

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

NAVÍJECÍ STROJ

FILAMENT WINDING MACHINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL DORŇÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BRONISLAV FOLLER, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Dornák

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

obor: **Konstrukce strojů a zařízení (2302T010)**

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:

Navíjecí stroj

v anglickém jazyce:

Filament Winding Machine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh řešení kinematiky tříosého navíjecího stroje pro technologii navíjení kompozitních rotačních profilů. Vypracování konstrukčního řešení pohonů, lineárních vedení, upínání navíjecích trnů a kinematických uzlů.

Zadané parametry:

Hlavní pohon rotační: 0 - 600 rpm, 60 Nm

Lin. posuv 0 - 4 m/s

polohování navíjecí hlavy: +/- 180°, 2 Nm

Upínací délka navíjecího trnu: 1200 mm

Výška osy trnu: 800 mm

Max. průměr trnu: 400 mm, délka navíjeného dílu: 3 m

Veškeré pohony: servomotory

Cíle diplomové práce:

Vypracovat návrh konstrukčního řešení, výkresy sestavy, výrobní výkresy tří zadaných součástí, kusovník

Výpočtová zpráva musí obsahovat výpočty pohonů, konstrukčních uzlů a jejich kontrolu a dále potřebné pevnostní výpočty a analýzy. Návrh ošetření tribotechnických uzlů. Analýzu konstrukce z hlediska provozní bezpečnosti dle NV 24/2003 a analýzu bezpečnostních rizik. Součástí práce musí být i ekonomická analýza výsledného řešení.

Seznam odborné literatury:

1. ŽENÍŠEK, J.; JENKUT, M. Výrobní stroje a zařízení. 2. vyd. Praha: SNTL, 1990. 276 s. ISBN 04-222-90
2. BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. Části strojů I a II. Technický průvodce 6 Praha: SNTL, 1990.
3. NĚMEC, J.; DVOŘÁK, J.; HOSCHL, C. Pružnost a pevnost ve strojírenství. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988.
4. Strojírenská příručka 1. - 8. díl. 1. vyd. Praha: Scientia. 1992-1998, ISBN 80-03-00-680-5

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bronislav Foller, Ph.D.

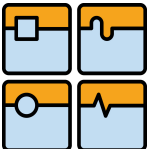
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 21.11.2008

L.S.

Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Anotace

Michal Dorňák

Navíjecí stroj

Diplomová práce, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, VUT FSI v Brně

Cílem této diplomové práce je návrh řešení kinematiky tříosého navíjecího stroje pro technologii navíjení kompozitních rotačních profilů. Navíjené materiály jsou nepřetržité pramence uhlíkových, aramidových nebo skleněných vláken impregnované pryskyřicí. Hlavní změnou v konstrukci stroje oproti komerčně dostupným řešením je použití lineárního motoru coby unášivého elementu namísto kuličkového šroubu či ozubeného hřebene. Lineární motory mají vyšší dynamiku pohybu a dosahují vyšších rychlostí oproti jiným řešením, což zaručuje zvýšení produktivity stroje. Hlavní důraz je kladen nejen na funkčnost, ale také na nízkou cenu tohoto řešení. 3D model zařízení navržen v programu Inventor 2009.

Klíčová slova: technologie navíjení, stroj, vlákno, lineární, motor, hydraulická, brzda, chlazení, upínací, hlava, lineární, vedení

Annotation

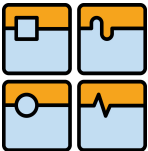
Michal Dorňák

Filament Winding Machine

Diploma thesis, Institute of Production Machines, Systems and Robotics, FME

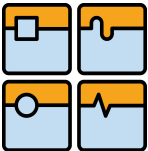
The aim of this diploma thesis is the proposal of solution of three-axial winding machine for winding technology of rotary profile. Winding materials are continual springs of carbon, aramid or glass fibre impregnated by resin. The main construction change of the machine compared to commercial available solutions is the use of linear motor as a frame element instead of roller screws or toothed chain. Linear motors have higher dynamics of the movement and they can reach higher speed compared to other solutions, which guarantee increase of the machine productivity. The main importance is put not only on the functionality but also on the low price of this solution. The 3D model of the mechanism is created in the program Inventor 2009.

Key word: filament winding, machine, fiber, linear, motor, hydraulic, brake, cooling, chuck, head, linear, guidance

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Bibliografická citace mé práce:

DORŇÁK, M. *Navíjecí stroj*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 59 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bronislav Foller, Ph.D.

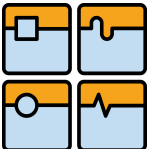
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Místopřísežné prohlášení

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování DP a že jsem celou DP včetně příloh vypracoval samostatně. Ustanovení předpisů pro vypracování DP jsem vzal na vědomí a jsem si vědom toho, že v případě jejich nedodržení nebude vedoucím DP moje práce přijata.“

V Brně dne:

Jméno: Michal Dorňák

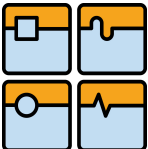
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Poděkování

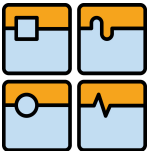
Rád bych poděkoval všem lidem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě mé diplomové práce. Zvláště bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Bronislavu Follerovi, Ph.D. za odborné a přínosné rady.

OBSAH

1 ÚVOD.....	11
1.1 Popis zadání	11
1.2 Zadané parametry	11
1.3 Technologie navíjení (filament winding).....	12
1.3.1 Vlastnosti kompozitních materiálů	12
2 DOSTUPNÁ KOMERČNÍ ŘEŠENÍ	14
2.1 Entec	14
2.1.1 PW 34	14
2.2 McClean Anderson	14
2.2.1 Super Hornet.....	14
2.2.2 Spider.....	15
2.3 Microsam	15
2.3.1 MAW20 LS	15
3 PATENTOVÁ REŠERŠE	16
3.1 Patent 1	16
3.2 Patent 2	17
3.3 Český patentový úřad UPV.....	17
3.4 Německý patentový úřad DEPATISNET.....	17
4 HLAVNÍ PRVKY KONSTRUKCE	19
4.1 Servomotory	19
4.1.1 Složení servomotorů [14]	19
4.1.2 Lineární servomotor	20
4.2 Převodovky	21
4.3 Upínací hlavy	22
4.4 Lineární vedení.....	22
4.4.1 Kluzné vedení	22
4.4.2 Kuličkové a válečkové vedení	22
4.5 Brzdící a zabezpečovací prvky	23
4.6 Spojky.....	23
4.7 Článkové vedení	23
4.8 Rám.....	24
5 VLASTNÍ KONSTRUKCE.....	25
5.1 Hlavní osa.....	25
5.1.1 Hlavní motor.....	25
5.1.2 Hlavní převodovka	25
5.1.3 Upínací hlava	26
5.1.4 Pružná spojka	26
5.2. Vedlejší osa	27
5.2.1 Lineární motor	27
5.2.2 Lineární vedení	29
5.2.3 Hydraulická brzda	29
5.2.4 Článkové vedení	30
5.2.5 Doraz lineárního vedení	31
5.3 Unášená osa	32
5.3.1 Servomotor mechanismu natáčení.....	32
5.3.2 Převodovka mechanismu natáčení	32
5.3.3 Ložisková jednotka.....	33

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5.3.4 Hřídel se směrovači vláken	33
5.5 Digitální servozesilovače a řídicí systém	33
5.5.1 Digitální servozesilovače	34
5.5.2 Řídicí systém	34
5.5 Nosná konstrukce	35
5.5.1 Nosný rám	35
5.5.2 Vyrovnávací desky	35
5.5.3 Držák ovládacího panelu	36
5.5.4 Jeřábová oka	36
6 VÝPOČTY	37
6.1 Hlavní osa	37
6.2 Vedlejší osa	37
6.2.1 Lineární motor	37
6.2.2 Lineární vedení	39
6.2.3 Hydraulická brzda	40
6.3 Unášená osa	42
6.4 Pevnostní analýzy	42
6.4.1 Nosný rám	42
6.4.2 Plotna lineárního motoru	44
7 TRIBOTECHNIKA	45
8 ANALÝZA RIZIK	46
9 EKONOMICKÁ ANALÝZA	48
10 ZÁVĚR	52
11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
12 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	56
13 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK	58
14 SEZNAM PŘÍLOH	60

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 ÚVOD

1.1 Popis zadání

Tématem této diplomové práce je návrh konstrukčního řešení tříosého navíjecího stroje pro technologii navíjení kompozitních rotačních profilů. Zadání se skládá z návrhu hlavního a unášného rotačního pohonu, zvolení vhodného lineárního servomotoru, návrhu nosné konstrukce stroje, analýzy bezpečnostních rizik a ekonomické analýzy výsledného řešení.

Modernizací v návrhu je použití lineárního motoru coby unášivého elementu namísto kuličkového šroubu či ozubeného hřebene. Lineární motory umožňují vyšší dynamiku pohybu a vyžadují menší údržbu než ostatní řešení. Tyto vlastnosti jsou ovšem vykoupeny vyšší pořizovací cenou a některými negativními vlastnostmi tohoto řešení jako je například vysoké magnetické pole v okolí dráhy a nutnost brzdy při výpadku proudu, poněvadž motor není samosvorný.

1.2 Zadané parametry

- hlavní pohon rotační: 0 – 600 ot/min, 60 Nm
- lineární posuv: 0 - 4 m/s
- polohování navíjecí hlavy: $\pm 180^\circ$, 2 Nm
- upínací délka navíjecího trnu: 3200 mm
- výška osy trnu: 800 mm
- max. průměr trnu: 400 mm
- délka navíjeného dílu: 3000 mm
- veškeré pohony: servomotory

1.3 Technologie navíjení (filament winding)

Technologie navíjení je založena na navíjení nepřetržitého pramene uhlíkových, aramidových nebo skleněných vláken impregnovaných pryskyřicí na otáčející se vřeteno dle předem určených zákonitostí. Tato metoda výroby poskytuje největší kontrolu nad umístěním vláken a homogenností struktury.

Metoda navíjení se dále dělí na takzvané mokré a suché navíjení. Při mokrému navíjení se namáčí vlákno pryskyřicí v pryskyřicové koupeli těsně před navinutím vlákna na trn. Tato technika má nevýhodu v odkapávání pryskyřice, tudíž dochází k znečišťování pracovního prostoru, cestou k trnu. Naopak při suchém navíjení k znečišťování nedochází, vlákna jsou již impregnována pryskyřicí předem, ovšem za cenu vyšší výrobní ceny výrobku z důvodu vyšší ceny vstupní suroviny.

1.3.1 Vlastnosti kompozitních materiálů

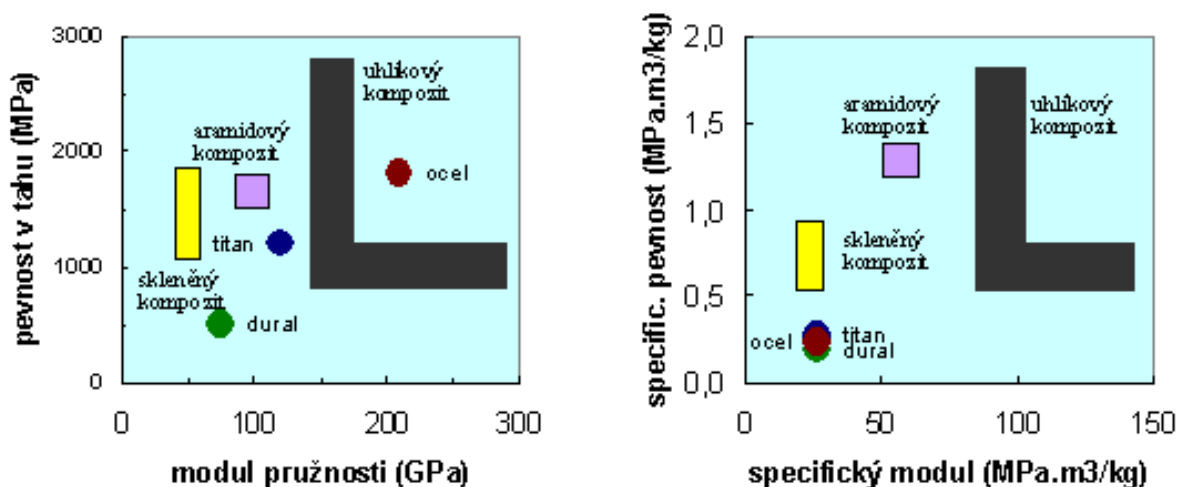
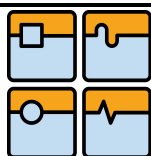
Kompozity jsou složené materiály obsahující tužší složku (výztuž) a matici (pojivo výztuže). Podle předpokládané aplikace jsou navrženy strukturní parametry kompozitu (typ vlákna, směr navíjení, typ matrice, geometrický tvar profilu a rozměry výrobku) tak, aby co nejefektivněji odolávaly očekávanému zatížení (tah, tlak, zkrut, nebo jejich kombinace).



Obrázek 1 Produkty technologie navíjení [5]

Vlastnosti:

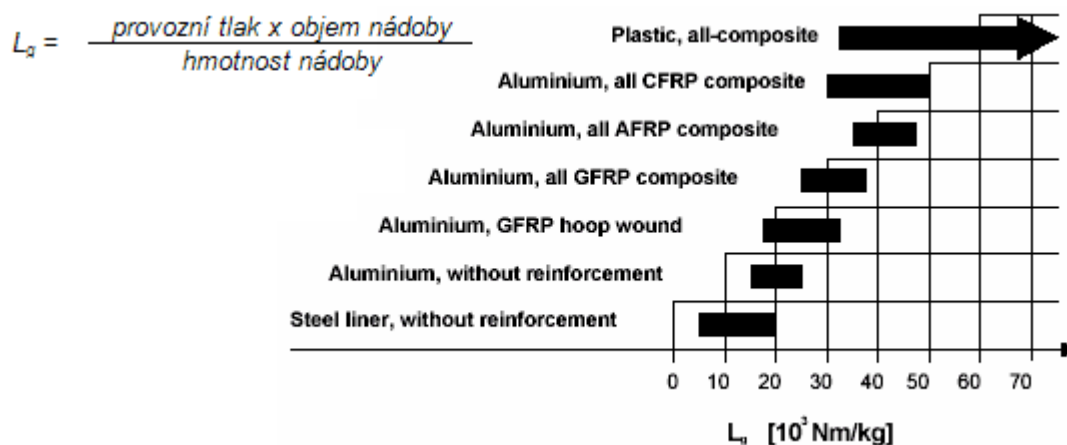
- nízká specifická hmotnost (až 20 % hmotnosti oceli)
- nízká hodnota momentu setrvačnosti
- vysoká pevnost a tuhost
- téměř nulová tepelná roztažnost
- vysoká korozní odolnost
- nemagnetičnost a propustnost RTG paprsků



Obrázek 2 Vztah mezi pevností a tuhostí u tradičních kovových materiálů a kompozitů [6]

Obrázky ukazují vztah mezi pevností a modulem pružnosti u tradičních kovových materiálů a kompozitů. Oblasti vlastností kompozitů jsou vzhledem ke kovům širší, protože lze kombinovat vlákna o různých vlastnostech. U uhlíkových kompozitů lze dle potřeby použít buď vlákna o vysokém modulu pružnosti (High Modulus) nebo vlákna s vysokou pevností (High Tension), popřípadě jejich kombinaci.

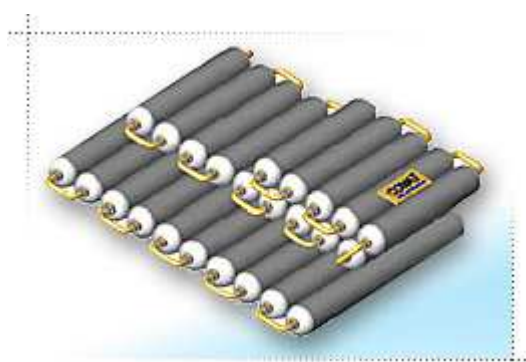
Srovnání výkonnosti tlakových nádob vyrobených z různých materiálů:



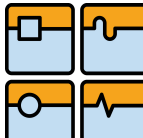
Obrázek 3 Srovnání výkonnosti tlakových nádob z různých materiálů [6]



Obrázek 4 Tlaková nádoba [6]



Obrázek 5 zásobník na kapalný vodík [6]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

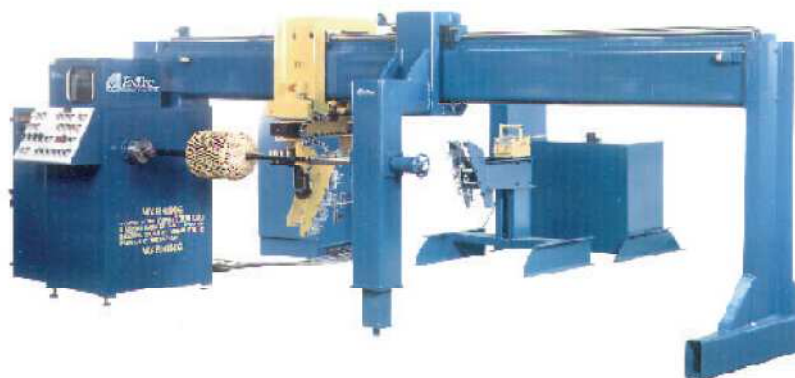
2 DOSTUPNÁ KOMERČNÍ ŘEŠENÍ

Hledány stroje podobných parametrů jako v zadání diplomové práce, aby bylo možné v ekonomické analýze ceny porovnat. V naší republice se bohužel nenachází výrobce navíjecích strojů, proto jsou uvedeni pouze zahraniční. Cena stroje se podařila získat jen od firmy Microsam z Makedonie. Další dvě firmy jsou z USA, tudíž pro ně nejspíš nemělo smysl poptávku z České republiky vůbec řešit kvůli dopravě a problémům se zajištěním servisních oprav.

2.1 Entec

2.1.1 PW 34

- hlavní pohon rotační: 0 - 120 ot/min
- lineární posuv: 0 – 1,524 m/s
- max. průměr trnu: 864 mm
- délka navíjeného dílu: 2, 4 m
- maximální nosnost: 454 kg



Obrázek 6 PW 34 [7]

2.2 McClean Anderson

2.2.1 Super Hornet

- hlavní pohon rotační: 0 - 175 ot/min
- lineární posuv: 0 – 0,9 m/s
- max. průměr trnu: 762 mm
- délka navíjeného dílu: 1 – 4 m
- maximální nosnost: 227 kg



Obrázek 7 Super Hornet [8]

2.2.2 Spider

- hlavní pohon rotační: 0 - 100 ot/min
- lineární posuv: 0 – 1 m/s
- max. průměr trnu: 610 mm
- délka navíjeného dílu: 1 – 4 m
- maximální nosnost: 3 x 454 kg



Obrázek 8 Spider [8]

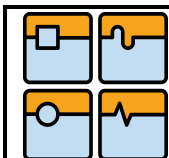
2.3 Microsam

2.3.1 MAW20 LS

- hlavní pohon rotační: 0 - 120 ot/min
- lineární posuv: 0 – 1 m/s
- max. průměr trnu: 500 mm
- délka navíjeného dílu: 1, 2 – 1,5 m
- maximální nosnost: 150 kg
- **cena: 2 860 000 Kč bez DPH**



Obrázek 9 MAW20 LS [9]



3 PATENTOVÁ REŠERŠE

Klíčová slova: navíjecí stroj, vlákno

Key words: filament winding machine, filament

3.1 Patent 1

Zdroj: FREE PATENTS ONLINE [10]

Název: Zařízení k navíjení vláken a metody navíjení vláken

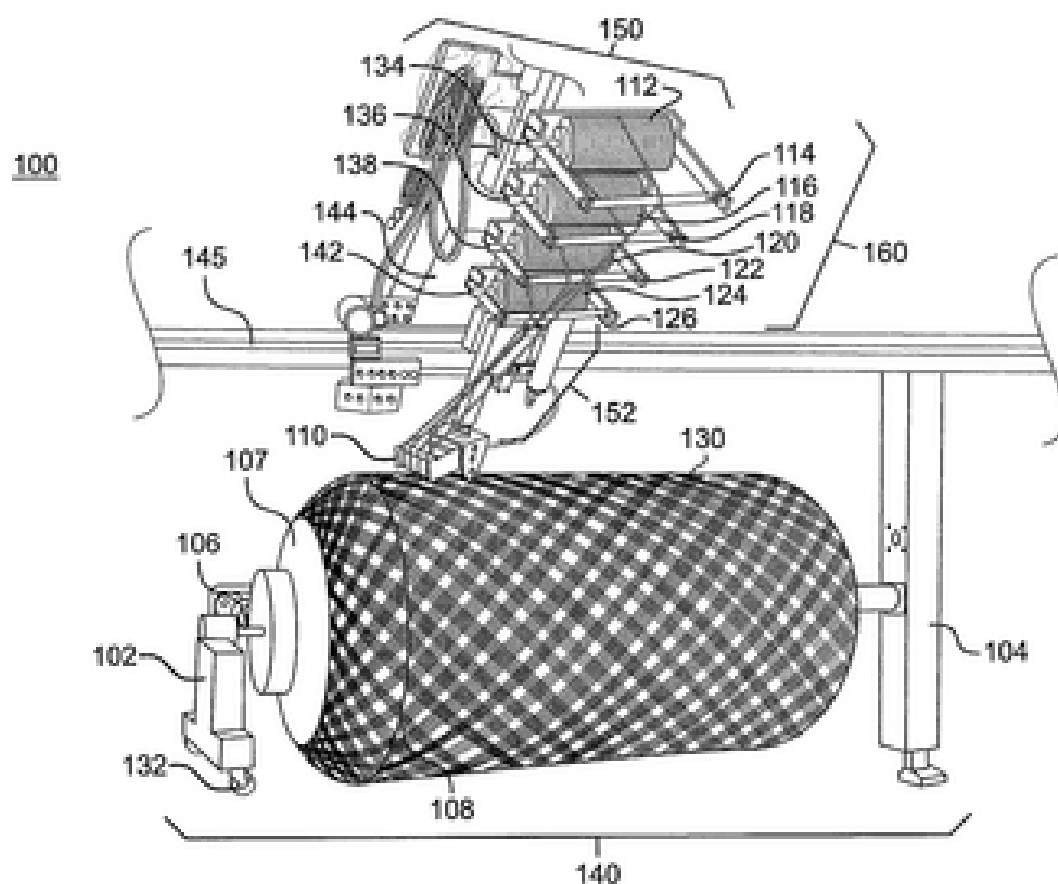
Title: Filament winding apparatus and methods of winding filament

Číslo patentu: US 7124797

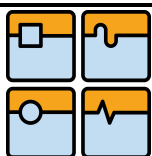
Patent No.: US 7124797

Datum vydání patentu: 24.10.2006

Datum of patent: Sep. 24.10.2006



Obrázek 10 Zařízení k navíjení vláken [10]



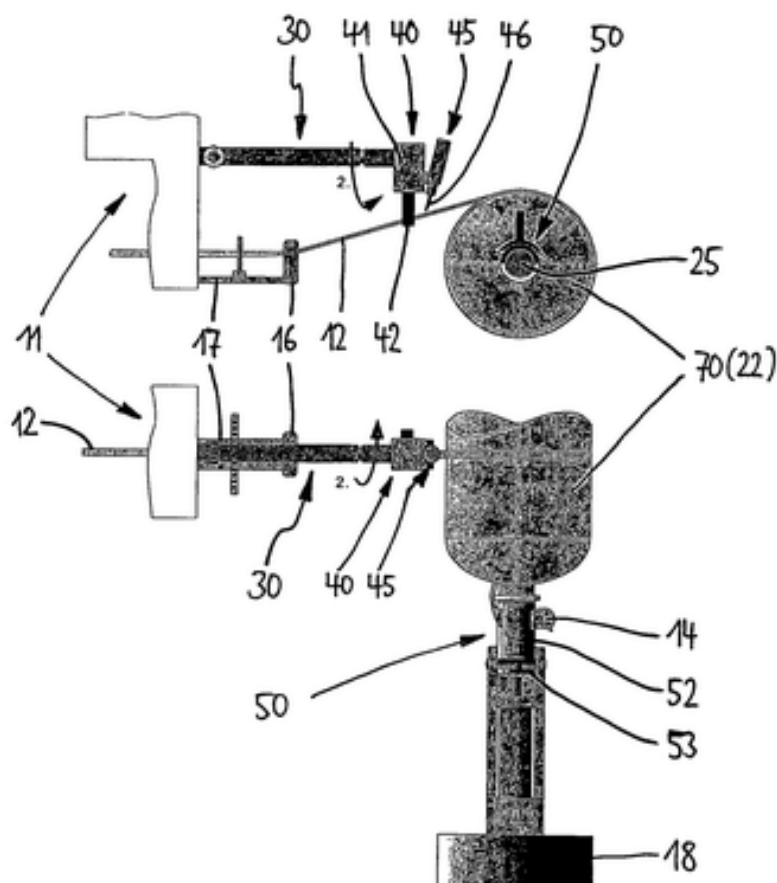
3.2 Patent 2

Zdroj: Patentový úřad Spojených států amerických [11]
US PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Název: Systém pro oddělování a spojování kompozitních vláken
Title: System for separating and linking composite fibers

Číslo patentu: US 7,451,795 B2
Patent No.: US 7,451,795 B2

Datum vydání patentu: 18.4.2005
Datum of patent: Apr. 18, 2005



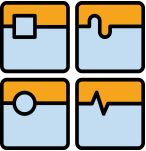
Obrázek 11 Systém pro oddělování a spojování kompozitních vláken [11]

3.3 Český patentový úřad UPV

Na stránkách českého patentového úřadu www.upv.cz nebyl pomocí klíčových slov nalezen žádný patent týkající se řešeného problému.

3.4 Německý patentový úřad DEPATISNET

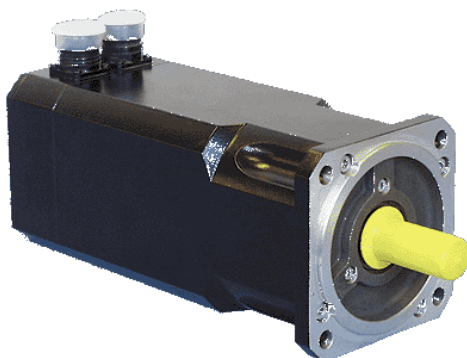
Na stránkách německého patentového úřadu www.depatisnet.de nebyl pomocí klíčových slov nalezen žádný patent týkající se řešeného problému.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4 HLAVNÍ PRVKY KONSTRUKCE

4.1 Servomotory

Pro zajištění pohonů navíjecího stroje je v zadání práce použití servomotorů, tudíž se ostatními variantami pohonu již dále nebudu zabývat. Nabídka elektrických servomotorů na našem trhu je obrovská. Mezi výrobce patří firmy SIEMENS, VUES Brno, Bosch Rexroth AG, TG Drives, Aerotech, Pilz & Co. KG, SEM, RACO-Elektro-Maschinen a mnoho dalších.



Obrázek 13 Servomotor firmy VUES Brno s.r.o. [12]



Obrázek 12 Servomotor firmz TG Drives s.r.o. [13]

4.1.1 Složení servomotorů [14]

U servomotorů na rozdíl od běžného motoru lze nastavit přesnou polohu natočení osy, popřípadě přesnou polohu umístění na dráze u servomotorů lineárních. Elektrické servomotory jsou řízeny prakticky výhradně tranzistorovými měniči s pulzně šířkovou modulací (PWM).

Poloha hřídele servomotoru je zjišťována elektricky pomocí fotoelektrického snímače (encoder) nebo pomocí rozkladače (selsynu). Pro levné aplikace lze použít optické snímání pomocí kódového kotoučku či proužku.

Signál snímače polohy je přiveden pomocí zpětné vazby na regulátor, který porovnává skutečnou polohu motoru s žádanou polohou. Na základě rozdílu žádané a skutečné polohy regulátor řídí měnič a tak nastavuje motor na žádanou polohu.



Obrázek 14 Řez servomotorem [15]

Dnešní konstrukce motorů používají permanentní magnety na bázi vzácných zemin (nejčastěji typ neodým - železo - bór). Motory lze několikanásobně momentově přetížit, a proto jsou vhodné pro dynamicky náročné úlohy.

4.1.2 Lineární servomotor

Výhodou lineárních servomotorů oproti ostatním možnostem řešení lineárního pohybu jsou vysoké rychlosti, zrychlení a jejich samotné konstrukční řešení. U lineárních servomotorů nedochází k přímému styku pracovních částí motoru, nevzniká tření a opotřebení, což zaručuje vysokou životnost. Odpadá hlučnost, nežádoucí vůle, opotřebení v převodech a další doprovodné jevy spojené s převodovými mechanismy. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a fakt, že k pohybující se části musí být přiveden napájecí kabel, kabel snímače polohy a případně přívod chladicí kapaliny. Vše pak musí být umístěno ve vlečném řetězci, který chrání kabely před poškozením a zajišťuje plynulý pohyb s jezdcem. Problémům s kabeláží se lze vyhnout, pokud použijeme primární část motoru jako pevnou a sekundární část motoru jako posuvnou. Toto řešení ovšem není prakticky možné použít u navíjecího stroje s dráhou posuvu délky 3 m.

Pro technickou aplikaci v této diplomové práci jsou použitelné motory těchto firem:

1. Firma Bosch Rexroth s produktovou řadou lineárních motorů IndraDyn:



Obrázek 15 Lineární motor Bosch Rexroth řada IndraDyn [16]

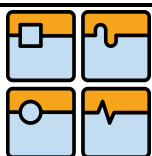
Parametry:

- synchronní motory s permanentními magnety v sekundární části
- 6 šířkových velikostí po 2 až 3 délkách primární části motoru
- jmenovité posuvové síly 500 až 11 000 N
- maximální rychlost osy 480 m/min
- maximální zrychlení osy 80 m/s^2

2. Firma ETEL s produktovou řadou lineárních motorů LMP:



Obrázek 16 Lineární motor ETEL řady LMP [17]



Parametry:

- synchronní motory s permanentními magnety v sekundární části
- jmenovité posuvové síly 638 až 9 330 N
- maximální rychlost osy 120 m/min
- maximální zrychlení osy 50 m/s²

3. Firma SIEMENS s produktovou řadou lineárních motorů 1FN3



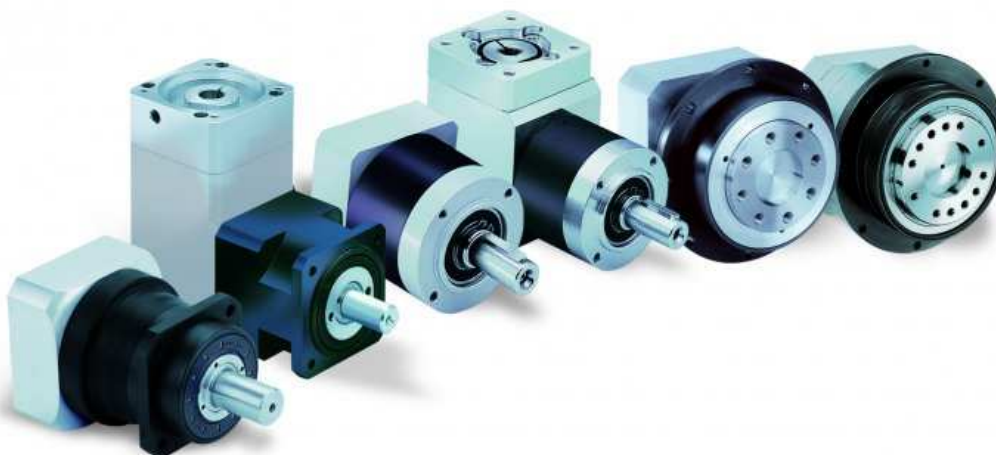
Obrázek 17 Lineární motor Siemens řady 1FN3 [18]

Parametry:

- synchronní motory s permanentními magnety v sekundární části
- maximální posuvové síly 20 700 N
- motory jsou adaptovány na použití digitálního nebo univerzálního řídicího systému Simodrive 611
- maximální rychlost osy 800 m/min
- maximální zrychlení osy m/s²

4.2 Převodovky

Převodovky zajišťují snížení rychlosti a zvýšení krouticího momentu. Převodovky by měly být pokud možno jednostupňové, kvůli snadnější údržbě a nižším ztrátám oproti vícestupňovým. V konstrukci je počítáno s použitím planetových převodovek, které mají vysokou mechanickou účinnost.



Obrázek 18 Převodovky firmy Baumüller [19]

4.3 Upínací hlavy

Upnutí trnu lze provést prostřednictvím klasického sklíčidla nebo nějakou z variant rychloupínacích hlav. Rychlost, pohodlnost a praktičnost výměny trnu by měla být jednou ze základních charakteristik navíjecího stroje.



Obrázek 20 Zaklepávací hlava BOSCHERT [20]



Obrázek 19 Sklíčidlo TOS [21]

4.4 Lineární vedení

Lineární servomotor musí mít mezi primární a sekundární částí vzduchovou mezeru (obvykle 1 mm), kterou docílíme použitím lineárního vedení jako nosiče primární části nad sekundární. Zde uvádím stručný přehled, použita může být v podstatě kterákoliv varianta. Při výběru se především upřednostňuje co nejnížší součinitel tření a hmotnost vozíku kvůli minimalizaci sil nutných k pohybu.

4.4.1 Kluzné vedení

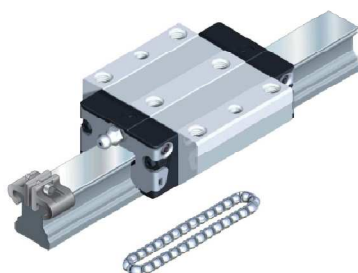
- bezúdržbovost, samomaznost
- vysoké zatížení
- možnost vymezení vůlí
- odolné nečistotám a prachu
- odolné proti chemikáliím a korozi
- velice nízká hmotnost
- pohlcuje vibrace
- snadná výměna kluzných elementů



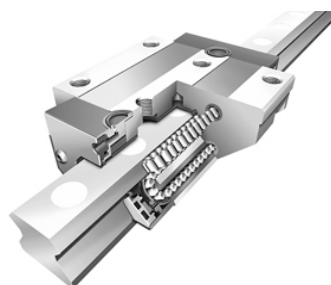
Obrázek 21 Kluzné vedení DryLin [22]

4.4.2 Kuličkové a válečkové vedení

U kuličkového (válečkového) vedení jsou v podstatě nahrazena kluzná pouzdra kluzného vedení podstatně přesnějšími a dražšími pouzdry kuličkovými (válečkovými). Je u nich zaručena vyšší přesnost a nižší ztráty třením.



Obrázek 23 Kuličkové vedení THK [23]



Obrázek 22 Válečkové vedení Schaeffler KG [24]

4.5 Brzdící a zabezpečovací prvky

Lineární motor není samosvorný jako například kuličkový šroub. Při výpadku elektřiny dál setrvává ve svém pohybu, dokud nenarazí na krajní dorazy, což by mohlo při rychlosti 4 m/s zapříčinit poškození stroje. K ochraně se používá brzdící prvek, který je při provozu odbrzděn působením tlaku oleje. Ve chvíli, kdy dojde k výpadku proudu, vypadne hydraulika a tím i tlak. V tomto případě začnou působit vnitřní talířové pružiny, které způsobí přitlak brzdného obložení. Reakční čas je 30 ms.



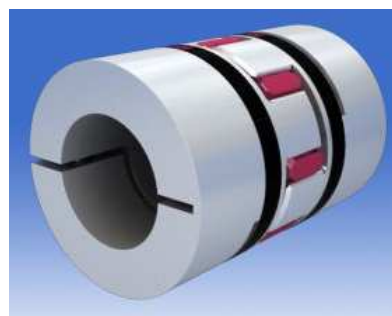
Obrázek 24 Brzdící prvek [24]

4.6 Spojky

Pro přenos krouticího momentu mezi převodovkou a upínací hlavou je nutno pro snadnou montáž a opravy použít spojku. Výběr spojek je značný, můžeme zvolit pružné, pevné, gumové, zubové a mnoho dalších.



Obrázek 25 Vlnovcová spojka Gerwah [25]



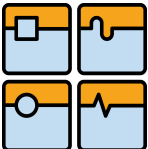
Obrázek 26 Pružná spojka R + W [26]

4.7 Článekové vedení

Přívod chladicí kapaliny, kabel snímače polohy a napájecí kabel k primární části lineárnímu motoru musí být vedeny v článekovém vedení. Vedení by mělo být pokud možno co nejlehčí, aby lineární motor zbytečně neplýtl silou na jeho pohyb.



Obrázek 27 Článekové vedení [22]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.8 Rám

Pro řešení konstrukce stroje jako takové je třeba brát ohled na obsluhu a také na celkový vizuální dojem. Stroj musí být prodejný a zákazníkův první pohled směřuje na vlastnosti konstrukce. Navíjecí stroj nepatří mezi sériově vyráběné stroje, tudíž rozumné naddimenzování vede spíše ve prospěch prodeje, než ke ztrátě konkurenceschopnosti. Nosný rám bude vyroben ze svařitelné oceli 11 373.



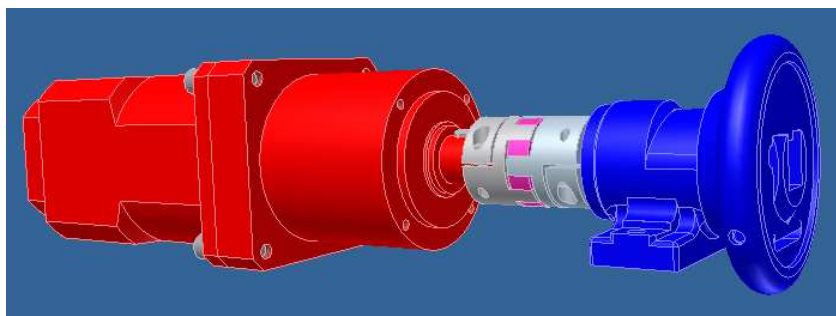
Obrázek 28 Hutní materiál

5 VLASTNÍ KONSTRUKCE

Při návrhu tohoto zařízení byl brán zřetel na kvalitu a produktivitu. Osazení navíjecího stroje lineárním motorem významně zkrátí výrobní časy a zvýší celkovou dynamiku výroby. Pořizovací cena celku se samozřejmě vyšší, ale teoretická produktivita by měla být oproti dostupným řešením až 4krát vyšší. Výroba stroje by neměla dělat problém i méně zkušeným pracovištím.

5.1 Hlavní osa

Hlavní osa navíjecího stroje vytváří základní otáčivý pohyb trnu nutný k navíjení vlákna. Je tvořena hlavním motorem, převodovkou, spojkou a párem zaklepávacích hlav pro rychlou výměnu trnu.



Obrázek 29 Hlavní osa

5.1.1 Hlavní motor

Zvolen servomotor TGH5 – 1700 320 VDC od firmy TGdrivers. Jedná se o 10. pólový motor zaručující velkou rovnoměrnost chodu při nízkých otáčkách, což je nutné pro plynulé navíjení krajních částí výrobku.

Specifikace TGH5 – 1700 320 VDC:

- $n_{hm} = 3000$ ot/min
- $M_{hm} = 14,3$ Nm
- $m_{hm} = 13,5$ kg
- $P_{hm} = 4\,493$ W
- Cena: 19 800Kč bez DPH



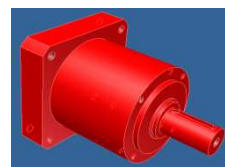
Obrázek 30 TGH 1700 320 VDC [13]

5.1.2 Hlavní převodovka

Z ekonomického hlediska je zvolena planetová převodovka české výroby typ SG 120. Vůle v převodech 12 arcmin je plně postačující pro aplikaci. Převodovka je přišroubována čtyřmi šrouby M8 přímo k motoru, tím pádem spojení motoru s rámem bude zprostředkováno skrz čelní přírubu převodovky.

Specifikace SG 120:

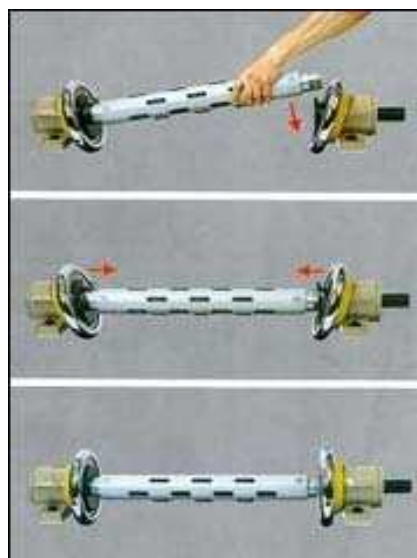
- $I_{hp} = 5$
- $m_{hp} = 8,8$ kg
- $\eta_{hp} \geq 97 \%$
- cena: 14 900Kč bez DPH



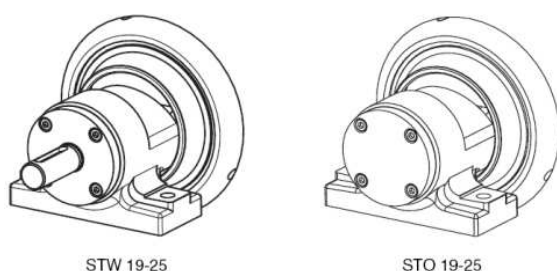
Obrázek 31 SG 120

5.1.3 Upínací hlava

Upnutí trnu by bylo proveditelné také skrz univerzální sklíčidlo a pojízdného koníka, jednalo by se o univerzálnější řešení s větší možností upnutí rozdílných tvarů konců trnu. Ovšem trn jako takový bývá většinou speciální konstrukce, tudíž není velkým problémem upínací konce sjednotit a použít produktivnější zaklepávací uložení. Posouzením výhod a nevýhod jednotlivých řešení je zvolen komplet zaklepávacích uložení firmy BOSCHERT, a to STW 19-25 pro připojení k převodovce a protikus STO 19-25. Číslice 19–25 značí možný rozměr strany přípojného hranolu v milimetrech. Maximální nosnost upínacích hlav je 400 kg, což je pro technologii navíjení plně dostačující. Každá hlava je přišroubována k rámu dvěma šrouby M12.



Obrázek 32 Princip upnutí [20]

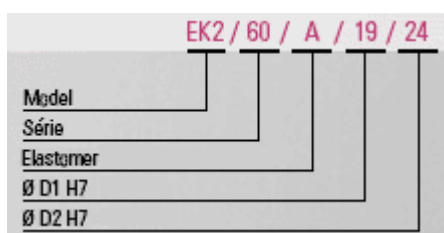


Obrázek 33 Použité typy [20]

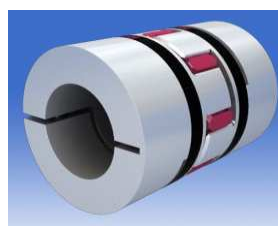
Cena: STW 19-25 8 200Kč bez DPH
STO 19-25 8 520Kč bez DPH

5.1.4 Pružná spojka

Spojení mezi převodovkou a zaklepávací hlavou je uskutečněno prostřednictvím pružné spojky firmy R+W typ EK2/60/B/28/32.

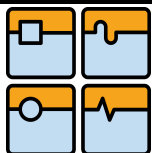


Obrázek 35 Značení K+W spojek [26]



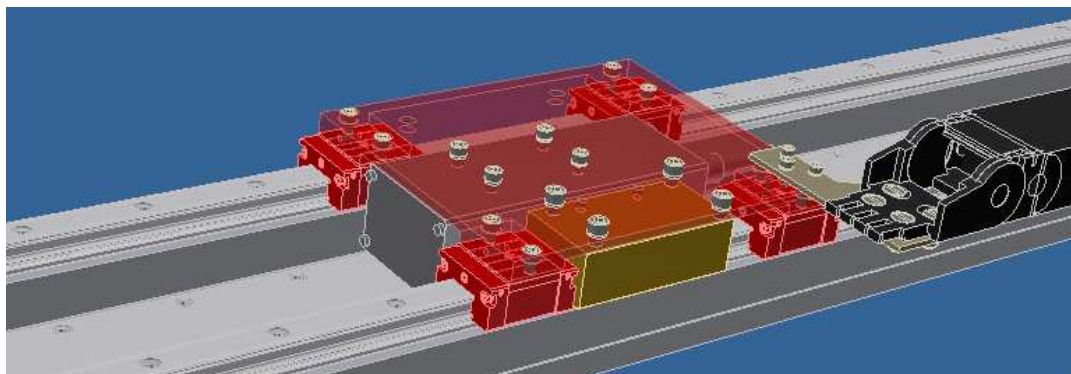
Obrázek 34 Spojka EK2/60/B/28/32 [26]

- Cena: 1 740Kč bez DPH



5.2. Vedlejší osa

Vedlejší osa je složena z lineárního motoru, lineárního vedení se čtyřmi kuličkovými vozíčky, jedné bezpečnostní brzdy, článkového vedení pro kabely k lineárnímu motoru a unášené osy.



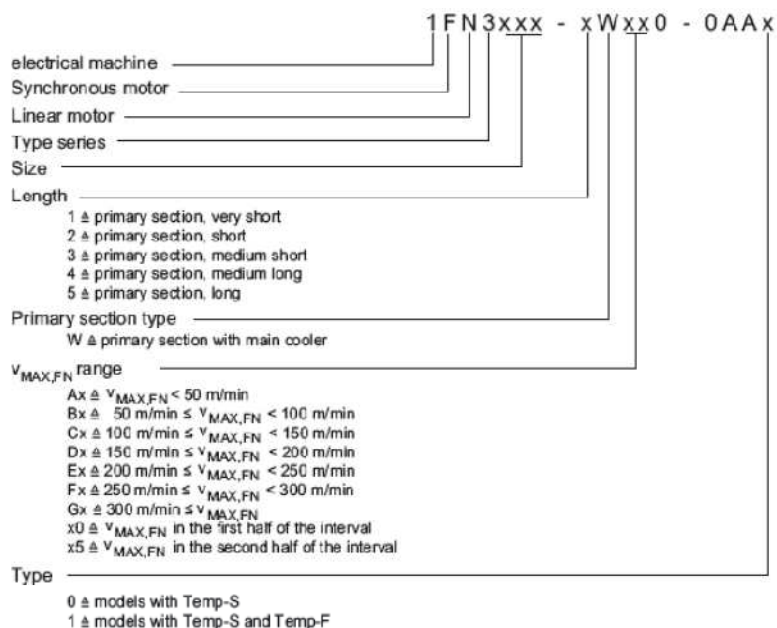
Obrázek 36 Vedlejší osa

5.2.1 Lineární motor

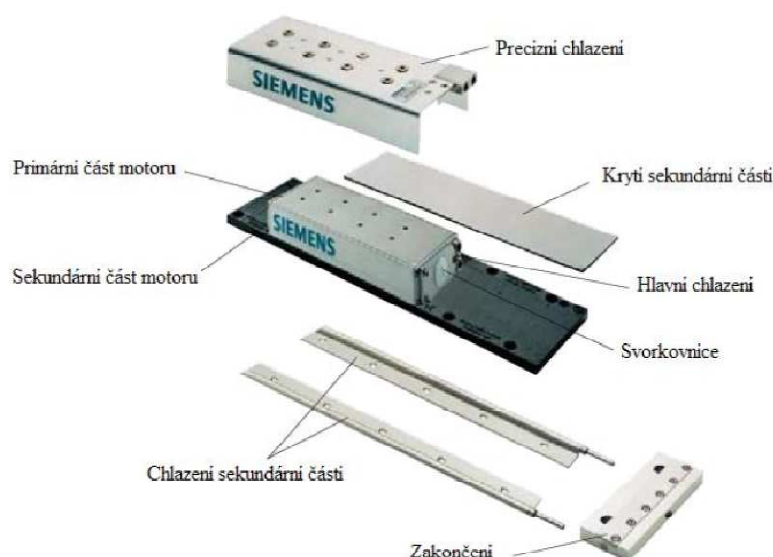
Vzhledem k rychlostem kolem 4 m/s na délce dráhy 3m je zvolen lineární motor pro trvalé zatížení firmy SIEMENS typ 1FN3050-1ND00-0FA1. Jedná se o nejnižší možnou řadu motorů. Využití sil a tepelné zatížení na maximálních rychlostech bude kolem 90%, tedy z hlediska volby motoru optimální. Motor se skládá z jedné primární části a 26 dílů sekundární části po délkách 120mm. Precizní chlazení a chlazení sekundární části byly zkontrolovány s techniky firmy SIEMENS. Došlo se k závěru, že nejsou potřeba. Chlazena bude pouze primární část motoru. Napájení je zprostředkováno prostřednictvím servo kabelu Chainflex CF260.25.10.02.01 ((4 x 2,5+(2 x 1,0) C) C, $D_{klm}=12,5$ mm, $m_{klm}=229$ kg/km).

Lineární motor 1FN3050-1ND00-0FA1:

- $V_{(max \text{ at } F_{max})} = 242$ m/min
- $V_{(max \text{ at } F_{rated})} = 435$ m/min
- $F_{max} = 260$ N
- $F_{rated} = 150$ N
- $F_{prít} = 760$ N
- Doporučené hodnoty chlazení:
 $P_{min} = 260$ W,
 $Q_{min} = 2,1$ l/min
- cena: 91 660Kč bez DPH



Obrázek 37 Označení lineárního motoru [18]



Obrázek 38 Popis lineárního motoru [18]

5.2.1.1 Snímač polohy

K odečtení polohy lineárního motoru je použit inkrementální lineární snímač firmy Heidenhein typ Lida 477. Snímač je instalován ve vertikální poloze (viz obrázek 39) pod kolejnicí lineárního vedení. Doporučené měřicí rozlišení $1\mu\text{m}$ je plně postačující. Připojení snímače je zprostředkováno pomocí kabelu $[4 (2 \times 0,14 \text{ mm}^2) + (4 \times 0,5 \text{ mm}^2) + 2 \times (2 \times 0,14 \text{ mm}^2)]$, $D_{ls} = 8 \text{ mm}$.

- $a_{\max} = 200 \text{ m/s}^2$
- $v_{\max} = 4 \text{ m/s}$
- výstupní signál: $1 V_{pp}$
- cena: 51 450 Kč bez DPH



Obrázek 39 Snímač polohy LIDA 477 [27]

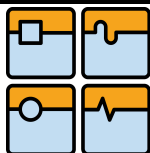
5.2.1.2 Chladicí jednotka



Chlazení lineárního motoru obstarává chladicí jednotka FWKS-0/1.0/W/TP/400-50/WP1-80/0 firmy HYDAC. Jednotka je přibližně dvakrát výkonnější, než minimálně požadovaná k lineárnímu motoru, ovšem z ekonomického hlediska a s přihlédnutím na tepelnou vytíženost motoru kolem 90 % je výhodnější se přiklonit k této variantě. Chladicí kapalina je přivedena k motoru hadicí 10/8 ($D_h = 10\text{mm}$).

- $P = 500 \text{ W}$
- $Q_{\max} = 25 \text{ l/min}$ při $p_{chl} = 0,2 \text{ MPa}$
- cena: 19 672 Kč bez DPH

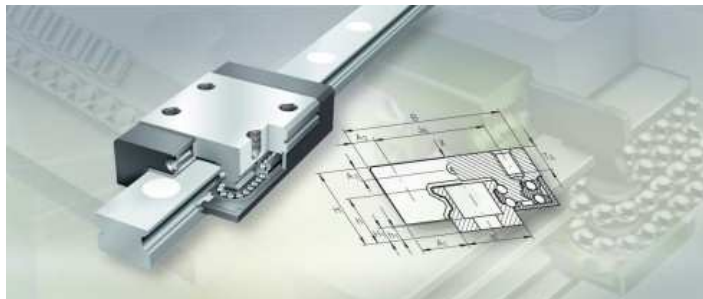
Obrázek 40 Chladicí jednotka [28]



5.2.2 Lineární vedení

Kuličkové lineární vedení je od firmy Schaeffler KG a skládá se ze čtyř vozíčků KUV20-B-ESC a dvou kolejnic TKVD20 délky 3220 mm. Každý vozíček je přišroubován k plotně lineárního motoru pomocí dvou šroubů M5.

- $C = 8\,900\text{ N}$
- $C_0 = 5\,400\text{ N}$
- cena: 34 792 Kč bez DPH

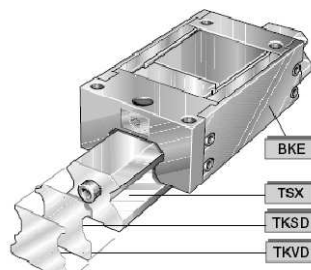


Obrázek 41 KUV20-B-ESC [24]

5.2.3 Hydraulická brzda

Hydraulická brzda BKE.TKVD25 je stejného výrobce jako lineárního vedení kvůli kompatibilitě s kolejnicí lineárního vedení. Připojení k hydraulickému agregátu je provedeno pomocí hadice dle DIN EN 853, 1SN: Ø4,8/11,8, $p_{hmax} = 25\text{ MPa}$. K plotně lineárního motoru je přišroubována čtyřmi šrouby M6.

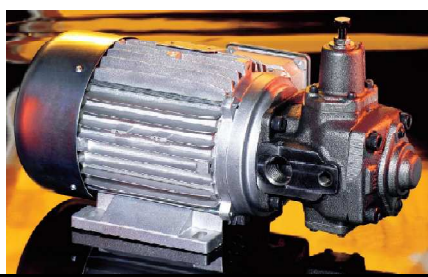
- $F_{brz} = 1\,000\text{ N}$
- $t_{reakce} = 0,03\text{ s}$
- $p_{ot} = 5,5\text{ MPa}$
- $p_{max} = 9\text{ MPa}$
- cena: 26 941 Kč bez DPH



Obrázek 42 BKE.TKVD25 [24]

5.2.3.1 Hydraulický okruh

Hydraulická jednotka GMP-6,9-PVS0,5-H-M80a6 firmy BERARMA s.r.l. vytváří potřebný tlak k otevření bezpečnostní brzdy. Od čerpadla je veden olej přes elektromagnetický ventil 21611-10-014-230 a tlakový spínač C1-P906F-B1N-E6-K1-C do brzdy. Tlakový spínač je nastaven na spínací tlak 6 MPa. Při dosažení spínacího tlaku sepne spínač elektromagnetický ventil a zároveň přeruší přívod elektrické energie k motoru. Tím pádem se uzavře tlak v okruhu od elektromagnetického ventilu přes tlakový spínač k brzdě. Brzda je odbrzděna, tlakový spínač s elektromagnetickým ventilem sepnutý, agregát vypnut a lineární motor může být uveden do pohybu. Při výpadku elektrické energie se elektromagnetický ventil otevře a přepustí olej zpět do olejové nádoby, proto dojde k poklesu tlaku a brzda začne brzdit.



Obrázek 43 GMP-6,9-PVS0,5-H-M80a6 [29]

Elektromotor + čerpadlo:

- $P_{mho} = 370\text{ W}$
- $p_{maxhm} = 10\text{ MPa}$
- $m_{agr} = 14,9\text{ kg}$
- cena: 13 017 Kč bez DPH



Obrázek 45 Elektromagnetický ventil 21611-10-014-230 [30]



Obrázek 44 Tlakový spínač C1-P906F-B1N-E6-K1-C [30]

Elektromagnetický ventil:

- připojení 1/4"
- $P_v = 10 \text{ W}$
- $p_{vmax} = 9 \text{ Mpa}$
- $T_{vmax} = 60 \text{ °C}$
- cena: 1 940 Kč bez DPH

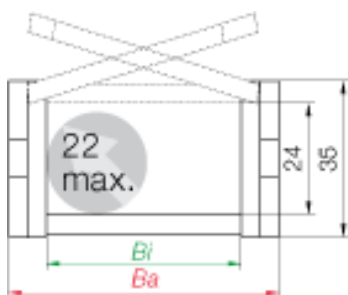
Tlakový spínač:

- připojení: 1/4"
- rozsah: 1,3 – 13 Mpa
- necitlivost: 0,4 - 0,85 MPa
- cena: 7 195 Kč bez DPH

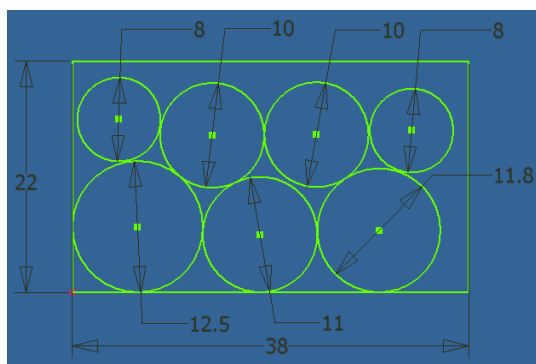
5.2.4 Člákové vedení

Člákové vedení musí pojmout dvě hadičky vodního chlazení ($D_h = 10\text{mm}$), dva servo kabely se signálním párem ($D_{klm} = 12,5\text{mm}$, $D_{servo} = 11\text{mm}$), dva datové kabely ($D_{ls} = 8\text{mm}$, $D_{rs} = 8\text{mm}$) a jednu hydraulickou hadici ($D_h = 11,8\text{mm}$). Poloměr ohybu člákového vedení musí být stejný nebo větší než nejmenší povolený poloměr kteréhokoliv prvku umístěného ve vedení. Nejmenší poloměr ohybu má hydraulická hadice ($r_{min} = 90\text{mm}$). Člákový řetěz série 255.O3.100 s poloměrem ohybu $r_{cl} = 100 \text{ mm}$ firmy IGUS splňuje všechny předpoklady pro aplikaci.

- $B_i = 38 \text{ mm}$
- $L_{cl} = 1904 \text{ mm}$
- cena: 2 245 Kč bez DPH

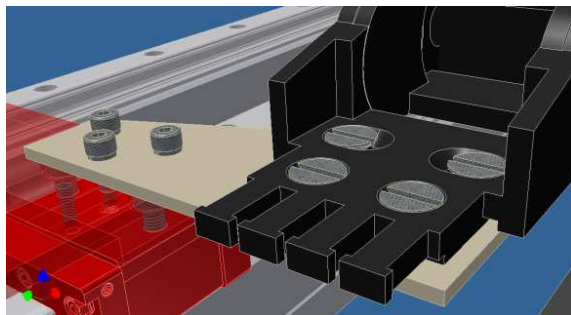


Obrázek 46 Geometrie člákového řetězu [22]



Obrázek 47 Náskres uložení

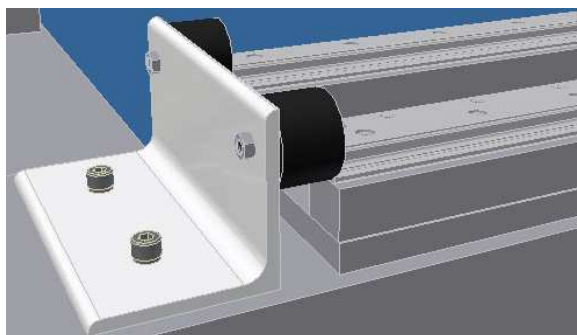
Článekové vedení je přišroubováno k držáku čtyřmi zápusťnými šrouby M6. Držák samotný je přišroubován k plotně lineárního motoru třemi šrouby M4.



Obrázek 48 Držák článekového vedení

5.2.5 Doraz lineárního vedení

Mechanickým opatřením proti nechtěnému vyjetí vozíčků, tím pádem i celého lineárního motoru, z dráhy, jsou dorazy na koncích lineárního vedení. Válcovaný profil L80x80x6 je osazen dvěma gumovými dorazy typ DS40/28 od firmy K&F Technická guma. Komplet je přišroubován k rámu dvěma šrouby M8.

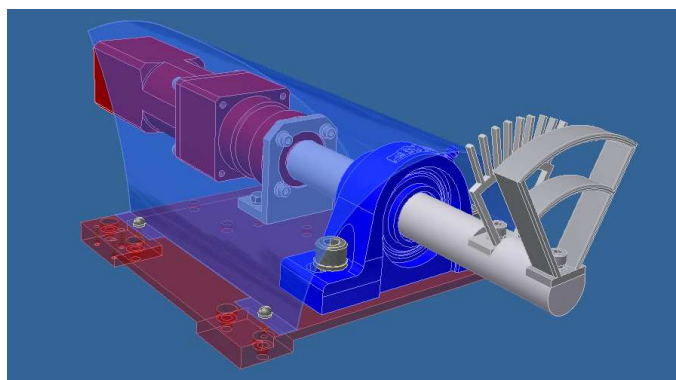


Obrázek 49 Doraz lineárního vedení

- Cena gumových dorazů – 4 Ks: 240 Kč bez DPH

5.3 Unášená osa

Třetí osa, takzvaná unášená, natáčí vlákna do stran, aby bylo dosaženo lepšího navinutí konců výsledného dílu. Například navinutí vrchlíků tlakových nádob je bez použití třetí natáčecí osy nemožné. Unášená osa se skládá ze servomotoru, převodovky, ložiskové jednotky a vyměnitelné hřídele s vyměnitelnými směrovači vláken.



Obrázek 50 Unášená osa

5.3.1 Servomotor mechanismu natáčení

Použit servomotor TGH2-0025-40-36/T1B opět od firmy TGdrivers. Jedná se o 6.pólový tak zvaný segmentový servomotor, což znamená, že jednotlivé fáze se předem navinou na segmenty statoru, z kterých se poté vytvoří svazek. Navíjení segmentů umožňuje dosáhnout lepšího plnění vinutí, což má za následek zkrácení motoru o 20 - 30 % oproti běžnému způsobu výroby. Tím pádem se také sníží hmotnost motoru a lineární motor, na kterém je motor umístěn, potřebuje menší síly k dosažení požadovaných rychlostí. Motor je přišroubován k převodovce čtyřmi šrouby M5.

Specifikace TGH2-0025-40-36/T1B:

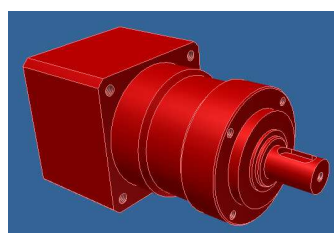
- $n_{um} = 4500 \text{ ot/min}$
- $M_{um} = 0,24 \text{ Nm}$
- $m_{um} = 0,95 \text{ kg}$
- $P_{um} = 114 \text{ W}$
- Cena: 9 800Kč bez DPH

5.3.2 Převodovka mechanismu natáčení

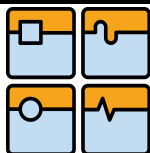
Zvolena planetová převodovka SG 050. Vůle v převodech 12 arcmin je opět plně postačující pro aplikaci. Převodovka je přišroubována čtyřmi šrouby M4 k přírubě a ta je přišroubována dvěma šrouby M6 k plotně lineárního motoru. Řada SG 050 se vyznačuje zvýšenou hlučností při vyšších otáčkách. Jelikož se natáčení vláken provádí rychlostí pouze v desítkách otáček za minutu, vyšší hlučnost by se neměla vůbec projevit.

Specifikace SG 050:

- $I_{up} = 10$
- $m_{up} = 0,75 \text{ kg}$
- $\eta_{up} \geq 97 \%$
- cena: 6 900Kč bez DPH



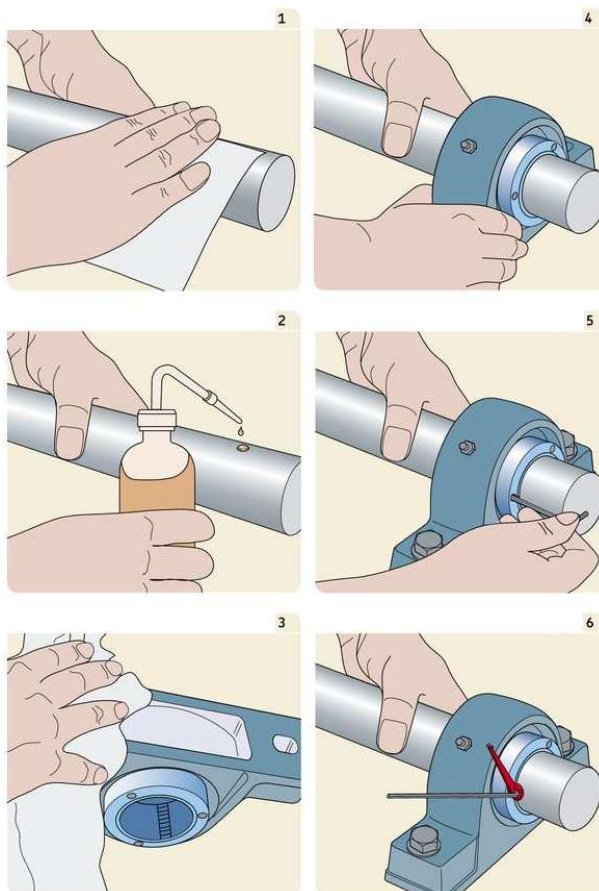
Obrázek 51 SG 050



5.3.3 Ložisková jednotka

Natáčecí hřídel prochází ložiskovou jednotkou a je nasunuta na hřídel převodovky. Krouticí moment je přenášen na hřídel prostřednictvím pera. K rychlé výměně hřídele je zvolena ložisková jednotka ConCentra SY 25PF firmy SKF.

Systém upínání SKF ConCentra zajišťuje souosé, pevné, přesné a spolehlivé upnutí na hřídeli. Dokonalé vystředění výrazně usnadňuje a urychluje demontáž, protože mezi vnitřním kroužkem ložiska a hřídelí nedochází ke vzniku stykové koroze. Technologie upínání vychází z tenkostěnného pouzdra s několika kuželovými plochami, s profilem podobajícím se zubům pily. Vnitřní strana vnitřního kroužku ložiska je vyrobena s odpovídajícím protiprofilem. Profily do sebe zapadnou při utahování tří montážních šroubů a každé další utažení zmenšuje průměr díry vnitřního kroužku. Úplného upnutí je dosaženo až v okamžiku, kdy všechny tři šrouby jsou utaženy předepsaným utahovacím momentem.



Obrázek 52 Upnutí hřídele pomocí SKF ConCentra [31]

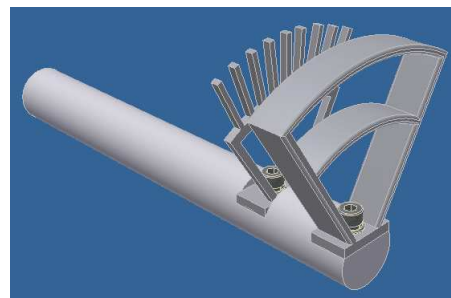


Obrázek 53 Skf ConCentra [31]

- $C_c = 14\,000\text{ N}$
- $C_{0c} = 17\,800\text{ N}$
- $d = 25\text{ mm}$
- $m = 0,85\text{ kg}$
- cena: 826Kč bez DPH

5.3.4 Hřídel se směrovači vláken

Pro snadnou modifikovatelnost je zde, kromě rychlo-vyměnitelné celé hřídele jako takové pomocí zvoleného ložiskového domečku, také možnost zvlášť vyměnit jednotlivé směrovače vláken, které jsou umístěny ve vyfrézované drážce na hřídeli a přišroubovány šroubem M5.



Obrázek 54 Hřídel se směrovači vláken

5.5 Digitální servozesilovače a řídicí

systém

5.5.1 Digitální servozesilovače

K jednotlivým servomotorům byly zvoleny vhodné digitální servozesilovače přímo prodejci. U servomotoru TGH2-0025-40-36/T1B zvolen z ekonomického hlediska digitální servozesilovač pro motory malých výkonů TGA-24-9/20-O4. Jeho cena je přibližně poloviční oproti ostatním, avšak není vybaven relé pro spínání brzdy, tudíž je nutné s tímto relé počítat do rozvaděče.

Tabulka 1 Digitální servozesilovače

Servomotor	Servozesilovač	Cena bez DPH
TGH5 – 1700 320 VDC	Siemens, 18A, 6SL3120-1TE21-8AA3	24 510,-
1FN3050-1ND00-0FA1	Siemens; 3A, 6SL3120-1TE13-0AA3	13 777,-
TGH2-0025-40-36/T1B	TGA-24-9/20-O4	6 900,-

5.5.2 Řídicí systém

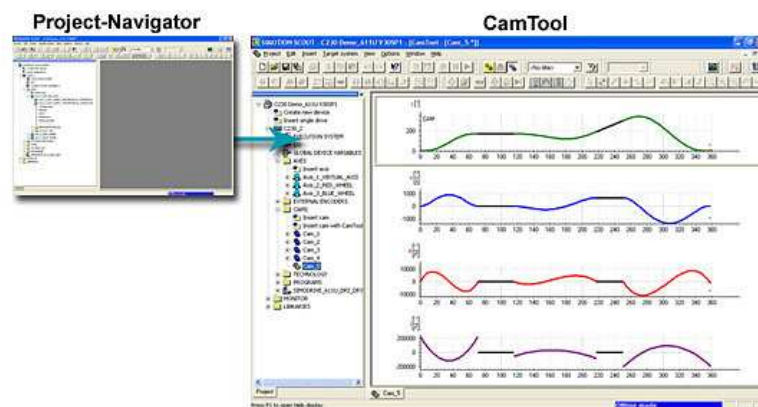
Zvolen řídicí systém v provedení průmyslového PC Simotion P350-3 firmy Siemens. Řídicí systém lze zakoupit pouze s nainstalovaným softwarovým balíčkem umožňující pohybové aplikace dle zakoupené licence. V případě navíjecího stroje zakoupeny tři CAM licence. K jednotce lze připojit běžný monitor s klávesnicí a myší, nebo profesionální dotykový řídicí panel firmy Siemens.

Řídicí systém Simotion P350-3:

- procesor: Intel Pentium M 2GHz
- operační systém: Windows XP Professional
- operační paměť: 512 MB SDRAM
- pevný disk: 40 GB
- cena: 108 455 Kč bez DPH



Obrázek 56 Simotion P350-3 [18]

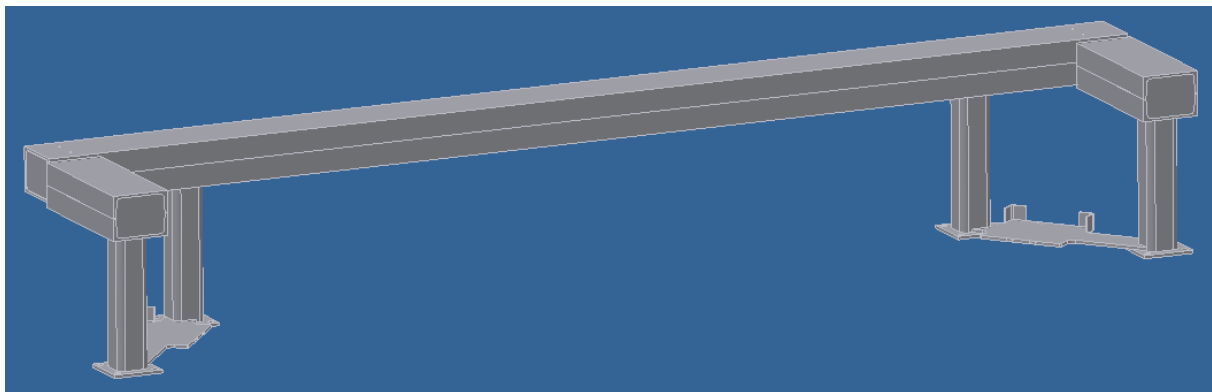


Obrázek 55 CAM software [18]

5.5 Nosná konstrukce

5.5.1 Nosný rám

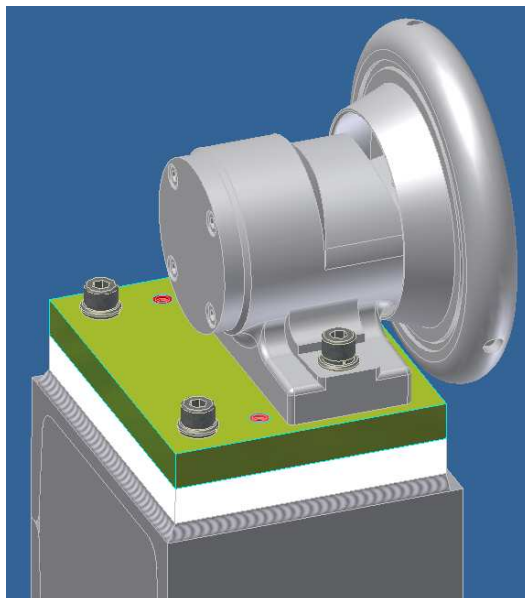
Hlavní nosný rám je svařen z válcovaných profilů U180 tak, aby tvořily uzavřený obdélníkový profil. Podpěrné stojky z trubky čtvercového profilu 100x100x6 jsou přivařeny zespod k hlavnímu nosnému rámu a každá z nich je opatřena plotnou se třemi otvory pro šrouby M18 k ukotvení. Pravá a levá dvojice stojek je spojena výpalkem, na který se umístí chladicí a hydraulická jednotka.



Obrázek 57 Nosný rám

5.5.2 Vyrovnávací desky

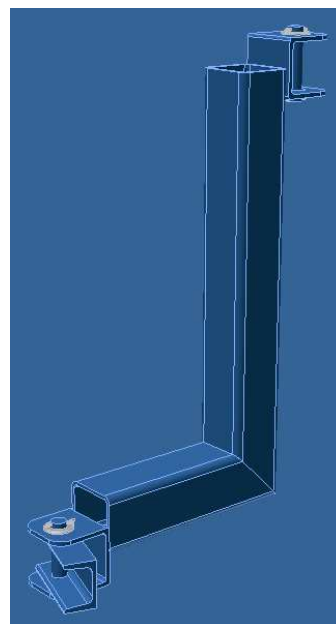
Při výrobě nosného rámu není možné zaručit požadovanou rovinnost ploch pro upínací hlavy. V konstrukci jsou použity dvě plotny šířky 15 a 20 mm (znázorněny na obrázku 58). Širší (bílá barva) je přivařena k nosnému rámu. Tenčí (zelená barva) se při montáži ofrézuje na požadovanou šířku, aby byly hlavy ve stejné výšce. Následně se obě plotny zakolíkují dvěma kolíky a sešroubují čtyřmi šrouby M8. Dva šrouby drží přímo plotny a druhé dva kromě ploten upevňují také upínací hlavu.



Obrázek 58 Vyrovnávání upínací hlavy

5.5.3 Držák ovládacího panelu

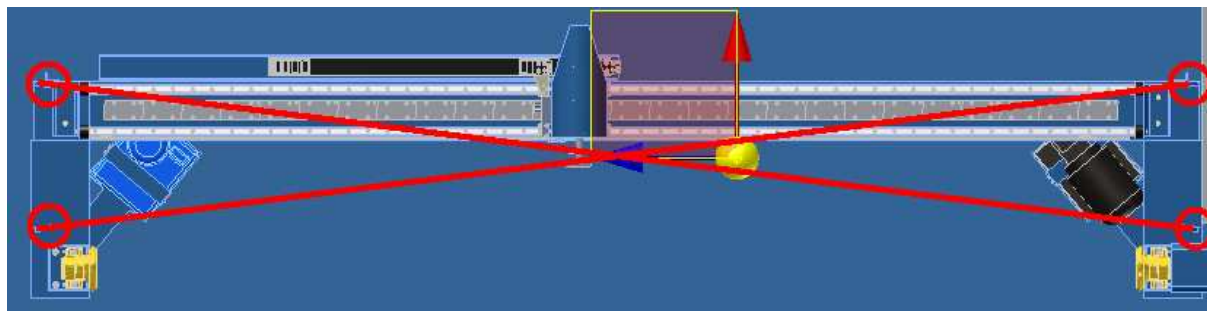
Držák ovládacího panelu umožňuje omezené přesunutí a natočení řídicího panelu u stroje pro zvýšení pohodlnosti obsluhy. Kabele od řídicího počítače vedeny k řídicímu panelu v hranaté trubce 80x80x5, která je zároveň chrání před nechtěným mechanickým poškozením.



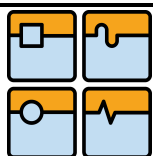
Obrázek 59 Držák řídicího panelu

5.5.4 Jeřábová oka

Jeřábová oka pro manipulaci se strojem jsou umístěna po stranách navíjecího stroje. Poloha těžiště se nachází mimo střed stroje. Na tuto skutečnost bude upozorněno v návodu v kapitole skládání stroje. Bude zde nutné mírné zkrácení úchytných řetězů u strany, kde se nachází řídicí panel.



Obrázek 60 Umístění jeřábových ok



6 VÝPOČTY

6.1 Hlavní osa

Dáno:

- otáčky hlavního motoru $n_{hm} = 3000 \text{ ot/min}$
- moment hlavního motoru $M_{hm} = 14,3 \text{ Nm}$
- převodový poměr hlavní převodovky $i_{hp} = 5$
- účinnost hlavní převodovky $\eta_{hp} \geq 97 \%$

Výsledný moment:

$$M_{ho} = M_{hm} \cdot i_{hp} \cdot \eta_{hp} = 14,3 \cdot 5 \cdot 0,97 = 69,36 \text{ Nm} \quad (1)$$

Výsledné otáčky:

$$n_{ho} = \frac{n_{hm}}{i_{hp}} = \frac{3000}{5} = 600 \text{ ot/min} \quad (2)$$

6.2 Vedlejší osa

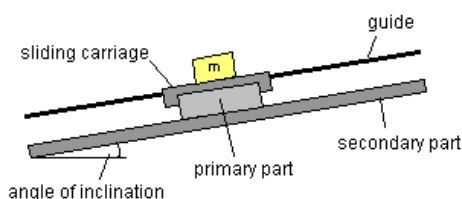
6.2.1 Lineární motor

Ke zvolení vhodného lineárního motoru byl použit výpočetní program „SINAMICS MICROMASTER SIZER“ firmy SIEMENS. Tento program umožňuje kompletní výpočty pohonů včetně navržení vhodného měniče. Samozřejmostí je jak návrh vhodných jisticích a spínacích prostředků, tak i návrh vhodné kabeláže, či různých doplňkových komponentů.

Vložení základních parametrů:

- hmotnost posuvových hmot
- úhel naklonění
- koeficient tření
- třecí síla

Example: Linear feed axis



Obrázek 61 SIZER základní parametry

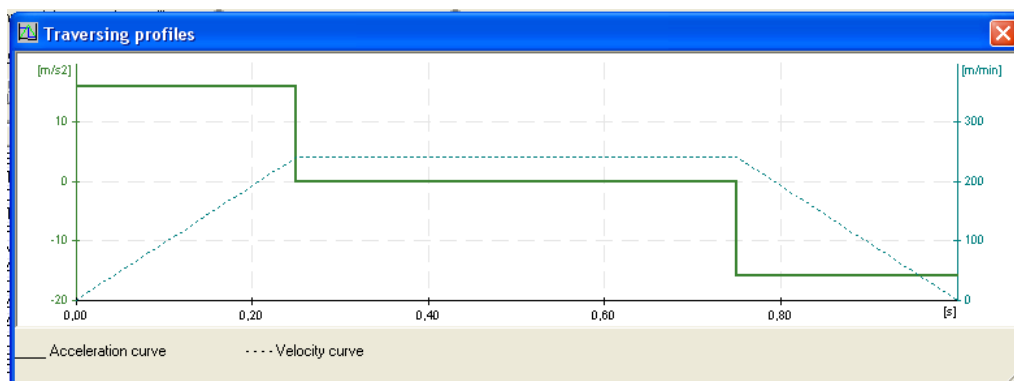
Steady payload:	10,500	kg »
Angle of inclination:	0,0	deg »
Specific coeff. of friction:	0,0050	
Friction force:	0,000	N »
Weight compensation:		

Vložení profilu dráhy:

- délka dráhy
- směr posuvu
- čas posuvu
- maximální rychlost
- zrychlení
- zpomalení

Entries		s, v, ab, av
Traversing dista...	m »	3,000000
Direction		Forward, up
Travel time	s »	1,000000
Pause time	s »	
Max. vel.	m/min »	240,00
Acceleration	m/s ² »	16,00000
Deceleration	m/s ² »	16,00000
Additional force	N »	
Additional mass	kg »	
Only constant a...		☐
Brake during pa...		☐
Constant speed	s »	0,50000
Attained vel.	m/min »	240,00
Accel. time	s »	0,25000
Decel. time	s »	0,25000

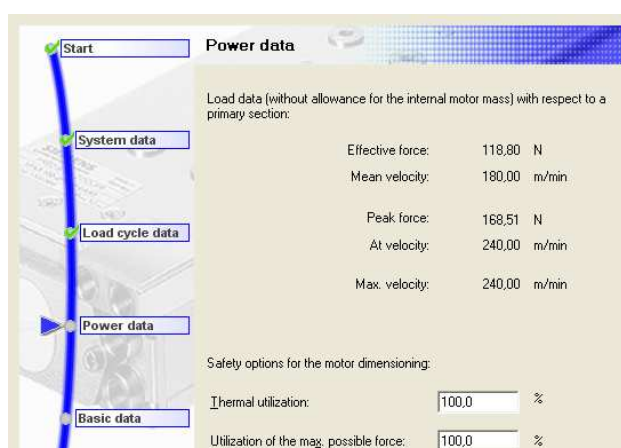
Obrázek 62 SIZER profil dráhy



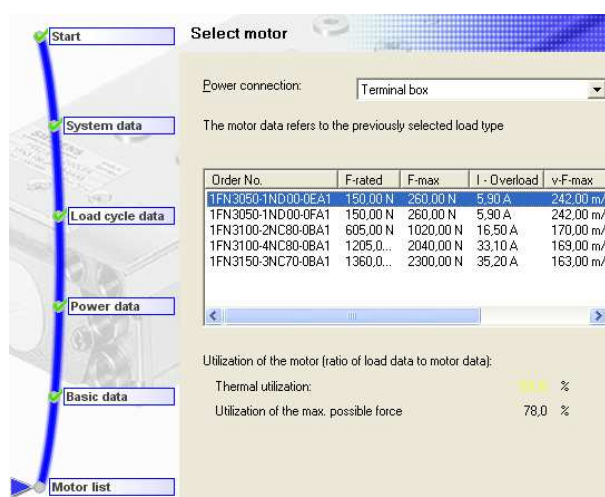
Obrázek 63 SIZER a – v – t diagram

Vložení zátěžových dat:

- tepelná vytiženost
- vytiženost při maximální síle



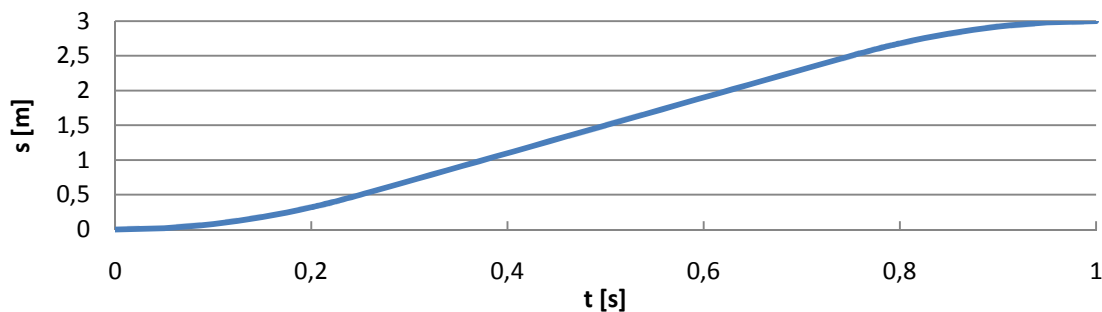
Obrázek 64 SIZER zátěžová data



Obrázek 65 SIZER výběr motoru

- Výběr motoru

Podle výpočtů v programu SIZER je zvolen motor 1FN3050-1ND00-0FA1 (primární část) pro nepřetržité zatížení (continuous load). Tepelná vytiženost bude ve skutečnosti menší než vypočtená 93 %, poněvadž přibližně jedna třetina přepravované hmoty tvoří článkové vedení s kabely a hadicemi. Do programu byla zadána maximální možná hmotnost, jež nastane v levé koncové poloze (v pravé poloze bude hmotnost článkového vedení minimální).



Obrázek 66 s – t diagram

6.2.2 Lineární vedení

Lineární vedení je zvoleno systémem media® společnosti INA a FAG, který obsahuje celý program valivých ložisek, kluzných ložisek a lineárních systémů. Při volbě byl brán ohled na kompatibilitu kolejnice s hydraulickou brzdou.

Vložení základních parametrů:

- vzdálenost vozíčků
- vzdálenost kolejnic

Linear axis			
Centre distance elements on guideway	a	170.0	[mm]
Centre distance between guideways	c	128	[mm]
y-distance of the drive from the coordinate system	lay	0.000	[mm]
z-distance of the drive from the coordinate system	laz	0.000	[mm]
Name of the element	Element	KLIVE 20BESC V1	

Obrázek 67 Definování vzdáleností

- umístění
- časové využití
- rychlost

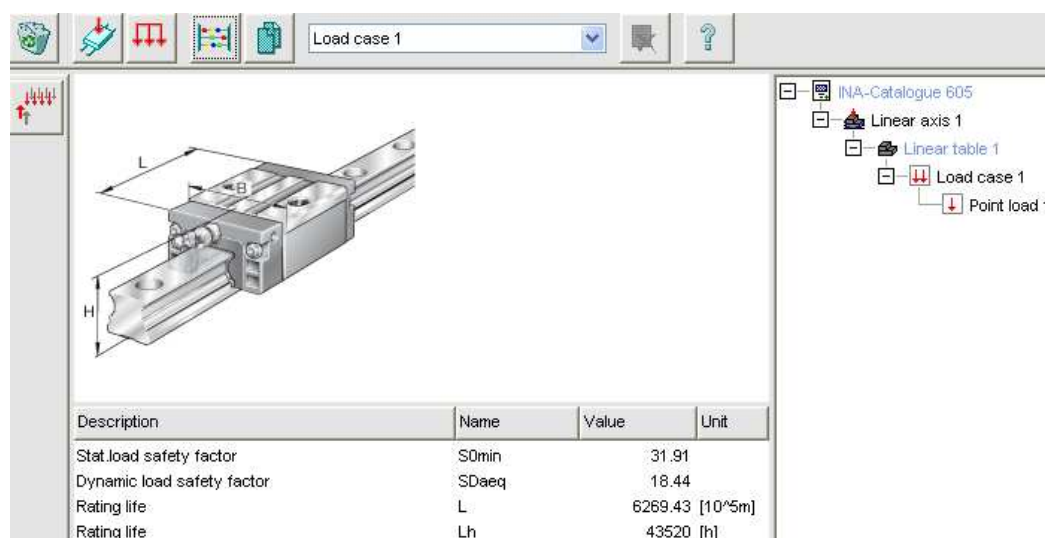
Loadcase Loads			
Designation	Des	Load case 1	
Time proportion	q	100.000	[%]
Velocity	v	240	[m/min]

Obrázek 68 Definice zatížení 1

Loadcase Loads			
Number of loads	nbL	1	+ -
Pointload		1	< >
Location in x-direction	x	0.0	[mm]
Location in y-direction	y	0.0	[mm]
Location in z-direction	z	0.0	[mm]
Force in x-direction	Fx	0.00	[N]
Force in y-direction	Fy	760.00	[N]
Force in z-direction	Fz	0.00	[N]
Mass	m	10.500	[kg]
Acceleration	a	16.000	[m/s ²]
Direction of acceleration force	direc	x-direction ▼	

Obrázek 69 Definice zatížení 2

- počet zatížení
- poloha síly
- velikost a směr síly
- hmotnost celku
- zrychlení
- směr zrychlení



Obrázek 70 Vypočtené hodnoty

- bezpečnostní faktor statického zatížení $S_{0min} = 31,91$
- bezpečnostní faktor dynamického zatížení $S_{Deag} = 18,44$
- jmenovitá životnost $L = 6\,269,43 \cdot 10^5 \text{ m}$
- jmenovitá životnost $L_h = 43\,520 \text{ h}$

Jmenovitá životnost lineárního vedení bude ve skutečnosti ještě vyšší, poněvadž přitažlivá síla mezi primární a sekundární částí motoru F_{prit} má maximální velikost 760N pouze tehdy, když se lineární motor nepohybuje. Také celková hmotnost pohybované hmoty se mění dle polohy díky hmotnosti článkového vedení. Zvolení nižší řady vedení je možné. Ovšem pro hydraulickou brzdu je zvolena nejnižší možná kompatibilní kolejnice.

6.2.3 Hydraulická brzda

Hlavní kritický bod hydraulické brzdy se nachází v levé poloze dráhy, kde je celková hmotnost článkového řetězce unášeného lineárním motorem největší. Proto jsou zde síly potřebné k zastavení motoru největší. Za kritický bod je brána poloha dráhy, na které dojde k výpadku elektrické energie a hydraulická brzda posléze zabrzdí v místě, kde se plotna lineárního motoru jen dotkne krajního dorazu. Mrtvý bod dráhy určuje místo, od kterého brzda již nestihne zareagovat.

- brzdná síla $F_{brz} = 1000 \text{ N}$
- čas reakce brzdy $t_{reakce} = 0,03 \text{ s}$
- celková přepravovaná hmota $m_{celk} = 11,9 \text{ Kg}$
- zrychlení lineárního motoru $a_{ln} = 16 \text{ m/s}^2$
- délka dráhy $s = 3 \text{ m}$
- rychlost lineárního motoru v_{lm}
- rychlost hydraulické brzdy v_{brz}
- dráha lineárního motoru s_{lm}
- dráha hydraulické brzdy s_{brz}
- čas mrtvého bodu t_{mb}
- poloha kritického bodu s_{krit}

- poloha mrtvého bodu

S_{mb}

Zrychlení (zpomalení) hydraulické brzdy:

$$a_{brz} = \frac{F_{brz}}{m_{celk}} = \frac{1000}{11,9} = 84 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (3)$$

Kritický bod brzdy:

$$v_{lm} = v_{brz} \quad (4)$$

$$a_{lm} \cdot t = a_{brz} \cdot t_{brz}$$

$$t_{brz} = \frac{a_{lm} \cdot t}{a_{brz}} \quad (5)$$

$$s_{lm} = s_{brz} \quad (6)$$

$$\frac{1}{2} \cdot a_{lm} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot a_{brz} \cdot t_{brz}^2 + t_{reakce} \cdot v_{lm}$$

$$\frac{1}{2} \cdot a_{lm} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot a_{brz} \cdot \left(\frac{a_{lm} \cdot t}{a_{brz}} \right)^2 + t_{reakce} \cdot a_{lm} \cdot t$$

$$t^2 \cdot \left(\frac{a_{lm}}{2} - \frac{a_{lm}^2}{2 \cdot a_{brz}} \right) - t \cdot (a_{lm} \cdot t_{reakce}) = 0$$

$$t_{1,2} = \frac{(a_{lm} \cdot t_{reakce}) \pm \sqrt{(a_{lm} \cdot t_{reakce})^2}}{2 \left(\frac{a_{lm}}{2} - \frac{a_{lm}^2}{2 \cdot a_{brz}} \right)}$$

$$t_{1,2} = \frac{(16 \cdot 0,03) \pm \sqrt{(16 \cdot 0,03)^2}}{2 \left(\frac{16}{2} - \frac{16^2}{2 \cdot 84} \right)} = \frac{0,48 \pm 0,48}{12,95238095}$$

$$t_1 = 0,07411764706 \text{ s} \quad t_2 = 0$$

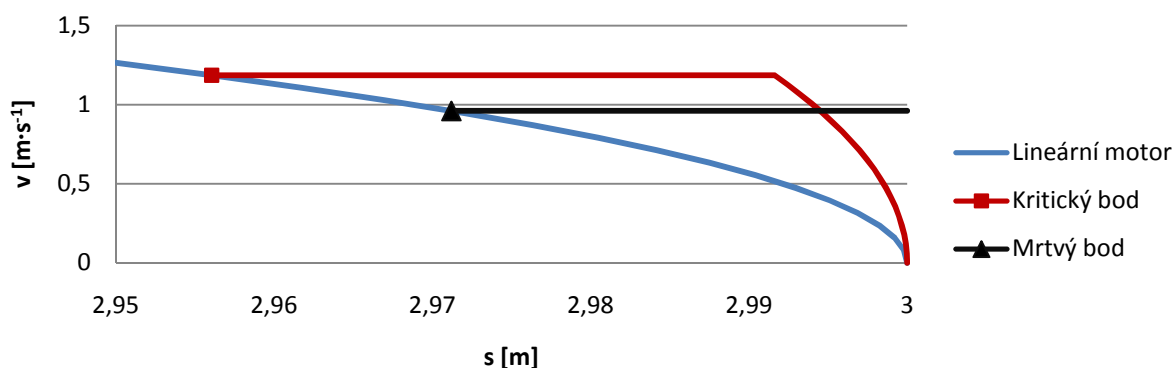
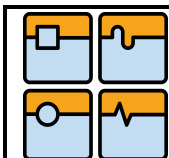
$$s_{krit} = s - \frac{1}{2} \cdot a_{lm} \cdot t_1^2 = 3 - \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot 0,07411764706^2 = \mathbf{2,956052595 \text{ m}} \quad (7)$$

Mrtvý bod:

$$\frac{1}{2} \cdot a_{lm} \cdot t_{mb}^2 = t_{reakce} \cdot a_{lm} \cdot t_{mb} \quad (8)$$

$$t_{mb} = 2 \cdot t_{reakce} = 2 \cdot 0,03 = 0,06 \text{ s} \quad (9)$$

$$s_{mb} = s - \frac{1}{2} \cdot a_{lm} \cdot t_{mb}^2 = 3 - \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot 0,03^2 = \mathbf{2,9928 \text{ m}} \quad (10)$$



Obrázek 71 v-s diagram

Kritický a mrtvý bod budou ve skutečnosti posunuty blíže ke kraji, poněvadž reakční doba brzdy je doba, za kterou brzda začne brzdit maximální silou a není brán v potaz nárůst brzdící síly. Ve výpočtu bylo uvažováno, že po reakční dobu brzda vůbec nebrzdí a poté dojde ke skokovému navýšení brzdící síly z 0 N na 1000 N. K odstranění kritických bodů by bylo nutné prodloužit dráhu z každé strany zhruba o 40 mm. Ovšem pravděpodobnost výpadku elektrické energie za kritickým bodem je minimální a i kdyby tento stav nastal, doraz lineárního vedení by pomohl ubrzdit hmotu bez poškození stroje.

6.3 Unášená osa

Dáno:

- otáčky unášeného motoru
- moment unášeného motoru
- převodový poměr unášené převodovky
- účinnost unášené převodovky

$$n_{um} = 4000 \text{ ot/min}$$

$$M_{um} = 0,24 \text{ Nm}$$

$$i_{up} = 10$$

$$\eta_{up} \geq 97 \%$$

Výsledný moment:

$$M_{uo} = M_{vm} \cdot i_{vp} \cdot \eta_{vp} = 0,24 \cdot 5 \cdot 0,97 = 69,36 \text{ Nm} \quad (11)$$

Výsledné maximální otáčky:

$$n_{uo} = \frac{n_{vm}}{i_{vp}} = \frac{4000}{10} = 400 \text{ ot/min} \quad (12)$$

6.4 Pevnostní analýzy

Pevnostní analýzy provedeny v programu Inventor 2009 s nastavením přesnosti sítě na maximální hodnotu.

6.4.1 Nosný rám

Rám je uložen pomocí pevných vazeb na spodních plochách stojek z hranaté trubky 100x100x8. Zatížení ploten pod upínacími hlavami uvažováno při maximální hmotnosti výrobku včetně trnu. Vzhledem k tomu, že celá vedlejší osa je přišroubována k rámu, byla vymodelována společně s rámem jako jeden celek. Unášená osa společně s primární částí lineárního motoru jsou zastoupeny silou F_3 .

kteřá je umístěna uprostřed dráhy, kde dojde k největšímu průhybu. Svařenec je svařen z profilů z materiálu 11 373.

- hmotnost výrobku včetně trnu
- hmotnost unášené osy včetně primární části lineárního motoru
- hmotnost upínací hlavy
- hmotnost hlavního motoru s hlavní převodovkou
- gravitační zrychlení

$$m_v = 400 \text{ kg}$$

$$m_{celk} = 11,9 \text{ kg}$$

$$m_{uh} = 15 \text{ kg}$$

$$m_{mp} = 35 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Síla F_1 působící na levou plotnu rychloupínací hlavy:

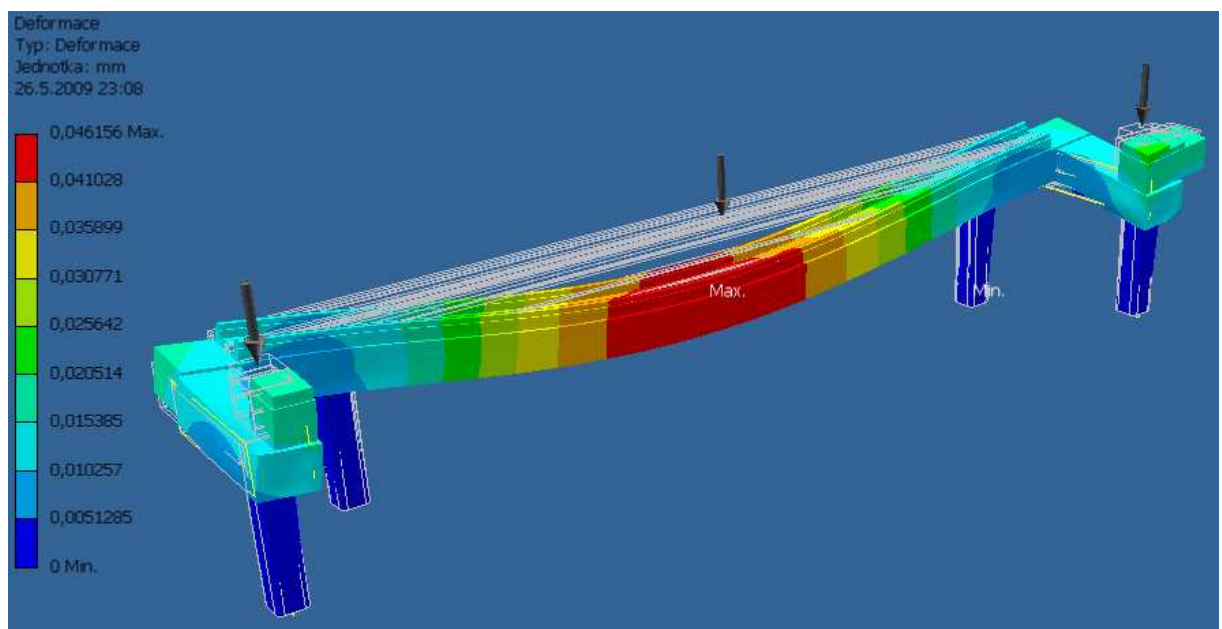
$$F_1 = m \cdot g = \frac{m_v + m_{uh}}{2} \cdot g = \frac{400 + 15}{2} \cdot 9,81 = 2\,036 \text{ N} \quad (13)$$

Síla F_2 působící na levou plotnu rychloupínací hlavy:

$$F_2 = m \cdot g = \frac{m_v + m_{uh} + m_{mp}}{2} \cdot g = \frac{400 + 15 + 35}{2} \cdot 9,81 = 2\,207 \text{ N} \quad (14)$$

Síla F_3 působící uprostřed dráhy:

$$F_3 = m \cdot g = \frac{m_{celk}}{2} \cdot g = \frac{11,9}{2} \cdot 9,81 = 58 \text{ N} \quad (15)$$



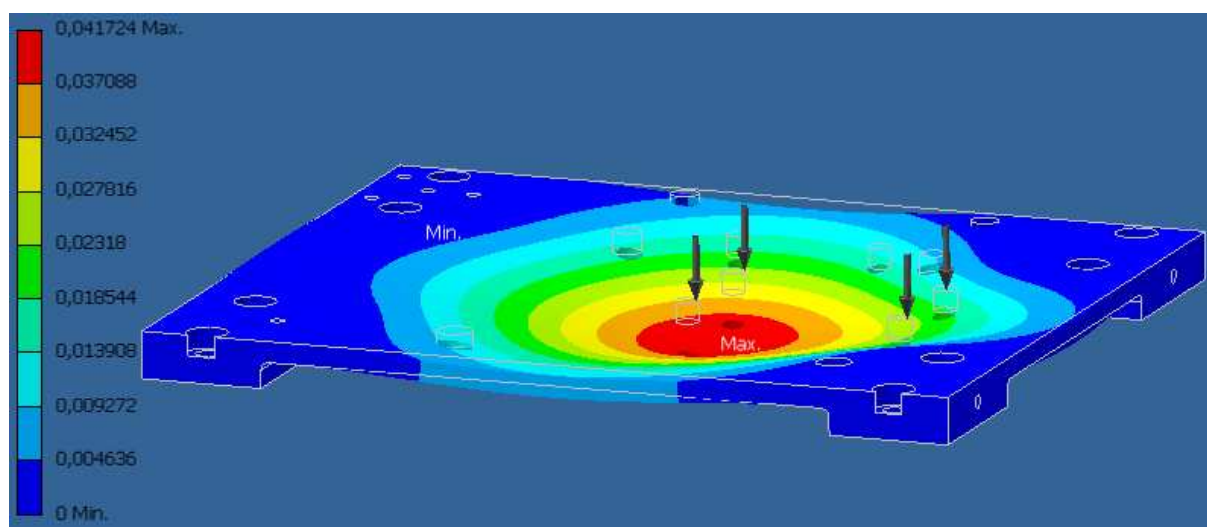
Obrázek 72 Deformace nosného rámu

Maximální deformace rámu o velikosti 0,046 mm v místě pod lineární osou nijak neohrožuje správnou funkci lineárního motoru. Dostatečná tuhost rámu také zamezuje nechtěnému poškození stroje při přepravě a montáži u zákazníka.

6.4.2 Plotna lineárního motoru

Mezi primární a sekundární částí lineárního motoru musí být dodržena vzduchová mezera 1mm, z tohoto důvodu nesmí dojít k většímu průhybu plotny lineárního motoru. Rám je uložen pomocí pevných vazeb na horních plochách vozíčku lineárního vedení.

- Přitažlivá síla lineárního motoru $F_{přit} = 760 \text{ N}$
- Celková hmotnost prvků na plotně lineárního motoru $m_h = 7 \text{ kg}$



Obrázek 73 Deformace plotny lineárního motoru

Maximální deformace plotny 0,042 mm je pro správnou činnost lineárního motoru zanedbatelná.

7 TRIBOTECHNIKA

Planetové převodovky, rychloupínací hlavy a ložisková jednotka SKF ConCentra jsou opatřeny trvalou tukovou náplní. Mazání stroje se bude provádět pouze u lineárního vedení v doporučených týdenních intervalech mazivem. Hydraulický olej pro hydraulický agregát se volí dle teploty provozního prostředí.

Tabulka 2 Hydraulické oleje

Hydraulický olej	Místa s teplotou pod 20 °C	Místa s teplotou nad 20 °C
ARAL	VITAM GF 32	VITAM GF 46
B.P.	HLP 32	HLP 46
BENZINA	HM 32	HM 32
CALTEX-TEXACO	RANDO OIL 32	RANDO OIL 46
CASTROL	HYSPIN AWS 32	HYSPIN AWS 46
ESSO	NUTO H 32	NUTO H 46
GULF	HARMONY 32 AW	HARMONY 46 AW
HUILE RENAULT-ELF	OLNA 32	OLNA 46
PURFINA FRANCE	HYDRAN 32	HYDRAN 46
SHELL	TELLUS 32	TELLUS 46
STABDART NORM	ISO VG 32	ISO VG 46
VALVOLINE	ULTRAMAX 32	ULTRAMAX 46
VEEDOL	ANDRAIN 32	ANDRAIN 46
YACCO	TRANHYD 32	TRANSHYD 46

Tabulka 3 Maziva

Maziva	
SHELL	ALVANIA R 2
B.P.	ENERGREASE HY 2

8 ANALÝZA RIZIK

Analýza rizik je nedílnou součástí každého stroje pro komerční využití. Navíjecí stroj má některé ochranné prvky implementovány již v jednotlivých prvcích konstrukce. Například u rychloupínací hlavy by nemělo dojít k nechtěnému vypadnutí trnu při výměně, poněvadž při pootočení hlavy z výchozí upínací polohy dojde k automatickému uchycení. U kompletního stroje je počítáno s použitím STOP tlačítek, výstražných nálepek, výstražných barevných označení, optických a mechanických zábran v okolí pracovního prostoru a důkladně zpracovaným návodem k obsluze.

Citováno z podkladů [32]:

Významné harmonizované normy pro posouzení rizik:

- ČSN EN ISO 12100-1:2004 Bezpečnost strojních zařízení - Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci - Část 1: Základní terminologie, metodologie.
- ČSN EN ISO 12100-2:2004 Bezpečnost strojních zařízení - Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci - Část 2: Technické zásady.
- ČSN EN ISO 14121-1:2008 Bezpečnost strojních zařízení - Posouzení rizika - Část 1: Zásady
- ČSN EN ISO 13849-1:2007 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části řídicích systémů - část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci
- ČSN EN ISO 13849-2:2004 Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části řídicích systémů - Část 2: Ověřování
- ČSN EN 62061:2005 Bezpečnost strojních zařízení - Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností.

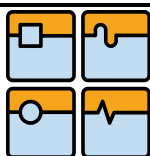
Identifikaci nebezpečí se u strojního zařízení provádí v souladu s českými technickými normami ČSN EN ISO 14121-1, ČSN EN ISO 12100-1 a ČSN EN ISO 12100-2 a to pro celý životní cyklus stroje.

Životní cyklus stroje zahrnuje:

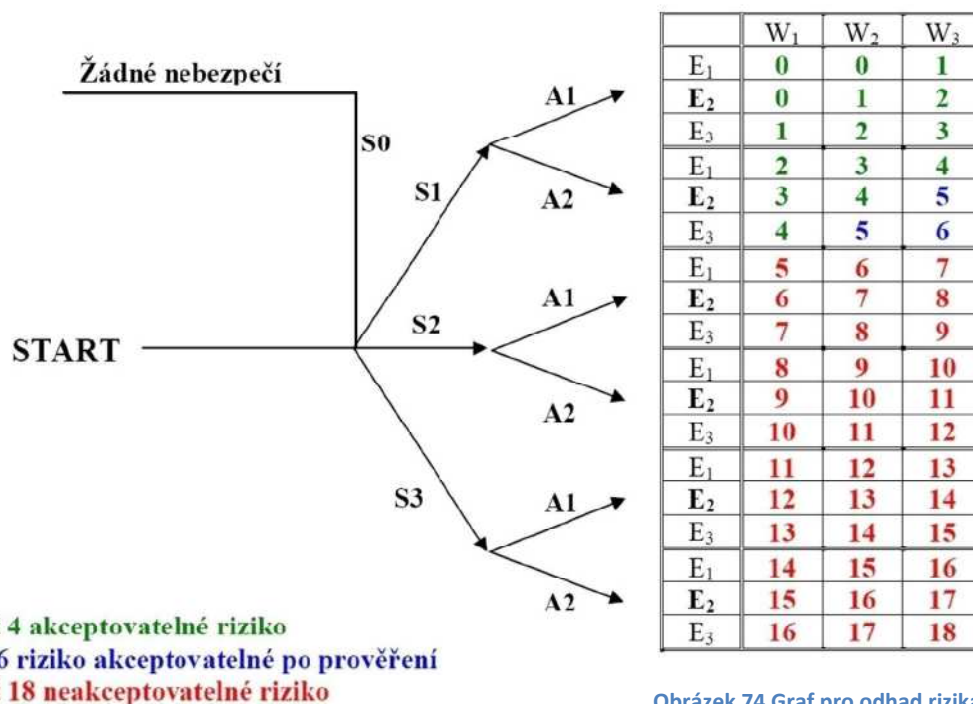
- konstrukční činnosti
- transportní činnosti
- montáž, instalace a uvedení do provozu
- seřízení, školení, programování nebo změna procesu
- provozní činnosti
- čištění a údržbové činnosti
- hledání závad
- vyřazení z provozu a demontáž

Metodický přístup ke snižování rizika u strojních zařízení:

- plánování analýzy a posouzení rizika
- systémová analýza strojního zařízení
- určení mezních hodnot strojního zařízení
- identifikace nebezpečí
- odhad rizika



- zhodnocení rizika
- návrh opatření snižující riziko
- odhad zbytkového rizika
- zhodnocení rizika
- informace o zbytkových rizicích



Obrázek 74 Graf pro odhad rizika [32]

Tabulka 4 Stupnice pro popis závažnosti škody [33]

	označení	popis důsledku
Závažnost možné škody na zdraví	S0	u nebezpečí nehrozí škoda, tudíž se nejedná o nebezpečí
	S1	lehké zranění
	S2	těžké zranění
	S3	smrtelné zranění
Doba pobytu osoby v nebezpečné oblasti	A1	doba pobytu v nebezpečné oblasti zřídka až častěji
	A2	doba pobytu v nebezpečné oblasti často až trvale
Rozpoznání a vyhnutí se nebezpečí	E1	rozpoznání a vyhnutí se nebezpečí je možné
	E2	rozpoznání a vyhnutí se nebezpečí je možné za určitých okolností
	E3	rozpoznání a vyhnutí se nebezpečí je sotva možné
Pravděpodobnost vzniku závažné události	W1	pravděpodobnost vzniku nebezpečné události je malá
	W2	pravděpodobnost vzniku nebezpečné události je střední
	W3	pravděpodobnost vzniku nebezpečné události je velká

Odhad velikosti rizika byl proveden pomocí grafu pro odhad rizika a to pro jedno závažné nebezpečí: 1.1 Nebezpečí naražení. Formulář pro odhad rizika je vložen jako příloha.

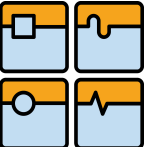
9 EKONOMICKÁ ANALÝZA

Stroj se skládá z katalogových a navržených dílů. Ceny pro katalogové díly získány poptávkami u jednotlivých výrobců. Položky v eurech přepočítány kurzem 26,7 Kč/EUR. Ceny navržených dílů kalkulovány s aktuálními cenami materiálů pro výrobce, práce na svařenci odhadnuta dle vlastní zkušenosti (5 let praxe v kalkulaci cen svařovaných konstrukcí). Frézované díly poptány u firmy AB NÁSTROJE s.r.o.

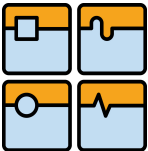
Tabulka 5 Ekonomická analýza

Kategorie	Položka	Množství	Kč bez DPH
Hlavní osa	Servomotor TGH5 – 1700	1ks	19 800,-
	Servozesilovač Siemens; 18A 6SL3120-1TE21-8AA3	1Ks	24 510,-
	Převodovka SG 120	1ks	14 900,-
	Hlava BOSCHERT STW 19-25	1ks	8 200,-
	Hlava BOSCHERT ST0 19-25	1ks	8 520,-
	Spojka R+W EK2/60/B/28/32	1ks	1 740,-
	<i>(Celkem)</i>		<i>77 670,-</i>
Vedlejší osa	Lineární motor Siemens 1FN3050-1ND00-0FA1	1ks	91 660,-
	Servozesilovač Siemens; 3A 6SL3120-1TE13-0AA3	1Ks	13 777,-
	Snímač polohy Heidenhein Lida 477	1ks	51 450,-
	Chladicí jednotka Hydac FWKS-0/1.0/W/TP/400-50/WP1-8 0/	1ks	19 672,-
	Lineární vedení Schaeffler KG 4xKUYE20-B-ESC, 2xTKVD20-3220	1ks	34 792,-
	Hydraulická brzda Schaeffler KG BKE.TKVD25	1ks	26 941,-
	Hydraulický agregát	1Ks	22 152,-

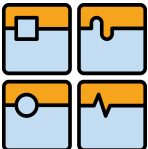
	Článekové vedení IGUS 255.03.100	1Ks	2 245,-
	Gumový doraz K&F DS40/28	4Ks	240,-
	<i>(Celkem)</i>		<i>262 929,-</i>
Unášená osa	Servomotor TGH2 – 0025	1Ks	9 800,-
	Servozesilovač TGH2-0025-40-36/T1B	1Ks	6 900,-
	Převodovka SG 050	1Ks	6 900,-
	Ložisková jednotka SKF SY 25PF	1Ks	826,-
	<i>(Celkem)</i>		<i>24 426,-</i>
Frézované díly	Deska lineárního motoru	1Ks	15 410,-
	Držák převodovky – hlavní	1Ks	900,-
	Držák převodovky – unášená osa	1Ks	830,-
	Držák snímače	1Ks	400,-
	Natáčecí hřídel	1Ks	750,-
	Plotna lineárního motoru	1Ks	6 040,-
	Plotna STO	1Ks	730,-
	Plotna STW	1Ks	980,-
	Podložka lineárního vedení	2Ks	15 800,-
	Vyrovňovací plotna	2Ks	1 380,-
	<i>(Celkem)</i>		<i>43 220,-</i>
Svařenec	Držák jednotky - výpalek	2Ks	424,-
	Držák článekového vedení	1Ks	2,-
	Držák ovládacího panelu	1Ks	195,-
	Držák zábrany	2Ks	40,-
	Doraz lineárního vedení	2Ks	31,-
	Doraz nádrže	4Ks	7,-

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

	Krycí plech hlavního motoru	1Ks	90,-
	Krycí plech unášené osy	1Ks	4,-
	Nosník článkového vedení	1Ks	94,-
	Objímka	2Ks	21,-
	Jeřábové oko – výpalek	4Ks	70,-
	Trubka čtyřhranná 100x100x8 - 1,7m	12,5Kč/Kg	455,-
	U140 – 0,84m	11,7Kč/Kg	158,-
	U180 – 9,1m	11,7Kč/Kg	2343,-
	Vyrovnávací patka - výpalek	4Ks	236,-
	Záslepka	8Ks	34,-
	Přídavek na odpad: 10%		420,-
	Práce: 21hod	350Kč/h	7 350,-
	(Celkem		11 974,-)
Ostatní	Active line module Siemens 6SL3130-7TE21-6AA3	1Ks	29 957,-
	Active interface module Siemens 6SL3100-0BE21-6AB0	1Ks	15 841,-
	Řídicí systém Simotion P350-3 6AU1350-3AK41-1BE2-Z-C03-T03	1Ks	108 455,-
	Optická závora Techno GR SB2-K1-C, SB4-K1-C	1Ks	11 000,-
	Celková montáž, elektroinstalace s kabeláží, šrouby, ochranné prvky, lakování, návod k obsluze, ovládací panel - ODHAD		100 000,-
	(Celkem		265 253,-)
Celkem			685 472,-

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 51
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Při realizaci výroby stroje by bylo dále možné smluvit slevu pro každý katalogový díl v rozsahu 10 – 30 % z ceny, dle zkušenosti nákupčího. Na tento fakt ovšem není brán v analýze zřetel. Vzhledem k tomu, že více než polovina ceny je závislá na kolísajícím kurzu koruny, výrobní cena může být rozdílná v jednotkách až desítkách procent a to směrem jak nahoru, tak i dolů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 52
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

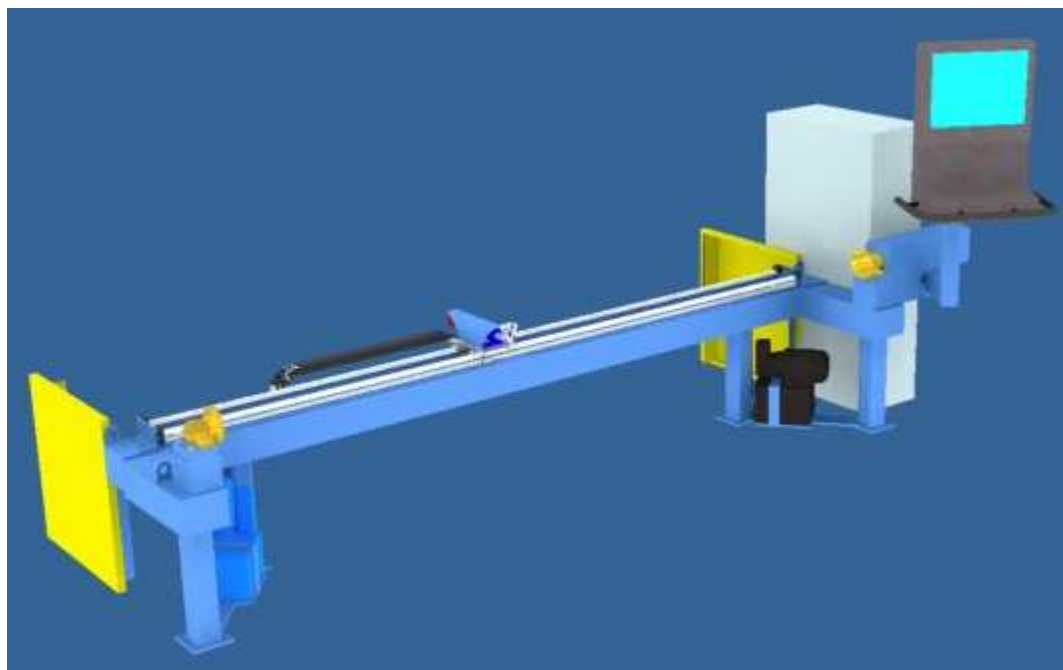
10 ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je navržení navíjecího stroje pro technologii navíjení rotačních kompozitních profilů s lineárním motorem jako hlavním zlepšujícím prvkem stroje. Hlavní prioritou při návrhu je zrychlení výroby společně se snížením výsledné ceny výrobků. Tyto přednosti jsou důležité pro udržení konkurenceschopnosti v komerčním prostředí.

Podle zadání jsou navrženy pohony a základní prostorové charakteristiky stroje. Výpočty lineárního vedení a návrh lineárního motoru jsou provedeny za pomoci programové podpory jednotlivých společností. Dále je vytvořen celkový 3D model navíjecího stroje a technická dokumentace hlavní sestavy společně se třemi vybranými součástmi.

Posouzením ekonomické analýzy dojdeme k tomuto závěru:

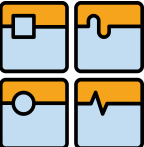
Použitím lineárního motoru se zvedne výrobní cena navrhnutého stroje přibližně o 20 %. V porovnání s cenou komerčně dostupného řešení MAW20 LS firmy Microsam z Makedonie činí nahrazení kuličkového šroubu lineárním motorem navýšení prodejní ceny zhruba o 5 %. Výsledkem je ovšem přibližně čtyřnásobné zvýšení základních pracovních parametrů stroje.



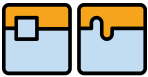
Obrázek 75 Navíjecí stroj

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

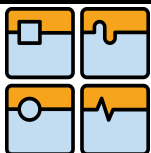
- [1] ŽENÍŠEK, J.; JENKUT, M. *Výrobní stroje a zařízení*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1990. 276 s. ISBN 04-222-90.
- [2] BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. *Části strojů I a II. Technický průvodce 6* Praha: SNTL, 1990.
- [3] NĚMEC, J.; DVOŘÁK, J.; HOSCHL, C. *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988.
- [4] KOŘÍNEK, Zdeněk. *KOMPOZITY - technologie*. [online]. [cit. 2009-01-20], Dostupný z WWW: < <http://www.volny.cz/zkorinek/technologie.pdf>>.
- [5] COMAT – kompozitní materiály. [online]. [cit. 2009-01-24], Dostupný z WWW: <<http://www.comat.de>>.
- [6] BIBUS – obchodní společnost. *Kompozitní materiály COMAT*. [online]. [cit. 2009-01-24], Dostupný z WWW: <<http://www.bibus.cz>>.
- [7] Entec – výrobce strojů pro výrobu kompozitů. [online]. [cit. 2009-01-28], Dostupný z WWW: <<http://www.entec.com>>.
- [8] McClean Anderson – výrobce strojů pro výrobu kompozitů. [online]. [cit. 2009-01-28], Dostupný z WWW: <<http://www.mccleananderson.com>>.
- [9] Mikrosam – výrobce strojů pro výrobu kompozitů. [online]. [cit. 2009-01-28], Dostupný z WWW: <<http://www.mikrosam.com>>.
- [10] [Www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com). *US 7124797*. [online]. [cit. 2009-02-10], Dostupný z WWW: < <http://www.freepatentsonline.com> >.
- [11] Patentový úřad Spojených států amerických. *US 7,451,795 B2*. [online]. [cit. 2009-02-10], Dostupný z WWW: <<http://www.uspto.gov>>.
- [12] VUES Brno – výrobce elektrických pohonů. [online]. [cit. 2009-02-12], Dostupný z WWW: <<http://www.vues.cz>>.
- [13] TG Drives – prodejce servopohonů. [online]. [cit. 2009-02-12], Dostupný z WWW: < <http://www.tgdrives.cz>>.
- [14] [Www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz). *Servomotor*. [online]. [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Servomotor>>.
- [15] [Machinedesign.com](http://machinedesign.com). *Feedback for servos*. [online]. 17-03-2005 [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://machinedesign.com/article/feedback-for-servos-0317>>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 54
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [16] Bosch Rexroth – výrobce pohonů. [online]. [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <[http:// http://www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)>.
- [17] Etel – výrobce pohonů. [online]. [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.etel.info>>.
- [18] Siemens – výrobce pohonů. [online]. [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <[http:// http://www.siemens.com](http://www.siemens.com)>.
- [19] Baumüller – výrobce pohonů. [online]. [cit. 2009-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.baumueller.de>>.
- [20] Boschert – výrobce zaklapávacích hlav. [online]. [cit. 2009-02-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.boschertllc.com>>.
- [21] TOS – výrobce dřevoobráběcích strojů a sklíčidel. [online], [cit. 2009-02-19], Dostupný z WWW: <<http://www.tos.cz>>.
- [22] Igus – výrobce energetických řetězů a kluzných pouzder. [online], [cit. 2009-02-19], Dostupný z WWW: <<http://www.tos.cz>>.
- [23] THK – výrobce lineárních vedení. [online]. [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <[http:// http://www.thk.com](http://www.thk.com)>.
- [24] Schaeffler KG – výrobce ložisek a lineárních vedení. [online]. [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.ina.de>>.
- [25] Gerwah – výrobce spojek. [online]. [cit. 2009-02-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.gerwah.cz> >.
- [26] R + W – výrobce spojek. [online]. [cit. 2009-02-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.rw-kupplungen.de>>.
- [27] Heidenhein – výrobce snímačů. [online]. [cit. 2009-03-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.heidenhain.cz>>.
- [28] Hydac – výrobce prvků a systémů pro kapalinové technologie. [online], [cit. 2009-03-21], Dostupný z WWW: < <http://www.tos.cz> >.
- [29] Hydroma – nabídka komplexních řešení v dodávkách hydraulických komponent. [online]. [cit. 2009-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.hydroma.cz>>.
- [30] Avemar – výrobce zařízení pro měření a regulaci. [online]. [cit. 2009-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.avemar.cz>>.
- [31] SKF – výrobce ložisek a těsnění. [online]. [cit. 2009-03-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.skf.com>>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 55
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

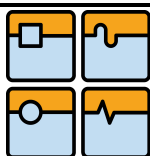
- [32] BLECHA, P. *Bezpečnost strojních zařízení*. 2008-07-10 [cit. 2009-04-21]. Podklady k výuce: <SZU_2008.pdf>.
- [33] BLECHA, P. *Rizika a nebezpečí související se strojním zařízením*. [online]. 2006-10-09 [cit. 2009-04-21]. Dostupný z WWW: <http://www.bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/tematyadne/strojni_zarizeni061009.html>.
- [34] ČSN EN ISO 12100-1:2004 Bezpečnost strojních zařízení – Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci – Část 1: Základní terminologie, metodologie
- [25] ČSN EN ISO 12100-2:2004 Bezpečnost strojních zařízení - Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci - Část 2: Technické zásady.
- [36] ČSN EN ISO 14121-1. Bezpečnost strojních zařízení – Posouzení rizika – Část 1: Zásady
- [37] ČSN ISO 214 (01 0148). Abstrakty pro publikace a dokumentaci



12 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Tabulka 6 Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Popis symbolu
a_{brz}	[m/s ²]	Zrychlení hydraulické brzdy
a_{lm}	[m/s ²]	Zrychlení lineárního motoru
a_{max}	[m/s ²]	Maximální zrychlení lineárního snímače
B_i	[mm]	Úložná šířka článkového vedení
C	[N]	Dynamická únosnost lineárního vedení
C_0	[N]	Statická únosnost lineárního vedení
C_{0c}	[N]	Dynamická únosnost ložiskové jednotky
C_c	[N]	Statické únosnost ložiskové jednotky
d	[mm]	Vnitřní průměr ložiskové jednotky
D_h	[mm]	Průměr hadic chladicí jednotky vedených k lineárnímu motoru
D_{klm}	[mm]	Průměr kabelu lineárního motoru
D_{ls}	[mm]	Průměr kabelu lineárního snímače
D_{rs}	[mm]	Průměr kabelu pro resolverový snímač unášené osy
D_{servo}	[mm]	Průměr kabelu pro servomotor unášené osy
F_1	[N]	Síla působící na levou plotnu rychloupínací hlavy
F_2	[N]	Síla působící na levou plotnu rychloupínací hlavy
F_3	[N]	Síla působící uprostřed dráhy
F_{brz}	[N]	Brzdná síla hydraulické brzdy
F_{max}	[N]	Maximální síla lineárního motoru
F_{prit}	[N]	Přitažlivá síla mezi primární a sekundární částí motoru
F_{rated}	[N]	Nominální síla lineárního motoru
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
I_{hp}	[-]	Převodový poměr hlavní převodovky
I_{up}	[-]	Převodový poměr unášené převodovky
L	[m]	Jmenovitá životnost
L_{cl}	[mm]	Délka článkového vedení
L_h	[m]	Jmenovitá životnost
m	[kg]	Hmotnost ložiskové jednotky
m_{agr}	[kg]	Hmotnost hydraulického agregátu
m_{celk}	[kg]	Celková hmotnost přepravované hmoty lineárním motorem
m_h	[kg]	Celková hmotnost prvků na plotně lineárního motoru
M_{hm}	[Nm]	Krouticí moment hlavního motoru
m_{hm}	[kg]	Hmotnost hlavního motoru
M_{ho}	[Nm]	Krouticí moment hlavní osy
m_{hp}	[kg]	Hmotnost hlavní převodovky
m_{klm}	[kg/km]	Měrná hmotnost kabelu lineárního motoru
m_{mp}	[kg]	Hmotnost hlavního motoru s hlavní převodovkou
m_{uh}	[kg]	Hmotnost upínací hlavy
M_{um}	[Nm]	Moment unášeného motoru
m_{um}	[kg]	Hmotnost unášeného motoru
M_{uo}	[Nm]	Výsledný krouticí moment unášené osy
m_{up}	[Nm]	Hmotnost unášené převodovky
m_v	[kg]	Hmotnost výrobku včetně trnu
n_{hm}	[ot/min]	Otáčky hlavního motoru
n_{ho}	[ot/min]	Otáčky hlavní osy
n_{um}	[ot/min]	Otáčky unášeného motoru
n_{uo}	[ot/min]	Výsledné otáčky unášené osy
P	[W]	Výkon chladicí jednotky



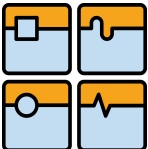
DIPLOMOVÁ PRÁCE

P_{hm}	[W]	Výkon hlavního motoru
p_{hmax}	[MPa]	Maximální tlak v hadici hydraulické brzdy
p_{chl}	[Mpa]	Tlak kapaliny při <i>maximálním průtoku u chladicí jednotky</i>
p_{lo}	[MPa]	Tlak lineární osy na nosný rám
p_{max}	[MPa]	Maximální tlak v hydraulické brzdě
p_{maxhm}	[MPa]	Maximální tlak čerpadla hydraulického agregátu
P_{mho}	[W]	Výkon motoru hydraulického agregátu
P_{min}	[W]	Doporučený minimální výkon chlazení
p_{ot}	[MPa]	Tlak potřebný k odbrzdění hydraulické brzdy
P_{um}	[W]	Výkon unášeného motoru
P_v	[W]	Výkon elektromagnetického ventilu
p_{vmax}	[MPa]	Maximální provozní tlak elektromagnetického ventilu
Q_{max}	[l/min]	Maximální průtok chladicí jednotky
Q_{min}	[l/min]	Doporučený minimální průtok chlazení
r_{cl}	[mm]	Poloměr ohybu článkového vedení
r_{min}	[mm]	Minimální poloměr ohybu hydraulické hadice
S_{omin}	[-]	Bezpečnostní faktor statického zatížení
S_{brz}	[m]	Dráha hydraulické brzdy
S_{brz}	[m]	Dráha hydraulické brzdy
S_{Daeg}	[-]	Bezpečnostní faktor dynamického zatížení
S_{krit}	[m]	Vzdálenost kritického bodu hydraulické brzdy od kraje
S_{lm}	[m]	Dráha lineárního motoru
S_{mb}	[m]	Vzdálenost mrtvého bodu hydraulické brzdy od kraje
t	[s]	Čas kritického bodu hydraulické brzdy
t_{brz}	[s]	Doba pohybu hydraulické brzdy
t_{mb}	[s]	Čas mrtvého bodu hydraulické brzdy
t_{reakce}	[s]	Reakční doba hydraulické brzdy
T_{vmax}	[°C]	Maximální provozní teplota elektromagnetického ventilu
$V_{(max \text{ at } F_{max})}$	[m/min]	Maximální rychlost lineárního motoru při F_{max}
$V_{(max \text{ at } F_{rated})}$	[m/min]	Maximální rychlost lineárního motoru při F_{rated}
v_{brz}	[m/s]	Rychlost hydraulické brzdy
v_{lm}	[m/s]	Rychlost lineárního motoru
v_{max}	[m/s]	Maximální rychlost lineárního snímače
η_{hp}	[%]	Účinnost hlavní převodovky
η_{up}	[%]	Účinnost unášené převodovky

13 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 Produkty technologie navíjení [5].....	12
Obrázek 2 Vztah mezi pevností a tuhostí u tradičních kovových materiálů a kompozitů [6].....	13
Obrázek 3 Srovnání výkonnosti tlakových nádob z různých materiálů [6]	13
Obrázek 4 Tlaková nádoba [6]	13
Obrázek 5 zásobníky na kapalný vodík [6].....	13
Obrázek 6 PW 34 [7].....	14
Obrázek 7 Super Hornet [8]	14
Obrázek 8 Spider [8]	15
Obrázek 9 MAW20 LS [9]	15
Obrázek 10 Zařízení k navíjení vláken [10].....	16
Obrázek 11 Systém pro oddělování a spojování kompozitních vláken [11]	17
Obrázek 12 Servomotor firmz TG Drives s.r.o. [13]	19
Obrázek 13 Servomotor firmy VUES Brno s.r.o. [12]	19
Obrázek 14 Řez servomotorem [15]	19
Obrázek 15 Lineární motor Bosch Rexroth řada IndraDyn [16]	20
Obrázek 16 Lineární motor ETEL řady LMP [17]	20
Obrázek 17 Lineární motor Siemens řady 1FN3 [18].....	21
Obrázek 18 Převodovky firmy Baumüller [19]	21
Obrázek 19 Sklíčidlo TOS [21].....	22
Obrázek 20 Zaklepávací hlava BOSCHERT [20].....	22
Obrázek 21 Kluzné vedení DryLin [22]	22
Obrázek 22 Válečkové vedení Schaeffler KG [24]	22
Obrázek 23 Kuličkové vedení THK [23]	22
Obrázek 24 Brzdící prvek [24].....	23
Obrázek 25 Vlnovcová spojka Gerwah [25]	23
Obrázek 26 Pružná spojka R + W [26].....	23
Obrázek 27 Článekové vedení [22].....	23
Obrázek 28 Hutní materiál	24
Obrázek 29 Hlavní osa.....	25
Obrázek 30 TGH 1700 320 VDC [13]	25
Obrázek 31 SG 120	25
Obrázek 32 Princip upnutí [20].....	26
Obrázek 33 Použité typy [20]	26
Obrázek 34 Spojka EK2/60/B/28/32 [26]	26
Obrázek 35 Značení K+W spojek [26]	26
Obrázek 36 Vedlejší osa.....	27
Obrázek 37 Označení lineárního motoru [18]	28
Obrázek 38 Popis lineárního motoru [18].....	28
Obrázek 39 Snímač polohy LIDA 477 [27].....	28
Obrázek 40 Chladicí jednotka [28].....	28
Obrázek 41 KUVE20-B-ESC [24].....	29
Obrázek 42 BKE.TKVD25 [24].....	29
Obrázek 43 GMP-6,9-PVS0,5-H-M80a6 [29]	29
Obrázek 44 Tlakový spínač C1-P906F-B1N-E6-K1-C [30]	30
Obrázek 45 Elektromagnetický ventil 21611-10-014-230 [30].....	30
Obrázek 46 Geometrie článkového řetězu [22].....	30

Obrázek 47 Nákres uložení.....	30
Obrázek 48 Držák článkového vedení	31
Obrázek 49 Doraz lineárního vedení.....	31
Obrázek 50 Unášená osa	32
Obrázek 51 SG 050	32
Obrázek 52 Upnutí hřídele pomocí SKF ConCentra [31]	33
Obrázek 53 Skf ConCentra [31]	33
Obrázek 54 Hřídel se směrovači vláken.....	33
Obrázek 55 CAM software [18]	34
Obrázek 56 Simotion P350-3 [18]	34
Obrázek 57 Nosný rám	35
Obrázek 58 Vyrovnávání upínací hlavy.....	35
Obrázek 59 Držák řídicího panelu.....	36
Obrázek 60 Umístění jeřábových ok	36
Obrázek 61 SIZER základní parametry.....	37
Obrázek 62 SIZER profil dráhy	37
Obrázek 63 SIZER a – v – t diagram	38
Obrázek 64 SIZER zátěžová data.....	38
Obrázek 65 SIZER výběr motoru	38
Obrázek 66 s – t diagram.....	39
Obrázek 67 Definování vzdáleností	39
Obrázek 68 Definice zatížení 1	39
Obrázek 69 Definice zatížení 2	39
Obrázek 70 Vypočtené hodnoty	40
Obrázek 71 v-s diagram.....	42
Obrázek 72 Deformace nosného rámu	43
Obrázek 73 Deformace plotny lineárního motoru.....	44
Obrázek 74 Graf pro odhad rizika [32]	47
Obrázek 75 Navíjecí stroj.....	52
Tabulka 1 Digitální servozesilovače	34
Tabulka 2 Hydraulické oleje	45
Tabulka 3 Maziva	45
Tabulka 4 Stupnice pro popis závažnosti škody [33].....	47
Tabulka 5 Ekonomická analýza.....	48
Tabulka 6 Seznam použitých symbolů.....	56

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 60
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

14 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Formulář pro odhad rizika nebezpečí naražení

Příloha 2: Výkres 09-A0-NS-1000

Příloha 3: Výkres 09-A1-NS-1000-001

Příloha 4: Výkres 09-A2-NS-1000-002

Příloha 5: Výkres 09-A4-NS-1000-003

Příloha 6: Výkres K-09-A4-NS-1000