VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH A KONSTRUKCE MANIPULÁTORU A AKUMULAČNÍHO ZÁSOBNÍKU DŘEVĚNÝCH LAMEL

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE MANIPULATOR AND STORAGE CONTAINER OF THE WOODEN SLATS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. TOMÁŠ NADYMÁČEK

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. JAN SÝKORA

SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Nadymáček

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh a konstrukce manipulátoru a akumulačního zásobníku dřevěných lamel

v anglickém jazyce:

Design and construction of the manipulator and storage container of the wooden slats

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout manipulátor pro manipulaci spojených dřevěných lamel a jejich nasledné ukládání do akumulačního zásobníku.

Cíle diplomové práce:

- Analýza dané problematiky
- Návrh variant řešení
- Výpočtová dokumentace
- Konstrukční návrh vybrané varianty řešení - 3D model
- Výkresová dokumentace vybraných součástí (sestava, ...)
- Ekonomické zhodnocení

Seznam odborné literatury:

- Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISSN 212-2572
- BORSKÝ, V.; Základy stavby obráběcích strojů.ISBN 55-600-86
- BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. Části strojů I a II. Technický průvodce 6 Praha: SNTL, 1990.

- www.infozdroje.cz
- www.mmspektrum.com
- webové stránky výrobců a dodavatelů manipuačních zařízení

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Sýkora

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

Abstrakt

Náplní této diplomové práce je konstrukční návrh manipulátoru dřevěných lamel. Práce obsahuje návrh dvou variant řešení pro dvě hlavní části stroje, výpočtovou část, konstrukční řešení jednotlivých částí. Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace a model manipulátoru.

Klíčová slova

Manipulátor, akumulační zásobník, zdvih, pojezd

Abstrakt

Subject of this masters thesis is the constructional project of the wooden lamelas manipulator. Thesis comprises design of the two possible solution for two main parts of the device, calculational part and constructional solution of the components. Part of the thesis is design documentation and the model of the manipulator.

Key word

Manipulátor, storage container, upheaval, traversing

Bibliografická citace

NADYMÁČEK, T. *Návrh a konstrukce manipulátoru a akumulačního zásobníku dřevěných lamel.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 57 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Sýkora.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Jana Sýkory.

V brně 24.května 2010 ……..

Tomáš Nadymáček

Poděkování

Rád bych poděkoval za vedení a odborné rady Ing. Janu Sýkorovi během mé práce. Děkuji též svým rodičům za veškerou pomoc a podporu při studiu na této škole.

Obsah

Úvod 13
1. Manipulátory ve výrobním procesu 14
2. Zadání požadavků a parametrů pro manipulátor 17
2.1. Spojené dřevěné lamely 17
2.2. Linka na výrobu dřevěných lamel 18
2.3. Vstupní parametry 18
3. Varianty řešení 19
3.1. Akumulační zásobník 19
3.1.1. Varianta 1 19
3.1.2. Varianta 2 20
3.2. Vodorovný pojezd – manipulace s lamelami 21
3.2.1. Varianta 1 21
3.2.2. Varianta 2 22
3.3. Posouzení variant 23
4. Konstrukční uzly manipulátoru 24
4.1. Rám 24
4.2. Akumulační zásobník 24
4.3. Vodorovný pojezd 25
5. Výpočetní část 26
5.1. Výpočet reakcí 26
5.1.1. Výpočet reakcí – spouštění 28
5.1.2. Výpočet reakcí –vysouvání 29
5.2. Pevnostní výpočet trapézového šroubu 30
5.2.1. Namáhání šroubu při uvolňování 31
5.2.2. Namáhání šroubu při utahování 32
5.2.3. Bezpečnost šroubu 33
5.3. Výpočet pohonu pro zdvih akumulačního zásobníku 34
5.3.1. Výpočet výkonu při uvolňování šroubu 34
5.3.2. Výpočet výkonu při utahování šroubu 35
5.4. Výpočet pohonu pro vodorovný pojezd 35
6. Konstrukční řešení manipulátoru 37
6.1. Rám 37

6.2. Akumulační zásobník 38
6.2.1. Spodní deska 39
6.2.2. Zvedák 40
6.2.3. Náhon 41
6.3. Vodorovný pojezd 43
6.3.1. Pohyblivý příčník 44
6.3.2. Náhon vodorovného pojezdu 45
7. Vizualizace řešení 48
8. Ekonomické zhodnocení, doba návratnosti 49
Závěr 51
Seznam použitých zdrojů 52
Seznam použitých zkratek, symbolů a veličin 53
Seznam obrázků 55
Seznam příloh 57

Úvod

Rostoucí tlak na zvyšování produktivity a kvality výrobního procesu je jedním z hlavních důvodů aplikace různých automatických výrobních zařízení. Tyto zařízení zastávají funkci celé řady úkonů a procesů v nepřeberném množství průmyslových odvětví. Mezi hlavní zástupce samozřejmě patří manipulátory a roboty.

Tato diplomová práce obsahuje konstrukční návrh možného řešení manipulátoru dřevěných lamel. Jedná se o odběr spojených dřevěných lamel z výstupního dopravníku linky, která tyto lamely vyrábí a následné ukládání na akumulační zásobník. Řeší tedy automatizovaný odběr výstupního polotovaru z linky, což může mít na výkonnost a na náklady výroby značný přínos. Při navrhování tohoto manipulátoru byl kladen hlavní důraz na spolehlivý provoz při zachování nízké finanční nákladnosti na výrobu. Navržená konstrukce uvedené podmínky splňuje.

1. Manipulátory ve výrobním procesu

Do manipulačních zařízení můžeme zahrnout všechny manipulační mechanizmy, s výjimkou dopravních zařízení, jako jsou např. různé typy dopravníků, vozíků.

Jednoúčelové manipulátory se používají zpravidla pro automatizaci manipulačních prací jednoúčelových strojů a linek pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Bývají často částí obsluhovaného stroje, kterým jsou i řízeny. Jejich konstrukční provedení je těmto strojům podřízeno. Mají omezenou funkci, spočívající v manipulaci s jedním konkrétním předmětem nebo s předměty si podobnými, ovšem v malém rozsahu změn rozměrů.

Na obr.1.1 je příklad jednoúčelového manipulátoru sedaček pro Audi Q7.

Obr.1.1 Manipulátor sedaček pro Audi Q7 [2]

Na obr. 1.2, 1.3 je příklad manipulátoru kamenů. Nahrazuje těžkou ruční práci s menšími bloky kamene do ca. 600 kg hmotnosti, s jejich přisunováním pod štípací nástroje, jejich převracení i posouvání zpět. V tomto případě použití manipulátoru se jedná o obrovský přínos, neboť ruční manipulace je s takto hmotným břemenem téměř vyloučena.

Obr.1.2 Manipulátor stavebních kamenů MK 800 [1]

Obr.1.3 Manipulátor stavebních kamenů [1]

Na obr.1.2 je další příklad jednoúčelového manipulátoru, konkrétně manipulátoru dveří.

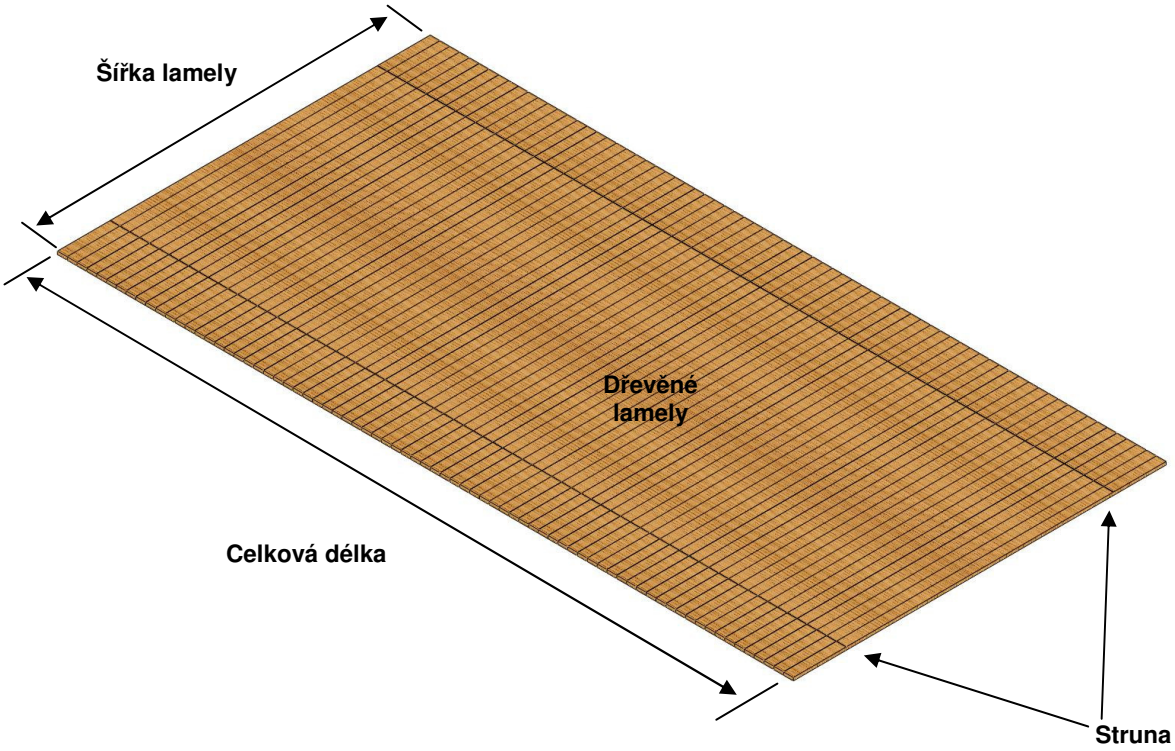
Obr.1.4 Manipulátor dveří. [7]

2. Zadání požadavků a parametrů pro manipulátor

Jak vyplývá ze zadaní, úkolem tohoto manipulátoru je přesouvat spojené dřevěné lamely z výstupního dopravníku linky na výrobu těchto lamel do akumulačního zásobníku manipulátoru. Akumulační zásobník slouží pro hromadění lamel.

2.1. Spojené dřevěné lamely

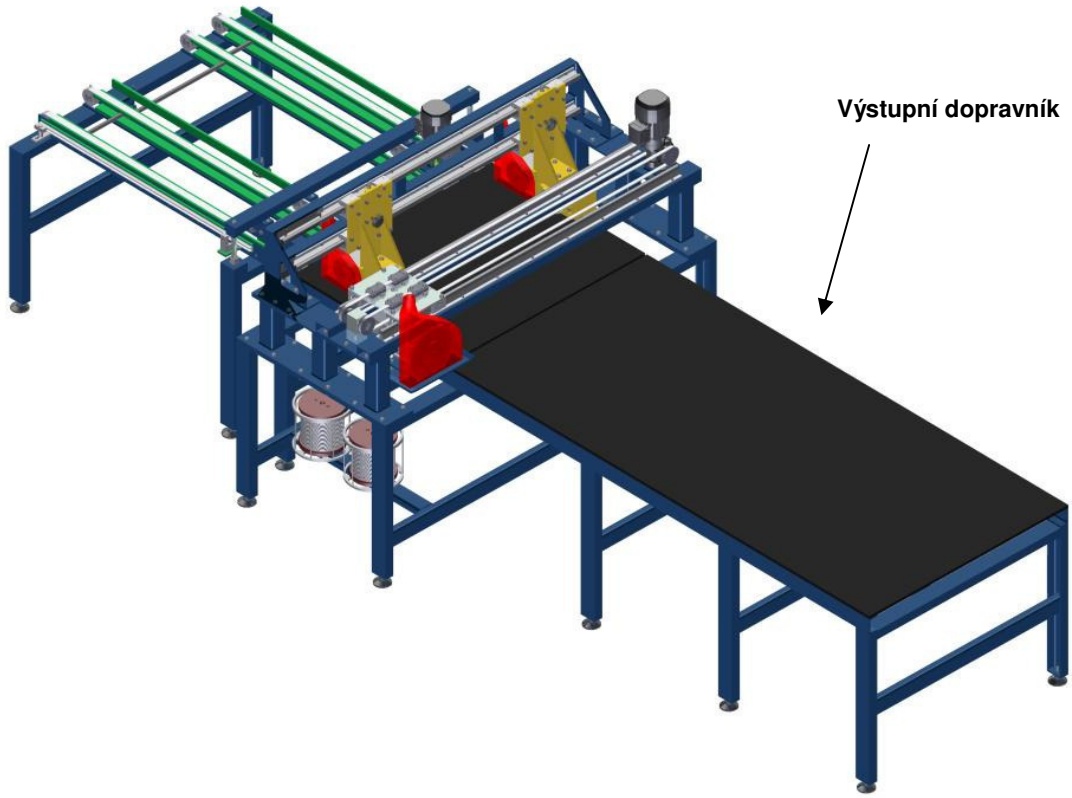
Spojené dřevěné lamely vznikají spojením z potřebného množství a rozměru lamel. Výsledný tvar je používán jako výchozí polotovar k dalšímu zpracování. K spojení lamel se používá silikonová struna.



Obr.2-1 Spojené dřevěné lamely

Celková délka je dána počtem spojených lamel.
Délka jedné lamely určuje celkovou šířku.

2.2. Linka na výrobu dřevěných lamel



Obr.2-2 Linka na výrobu dřevěných lamel

Na obr.2-2 je zobrazena linka na výrobu dřevěných lamel. Lamely budou odebírány z místa výstupního dopravníku. Vstupními parametry pro konstrukci manipulátoru budou jeho rozměry.

2.3. Vstupní parametry

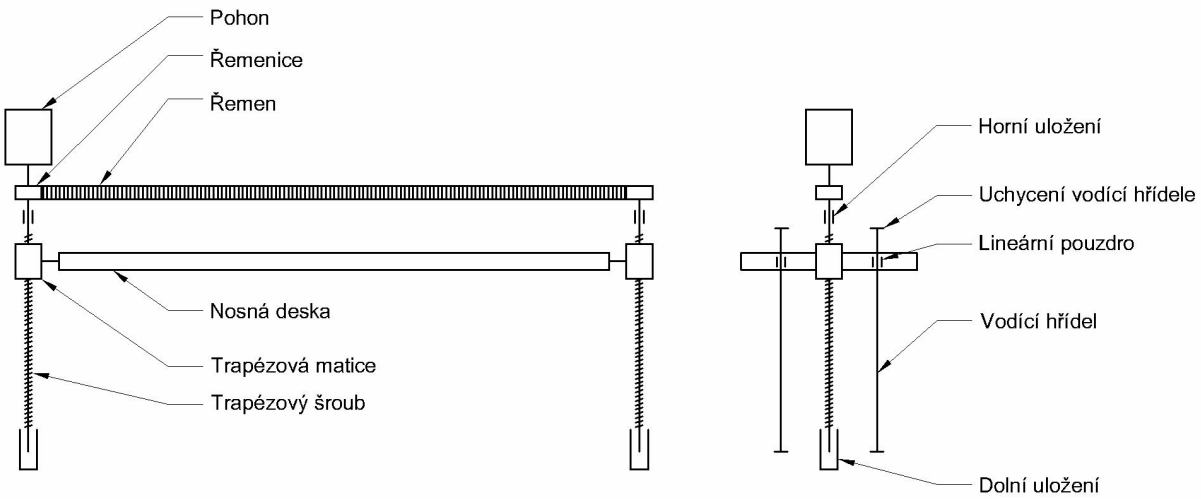
Výška výstupního dopravníku	906 mm
Celková šířka spojených lamel	1140 mm
Celková délka spojených lamel	2240 mm
Tloušťka lamel	9 mm

3. Varianty řešení

3.1. Akumulační zásobník

Akumulační zásobník má sloužit k ukládání spojených dřevěných lamel.

3.1.1. Varianta 1



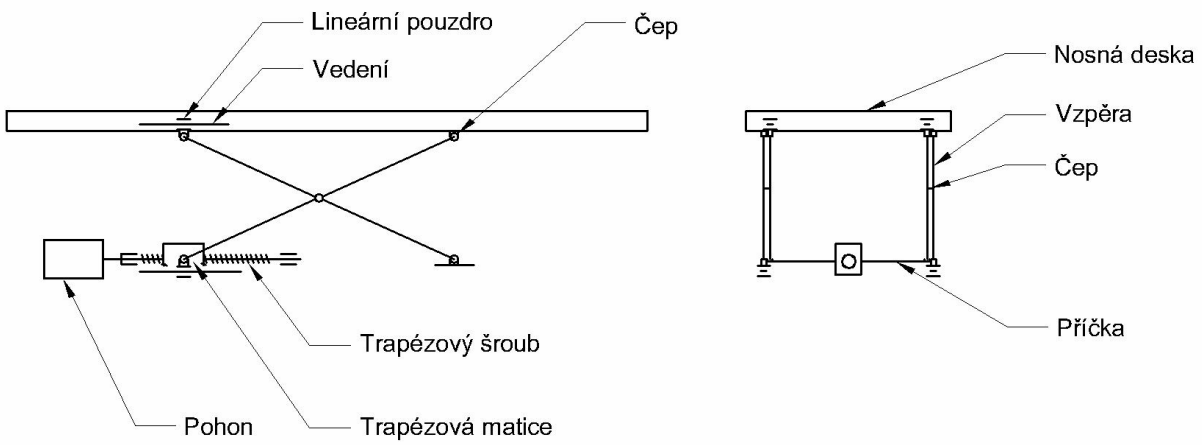
Obr.3-1 Akumulační zásobník – Varianta řešení č.1

Na obr.3-1 je schématicky zobrazen princip této varianty řešení. K vyvození potřebného svislého pohybu je použit trapézový šroub s maticí. Lamely se ukládají na nosnou desku. Na nosné desce jsou po stranách upevněny trapézové matice. V horní části je uchycen pohon šroubu. Šroub je uložen v horním a dolním uložení s radiálním, resp. axiálním ložiskem. Symetrická konstrukce je vytvořena použitím dvojící pohybových šroubů. Vzájemný synchronizovaný pohyb je zajištěn jednostupňovým řemenovým převodem. Podle směru otáčení šroubu se nosná deska pohybuje směrem vzhůru nebo dolů.

Spodní deska je dále opatřena lineárními pouzdry, které se pohybují ve vodících hřídelích a tím vymezují přesný svislý pohyb. Důvodem je potřebné zvýšení pevnosti a omezení působení nežádoucích sil na šroub. Příklad nežádoucí situace může nastat při odběru nahromaděných lamel vysokozdvižným vozíkem a jeho následným kontaktem se spodní deskou. Při tomto kontaktu by mohlo dojít k poškození šroubu.

Výhody této varianty spočívají v širokém rozsahu zdvihu a dobré tuhosti.

3.1.2. Varianta 2



Obr.3-2 Akumulační zásobník – Varianta řešení č.2

Princip této varianty vychází ze stejné podstaty jako u hojně používaných hydraulických zvedacích plošin. Ukázka takovéto plošiny je na obr.

Obr.3-3 Hydraulická zdvižná plošina [2]

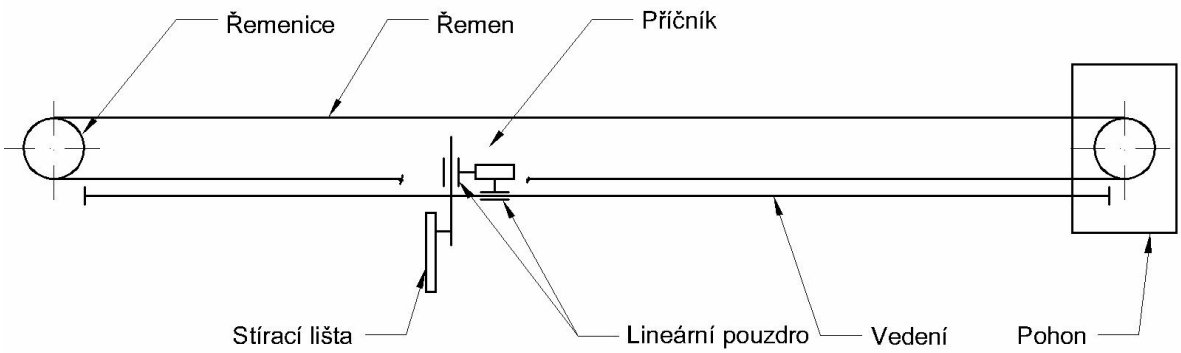
Kvůli větší složitosti, zástavbových rozměrů hydraulického pohonu, energetické náročnosti a v neposlední řadě s tím spojené finanční nákladnosti, je funkce hydraulického válce nahrazena opět trapézovým šroubem.
Vzpěry jsou spojeny s rámem a nosnou deskou pomocí čepů a také v kluzném vedení. Příčka, spojující vzpěry nese trapézovou matici. Pohybem matice s otáčejícím se šroubu dochází k zvedání nebo spouštění nosné desky.

Velkou výhodou této varianty je její jednoduchost. Díky vzpěrám, které slouží jako jistý převod, nepůsobí na šroub zátěž přímo, ale je částečně zmenšena. Z jednoduchosti také vyplývají malé rozměry.

3.2. Vodorovný pojezd – manipulace s lamelami

Vodorovný pojezd je funkční část, která má za úkol manipulovat s lamelami a dopravovat je z výstupního dopravníku linky na akumulační zásobník.

3.2.1. Varianta 1

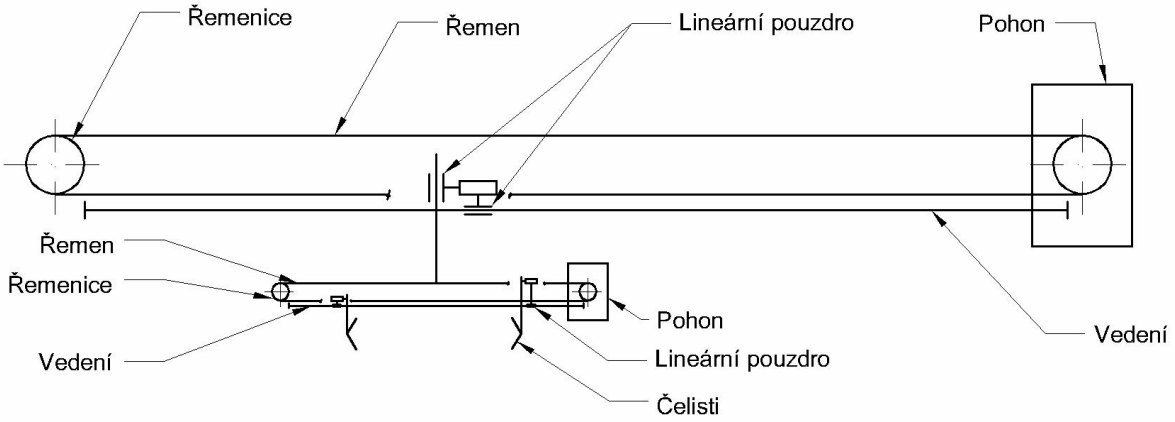


Obr.3-4 Vodorovný pojezd - Varianta řešení č.1

Pro vodorovný pohyb je využito jednostupňového řemenového převodu. Na řemenu je pomocí upínacích destiček připevněn příčník, který se pohybuje v kluzném vedení. Vhodnou vzájemnou osovou vzdáleností řemenic dosáhneme potřebného vodorovného rozsahu pohybu.

Varianta 1 pro manipulaci s lamelami využívá nejjednodušší možné řešení, a to přímého sesunu lamel z výstupního dopravníku linky na akumulační zásobník. Jakmile jsou na výstupu linky k odebrání hotové spojené lamely, příčník dojede k boční straně lamel. Stírací lišta sjede o kousek dolů, a tím lamelu zachytí. Krátký svislý pohyb může být řešen různými způsoby, např. pomocí pneumatického válce. Následně dojde k sesunu lamely na akumulační zásobník.

3.2.2. Varianta 2



Obr.3-5 Vodorovný pojezd - Varianta řešení č.2

K vodorovnému pohybu je stejně jako u varianty 1 použito jednostupňového řemenového převodu. Opět se pomocí něj pohybuje v kluzném vedení příčník nesoucí prvky k manipulaci s lamelami.

Rozdíl nastává v samotné manipulaci s lamelami. U varianty 2 dojde k sevření lamel čelistmi. Takto uchopené lamely jsou přemísťovány na akumulační zásobník. Sevření je dosaženo opět řemenovým převodem. Jednotlivé čelisti jsou upevněny na opačné větvi řemenu. Při pohybu řemenu dochází k opačnému pohybu čelistí, díky čemuž dochází k jejich rozevírání a svírání. Stejně jako ve variantě 1 je nutné doplnit mechanizmus krátkým svislým zdvihem, např. pneumatickým pístem.

3.3. Posouzení variant

Jednotlivé varianty jsou navrženy s ohledem na jednoduchost a snadnou vyrobitelnost. Samozřejmostí jsou co nejnižší náklady.

Akumulační zásobník

Při posuzování těchto dvou variant lze při jistých výhodách a nevýhodách dojít k různým závěrům. Obě varianty jsou lehce aplikovatelné a bez zásadních nevýhod, které by mohly vést k jasnému výběru jedné či druhé varianty. Obě splňují požadavky v celém rozsahu, ale k přihlédnutí k hlavní výhodě druhé varianty, spočívající v její jednoduchosti je vybrána pro další řešení.

Další řešení akumulačního zásobníku – Varianta 2

Vodorovný pojezd

U vodorovného pojezdu je situace obdobná jako u akumulačního zásobníku, stejně tak i důvod výběru první varianty. Jednoduchost varianty využívající sesuvu lamel i použití menšího počtu dílů je zřejmé. Je tedy vybrána pro další řešení.

Další řešení vodorovného pojezdu – Varianta 1

4. Konstrukční uzly manipulátoru

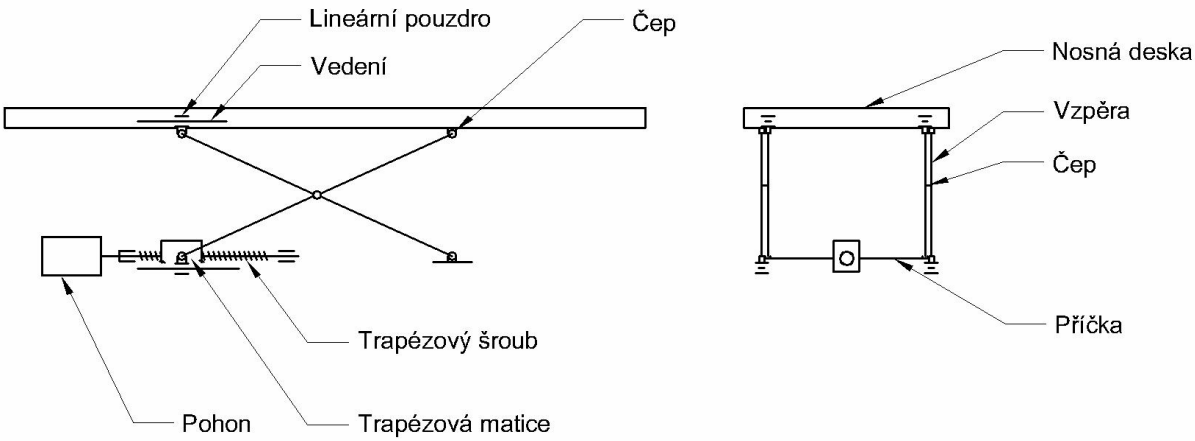
Manipulátor dřevěných lamel se skládá z těchto konstrukčních uzlů

- Rám
- Akumulační zásobník
- Vodorovný pojezd

4.1. Rám

U rámu, jakožto základního nosného celku všech dalších částí manipulátoru, je nezbytné, aby splňoval určité parametry. Hlavní podmínkou je dostatečná pevnost, která má vliv jak na trvanlivost a spolehlivost stroje tak na přesnou funkci ostatních částí.

4.2. Akumulační zásobník



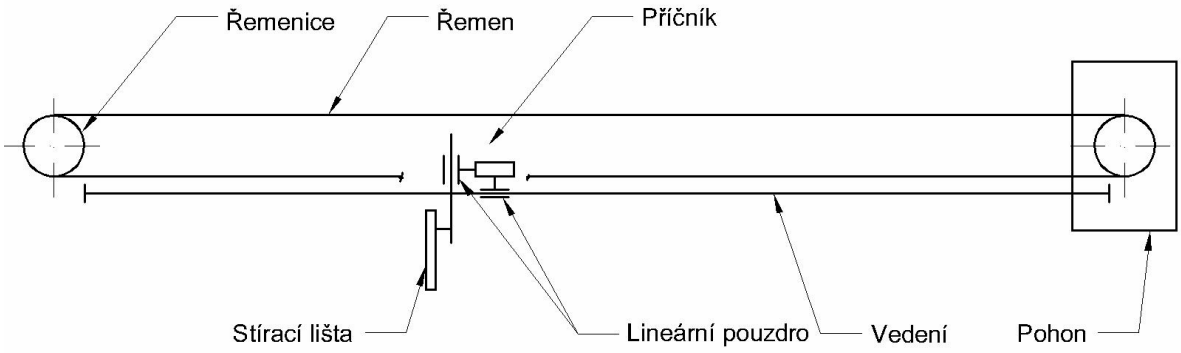
Obr.4.1 Schéma akumulačního zásobníku

Akumulační zásobník musí být dostatečně pevný i při plném zatížení. Požadavkem pro správnou funkci je také potřebný rozsah zdvihu.

Na akumulační zásobník jsou dopravovány spojené lamely. Ve výchozím stavu je nosná deska vysunuta v horní pozici. Po každém přidání spojených lamel, sjede nosná deska o jejich výšku níže, aby bylo možné cyklus opakovat. Po vyčerpání

kapacity zásobníku dojde k odebrání lamel k dalšímu zpracování. Poté opět dojde k nastavení do výchozího stavu a celý proces se opakuje.

4.3. Vodorovný pojezd



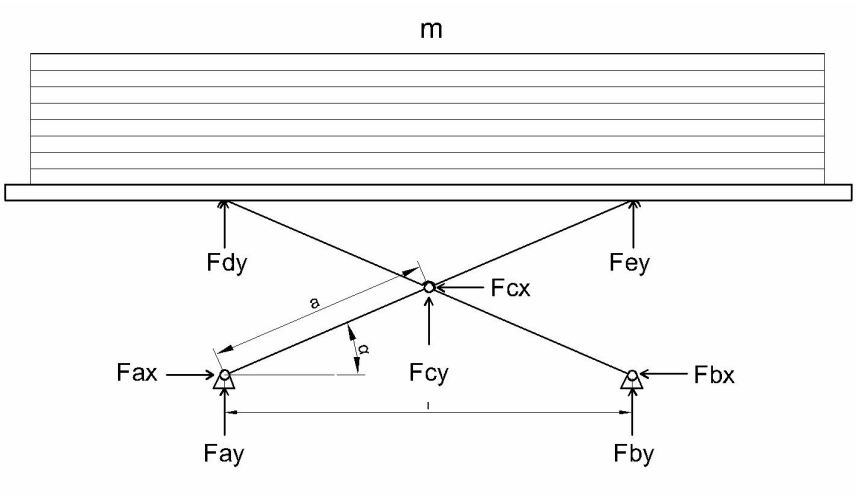
Obr.4.2 Schéma vodorovného pojezdu

Vodorovný pojezd zastává hlavní úlohu celého procesu, kterou je manipulace s lamelami. Ta se odehrává, jak již bylo uvedeno v popisu této varianty sesouváním.

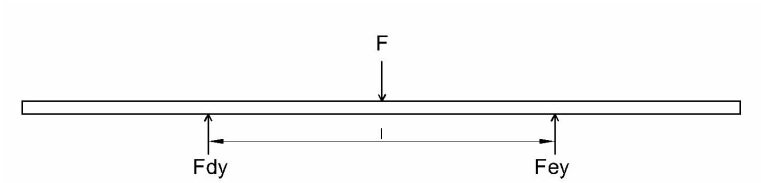
5. Výpočetní část

5.1. Výpočet reakcí

Na obr. je zobrazen akumulační zásobník a nahrazení vazeb reakcemi. Následně jsou sestaveny rovnice rovnováhy.



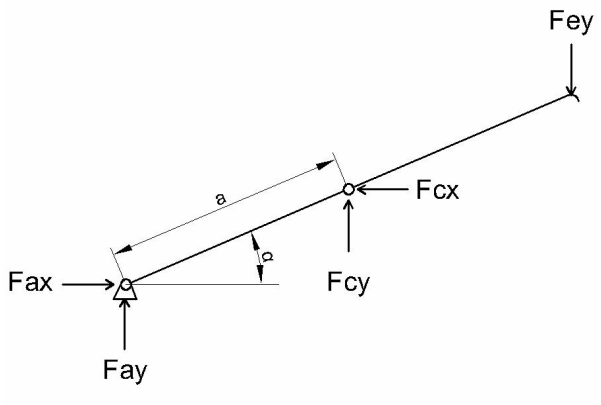
Obr.5.1 Reakce



Obr.5.2 Reakce – spodní deska

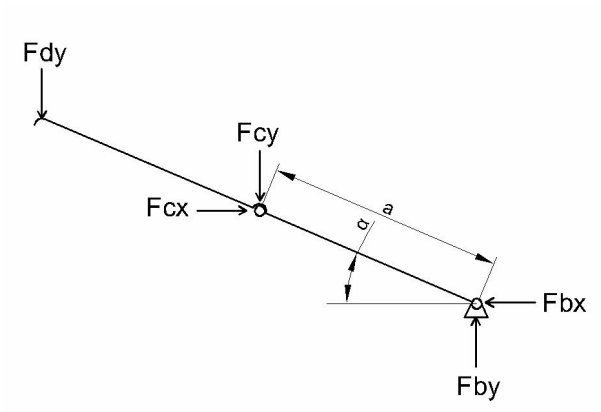
$$x: \quad Fdy - Fey = F = m \cdot g$$

$$M_D: \quad Fey \cdot l - F \cdot \frac{l}{2} = 0$$



Obr.5.3 Reakce - Vzpěry 1

$$x: \quad Fax - Fcx = 0$$
$$y: \quad Fay - Fcy = Fey$$
$$M_A: \quad Fcy \cdot a \cdot \cos\alpha + Fcx \cdot a \cdot \sin\alpha - Fey \cdot 2 \cdot a \cdot \cos\alpha = 0$$

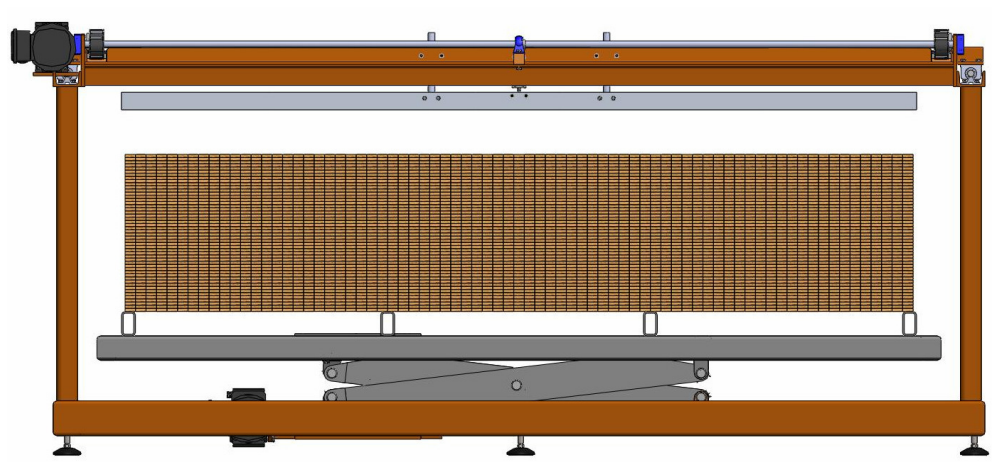


Obr.5.4 Reakce - Vzpěry 2

$$x: \quad -Fbx + Fcx = 0$$
$$y: \quad Fby - Fcy + Fdy = 0$$
$$M_B: \quad Fcy \cdot a \cdot \cos\alpha - Fcx \cdot a \cdot \sin\alpha + Fdy \cdot 2 \cdot a \cdot \cos\alpha = 0$$

5.1.1. Výpočet reakcí – spouštění

Vždy po dopravení lamely na spodní desku akumulačního zásobníku sjede spodní deska o výšku lamely níže. Moment, kdy při spouštění působí největší zatížení, je při nakládání poslední lamely, tj.9mm před nejnižší pozicí spodní desky. Zatížení je tedy od hmotnosti lamel m_L a spodní desky m_D.



Obr.5.5 Akumulační zásobník s lamelami

Hodnoty získané z fyzikálních vlastností modelu z softwaru SolidWorks

$$\alpha = 4{,}3^\circ$$
$$m = m_L + m_D = 727\,kg + 108\,kg = 835\,kg$$
$$l = 1053\,mm$$
$$a = 528\,mm$$

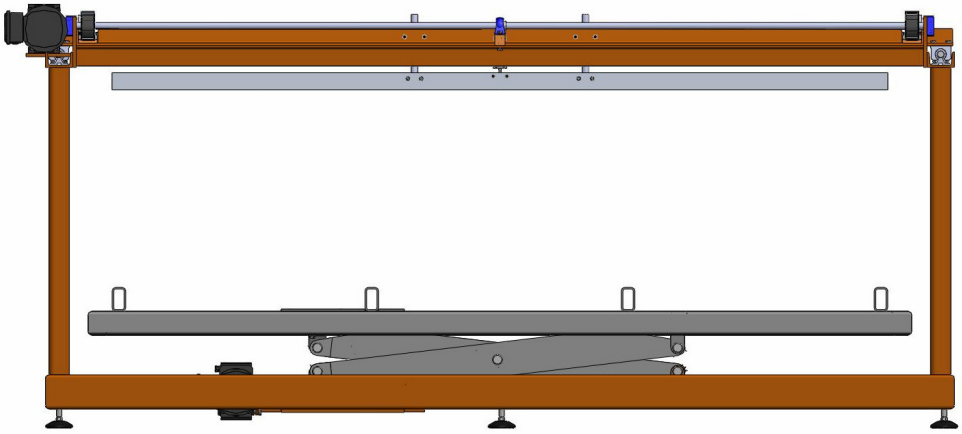
Při dosazení do rovnic viz. kap. 5.1 dojdeme k následujícím hodnotám (rovnice byly vypočítány pomocí MAPLE 9.5):

$$F = 8200N$$
$$Fax = Fbx = Fcx = 3400N$$
$$Fay = Fby = Fdy = Fey = 4100N$$
$$Fcy = 0N$$

Síla působící na šroub při zvedání $\underline{\underline{Fax = 3400N}}$

5.1.2. Výpočet reakcí –vysouvání

Je-li na spodní desce nahromaděn plný počet lamel nachází se ve dolní pozici (obr.5.6). V této pozici jsou lamely odebírány k dalšímu zpracování. Při následném vysouvání spodní desky zpět k horní pozici, působí proti pohybu pouze zatížení od hmotnosti spodní desky m_D.



Obr.5.6 Akumulační zásobník bez lamel

Je-li spodní deska v nejnižší pozici, je oproti předchozí situaci níže pouze o výšku lamely, což je 9mm. Tento rozdíl nemá vliv na následující hodnoty proto jsou stejné jako v prvním případě.

Hodnoty získané z fyzikálních vlastností modelu z softwaru SolidWorks

$$\alpha = 4{,}3^{\circ}$$
$$m = m_D = 108\ kg$$
$$l = 1053\ mm$$
$$a = 528\ mm$$

Při dosazení do rovnic viz. kap. 5.1 dojdeme k následujícím hodnotám(rovnice byly vypočítány pomocí MAPLE 9.5):

$$F = 1060N$$
$$Fax = Fbx = Fcx = 440N$$
$$Fay = Fby = Fdy = Fey = 530N$$
$$Fcy = 0N$$

Síla působící na šroub při spouštění $\underline{\underline{Fax = 440N}}$

5.2. Pevnostní výpočet trapézového šroubu

Rozměry trapézového šroubu

$P = 6mm$

$\alpha = 30^\circ$

$d = 23mm$

$d_2 = 27mm$

$d_3 = 30mm$

Úhel stoupání šroubovice

$$tg\psi = \frac{P}{\pi \cdot d_2}$$

$$tg\psi = \frac{6mm}{\pi \cdot 27mm}$$

$$tg\psi = 0{,}0707$$

$$\underline{\underline{\psi = 4{,}046^\circ}}$$

Úhel tření

$$tg\varphi' = \frac{f_Z}{\cos\frac{\alpha}{2}}$$

$$tg\varphi' = \frac{0{,}12}{\cos\frac{30^\circ}{2}}$$

$$tg\varphi' = 0{,}1242$$

$$\underline{\underline{\varphi' = 7{,}08^\circ}}$$

kde:

$f_z = 0{,}12$ součinitel tření v závitech [10]

5.2.1. Namáhání šroubu při uvolňování

K namáhání šroubu při uvolňování dochází v situaci popsané v kap.5.1.1, kdy se nakládá poslední lamela.

Síla působící na šroub

$$F_{š\downarrow} = 3400N$$

Moment odporu v závitech při uvolňování

$$M_{TZ\downarrow} = F_{š} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg\left(\Psi - \varphi'\right)$$

$$M_{TZ\downarrow} = 3400N \cdot \frac{27mm}{2} \cdot tg\left(4{,}04^\circ - 7{,}08^\circ\right)$$

$$M_{TZ\downarrow} = -2432Nmm$$

Tlakové napětí

$$\sigma_{D\downarrow} = \frac{F_{š\downarrow}}{\pi \cdot \frac{d_3^2}{4}}$$

$$\sigma_{D\downarrow} = \frac{3400N}{\pi \cdot \frac{23^2 mm}{4}}$$

$$\sigma_{D\downarrow} = 8{,}18MPa$$

Smykové napětí

$$\tau_{\downarrow} = \frac{M_{TZ\downarrow}}{\pi \cdot \frac{d_3^3}{16}}$$

$$\tau_{\downarrow} = \frac{2{,}432Nm}{\pi \cdot \frac{23^3 mm}{16}}$$

$$\tau_{\downarrow} = 1{,}02MPa$$

5.2.2. Namáhání šroubu při utahování

K namáhání šroubu při utahování dochází v situaci popsané v kap.5.1.2. Dochází k zvedání pouze spodní desky.

Síla působící na šroub

$$F_{š\uparrow} = 440N$$

Moment odporu v závitech při utahování

$$M_{TZ\uparrow} = F_{š\uparrow} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg\left(\Psi + \varphi'\right)$$

$$M_{TZ\uparrow} = 440N \cdot \frac{27mm}{2} \cdot tg\left(7{,}08^\circ + 4{,}046^\circ\right)$$

$$M_{TZ\uparrow} = 1168{,}18Nmm$$

Tlakové napětí

$$\sigma_{D\uparrow} = \frac{F_{š\uparrow}}{\pi \cdot \frac{d_3^2}{4}}$$

$$\sigma_{D\uparrow} = \frac{440N}{\pi \cdot \frac{23^2 mm}{4}}$$

$$\sigma_{D\uparrow} = 1{,}06MPa$$

Smykové napětí

$$\tau_{\uparrow} = \frac{M_{TZ}}{\pi \cdot \frac{d_3^3}{16}}$$

$$\tau_{\uparrow} = \frac{1{,}168Nm}{\pi \cdot \frac{23^3 mm}{16}}$$

$$\tau_{\uparrow} = 0{,}48MPa$$

5.2.3. Bezpečnost šroubu

Z předešlých výpočtů vyplývá, že trapézový šroub je nejvíce namáhán při spouštění desky před naložením poslední lamely

$$\sigma_{\max} = \sigma_{D\downarrow} = 8{,}18 MPa$$
$$\tau_{\max} = \tau_{\downarrow} = 1{,}02 MPa$$

Redukované napětí

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_{D\downarrow}{}^2 + 4 \cdot \tau_{\downarrow}{}^2}$$
$$\sigma_{RED} = \sqrt{8{,}18^2 MPa + 4 \cdot 1{,}02^2 MPa}$$
$$\underline{\underline{\sigma_{RED} = 8{,}43 MPa}}$$

pro 11 500 je dovolené napětí $\sigma_D = 140 MPa$ [12]

Bezpečnost

$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma_{RED}}$$
$$k = \frac{140 MPa}{8{,}43 MPa}$$
$$\underline{\underline{k = 16{,}6}}$$

5.3. Výpočet pohonu pro zdvih akumulačního zásobníku

Jako pohon akumulačního zásobníku je použit asynchronní motor s šnekovou převodovkou.

Typ motoru
Stoeber S102_0870 D63K4 [9]

Parametry pohonu:
$P_{AZ} = 0{,}12kW,\ n_{AZ2} = 16\min^{-1} = 0{,}26 \cdot s^{-1}$

5.3.1. Výpočet výkonu při uvolňování šroubu

Účinnost trapézového šroubu

$$\eta_{Š\downarrow} = \frac{tg(\psi - \varphi')}{tg\,\psi}$$

$$\eta_{Š\downarrow} = \frac{tg(4{,}046^\circ - 7{,}081^\circ)}{tg\,4{,}046^\circ}$$

$$\underline{\underline{\eta_{Š\downarrow} = -0{,}749}}$$

Celková účinnost

$\eta_{C\downarrow} = \eta_{Š} \cdot \eta_V^4 \cdot \eta_L^2 \cdot \eta_{Č}^{10}$, kde $\eta_V = 0{,}88,\ \eta_L = 0{,}98,\ \eta_{Č} = 0{,}8$ [12]

$$\eta_{C\downarrow} = 0{,}749 \cdot 0{,}88^4 \cdot 0{,}98^2 \cdot 0{,}8^{10}$$

$$\underline{\underline{\eta_{C\downarrow} = 0{,}046}}$$

Požadovaný výkon

$$P_\downarrow = M_{TZ\downarrow} \cdot \omega \cdot \frac{1}{\eta_C} = M_{TZ\downarrow} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{AZ2} \cdot \frac{1}{\eta_{C\downarrow}}$$

$$P_\downarrow = 2{,}432Nm \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0{,}26s^{-1} \cdot \frac{1}{0{,}046}$$

$$\underline{\underline{P_\downarrow = 86{,}36W}}$$

5.3.2. Výpočet výkonu při utahování šroubu

Účinnost trapézového šroubu

$$\eta_{Š\uparrow} = \frac{tg\,\psi}{tg\left(\psi + \varphi'\right)}$$

$$\eta_{Š\uparrow} = \frac{tg\,4{,}046^\circ}{tg\left(4{,}046^\circ + 7{,}081^\circ\right)}$$

$$\underline{\underline{\eta_{Š\uparrow} = 0{,}359}}$$

Celková účinnost

$\eta_{C\uparrow} = \eta_{Š} \cdot \eta_V^4 \cdot \eta_L^2 \cdot \eta_{Č}^{10}$, kde $\eta_V = 0{,}88$, $\eta_L = 0{,}98$, $\eta_{Č} = 0{,}8$ [12]

$$\eta_{C\uparrow} = 0{,}359 \cdot 0{,}88^4 \cdot 0{,}98^2 \cdot 0{,}8^{10}$$

$$\underline{\underline{\eta_{C\uparrow} = 0{,}022}}$$

Požadovaný výkon

$$P_\uparrow = M_{TZ\uparrow} \cdot \omega \cdot \frac{1}{\eta_{C\uparrow}} = M_{TZ\uparrow} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{AZ2} \cdot \frac{1}{\eta_{C\uparrow}}$$

$$P_\uparrow = 1{,}168 Nm \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0{,}26 s^{-1} \cdot \frac{1}{0{,}022}$$

$$\underline{\underline{P_\uparrow = 85{,}94 W}}$$

Při utahování i uvolňování šroubu jsou požadavky na výkon pohonu přibližně stejné. Vypočtený požadovaný výkon je menší než skutečný použitý výkon motoru proto zvolený motor vyhovuje.

5.4. Výpočet pohonu pro vodorovný pojezd

Jako pohon vodorovného pojezdu je použit asynchronní motor s šnekovou převodovkou.

Typ motoru
Stoeber S002_0150 D63K4

Parametry pohonu

$P_{VP} = 0{,}12 kW$, $n_{VP2} = 92 \min^{-1} = 1{,}53 \cdot s^{-1}$

Rychlost příčníku ve vedení

$$v_P = n_2 \cdot \pi \cdot D_{ř}$$
$$v_P = 1{,}53 s^{-1} \cdot \pi \cdot 80 mm$$
$$\underline{\underline{v_P = 384 mm \cdot s^{-1}}}$$

kde:

$D_{ř} = 80 mm$ průměr řemenice

Požadovaný výkonu

K pohybu příčníku ve vedení vodorovného pojezdu je zapotřebí překonat třecí síly ve vedení F_{tV} a současně tření mezi lamelami F_{tL} při jejich sesouvání na akumulační zásobník.

$$P_P = F \cdot v_P = (F_{tV} + F_{tL}) \cdot v_P = (m_P \cdot g \cdot f_v + m_L \cdot g \cdot f_L) \cdot v_P$$
$$P_P = (23 kg \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}12 + 13 kg \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}3) \cdot 0{,}384 m \cdot s^{-1}$$
$$\underline{\underline{P_P = 25 W}}$$

kde:

$m_P = 23 kg$ hmotnost pohyblivého příčníku

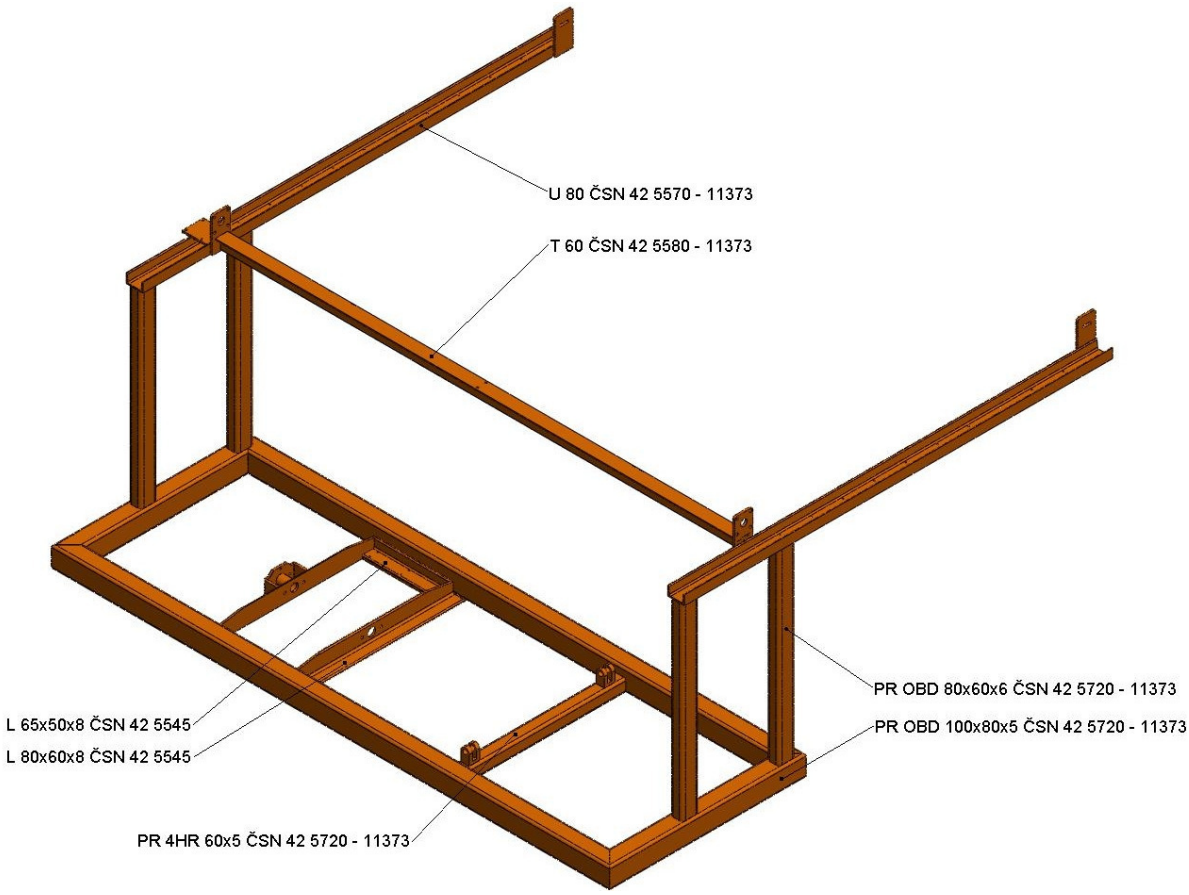
$m_P = 13 kg$ hmotnost lamely

Vypočítaný výkon je menší než požadovaný, proto pohon vyhovuje.

6. Konstrukční řešení manipulátoru

6.1. Rám

Rám je svařen z následujících ocelových profilů (obr.6.1).



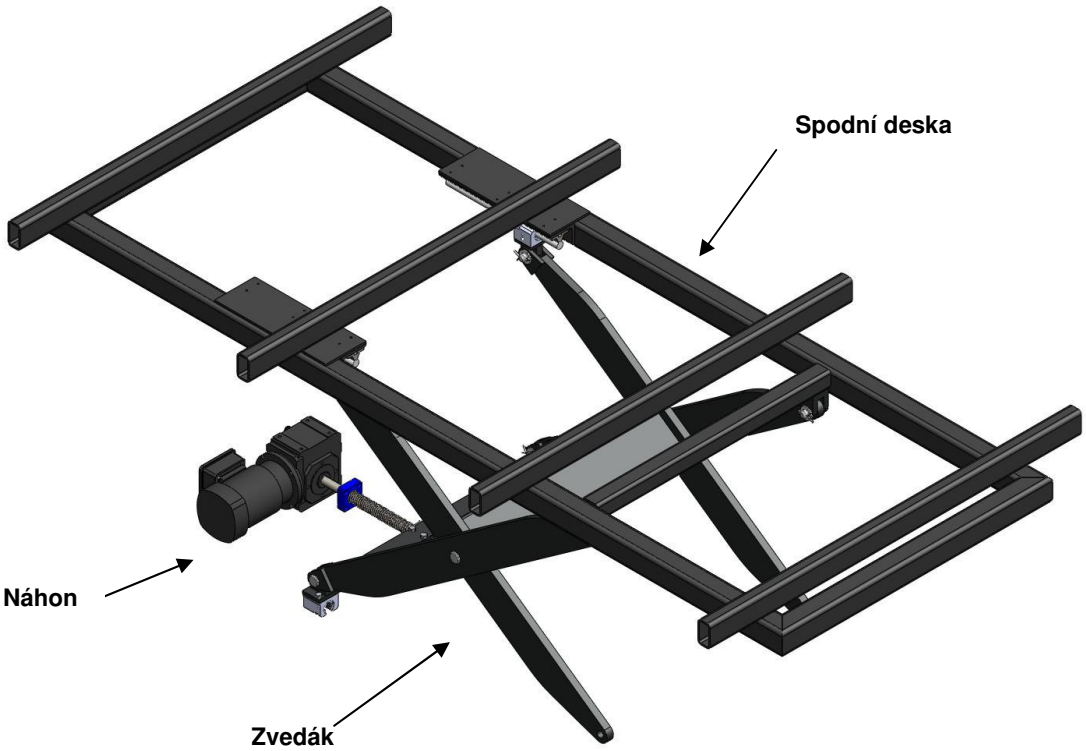
Obr.6.1 Rám

Pro upevnění dalších částí stroje(akumulační zásobní, vodorovný pojezd) je rám opatřen závitovými děrami.

6.2. Akumulační zásobník

Akumulační zásobník je složen z následujících částí:

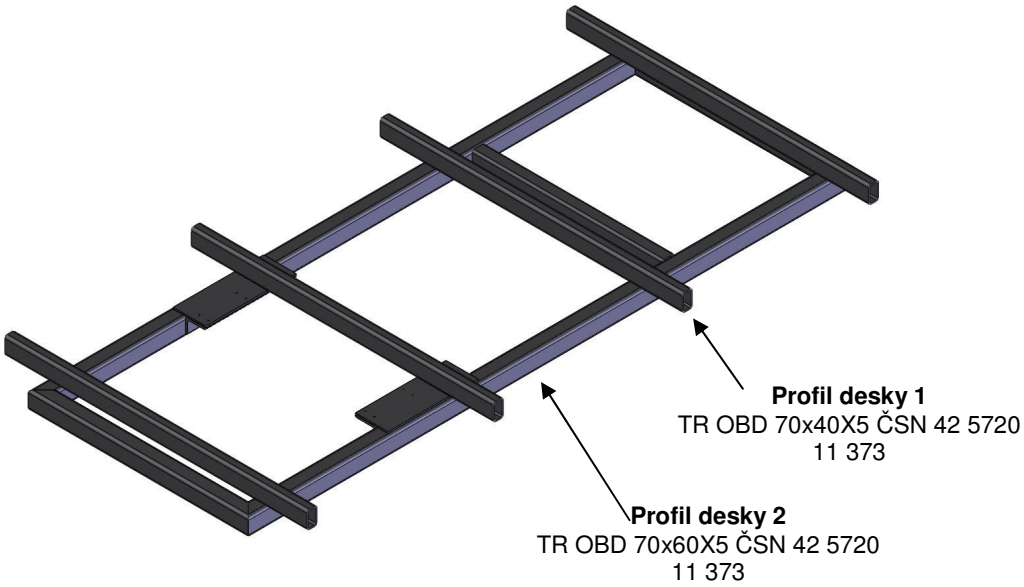
- Zvedák (tvořen vzpěrami)
- Náhon
- Spodní deska



Obr.6.2 Akumulační zásobník s pohonem

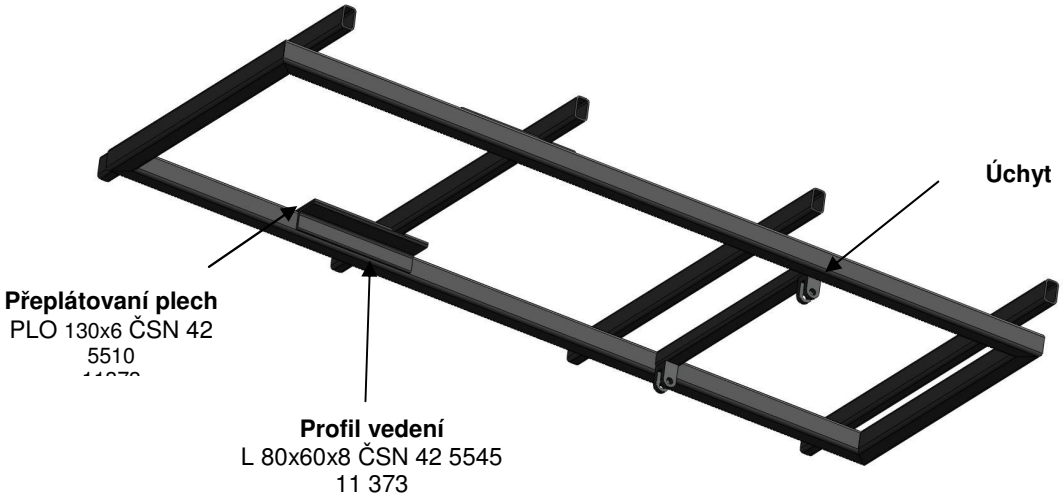
6.2.1. Spodní deska

Spodní deska je tvořena ocelovými obdélníkovými profily, jejíž rozměry jsou navrženy dle rozměrů spojovaných dřevěných lamel.



Obr.6.3 Spodní deska

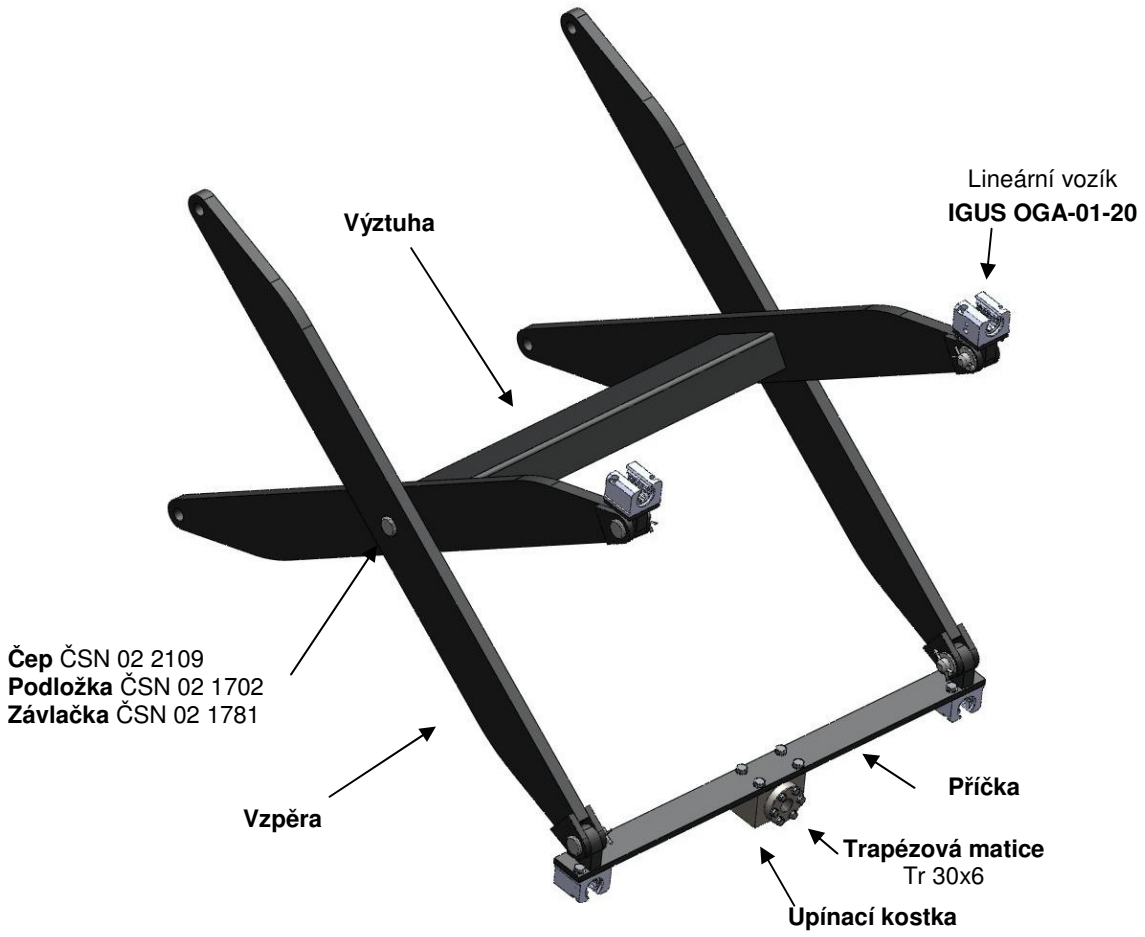
Pro upevnění lineárního vedení slouží L profil. K zajištění dostatečné opory tohoto vedení je profil přeplátován ocelovým plechem (Obr.6.4). Úchyty slouží ke spojení se vzpěrami pomocí čepů.



Obr.6.4 Spodní desky – upevnění vedení

6.2.2. Zvedák

Na obr.6.5 jsou zobrazeny hlavní části zvedáku. Hlavními nosnými částmi jsou vzpěry. Mezi vzpěrami je pro zpevnění konstrukce ocelová výztuha. Na příčce vymezující šířku mezi vzpěrami je upnuta pomocí šroubů upínací kostka, která slouží k upevnění trapézové matice.

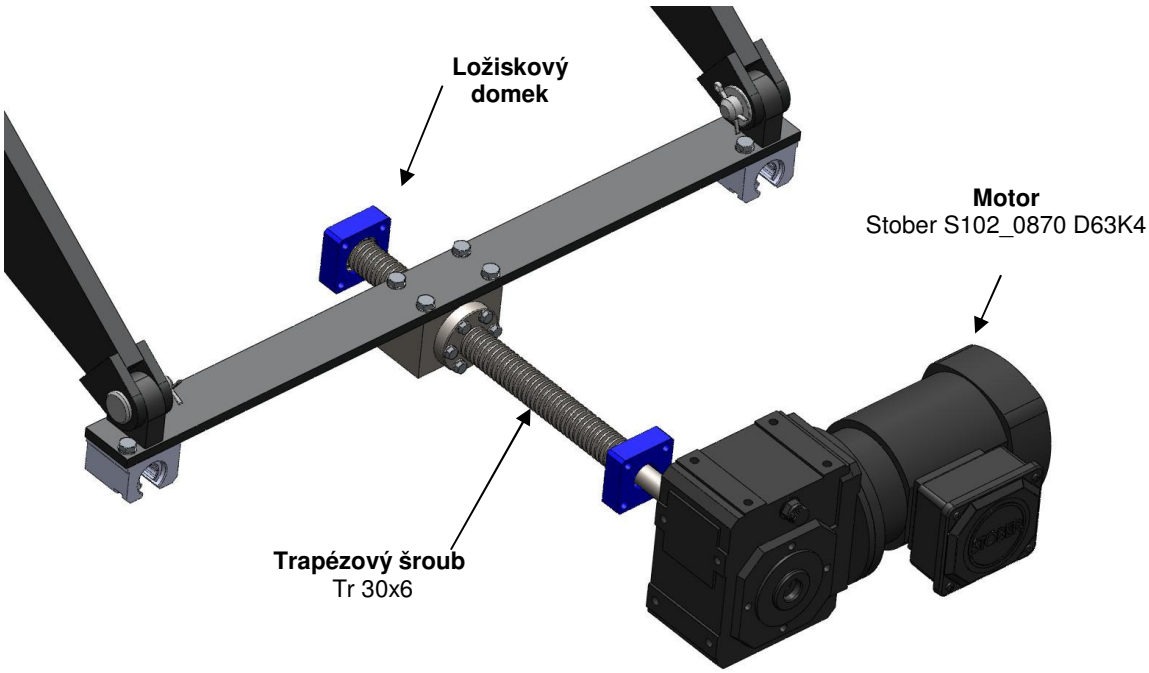


Obr.6.5 Zvedák

Lineární vozíky se pohybují v kluzném vedení. Spojení vzpěr je řešeno pomocí čepů, kterými je také realizováno spojení se spodní deskou akumulačního zásobníku a rámem manipulátoru.

6.2.3. Náhon

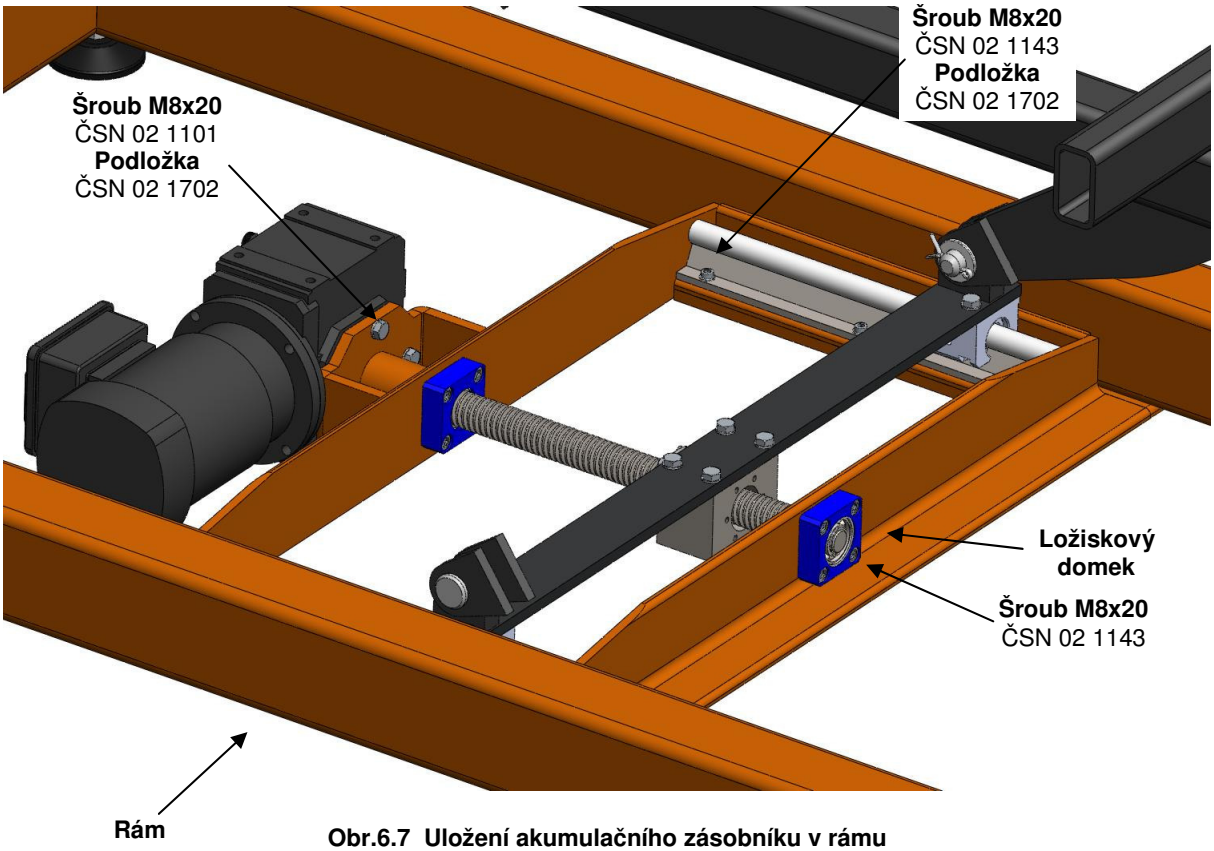
Jako pohon akumulačního zásobníku je použit asynchronní motor s šnekovou převodovkou.



Obr.6.6 Náhon akumulačního zásobníku

Trapézový šroub je uložen v ložiskových domcích. Ložiskový domek blíže k motoru je s axiálním kuličkovým ložiskem, které zachytává zátěž od hromaděných lamel a od spodní desky akumulačního zásobníku. V druhém ložiskovém domku je šroub uložen v radiálním kuličkovém ložisku.

Na následujícím obrázku je vidět způsob upevnění akumulačního zásobníku v rámu.

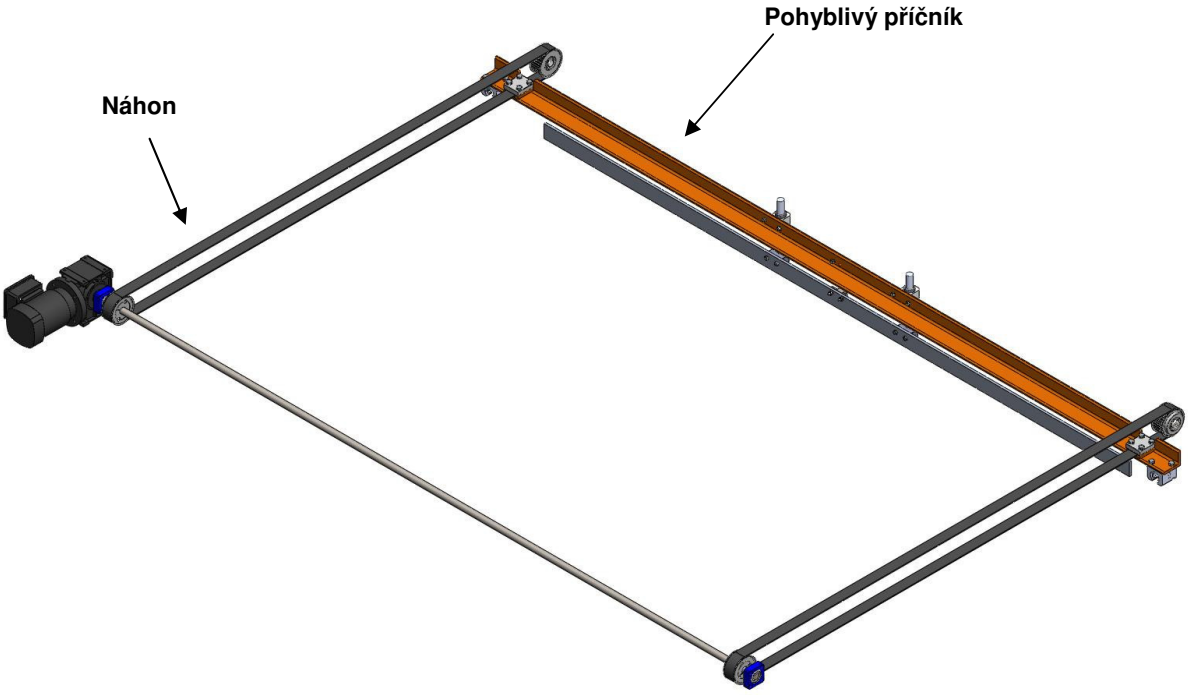


Obr.6.7 Uložení akumulačního zásobníku v rámu

6.3. Vodorovný pojezd

Vodorovný pojezd je složen z následujících částí:

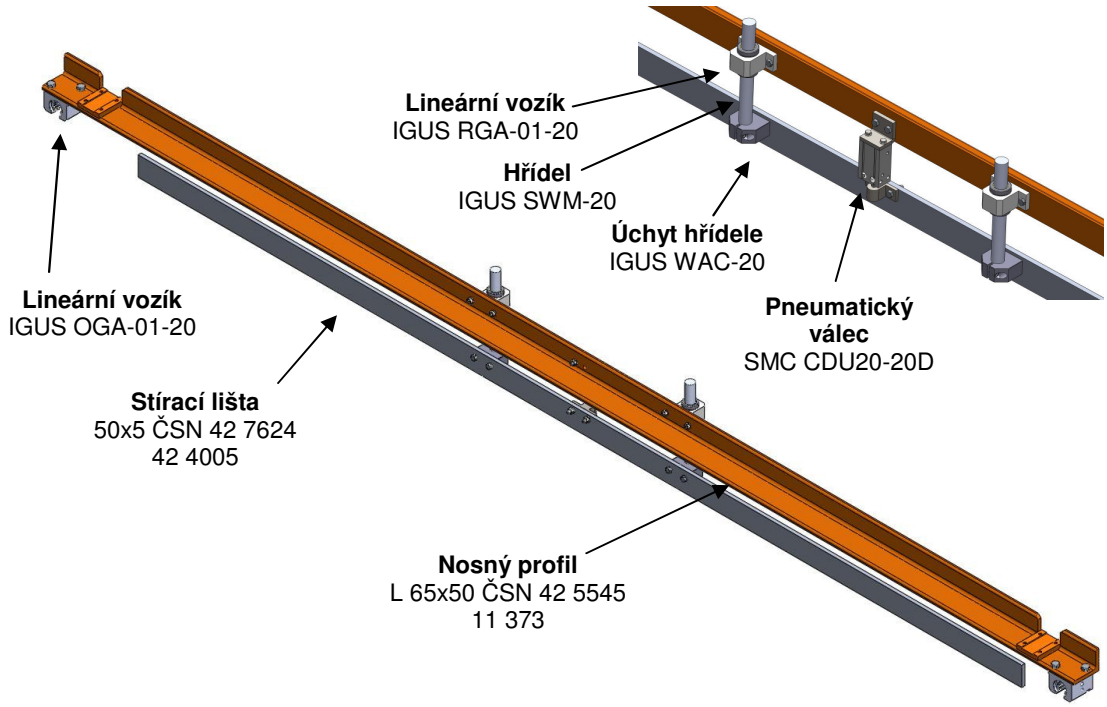
- Pohyblivý příčník
- Náhon



Obr.6.8 Vodorovný pojezd

6.3.1. Pohyblivý příčník

Pohyb příčníku je opět realizován pomocí lineárního kluzného vedení Drylin. Po stranách nosného profil jsou upevněny lineární vozíky, pohybující se ve vedení.



Obr.6.9 Pohyblivý příčník

Jak již bylo dříve uvedeno, je nutné opatřit stírací lištu krátkým svislým pohybem. K tomu je použit pneumatický válec, který stírací lištu spouští v rozsahu 20mm. Z důvodu minimalizace výkonových nároků na pneumatický válec je hmotnost břemena minimalizována použitím hliníkové stírací lišty.

Pneumatický válec je použit od firmy SMC. Jedná se o kompaktní válec pro přímou montáž, označení CDU20-20D [3]. Na obr.6.10 jsou k vidění možnosti upevnění.

Průměr pístnice

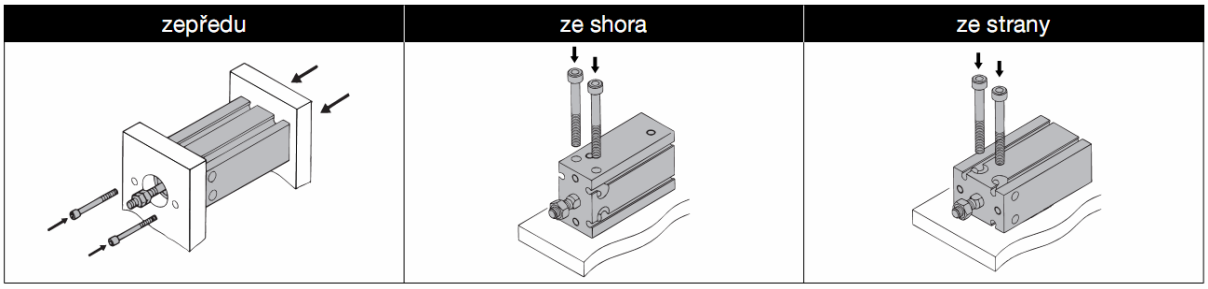
$$\phi D = 20mm$$

Zdvih

$$Z = 20mm$$

Teoretická síla válce při pracovním tlaku 0,5MPa

$$F = 131N$$

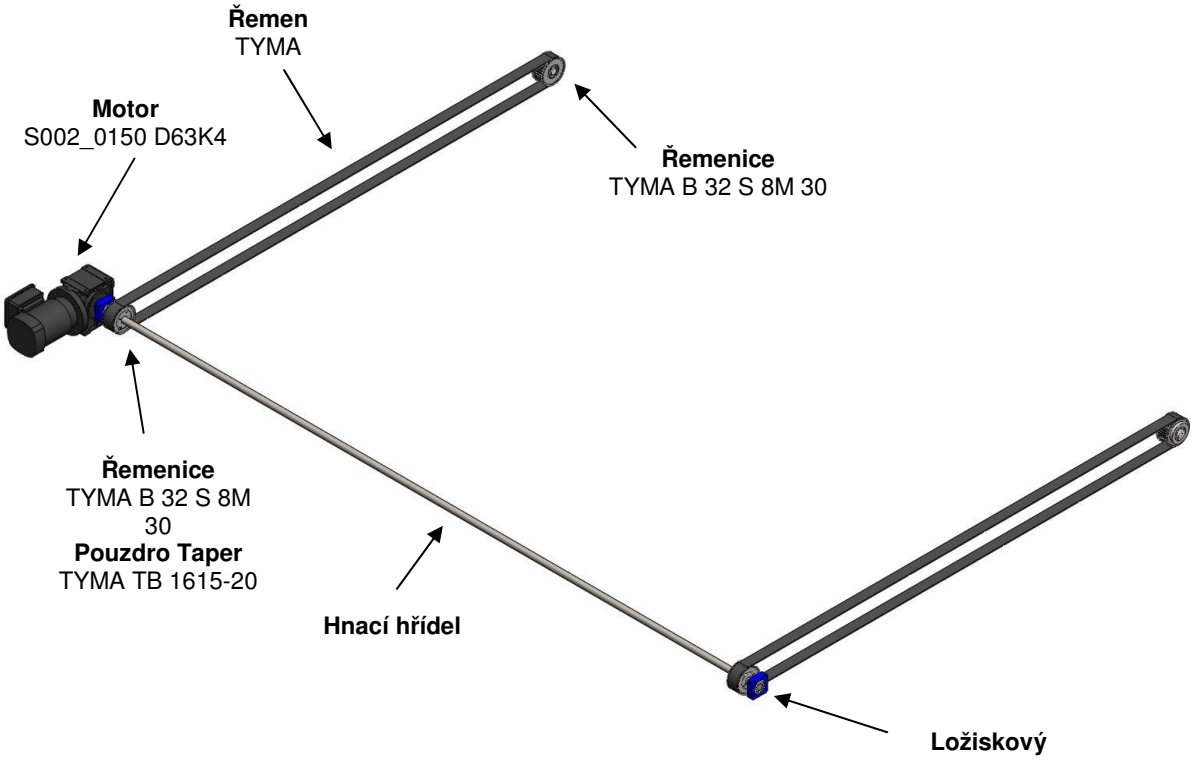


Obr.6.10 možnosti upevnění

Svislý pohyb stírací lišty je vymezen dvojicí hřídelí pohybující se v lineárních vozících.

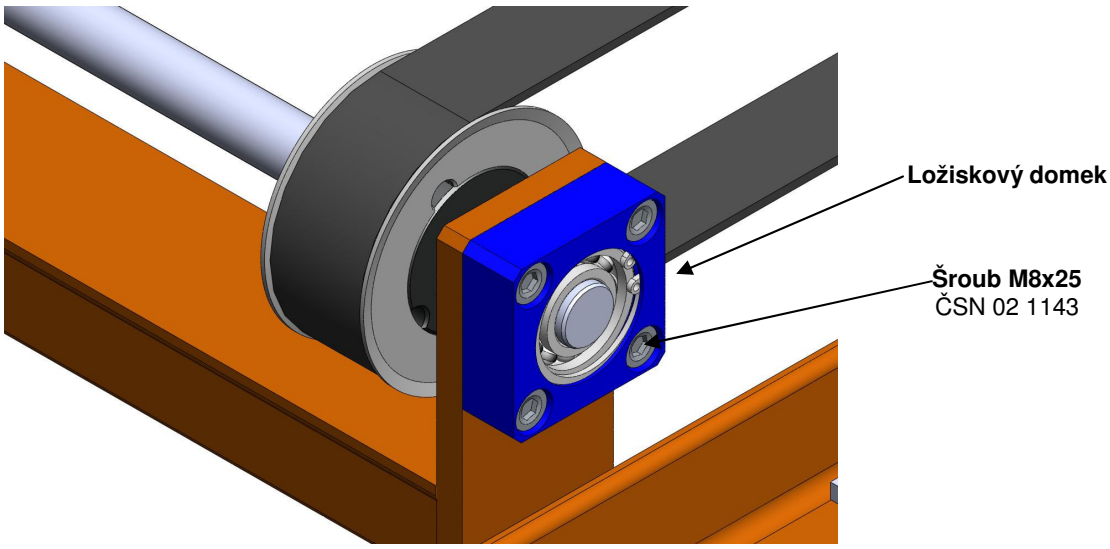
6.3.2. Náhon vodorovného pojezdu

Pohon pohyblivého příčníku ve vedení je řešen pomocí asynchronního motoru s šnekovou převodovkou přes jednostupňový řemenový převod na hnací hřídel, která souběžně pohání obě větve.



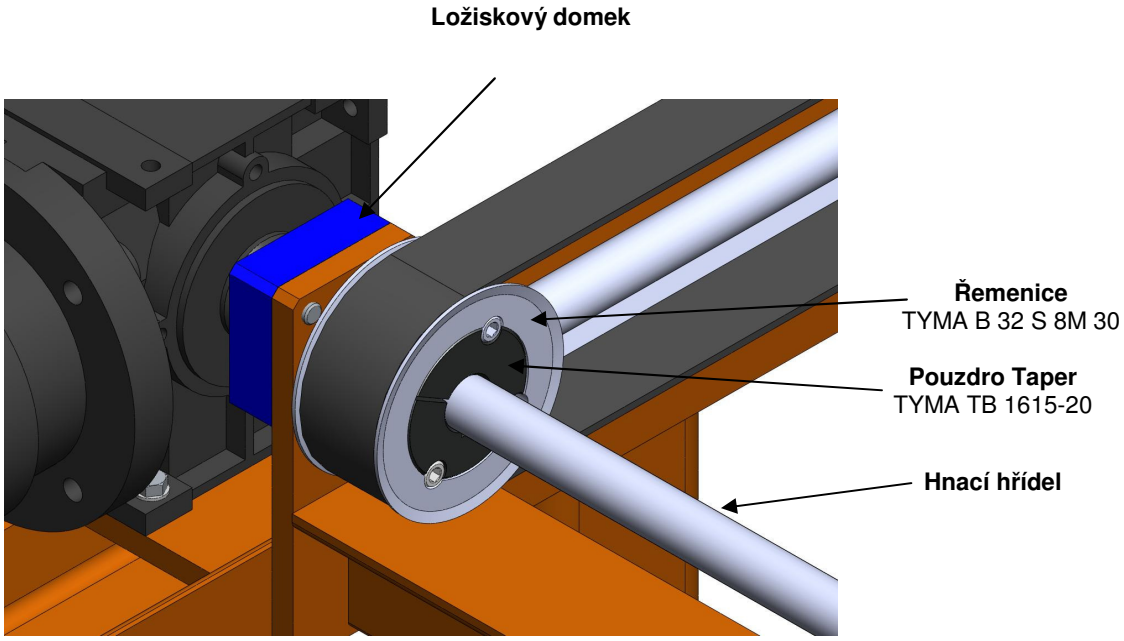
Obr.6.11 Náhon vodorovného pojezdu

Hnací hřídel je uložena v rámu pomocí ložiskovými domků s radiálními kuličkovými ložisky. Na obr. je zobrazen způsob upevnění k rámu manipulátoru.



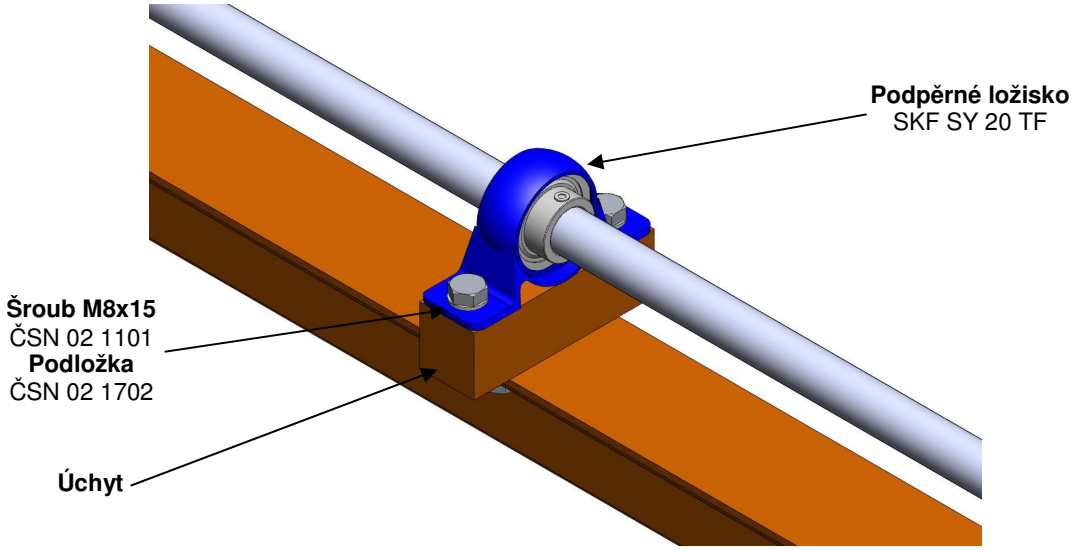
Obr.6.12 Upevnění ložiskového domku

Pro upevnění řemenic je využito pouzder Taper od fy Tyma [4]. Řešení je patrné z obr. Jedná se o pouzdra s kuželovým vnějším povrchem, kterému odpovídá vnitřní povrch řemenice. Axiální posunutí je zajištěno svěrným spojem. Uvedené řešení napomáhá snížit montážní a výrobní náklady. Kroutící moment je přenášen pomocí per.



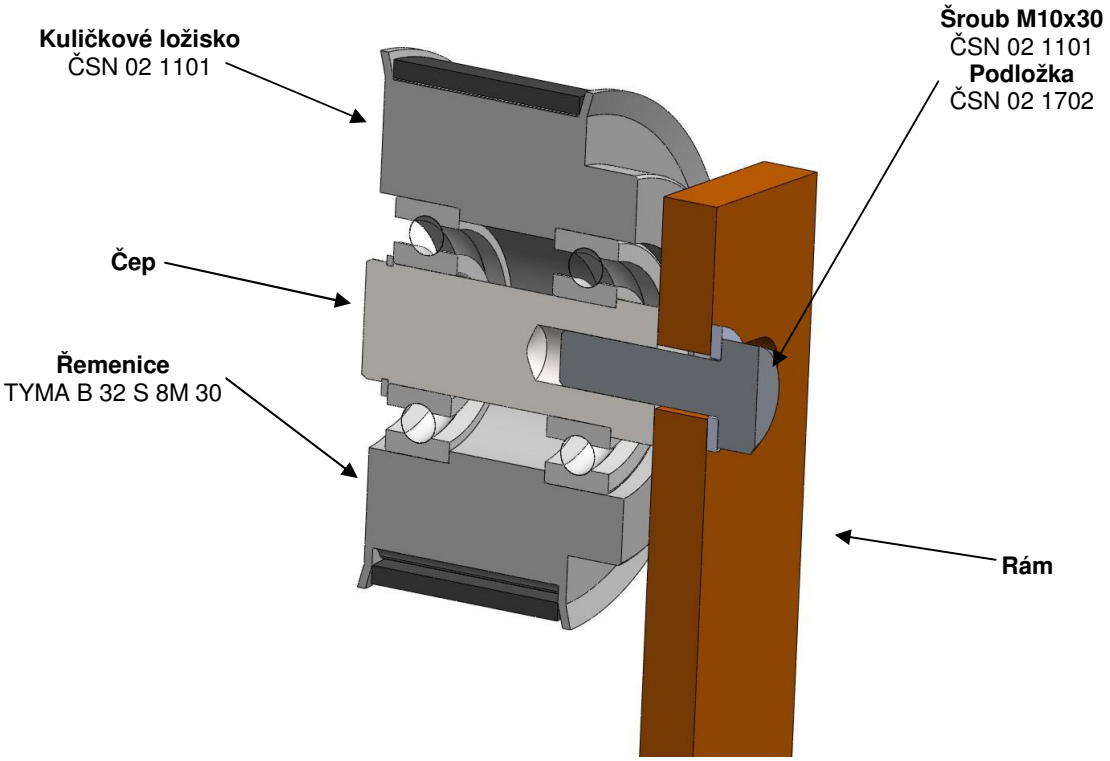
Obr.6.13 Uložení hnací hřídele 1

Jelikož by při provozu mohlo vlivem použití dlouhé hnací hřídele dojít k jeho rozkmitání, je pro zamezení tohoto vlivu hřídel podepřena v podpěrném ložisku. Ložisko je pomocí úchytu připevněno uprostřed příčného profilu rámu šrouby.



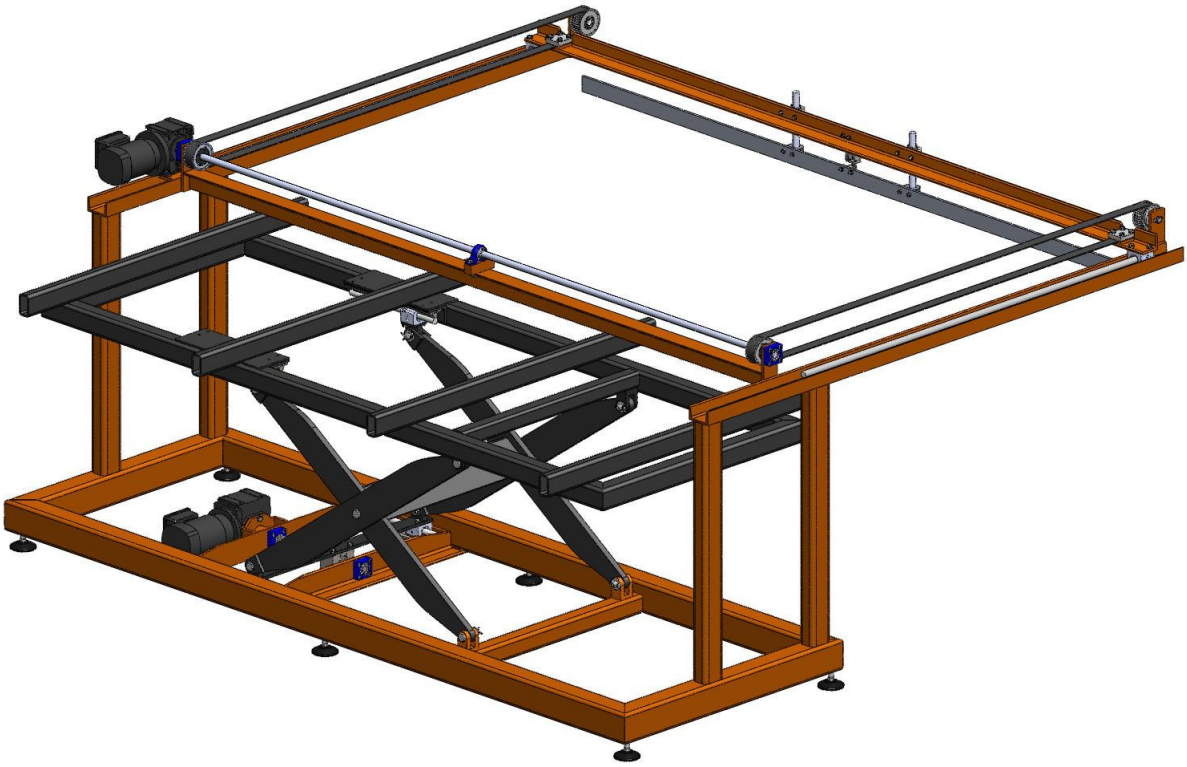
Obr.6.14 Středové ložisko

Na obr. je vidět upevnění hnané řemenice. Řemenice je uložena ve dvojici radiálních kuličkových ložisek na čepu, který je pevně sevřen s rámem pomocí šroubu.

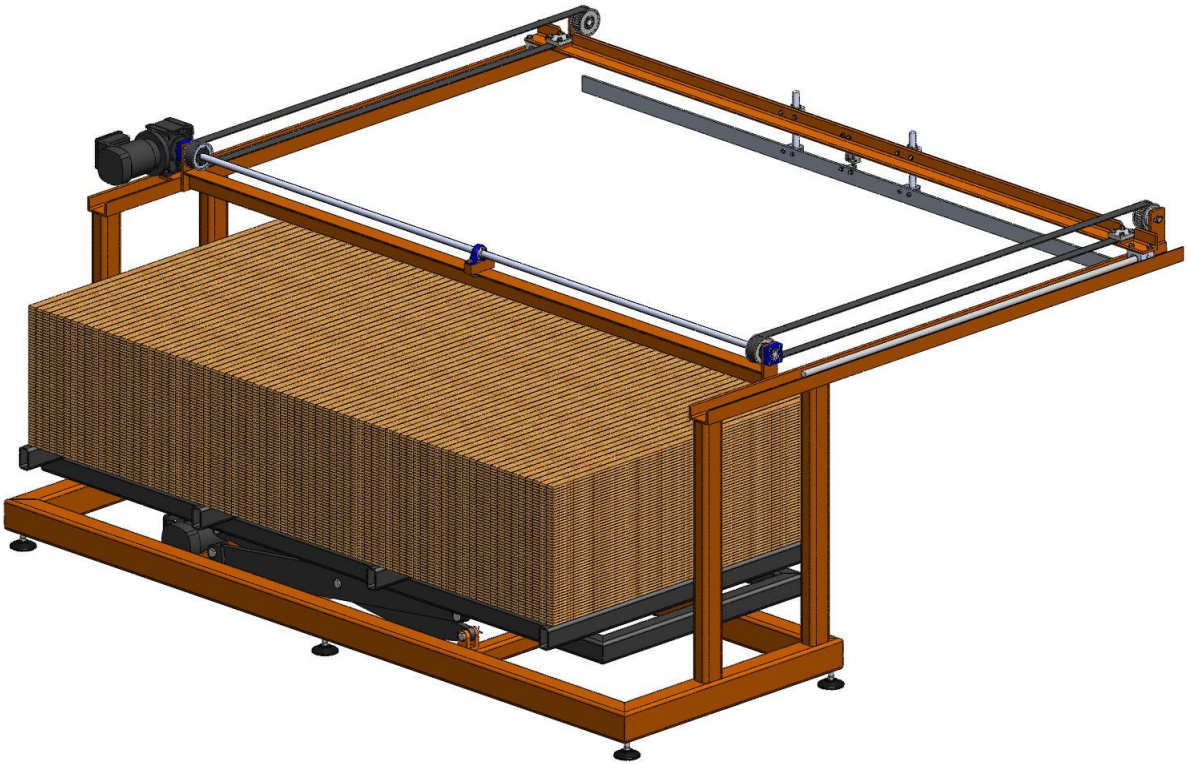


Obr.6.15 Hnaná řemenice

7. Vizualizace řešení



Obr.7.1 Manipulátor dřevěných lamel – prázdný



Obr.7.2 Manipulátor dřevěných lamel – naplněný spojenými lamelami

8. Ekonomické zhodnocení, doba návratnosti

Odhad ceny manipulátoru

Vyráběné části - 50000 kč
(rám, obráběné součástky, …)

Normalizované prvky - 20000 kč
(řemeny, řemenice, ložiska, lineární vedení, …)

Pohonné jednotky - 30 000 kč

Bezpečnostní prvky - 50 000 kč
(krytování, …)

Ovládání a řízení - 30000 kč

Konstrukce - 30000 kč

Ostatní výdaje - 50000 kč

Celkové náklady - 260 000 kč

Náklady na provoz manipulátoru

Náklady na provoz za jeden rok - 20 000kč

Náklady při manuální výrobě

Jako náklady při manuální výrobě jsou považovány náklady na mzdy na jednoho pracovníka.

Roční náklady na mzdu jednoho pracovníka - 140000 kč
Při manuální výrobě je potřeba dvou pracovníků tedy celkové náklady - 280000 kč

Úspora

Počet dělníků při manuální výrobě - 2
Počet dělníků při strojní výrobě - 0
Úspora pracovníků - 2

Doba návratnosti

Cena manipulátoru/(roční úspora nákladů za mzdy při manuální výrobě-náklady na provoz)

260 000kč / (280 000 – 20000) = 1 rok

Při zjednodušeném výpočtu doby návratnosti, kde jsou použity úspory na mzdových nákladů, dojdeme k době návratnosti 1 rok. Při výpočtu jsou použity hrubé odhady cen a výpočet se od přesné kalkulace může lišit. Ovšem i použití těchto odhadů má vypovídající hodnotu a lehce můžeme rozhodnout zda se investice vyplatí či nikoliv.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout konstrukční řešení manipulátoru dřevěných lamel, který automatizuje linku na výrobu těchto lamel. Vstupními parametry, které přímo určují rozměry manipulátoru, jsou rozměry spojených dřevěných lamel a rozměry výstupního dopravníku linky.

Na začátku práce byly navrženy varianty řešení dvou hlavních částí a následně byla vybrána jedna varianta z každé části a poté podrobně rozpracována. Při řešení byla hlavní snahou volba normalizovaných komponent, popřípadě použití takových komponent, které nejsou obtížné na výrobu a které by mohly konstrukci prodražovat.

Diplomová práce se detailně nezabývá bezpečnostními a řídícími prvky, které by musely být v případě realizace podrobně propracovány. Řešení těchto částí ani nebylo součástí zadání a jsou proto záměrně opomenuty.

Součástí práce je podrobná sestava manipulátoru a 3D model, vytvořen pomocí softwaru SolidWorks 2009.

Seznam použitých zdrojů

[1] Konexpo, s.r.o. [online]. 2008 [cit. 2010-05-24]. Manipulátory. Dostupné z WWW: <http://www.konexpo.cz/vyrobni-program-firmy/manipulatory/>.

[2] RTJ Internacional s.r.o. [online]. 2007 [cit. 2010-05-24]. Servisní a garážová technika. Dostupné z WWW: <http://rpj.cz/>.

[3] SMC Industrial Automation CZ s.r.o. [online]. 2009 [cit. 2010-05-24]. Katalogy & CAD data. Dostupné z WWW: <http://2009.oc.smc-cee.com/cz/index.asp>.

[4] Tyma CZ s.r.o. : řemeny, převody a lineární technika [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Produkty. Dostupné z WWW: <http://www.tyma.cz/produkty/>.

[5] ALUTEC K&K a.s. [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Stavěcí patky. Dostupné z WWW: <http://aluteckk.cz/>.

[6] Hennlich Industrietechnik spol. s r. o. [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. DryLin®. Dostupné z WWW: <http://www.igus.cz/default.asp?PAGE=DRYLIN>.

[7] SL GLOBAL s.r.o. [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Výroba jednoúčelových automatizovaných strojů a linek. Dostupné z WWW: <http://www.slglobal.sk/html/frames.html>.

[8] GESTRA cz s.r.o. [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Manipulátory. Dostupné z WWW: <http://www.gestracz.com/cz.php?page=jrm>.

[9] REM-Technik s.r.o. [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. STÖBER - asynchronní pohony. Dostupné z WWW: <http://www.rem-technik.cz/>.

[10] BOLEK, Alfred; KOCHMAN, Josef A KOL. Části strojů : 1. svazek. páté přepracované vydání. Praha : SNTL, 1989. 776 s

[11] BOLEK, Alfred; KOCHMAN, Josef A KOL. Části strojů : 2. svazek. páté přepracované vydání. Praha : SNTL, 1990. 712 s

[12] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Praha 1 : Albra, 2003. 865 s.

Seznam použitých zkratek, symbolů a veličin

a	poloviční velikost vzpěry	[mm]
d	střední průměr závitu	[mm]
d_2	velký průměr závitu	[mm]
d_3	malý průměr závitu	[mm]
$D_{ř}$	průměr řemenice	[mm]
g	gravitační zrychlení	[$m \cdot s^{-2}$]
l	vzdálenost mezi uložením	[mm]
Fax	x-ová složka síly v bodě A	[N]
Fay	y-ová složka síly v bodě A	[N]
Fbx	x-ová složka síly v bodě B	[N]
Fby	y-ová složka síly v bodě B	[N]
Fcx	x-ová složka síly v bodě C	[N]
Fcy	y-ová složka síly v bodě C	[N]
Fdy	y-ová složka síly v bodě D	[N]
Fey	y-ová složka síly v bodě E	[N]
F_{tL}	síla tření mezi lamelami	[N]
F_{tV}	síla tření ve vedení	[N]
f_L	tření mezi lamelami	[-]
f_v	tření ve vedení	[-]
f_z	tření v závitech šroubu	[-]
$F_{Š\uparrow}$	síla působící na šroub při utahování	[N]
$F_{Š\downarrow}$	síla působící na šroub při uvolňování	[N]
k	bezpečnost	[-]
$M_{TZ\downarrow}$	moment odporu v závitech šroubu při uvolňování	[Nm]
$M_{TZ\uparrow}$	moment odporu v závitech šroubu při utahování	[Nm]
m_D	hmotnost spodní desky	[kg]
m_L	hmotnost spojených lamel	[kg]
m_P	hmotnost posuvného příčníku	[kg]
m_z	hmotnost zátěže	[kg]
n_{VP2}	otáčky motoru vodorovného pojezdu	[$\min^{-1}$]
n_{AK2}	otáčky motoru akumulačního zásobníku	[$\min^{-1}$]

P	rozteč závitu	[mm]
P_{VP}	výkon motoru akumulačního zásobníku	[kW]
P_{AK}	výkon motoru vodorovného pojezdu	[kW]
$P_{\downarrow}$	vypočtený výkon akumulačního zásobníku při uvolňování šroubu	[kW]
$P_{\uparrow}$	vypočtený výkon akumulačního zásobníku při utahování šroubu	[kW]
P_P	vypočtený výkon vodorovného pojezdu	[kW]
v_P	rychlost příčníku	[$m \cdot s^{-1}$]
α	vrcholový úhel závitu	[-]
$\eta_{C\downarrow}$	celková účinnost při uvolňování šroubu	[-]
$\eta_{C\uparrow}$	celková účinnost při utahování šroubu	[-]
η_V	účinnost vedení	[-]
η_L	účinnost ložiska	[-]
$\eta_{Č}$	účinnost čepu	[-]
$\eta_{Š\uparrow}$	účinnost šroubu při utahování	[-]
$\eta_{Š\downarrow}$	účinnost šroubu při uvolňování	[-]
$\sigma_{\max}$	největší napětí v tlaku	[MPa]
$\sigma_{D\uparrow}$	napětí v tlaku při utahování	[MPa]
$\sigma_{D\downarrow}$	napětí v tlaku při uvolňování	[MPa]
σ_{RED}	redukované napětí	[MPa]
σ_D	dovolené napětí v tlaku	[MPa]
$\tau_{\downarrow}$	smykové napětí při uvolňování	[MPa]
$\tau_{\uparrow}$	smykové napětí při utahování	[MPa]
$\tau_{\max}$	největší smykové napětí	[MPa]
ψ	úhel stoupání šroubovice	[$^\circ$]
φ'	úhel tření v závitu	[$^\circ$]

Seznam obrázků

Obr.1.1 Manipulátor sedaček pro Audi Q7 14
Obr.1.2 Manipulátor stavebních kamenů MK 800 15
Obr.1.3 Manipulátor stavebních kamenů 15
Obr.1.4 Manipulátor dveří 16
Obr.2-1 Spojené dřevěné lamely 17
Obr.2-2 Linka na výrobu dřevěných lamel 18
Obr.3-1 Akumulační zásobník – Varianta řešení č.1 19
Obr.3-2 Akumulační zásobník – Varianta řešení č.2 20
Obr.3-3 Hydraulická zdvižná plošina 20
Obr.3-4 Vodorovný pojezd - Varianta řešení č.1 21
Obr.3-5 Vodorovný pojezd - Varianta řešení č.2 22
Obr.4.1 Schéma akumulačního zásobníku 24
Obr.4.2 Schéma vodorovného pojezdu 25
Obr.5.1 Reakce 26
Obr.5.2 Reakce – spodní deska 26
Obr.5.3 Reakce - Vzpěry 1 27
Obr.5.4 Reakce - Vzpěry 2 27
Obr.6.1 Rám 37
Obr.6.2 Akumulační zásobník s pohonem 38
Obr.6.3 Spodní deska 39
Obr.6.4 Spodní desky – upevnění vedení 39
Obr.6.5 Zvedák 40
Obr.6.6 Náhon akumulačního zásobníku 41
Obr.6.7 Uložení akumulačního zásobníku v rámu 42
Obr.6.8 Vodorovný pojezd 43
Obr.6.9 Pohyblivý příčník 44
Obr.6.10 Možnosti upevnění 45
Obr.6.11 Náhon vodorovného pojezdu 45
Obr.6.12 Upevnění ložiskového domku 46
Obr.6.13 Uložení hnací hřídele 1 46
Obr.6.14 Středové ložisko 47
Obr.6.15 Hnaná řemenice 47

Obr.7.1 Manipulátor dřevěných lamel – prázdný 48
Obr.7.2 Manipulátor dřevěných lamel – naplněný spojenými lamelami 48

Seznam výkresové dokumentace

MANIPULÁTOR DŘEVĚNÝCH LAMEL – SESTAVA	A0-DP-001
AKUMLAČNÍ ZÁSOBNÍK	A1-DP-002
POSUVNÝ PŘÍČNÍK	A1-DP-006