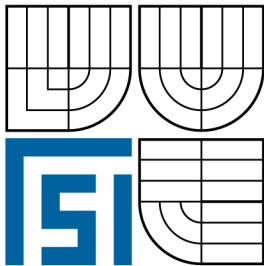


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

POHON SVISLÉHO SUPORTU OBRÁBĚCÍHO CENTRA LINEÁRNÍM MOTOREM

DRIVE VERTICAL SADDLE OF MACHINING CENTRE BY LINEAR MOTOR

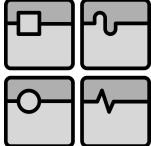
DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK ZAPLETAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BRONISLAV FOLLER, Ph.D.

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

Anotace/ abstrakt

Radek Zapletal

Pohon svislého suportu obráběcího centra lineárním motorem

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

Tato diplomová práce se zabývá mechanismem pohybu svislého suportu vysokorychlostního obráběcího centra firmy Trimill. Současné řešení pohybu litinového svislého suportu je provedeno pomocí kuličkového šroubu. Náhradou tohoto řešení za lineární motor se zvýší celková dynamika pohybu svislého suportu. Dále se pro zvýšení dynamiky sníží hmotnost svislého suportu pomocí pneumatického nadlehčování a svařením konstrukce suportu.

Klíčová slova: lineární, motor, vysokorychlostní, obráběcí, centrum, svislý, suport, váhová, pneumatická, kompenzace, chlazení

Annotation/ abstract





Radek Zapletal

Drive Vertical Saddle of Machining Centre by Linear Motor

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





The diploma dissertation deals with the mechanism of the vertical movement of a saddle of a high-speed machining centre which is made by the Trimill company. The movement of a vertical alloy saddle is solved by a ball screw. The solution could be improved by replacing the ball screw with a linear motor. This will dramatically improve the dynamics of the movement of the vertical saddle. In addition, if the weight is compensated by pneumatic relief and the construction is welded, the dynamics will further improve.

Key word: linear, motor, high, speed, machining, centre, vertical, saddle, weight, pneumatic, compensation, cooling

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

Bibliografická citace

ZAPLETAL, R. *Pohon svislého suportu obráběcího centra lineárním motorem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 61 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: Radek Zapletal

.....

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

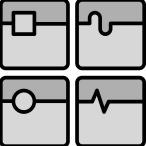
Poděkování

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. a pracovníku technické kanceláře firmy Trimill Ing. Vojtěchu Malaníkovi za odborné a přínosné rady v průběhu zpracování diplomové práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
1.1	Popis zadání.....	11
1.2	Vstupní podmínky.....	11
1.3	Popis a náplň činnosti firmy TRIMILL, a.s.	12
2	PATENTOVÁ REŠERŠE.....	13
2.1	Patent 1.....	13
2.2	Patent 2.....	14
2.3	Průzkum jiných patentových úřadů.....	14
2.3.1	Německý patentový úřad DEPATISNET.....	14
2.3.2	Český patentový úřad UPV.....	14
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	15
3.1	Články z www stránek MM Průmyslové spektrum.....	15
3.1.1	Lineární pohony na vzestupu.....	15
3.1.2	Přímé pohony začínají nabírat obrátky.....	15
3.1.3	Praktické aplikace lineárních motorů.....	15
3.1.4	Experimentální stroj LM-2.....	16
3.1.5	Centra pro vysokorychlostní obrábění.....	16
3.2	Články z Informačního systému výzkumu a vývoje.....	16
3.2.1	Application of Linear Motors in NC Machines.....	16
4	ROZBOR SOUČASNÉHO A NOVÉHO ŘEŠENÍ.....	17
4.1	Nákres a popis současného řešení svislého suportu.....	17
4.2	Popis jednotlivých částí svislého suportu stávajícího řešení.....	18
4.2.1	Kuličkový šroub.....	18
4.2.2	Lineární vedení.....	19
4.2.3	Elektrické vřeteno WEISS.....	20
4.2.4	Odměřování.....	20
4.3	Popis jednotlivých částí svislého suportu nového řešení.....	21
4.3.1	Svarek suportu.....	21
4.3.2	Lineární motor.....	21
4.3.3	Pneumatické nadlehčování.....	25
4.3.4	Krytování suportu.....	25

4.3.5	Brzdící a svírací zabezpečovací prvky	26
5	NÁVRH POSTUPU NOVÉHO ŘEŠENÍ.....	27
5.1	Návrh a výběr variant řešení suportu	27
5.1.1	Varianta původního litinového tubusu suportu.....	27
5.1.2	Varianty svařence z ocelových dílů.....	28
5.1.3	Výběr variant svarku suportu.....	30
5.2	Návrh a výběr variant řešení uspořádání lineárního motoru	31
5.2.1	Varianta s jedním lineárním motorem.....	31
5.2.2	Varianta se dvěma paralelně uspořádanými lineárními motory.....	31
5.2.3	Výběr varianty uspořádání lineárního motoru	32
6	VÝPOČTY	33
6.1	Statický a dynamický kontrolní výpočet lineárního motoru.....	33
6.1.1	Síly působící na suport (statika).....	33
6.1.2	Profil sil při navrženém pracovním cyklu (statika)	34
6.1.3	Profil časů a drah při navrženém pracovním cyklu (dynamika)	37
6.1.4	Elektrická energie potřebná k napájení lineárního motoru.....	39
6.2	Volba lineárního motoru výpočetním programem od firmy Siemens	40
6.2.1	Postup při návrhu motoru v programu SIZER.....	40
6.3	Paralelní uspořádání lineárních motorů.....	44
6.3.1	Pozice primárních částí motoru a sled fází	45
6.4	Výpočet průměru pístu pneumatického nadlehčování	46
6.5	Výpočet délky krytování suportu.....	47
7	TRIBOTECHNIKA	48
8	ANALÝZA RIZIK	49
9	ANALÝZA SHODY.....	50
10	EKONOMICKÁ ANALÝZA.....	50
11	ZÁVĚR.....	51
12	SEZNAM POUŽITÝCH NOREM.....	52
13	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
14	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	56
15	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK	59
16	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

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

1 ÚVOD

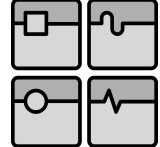
1.1 Popis zadání

Tématem této diplomové je návrh svislého suportu (smýkadla) obráběcího stroje Trimill VC. Zadání se skládá z návrhu svarku svislého suportu, pohonu lineárním motorem s chlazením a pneumatického nadlehčování. Jedná se o pracovní uzel vysokorychlostního vertikálního pětiosého obráběcího centra firmy TRIMILL, a.s, které je jedním z výrobních produktů této firmy.

Současný pohon svislého suportu je řešen pomocí kuličkového šroubu naháněného servomotorem. Dále je svislý suport vyroben jako obrobený odlitek s litiny 42 2306. Požadavky zákazníků zvyšují nároky na dynamiku strojů, což v praxi znamená zvýšení rychlostí a zrychlení pracovních skupin stroje a naopak snížení jejich hmotnosti. Splnění těchto požadavků je základním cílem této diplomové práce. Jejich řešením je použití lineárního motoru pro zvýšení rychlosti a zrychlení svislého suportu a použití technologie svařování místo odlévání pro snížení vysoké hmotnosti odlitku suportu.

1.2 Vstupní podmínky

- pojezd svislého suportu 1000 mm
- stálý výkon vřetene (S1/100%) $P = 25 \text{ kW}$
- kroutící moment vřetene $M_k = 100 \text{ Nm}$
- otáčky vřetene $n = 12\,000 \text{ min}^{-1}$
- upínací kužel HSK A 80
- rychloposuv $v = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- pracovní posuv $v_p = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- zrychlení $a = 1G$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1.3 Popis a náplň činnosti firmy TRIMILL, a.s.

Společnost TRIMILL, a.s. byla založena v první polovině roku 2000 jako akciová společnost se sídlem ve Zlíně. Tuto firmu doplňuje kancelář v Německu, která zajišťuje přímé spojení s německými a západoevropskými zákazníky.

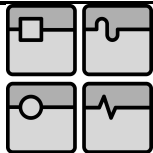
Firma Trimill, a.s. převzala v počátku jejího vzniku výrobu jednoho úspěšně zavedeného obráběcího centra, které dále vyvíjela. Dále pracovala na vývoji celé řady obráběcích center, které mají vysoké technické parametry, přesnost a spolehlivost.

Firma se specializuje na výrobu a dodávku vysokorychlostních obráběcích center pro výrobu lisovacích nástrojů, forem, přípravků a zápusťek pro automobilový, letecký a plastikářský průmysl.

Hlavní výroba je orientována na vysokorychlostní vertikální a horizontální obráběcí centra s rozjezdy v osách x, y, z od 1000 / 1100 / 700 mm až do rozjezdů 4500 / 2500 / 1250 mm s možnostmi obrábění ve třech až sedmi CNC řízených osách.



Obrázek 1. Obráběcí centrum Trimill VC 3016



2 PATENTOVÁ REŠERŠE

Klíčová slova: lineární motor, obráběcí stroj, centrum, vertikální support

Key words: linear, motor, tool, machine, centrum, vertical support, closed, box

2.1 Patent 1

Zdroj: Patentový úřad Spojených států amerických

US PATENT AND TRADEMARK OFFICE (www.uspto.gov)

Název: Struktura souměrně uspořádaných lineárních motorů ovládajících obráběcí stroj

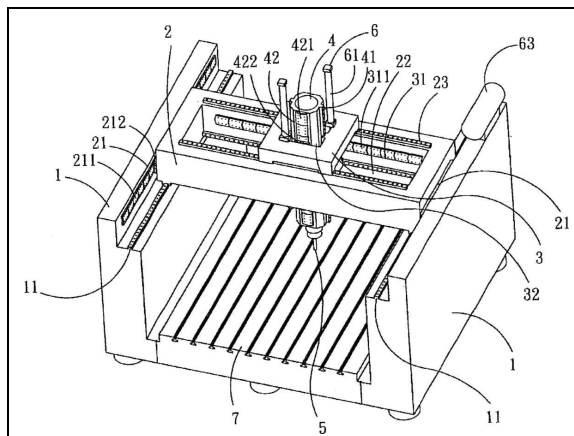
Title: Structure for symmetrically disposed linear motor operated tool machine

Číslo patentu: US 6,798,088 B2

Patent No.: US 6,798,088 B2

Datum vydání patentu: 28.9.2004

Datum of patent: Sep. 28, 2004



Obrázek 2. Patent č.1

2.2 Patent 2

Zdroj: Patentový úřad Spojených států amerických

US PATENT AND TRADEMARK OFFICE (www.uspto.gov)

Název: Struktura “closed box” horizontálního obráběcího stroje s lineárním motorem

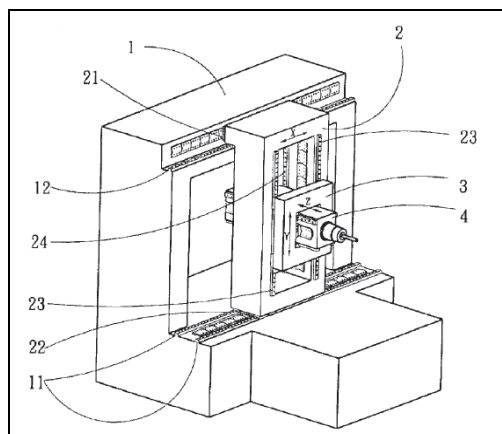
Title: Closed box structure of the horizontal linear motor machine tool

Číslo patentu: US 6,930,412 B2

Patent No.: US 6,930,412 B2

Datum vydání patentu: 16.8.2004

Datum of patent: Aug. 16, 2005



Obrázek 3. Patent č.2

2.3 Průzkum jiných patentových úřadů

Klíčová slova: lineární motor, obráběcí stroj, centrum, vertikální support

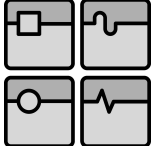
Key words: linear motor, tool machine, centrum, vertical support, closed box

2.3.1 Německý patentový úřad DEPATISNET

Na stránkách www.depatinet.de nebyl pomocí klíčových slov nalezen žádný patent týkající se řešeného problému.

2.3.2 Český patentový úřad UPV

Na stránkách www.upv.de nebyl pomocí klíčových slov nalezen žádný patent týkající se řešeného problému.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Klíčová slova: lineární, motor, obráběcí, stroj, centrum, vertikální, support, vysokorychlostní, obrábění

Key words: linear, motor, tool, machine, centrum, vertical support, closed, box, high, speed, cutting, feed, drives

Databáze: Internet, Informační systém výzkumu a vývoje (Výpočetní a informační centrum Českého vysokého učení technického v Praze)

3.1 Články z www stránek MM Průmyslové spektrum

3.1.1 Lineární pohony na vzestupu

Autor: Martin Kaván

Abstrakt: K velkému rozvoji výroby a k praktickému uplatnění lineárních motorů a pohonů došlo až v posledních letech. V současné době vliv technického vývoje a tvrdší konkurenční boj mezi výrobci způsobil velký nárůst vhodných aplikací pro nasazení lineárních motorů.

3.1.2 Přímé pohony začínají nabírat obrátky

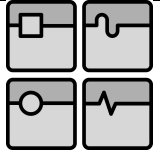
Autor: neuveden

Abstrakt: Aplikace přímých motorů je stále častější, poněvadž stále více uživatelů oceňuje výhody této moderní technologie. Tento pozitivní vývoj na trhu nepochybně vede ke zlepšení při jejich aplikaci a ke snížení cen. Díky tomu jsou tyto motory u výrobců strojů atraktivnější.

3.1.3 Praktické aplikace lineárních motorů

Autor: Jiří Kostecký

Abstrakt: V celém světě jsou dnes na pohony, zejména u výrobních zařízení, kladeny mimořádné nároky na dynamiku, přesnou regulaci a polohování.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.1.4 Experimentální stroj LM-2

Autor: Jan Smolík a kol.

Abstrakt: Pohony všech lineárních os jsou realizovány lineárními motory s odpruženými sekundárními díly (magnetickou tratí). Z tohoto důvodu je každá jednotka lineárního motoru osazena dvěma optickými pravítky pro odměřování.

3.1.5 Centra pro vysokorychlostní obrábění

Autor: Jan Smolík

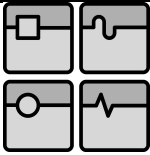
Abstrakt: V tomto článku jsou stručně popsány novinky a zajímavosti z oblasti obráběcích center s vysokou dynamikou.

3.2 Články z Informačního systému výzkumu a vývoje

3.2.1 Application of Linear Motors in NC Machines

Autoři: Pavel Souček, Antonín Bubák, Roman Česák

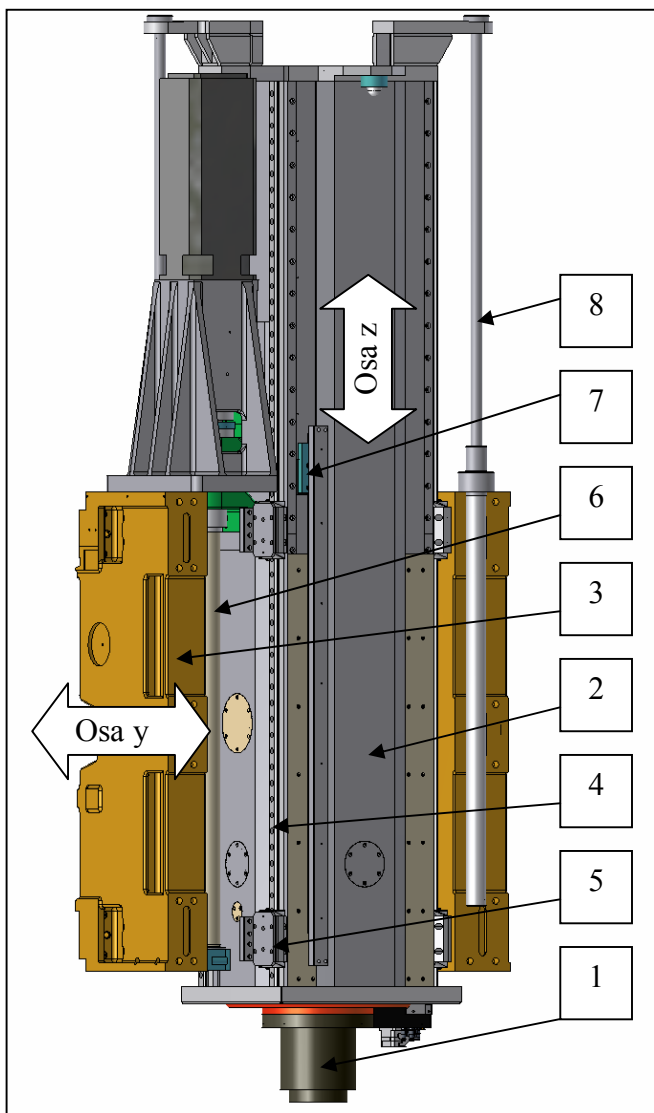
Abstrakt: The paper contains a concept of structural design of feed drives for the type MCFV 5050LN vertical machining centre. Basic parameters of applied linear motors, description of control circuits and its parameters, measurement results of dynamic properties including dynamic compliance and tests of circular interpolation are described in more detail



4 ROZBOR SOUČASNÉHO A NOVÉHO ŘEŠENÍ

4.1 Nákres a popis současného řešení svislého suportu

Popis: Svislý suport 2, který se pohybuje v ose z, je umístěn v kostce 3. Ta se pohybuje v ose y.



Pohybová skupina se skládá z:

1 ... elektrovřeteno WEISS

2 ... svislý suport (litinový)

3 ... kostka

4 ... lineární vedení

5 ... vozíky lineárního vedení

6 ... kuličkový šroub

7 ... inkrementální odměřování polohy

8 ... hydraulické nadlehčování suportu

Obrázek 4. Popis svislého suportu

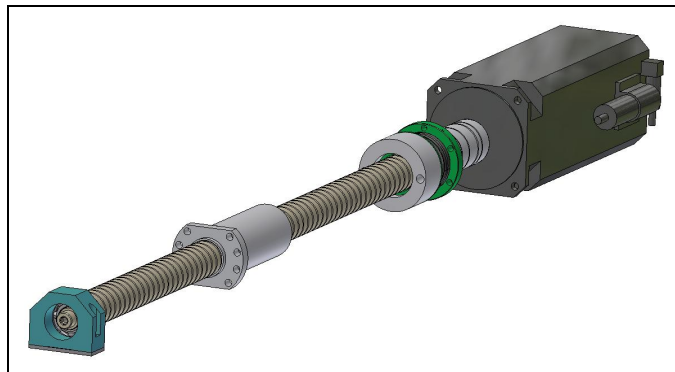
4.2 Popis jednotlivých částí svislého suportu stávajícího řešení

4.2.1 Kuličkový šroub

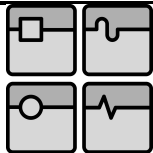
Zatím v praxi celosvětově nejrozšířenější možnost, jak docílit pohybu posuvových jednotek a suportů obráběcích center, je využití kuličkového šroubu (viz. obrázek 5). Kuličkový šroub je konstrukční prvek pohybových ústrojí, který převádí s vysokou účinností rotační pohyb na přímočarý. Pro správný provoz je nutné zajistit rovnoběžnost kuličkového šroubu s vodícími plochami (do 0,002 mm/1000 mm) a také kolmost uložení k podélné ose šroubu.

Přednosti kuličkového šroubu

- vysoká tuhost
- přesnost
- trvanlivost



Obrázek 5. Kuličkový šroub



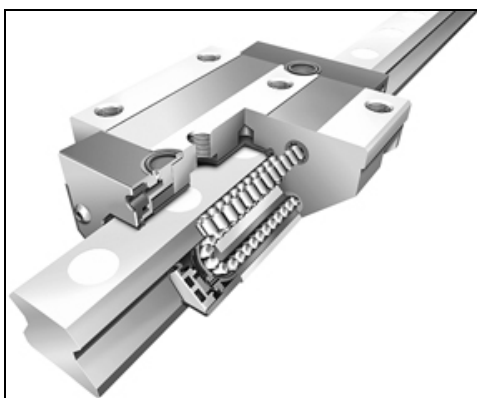
4.2.2 Lineární vedení

Lineární vedení umožňuje přesný přímočarý pohyb pomocí valivých elementů kuliček nebo válečků a díky tomu je možné dosáhnout velmi nízkou hodnotu koeficientu tření. Firma Trimill používá válečkové lineární vedení od firmy INA (viz. obrázek 6). Pro pohyb vertikálního suportu obráběcího centra Trimill VC je použité lineární vedení s označením:

RUE 35 D L OE

Parametry:

- statická únosnost: 70 kN
- dynamická únosnost: 169 kN
- délka vedení: 1 620 mm
- mazání: olejové průběžné



Obrázek 6. Lineární vedení INA

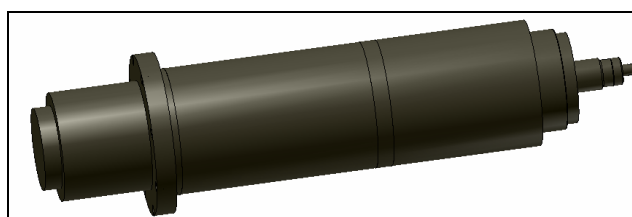
4.2.3 Elektrické vřeteno WEISS

V této aplikaci je použito třífázové synchronní elektrické vřeteno WEISS pro vertikální použití (viz. obrázek 7), které je chlazeno vodou. Pro upínání nástrojů je vybaven nástrojovým lůžkem HSK A80, které je vyrobeno pro vysokorychlostní obrábění. Vnitřní chlazení nástroje je vedeno středem vřetena – vzduchem. Označení vřetena:

WEISS ZnNr175109

Parametry:

- krouticí moment: 200 Nm
- otáčky: 16 000 min⁻¹
- nástrojové lůžko: HSK A80



Obrázek 7. Elektrovřeteno WEISS

4.2.4 Odměřování

K určení přesné polohy suportu je použito lineární inkrementální měřicí pravítko (viz. obrázek 8) od firmy Heidenhain s označením:

LS 476

Parametry:

- odměřování inkrementální
- skleněná stupnice
- stupeň přesnosti $\pm 5 \mu\text{m}$

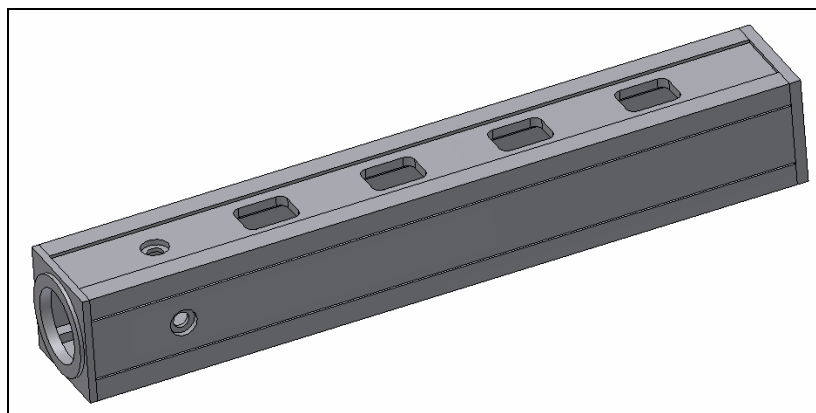


Obrázek 8. Lineární měření Haidenhain

4.3 Popis jednotlivých částí svislého suportu nového řešení

4.3.1 Svarek suportu

Díky použití menšího elektrovřetena je možné navrhnout menší rozměry svarku suportu (viz. obrázek 9) a tím zmenšit jeho hmotnost. Je potřeba brát ohled na rozměry lineárního motoru tak, aby se vešel mezi lineární vedení. Z důvodů technologie svařování musí být zpřístupněn vnitřní prostor svarku pro manipulaci při svařování. Toto je umožněno díky otvorům na bocích suportu.

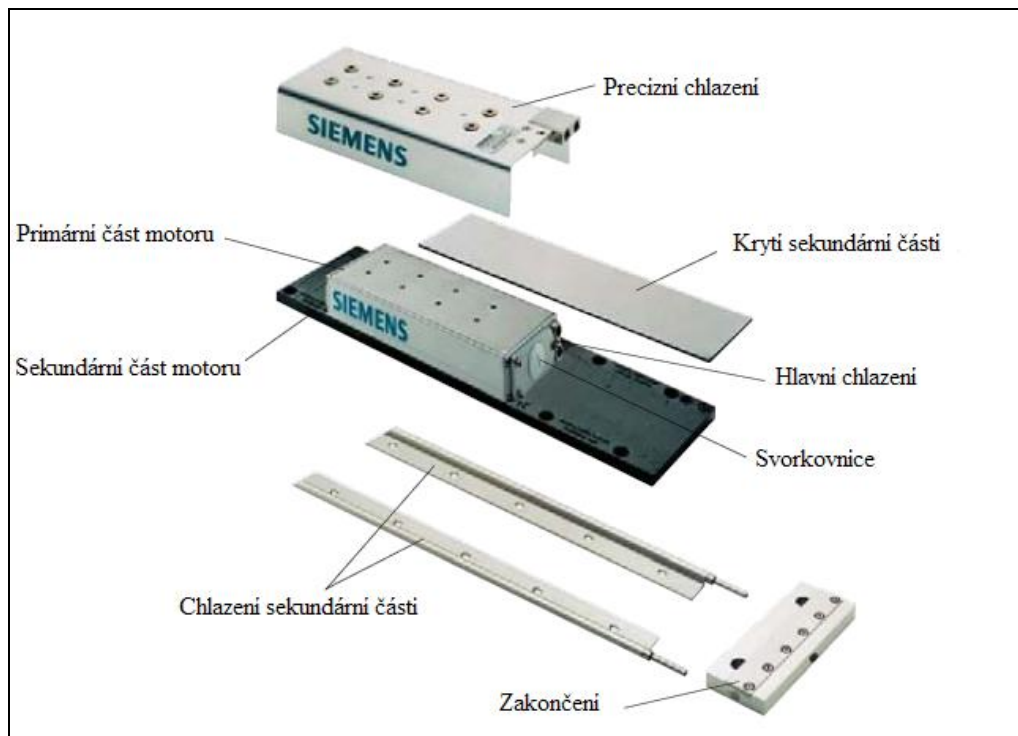


Obrázek 9. Návrh svarku

4.3.2 Lineární motor

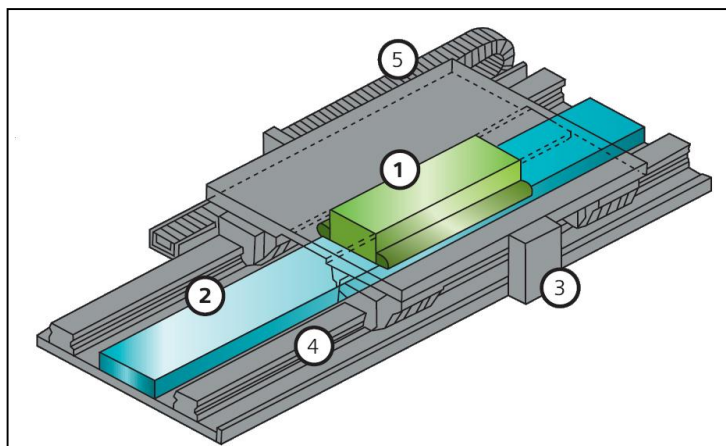
S nástupem zvyšující se poptávky po snižování výrobních časů hledají výrobci nové možnosti, jak tento problém vyřešit. Jednou z variant je použít lineární motor (viz. obrázek 10). Jejich výhodou jsou vysoké rychlosti a zrychlení a konstrukční řešení. Díky němu nedochází k přímému styku pracovních částí motoru, nevzniká tření a opotřebení, což má za následek vysokou životnost. Odpadá opotřebení v převodech, nežádoucí vůle, hlučnost a další průvodní jevy spojené s převodovými mechanizmy. Nevýhodou je vznikající teplo, které se musí odvádět chlazením motoru.

Popis lineárního motoru:



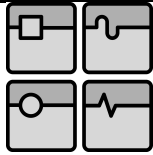
Obrázek 10. Popis lineárního motoru

Popis uspořádání konstrukce s lineárním motorem:



- 1 ... primární část motoru
- 2 ... sekundární část motoru
- 3 ... lineární polohovací měřicí systém
- 4 ... kuličkové lineární vedení
- 5 ... přívod energií

Obrázek 11. Konstrukce s lineárním motorem



Výrobci lineárních motorů

V této době je už mnoho firem, které se zabývají výrobou lineárních motorů. Pro technickou aplikaci v této diplomové práci jsou použitelné motory těchto firem:

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



Obrázek 12. Lineární motor Bosch-Rexroth

Parametry:

- motory pracují na synchronním principu 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
- vodní chlazení primáru
- maximální rychlost osy $480 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- maximální zrychlení osy $80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

2. Firma ETEL s produktovou řadou lineárních motorů LMP

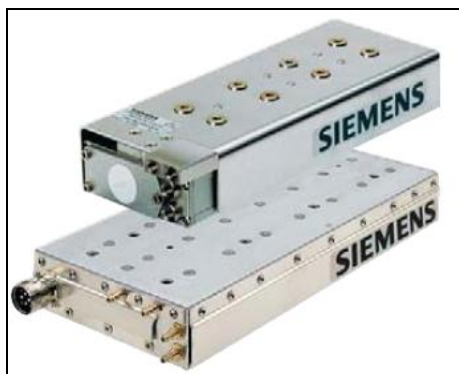


Obrázek 13. Lineární motor ETEL

Parametry:

- motory pracují na synchronním principu s permanentními magnety v sekundární části
- jmenovité posuvové síly 638 až 9 330 N
- vodní chlazení primáru
- maximální rychlost osy $120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
- maximální zrychlení osy $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

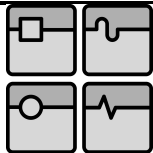
3. Firma SIEMENS s produktovou řadou lineárních motorů 1FN3



Obrázek 14. Lineární motory Siemens

Parametry:

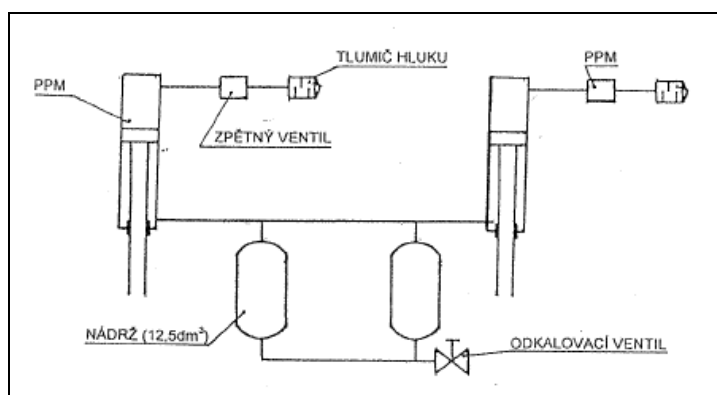
- motory pracují na synchronním principu s permanentními magnety v sekundární části
- maximální posuvové síly 20 700 N
- vodní chlazení primáru
- maximální rychlost osy $800 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
- maximální zrychlení osy $80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$



4.3.3 Pneumatické nadlehčování

Princip činnosti pneumatického nadlehčování (viz. obrázek 16):

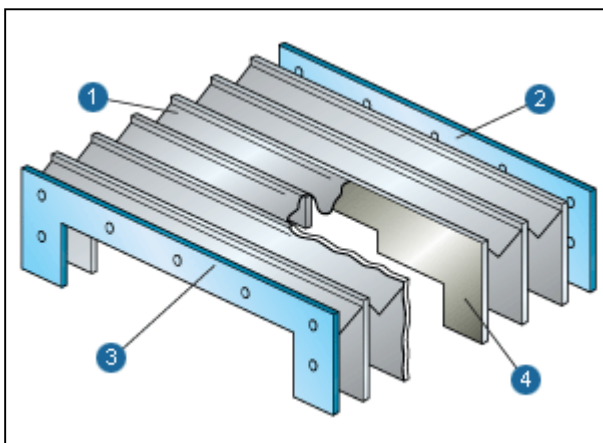
Vzdušník i pneumotor se naplní pracovním médiem. Po dosažení předepsaného tlaku se přeruší jeho přívod. Suport je posouván servomechanismem obráběcího stroje ve vertikálním směru. Přes spojovací díly se vytahuje pístnice z pneumotoru, ze kterého se vzduch vytlačuje do nádržky a minimalizuje zatížení posuvového mechanismu od hmotnosti suportu.



Obrázek 15. Popis pneumatického nadlehčování

4.3.4 Krytování suportu

Při obrábění se suport pohybuje v pracovní části stroje. Se suportem do prostoru vjíždí i části lineárního motoru a odměřování, které nesmí přijít do kontaktu s pracovními kapalinami a odletujícími třískami. Nejvhodnější v této aplikaci je použití měchového krytování. Krytování je zvoleno od firmy PEI.



- 1 ... plátěný teplotně odolný materiál
- 2 ... okrajový plech 1
- 3 ... okrajový plech 2
- 4 ... vyztužení

Obrázek 16. Krytování

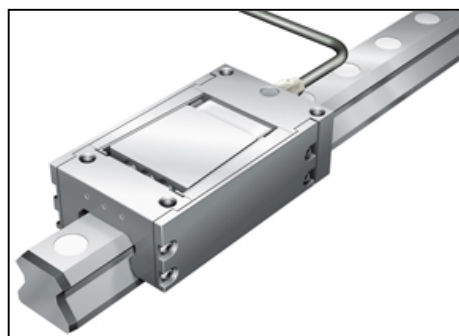
4.3.5 Brzdící a svírací zabezpečovací prvky

Tyto prvky se používají pro zabezpečení a zastavení pohybujících se částí například při výpadku proudu. Narozdíl od použití kuličkového šroubu, kdy se při výpadku proudu šroub zastaví a tím se zastaví i suport, se při použití lineárního motoru suport nezastaví a může dojít ke kolizi. Při provozu stroje je brzdící prvek (viz. obrázek 17) odbržděn 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 přítlak brzdného obložení. Označení prvku je:

BKE TSX 35 E

Parametry:

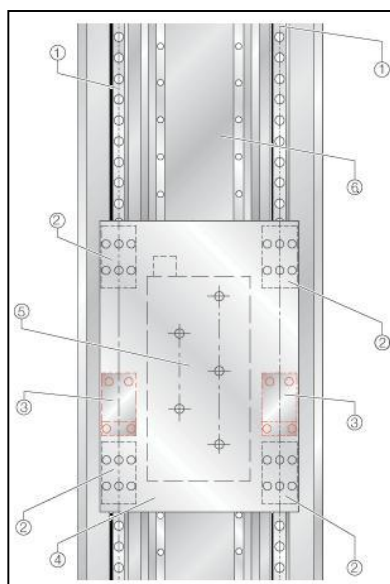
svírací síla: 2 800 N



Obrázek 17. Brzdící prvek

Popis umístění brzdících vozíčků:

Svírací prvky 1 jsou nasunuty stejně s vozíčky 2 na lineárním vedení 3 a jsou přišroubovány k suportu 4. 5 je primární část motoru a 6 je sekundární část motoru.



Obrázek 18. Montáž brzdících vozíčků

5 NÁVRH POSTUPU NOVÉHO ŘEŠENÍ

Při návrhu nového řešení bude řešeno:

- návrh různých variant svarku suportu
- návrh variant pro použití lineárních motorů
- výpočty (statika a dynamika lineárního motoru, pneumatické nadlehčování, krytování)
- modelování nového suportu a kostky

5.1 Návrh a výběr variant řešení suportu

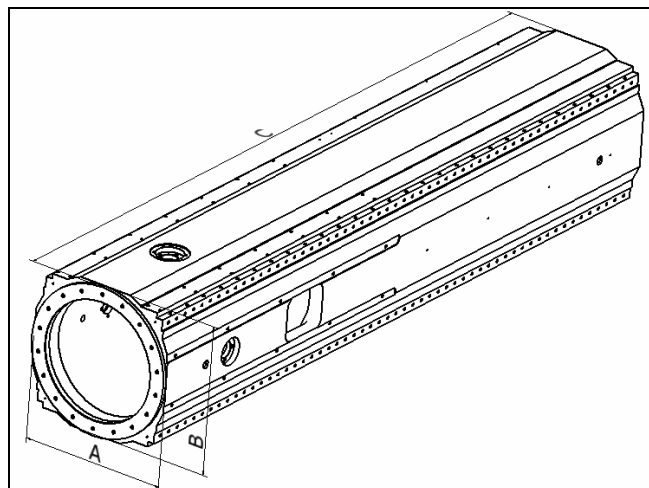
Popis:

Původně používaný suport je vyrobený z litiny (viz. obrázek 19). Jeho výhodou je vysoká tuhost a nevýhodou velká hmotnost. Druhou variantou je vyrobení tubusu suportu svařováním ocelových dílů. Je potřeba tento svařenec navrhnout tak, aby jeho vlastnosti byly stejné, popřípadě lepší než vlastnosti původního litinového tubusu. Zjevnou výhodou je snížení hmotnosti, která je výhodnější pro dynamiku pohybu suportu.

5.1.1 Varianta původního litinového tubusu suportu

Parametry:

- hmotnost : 1 273 kg
- rozměry : A = 465 mm, B = 465 mm, C = 2 272 mm
- materiál : litina 42 2306



Obrázek 19. Litinový tubus suportu

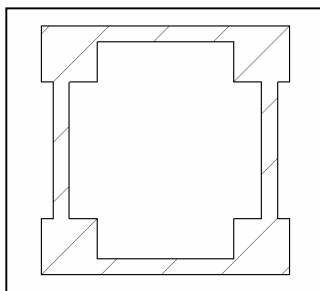
5.1.2 Varianty svařence z ocelových dílů

Popis:

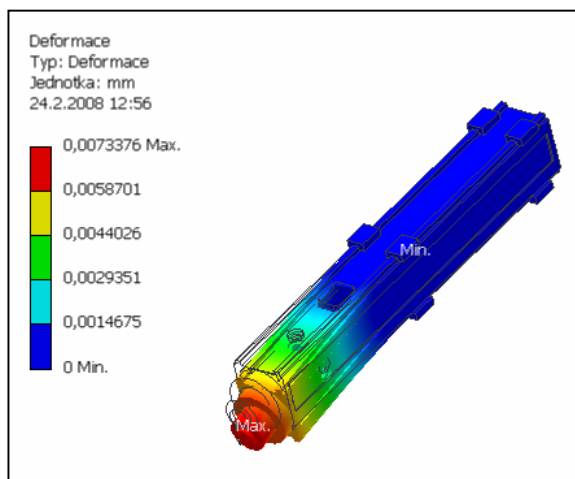
Při návrhu svařence je důležité zhodnotit a vybrat ten nejlepší příčný profil svařence. Profily svařence jsou hodnoceny z hlediska velikosti deformace při zatížení jednotkovou silou (1 000 N) v pevnostní analýze programu Inventor 2008. Suport je uložen pomocí pevných vazeb na horních plochách vozíčků lineárního vedení. Tyto analýzy jsou pouze orientační. Svarek je svařen z dílů, které jsou z materiálu 11 523.

Konstrukční možnosti svařence suportu:

Profil svařence č.1:

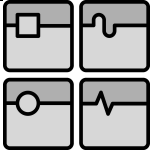


Obrázek 20. Profil svařence č.1

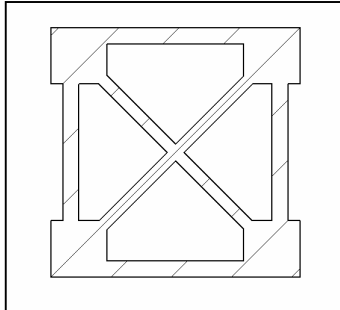


Obrázek 21. Analýza svařence profilu č.1

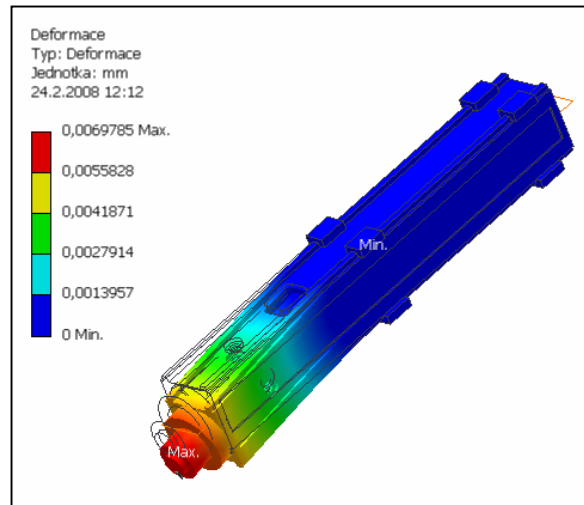
- tubus svarku není uvnitř vyztužen žádnými žebry
- maximální deformace je 0,007 338 mm



Profil svařence č.2:



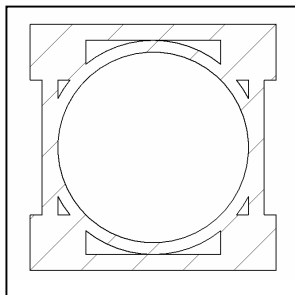
Obrázek 22. Profil svařence č.2



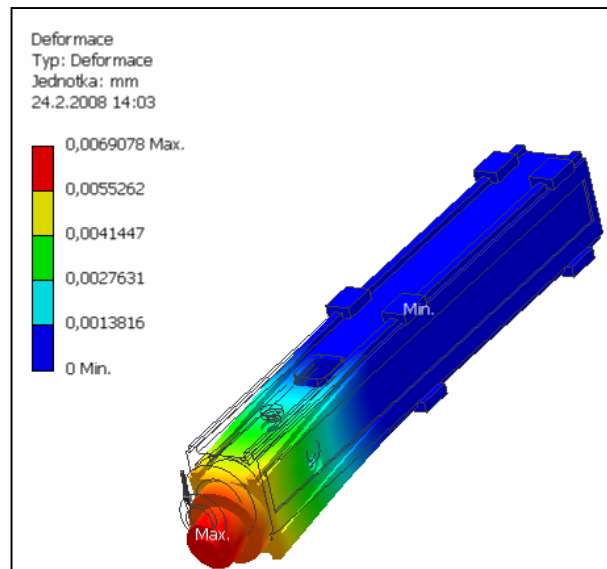
Obrázek 23. Analýza svařence profilu č.2

- tubus svarku je uvnitř vyztužen žebry ve tvaru „x“
- maximální deformace je 0,006979 mm

Profil svařence č.3:



Obrázek 24. Profil svařence č.3



Obrázek 25. Analýza svařence profilu č.3

- tubus svarku je uvnitř vyztužen ocelovou trubkou
- maximální deformace je 0,00608 mm

5.1.3 Výběr variant svarku suportu

Výběrová kritéria:

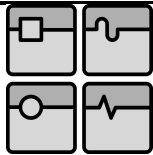
- hmotnost svarku
- jednoduchost při svařování svarku
- pevnostní vlastnosti svarku (deformace)

Výběrová kritéria	Profil svařence č.1	Profil svařence č.2	Profil svařence č.3
	+ vyhovuje , - nevyhovuje		
Hmotnost svarku	+	-	-
Jednoduchost při svařování svarku	+	-	-
Pevnostní vlastnosti svarku (deformace)	-	+	+

Tabulka 1. Výběrové kritéria svarku

Zhodnocení:

Profily č.2 a 3 mají lepší výsledky na deformace, ovšem rozdíly s profilem č.1 jsou minimální. Profil č.1 má menší hmotnost a hlavně je jednodušší pro svařování. Po konzultaci s konstruktéry z firmy Trimill, kteří tyto atributy vyzdvihli, je zvolen profil č.1 jako správná varianta.



5.2 Návrh a výběr variant řešení uspořádání lineárního motoru

Použití lineárního motoru v této aplikaci je odůvodněno hlavně díky jeho vysoké dynamice. Nejvíce záleží na velikosti pohybované hmoty, proto je důležité vhodně zvolit počet a prostorovou konfiguraci lineárních motorů.

5.2.1 Varianta s jedním lineárním motorem

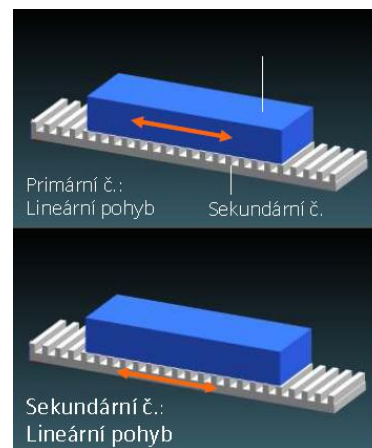
V tomto případě se použije pouze jeden lineární motor.

Provedení:

- pohyblivá primární část
- pohyblivá sekundární část

Výhody:

- jednoduchá konstrukce
- nízké nároky na prostor
- pouze jedna sekundární stopa
- nízké náklady



Obrázek 26. Jeden lin. motor

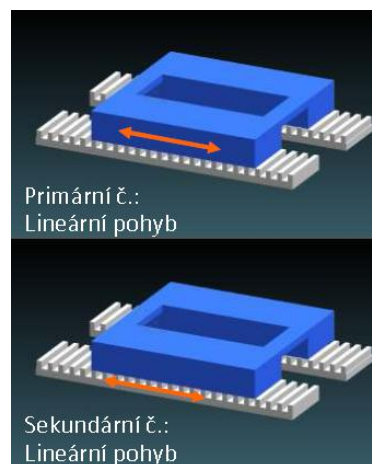
5.2.2 Varianta se dvěma paralelně uspořádanými lineárními motory

Provedení:

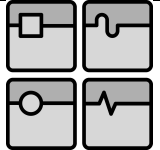
- pohyblivá primární část
- pohyblivá sekundární část

Výhody:

- odlehčení lineárního vedení
- zmenšení, případně rozdělení
- dílčí plochy motoru
- optimální integrace do konstrukce stroje



Obrázek 27. Dva paralelně uspořádané motory

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 32
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

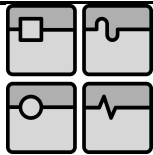
5.2.3 Výběr varianty uspořádání lineárního motoru

Výběrová kritéria:

- velikost lineárního motoru
- symetrické uspořádání konstrukce s lineárním motorem
- vyrušení magnetických sil vznikajících mezi primární a sekundární částí lineárního motoru

Zhodnocení:

Použití jednoho lineárního motoru je možné, ovšem s potřebou vysoké posuvové síly roste i jeho velikost. Motor by byl namontován pouze na jedné straně suportu, což by mělo za následek nesymetrické zatížení. Proto je zvoleno uspořádání se dvěma lineárními motory, které si vzájemně ruší přitažlivé síly. Tyto motory jsou symetricky uloženy a při jejich provozu nevzniká tak velké zahřívání.



6 VÝPOČTY

6.1 Statický a dynamický kontrolní výpočet lineárního motoru

Dáno:

- celková hmotnost pohybujících se částí $m_{\text{celk}} = 1\,156\text{ kg}$
- gravitační zrychlení $g = 9,81\text{ m/s}^2$
- zrychlení $a = 10\text{ m/s}^2$
- koeficient tření ve válečkovém vedení $\mu = 0,003$
- úhel polohy suportu $\alpha = 90^\circ$
- přitažlivá síla mezi prim. a sec. částí motoru $F_{\text{prit}} = 10\,000\text{ N}$
- síla způsob. hmot. vedení energií, třením vozíčků $F_0 = 150\text{ N}$

6.1.1 Síly působící na suport (statika)

Síla při zrychlení:

$$(1) \quad F_a = m_{\text{celk}} \cdot a = 1156 \cdot 10 = 11560,0\text{ N}$$

Síla způsobena hmotností:

$$(2) \quad F_{hm} = m_{\text{celk}} \cdot g \cdot \sin \alpha = 1156 \cdot 9,81 \cdot \sin 90^\circ = 11340,4\text{ N}$$

Třecí síla:

$$(3) \quad F_{tr} = \mu \cdot (m_{\text{celk}} \cdot g \cdot \sin \alpha + F_{\text{prit}}) + F_0 = 0,003 \cdot (1156 \cdot 9,81 \cdot \sin 90^\circ + 10000) + 150 = 210,4\text{ N}$$

Maximální síla:

$$(4) \quad F_{\text{max}} = F_a + F_{hm} + F_{tr} = 12000 + 10524,129 + 211,572 = 11770,4\text{ N}$$

Síla od váhové kompenzace:

$$(5) \quad F_{\text{nadleh}} = 11340,4\text{ N}$$

6.1.2 Profil sil při navrženém pracovním cyklu (statika)

Průběh cyklu:

- suport jede z horní polohy rychloposuvem dolů
- zabrzdí a přejde do pracovního posuvu dolů
- poté se zastaví
- pokračuje pracovním posuvem nahoru, z něhož zrychlí na rychloposuv, a vrátí se do výchozí polohy

Použité vzorce:

Síla při zrychlení (dolů)

$$(6) \quad F = F_a + F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh}$$

Síla při konstantní rychlosti (dolů)

$$(7) \quad F = F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh}$$

Síla při zpomalení (dolů)

$$(8) \quad F = -F_a + F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh}$$

Síla při zrychlení (nahoru)

$$(9) \quad F = F_a + F_{tr} + F_{hm} - F_{nadleh}$$

Síla při konstantní rychlosti (nahoru)

$$(10) \quad F = F_{tr} + F_{hm} - F_{nadleh}$$

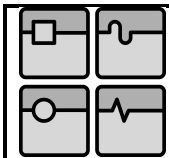
Síla při zpomalení (nahoru)

$$(11) \quad F = -F_a + F_{tr} + F_{hm} - F_{nadleh}$$

Tabulka s výpočty:

Č. p.	Popis pohybu	Vzorec	Síla [N]
1.	Síla při rychloposuvu při zrychlení dolů	$F_1 = F_a + F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh} =$ $= 11560 + 210,4 - 11340,4 + 11340,4$	$F_1 = 11770,4$
2.	Síla při rychloposuvu konstantní rychlostí dolů	$F_2 = F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh} =$ $= 210,4 - 11340,4 + 11340,4$	$F_2 = 210,4$
3.	Síla při rychloposuvu při zpomalení dolů	$F_3 = -F_a + F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh} =$ $= -11560 + 210,4 - 11340,4 + 11340,4$	$F_3 = -11349,6$
4.	Síla při pracovním posuvu při zrychlení dolů	$F_4 = F_a + F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh} =$ $= 11560 + 210,4 - 11340,4 + 11340,4$	$F_4 = 11770,4$
5.	Síla při prac. posuvu konst. rychlostí dolů	$F_5 = F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh} =$ $= 210,4 - 11340,4 + 11340,4$	$F_5 = 210,4$
6.	Síla při prac. posuvu při zpomalení dolů	$F_6 = -F_a + F_{tr} - F_{hm} + F_{nadleh} =$ $= -11560 + 210,4 - 11340,4 + 11340,4$	$F_6 = -11349,6$
7.	Síla při žádném pohybu	$F_7 = F_{hm} - F_{nadleh} = 11340,4 -$ $- 11340,4$	$F_7 = 0$
8.	Síla při prac. posuvu při zrychlení nahoru	$F_8 = F_a + F_{tr} + F_{hm} - F_{nadleh} =$ $= 11560 + 210,4 + 11340,4 - 11340,4$	$F_8 = 11770,4$
9.	Síla při prac. posuvu konst. rychlostí nahoru	$F_9 = F_{tr} + F_{hm} - F_{nadleh} =$ $= 210,4 + 11340,4 - 11340,4$	$F_9 = 210,4$
10.	Síla při rychloposuvu při zrychlení nahoru	$F_{10} = F_a + F_{tr} + F_{hm} - F_{nadleh} =$ $= 11560 + 210,4 + 11340,4 - 11340,4$	$F_{10} = 11770,4$
11.	Síla při rychloposuvu konst. rychlostí nahoru	$F_{11} = F_{tr} + F_{hm} - F_{nadleh} =$ $= 210,4 + 11340,4 - 11340,4$	$F_{11} = 210,4$
12.	Síla při rychloposuvu při zpomalení nahoru	$F_{12} = -F_a + F_{tr} + F_{hm} - F_{nadleh} =$ $= -11560 + 210,4 + 11340,4 - 11340,4$	$F_{12} = -11349,6$

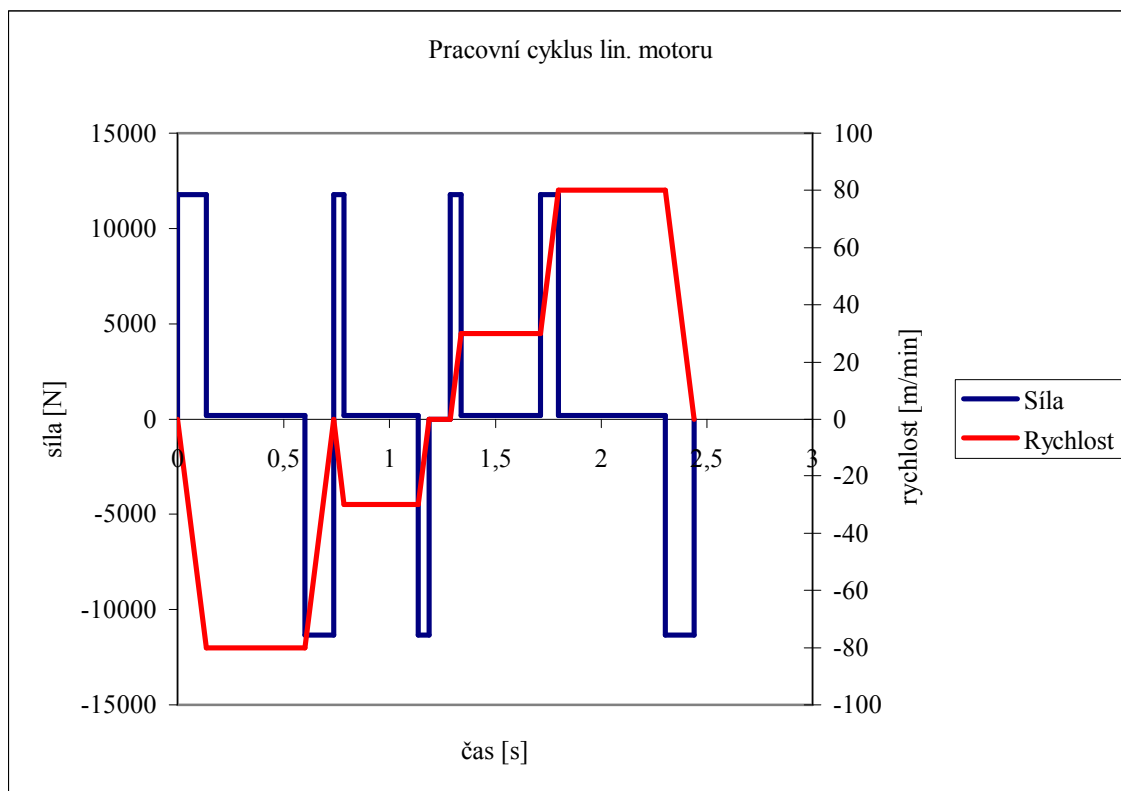
Tabulka 2. Výpočty sil



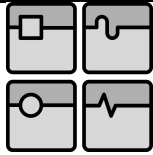
Efektivní síla:

(12)

$$F_{ef} = \sqrt{\frac{(F_1^2 \cdot t_1) + (F_2^2 \cdot t_2) + (F_3^2 \cdot t_3) + (F_4^2 \cdot t_4) + (F_5^2 \cdot t_5)}{t_{celk}}} + \sqrt{\frac{(F_6^2 \cdot t_6) + (F_7^2 \cdot t_7) + (F_8^2 \cdot t_9) + (F_{10}^2 \cdot t_{10}) + (F_{11}^2 \cdot t_{11}) + (F_{12}^2 \cdot t_{12})}{t_{celk}}} = 5901,531 \text{ N}$$

Graf sil a rychlostí:

Obrázek 28. Graf sil a rychlostí pracovního cyklu



6.1.3 Profil časů a drah při navrženém pracovním cyklu (dynamika)

Dáno:

- zrychlení $a = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- rychloposuv $v_{rp} = 80 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} = 1,333 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- pracovní rychlost $v_{pp} = 30 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- dráha rychloposuvu $s_{rp} = 0,8 \text{ m}$
- dráha pracovního posuvu $s_{pp} = 0,2 \text{ m}$

Použité vzorce:

Čas při zrychlení na rychloposuv

$$(13) \quad t = \frac{v_{rp}}{a}$$

Čas při zrychlení na pracovní posuv

$$(14) \quad t = \frac{v_{pp}}{a}$$

Čas při známé dráze při rychloposuvu

$$(15) \quad t = \frac{s}{v_{rp}}$$

Čas při známé dráze při pracovním posuvu

$$(16) \quad t = \frac{s}{v_{pp}}$$

Čas při zrychlení z pracovního posuvu na rychloposuv

$$(17) \quad t = \frac{v_{rp} - v_{pp}}{a}$$

Dráha při známé rychlosti

$$(18) \quad s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Dráha při konstantní rychlosti pracovního posuvu

$$(19) \quad s = s_{pp} - s_{zr} - s_{zp}$$

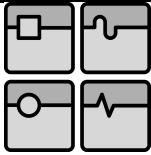
Dráha při konstantní rychlosti pracovního posuvu

$$(20) \quad s = s_{rp} - s_{zr} - s_{zp}$$

Tabulka s výpočty:

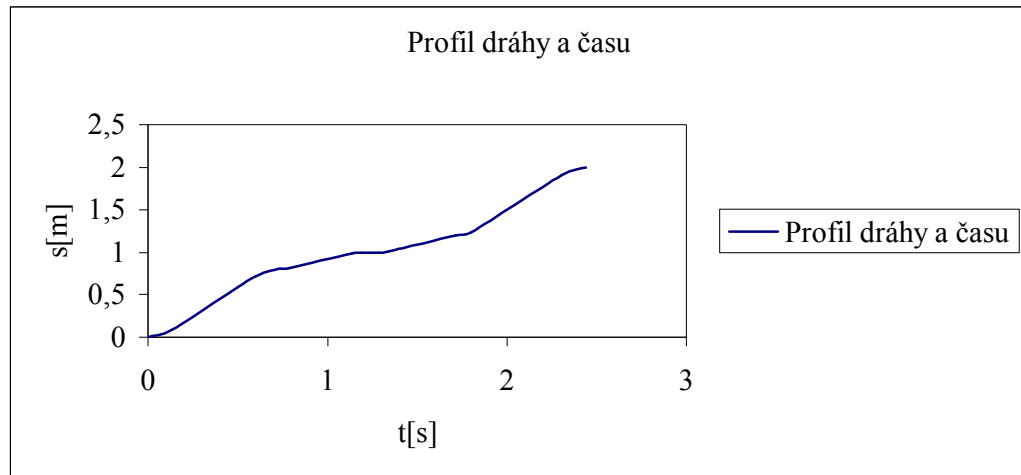
Č. p.	Časy [s]	Dráhy [m]	Vprum [m·s ⁻¹]
1	$t_1 = \frac{v_{rp}}{a} = \frac{1,333}{10} = 0,133$	$s_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,133^2 = 0,089$	40
3	$t_3 = t_1 = 0,133$	$s_3 = s_1 = 0,089$	80
2	$t_2 = \frac{s_2}{v_{rp}} = \frac{0,622}{1,333} = 0,467$	$s_2 = s_{rp} - s_1 - s_3 = 0,8 - 0,089 - 0,089 = 0,622$	40
4	$t_4 = \frac{v_{pp}}{a} = \frac{0,5}{10} = 0,05$	$s_4 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_4^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,05^2 = 0,013$	15
6	$t_6 = t_4 = 0,05$	$s_6 = s_4 = 0,013$	30
5	$t_5 = \frac{s_5}{v_{pp}} = \frac{0,175}{0,5} = 0,35$	$s_5 = s_{pp} - s_4 - s_6 = 0,2 - 0,013 - 0,013 = 0,175$	15
7	$t_7 = 0,1$	$s_7 = 0$	0
8	$t_8 = \frac{v_{pp}}{a} = \frac{0,5}{10} = 0,05$	$s_8 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_8^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,05^2 = 0,013$	15
9	$t_9 = \frac{s_9}{v_{pp}} = \frac{0,188}{0,5} = 0,375$	$s_9 = s_{pp} - s_8 = 0,2 - 0,013 = 0,188$	30
10	$t_{10} = \frac{v_{rp} - v_{pp}}{a} = \frac{1,333 - 0,5}{10} = 0,083$	$s_{10} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{10}^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,083^2 = 0,035$	25
12	$t_{12} = \frac{v_{rp}}{a} = \frac{1,333}{10} = 0,133$	$s_{12} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{12}^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,133^2 = 0,089$	80
11	$t_{11} = \frac{s_{11}}{v_{rp}} = \frac{0,676}{1,333} = 0,507$	$s_{11} = s_{rp} - s_{10} - s_{12} = 0,8 - 0,035 - 0,089 = 0,676$	40

Tabulka 3. Výpočty časů a drah



Celkový čas cyklu:

$$\begin{aligned} (21) \quad t_{celk} &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12} = \\ &= 0,133 + 0,467 + 0,133 + 0,05 + 0,35 + 0,05 + 0,1 + \\ &+ 0,05 + 0,375 + 0,083 + 0,507 + 0,133 = 2,433 \text{ s} \end{aligned}$$



Obrázek 29. Graf závislosti dráhy na čase

6.1.4 Elektrická energie potřebná k napájení lineárního motoru

Elektrická energie napájení:

$$(22) \quad I_{eff} = \frac{F_{max}}{k_F} = \frac{11770,4}{103} = 114,3 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} (23) \quad P_{El} &= P_{Mech} + P_V = F_{max} \cdot v_{max} + 3 \cdot R_{STR} \cdot I_{eff}^2 = \\ &= 11770,4 \cdot 1,333 + 3 \cdot 0,5 \cdot 114,3^2 = 35,3 \text{ kW} \end{aligned}$$

Zhodnocení výpočtu sil a elektrické energie:

Z návrhu variant uspořádání lineárního motoru vyplývá, že budou vybrány dva motory.

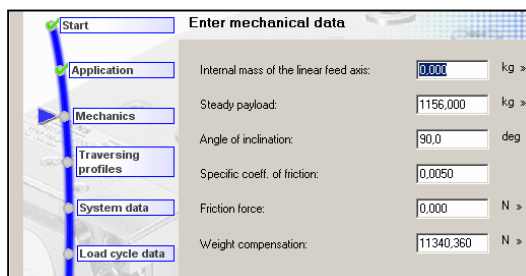
Je tedy potřeba vypočtené síly a potřebnou elektrickou energii vydělit dvěma.

6.2 Volba lineárního motoru výpočetním programem od firmy Siemens

„SINAMICS MICROMASTER SIZER“ je výpočetní program od firmy Siemens. Tento program umožňuje kompletní výpočty pohonů od návrhu převodovky a motoru až po návržení vhodného měniče. Samozřejmě je jak návrh vhodných jisticích a spínacích prostředků, tak i návrh vhodné kabeláže, či různých doplňkových komponentů. V tomto programu je vložen i výpočet lineárního motoru.

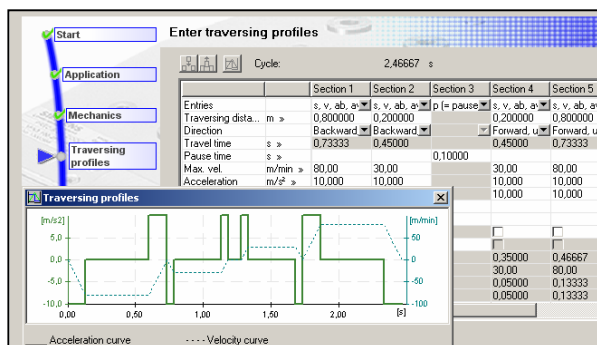
6.2.1 Postup při návrhu motoru v programu SIZER

- vložení základních parametrů
 - hmotnost posuvových hmot
 - úhel naklonění
 - koeficient tření
 - třecí síla
 - váhová kompenzace



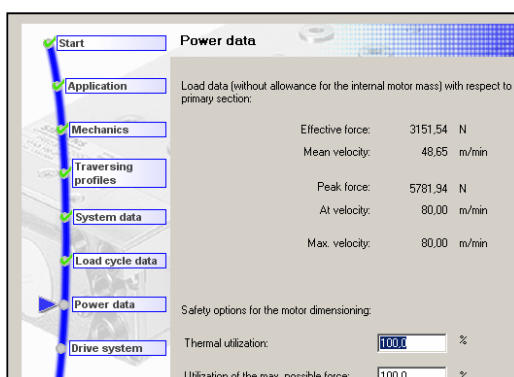
Obrázek 30. Program Sizer 1

- vložení profilu dráhy
 - délka dráhy
 - směr posuvu
 - čas posuvu
 - maximální rychlost
 - zrychlení
 - zpomalen

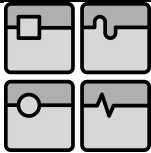


Obrázek 31. Program Sizer 2

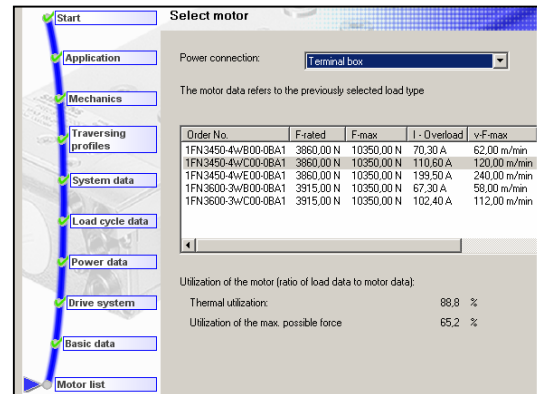
- vložení zátěžových dat
 - tepelná vytíženost
 - vytíženost při maximální síle



Obrázek 32. Program Sizer 3



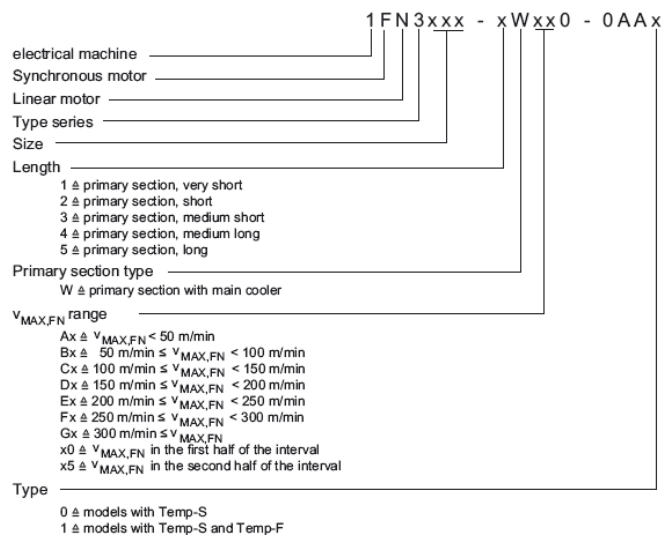
- výběr motoru



Obrázek 33. Program Sizer 4

Podle výpočtů v programu SIZER je volen motor 1FN3450-4WC00-0BA1 (primární část) pro špičkové zatížení (peak load). Hodnoty sil, drah a časů se shodují s 5% odchylkou s kontrolními výpočty. Dva tyto motory jsou namontovány v paralelním uspořádání.

Popis označení motoru:



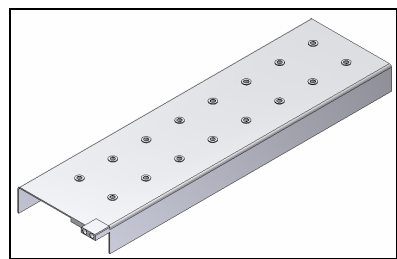
Obrázek 34. Označení lineárního motoru

Parametry motoru (primární část) 1FN3450-4WC00-0BA1:

- jmenovitá síla $F_{\text{rated}} = 3\,860\text{ N}$
- maximální síla $F_{\text{max}} = 10\,350\text{ N}$
- maximální rychlost při F_{max} $v_{(\text{max at } F_{\text{max}})} = 120\text{ m/min}$
- maximální rychlost při F_{rated} $v_{(\text{max at } F_{\text{rated}})} = 275\text{ m/min}$
- jmenovitý proud $I_{\text{rated}} = 37,5\text{ A}$
- maximální proud $I_{\text{max}} = 110,6\text{ A}$

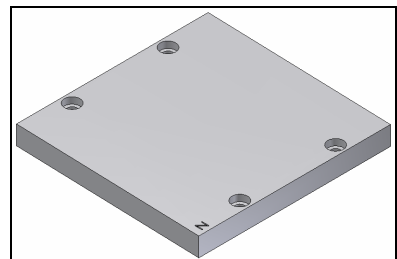
Komponenty potřebné k sestavení celého motoru:

- precizní chlazení primární části 1FN3450-4PK00-0AA0



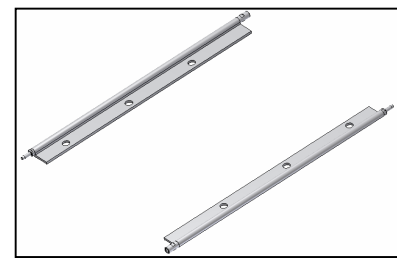
Obrázek 35. Precizní chlazení

- sekundární část 1FN3450-4SA00-0AA0

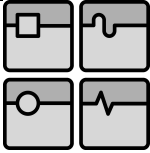


Obrázek 36. Sekundární část motoru

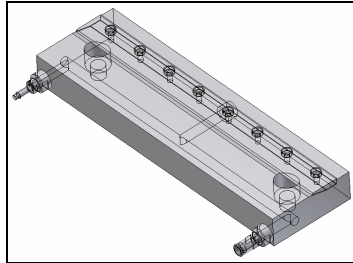
- sekundární chlazení 1FN3453-0TK40-1xx0



Obrázek 37. Sekundární chlazení

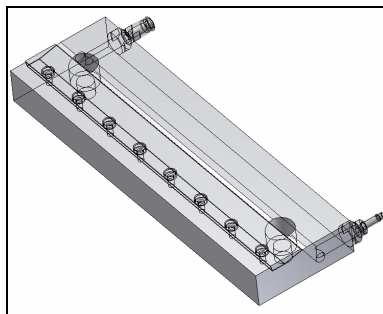


- začátek sekundárního chlazení 1FN3450-0TJ01-0AA0



Obrázek 38. Začátek sekundárního chlazení

- konec sekundárního chlazení 1FN3450-0TF01-0AA0



Obrázek 39. Konec sekundárního chlazení

- krycí pás pro sekundární část 1FN3450-0TB00-1100



Obrázek 40. Krycí pás

6.3 Paralelní uspořádání lineárních motorů

Narozdíl od řízení gantry je paralelní spojení napájeno energií z jednoho měniče. V paralelním spojení mohou spolu pracovat pouze lineární motory stejného typu, což znamená, že mají:

- stejné síly
- stejný typ vinutí
- stejné sekundární části
- stejnou vzduchovou mezeru

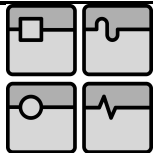
Dva lineární motory mohou být uspořádány buď jako:

- dva lineární motory na jedné sekundární části
- dva lineární motory, každý na své sekundární části

Směr vývodů kabelů je stejný, nebo rozdílný. Motory, které jsou spojeny elektricky paralelně, (Master M a Stoker S) je možné zapojit do čtyř základních uspořádání (viz obr. 36).

	Stejný směr vývodů kabelů	Různý směr vývodů kabelů
Jedna sek. část	<p>Uspořádání tandemové</p>	<p>Spořádání JANUS</p>
Dvě sek. části	<p>Uspořádání paralelní</p>	<p>Uspořádání antiparalelní</p>

Obrázek 41. Uspořádání lineárních motorů



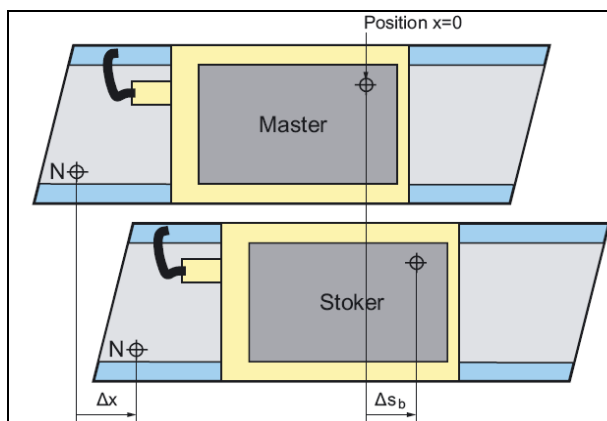
6.3.1 Pozice primárních částí motoru a sled fází

Jestliže jsou lineární motory na sekundárních částech uspořádány paralelně, pozice primárních částí s ohledem na ostatní musí souhlasit se specifickou mříží odpovídající elektrické fázové pozici. V případě oddělených drah sekundárních částí se musí vzít v úvahu pozice jednotlivých drah vůči sobě. Při montáži částí lineárních motorů se může stát, že se dráhy sekundárních částí vůči sobě namontují s určitým posunem. V tom případě se tento posun musí korigovat podle daných pravidel. Musí se dodržet fázový posun daný šířkou pólového páru $2T_M$. Možnosti posunu jsou:

- drah sekundárních částí motorů o Δx
- závitových děr umístěných nejdál od vývodů kabelů o Δs_b

Podle vzorce:

$$(24) \quad \Delta s_b = \Delta x + 2T_M \quad \text{s } n = 0, 1, 2, \dots$$



Obrázek 42. Možnosti posunu částí motoru

6.4 Výpočet průměru pístu pneumatického nadlehčování

Dáno:

- síla od hmotnosti poháněných částí $F_{hm} = 10\,524,129\text{ N}$
- pracovní tlak $p = 500\,000\text{ Pa}$
- rozptyl tlaku $\Delta p = 100\,000\text{ Pa}$
- zdvih $L = 1\text{ m}$

Celková plocha obou pístů:

$$(25) \quad S = \frac{F}{p} = \frac{10524,129}{500000} = 0,021\text{ m}^2$$

Plocha jednoho pístu:

$$(26) \quad S_1 = \frac{S}{2} = \frac{0,021}{2} = 0,011\text{ m}^2$$

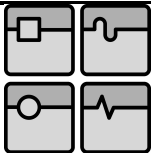
Průměr jednoho pístu:

$$(27) \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,011}{\pi}} = 0,116\text{ m}$$

Objem plynu v obou válcích:

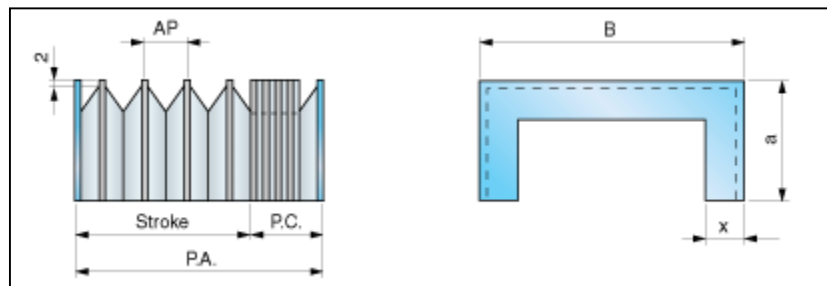
$$(28) \quad V = S \cdot L = 0,021 \cdot 1 = 0,021\text{ m}^3$$

Pro pneumatické nadlehčování je potřeba objem zásobníku 21 l. Pro oba válce bude použit zásobník o objemu 40 l. Pneumatické válce budou použity od firmy Bosch-Rexroth. Jejich rozměry a parametry budou konzultovány s výrobcem a budou vyrobeny na zakázku, aby vyhovovaly požadavkům konstrukčního řešení. Pneumatické nadlehčování je zde řešeno pro pomoc při návrhu lineárního motoru a volbu zástavbového prostoru v kostce tak, aby se tam navrhnutý průměr válce vešel.



6.4 Výpočet délky krytování suportu

Dáno:



Obrázek 43. Popis krytování

- šířka okrajového plechu $x = 45 \text{ mm}$
- vnější výška okrajového plechu $a = 582 \text{ mm}$
- vnější šířka okrajového plechu $B = 522 \text{ mm}$
- tloušťka látky $SM = 0,35 \text{ mm}$
- tloušťka výztuhy $SS = 1,5 \text{ mm}$
- tloušťka okrajového plechu $SF = 5 \text{ mm}$
- roztažená délka krytování $PA = 1150 \text{ mm}$

Roztažená délka jednoho ohybu:

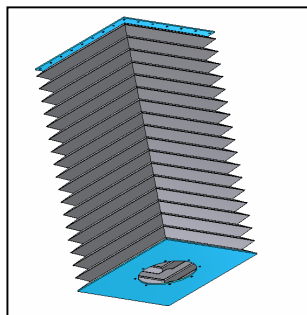
$$(29) \quad AP = x \cdot 2 - 8 = 45 \cdot 2 - 8 = 82 \text{ mm}$$

Stažená délka krytování:

$$(30) \quad PC = (SM \cdot 8 + SS) \cdot NP + (SF \cdot 2) = (0,35 \cdot 8 + 15) \cdot 17 + (5 \cdot 2) = 83,1 \text{ mm}$$

Počet ohybů:

$$(31) \quad NP = \frac{PA}{AP} + 2 = \frac{1150}{82} \cong 17$$



Obrázek 44. Krytování suportu

7 TRIBOTECHNIKA

Mazání stroje bude provedeno centrálně, stejným olejem se bude mazat jak lineární vedení, tak i vřeteno. Pouze se liší dodávané množství u jednotlivých dílů, které zajišťuje dávkovač. Z uživatelského návodu firmy Trimill jsou doporučeny oleje pod označením G68, které vyhovují mazání výše uvedených součástí.

Označení oleje (ISO)	G 68	HM 46
Použití	Systém mazání	Hydraulický agregát
Ort	1	3
Viskozita ISO Grade (40°C) (mm ² /s)	68	46
Viskozita ASTM, SUS (100°F)	315	215
Hustota (15°C) (g/cm ³)	0,887	0,879
Bod vzplanutí (°C/°F)	256/493	214/417
Bod tuhnutí (°C/°F)	-18/-0,4	-8/-0,4
Výrobce	Ozn.výr.	Ozn. Výr.
CASTROL	TRIBOL 1100/68	HYSPIN AWS 46
EXXON MOBIL	SHC 626 (XP68)	DTE 25
SHELL	TELLUS S	TELLUS OIL 46
OPTIMOL	OPTIGEAR BM68	HYDO MV-46
ARAL	DEGOL BG68	VITAM GF46
TOTAL	-	AZOLLA ZS46

Tabulka 4. Srovnávací tabulka maziv

8 ANALÝZA RIZIK

Citováno z podkladů [5]:

Všeobecný 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

Identifikaci nebezpečí se u strojního zařízení provádí v souladu s českými technickými normami ČSN EN 1050, 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

Formulář pro odhad rizika při montáži svislého suportu do kostky horizontálního suportu je vložen jako příloha.

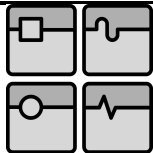
 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

9 ANALÝZA SHODY

Protože je řešen pouze jeden z více pracovních uzlů obráběcího stroje, bude analýza shody řešena až pro celý stroj.

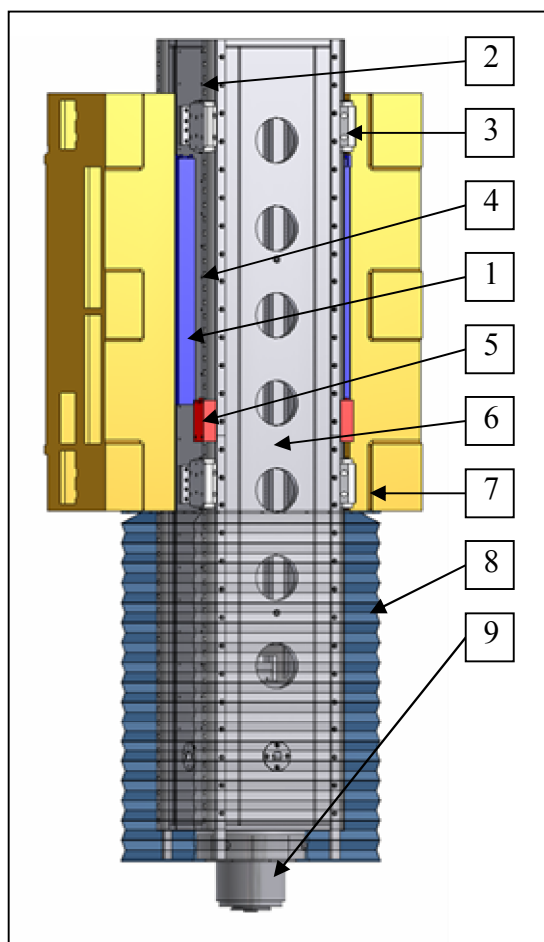
10 EKONOMICKÁ ANALÝZA

Protože je řešen pouze jeden z více pracovních uzlů obráběcího stroje, bude ekonomická analýza řešena až pro celý stroj.



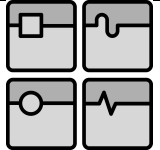
11 ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je návrh konstrukčního uzlu vertikálního suportu vysokorychlostního obráběcího centra firmy Trimill s lineárním motorem. Podle zadání je teoreticky vypočítána statika a dynamika (síly, časy, rychlosti) pohybů lineárních motorů, velikost plochy pístu pneumatického nadlehčování a rozměry krytování vertikálního suportu. Výpočty pro lineární motory se s 5% odlišností shodují s výsledky programu SIZER od firmy Siemens, který je pro tyto účely vytvořen. Dále je vytvořen 3D model pracovní skupiny stroje s vertikálním suportem a lineárními motory (viz. Obrázek 45) a technická dokumentace vybraných součástí. Stroj bude používán v leteckém průmyslu pro hrubovací i dokončovací práce na velkých obrocích. Místo kuličkových šroubů na všech osách budou použity lineární motory s vyšší dynamikou, které zmenší celkové časy obráběcích cyklů.



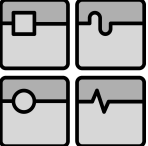
- 1 ... primární část lineárního motoru
- 2 ... sekundární část lineárního motoru
- 3 ... vozík lineárního vedení
- 4 ... lineární vedení
- 5 ... brzdící a svírací prvek
- 6 ... svařovaný suport
- 7 ... kostka
- 8 ... harmonikové krytování
- 9 ... elektrovřeteno WEISS

Obrázek 45. Popis suportu s lineárním motorem

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

12 SEZNAM POUŽITÝCH NOREM

1. ČSN ISO 230-1. *Zásady zkoušek obráběcích strojů - Část 1: Geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za dokončovacích podmínek obrábění*
2. ČSN EN 12786. *Bezpečnost strojních zařízení - Návod pro tvorbu ustanovení o vibracích v bezpečnostních normách*
3. ČSN ISO 5170. *Obráběcí stroje. Mazací systémy*
4. ČSN ISO 5169. *Obráběcí stroje. Provedení návodu k mazání*
5. ČSN ISO 9524. *Obráběcí stroje - Čelní plochy těles uložení vřeten u obráběcích center - Funkční rozměry*
6. ČSN ISO 10791-2. *Podmínky zkoušek pro obráběcí centra - Část 2: Zkoušky geometrické přesnosti strojů se svislou osou vřetena nebo s univerzálními hlavami se svislou primární osou otáčení (svislá osa Z)*
7. ČSN ISO 10791-4. *Podmínky zkoušek pro obráběcí centra - Část 4: Přesnost a opakovatelnost nastavení polohy v lineárních a otočných osách*
8. ČSN ISO 10791-6. *Podmínky zkoušek pro obráběcí centra - Část 6: Přesnost posuvů, frekvence otáčení a interpolací*
9. ČSN EN 12417. *Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů - Obráběcí centra*
10. ČSN EN 14610. *Svařování a příbuzné procesy - Definice metod svařování kovů*
11. ČSN EN ISO 9692-2. *Svařování a příbuzné procesy*
12. ČSN EN ISO 9692-4. *Svařování a příbuzné procesy - Doporučení pro přípravu svarových spojů - Část 4: Plátované oceli*

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

13. ČSN EN ISO 13920. *Svařování - Všeobecné tolerance svařovaných konstrukcí – Délkové a úhlové rozměry - Tvar a poloha*
14. ČSN EN ISO 15609-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Stanovení postupu svařování - Část 1: Obloukové svařování*

13 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Knihy

[1] BRENÍK, P.; PÍČ, J. Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty. 2. vyd. Praha: SNTL, 1986. 573 s. ISBN 04-235-86

[2] ŽENÍŠEK, J.; JENKUT, M. Výrobní stroje a zařízení. 2. vyd. Praha: SNTL, 1990. 276 s. ISBN 04-222-90

Podklady pro výpočtovou část

[3] Katalog Siemens, sinumerik & sinamics (Automation systém for machine tools), 2007/2008

[4] Konfigurační manuál Siemens, SIMODRIVE 1FN1 and 1FN3 type linear motor, PJLM.pdf

[5] PETR BLECHA.: *Bezpečnost strojních zařízení: pdf podklady k výuce.*
ZDAS_2007_z.pdf

Elektronické zdroje informací

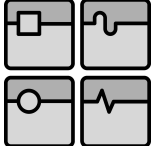
[6] Trimill - výrobce vysokorychlostních obráběcích center. [online] [cit. 20.2.2008]
Dostupné z: <www.trimill.cz>

[7] Siemens – technika pohonů [online] [cit. 23.2.2008] Dostupné z:
<www1.siemens.cz/ad/current/index.php?nid=164>

[8] Etel – výrobce lineárních motorů. [online] [cit. 23.2.2008] Dostupné z:
<www.etel.ch/linear_motors>

[9] Bosch-Rexroth – výrobce lineárních motorů. [online] [cit. 23.2.2008] Dostupné z:
<www.boschrexroth.com>

[10] INA – výrobce lineárních vedení. [online] [cit. 23.2.2008] Dostupné z:
<www.ina.de>

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

[11] Heidenhain – lineární, úhlové a rotační snímače polohy. [online] [cit. 23.2.2008]

Dostupné z: <www.heidenhain.cz>

[12] Poličské strojírny – výroba pneumatických válců a pohonů. [online] [cit. 2.3.2008]

Dostupné z: <www.pos.cz/htm/pneus.htm>

[13] KSK Kuřim – výroba kuličkových šroubů. [online] [cit. 12.2.2008] Dostupné z:

<www.ks-kurim.cz>

[14] Hiwin – výroba kuličkových šroubů. [online] [cit. 12.2.2008] Dostupné z:

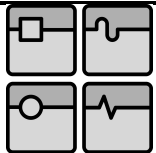
<www.hiwin.cz/page,14,de.php>

[15] MM Průmyslové spektrum - strojírenský měsíčník. [online] [cit. 20.3.2008]

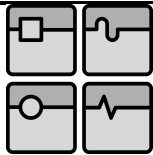
Dostupné z: <www.mmspektrum.com>

[16] PEI – výrobce krytování obráběcích strojů. [online] [cit. 3.5.2008]

Dostupné z: <www.pei.com>

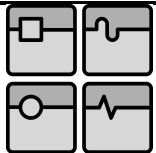
**14 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ**

Symbol	Jednotka	Popis symbolu
a	[m/s]	Zrychlení suportu
a	[mm]	Vnější výška okrajového plechu
AP	[mm]	Roztažená délka jednoho ohybu
B	[mm]	Vnější šířka okrajového plechu
D	[m]	Průměr pístu
F_0	[N]	Síla způsob. hmot. vedení energií, třením vozíčků
F_1	[N]	Síla při rychloposuvu při zrychlení dolů
F_{10}	[N]	Síla při rychloposuvu při zrychlení nahoru
F_{11}	[N]	Síla při rychloposuvu konst. rychlostí nahoru
F_{12}	[N]	Síla při rychloposuvu při zpomalení nahoru
F_2	[N]	Síla při rychloposuvu konst. rychlostí dolů
F_3	[N]	Síla při rychloposuvu při zpomalení dolů
F_4	[N]	Síla při prac. posuvu při zrychlení dolů
F_5	[N]	Síla při prac. posuvu konst. rychlostí dolů
F_6	[N]	Síla při prac. posuvu při zpomalení dolů
F_7	[N]	Síla při žádném pohybu
F_8	[N]	Síla při prac. posuvu při zrychlení nahoru
F_9	[N]	Síla při prac. posuvu konst. rychlostí nahoru
F_a	[N]	Síla při zrychlení
F_{ef}	[N]	Efektivní síla
F_{hm}	[N]	Síla způsobena hmotností
F_{max}	[N]	Maximální síla
F_{nadleh}	[N]	Síla od váhové kompenzace
F_{prit}	[N]	Přitažlivá síla mezi prim. a sec. částí motoru
F_{rated}	[N]	Nominální síla lin. motoru



DIPLOMOVÁ PRÁCE

F_{tr}	[N]	Třecí síla
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
I_{eff}	[A]	Efektivní proud
I_{max}	[A]	Maximální proud
I_{rated}	[A]	Nominální proud
m_{celk}	[kg]	Celková hmotnost suportu
NP	[-]	Počet ohybů
p	[Pa]	Pracovní tlak pneumatického nadlehčování
PA	[mm]	Roztažená délka krytování
PC	[mm]	Stažená délka krytování
P_{El}	[W]	Vstupní elektrický výkon lin. motoru
P_{Mech}	[W]	Dodaný mechanický výkon
P_V	[W]	Působící ztrátový výkon
R_{STR}	[W]	Třaťový odpor
S	[mm ²]	Celková plocha dvou pístů
S_1	[mm ²]	Plocha jednoho pístu
s_1	[m]	Dráha při rychloposuvu při zrychlení dolů
s_{10}	[m]	Dráha při rychloposuvu při zrychlení nahoru
s_{11}	[m]	Dráha při rychloposuvu konst. rychlostí nahoru
s_{12}	[m]	Dráha při rychloposuvu při zpomalení nahoru
s_2	[m]	Dráha při rychloposuvu konst. rychlostí dolů
s_3	[m]	Dráha při rychloposuvu při zpomalení dolů
s_4	[m]	Dráha při prac. posuvu při zrychlení dolů
s_5	[m]	Dráha při prac. posuvu konst. rychlostí dolů
s_6	[m]	Dráha při prac. posuvu při zpomalení dolů
s_7	[m]	Dráha při žádném pohybu
s_8	[m]	Dráha při prac. posuvu při zrychlení nahoru
s_9	[m]	Dráha při prac. posuvu konst. rychlostí



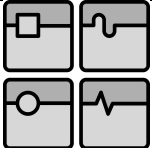
DIPLOMOVÁ PRÁCE

		nahoru
SF	[mm]	Tloušťka okrajového plechu
SM	[mm]	Tloušťka látky
s_{pp}	[m]	Dráha pracovního posuvu
s_{rp}	[m]	Dráha rychloposuvu
SS	[mm]	Tloušťka výztuhy
s_{zp}	[m]	Dráha při zpomalení
s_{zr}	[m]	Dráha při zrychlení
t_1	[s]	Čas při rychloposuvu při zrychlení dolů
t_{10}	[s]	Čas při rychloposuvu při zrychlení nahoru
t_{11}	[s]	Čas při rychloposuvu konst. rychlostí nahoru
t_{12}	[s]	Čas při rychloposuvu při zpomalení nahoru
t_2	[s]	Čas při rychloposuvu konst. rychlostí dolů
t_3	[s]	Čas při rychloposuvu při zpomalení dolů
t_4	[s]	Čas při prac. posuvu při zrychlení dolů
t_5	[s]	Čas při prac. posuvu konst. rychlostí dolů
t_6	[s]	Čas při prac. posuvu při zpomalení dolů
t_7	[s]	Čas při žádném pohybu
t_8	[s]	Čas při prac. posuvu při zrychlení nahoru
t_9	[s]	Čas při prac. posuvu konst. rychlostí nahoru
V	[l]	Objem vzdušníku pneumatického nadlehčování
$V_{(\max \text{ at } F_{\max})}$	[m/s]	maximální rychlost při F_{\max}
$V_{(\max \text{ at } F_{\text{rated}})}$	[m/s]	maximální rychlost při F_{rated}
V_{\max}	[m/s]	Maximální rychlost
V_{pp}	[m/s]	Rychlost pracovního posuvu
V_{rp}	[m/s]	Rychlost rychloposuvu
x	[mm]	Šířka okrajového plechu
Δp	[Pa]	Rozptyl tlaku

15 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1. Obráběcí centrum Trimill VC 3016.....	12
Obrázek 2. Patent č.1	13
Obrázek 3. Patent č.2.....	14
Obrázek 4. Popis svislého suportu	17
Obrázek 5. Kuličkový šroub	18
Obrázek 6. Lineární vedení INA	19
Obrázek 7. Elektrovřeteno WEISS.....	20
Obrázek 8. Lineární měření Haidenhain.....	20
Obrázek 9. Návrh svarku	21
Obrázek 10. Popis lineárního motoru.....	22
Obrázek 11. Konstrukce s lineárním motorem	22
Obrázek 12. Lineární motor Bosch-Rexroth.....	23
Obrázek 13. Lineární motor ETEL.....	24
Obrázek 14. Lineární motory Siemens	24
Obrázek 15. Popis pneumatického nadlehčování.....	25
Obrázek 16. Krytování.....	25
Obrázek 17. Brzdící prvek	26
Obrázek 18. Montáž brzdících vozíčků	26
Obrázek 19. Litinový tubus suportu	27
Obrázek 20. Profil	28
Obrázek 21. Analýza svařence profilu č.1	28
Obrázek 22. Profil	29
Obrázek 23. Analýza svařence profilu č.2	29
Obrázek 24. Profil	29
Obrázek 25. Analýza svařence profilu č.3	29
Obrázek 26. Jeden lin. motor	31
Obrázek 27. Dva paralelně uspořádané motory	31
Obrázek 28. Graf sil a rychlostí pracovního cyklu.....	36
Obrázek 29. Graf závislosti dráhy na čase.....	39
Obrázek 30. Program Sizer 1	40
Obrázek 31. Program Sizer 2	40

Obrázek 32. Program Sizer 3	40
Obrázek 33. Program Sizer 4	41
Obrázek 34. Označení lineárního motoru	41
Obrázek 35. Precizní chlazení	42
Obrázek 36. Sekundární část motoru	42
Obrázek 37. Sekundární chlazení	42
Obrázek 38. Začátek sekundárního chlazení	43
Obrázek 39. Konec sekundárního chlazení	43
Obrázek 40. Krycí pás	43
Obrázek 41. Uspořádání lineárních motorů	44
Obrázek 42. Možnosti posunu částí motoru	45
Obrázek 43. Popis krytování	47
Obrázek 44. Krytování suportu	47
Obrázek 45. Popis suportu s lineárním motorem	51
Tabulka 1. Výběrové kritéria svarku	30
Tabulka 2. Výpočty sil	35
Tabulka 3. Výpočty časů a drah	38
Tabulka 4. Srovnávací tabulka maziv	48

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 61
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

16 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Formulář pro odhad rizika při montáži svislého suportu do kostky horizontálního suportu

Příloha 2. Výkres 08-A0-OS-1000

Příloha 3. Výkres 08-A1-OS-1000-001 (list 1)

Příloha 4. Výkres 08-A1-OS-1000-001 (list 2)

Příloha 5. Výkres 08-A1-OS-1000-001 (list 3)

Příloha 6. Výkres K-08-A1-OS-1000 (list 1)

Příloha 7. Výkres K-08-A1-OS-1000 (list 2)