_c – celková účinnost použitých převodů

P_{el} – výkon elektromotoru

Vybraný elektromotor je DRN90L4 BE5 s výkonem 1,5 kW a jeho další parametry jsou uvedeny v tabulce 3. Motor s vyšším výkonem byl vybrán z důvodu drobné výkonové rezervy a také výrobce nenabízí motor s výkonem 1,3 kW. Tento motor je vybaven brzdou, která je připevněna v zadní části motoru. Tato brzda je stejnosměrně buzená elektromagnetická kotoučová brzda s elektrickým odbrzděním a brzděním pomocí síly pružiny. Při výpadku elektrického proudu zabrzdí VKS, je tak splněn jeden ze základních bezpečnostních prvků.

Brzdný moment M_B je 55 Nm. Frekvenční měnič je též součástí elektromotoru, aby byl zajištěn plynulý rozběh a zastavení VKS.

Jmenovitý moment motoru	M_N	7,5 Nm
Výstupní otáčky motoru	n_M	1455 ot/min
4-pólové provedení		
DRN – patkové provedení, nastavbový motor pro převodovky		

Tabulka 3 – Parametry třífázového elektromotoru DRN90L4 [19]

5.6 Řetězový pohon

Pro zajištění rychlosti pohybu ve VKS je šneková převodovka kombinovaná s řetězovým převodem. Šneková převodovka S 67, kde S je označení šnekové převodovky a 67 určuje její velikost. Zbylé parametry jsou uvedené v tabulce 4. Celý motor i se šnekovou převodovkou je na obrázku 38.

Vstupní otáčky	n_{in}	1455 ot/min
Výstupní otáčky	n_{out}	19 ot/min
Výstupní kroutící moment	M_a	530 Nm
Převodový poměr	i_p	78
Maximální radiální síla na výstupním hřídeli	F_{Rout}	8 570 N

Tabulka 4 – Parametry šnekové převodovky S 67 [19]



Obrázek 38 – Motor se šnekovou převodovkou S67DRN90L4 BE5 [19]

Celkový převodový poměr je nutné rozdělit na převodový poměr šnekové převodovky i_p a řetězového převodu i_r .

$$i_c = \frac{n_M}{n} = \frac{1455}{8} = 181,75 \quad (34)$$

Kde: n_M – jsou otáčky motoru

n – otáčky dopravního řetězového kola

$$i_r = \frac{i_c}{i_p} = \frac{181,75}{78} = 2,34 \quad (35)$$

Ze získaného převodového poměru řetězového převodu lze dopočítat počet zubů pastorku Z_p .

$$Z_p = \frac{Z_2}{i_r} = \frac{30}{2,34} = 12,78 \quad (36)$$

Volím $Z_i = Z_p = 13$, je to i minimální hodnota počtu zubů, kterou zvolit, aby nedošlo k podřezání zubů. Po zvolení je však nutné opět zpětně přepočítat počet otáček dopravního řetězového kola. Důvodem je zaokrouhlení počtu zubů pastorku.

$$i_r = \frac{Z_2}{Z_p} = \frac{30}{13} = 2,31 \quad (37)$$

$$n = \frac{n_M}{i_c} = \frac{1455}{180} = 8,08 \text{ ot/min} \quad (38)$$

Rychlost otáčení bude o něco vyšší, než byla původně navrhovaná, ale hodnota bude zanedbatelná a nebude mít vliv na bezpečnost. Ze získaných hodnot lze vypočítat kroutící moment působící na hnaném hřídeli.

$$M_{kII} = M_a \cdot i_r \cdot \eta_r = 530 \cdot 2,31 \cdot 0,97 = 1186,38 \text{ Nm} \quad (39)$$

Kroutící moment na hřídeli II. je shodný s kroutícím momentem hřídele III.

5.6.1 Volba řetězu řetězového pohonu

Z předchozích výpočtů jsou určeny počty zubů jednotlivých kol i převodové poměry, a proto je možné zvolit vhodný řetěz. Řetěz bude válečkový a podle zatížení může řetěz být jednořadý, dvouřadý nebo třířadý. Při výpočtu postupuji dle doporučení výrobce.

Podle hodnoty diagramového výkonu se určí, zda je navrhovaný řetěz vhodný nebo zda je potřeba provést další návrh. Při návrhu se musí brát v úvahu provozní podmínky, které mohou řetěz ovlivnit. Vybrané hodnoty parametrů jsou v tabulce 5–8.

$$P_D = \frac{P_{el}}{\mu \cdot \varphi \cdot \rho \cdot \chi} = \frac{1,5}{0,6 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,5} = 5,88 \text{ kW} \quad (40)$$

Převodový poměr i	Činitel rázů $Y = 1$ Počet zubů z_1 malého kola					Činitel rázů $Y = 2$ Počet zubů z_1 malého kola					Činitel rázů $Y = 3$ Počet zubů z_1 malého kola					Činitel rázů $Y = 4$ Počet zubů z_1 malého kola				
	13	17	19	21	≥ 25	13	17	19	21	≥ 25	13	17	19	21	≥ 25	13	17	19	21	≥ 25
1	(0,39)	0,73	0,83	0,93	1,11	(0,28)	0,53	0,60	0,67	0,81	(0,24)	0,42	0,52	0,58	0,70	(0,21)	0,34	0,43	0,53	0,64
2	0,50	0,82	0,93	1,04	1,26	(0,36)	0,60	0,68	0,76	0,92	(0,30)	0,50	0,59	0,66	0,80	(0,26)	0,44	0,52	0,61	0,73
3	0,57	0,88	1,00	1,12	1,36	0,42	0,65	0,73	0,82	0,99	(0,35)	0,55	0,63	0,71	0,86	(0,29)	0,51	0,58	0,65	0,79
5	0,64	0,96	1,09	1,22	1,49	0,47	0,71	0,80	0,89	1,09	0,40	0,61	0,69	0,77	0,94	(0,33)	0,57	0,63	0,71	0,86
≥ 7	0,67	1,02	1,15	1,30	1,59	0,49	0,75	0,85	0,95	1,16	0,42	0,64	0,73	0,82	1,00	(0,35)	0,59	0,67	0,75	0,92

 Tabulka 5 – Činitelé výkonu χ [18]

Rozmezí výkonu	Rychlost řetězu v ms^{-1}	Činitelé mazání μ pro			Druhy mazání		
		bez-vadné mazání	nedostatečné mazání bez se-znečištění(m)	bez mazání	vhodné	přípustné	
I	do 4	1	0,6	0,3	0,15	Lehké mazání kapkami, 4 až 14 kapek za min.	Tukové mazání. Ruční mazání.
II	do 7		0,3	0,15	nepřípustné	Ponorné mazání máčením v olejové lázni.	Mazání kapkami, asi 20 kapek za min.
III	do 12		nepřípustné			Tlakové oběžné mazání	Olejová lázeň s odstříkovacím kotoučem.
	přes 12			Mazání olejovou mlhou. Tlakové, oběžné mazání s tryskou pro tvoření nejmenších kapiček. Olejové chlazení je-li žádoucí, upravit!	Tlakové oběžné mazání.		

 Tabulka 6 – Činitelé mazání μ [18]

a	$20 \times p$	$40 \times p$	$80 \times p$	$160 \times p$
p	0,85	1,00	1,15	1,30

 Tabulka 7 – Činitel provedení φ [18]

$\varphi = 1,5$ - pro řetězy dle ČSN 02 3315, DIN 8181, ISO 1275

$\varphi = 1,0$ - pro řetězy dle ČSN 02 3311, ČSN 02 3321, DIN 8187, DIN 8188, ISO R 606

$\varphi = 0,8$ - pro ostatní řetězy

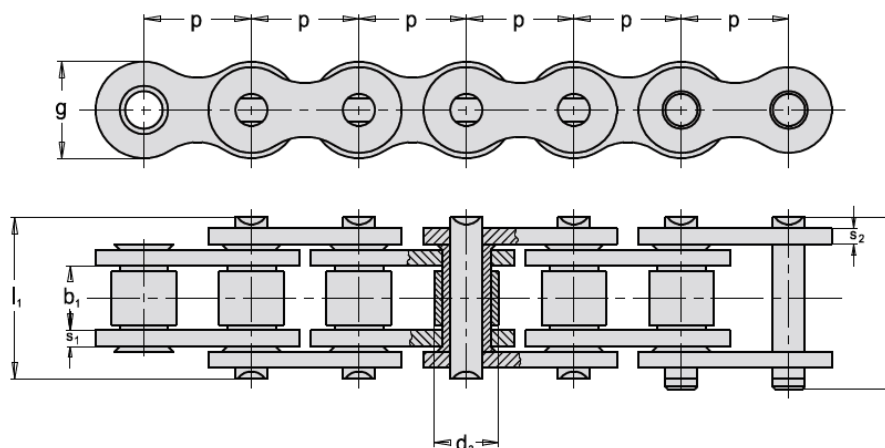
 Tabulka 8 – Činitelé vzdálenosti os p [18]



Obrázek 39 – Diagram výkonu a otáček pro válečkové řetězy [18]

Z diagramu výkonu a otáček pro válečkové řetězy (Obrázek 39) je možné určit, jaké řetěz je vhodný pro použití v řetězové převodu. Z vypočtené hodnoty diagramového výkonu lze zvolit jeden z těchto řetězů, jednořadý řetěz 28 B, dvouřadý 24 B nebo třířadý 20 B.

Dle normy ČSN 02 311 bylo zvoleno řetězové kolo s provedením pro jednořadý řetěz 28B. Parametry řetězu jsou uvedeny v tabulce 9.



Tov. ozn. Betr. Nr. Firm no. Зав. обозн.	Obj. čís. Art. Nr. Part no. Код для заказа	p mm	b ₁ mm min.	d ₁ mm h9	d ₃ mm h10	l ₁ mm	l ₂ mm	g mm	s ₁ mm	s ₂ mm	f mm ²	F _B kN min.	F _A kN	Q kg/m
08B-1 SLR	318 SY1 079 SLR	12,700	7,75	4,45	8,51	16,7	18,0	11,8	1,50	1,50	50	16,8	2,9	0,6
10B-1 SLR	318 SY1 099 SLR	15,875	9,65	5,08	10,16	19,0	20,7	14,5	1,65	1,65	67	24,6	4,4	0,9
12B-1 SLR	319 SY1 119 SLR	19,050	11,68	5,72	12,07	22,0	23,6	17,4	1,80	1,80	89	32,4	6,3	1,1
16B-1 SLR	319 SY1 139 SLR	25,400	17,02	8,26	15,87	35,1	38,2	21,0	3,90	3,10	210	74,6	12,2	2,6
20B-1 SLR	319 SY1 159 SLR	31,750	19,56	10,16	19,05	40,2	44,0	29,3	4,70	3,50	296	128,3	19,1	3,8
24B-1 SLR	319 SY1 179 SLR	38,100	25,40	14,63	25,40	53,4	58,1	35,1	5,90	4,70	554	195,6	25,5	7,3
28B-1 SLR	319 SY1 199 SLR	44,450	31,00	15,88	27,94	65,1	70,5	37,0	7,40	6,30	739	215,7	34,8	9,3
32B-1 SLR	319 SY1 219 SLR	50,800	31,00	17,81	29,21	64,2	69,6	42,2	6,90	6,30	810	274,6	44,1	9,9

Tabulka 9 – Válečkový řetěz 28 B [16]

Dle zvoleného řetězu je opět možné vypočítat rozměry pastorku, řetězového kola a určit délku a řetězu a působící zatížení. Před výpočetní částí je nutné si stanovit osovou vzdálenost, která je 500 mm, která bude podle počtu článků přepočtena na skutečnou.

Počet článků a osová vzdálenost řetězového kola a pastorku

$$\begin{aligned}
 X &= 2 \cdot \frac{a_2'}{P_2} + \frac{Z_p + Z_2}{2} + \left(\frac{Z_2 - Z_p}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{P_2}{a_2'} = \\
 &= 2 \cdot \frac{500}{44,45} + \frac{13 + 30}{2} + \left(\frac{30 - 13}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{44,45}{500} = 44,51
 \end{aligned} \tag{41}$$

Zvolený počet článku je 45.

Kde: P_2 – rozteč válečkového řetězu

a_2' – zvolená osová vzdálenost

Z_p – počet zubů pastorku

Z_2 – počet zubů řetězového kola (u řetězového převodu)

K – součinitel K

$$\frac{X - Z_p}{Z_2 - Z_p} = \frac{45 - 13}{30 - 13} = 1,88 \tag{42}$$

Podle vypočtené hodnoty je určena dle tabulky 10 hodnota K, která je následně použita při výpočtu skutečné osové vzdálenosti kol.

$\frac{X - z_1}{z_2 - z_1}$	K	$\frac{X - z_1}{z_2 - z_1}$	K	$\frac{X - z_1}{z_2 - z_1}$	K	$\frac{X - z_1}{z_2 - z_1}$	K
12,00	0,8106	2,90	0,8116	1,37	0,8215	1,19	0,8310
11,00	0,8106	2,80	0,8118	1,36	0,8219	1,18	0,8318
10,00	0,8107	2,70	0,8119	1,35	0,8222	1,17	0,8326
9,00	0,8107	2,60	0,8121	1,34	0,8226	1,16	0,8336
8,00	0,8107	2,50	0,8123	1,33	0,8230	1,15	0,8346
7,00	0,8108	2,40	0,8125	1,32	0,8234	1,14	0,8358
6,00	0,8108	2,30	0,8127	1,31	0,8238	1,13	0,8372
5,00	0,8109	2,20	0,8130	1,30	0,8243	1,12	0,8387
4,80	0,8109	2,10	0,8134	1,29	0,8248	1,11	0,8405
4,60	0,8109	2,00	0,8138	1,28	0,8253	1,10	0,8425
4,40	0,8110	1,90	0,8143	1,27	0,8258	1,09	0,8448
4,20	0,8110	1,80	0,8150	1,26	0,8264	1,08	0,8474
4,00	0,8110	1,70	0,8158	1,25	0,8270	1,07	0,8503
3,80	0,8111	1,60	0,8170	1,24	0,8276	1,06	0,8537
3,60	0,8112	1,50	0,8185	1,23	0,8282	1,058	0,8544
3,40	0,8113	1,40	0,8207	1,22	0,8289	1,056	0,8551
3,20	0,8114	1,39	0,8209	1,21	0,8295	1,054	0,8559
3,00	0,8115	1,38	0,8212	1,20	0,8302	1,052	0,8567

Tabulka 10 – Válečkový řetěz – koeficient K [18]

$$a = \frac{P_2}{8} \cdot (2X - Z_p - Z_2 + \sqrt{(2X - Z_p - Z_2)^2 - K \cdot (Z_p - Z_2)^2}) =$$

$$\frac{44,45}{8} \cdot (2 \cdot 45 - 13 - 30) + \sqrt{(2 \cdot 45 - 13 - 30)^2 - 0,8143 \cdot (13 - 30)^2} \quad (43)$$

$$= 507,98 \text{ mm}$$

Tažná síla v řetězu

$$T_5 = \frac{P_{el} \cdot 1000}{(D_p \cdot \pi \cdot (\frac{n_{out}}{60})) / 1000} = \frac{1,5 \cdot 1000}{185,74 \cdot \pi \cdot (\frac{19}{60}) / 1000} = 8118,12 \text{ N} \quad (44)$$

Bezpečnost proti přetržení při statickém zatížení

$$k_s = \frac{F_{pt}}{T_5} = \frac{215700}{8118,12} = 26,57 \geq 7 \quad (45)$$

Bezpečnost proti přetržení při dynamickém zatížení

Kde: Y – činitel rázu (2,5) pro pohon zdvihadel elektromotorem

F_{pt} – maximální síla při přetržení řetězu

$$k_d = \frac{F_{pt}}{T_5 \cdot Y} = \frac{215700}{8118,12 \cdot 2,5} = 10,62 \geq 5 \quad (46)$$

Pevnostní kontrola na otláčení

$$p_p = \frac{T_1}{S} = \frac{4961,88}{739} = 10,99 \text{ Mpa} \quad (47)$$

$$p_d = p_1 \cdot \lambda = 30,02 \cdot 0,58 = 17,41 \text{ Mpa} \quad (48)$$

$$p_p \leq p_d \Rightarrow 10,99 \leq 17,41 \text{ Mpa} \quad (49)$$

Kde: S – plocha kloubu dopravního řetězu

λ – součinitel tření

p_1 – směrný tlak v kloubech (Tabulka 11)

rychlost řetězu (m/s)	počet zubů malého řetězového kola						
	13	15	17	19	21	23	25 a více
0,1	31,29	31,29	31,78	31,98	32,47	32,47	32,86
0,2	30,02	30,21	30,41	30,41	31,00	31,49	31,89
0,4	27,57	28,45	28,94	29,33	29,63	29,92	30,51
0,6	26,09	27,08	27,76	28,15	28,45	29,04	29,72
0,8	24,53	25,70	26,59	27,08	27,57	27,96	28,55

Tabulka 12 – Směrný tlak v kloubech pro válečkové [18]

Při volbě nižší řady válečkového řetězu se hodnota kontroly na otláčení téměř rovnala mezní dovolené hodnotě, a proto nebyla zvolena nižší řada i přes vysoké hodnoty koeficientu bezpečnosti. Pro řetěz 28 B je podmínka splněna.

Vzorce pro výpočet rozměrů kol jsou použity stejné jako v kapitole 6.1 Výpočet řetězového kola VKS. Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce 12.

Rozměr	Výsledná hodnota (pastorek)	Výsledná hodnota (řetězové kolo)
Průměr roztečné kružnice	$D_p = 185,74 \text{ mm}$	$D_k = 425,24 \text{ mm}$
Poloměr dna zubní mezery	$r_{fmin2} = 14,11 \text{ mm}$ $r_{fmax2} = 14,32 \text{ mm}$	$r_{fmin3} = 14,11 \text{ mm}$ $r_{fmax3} = 14,32 \text{ mm}$
Průměr hlavové kružnice	$d_{amin2} = 199,71 \text{ mm}$ $d_{amax2} = 213,36 \text{ mm}$	$d_{amin3} = 439,21 \text{ mm}$ $d_{amax3} = 452,86 \text{ mm}$
Průměr patní kružnice	$d_{f2} = 157,52 \text{ mm}$	$d_{f3} = 397,02 \text{ mm}$
Poloměr boku zubu	$r_{emin2} = 50,29 \text{ mm}$ $r_{emax2} = 78 \text{ mm}$	$r_{emin3} = 107,29 \text{ mm}$ $r_{emax3} = 241,40 \text{ mm}$
Úhel otevření	$\alpha_2 = 123,08^\circ$	$\alpha_3 = 127^\circ$
Největší průměr věnce	$d_{g2} = 150,18 \text{ mm}$	$d_{g3} = 389,68 \text{ mm}$
Rozdíl poloměru roztečné kružnice a věnce	$f_2 = 17,78 \text{ mm}$	$f_3 = 17,78 \text{ mm}$
Šířka řetězového kola	$b_{22} = 29,45 \text{ mm}$	$b_{23} = 29,45 \text{ mm}$

Tabulka 12 – Rozměry řetězového kola a pastorku

5.7 Rozběh a zastavení vertikálního karuselového skladu

Pro zajištění bezpečného provozu celého skladu je důležité stanovit čas potřebný pro zrychlení na maximální rychlost a následného brzdění a zastavení. Tyto časové údaje se budou odvíjet od toho, zda je sklad plný nebo prázdný. Při výpočtech bude uvažován VKS s maximálním zatížením.

Čas pro zrychlení řetězu na maximální rychlost je zvolena na 5 sekund. Rozběh by měl být plynulý a bezpečný pro obsluhu.

$$a_r = \frac{v}{t_r} = \frac{0,2}{5} = 0,04 \text{ m/s}^2 \quad (50)$$

Moment od zátěžné hmoty ve VKS

$$\begin{aligned} M_{kz} &= \frac{1}{R} \cdot T_1 \cdot \frac{D}{2} \cdot a_r \cdot \frac{1}{i_c \cdot \eta_c} = \\ &= \frac{1}{1} \cdot 4961,2 \cdot \frac{0,478}{2} \cdot 0,04 \cdot \frac{1}{181,75 \cdot 0,7275} = 4,43 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (51)$$

Hmotnost pastorku m_p je 10 kg a hmotnost řetězového kola m_r je 44 kg pro řetěz 28 B.

$$J_{k1} = \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot \left(\frac{D_p}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \left(\frac{0,1857}{2}\right)^2 = 0,464 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (52)$$

$$J_{k2} = \frac{1}{2} \cdot m_r \cdot \left(\frac{D_k}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 44 \cdot \left(\frac{0,4252}{2}\right)^2 = 5,26 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (53)$$

$$M_{kol} = (J_{k1} + J_{k2}) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{t} = (0,464 + 5,26) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 19}{1} = 11,39 \text{ Nm} \quad (54)$$

Kde: J_{k1} – moment setrvačnosti pastorku

J_{k2} – moment setrvačnosti řetězového kola

a_r – zrychlení při rozběhu

Jako hodnotu času pro zastavení skladu z maximální rychlosti na rychlost nulovou je zvolena 1 sekunda. Časový diagram pro rozběhnutí a zastavení VKS je zobrazen v obrázku 40.

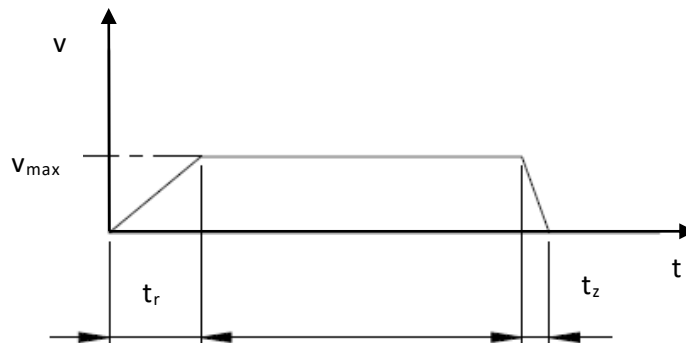
$$a_z = \frac{v}{t_z} = \frac{0,2}{1} = 0,2 \text{ m/s}^2 \quad (55)$$

$$\begin{aligned} M_{kz} &= \frac{1}{R} \cdot T_1 \cdot \frac{D}{2} \cdot a_z \cdot \frac{1}{i_c \cdot \eta_c} = \\ &= \frac{1}{1} \cdot 4961,2 \cdot \frac{0,478}{2} \cdot 0,2 \cdot \frac{1}{181,75 \cdot 0,7275} = 22,19 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (56)$$

Celkový moment

$$M_c = M_{kol} + M_{kz} = (22,19 + 2,27) = 33,76 \text{ Nm} \quad (57)$$

Moment, který je nutné brzdit při zastavování skladu je 33,76 Nm. K zastavení slouží brzda, která je součástí elektromotoru a je schopna ubrzdit až 55 Nm. Tato hodnota brzdného momentu je dostačující pro bezpečné zastavení skladu.



Obrázek 40 – Rozběhový diagram VKS

5.8 Návrh hnacího hřídele (I)

Hřídel bude nejvíce namáhán na krut, proto ze vzorce pro napětí v krutu mohu určit minimální průměr hřídele. Hřídel bude vyrobena z běžné konstrukční oceli 11 500, pro které je dovolené napětí v krutu pro mívivé namáhání τ_{kdov} je 85 MPa.

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_a}{\frac{\pi \cdot d_{min}^3}{16}} < \tau_{kdov} \quad (58)$$

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_a}{\pi \cdot \tau_{kdov}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 530}{\pi \cdot 85 \cdot 10^6}} = 0,032 \text{ m} \quad (59)$$

Hodnota minimálního průměru hřídele je 32 mm. Průměr hřídele od výrobce motoru je 35 mm a ten je také zvolen. Podmínkou je, že zvolený hřídel musí mít větší průměr, než je průměr minimální.

Hnaný hřídel bude opět nejvíce namáhán na krut, a proto ze vzorce pro napětí v krutu budu určovat minimální průměr hřídele. Hřídel bude vyrobena z běžné konstrukční oceli 11 500, pro které je dovolené napětí v krutu pro mívivé namáhání τ_{kdov} je 85 MPa.

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_{kII}}{\frac{\pi \cdot d_{min}^3}{16}} < \tau_{kdov} \quad (60)$$

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{hn}}{\pi \cdot \tau_{kdov}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1186,38}{\pi \cdot 85 \cdot 10^6}} = 0,0414 \text{ m} \quad (61)$$

Hodnota minimálního průměru hřídele je 41,4 mm. Zvolený minimální průměr d_h bude 45 mm. Průměr bude shodný i na hnacím hřídeli II. Po zvolení průměru hřídele je nutné ještě zkontrolovat pero, který spojuje hřídel II. a řetězové kolo Z_3 . Pero bylo zvoleno Pero 16e7 x 10 x 63 dle normy ČSN 02 2562. Vzhledem k vysokému kroutícímu momentu budou použita 2 pera pootočená vůči sobě o 120°. Nejprve byla provedena kontrola na hřídeli a poté i v náboji kola. Dovolенý tlak p_{dvp} je 120 MPa pro ocel. Hnací hřídel I. není třeba kontrolovat, jelikož již je od výrobce motoru navržena tak, aby splňovala podmínky a na otláčení.

$$F_{p1} = 2 \cdot \frac{M_{kII}}{d_h} = 2 \cdot \frac{1186,38}{0,055} = 43\,141 \text{ N} \quad (62)$$

$$p_{pera1} = \frac{F_{p1}}{(l_p \cdot t_p)} = \frac{43141}{(0,063 \cdot 0,0062)} = 83,4 \text{ MPa} \quad (63)$$

Kde: M_k II – kroutící moment na hřídeli II.

l_p – délka pera

b_p – šířka pera

t_p – hloubka drážky v hřídeli

$$F_{p2} = 2 \cdot \frac{M_{kII}}{d_h} = 2 \cdot \frac{1186,38}{0,055} = 43\,141 \text{ N} \quad (64)$$

$$p_{pera2} = \frac{F_{p2}}{(l_p \cdot t_{p1})} = \frac{43141}{(0,063 \cdot 0,0038)} = 113 \text{ MPa} \quad (65)$$

Kde: t_{p1} – hloubka drážky v náboji

Hodnoty p_{pera1} a p_{pera2} jsou menší než p_{dvp} , a proto je tato dvojice per vyhovující. Tato pera budou shodná i pro použití na hřídeli III. a IV.

5.9 Kontrola a výběr ložisek

U ložisek se kontroluje jejich životnost. Ložiska budou zatěžována jako dopravní řetěz silou T_1 , jelikož jsou součástí řetězových kol Z_3 , Z_4 , Z_5 a Z_6 . Další ložiska budou součástí

řetězových kol Z_1 , Z_2 v řetězovém převodu zatížení bude způsobenou silou T_5 . Byla vybrána kuličková ložiska vzhledem ke směru zatížení. Ložiska budou také součástí kazet, ve kterých je umístěna tyč s materiálem. Prodloužený čep řetězu bude uložen do kluzného samomazného pouzdra typu B. Všechna ložiska použitá ve vertikálním karuselovém skladu budou od firmy SKF. [35]

Ložisko pro řetězová kola Z_3 , Z_4 , Z_5 a Z_6 .

$$G_1 = T_5$$

Ložisko 209 NR

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{G_1}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{30000}{4961,12}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 8,08} = 456\,101\,h \quad (66)$$

Ložisko pro řetězová kola Z_1 , Z_2 .

$$G_2 = T_5$$

Ložisko 209 NR pro kolo Z_2 .

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{G_2}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{30000}{8118,12}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 8,08} = 104\,096\,h \quad (67)$$

$$G_2 = T_5$$

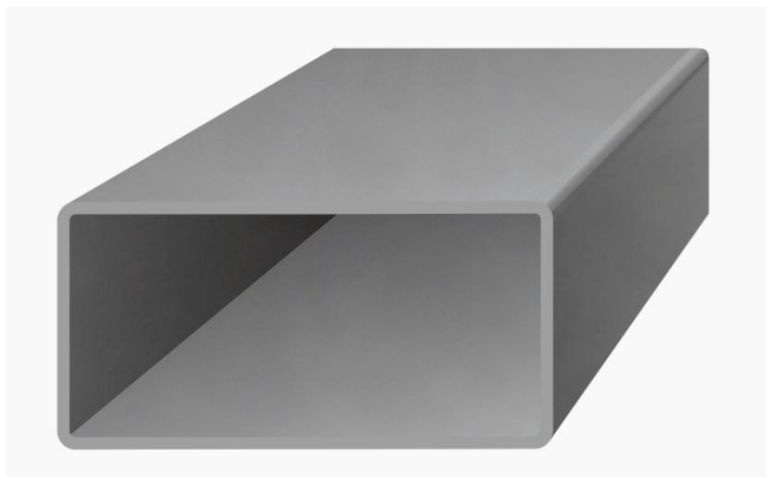
Ložisko 207 NR pro kolo Z_1 .

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{G_2}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{out}} = \left(\frac{22000}{8118,12}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 19} = 17\,458\,h \quad (68)$$

Všechna ložiska mají dostatečnou životnost. Výpočty, které byly provedeny jsou pro maximální zatížení při nepřetržitém provozu 24 hodin denně po celý rok. V reálné situaci však ložiska tímto způsobem provozována nebudou. Lze použít i ložiskové jednotky, které již obsahují ložiska, těsnění a zajištění na hřídeli. Při výběru jednotky, lze použít již vypočtené ložisko. [35]

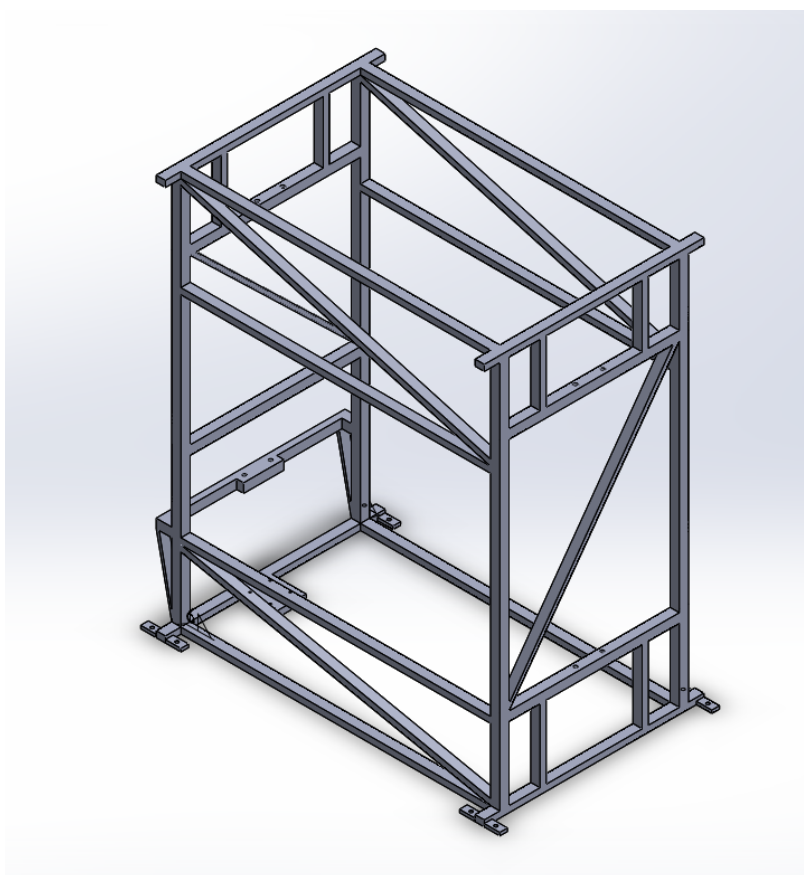
5.10 Rám VKS

Všechny součásti, které byly až do této části navrženy je třeba uložit do rámu. Celý rám bude svařovaný z obdélníkových ocelových dutých profilů. Hliníkové profily by při zátěži a výšce celého vertikálního karuselového skladu byly příliš poddajné a mohlo by dojít k deformaci celé konstrukce. Pro menší hmotnost konstrukce a při zachování tuhosti byly zvoleny profily s rozměrem 60x40x3 mm (Obrázek 41).



Obrázek 41 – Profil 60x40x3 mm

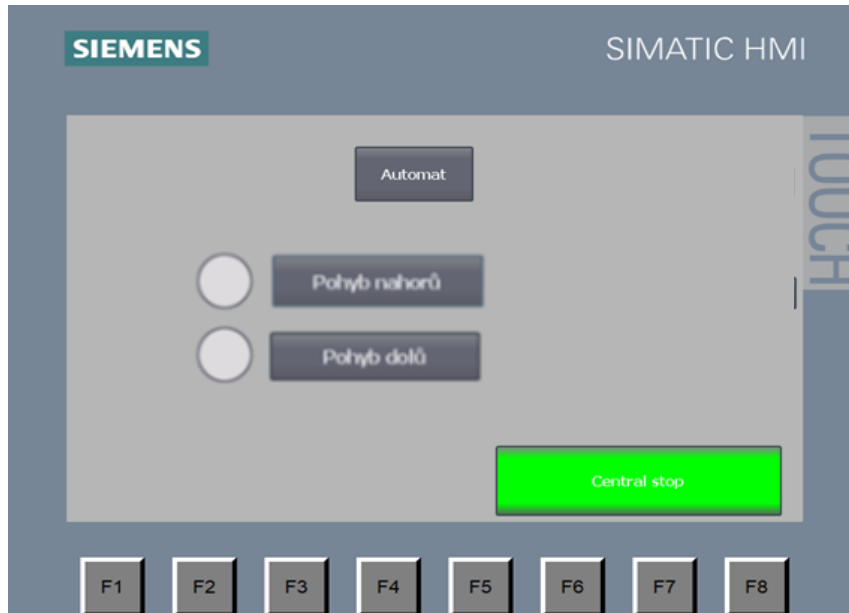
Konstrukce rámu bude svařena pomocí koutových svarů. K spodní části rámu budou přidělané kotvící patky s dírami pro šrouby, které zamezí pohybu a možnému převrácení VKS. V podlaze budou vyvrtány díry pro ukotvení šroubů za pomoci chemické kotvy. Pod patkami budou gumové tlumící destičky, aby se zamezilo přenášení vibrací na okolní stroje. K rámu bude upevněna i plechová deska, na kterou bude namontován motor s převodovkou (Obrázek 42).



Obrázek 42 – 3D model rámu

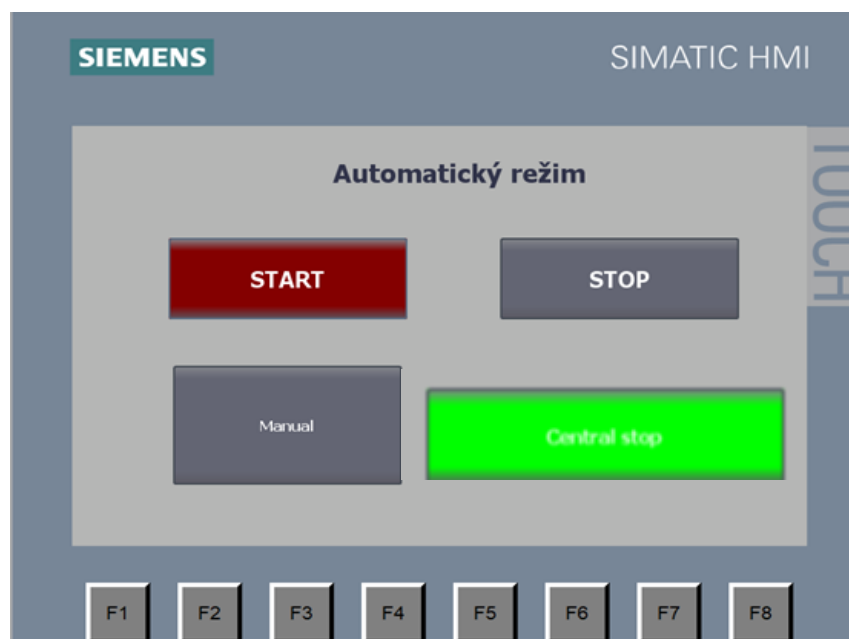
5.11 Řízení pohybu ve VKS

Pohyb rolí ve skladu bude řešen PLC řízením. Na obou stranách skladu bude umístěn ovládací panel, který umožní obsluze pohybovat s rolemi nahoru a dolů. Systém nabídne dvě možnosti ovládání. Manuální režim bude pomocí dotykové obrazovky umožňovat pohyb po zmačknutí tlačítka udávající směr pohybu (Obrázek 43).



Obrázek 43 – Ovládací panel VKS v manuálním režimu

Druhou možností je automatický režim, který umožní pohyb role s materiálem do zvolené pozice pro následné odvíjení materiálu. Pro tuto variantu musí být VKS vybaven snímačem polohy a kazety by musely být očíslovány.



Obrázek 44 – Ovládací panel VKS v automatickém režimu

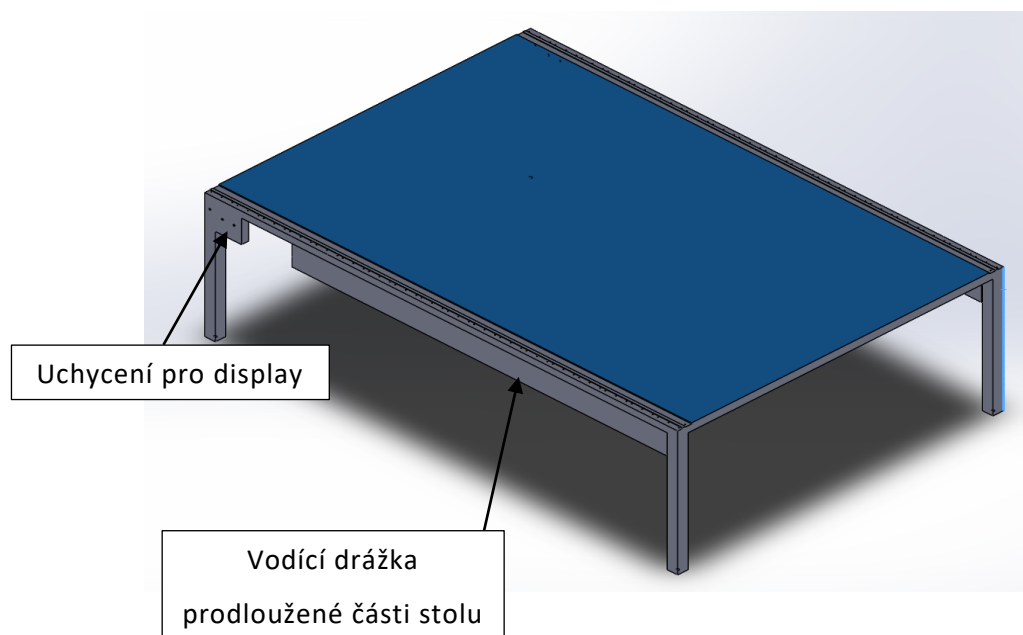
Obsluha by poté zadala číslo kazety a ta by se i s materiálem přemístila do definované polohy pro odvíjení. Oba panely budou vybaveny tlačítkem Central STOP. V případě zmáčknutí tohoto tlačítka bude sklad okamžitě zastaven (Obrázek 44).

Tímto končí návrh jednotlivých částí vertikálního karuselového skladu a bude následovat řešení pracoviště ořezu. Bude řešena konstrukce pracovního stolu, návrh pohybových os a délkové a výškové nastavení.

5.12 Konstrukce pracovního stolu

Pracoviště ořezu bude rozděleno na dvě části, hlavní pracovní stůl a prodloužená část stolu. Prodloužená část stolu bude složena z pracovní plochy a dvou nohou stolu, které budou přivařeny k desce stolu. Nohy stolu budou vyrobeny z dutých ocelových profilů s rozměry 60x60x3 mm. Do spodní části nohy bude umístěna vložka se závitem pro montáž otočných koleček. Deska prodloužené části stolu s rozměry 2000x1700 mm nemusí být obráběna z důvodu, že na ni nebudou montovány kolejnice lineárního vedení, ale bude pouze potažena materiálem Durocast. Spodní část bude obrobena z důvodu snížení hmotnosti a vytvoření uchycení pomocného kolečka ke stolu. Výška pracovní plochy stolu je 40 mm.

Hlavní pracovní stůl bude složen z několika částí (Obrázek 45). K desce stolu jsou opět přivařeny čtyři nohy, které jsou z dutých profilů s rozměrem 60x60x3 mm a vložkou se závitem na spodní straně. (Obrázek 46)



Obrázek 45 - Hlavní pracovní stůl



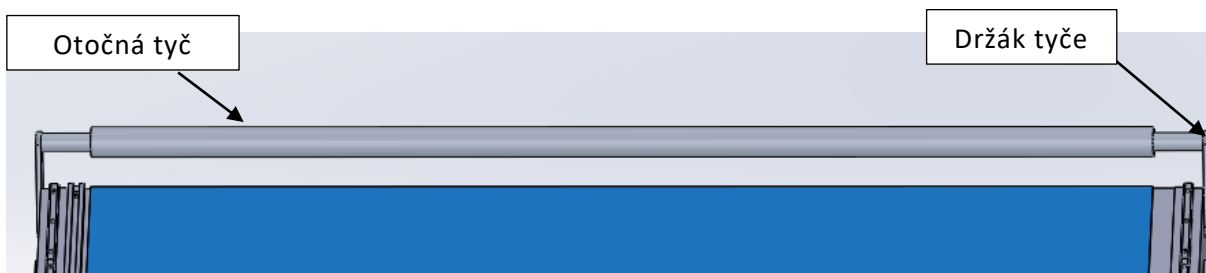
Obrázek 46 - Vložka se závitem M16 do profilu 60x60 mm [33]

Výška desky stolu bude opět 40 mm. Rozměr desky stolu je 2700x1860 mm. Plochy a dosedací hrany pod kolejnicemi lineárního vedení a odměřováním budou obrobeny. Drážka pro vysunutí prodloužené části, která bude popsána dále, bude vyfrézována. Pracovní plocha stolu bude z materiálu DUROCAST o tloušťce 6 mm (Obrázek 47). U tohoto materiálu nedochází ke kontaminaci prepregu jako u kovu, skla a dřeva. Má protiskluzový hladký povrch snižující opotřebení břitu během řezacích operací. Rozměr DUROCASTU na hlavním stole je 1700x2700x6 mm a na prodloužené části stolu bude 1700x2000x6 mm. [32]



Obrázek 47 - Stůl s pracovní plochou potaženou Durocastem [32]

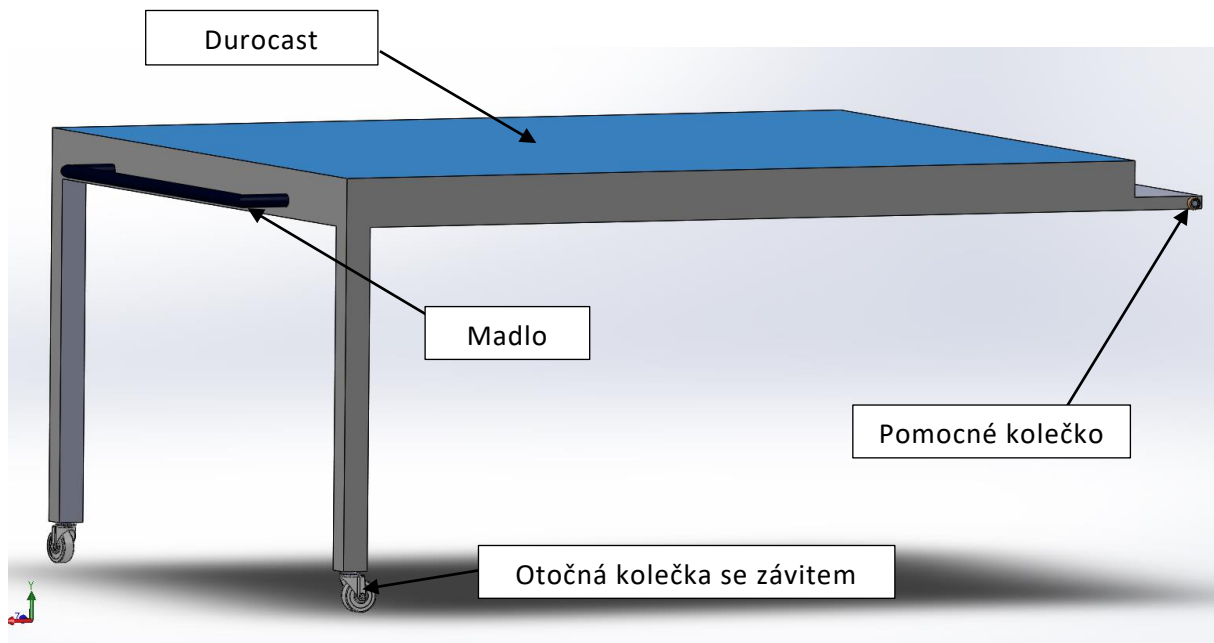
K pracovnímu stolu bude přimontována otočná tyč (Obrázek 48), která bude sloužit k přidržování odvíjeného materiálu těsně nad pracovním stolem. V případě, že již nebude potřeba je možné ji sklopit nebo odmontovat.



Obrázek 48 - Přidržovací otočná tyč materiálu

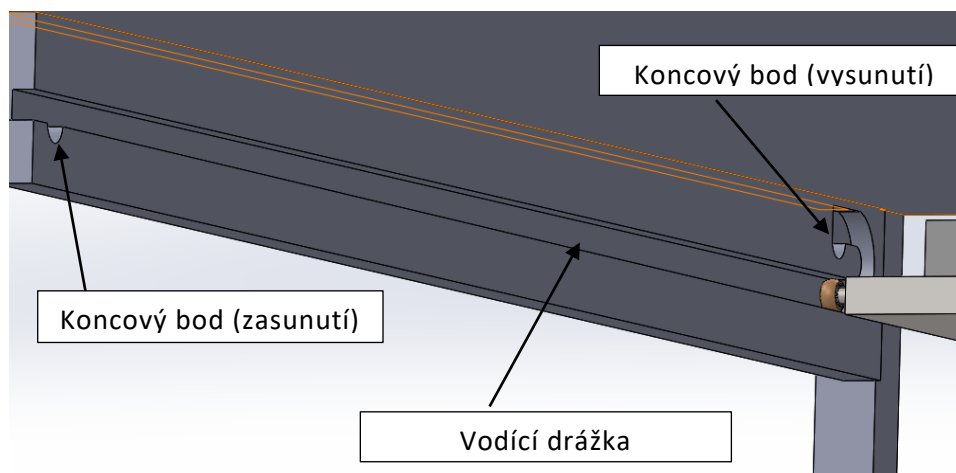
5.13 Délkové prodloužení a nastavení výšky pracovního stolu

Délkové nastavení stolu bude řešeno manuálně. Jak již bylo uvedeno při návrhu možných řešení, je tento způsob jednoduchý na údržbu i konstrukci. Délkově se stůl bude prodlužovat pouze v případě delších rozměrů a bude sloužit jako odkládací prostor, jelikož na této části není odměřování. Prodloužená část stolu bude na konci vybavena madlem, který umožní obsluhu vysunutí stolu. Po vysunutí musí obsluha nastavit výšku prodloužené části stolu tak, aby byla pracovní plocha v jedné rovině s hlavním stolem. Na spodní části nohou prodlouženého stolu budou přimontovány otočná kolečka se závitem, která ulehčí fyzickou námahu při vysouvání a zajistí rovinu mezi oběma pracovními plochami stolu (Obrázek 49).



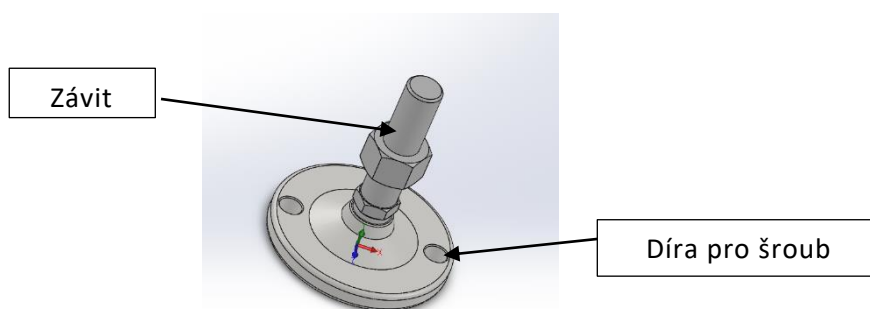
Obrázek 49 - Prodloužená část stolu

Pro snazší vysunutí prodloužené části stolu také slouží pomocná kolečka umístěna v zadní části. Ta se budou pohybovat ve vytvořené vodící drážce, na jejíž konci budou vytvořena aretační místa, aby nedošlo k samovolnému zasunutí stolu. Při zasouvání pomocné kolečko zaskočí do vytvořeného koncového bodu (Obrázek 50).



Obrázek 50 - Systém vysouvání a zasouvání prodloužené části stolu

Výškové nastavení bude také prováděno manuálně. Elektromechanické řešení zvyšování a snižování výšky stolu nebylo možné z důvodu nedostatku místa pod hlavním stolem, kam se bude zasouvat prodloužená část. Po zasunutí již není prostor kam umístit elektromotor potřebný k pohybu. Manuální nastavení výšky provede obsluha, která bude povolovat nebo utahovat ustavovací patky stolu. Uvnitř noh stolu bude vytvořený závit, po kterém se ustavovací patky budou pohybovat (Obrázek 51). Při nastavování bude muset být použita vodováha, aby byly všechny čtyři nohy stolu v jedné výšce a tím se zajistila rovina. Při nedodržení tohoto postupu by mohlo následně dojít ke křížení příčnicku stolu a možné deformaci.



Obrázek 51 - Ustavovací patka stolu

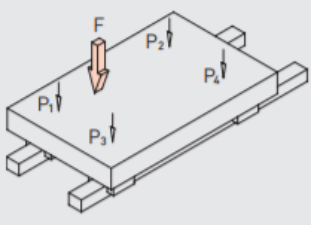
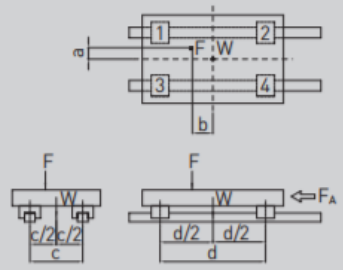
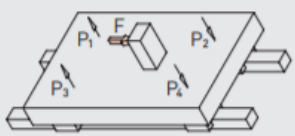
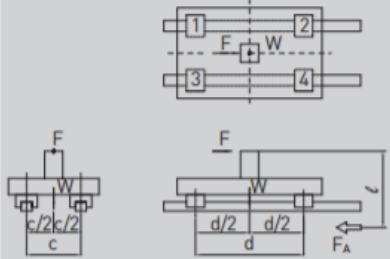
5.14 Návrh a výpočet pohybových os pracovního stolu

Při návrhu pohonu jednotlivých os bylo uvažováno na základě tří hlavních parametrů. Prvním parametrem bylo zatížení, které bude na osy působit, druhým parametrem byla přesnost a třetím parametrem byla maximální rychlost pohybu.

Zatížení, které působí na jednotlivé osy vzniká od řezného procesu a hmotnosti příčnicku s řezací hlavou a přítlačnou lištou. Síla vzniklá řezným procesem, která je dána řezným

odporem materiálu. Řezanými materiály budou fólie, textilní tkaniny, tkaniny z uhlíkových vláken a prepregy. Při řezání těchto materiálů vzniká řezná síla přibližně 150-250 N. Další zatížení vzniká od hmotnosti celého příčnicku s přítlačnou lištou a řezací hlavice. Hmotnost tohoto celku se bude pohybovat do 20 kg, která se nejvíce odvíjí od řezací hlavice a k ní zvolenému příslušenství. Hmotnost jednoho vozíku na ose je 0,18 kg a kolejnice o délce 2,7 m má hmotnost 1,45 kg. Přítlačná hliníková lišta 210x400 mm o délce 1,7 m s hmotností 3 kg a pneumatický lineární motor váží 1,44 kg a řezací hlava s hmotností 2,9 kg. Celková hmotnost je 12,06 kg. Je ponechána rezerva v případě rozšíření příslušenství na řezací hlavě.

Návrh lineárního vedení pro osu X, je prováděn dle katalogu firmy HIWIN. Je počítáno s kombinací působení řezné a gravitační síly (Obrázek 52).

Typické příklady	Rozmístění zátěže	Zatížení vozíku
		$P_1 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_2 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_3 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$
		$P_1 = P_3 = \frac{W}{4} - \frac{F \times l}{2d}$ $P_2 = P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F \times l}{2d}$

Obrázek 52 - Zatížení vozíků dle firmy HIWIN [27]

Zatížení vozíku od gravitační síly je rozděleno rovnoměrně na všechny čtyři vozíky osy X

$$F_{gr} = 20 \cdot 9,81 = 196,2 \text{ N} \quad (69)$$

$$P_{vozgr} = \frac{F_{gr}}{4} = \frac{196,2}{4} = 49,05 \text{ N} \quad (70)$$

Zatížení vozíků od řezné síly, $F_{řez} = 250 \text{ N}$. Je počítáno s největším možným zatížením. Vzdálenost mezi vozíky h je 30 mm a vzdálenost působení síly l_{sila} je 108 mm.

$$P_{vozrez} = \frac{F_{řez} \cdot l_{sila}}{2 \cdot h} = \frac{250 \cdot 0,108}{2 \cdot 0,030} = 450 \text{ N} \quad (71)$$

Největší možné zatížení vozíku je součet zatížení od gravitační a řezné síly.

$$P_{vozik} = P_{vozgr} + P_{vozrez} = 450 + 49,05 = 499,05 \text{ N} \quad (72)$$

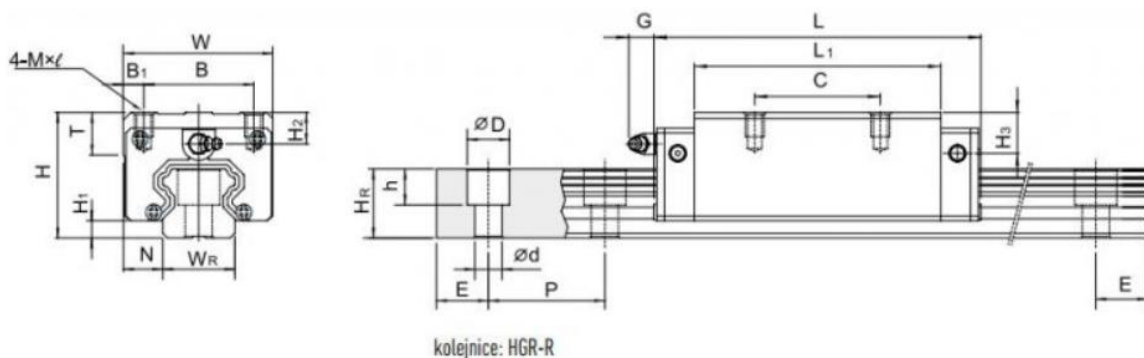
Celková zátěž působící na jeden vozík je P_{vozik} je 499,05 N.

$$\frac{C_{dyn}}{P_{vozik}} = \frac{11380}{499,05} = 22,8 > 7 \quad (73)$$

Minimální koeficient mezi C_{dyn}/P_{voz} doporučený výrobcem je 7. Vybraný typ vozíku tuto podmínku splňuje, a proto může být použit. (Obrázek 53)

Jmenovitá životnost

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P_{vozik}}\right)^3 \cdot 10^5 = \left(\frac{11380}{499,05}\right)^3 \cdot 10^5 = 1\,185\,754\,022 \text{ m} \quad (74)$$



Označení	H	W	B	C	L	M x L	$C_{dyn}[N]$	$C_{stat}[N]$
HGH 15 CA	28	34	26	26	61,4	M4x5	11380	16970

Obrázek 53 - Vozík HGH 15 CA s rozměry a parametry [27]

Životnost vozíku při předpokládané rychlosti 20 m/min. Rychlost vozíku je pouze orientační z důvodu manuálního pohybu, ze kterého nelze přesně určit rychlost.

$$L_h = \frac{L}{v_{vozik} \cdot 60} = \frac{1185754022}{20 \cdot 60} = 988\,128 \text{ h} \quad (75)$$

Lineární vedení pro osu Y bylo vybíráno stejným způsobem. Zatížení působící na vozíky, bude velmi podobné jako zatížení vozíků osy X. Rozdíl je v nižší gravitační síle a rozdělení pouze na

dva vozíky. Hmotnost působící na vozíky bude nižší o přítlačnou lištu a dva pneumatiky. Vzdálenost mezi vozíky h_2 je 75 mm a vzdálenost působení síly l_{sila2} je 65 mm.

$$F_{gr2} = 14 \cdot 9,81 = 137,34 \text{ N} \quad (76)$$

$$P_{vozgr2} = \frac{F_{gr2} \cdot l_{sila2}}{2 \cdot h_2} = \frac{137 \cdot 0,065}{2 \cdot 0,075} = 59,36 \text{ N} \quad (77)$$

Zatížení vozíku od řezné síly, $F_{řez} = 250 \text{ N}$. Je počítáno s největším možným zatížením. Vzdálenost působiště síly od vozíků h_3 je 45 mm a vzdálenost působení síly l_{sila3} je 208 mm.

$$P_{vozrez} = \frac{F_{řez} \cdot l_{sila}}{2 \cdot h_3} = \frac{250 \cdot 0,208}{2 \cdot 0,045} = 577,7 \text{ N} \quad (78)$$

Největší možné zatížení vozíku je součet zatížení od gravitační a řezné síly.

$$P_{vozik2} = P_{vozgr2} + P_{vozrez2} = 577,7 + 59,36 = 696,5 \text{ N} \quad (79)$$

Celková zátěž působící na jeden vozík je P_{vozik} je 499,05 N.

$$\frac{C_{dyn}}{P_{vozik2}} = \frac{11380}{696,5} = 16,34 > 7 \quad (80)$$

Minimální koeficient mezi C_{dyn}/P_{voz} doporučený výrobcem je 7. Vybraný typ vozíku tuto podmínku splňuje, a proto může být použit.

Jmenovitá životnost

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P_{vozik2}}\right)^3 \cdot 10^5 = \left(\frac{11380}{696,5}\right)^3 \cdot 10^5 = 436\,181\,840 \text{ m} \quad (81)$$

Životnost vozíku při rychlosti 20 m/min. Rychlost vozíku je pouze orientační z důvodu manuálního pohybu, ze kterého nelze přesně určit rychlost.

$$L_h = \frac{L}{v_{voziku} \cdot 60} = \frac{436181840}{20 \cdot 60} = 363\,484 \text{ h} \quad (82)$$

Vysoká životnost vozíků je dána nízkým zatížením a malou rychlostí. Životnost je uvedena pro 24 hodinový provoz.

Osa Z je řešena pneumaticky. Tento pohyb je zajištěn pneumatickými válci, jejich návrh je popsán v následující kapitole. Řezací hlava je pevně připevněna k držáku uchyceného k vozíkům lineární osy Y.

5.14.1 Řezací hlava

Požadavky na parametry řezací hlavy žádné nebyly, a proto byla zvolena řezací hlava s tangenciálním nožem ECO CAM EOT-3 od firmy ECOCAM (Obrázek 54). Řezací hlava je uzpůsobena k řezání prepregu, folií a karbonových vláken. Hlava je schopna provádět až 3500–7000 zdvihů za minutu v závislosti na výšce řezaného materiálu. Váha hlavy bez příslušenství je 2,9 kg. Hlavu lze připojit k CNC řízenému stolu a tím se aktivuje i natáčení nože. [29]



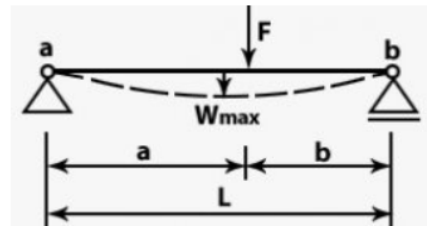
Obrázek 54 - Řezací hlava EOT – 3 [29]

5.15 Pneumatická přítlačná lišta

Pneumatická přítlačná lišta slouží k přítlačení materiálu k pracovní desce stolu, aby se materiál během řezu nedeformoval. Z tohoto důvodu musí být přítlačná lišta umístěna, co nejbližší k tangenciálnímu noži a slouží zároveň jako příčník, na kterém bude umístěna osa Y a osa Z. Pneumatická lišta bude vyrobena z hliníkového plného profilu s rozměry 210x40 mm s délkou 1710 mm. Na spodní část přítlačné lišty bude uchycen materiál DUROCAST s výškou 6 mm a délkou 1650 mm, aby nedocházelo ke kontaminaci prepregu. Průhyb přítlačné lišty bude 0,266 mm při maximálním zatížení 200 N. K výpočtu průhybu byl použit webový portál E – konstruktér, do kterého se dosadí požadované parametry (Obrázek 55). [34]

Vstupní parametry

F síla	<input type="text" value="0.2"/>	kN
L délka nosníku	<input type="text" value="1710"/>	mm
E modul pružnosti v tahu	<input type="text" value="70"/>	GPa
a působíště síly	<input type="text" value="855"/>	mm
I kvad. moment průřezu	<input type="text" value="1120000"/>	mm ⁴



Výstupní hodnoty

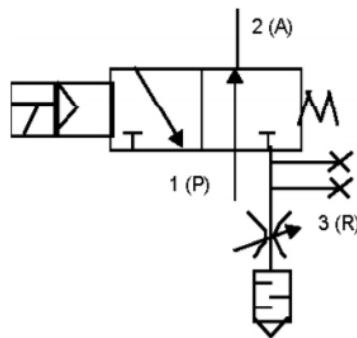
Wmax (max. průhyb a>b)	<input type="text" value="0.266"/>	mm
Wmax ₁ (max. průhyb a<b)	<input type="text" value="0"/>	mm
x bod max. průhybu	<input type="text" value="855"/>	mm

Obrázek 55 - Výpočet průhybu přítlačné lišty [34]

Průhyb je minimální, lze jej kompenzovat zdvihem osy Z. Na obou stranách bude přítlačná lišta přimontována k lineárnímu pneu motoru. Lineární pneu motory zajistí pohyb přítlačné lišty k materiálu se současným najetím nože do řezu a zpět do výchozí pozice. K vykonávání této činnosti byly vybrány bez pístnicové válce od firmy FLUIDTECHNIK z konstrukční řady OSP-P (Obrázek 56). Hmotnost celého příčnicku se všemi prvky se pohybuje do 20 kg v závislosti na příslušenství k řezací hlavě. Tato hmotnost vyvolává sílu do 200 N. Z této hodnoty byl určen pneumatický lineární motor OSP – P32. Maximální zatížení válce je 450 N. K optimálnímu řízení pneumatického válce je použit integrovaný 3/2 rozvaděč (Obrázek 57). [31]



Obrázek 56 – Pneumatický lineární motor OSP – P32 [31]



Obrázek 57 – 3/2 rozvaděč s navrácením do střední polohy pružinou [31]

Pohon os má být dle zadavatele manuální z důvodu předchozí zkušenosti s řezacími plotry, které byly vybaveny CNC řízenými osami. Manuální řešení má být časově méně náročné. Kdyby však zadavatel potřeboval vybavit stůl poháněnými osami, pak by možným řešením bylo řešit pohon pomocí ozubeného hřebenu s pastorkem. Bez použití elektromotoru je nutné zajistit stálou polohu na jedné z os během řezání. Pro aretaci v určité poloze je nutné použít manuální brzdy HK (Obrázek 58). Upnutí a povolení brzdy je řešeno otočením páky. Toto řešení je bezúdržbové a životnost se udává až 50 000 upínacích cyklů. [30]



Obrázek 58 - Manuální brzda pro lineární vedení [30]

5.16 Odměrování polohy

S pohybem jednotlivých pohybových os také souvisí odměrování, které bude obsluhu informovat o aktuální poloze tangenciálního nože nebo o vzdálenosti od zvoleného referenčního bodu. Jak již bylo zmíněno, požadavek na přesnost okolo 1 mm je dostačující. Vyšší přesnost by byla nadbytečná s ohledem na další zpracování odříznutého materiálu a

znamena by i vyšší cenu. Účelem je odměřit odvinutý kus materiálu a v dané vzdálenosti odříznout. Při tomto úkonu by nemělo docházet, ke vzniku, velkého množství odpadu a zmetkových kusů. Podle těchto požadavků bylo vybráno odměřování pro jednotlivé osy.

Osa X je dlouhá 2 600 mm, proto bude osa vybavena lineárním magnetickým pravítkem TMLS-05S-02-2600, zobrazeným na obrázku 59 [25]. Přesnost tohoto odměřování je však vysoce nadstandartní, ale na trhu nebylo k nalezení méně přesné odměřování s délkou 2600 mm.



Obrázek 59 – Lineární magnetické pravítko TMLS-05S-02-2600 [26]

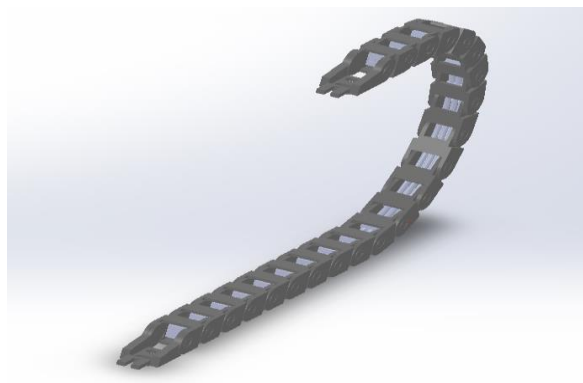
Pro osu Y s délkou 1 600 mm je použito také lineární magnetické pravítko TMLS-05S-02-1600. Rozlišení odměřování na ose X a Y je 0,005 mm. Výstup obou os bude zobrazen na digitální odměřovací jednotce (Obrázek 60), která je schopna nulovat polohu a přepínat mezi absolutním a přírůstkovým odměřováním. Tyto jednotky budou na obou stranách stolu, aby byl umožněn přístup obsluze z levé i z pravé strany stolu. Osa Z se zdvihem 30 mm bude bez odměřování. Zdvih nože si bude regulovat obsluha sama dle výšky materiálu.



Obrázek 60 - DRO digitální odměřovací jednotka pro 2 osy – WARCO [26]

5.17 Přívod energie a vzduchu

Elektrická energie bude po pracovišti rozvedena z elektrické rozvodné skříně umístěné pod pracovním stolem. Toto řešení zajistí minimální zástavbový prostor. Z rozvodné skříně bude napájen elektromotor vertikálního karuselového skladu, snímače a ovládací panely. Na pracovišti ořezu bude elektrická energie sloužit k napájení snímačů a pohonu řezací hlavy. Kabeláž bude vedena v elektrickém řetězu umístěném na příčníku. Zamezí se tak deformaci nebo přeštípnutí kabelů. Byl vybrán energetický řetěz Lapp Silvyn s vnější šířkou 63 mm. (Obrázek 61) [28]

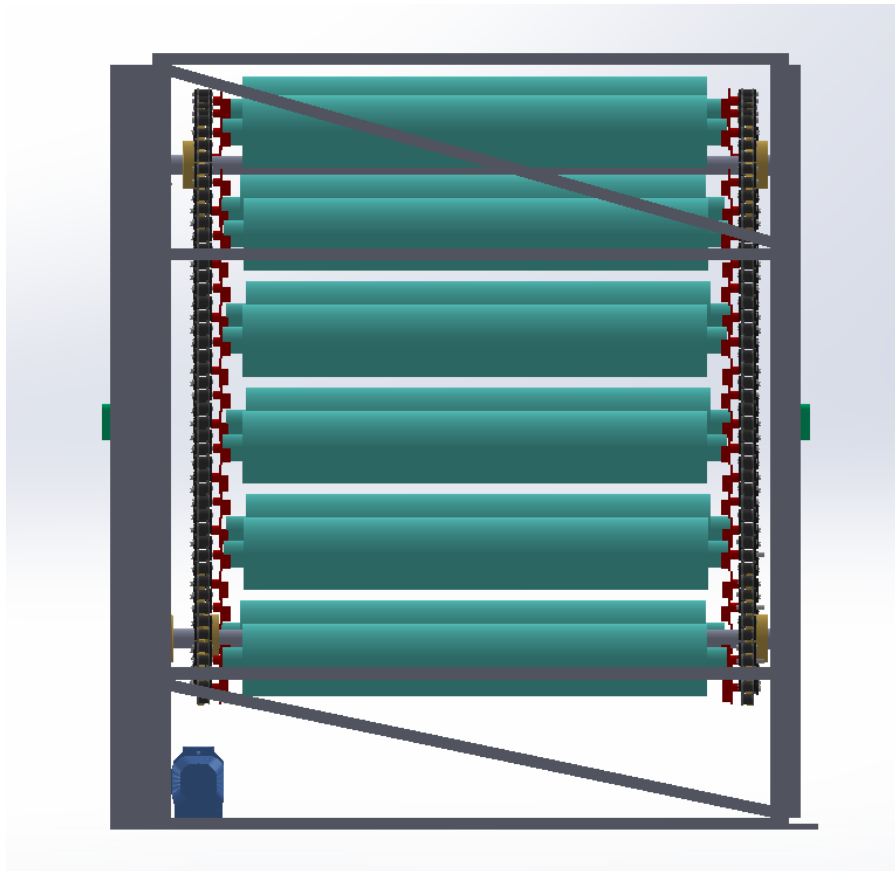


Obrázek 61 - Energetický řetěz [28]

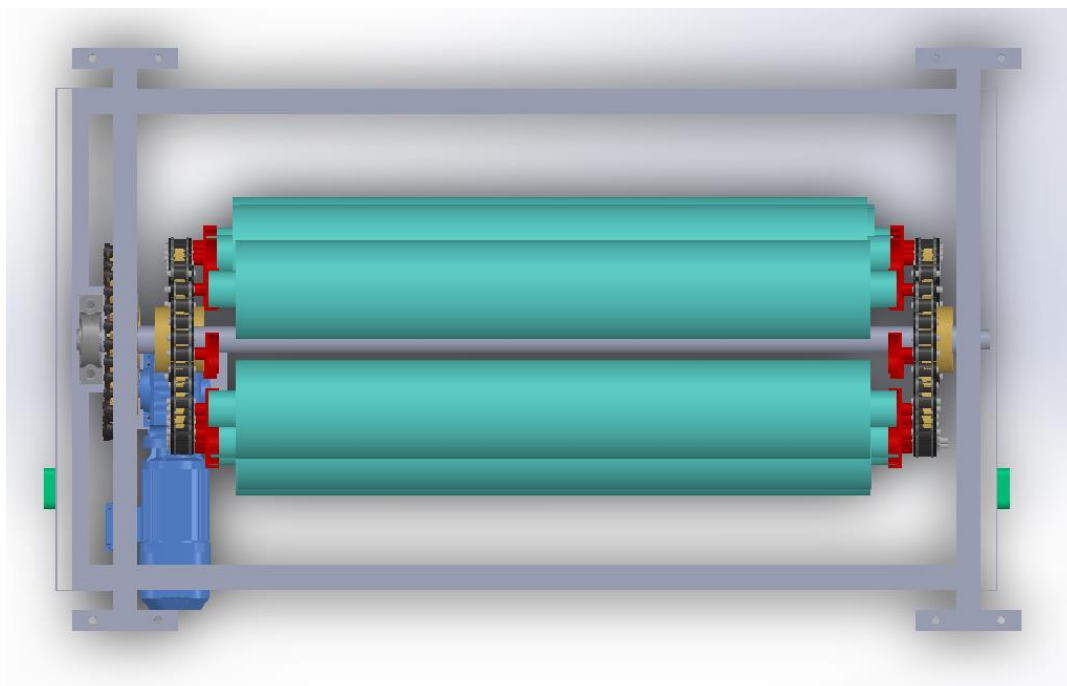
Stlačený vzduch bude pomocí vzduchových hadic rozveden po pracovišti z externího zdroje. Vzduchové hadice jsou vedeny po stropě a k pracovišti jsou tak hadice spuštěny a lze s nimi volně manipulovat. Hadice budou připojeny k oběma pneumatickým válcům a k ofukovací pistoli, která bude sloužit k údržbě prostoru.

6 3D model pracovišť

6.1 Vertikální karuselový sklad rolí

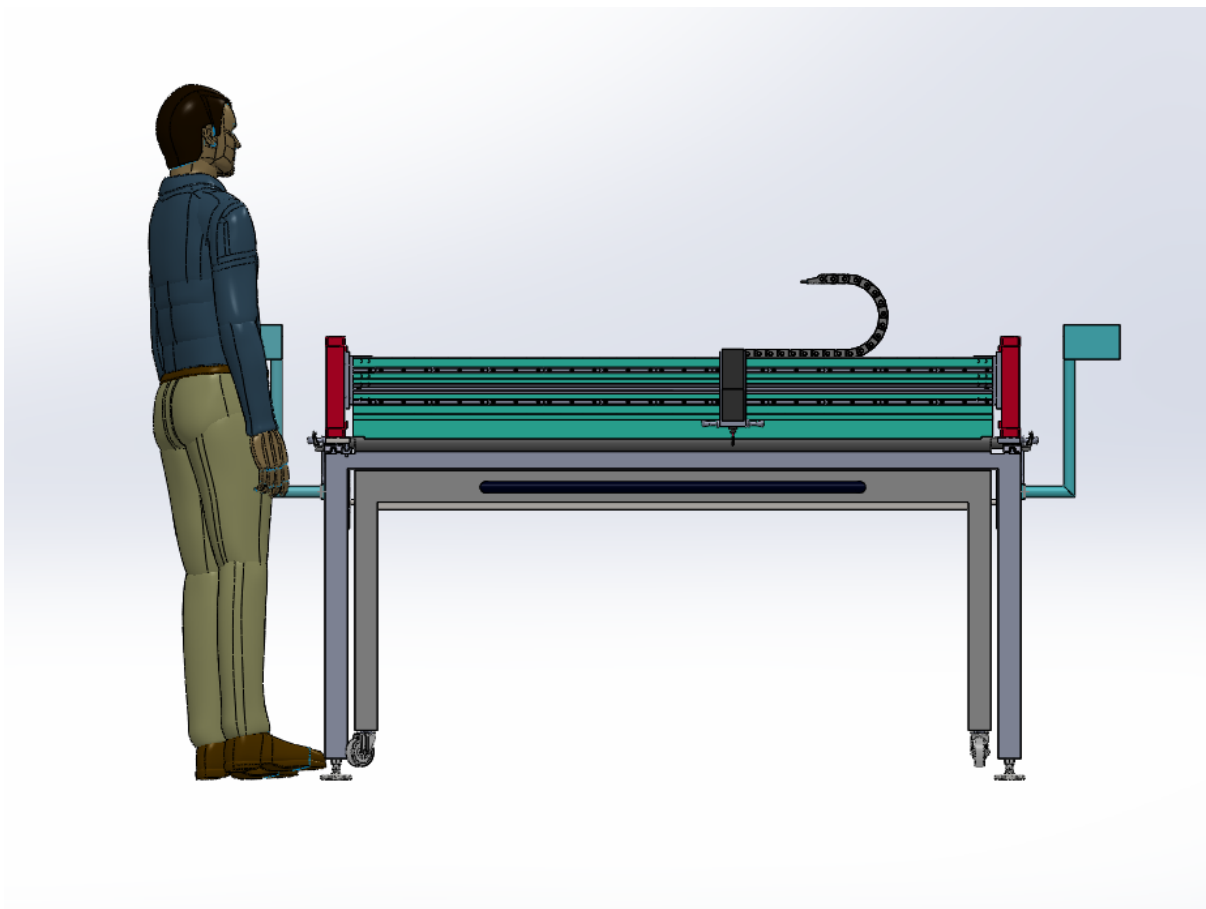


Obrázek 62 - Vertikální karuselový sklad rolí (pohled zepředu)

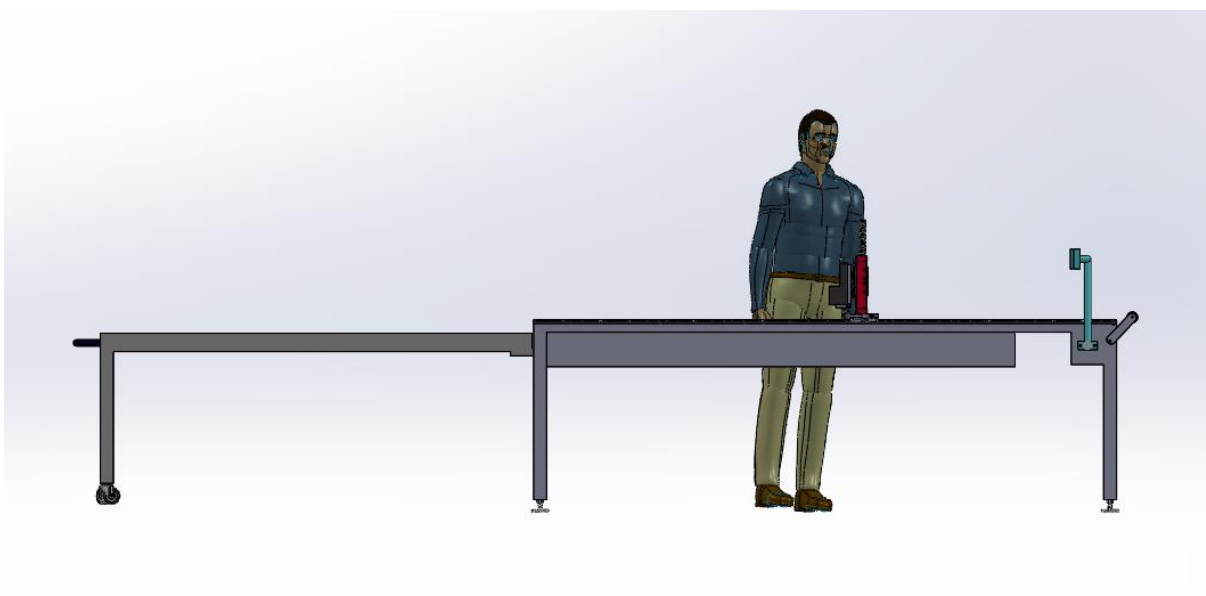


Obrázek 63 -Vertikální karuselový sklad rolí (pohled zhora)

6.2 Pracoviště ořezu

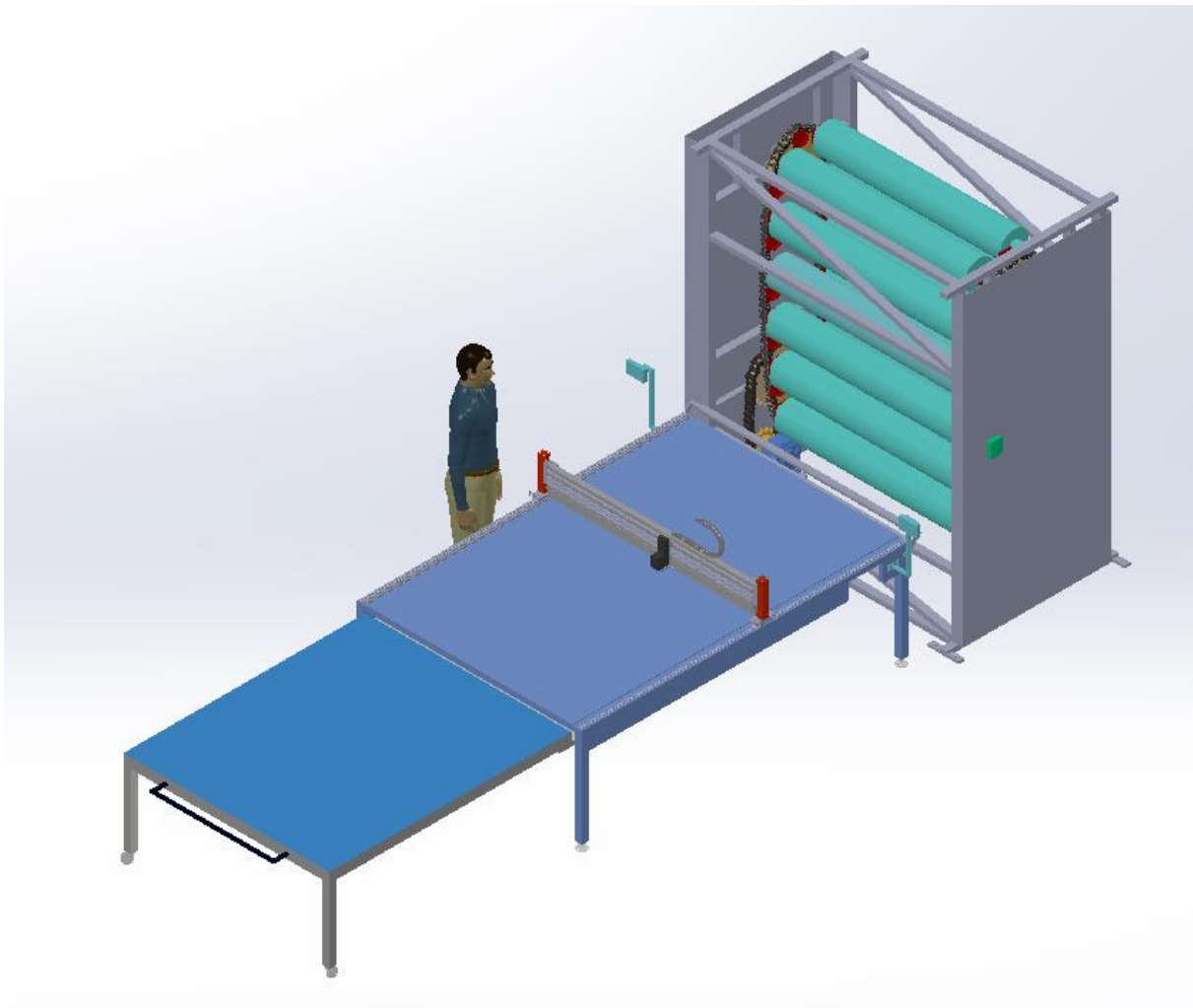


Obrázek 64 - Pracoviště ořezu (pohled zepředu)



Obrázek 65 - Pracoviště ořezu (pohled z boku)

6.3 Vertikální karuselový sklad s pracovištěm ořezu



7 Závěr

V této diplomové práci byl řešen vertikální karuselový sklad rolí s pracovištěm ořezu. Zadání práce vychází ze vznesených požadavků firmy Duratec s.r.o. Nejprve byla zpracována rešerše, kde byly zjišťovány konstrukční možnosti a pohonné ústrojí vertikálního karuselového skladu a jaké předměty lze do skladu ukládat. Bylo vyhledáno několik českých i zahraničních výrobců, kteří se specializují na výrobu těchto skladů. Podobným způsobem bylo postupováno i při rešerši pracoviště ořezu. Rešerše se týkala konstrukce rámu stolu, řezací hlavy a možnostech řízení. Na základě těchto informací byly vytvořeny možné návrhy řešení, z konstrukčního hlediska, ale z hlediska možné automatizace. Poté byly návrhy zhodnoceny a na základě požadavků firmy a kladného hodnocení řešení byl jeden návrh vybrán a dále řešen.

Ze zadané výšky, počtu kazet a hmotnosti jednotlivých rolí s materiálem byl zvolen dopravní řetěz typu FV. Řetěz bude vybaven prodlouženými čepy, na které budou zavěšeny kazety, ve kterých bude umístěna role s materiálem. Z parametrů řetězu byly vypočteny rozměry řetězových kol a počet jejich zubů. Následně byla provedena kontrola řetězu proti přetržení a kontrola prodlouženého čepu řetězu na ohyb.

V dalším kroku následoval návrh pohonu, který bude roztáčet řetězová kola. Byl zvolen asynchronní třífázový elektromotor s frekvenčním měničem a brzdou. Brzda je nutný bezpečnostní prvek. Elektromotor je doplněn o kombinaci šnekové převodovky a řetězového převodu. Šneková převodovka umožňuje dosažení vysokého převodového poměru, samosvornosti a malých zástavbových prostor. Řetězový převod umožní snížit otáčky řetězových kol a umístit elektromotor do rámu a tím snížit zástavbový prostor. Pro výpočet elektromotoru byly uvažovány odpory proti pohybu, které musí překonat. Z vypočteného výkonu a zvolené šnekové převodovky byl vypočten převodový poměr řetězového převodu a určen počet zubů pastorku a řetězového kola. Následně byl zvolen jednořadý válečkový řetěz, který byl opět kontrolován proti přetržení a otláčení. Pokud by nesplňoval dané podmínky, musel by být vybrán víceřadý řetěz. Poté byl stanoven rozběhový diagram, kde je stanoven čas rozběhu a zastavení vertikálního karuselového skladu. Dále byl stanoven průměr hřídele a počet per, která budou přenášet kroutící moment. Při stanovení průměru bylo použito vztah pro napětí v krutu, jelikož bude hřídel nejvíce zatěžován krutem. Hřídel bude uložen v ložiskových domcích. Navržené pohonné ústrojí bude uloženo do svařovaného rámu. Rám bude svařen z dutých profilů. Profily budou svařeny koutovými svary a metodou MIG.

Celý sklad bude ovládán pomocí ovládacího panelu, na kterém jsou na výběr dvě možnosti ovládání. Manuální a automatický režim.

Pracoviště ořezu bylo navrženo tak, aby byly splněny požadavky firmy. Pracovní plocha bude potažena materiálem Durocast, aby nedocházelo ke kontaminaci řezaného prepregu. Stůl je také vybaven otočnou tyčí, jež je umístěna na začátku stolu a slouží k přidržování odvíjeného materiálu z vertikálního karuselového skladu. Pohyb jednotlivých os je řešen pomocí lineárního vedení. Při návrhu osy X jsou kolejnice a vozíky navrženy pro maximální hmotnost celého příčnicku a síly vzniklé z řezného procesu. Identickým způsobem byla navržena osa Y. Pohyb osy Z je řešen pneumaticky. K tomuto účelu byly zvoleny pneumatické válce, které jsou schopny pohybovat s příčnickem v daném rozsahu. Příčnick je spojen s pneumatickou přítlačnou lištou. Při najetí nože do řezu, je zároveň materiál přitlačen k pracovní ploše, aby nedocházelo k deformaci materiálu během řezání. Pohyb osy X a Y je řešen manuálně. Pro aretaci v dané poloze slouží mechanické brzdy připojené k vozíkům, které jsou opět obsluhovány manuálně. Informace o poloze nože a možného nulování, jsou k osám přimontovány lineární magnetická odměřování. Poloha nože je poté zobrazena na displej, který je na obou stranách stolu v případě obsluhy z levé i pravé strany.

Stůl je možné výškově nastavit pomocí stavitelných patek umístěných v nohách stolu. Umožní stůl zvednout či snížit o několik centimetrů. Stůl je také možné prodloužit o zadanou délku. Pro snadné vysunutí je prodloužená část vybavena madlem a otočnými kolečky na přední straně. Zadní část prodloužené části stolu je vedena v drážce s kolečky. Při plném vysunutí je pracovní plocha prodloužené části stolu v rovině s hlavním stolem.

Pro takto navržená pracoviště byl vytvořen 3D model a výkresy sestav a vybraných dílů.

Seznam obrázků

Obrázek. 1 - 3D návrh pracoviště	12
Obrázek 2 - Porovnání zástavbových prostor [1]	14
Obrázek 3 - Znázornění pohybu VKS [2]	15
Obrázek 4 - Karuselový sklad firmy Jungheinrich [4]	16
Obrázek 5 - Vertikální karuselový sklad od firmy Southwest – solution [3]	17
Obrázek 6 - Vertikální karuselový sklad rolí od firmy Vidir [6]	17
Obrázek 7 - Vertikální karuselový sklad pro 12 rolí od firmy Southwest - solution s rozměry [3]	18
Obrázek 8 - Hliníkové profily [7]	18
Obrázek 9 - Výškově nastavitelný stůl [7], [11]	19
Obrázek 10 - CNC řezací stroj s tangenciálním nožem [8]	19
Obrázek 11 - Řezací plotr G3 od firmy Zünd [9]	20
Obrázek 12 - Nástrojová hlava pro šikmý řez [10]	21
Obrázek 13 - Pneumatická řezací hlava od firmy Aristo [10]	21
Obrázek 14 - Tangenciální nože [12]	21
Obrázek 15 - Průmyslový robot IRB 6620 [13]	22
Obrázek 16 - Úchopná hlavice pro role materiálu	22
Obrázek 17 – Pracoviště ořezu se samo odvíjením materiálu z VKS [23], [9]	24
Obrázek 18 – Manuální zakládání rolí s materiálem do skladu [23]	25
Obrázek 19 – CNC Řízený stůl firmy Zünd [9]	25
Obrázek 20 - 3D návrh pracoviště	26
Obrázek 21 - Redlerový řetěz s unašečem [16]	27
Obrázek 22 - Kazeta pro role s materiálem	27
Obrázek 23 – Řetěz s prodlouženými čepy [16]	27
Obrázek 24 - Zjednodušené schéma pohonu VKS	28
Obrázek 25 – Pohyb materiálu ve VKS (boční pohled)	28
Obrázek 26 – Plošný řezací plotr TEXI [20]	29
Obrázek 27 – Lineární pohon pomocí kuličkového šroubu [21]	30
Obrázek 28 – Digitální odměřování [22]	30
Obrázek 29 – Elektrické vysouvání prodloužené části stolu [9]	31
Obrázek 30 – Manuální prodloužení stolu	31
Obrázek 31 - Ustavovací noha stolu	32
Obrázek 32 – Elektrické nastavování výšky stolu [11]	32

Obrázek 33 – Zjednodušené schéma VKS	34
Obrázek 34 – Schéma řetězového kola s rozměry [17]	36
Obrázek 35 – Schéma zatížení kazety a řetězu s čepem.....	38
Obrázek 36 – Schéma zatížení čepu	39
Obrázek 37 - Schéma působení sil v řetězu (boční pohled)	41
Obrázek 38 – Motor se šnekovou převodovkou S67DRN90L4 BE5 [19]	43
Obrázek 39 - Diagram výkonu a otáček pro válečkové řetězy [18]	46
Obrázek 40 - Rozběhový diagram VKS	51
Obrázek 41 - Profil 60x40x3 mm	54
Obrázek 42 - 3D model rámu	54
Obrázek 43 - Ovládací panel VKS v manuálním režimu	55
Obrázek 44 - Ovládací panel VKS v automatickém režimu	55
Obrázek 45 - Hlavní pracovní stůl.....	56
Obrázek 46 - Vložka se závitem M16 do profilu 60x60 mm [33]	57
Obrázek 47 - Přidržovací otočná tyč materiálu	57
Obrázek 48 - Stůl s pracovní plochou potaženou Durocastem [32]	57
Obrázek 49 - Prodloužená část stolu	58
Obrázek 50 - Systém vysouvání a zasouvání prodloužené části stolu	59
Obrázek 51 - Ustavovací patka stolu	59
Obrázek 52 - Zatížení vozíků dle firmy HIWIN [27]	60
Obrázek 53 - Vozík HGH 15 CA s rozměry a parametry [27]	61
Obrázek 54 - Řezací hlava EOT – 3 [29]	63
Obrázek 55 - Výpočet průhybu přítlačné lišty [34]	64
Obrázek 56 - Lineární, bezpístnicový pneumatický válec s tlumením [31].....	64
Obrázek 57 - 3/2 rozvaděč s navracením do střední polohy pružinou [31]	65
Obrázek 58 - Manuální brzda pro lineární vedení [30].....	65
Obrázek 59 - Lineární magnetické pravítko TMLS-05S-02-2600 [26]	66
Obrázek 60 - DRO digitální odměřovací jednotka pro 2 osy – WARCO [26]	66
Obrázek 61 - Energetický řetěz [28].....	67
Obrázek 62 - Vertikální karuselový sklad rolí (pohled zepředu)	68
Obrázek 63 -Vertikální karuselový sklad rolí (pohled zhora)	68
Obrázek 64 - Pracoviště ořezu (pohled zepředu)	69
Obrázek 65 - Pracoviště ořezu (pohled z boku)	69
Obrázek 66 - Vertikální karuselový sklad rolí s pracovištěm ořezu.....	70



Seznam tabulek

Tabulka 1 – Dopravní řetěz FV s kladkou Typu S [16].....	34
Tabulka 2 – Činitelé rázu Y [18].....	40
Tabulka 3 – Parametry třífázového elektromotoru DRN90L4	42
Tabulka 4 – Parametry šnekové převodovky S 67 [19].....	42
Tabulka 5 – Činitelé výkonu χ [18]	44
Tabulka 6 – Činitelé mazání [18]	44
Tabulka 7 – Činitelé provedení φ [18]	44
Tabulka 8 – Činitelé vzdálenosti os ρ [18]	44
Tabulka 9 – Válečkový řetěz 28 B [16].....	46
Tabulka 10 – Válečkový řetěz – koeficient K [18].....	47
Tabulka 11 – Směrný tlak v kloubech pro válečkové řetězy [18]	48
Tabulka 12 – Rozměry řetězového kola a pastorku	48

Seznam použitých zdrojů

- [1] Modula Vertical Storage carousel, Modula. [online] b.r. [cit. 2018]. Dostupné z: <https://www.modula.us/advantages/space-saving.html> ;
- [2] Vitalvalt – Rotomat industrial carousels. [online] b.r. [cit. 2019]. Dostupné z: <http://vitalvalt.com/equipment/rotomat-industrial-carousels/>
- [3] Southwestsolutions – Vertical carousels store. Southwestsolutions. [online] b.r. [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.southwestsolutions.com/specialty-motorized-vertical-carousels/vertical-carousels-store-large-rolls-of-fabric-textiles-for-canopies-awnings> ;
- [4] Jungheinrich – Vertikální karuselový zakladač PRK. Jungheinrich [online]. b.r. [cit. 2018]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/produkty/vertikalni-vytahove-systemy/vertikalni-karuselovy-zakladac-prk/>
- [5] Kardexremstar-vertikální karuselový sklad. kardexremstar [online]. b.r. [cit. 2015-02- 20]. Dostupné z: <https://www.kardex-remstar.cz/cz/automatizovane-skladove-systemy/vertikalni-karuselovy-sklad.html>
- [6] VIDIR-vertical storage solutions. storevertical [online]. b.r. [cit. 2017-06-30]. Dostupné z: <https://eluc.krolomoucky.cz/verejne/lekce/1268>
- [7] ALUTEC KK — Novinka v sortimentu modelových řad. ALUTEC KK [online]. b.r. [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.aluteckk.cz/novinky/novinky-v-sortimentu-modulovych-rad>

- [8] Zhuoxing — Automotive trim industry. Zhuoxingcnc [online]. b.r. [cit. 2016-08-24].
Dostupné z: <http://en.zhuoxingcnc.com/a/jiaodianqiegeji/20180503/48.html>
- [9] Řezací plotr G3 — výkon a přesnost bez kompromisů. Zünd [online]. b.r. [cit. 2019-1-18].
Dostupné z: <http://www.neotec.cz/zund/g3seznam/>
- [10] ARISTO – nástrojové hlavy. HaWe system [online]. b.r. [cit. 2018-06-13]. Dostupné z:
<http://www.hawe.cz/produkty/multifunkcni-rezaci-plotry-aristo/aristo-nastrojove-hlavy#standard>
- [11] SUSPA – polohovací systémy. SUSPA [online]. b.r. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z:
<https://www.suspa.com/cz/produkty/polohovaci-systemy/movotec-mls/?fbclid=IwAR1sr5g5bUCONXMLdI5iZRdVjWePc9UfLzYnPIAHLMuwGV98AHxeZg8gEw>
- [12] Roland – cutter blades . CNC-Plus [online]. b.r. [cit. 2014-08-29]. Dostupné z:
<https://cnc-plus.de/en/Router-Accessories/Replacement-Roland-vinyl-cutter-blade--drag-knife-blade-30---45--or-60--.html>
- [13] Abb-průmyslové roboty. ABB [online]. b.r.[cit.2019-03-05].Dostupné z
<https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-6620>
- [14] Fanuc-vyhledávač robotů. Fanuc [online]. b.r.[cit.2019-03-05].Dostupné z
<https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-900/m-900ib-280l>
- [15] Kuka robotics . Kuka [online]. b.r.[cit.2019-03-05].Dostupné z <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-quantec>
- [16] Katalog.pdf . Řetězy Vamberk [online]. b.r.[cit.2019-03-05].Dostupné z
<http://www.retezy-vam.com/images/PDF/Katalog.pdf>
- [17] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [18] Výpočet řetězového převodu. ČZ Chains. [online]. b.r.[cit.2017-01-06].Dostupné z
https://www.czretezy.cz/docs/prum_vypocet_retezoveho_prevodu.pdf
- [19] Konfigurátor výrobků.SEW EURODRIVE . [online]. b.r.[cit.2017-05-17].Dostupné z
https://www.sew-eurodrive.cz/os/catalog/products/drives/acgearmotor/default.aspx?language=cs_CZ&country=CZ
- [20] Velkoformátové plotry/tiskárny . Šicí stroje-shop. [online]. b.r.[cit.2018-04-21].Dostupné z
<https://www.sicistroje-shop.cz/plosny-plotr-rezaci-teni-mp-210x100>
- [21] CNC lineární pohon 300 mm s krokovým motorem. arduino-shop.cz. [online]. b.r.[cit.2016-07-18].Dostupné z https://arduino-shop.cz/arduino/5440-cnc-linearni-pohon-300-mm-s-krokovym-motorem.html?gclid=CjwKCAjwOZfoBRB4EiwASUMdYQOhIProJ3zgPXZzmfuNSLXw-fTYkBQLpwFcP1HlgnmpdD4z_DSM8BoCWmoQAvD_BwE
- [22] Digitální odměřovací systémy . Uni-max. [online]. b.r.[cit.2017-03-22].Dostupné z
<https://www.uni-max.cz/produkty/vybaveni-dilen/meridla/digitalni-odmerovaci-systemy/digitalni-meritka-delky/digitalni-odmerovaci-system-300->

[mm?wdph=on&gclid=CjwKCAjwOZfoBRB4EiwASUMdYQeKIS_kMBCbHrUHIF2eTn97wm_cFkRflaDtdz_OMBvUrOVI3KTDYxoCLwAQAvD_BwE](#)

[23] ROLLS & SPOOLS – Vertical carousels. Systeo Vertical motorized carousels. [online]. b.r.[cit.2015-08-16]. Dostupné z <https://www.systeo-industrie.com/en/vertical-roll-carousel-fabric-carousels-vertical-storage-system/>

[24] Transportní zařízení: Řešené příklady. Martínek, Petr. Vysoká škola báňská. b.r. [cit. 1993]. ISBN 80-7078-165-3

[25] Lineární magnetické pravítko. Měřidla Jirka. [online]. b.r.[cit.2018-02-15]. Dostupné z <http://www.meridla-jirka.cz/product/linearni-magneticke-pravitko-1>

[26] DRO – Display jednotky. Prima dílna. [online]. b.r.[cit.2017-08-25]. Dostupné z https://www.primadilna.cz/DRO-digitalni-odmerovaci-jednotka-2-osy-Warco-d3044.htm?gclid=CjwKCAjwxrzoBRBBEiwAbtX1nxf6ybx9VZmwycgtHgemC42riou7iqP8b2lGRmNzCmPDkOW1hr6fOBoCfRIQAvD_BwE

[27] Katalogovy_list_HGH.pdf. HIWIN.cz. [online]. b.r.[cit.2016-12-18]. Dostupné z https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-gh/17_vozik-hgh

[28] Energetické řetezy. Conrad.cz. [online]. b.r.[cit.2010-11-08]. Dostupné z https://www.conrad.cz/energeticky-retez-lapp-silvyn-chain-serie-medium-61210028-1-ks.k600992?gclid=CjOKCQjwjYHpBRC4ARIsAI-3GkHE_EA4cKRk_pnj4VH-OHxnTNUE6riJmR-hgvkS6qQh6ykBZCnbNhEaAmImEALw_wcB

[29] CNC accessories. CNCStep.com. [online]. b.r.[cit.2017-09-12]. Dostupné z <https://www.cnc-step.com/oscillating-tangential-knife-eot-3/>

[30] Brzdy manuální HK. HIWIN.cz. [online]. b.r.[cit.2016-12-18]. Dostupné z https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/brzdy/brzdy-manualni-hk/379_brzda-hk-pro-radu-hg

[31] Pneumatický válec – konstrukční řada OSP-P. Fluidtechnik. [online]. b.r.[cit.2014-06-28]. Dostupné z http://www.fluidtechnik.eu/resources/upload/data/105_1.10.002CZ.pdf

[32] Durocast Table Tops. TYGAVAC.co. [online]. b.r.[cit.2012-07-13]. Dostupné z <https://www.tygavac.co.uk/durocast-table-tops>

[33] Vložky se závitem. HABEKORN.cz. [online]. b.r.[cit.2015-04-17]. Dostupné z <https://eshop.haberkorn.cz/vlozka-se-zavitem-ctvercova-vlozka-se-zavitem-ctvercova-1-35.html?cnid=5W2J000101&>

[34] Výpočet průhybu staticky určitého nosníku. E – konstruktér.cz. [online]. b.r.[cit.2014-10-18]. Dostupné z <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/18-vypocet-pruhybu-nosniku/36-vypocet-pruhybu-staticky-urcite-nosniky/39-vypocet-pruhybu-staticky-urciteho-nosniku>

[35] SKF bearing calculator. SKF.com. [online]. b.r.[cit.2017-09-03]. Dostupné z <http://webtools3.skf.com/BearingCalc/selectCalculation.action>

7.1 Seznam příloh

Výkresová dokumentace

- DP-2019-001.0 – Výkres sestavy pracoviště ořezu
- DP-2019-001.0-S – Kusovník pracoviště ořezu
- DP-2019-001.6 – Výrobní výkres uchycení vozíků, brzdy a pneumotoru
- DP-2019-001.7 – Výrobní výkres držáku přítlačné lišty příčnicku
- DP-2019-001.8 – Výrobní výkres držáku přítlačné lišty
- DP-2019-002.0 – Výkres sestavy vertikálního karuselového skladu
- DP-2019-002.0-S – Kusovník vertikálního karuselového skladu
- DP-2019-002.1 – Výkres svařovaného rámu
- DP-2019-002.2 – Výrobní výkres hřídele spojující kola Z2, Z3, Z4
- DP-2019-002.3 – Výrobní výkres hřídele spojující kola Z5 a Z6

Elektronická příloha (CD)

- 3D model vertikálního karuselového skladu rolí s pracovištěm ořezu
- Výkresová dokumentace v pdf. formátu
- Text diplomové práce v pdf