	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 1
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Abstrakt:

Tématem této diplomové práce je konstrukční řešení automatu pro výrobu keramických forem pro technologii přesného lití dle zadaných parametrů.

V první části se zabývám návrhem mechanické části stroje včetně kinematických, dynamických i pevnostních výpočtů vybraných uzlů a strojních komponentů.

V další části navrhuji řídicí část stroje.

Abstract:

The theme of this thesis is the engineering design of the automaton for the ceramic moulds production for the shell casting technology.

In the first part of the thesis I occupy with the design of the mechanical part of the machine including the kinematic, dynamic and strength calculations of the chosen engineering compositions and components.

In the next part of the thesis I design the control part of the machine.

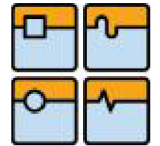
Klíčová slova:

přesné lití, keramická forma, PLC

Key words:

cire perdue, ceramic mold, PLC

ROUŠ, J. *Automat pro výrobu keramických forem pro technologii přesného lití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 42 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Bradáč, Ph.D.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 2
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně podle pokynů vedoucího diplomové práce a s použitím uvedené literatury.

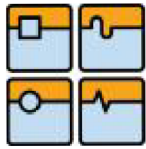
V Břeclavi dne 25. května 2010

.....

Jaroslav Rouš

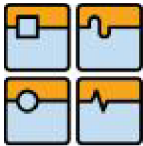
Poděkování:

Děkuji všem, kteří mi poskytli cenné rady a pomoc při zpracovávání této diplomové práce. Děkuji především Ing. Luboru Kožďálovi z firmy Ilukos s.r.o. a vedoucímu diplomové práce Ing. Františku Bradáčovi Ph.D.

**Obsah:**

ABSTRAKT:	1
KLÍČOVÁ SLOVA:	1
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:	2
PODĚKOVÁNÍ:	2
OBSAH:	3
1 ÚVOD	5
1.1 Technologie přesného lití	5
1.2 Přehled užitých termínů	5
1.3 Stručný popis technologie vytavitelného modelu	5
1.4 Bližší popis jednotlivých operací	5
2 POPIS STROJE	7
2.1 Požadovaná funkce stroje	7
2.2 Požadované parametry stroje	8
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MECHANICKÉ ČÁSTI	9
3.1 Návrh koncepce stroje	9
3.1.1 Návrh číslo 1	9
3.1.2 Návrh číslo 2.....	9
3.2 Mechanické části stroje	10
3.2.1 Rám stroje.....	10
3.2.2 Posuv nádoby s keramickou břechkou	11
3.2.2.1 Otáčky motoru a poměr řemenového převodu	11
3.2.2.2 Moment motoru	12
3.2.2.3 Převod ozubeným řemenem	14
3.2.2.4 Posuvový šroub.....	15
3.2.2.5 Krytování posuvu.....	15
3.2.2.6 Dimenzování lineárního vedení	15
3.2.3 Otoč s držáky stromečků.....	15
3.2.3.1 Otáčky otoče	16
3.2.3.3 Převod válečkovým řetězem	18
3.2.3.4 Náboj s hřídelí	18

3.2.3.4.1 Výpočty zatížení hřídele	18
3.2.3.4.2 Ložiska náboje	22
3.2.3.5 Svěrné spojení	23
3.2.3.6. Protáčení ramene s upínací kleštinou	23
4 ŘÍZENÍ STROJE	25
4.1 Popis hlavních částí řídicího programu	26
4.1.1 Inicializace stroje.....	26
4.1.2 Rotace otoče o 90°	27
4.1.3 Vývojový diagram hlavního programu	27
4.2 Použité komponenty řídicí části stroje	27
4.2.1 Senzory stavů pohybových os	27
4.2.2. Řídící PLC	27
4.2.2.1 Energetická bilance PLC	28
4.2.3 Zdroj 24V DC	30
4.2.4 Stykače	30
4.2.5 Frekvenční měnič.....	30
4.2.5.1 Nastavení frekvenčního měniče	30
4.2.6 Motorové spouštěče.....	32
4.3. Návrh elektrického zapojení	32
5 BEZPEČNOST PROVOZU STROJE.....	34
5.1 Stanovení stupně rizikovosti dle ČSN EN 14121	34
6. ZÁVĚR	37
6.1 Zhodnocení mechanické části	37
6.2 Zhodnocení řídicí části	37
6.3 Technicko-ekonomické zhodnocení	38
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	41
9 SEZNAM PŘÍLOH.....	42
9.1 Výkresová dokumentace	42
9.2 Přílohy na CD-ROM	42

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

1 Úvod

1.1 Technologie přesného lití

Technologie výroby odlitků metodou přesného lití je stará již 5 tisíc let. Tato technologie je však shodná s dnešními moderními postupy jen v principu. Přestože jde o velmi starý princip výroby, zaujímá i v dnešní době jedno z předních míst mezi slévárenskými technologiemi. Důvodem obliby této technologie je fakt, že výrobky se odlévají ve formách s vysokou přesností „téměř na hotovo“, tzn. bez nutnosti dalšího opracovávání, čímž se šetří výrobní náklady na konečný produkt. Cenová dostupnost výroby matečné formy dělá tuto technologii rentabilní i v malosériové výrobě. Technologie přesného lití pomocí vytavitelného modelu má své místo jak širokém spektru strojírenské výroby (automobilový, letecký průmysl atd.), tak ve výrobě uměleckých a dekorativních předmětů.

1.2 Přehled užitých termínů

Keramická břechka – hmota v kapalném stavu skládajícího se z pojiva a plniva pro nanesení posypového materiálu (blíže viz. kap. 1.4).

Stromeček – několik drobných modelů spojený z technologických důvodů v jeden kus (blíže viz. kap. 1.4).

Otoč – polohovadlo se čtyřmi rameny, do kterých se upínají stromečky s modely.

1.3 Stručný popis technologie vytavitelného modelu

Při výrobě odlitků nejdříve vytvoříme voskový model (vstříkáním do matečné formy - obr. 1/A) zdroj [4], ten se pak spolu s dalšími modely připojí ke vtokové (také z vosku - obr.1/B), a takto vytvořený voskový stromeček se pak postupně obaluje keramickou hmotou (obr. 1/C,D,E). Poté následuje vytavení vosku z keramické formy (obr.1/F) a její tepelné zpracování žiháním. Odlévá se převážně do žhavých forem (obr.1/G). Následují dokončující operace - odstranění skořepiny (obr.1/H). a tryskání povrchu odlitků, které se před touto operací odstraní od vtokové soustavy většinou odřezáním (obr. 1/CH).

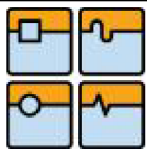
1.4 Bližší popis jednotlivých operací

- Zhotovení voskového modelu

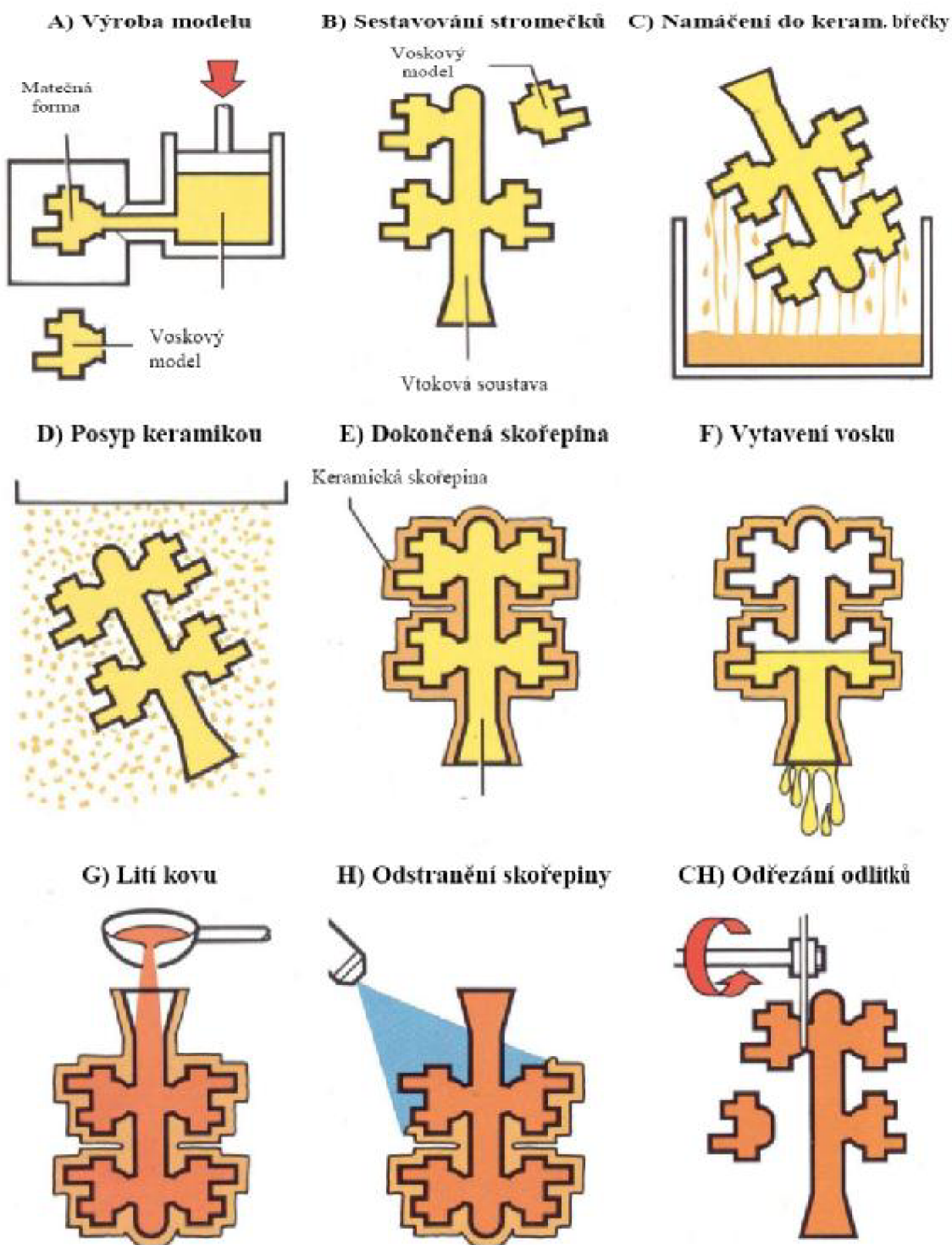
Na kvalitě voskového modelu závisí kvalita hotového odlitku rozhodující měrou. Voskový model se vyrábí gravitačním litím (nad teplotou likvidu vosku), odstříknutím za působení vyššího tlaku (0,5-1MPa) těsně pod teplotou likvidu z tzv. napěněného vosku), nebo odstříknutím za působení vyššího tlaku (2,5-5 MPa) pod teplotou likvidu z těstovitého stavu. Matečné formy jsou většinou kovové.

- Sestavení voskových modelů

Po „vyzráním“ (stabilizaci) voskového modelu (min 24hod), kdy se drobnější modely sestavují do tzv. stromečků pomocí pájení nebo lepení.



Tvar stromečku ovlivňuje: připojení modelů, technika obalování, vytavování, lití a oddělování odlitků od vtokové soustavy.



Obr.1 Posloupnost technologických kroků při výrobě odlitků metodou přesného lití (zdroj [4]).

- Obalování modelů

Provádí se postupným ponořením modelu (stromečku) do obalové keramické břechky. Ta se stává z pojiva (alkoholy nebo hydrosoly) a plniva (nejčastěji keramická moučka). Po vytažení modelu z obalové hmoty a jejím optimálním okapaní se na model nanáší posypový materiál – ostřívo, buď fluidním nebo sprchovým způsobem.

- Sušení obalů

Jednotlivé obaly se suší na vzduchu (řízená teplota, vlhkost a proudění) nebo působením plynného činidla (čpavku).

- Vytavování modelové hmoty

Provádí se:

A) Za vysoké teploty

- vložení do pece o teplotě min. 750°C s následným žiháním na 900 - 1000°C

B) Za nízké teploty

- ve vroucí vodě
- v autoklávu v přehřáté páře (0,3-0,6 MPa, t=135-165°C)
- dielektrickým ohřevem (ohřev navlhčené skořepiny umístěné v poli vysokofrekvenčních oscilací)
- proudem teplého vzduchu (do středu voskového modelu)

- Žihání skořepiny

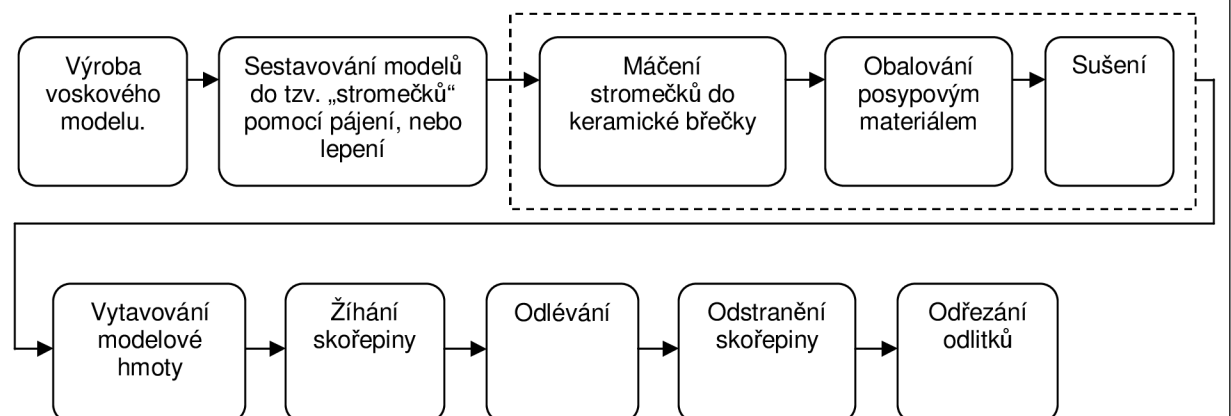
Slouží k převedení amorfni formy vazné vrstvičky SiO₂ na formu krystalickou, při současném odstranění všech těkavých látek. Teplota žihání bývá v rozmezí 900 - 1000°C (pro SiO₂) pro molochit, korund aj. jsou teploty vyšší – 1200-1400°C.

- Odlévání

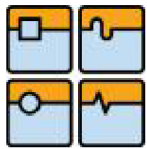
Provádí se buď na vzduchu (otevřené lití) nebo ve vakuu (vakuové lití). Keramické formy jsou při teplotě lití buď na teplotě 700-800°C (těsně po vytažení z žihací pece – tzv. lití do žhavých forem) nebo na teplotě okolí (lití do studených forem – nelze aplikovat u forem křemenných pro nebezpečí jejich popraskání při chladnutí v důsledku transformace křemene při 572°C).

2 Popis stroje

2.1 Požadovaná funkce stroje



Obr.2 Označená skupina kroků vyznačující práci stroje



Na obr.2 je čárkovanou čarou označena ta část technologického postupu, kterou bude zastávat navrhovaný stroj.



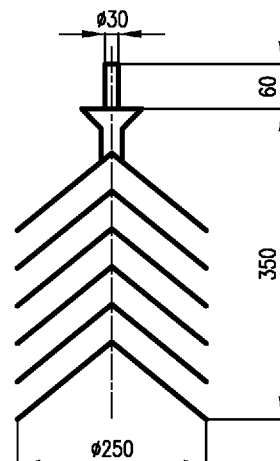
Obr.3 ↑ Obr.4 →
Příklady výrobků vyráběných na stroji

Máčení stromečků v keramické břečce, posypání obalovým materiálem a sušení se provádí ve třech až čtyřech vrstvách. První vrstvu pracovník obalí manuálně, poté stromečky upne do stroje a ten v 6-ti hodinových intervalech nanese zbylé 2-3 vrstvy. Kvalita provedení první obalové vrstvy má zásadní vliv na konečnou jakost keramické formy, a to je hlavní důvod prvního ručního posypu zkušeným pracovníkem. Bez ohledu na to, zda je proces máčení spuštěn nebo dokončen, musí se v pravidelných intervalech promíchávat keramická břečka. Je to z důvodu vznikajícího sedimentu na dně nádoby. Kdyby nedocházelo k pravidelnému promíchání kapaliny docházelo by k rychlé degradaci její kvality a její nákladné předčasné výměně.

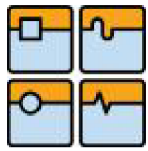
Hlavní těžiště výrobků vyráběné na stroji jsou umělecké předměty (sošky, suvenýry a jiné bytové doplňky). Není proto nutné dosahovat u výrobků takové přesnosti jako u zboží dodávané pro strojní průmysl. Proto se sušení provádí pouze v přirozeném prostředí bez řízené teploty a vlhkosti.

2.2 Požadované parametry stroje

Průměr stromečku max. 250mm
Délka stromečku 350mm pro vtokový otvor
Hmotnost stromečku max.5kg
Rychlost noření do keramické břečky $0,015\text{ms}^{-1}$
Počet stromečků na stroji 3 ks



Obr.5
Základní rozměry stromečku s modely



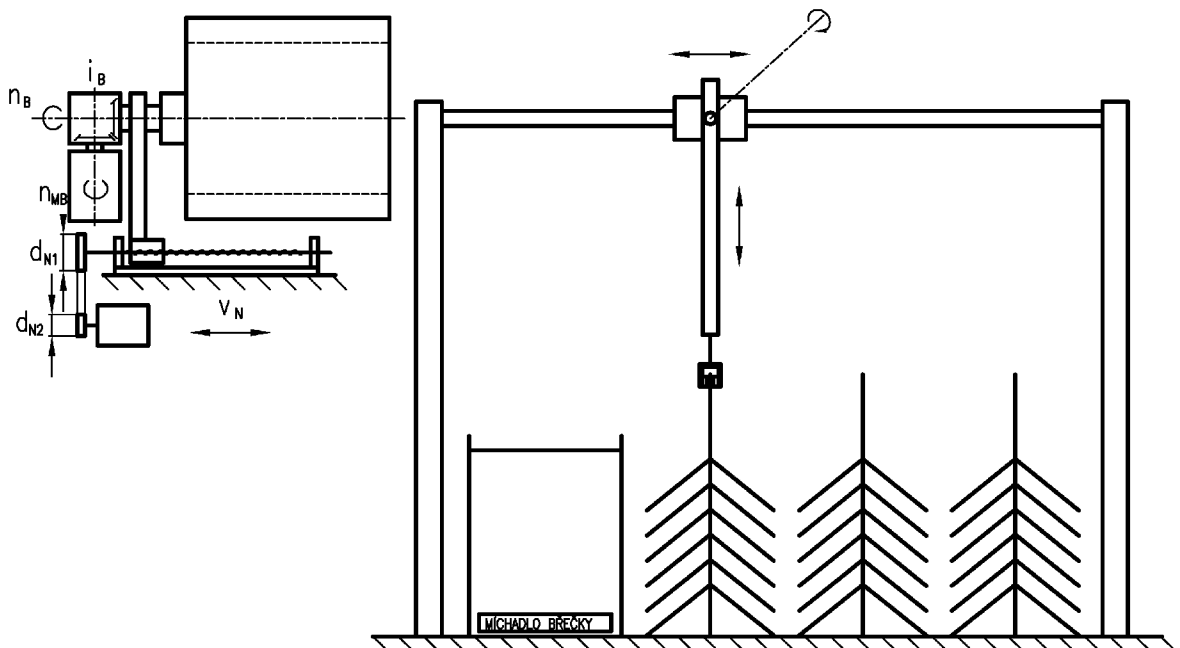
3 Konstrukční řešení mechanické části

3.1 Návrh koncepce stroje

Při návrhu koncepce stroje byl kladen důraz na jednoduchost stavby, malý zastavěný prostor a minimální počet řízených os stroje. Ze dvou konečných koncepčních návrhů byl po konzultaci se zadavatelem práce vybrán návrh č. 2. Při zvoleném řešení je výhodnější stroj navrhnout na 4ks stromečků než na 3ks (dle původního zadání diplomové práce). Po odsouhlasení zadavatelem byl tedy konečný počet modelů pro jeden pracovní cyklus upraven na 4.

3.1.1 Návrh číslo 1

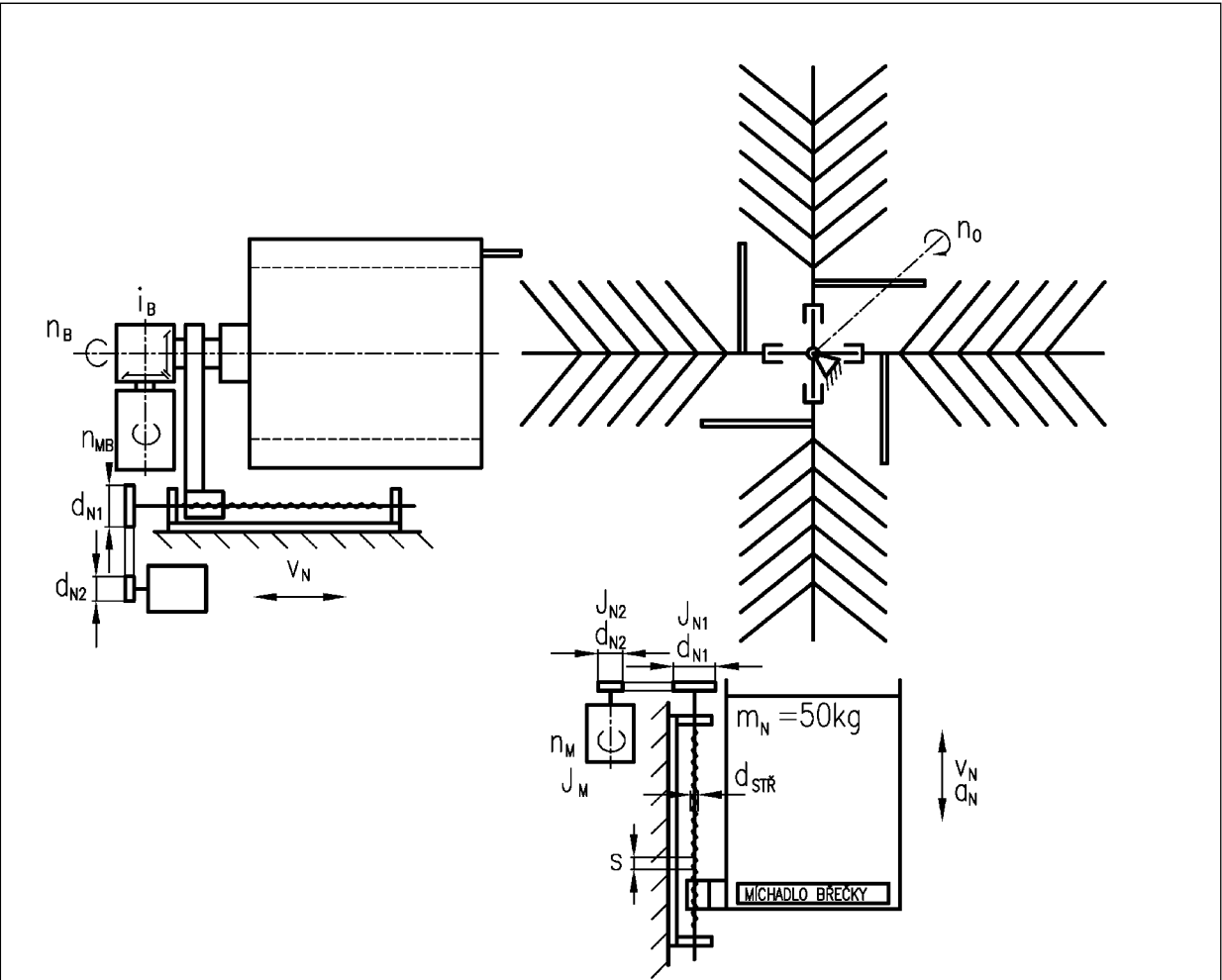
- + celý proces navržen na 3 řízené osy 2x translace + 1x rotace
- + možnost rozšíření na větší počet modelů
- větší zastavěný prostor
- nutnost výměny stromečků v polohovadle během procesu



Obr.6 Schéma návrhu číslo 1

3.1.2 Návrh číslo 2

- + celý proces na 3 řízené osy 2x translace + 1x rotace (rotace jen v jednom směru)
- + malý zastavěný prostor
- + stromečky jsou trvale upnuty v polohovadle během procesu
- nemožnost rozšíření na větší počet modelů



Obr.7 Schéma návrhu číslo 2

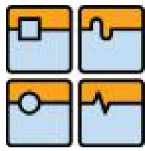
3.2 Mechanické části stroje

3.2.1 Rám stroje

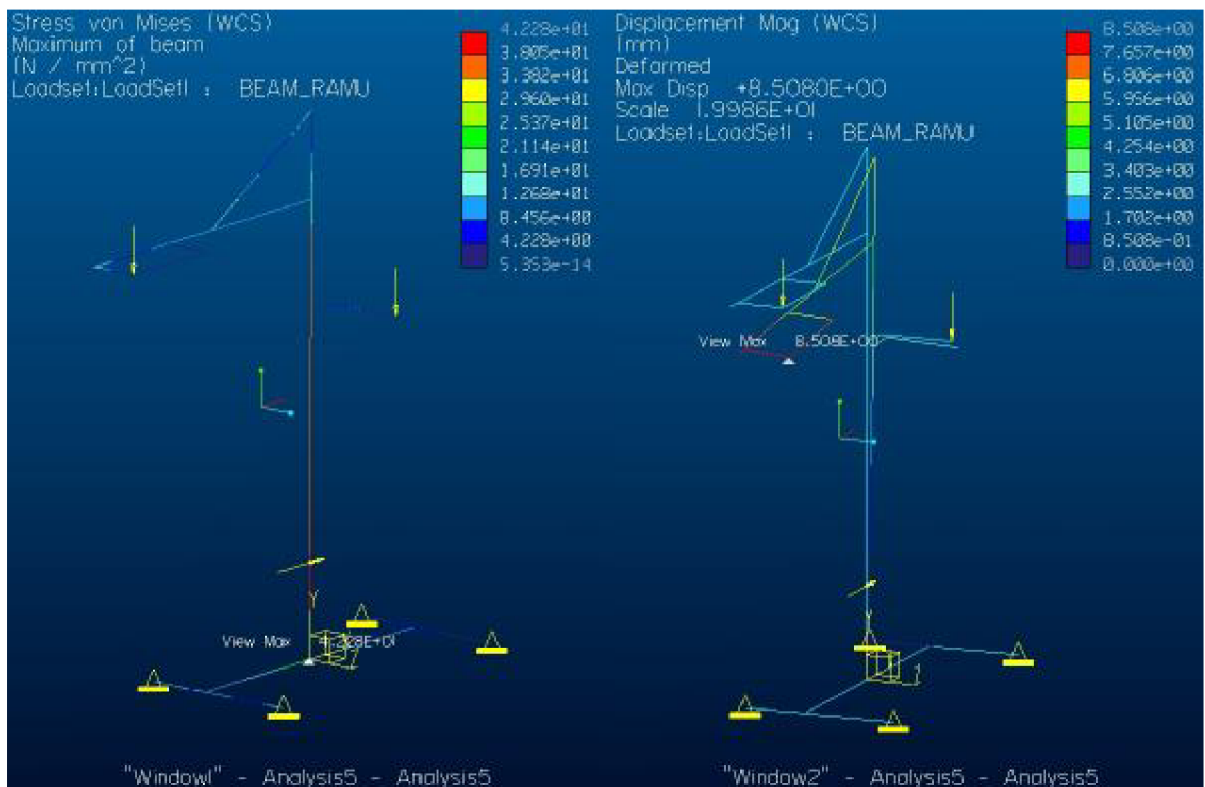
Hlavní část rámu tvoří tenkostěnné uzavřené čtvercové ocelové profily. Pomocí softwaru ProMechanica zjistíme průběh a maximální napětí rámu i jeho deformaci. Simulace byla provedena na zjednodušeném prutovém modelu (funkce *beam*). Tato funkce byla použita kvůli rychlosti jejího výpočtu při použití tenkostěnných profilů. Hmotnosti otoče a obou pojezdů nahrazují síly v těžišti jejich působení. Z výsledků simulace vidíme, že maximální napětí je přibližně 42 MPa. Při použití materiálu 11373.0, který má $R_m \Rightarrow 340 \text{MPa}$ je koeficient bezpečnosti „k“:

$$k = \frac{R_{m11373}}{R_{\max}} = \frac{340}{42} = 8.1$$

Tato rezerva je zvolena kvůli vyšší tuhosti rámu, která je potřebná během naprašování stromečků posypem. Při unášení posypu lamelami bubnu a následnému vysypávání je buben nerovnoměrně zatěžován, což povede k rozkmitání rámu stroje.



Vyšší tuhost stroje omezí velikost tohoto rozkmitání. U obalování stromečku posypovým materiálem se posune těžiště blíže ke hlavní stejně, čímž se zatížení ještě sníží. Maximální průhyb rámu zatíženém stavu je 8.5mm. Tento průhyb se bude s posouvajícím se těžištěm posypového bubnu při posuvu ke stojně zmenšovat. S ohledem na průhyb, kmitání a přesnost polohování stroje je nutné volit dostatečně velký vstupní otvor posypového bubnu. Pokud by po odzkoušení stroje bylo kmitání příliš velké, bude nutné na stroj umístit dodatečně výztuhu, která kmitání omezí.



Obr.8a průběh napětí rámu

Obr.8b deformace při zatížení

3.2.2 Posuv nádoby s keramickou břechkou

V kapitole 2.2 byly uvedeny základní parametry stroje jeden z nich byl i rychlost posuvu nádoby s keramickou břechkou v_N . Rozměry komponent jako jsou stoupání závitu s ,střední průměr závitu M_{NS} jako i kinematické a dynamické veličiny jsou zakresleny na obr.7.

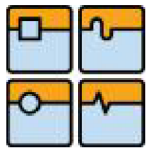
3.2.2.1 Otáčky motoru a poměr řemenového převodu

Požadovaná rychlost nádoby $v_{N1}=0,015\text{ms}^{-1}\text{c}$; stoupání šroubu $s=0,004\text{m}$; otáčky motoru pro posuv nádoby s keramickou břechkou $n_M=675\text{ min}^{-1}$; otáčky pohybového šroubu n_ξ tedy budou :

$$n_\xi = \frac{v_N}{s} = \frac{0,015}{0,004} = 3,75\text{s}^{-1}$$

$$n_M = 675\text{ min}^{-1} = 11,25\text{s}^{-1}$$

Převod z motoru na posuvový šroub při 50Hz na v_{N1} se rovná



DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$i = \frac{d_{N1}}{d_{N2}} = \frac{z_{N1}}{z_{N2}} = \frac{n_M}{n_{\xi}} = \frac{11,25}{3,75} = 3$$

Převod z motoru na pohybový šroub je roven 3.

3.2.2.2 Moment motoru

Výpočet potřebného momentu na motoru je proveden podle [1/66]. Mechanismus není zatížen vnější silou. Musíme tedy vyvodit jen sílu ke zvednutí vlastní hmotnosti, překonání třecích sil a sílu pro rozhýbání setrvačných hmot. Všechny momenty vztahujeme na hřídel motoru.

Statický moment zátěže redukovaný na hřídel motoru M_{GT}

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_C} = \frac{500 \cdot 9,81 \cdot \sin 90^\circ \cdot 0,004}{2 \cdot \pi \cdot 2,7 \cdot 0,38} = 0,30 Nm$$

kde

m - hmotnost nádoby i s držákem

g – tíhové zrychlení

α – úhel mezi osou šroubu a horizontální rovinou

η_C – celková účinnost posuvové soustavy

$$\eta_C = \eta_S \cdot \eta_V \cdot \eta_L^2 \cdot \eta_P = 0,4633 \cdot 0,98 \cdot 0,92^2 \cdot 0,99 = 0,38$$

η_P – účinnost převodu (ozubený řemen $\eta_P = 0,99$)

η_L – účinnost uložení ložisek (oboustranné uložení ložisek $\eta_L = 0,92$)

η_V – účinnost vedení (valivé $\eta_V = 0,98$)

η_S – účinnost trapézového šroubu

Výpočet účinnosti trapézového šroubu

$$\eta_S = \frac{M_{U\dot{S}B}}{M_{U\dot{S}S}} = \frac{F_Q \cdot \frac{d_{\dot{S}T\dot{R}}}{2} \cdot \tan \gamma}{F_Q \cdot \frac{d_{\dot{S}T\dot{R}}}{2} \cdot \frac{f_Z \cdot \cos \gamma + \sin \gamma}{\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma}} = \frac{\tan 5,2}{0,1035 \cdot \cos 5,2 + \sin 5,2} = 0,4633$$

$$f_Z = \frac{f}{\cos \frac{\beta}{2}} = \frac{0,1}{\cos \frac{30^\circ}{2}} = 0,1035$$

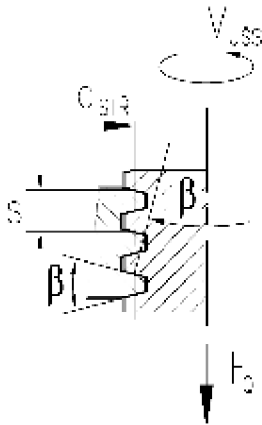
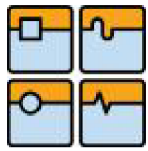
$M_{U\dot{S}B}$ - utahovací moment bez tření

$M_{U\dot{S}S}$ - utahovací moment se třením

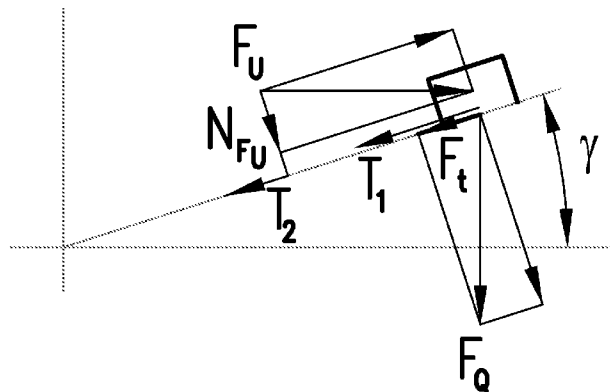
f_Z - tření v závitech

γ - úhel stoupání závitu

f - tření mezi materiálem závitu a matice



Obr.9a Řez závitem posunového šroubu



Obr.9b Silové působení stykových ploch v posunovém šroubu při pohybu nahoru

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{s}{\pi \cdot d_{\text{STŘ}}} \Rightarrow \gamma = \arctg \left(\frac{s}{\pi \cdot d_{\text{STŘ}}} \right) ; \quad M_{\text{UŠS}} = F_U \cdot \frac{d_{\text{STŘ}}}{2}$$

$$F_U \cdot \cos \gamma = T_1 + T_2 + F_t \quad ; \quad \text{kde} \quad F_t = F_Q \cdot \sin \gamma$$

$$F_U \cdot \cos \gamma = N \cdot f + N_{F_U} \cdot f + F_Q \cdot \sin \gamma$$

$$F_U \cdot \cos \gamma = F_Q \cdot \cos \gamma \cdot f + F_U \cdot \sin \gamma \cdot f + F_Q \cdot \sin \gamma$$

$$F_U \cdot (\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma) = F_Q \cdot (f \cdot \cos \gamma + \sin \gamma)$$

$$F_U = F_Q \cdot \frac{f \cdot \cos \gamma + \sin \gamma}{\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma} ; \quad M_{\text{UŠS}} = F_U \cdot \frac{d_{\text{STŘ}}}{2}$$

$$M_{\text{UŠS}} = F_Q \cdot \frac{d_{\text{STŘ}}}{2} \cdot \frac{f \cdot \cos \gamma + \sin \gamma}{\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma}$$

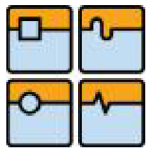
Momentová složka od vlivu předpětí šroubu

$$M_{\text{TŠM}} = \frac{F_P \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_P \cdot \eta_L^2} (1 - \eta_S^2) = \frac{500 \cdot 0,004}{2 \cdot \pi \cdot 2,7 \cdot 0,99 \cdot 0,92^2} (1 - 0,4037^2) = 0,12 \text{Nm}$$

kde

F_P – předepnutí trapezového šroubu

g – tíhové zrychlení



Moment potřebný pro rozhýbání hmot M_{DYN}

$$M_{DYN} = J_{RED} \cdot \varepsilon_M = 0,0015 \cdot 63,62 = 0,096 Nm$$

$$J_{RED} = J_M + J_{N2} + \left(\frac{d_{N1}}{d_{N2}}\right)^2 \cdot J_{N1} + \left(\frac{d_{N1}}{d_{N2}}\right)^2 \cdot J_{\xi} + \left(\frac{d_{N1} \cdot s}{d_{N2} \cdot 2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot m_N = 0,0015 kg \cdot m^2$$

$$\varepsilon_M = \varepsilon_{\xi} \cdot i = \frac{a_N \cdot 2 \cdot \pi}{s} \cdot i = \frac{a_N \cdot 2 \cdot \pi}{s} \cdot i = \frac{0,015 \cdot 2 \cdot \pi}{0,004} \cdot 3 = 63,62 rad \cdot s^{-2}$$

$$a_N = \frac{v_N}{t} = \frac{0,015}{1} = 0,015 ms^{-2}$$

Potřebný moment na hřídeli motoru M_N

$$M_N = M_{GT} + M_{TSM} + M_{DYN} = 0,30 + 0,12 + 0,096 = 0,516 Nm$$

Motor volím 1LA 7 070-8AB13 Siemens $P_M=90W$ s jmenovitým kroutícím momentem 1,4 Nm. Jedná se o nejmenší standardně vyráběný osmipólový asynchronní motor od firmy Siemens.

3.2.2.3 Převod ozubeným řemenem

Převod z motoru na hřídel posunového šroubu jsem zvolil pomocí ozubeného řemene. Mezi hřídelí motoru a posuvem je třeba dosáhnout převodu $i=3$ (spočteno v kap. 3.2.2.1).

Parametry kol pro řemenový převod (ISO 5294) - velikost **L**

rozteč zubů 9,525mm(3/8")

šířka kola 14mm

Kolo na hřídeli motoru:

počet zubů $Z_{N2}= 10$

průměr roztečné kružnice $d_{N2}= 30,32mm$

Kolo na hřídeli pohybového šroubu:

počet zubů $Z_{N1}= 30$

průměr roztečné kružnice $d_{N1}= 90,96mm$

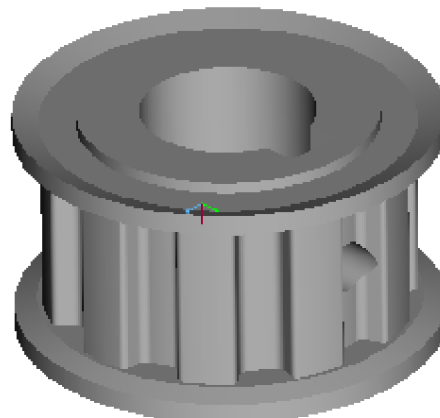
Ozubený řemen:

Počet zubů $Z_{\check{R}}=40$

Šířka řemenu 12,7mm (1/2")

Maximální síla v tahu $F_{MAX}=109N$

Osová rozteč 90mm.

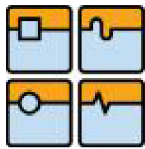


Obr. 10 Řemenice plochého řemenu

Nominální kroutící moment motoru je $N_m=1,4Nm$. Obvodová síla může tedy být

$$F_{\check{R}EM} = \frac{N_m}{\frac{d_{N2}}{2}} = \frac{1,4}{\frac{0,03032}{2}} = 92,3N$$

$$F_{MAX} \geq F_{\check{R}EM} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

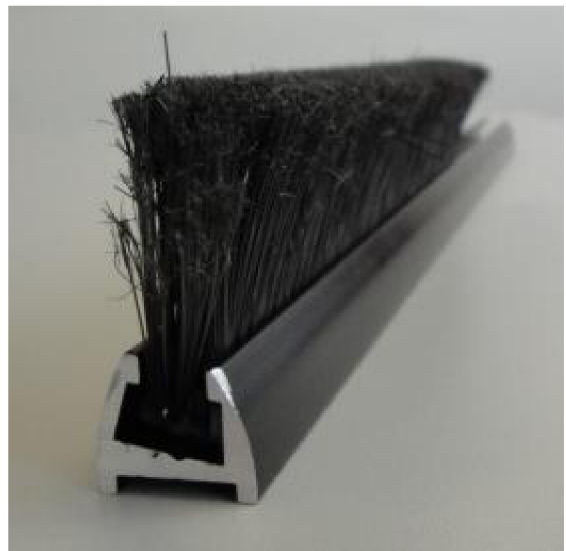


3.2.2.4 Posuvový šroub

Převod z rotačního pohybu na přímočarý realizují pomocí válcovaného trapézového šroubu Tr 16x4 s bronzovou maticí dle ČSN 01 4050. Uložení šroubu je v ložiscích s kosoúhlým stykem typ 7201B.TVP od firmy FAG.

3.2.2.5 Krytování posuvu

Proti nečistotám i z bezpečnostních hledisek je provedeno plechové krytí. V místě unášeče plošiny s nádobou na keramickou břečku je krytí provedeno kartáči (viz obr.11). Toto řešení bylo použito z důvodu nízkých nákladů v porovnání se standardními měchy.



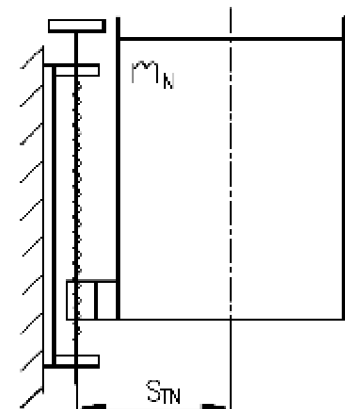
Obr.11 Kartáč v hliníkovém profilu pro krytování posuvu

3.2.2.6 Dimenzování lineárního vedení

Přímocharý pohyb posuvu nádoby s keramickou břečkou je řešen pomocí lineárního vedení od firmy HIWIN. Velikost vedení je nutno volit s ohledem na požadované momentové zatížení vozíku. Na obr.12 je lineární vedení v ose se schematickým znázorněním trapézového šroubu.

$$M_Z = m_N \cdot g \cdot s_{TN} = 50 \cdot 9,81 \cdot 0,35 = 171 Nm$$

Dle katalogu HIWIN mohou použít typ lineárního vedení HGW20CC, které má dovolené $M_Z=270 Nm$. Z důvodu použití komponentů z již nepotřebeného stroje použijí typ HGW20HC ($M_Z=470 Nm$), který pro danou funkci také vyhovuje. Dynamický účinek při rozjezdu nádoby nahoru (resp. brzdění směrem dolů) zanedbávám z důvodu malého podílu dynamického účinku již při výpočtu potřebného momentu na hřídeli motoru kap 3.2.2.2. Vzhledem k tomu, že stroj vykoná při plném pracovním vytížení 24 zdvihů za den, nezohledňuji ani životnost lineárního vedení, která je v daném případě prakticky neomezená.

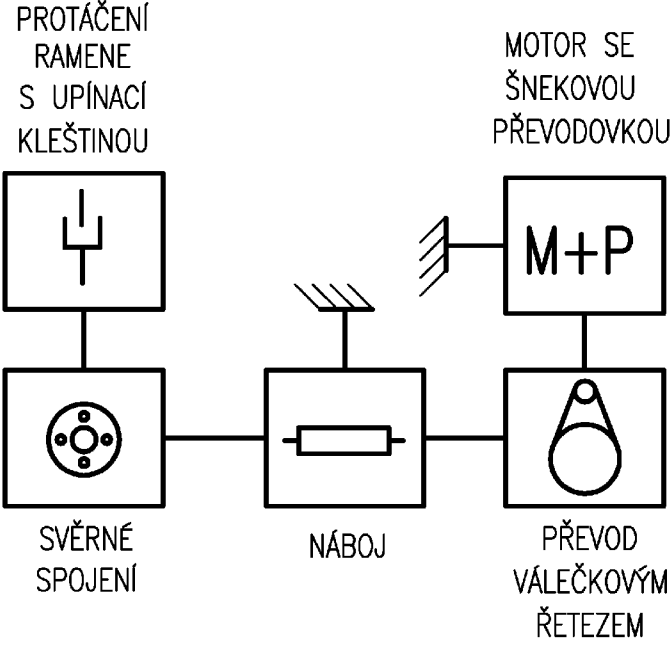


Obr.12 Momentové zatížení vozíku lineárního vedení

3.2.3 Otoč s držáky stromečků

Otoč slouží k výměně stromečků na jednotlivých pozicích během chodu stroje. Skládá se z částí uvedených ve schématu obr.13. Motor s převodovkou a převodovka je použita ze starého stroje.

3.2.2.1 Motor s převodovkou



Pro pohon otoče použijí starší motor s převodovkou od firmy MEZ Mohelnice.

Parametry motoru:
 Výkon 180W
 otáčky 1350min⁻¹

Parametry převodovky:
 Převod $i_{\text{šP}} = 50$
 účinnost $\eta_{\text{P}} = 0.6$
 průměr výstupní hřídele 12mm
 délka výstupní hřídele 10mm

Obr.13 Blokové schéma otoče

3.2.3.1 Otáčky otoče

Požadované otáčky otoče s držáky stromečků jsou $n_o=1$ ot/min.
 Výstupní otáčky ze šnekové převodovky

$$n_{\text{šP}} = \frac{n_{\text{MO}}}{i_{\text{šP}}} = \frac{1350}{50} = 27$$

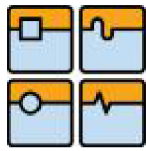
Převod mezi hřídelí převodovky a otočí musí být převod

$$i_o = \frac{n_{\text{šP}}}{n_o} = \frac{27}{1} = 27$$

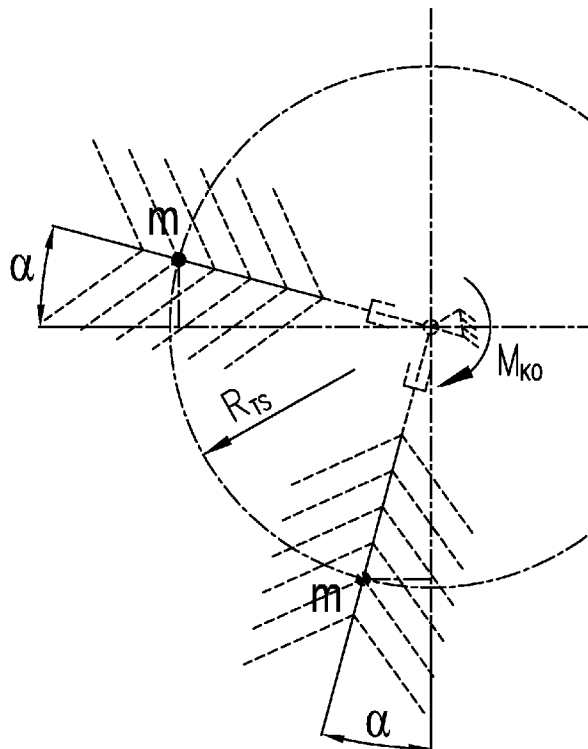
Aby nebylo větší z páru ozubených kol moc rozměrné budeme realizovat převod $i_{\text{ř}}=10$, (10 a 100 zubů). Zbývající převod

$$i_{\text{FM}} = \frac{i_o}{i_{\text{ř}}} = \frac{27}{10} = 2,7$$

zajistíme frekvenčním měničem. Vzhledem k použití starých komponent (motor s převodovkou, frekvenční měnič) je tato realizace převodu ekonomicky nejvýhodnější.



3.2.3.2 Ověření výkonu motoru



Abychom mohli ověřit výkon motoru použitého pro pohon otoče, musíme nejdříve stanovit maximální kroutící moment na hřídeli otoče. Situace s největším momentovým zatížením nastane při navěšování stromečků na stroj, kdy jsou na otoči namontovány právě dva stromečky, každý o hmotnosti m a obecném pootočení α . Moment potřebný na hřídeli otoče je funkcí natočení viz obr.14

$$M_{KO}(\alpha) = m \cdot g \cdot R_{TS} (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

Položíme-li první derivaci funkce rovnu nule zjistíme její lokální extrém.

$$0 = m \cdot R_{TS} \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha)$$

Obr.14 Poloha otoče při obecném natočení

Při nenulovém m a R_{TS} musí tedy platit

$$0 = (\cos \alpha - \sin \alpha); \quad \sin \alpha = \cos \alpha$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha} \quad \text{tg} \alpha = 1 \quad \alpha = 45^\circ$$

Moment M_{KO} který potřebujeme dosáhnout na hřídeli bude tedy

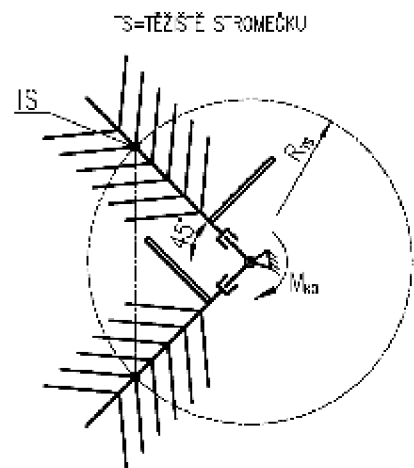
$$M_{KO} = 2 \cdot m_M \cdot g \cdot R_{TS} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 2 \cdot 5 \cdot 9,81 \cdot 0,6 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 41,62 Nm$$

$$M_{KOM} = \frac{M_O}{\eta_P \cdot \eta_{RP} \cdot i_O \cdot i_{RP}} = \frac{41,62}{0,6 \cdot 0,95 \cdot 50 \cdot 10} = 0,15 Nm$$

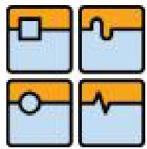
M_{KOM} – kroutící moment motoru otoče

Použitý motor s převodovkou má jmenovitý moment $M_n = 2,0 Nm$,

$$M_N \geq M_{KOM} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr.15 Poloha otoče při největším momentovém zatížení motoru



3.2.3.3 Převod válečkovým řetězem

Vzhledem k malé obvodové rychlosti byl použit pro převod mezi šnekovou převodovkou a hřídelí otoče jednořadý válečkový řetěz 081 (ČSN 02 3311). Tento převod byl použit vzhledem k jeho cenové dostupnosti v porovnání například s ozubeným řemenem. Stejně tak typ řetězu je vybrán s ohledem na cenu. Jedná se o vůbec nejlevnější řetěz na trhu standardně montovaný do jízdnicích kol VELO.

Tažná síla v řetězu	$F_{\dot{R}}$	=	?N
Počet zubů	z	=	100
Průměr roztečné kružnice řetězového kola	d_{RK}	=	404,32mm

$$F_{\dot{R}} = \frac{M_{KO}}{\frac{d_{\dot{R}100}}{2}} = \frac{41,62}{\frac{0,40432}{2}} = 205,9N$$

Tento výsledek bude dále třeba při výpočtu hřídele otoče. Ověření předdimenzování řetězu neprovádím, protože i maximální přenášený výkon, který je vyvozován pouze při navěšování stromečků, je tak nízký, že leží mimo tabulku pro určení typu řetězu z přenášeného výkonu a otáček řetězového kola (z normy ČSN 02 3311). Pokud by přenášené výkony byly větší, provedl bych výpočet podle zdroje „*Volba hnacího válečkového řetězu*“ [9], které vychází z ČSN 02 3311.

3.2.3.4 Náboj s hřídelí

Vlastní protáčení otoče se realizuje v náboji s hřídelí. Kvůli přesnějšímu polohování stromečků jsou použita ložiska s kosoúhlým stykem. Předepnutím těchto ložisek dosáhneme uložení bez vůlí.

3.2.3.4.1 Výpočty zatížení hřídele

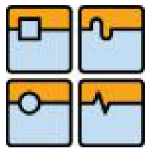
Na obr.16 je znázorněn řez nábojem s hřídelí i s průběhem ohybového momentu. Hřídel je zatěžována jak ohybovým, tak kroučícím momentem. Ze strany zavěšení stromečků je hřídel namáhána ohybem od hmotností upínacích mechanismů otoče se stromečky. Ze strany řetězového převodu je hřídel namáhána tažnou silou v řetězu.

Průběh napětí v hřídeli:

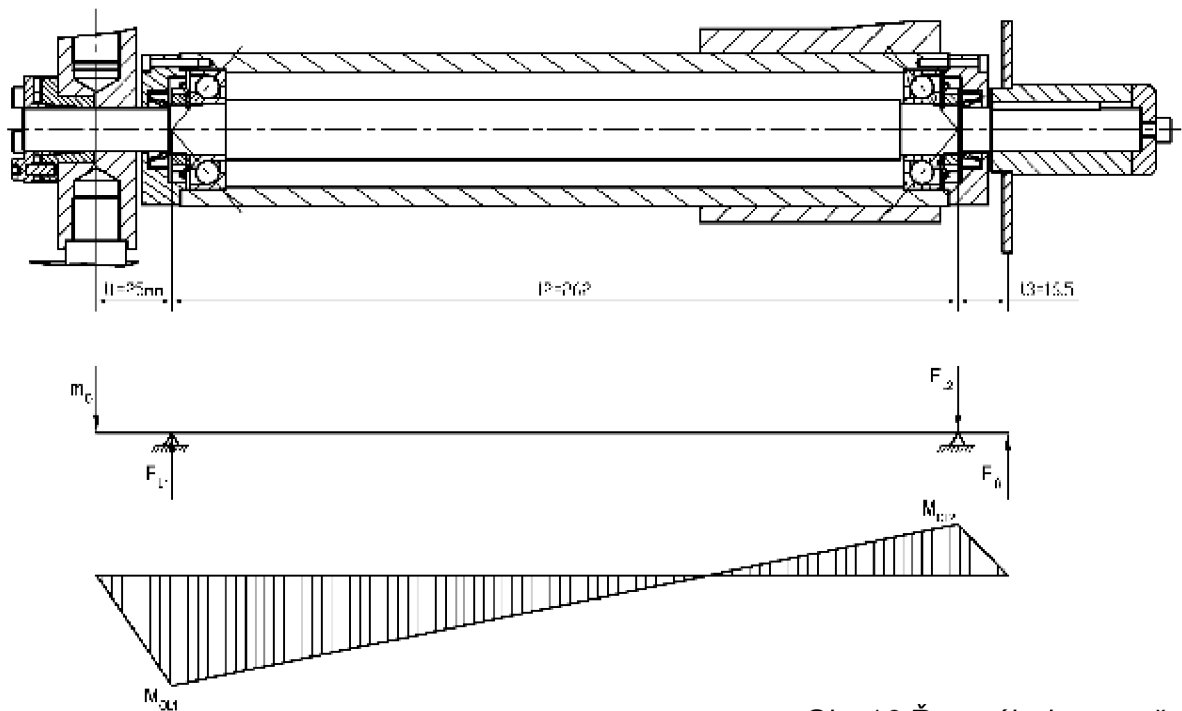
Pro určení průběhu napětí je nutné znát reakční síly v ložiscích

Výpočet reakčních sil v ložiscích:

Hmotnost otoče se dvěma stromečky	m_O	=	30kg
Síla v řetězu	$F_{\dot{R}}$	=	205,9N
Síla na ložisku blíže k otoči	F_{L1}	=	?N
Síla na ložisku ze strany řetězu	F_{L2}	=	?N



Ze statické stability vyplývají následující podmínky (obr.16)



Obr.16 Řez nábojem otoče

$$0 = F_{L1} \cdot l_1 - F_{L2} \cdot (l_1 + l_2) + F_R \cdot (l_1 + l_2 + l_3)$$

$$0 = m_O \cdot g + F_{L2} - (F_{L1} + F_R)$$

Řešením soustav dvou rovnic o dvou neznámých zjistíme síly F_{L1} a F_{L2} .

$$0 = F_{L1} \cdot 25 - F_{L2} \cdot (25 + 262) + 205,9 \cdot (25 + 262 + 16,5)$$

$$0 = 30 \cdot 9,81 F_{L2} - (F_{L1} + 205,9)$$

$$25 F_{L1} = 287 F_{L2} - 62490,65$$

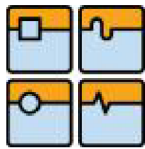
$$25 F_{L1} = 25 F_{L2} + 25 \cdot 88,4$$

$$287 F_{L2} - 62490,65 = 25 F_{L2} + 25 \cdot 88,4 \Rightarrow F_{L2} = \frac{64700,65}{262} = 246,9 \text{ N}$$

Potom z druhé podmínky

$$F_{L1} = m_O \cdot g + F_{L2} - F_R = 30 \cdot 9,81 + 246,9 - 205,9 = 335,3 \text{ N}$$

Vzhledem k tomu, že výsledné síly jsou kladné, síly v ložiscích působí ve směru, jak je znázorněno na obr.16. Největší ohybový moment vzniká v podpěrných bodech ložisek. Právě v podpěrných bodech ložisek vzniká též koncentrace vrubového napětí vlivem zmenšení průměru, která bude ve výpočtu také zohledněna.

Napětí v hřídeli v místě ložiska L₁:

Krutící moment:

$$\tau_K = \frac{M_{KO}}{W_K} = \frac{41,62}{5,39 \cdot 10^{-7}} = 77,2 \text{ MPa} \quad \text{kde} \quad W_K = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,014^3}{16} = 5,39 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^3$$

Vrubové koncentrace odečteme z grafů [2] (8/Příloha 15)

$$\text{Pro} \quad \frac{R}{d} = \frac{1,5}{14} = 0,107 \quad \text{a} \quad \frac{D}{d} = \frac{17}{14} = 1,21 \quad \approx \alpha_K = 1,35$$

Ohybový moment:

$$\sigma_o = \frac{M_{OL1}}{W_o} = \frac{30 \cdot 9,81 \cdot 0,025}{2,69 \cdot 10^{-7}} = 27,4 \text{ MPa} \quad \text{kde} \quad W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,014^3}{32} = 2,69 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^3$$

Vrubová koncentrace

$$\alpha_o = 1,5$$

Podle pevnostní hypotézy H-M-H vypočteme hodnotu redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\alpha_o \cdot \sigma_o + \alpha_T \cdot \sigma_T)^2 + 3(\alpha_K \cdot \tau_K)^2} = \sqrt{(1,5 \cdot 27,4 + 0 \cdot 0)^2 + 3(1,35 \cdot 77,2)^2} = 185,1 \text{ MPa}$$

Pro materiál 11500, ze kterého je hřídel vyrobena, je minimální mez kluzu $R_e = 245 \text{ MPa}$.

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{245}{185,1} = 1,32 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Napětí v hřídeli v místě ložiska L₂:

Krutící moment:

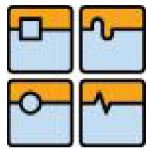
$$\tau_K = \frac{M_{KO}}{W_K} = \frac{41,62}{6,63 \cdot 10^{-7}} = 62,8 \text{ MPa} \quad \text{kde} \quad W_K = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,015^3}{16} = 6,63 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^3$$

Vrubové koncentrace odečteme z grafů (8/Příloha 15)

$$\text{Pro} \quad \frac{R}{d} = \frac{1,5}{15} = 0,107 \quad \text{a} \quad \frac{D}{d} = \frac{17}{15} = 1,13 \quad \approx \alpha_K = 1,25$$

Ohybový moment:

$$\sigma_o = \frac{M_{OL2}}{W_o} = \frac{205,9 \cdot 0,0165}{3,31 \cdot 10^{-7}} = 10,3 \text{ MPa} \quad \text{kde} \quad W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,015^3}{32} = 3,31 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^3$$



Vrubová koncentrace

$$\alpha_o = 1,45$$

Podle pevnostní hypotézy H-M-H vypočteme hodnotu redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\alpha_o \cdot \sigma_o + \alpha_T \cdot \sigma_T)^2 + 3(\alpha_K \cdot \tau_K)^2} = \sqrt{(1,45 \cdot 10,3 + 0 \cdot 0)^2 + 3(1,25 \cdot 62,8)^2} = 136,8 \text{ MPa}$$

Pro materiál 11500, ze kterého je hřídel vyrobena, je minimální mez kluzu $R_e = 245 \text{ MPa}$.

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{245}{136,8} = 1,79 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Pro zhodnocení zda jsme zvolili dostatečný průměr ukončení hřídele musíme ještě prověřit stav, kdy jsou na otoči zavěšeny 3 stromečky a otoč je v pozici dle obr.17

V této pozici je sice krouticí moment menší (dva stromečky proti sobě se vyváží), ale ohybem zatěžují hřídel 3 stromečky namísto dvou z předchozího případu.

$$M_{KO} = m_M \cdot g \cdot R_{TS} = 5 \cdot 9,81 \cdot 0,6 = 29,43 \text{ Nm}$$

Napětí v hřídeli v místě ložiska L_1 :

Krouticí moment:

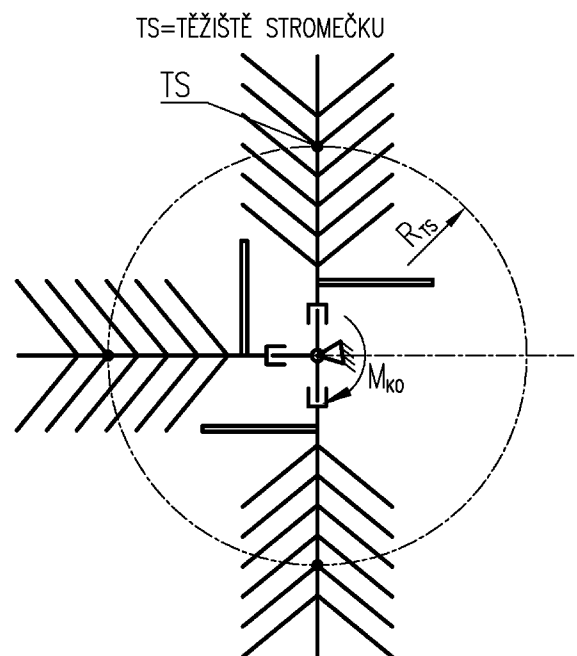
$$\tau_K = \frac{M_{KO}}{W_K} = \frac{29,43}{5,39 \cdot 10^{-7}} = 54,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{M_{OL1}}{W_o} = \frac{35 \cdot 9,81 \cdot 0,025}{2,69 \cdot 10^{-7}} = 31,9 \text{ MPa}$$

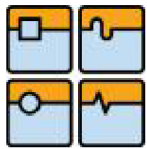
H-M-H:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\alpha_o \cdot \sigma_o + \alpha_T \cdot \sigma_T)^2 + 3(\alpha_K \cdot \tau_K)^2} = \sqrt{(1,5 \cdot 31,9 + 0 \cdot 0)^2 + 3(1,35 \cdot 54,6)^2} = 136,3 \text{ MPa}$$

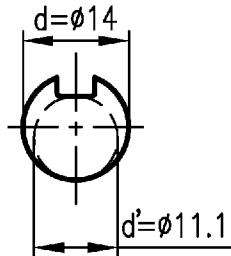
$$k = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{245}{136,3} = 1,80 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr.17 Poloha otoče při největším momentovém zatížení třemi stromečky

Namáhání v místě pera:

Pro výpočet napětí v krutu v místě spoje hřídele a řetězového kola pomocí pera je počítáno s průměrem jádra hřídele dle obr.18.



Obr.18 Nákres jádra hřídele

Kroutící moment:

$$\tau_K = \frac{M_{KO}}{W_K} = \frac{41,62}{2,68 \cdot 10^{-7}} = 155,0 \text{ MPa}$$

Kde

$$W_K = \frac{\pi \cdot d'^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,0111^3}{16} = 2,68 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^3$$

Při této metodě výpočtu nezohledňujeme vrubové koncentrace $\alpha_K = 1$

H-M-H:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\alpha_O \cdot \sigma_O + \alpha_T \cdot \sigma_T)^2 + 3(\alpha_K \cdot \tau_K)^2} = \sqrt{(0 \cdot 0 + 0 \cdot 0)^2 + 3(1 \cdot 155)^2} = 268,5 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{245}{268,5} = 0,91 \Rightarrow \text{nevyhovuje}$$

Materiál pro výrobu hřídele musíme zvolit s vyšší mezí kluzu. Například 11523.0 $R_E=333 \text{ MPa}$.

Výpočet pera na otlacení:

$$F = \frac{M_{KO}}{d} = \frac{41,62}{0,014} = 2972,86 \text{ N}$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{l \cdot t_1} = \frac{2972,86}{0,025 \cdot 0,0021} = 56111,43 \text{ MPa}$$

Pro materiál z oceli a uložení neposuvné je $p_{dov}=100-200 \text{ MPa}$ zdroj [7]. Vzhledem k tomu, že kroutící moment bude hřídel zatěžovat hřídel pouze při navěšování a po zbytek pracovního cyklu bude hřídel na krut namáhána jen minimálně (jen dílčí nevyvážeností stromečků a dynamickým účinkem, je výsledek vyhovující.

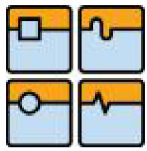
3.2.3.4.2 Ložiska náboje

Pro uložení byly použity ložiska s kosoúhlým stykem typ 7203B.TVP od firmy FAG.

Statická únosnost $C_0 = 5,5 \text{ kN}$

Dynamická únosnost $C = 10 \text{ kN}$

Maximální dovolená zatížení značně převyšují skutečné síly působící v ložiscích, což má za následek téměř neomezenou životnost ložisek.



3.2.3.5 Svěrné spojení

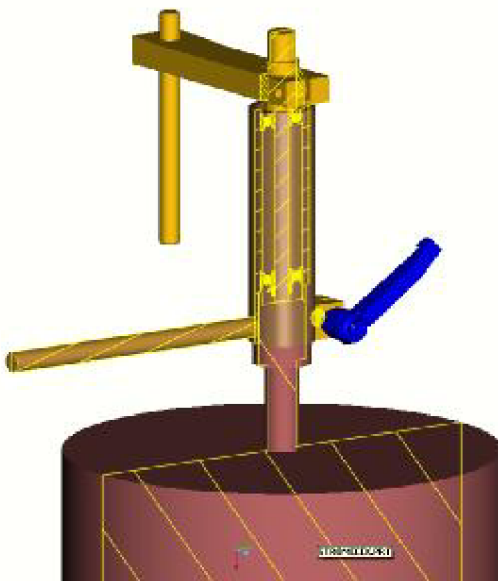
Pro přenos kroutícího momentu mezi hřídelí náboje a otočí bylo použito svěrné spojení MRL14 od firmy MISUMI. U tohoto typu je maximální povolené zatížení na krut 61Nm.

$61 Nm > 41,62 Nm \Rightarrow$ *vyhovuje*



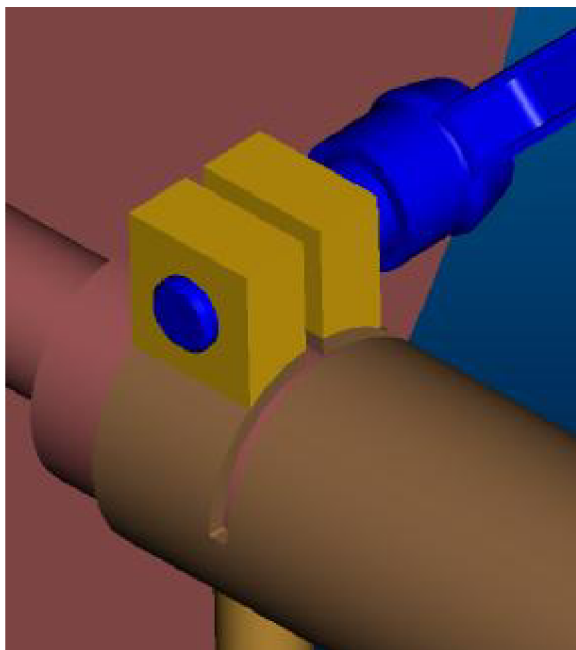
Obr.19 Svěrné spojení

3.2.3.6. Protáčení ramene s upínací kleštinou



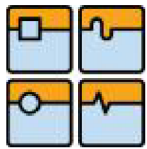
Stejně jako v případě hlavní otoče stroje, tak i pro otáčení ramene bylo použito ložisek s kosoúhlým stykem. Součástí ramene je nastavitelná tyč pro indikaci polohy indukčním snímačem, která je montována na pevnou, neprotáčející se část ramene viz . obr.20. Unášec ramene je přivařen na vnější část náboje naproti upínací kleštině.

Obr.20 Model protáčejího se ramene

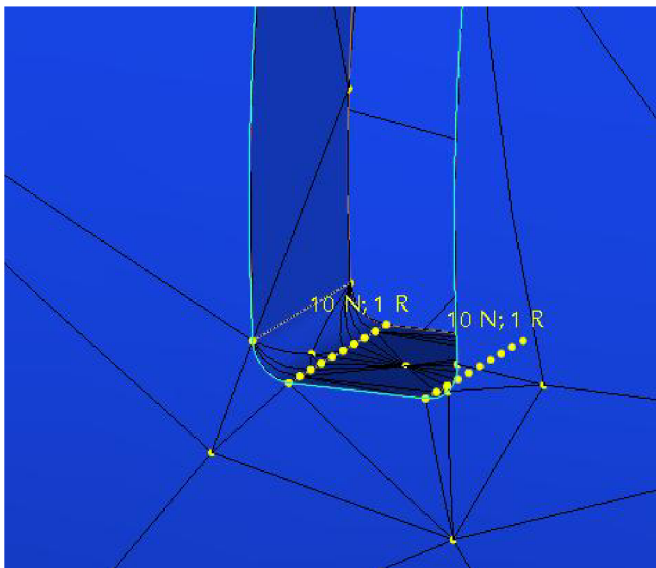


Kleština ramene je řešena jako součást náboje, respektive jeho ukončení. Dvěma naříznutími náboje umožníme při dotažení upínací pákou sevřít konec stromečku. Je zřejmé, že při práci stroje bude nejvíce namáhána právě ta část náboje, kde se nachází vrub kleštiny. Pro ověření správného dimenzování průměru a síly stěny v místě kleštiny byl použit software ProMechanica, tentokrát s funkcí *solid*.

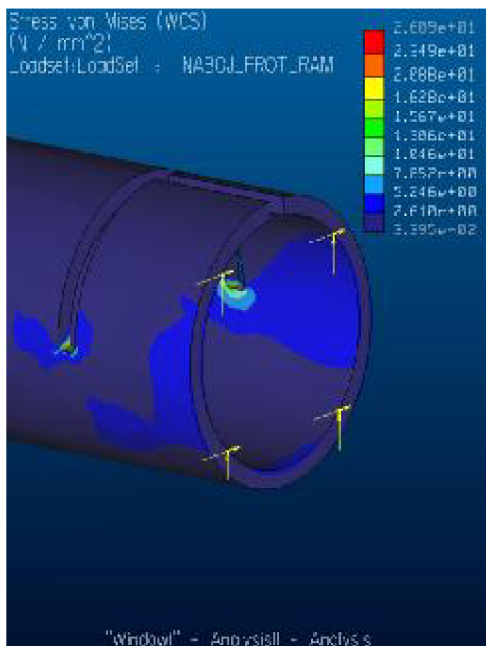
Obr.21 Kleština ramene pro upevnění stromečků



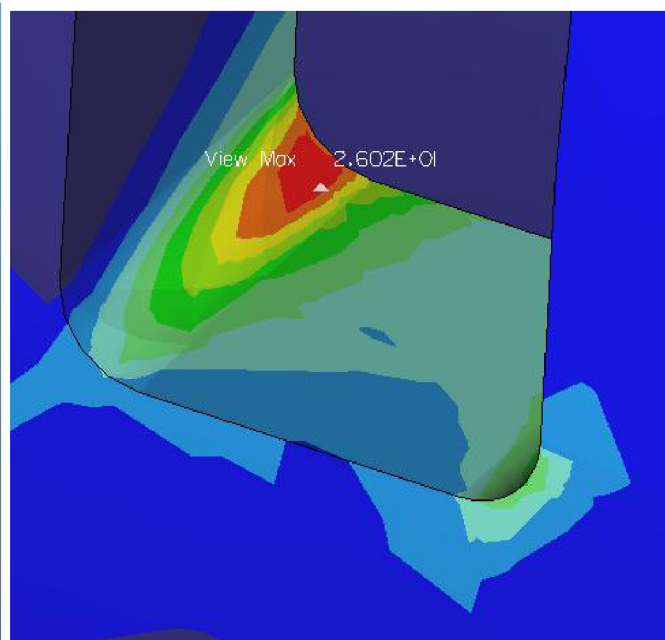
Kvůli přesnějšímu vyhodnocení v místě vrubu bylo nejdříve nutné přidat do kritického místa více bodů tak, aby bylo rozšířování struktury ve vrubu dostatečně jemné (viz obr.22). Pro výpočet bylo zadáno do čelní plochy kleštiny (konec náboje) zatížení silou -50N ve směru osy Y a momentem -11900Nmm ve směru osy Z. Toto zatížení nahrazuje tíhu stromečku v místě těžiště, který leží mimo model náboje (viz obr. 23).



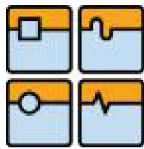
Obr.22 Detail zjemnění rozšířování



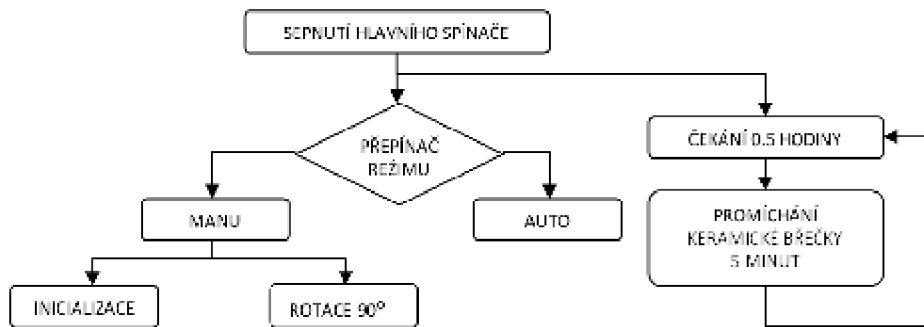
Obr.23 Průběh napětí ve vrubu kleštiny



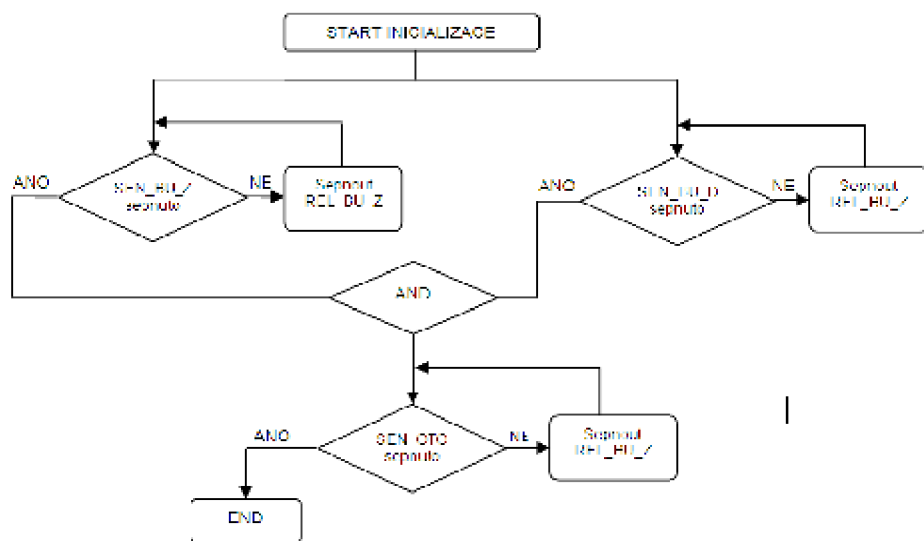
Obr.24 Detail průběhu napětí ve vrubu kleštiny



4 Řízení stroje

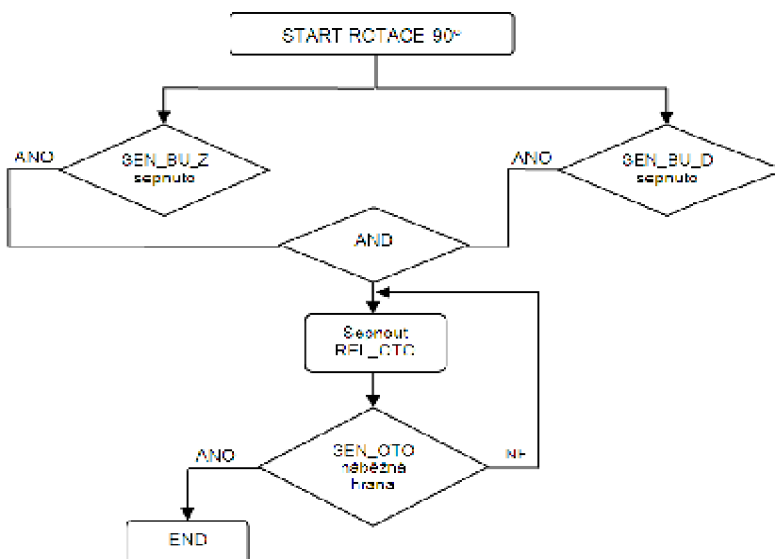


Obr.25
Blokové
schéma
řízení
stroje

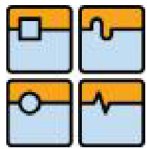


Obr.26
Blokové
schéma
inicializace

Stroj bude řízen pomocí PLC Simatic S7-200. Uživatelská komunikace s PLC bude probíhat přímo přes digitální vstupy. Po dohodě se zadavatelem práce stroj nebude monitorovat stav hladiny keramické břecky ani množství posypového materiálu v bubnu z důvodu zanedbatelné spotřeby pro výrobní proces na jeden den.



Obr.27 Blokové
schéma rotace o 90°

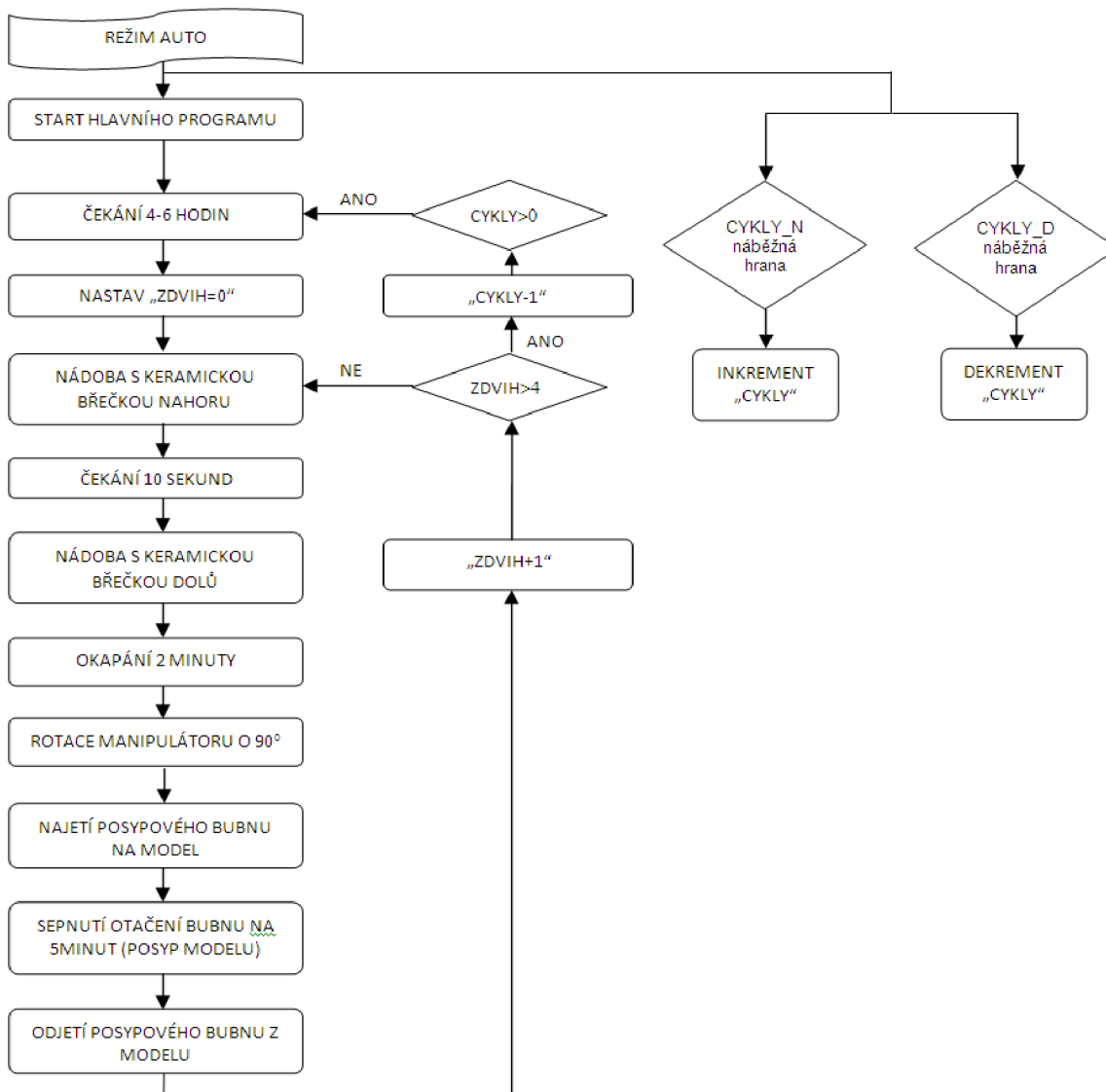


4.1 Popis hlavních částí řídicího programu

Stroj bude pracovat v manuálním a automatickém režimu. Manuální režim bude sloužit pro montáž stromečků na stroj po ručním naprášení první vrstvy a pro inicializaci stroje (blíže viz kap. 4.1). Chod v automatickém režimu zajistí nanesení zbylých 2-3 vrstev, jak bylo popsáno již v kapitole 2.1.

4.1.1 Inicializace stroje

Při spuštění stroje je možné, že se stroj nebude v počáteční poloze tak jak je zobrazen na obr.6, ale třeba vlivem použití nouzového vypnutí stroje budou řízené osy obou posuvů a rotace v blíže neidentifikovatelné mezipoloze. Z toho důvodu bude PLC obsahovat inicializační část programu (najeť do nulové polohy). Blokové schéma procesu najeť do nulové polohy je zobrazeno na obr.10.



Obr.28 Vývojový diagram funkce stroje v režimu AUTO (automatický režim)

4.1.2 Rotace otoče o 90°

Po ručním naprášení stromečků je třeba upnout stromečky do stroje. Abychom mohli do stroje montovat stromečky ergonomicky ve spodní poloze, bude stoj vybaven přejezdem otoče o 90° v manuálním režimu.

4.1.3 Vývojový diagram hlavního programu

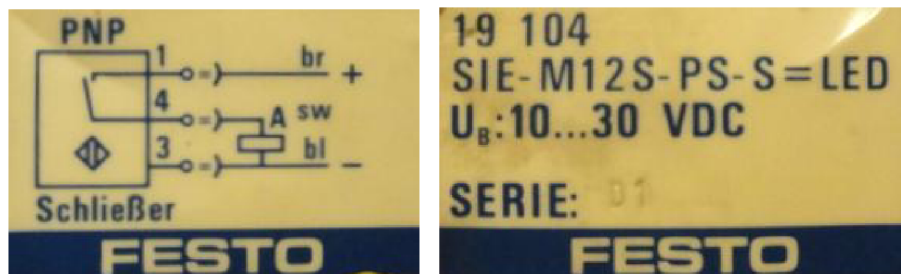
Na obr.9 vidíme vývojový diagram řízení stroje. Větev vpravo s půlhodinovou periodou míchání keramické břechky pracuje nezávisle na cyklu mechanismu a to i po skončení celého procesu posypu. Je to z důvodu udržování roztoku keramické břechky v kondici. Sediment, který se usazuje na dně nádoby s keramickou břechkou, po delší době tuhne a kvalita keramické břechky prudce klesá. Je proto nutné zajistit, aby i po skončení procesu výroby formy zůstal roztok kvalitní i pro další použití.

4.2 Použité komponenty řídicí části stroje

Elektromechanické prvky jako jsou indukční čidla, stykače, tlačítka, WAGO svorky jsou použity ze starého stroje. Bylo proto nutné ověřit funkčnost každého prvku. Ostatní prvky jako je PLC, jističe, přístrojové LED, motorové spouštěče, zdroj 24V/3A byly zakoupeny nové.

4.2.1 Senzory stavů pohybových os

Abychom mohly výrobní proces řídit je stroj vybaven indukčními senzory polohy. Na stroji jsou použity indukční senzory SIE - M12S - PS -S od firmy FESTO. Tab.3 zobrazuje

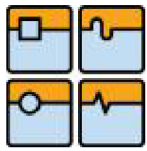


Obr.29 Obě strany typové štítku indukčního snímače

technické parametry indukčních snímačů. Není zde uveden proudový odběr při vypnutém či sepnutém stavu. Měřením byl zjištěn proud 26mA v sepnutém a 13mA ve vypnutém stavu. Tyto hodnoty budeme potřebovat v kap. 4.2.2.1 při výpočtu energetické bilance. Na obr.30 jsou znázorněny polohy jednotlivých snímačů na stroji s názvy použitými v programu pro PLC.

4.2.2. Řídicí PLC

Pro řízení stroje bude použito PLC S7-200 fy Siemens typ 6ES7 224-1BD23-0XB0 s rozšiřujícím modulem 6ES7 222-1HF22-0XA0. Pro propojení PLC s PC byl použit kabel USB/PPI.



Objednací číslo	Název a popis modulu	Rozměry (mm) (š x v x h)	Hmotnost	Ztráty	K dispozici +5 VDC	+24 VDC ¹
6ES7 211-0AA23-0XB0	CPU 221 DC/DC/DC 6 vstupů/4 výstupů	90 x 80 x 62	270 g	3 W	0 mA	100 mA
6ES7 211-0BA23-0XB0	CPU 221 AC/DC/relé 6 vstupů/4 relé	90 x 80 x 62	310 g	6 W	0 mA	100 mA
6ES7 212-1AB23-0XB0	CPU 222 DC/DC/DC 8 vstupů/8 výstupů	90 x 80 x 82	270 g	5 W	340 mA	180 mA
6ES7 212-1EB23-0XB0	CPU 222 AC/DC/relé 8 vstupů/8 relé	90 x 80 x 82	310 g	7 W	340 mA	180 mA
6ES7 214-1AD23-0XB0	CPU 224 DC/DC/DC 14 vstupů/10 výstupů	120,5 x 80 x 62	360 g	7 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-1BD23-0XB0	CPU 224 AC/DC/relé 14 vstupů/10 relé	120,5 x 80 x 62	410 g	10 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-1AD22-0XB0	CPU 224XF DC/DC/DC 14 vstupů/10 výstupů	140 x 80 x 62	390 g	8 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-1BD22-0XB0	CPU 224XF AC/DC/relé 14 vstupů/10 relé	140 x 80 x 62	440 g	11 W	660 mA	280 mA
6ES7 216-1AD22-0XB0	CPU 226 DC/DC/DC 24 vstupů/18 výstupů	198 x 80 x 62	560 g	11 W	1000 mA	400 mA
6ES7 216-1BD22-0XB0	CPU 226 AC/DC/relé 24 vstupů/16 relé	198 x 80 x 62	660 g	17 W	1000 mA	400 mA

Tab.1 Obecné specifikace CPU

Objednací číslo	Název a popis modulu	Rozměry (mm) (š x v x h)	Hmotnost	Ztráty	Požadovaný V DC +5 V DC	+24 V DC
6ES7 221-1BF22-0XA0	EM 221 DI 8 x 24 V DC	48 x 80 x 62	160 g	2 W	30 mA	Zapnutí: 4 mA/výstup
6ES7 221-1BF22-0XA0	FM 221 DI 8 x 120/230 V AC	71,2 x 80 x 62	160 g	3 W	30 mA	–
6ES7 221-1BF22-0XA0	FM 221 DI 16 x 24 V DC	71,2 x 80 x 62	160 g	3 W	70 mA	Zapnutí: 4 mA/výstup
6ES7 222-1BD22-0XA0	EM 222 DO 4 x 24 V DC 5 A	48 x 80 x 62	120 g	3 W	40 mA	
6ES7 222-1HD22-0XA0	EM 222 DO 4 x relé 10 A	48 x 80 x 62	160 g	4 W	30 mA	Zapnutí: 20 mA/výstup
6ES7 222-1BF22-0XA0	FM 222 DO 8 x 24 V DC	48 x 80 x 62	160 g	2 W	50 mA	
6ES7 222-1HF22-0XA0	EM 222 DO 8 x relé	48 x 80 x 62	170 g	2 W	40 mA	Zapnutí: 3 mA/výstup

Tab.2 Část obecné specifikace rozšiřujících modulů

4.2.2.1 Energetická bilance PLC

V tabulce tab.1 je uvedeno, jakým proudovým odběrem lze zatížit PLC na jeho integrovaných napěťových zdrojích 5 V DC a 24V DC.

5V DC:

Napájením jediného rozšiřovacího modulu 6ES7 222-1HF22-0XA0 zatížíme zdroj 5V DC z CPU proudem 40mA (viz tab.2). CPU má k dispozici 660mA \Rightarrow není třeba přídatný zdroj pro napájení přídatných modulů.

24V DC:

Interní zdroj 24V DC v PLC je možno zatížit maximálním proudovým odběrem 280mA. Pro napájení osmi výstupů rozšiřovacího modulu je třeba 72mA. Každý sepnutý vstup 4mA. Všech 14 vstupů tedy reprezentuje zátěž 56mA. 5 ks indukčních snímačů ve vypnutém stavu po 13mA = 65mA. V procesu mohou být max. 3 snímače v sepnutém stavu, což je dalších 39mA (měření viz. kap. 4.2.1). Signalizační kontrolky (LED) zátěž celkem 10mA. Tím jsme vyčerpaly možnosti interního napájecího zdroje ($I_z=280mA$). Na 6 stykačů (každý o proudovém odběru 110mA) musíme přivést napětí z externího zdroje.

$$8 \cdot 9mA = 72mA$$

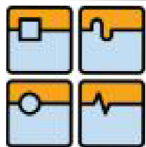
$$14 \cdot 4mA = 56mA$$

$$5 \cdot 13mA = 65mA$$

$$3 \cdot 13mA = 39mA$$

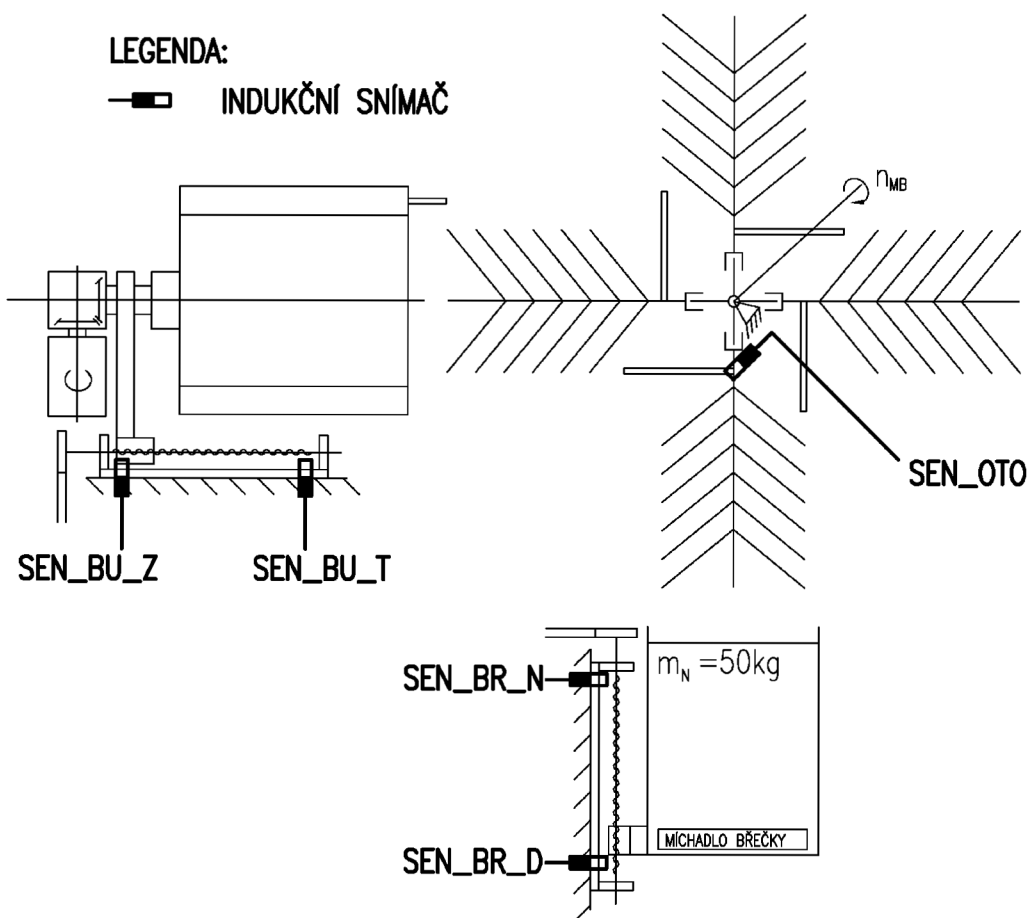
$$3 \cdot 13mA = 39mA$$

$$220mA$$

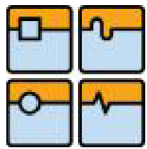


Označení díl-č./typ		
PNP-výstup	19102 SIE-M 12 S-PS-K = LED	19104 SIE-M 12 S-PS-S = LED
		19106 SIE-M 12 S-PO-S = LED
NPN-výstup	19103 SIE-M 12 S-NS-K = LED	19105 SIE-M 12 S-NS-S = LED
	Úhlová zásuvka 12956 SIE-WD-TR	
Patka	5123 HBN 8/10-1	
Doraz	11541 SDA-12 x 1-B	
Seřiditelný doraz	12483 SJA-M 12 x 1	
Nárazové pouzdro	14502 SJAH-M 12 x 1	
Připojení	3 žilový kabel, délka 2,5 m	konektorové připojení pro úhlovou zásuvku
Spínací napětí	10 až 30 V	
Spínací proud max.	400 mA	
Spínací čas	1,2 ms	
Rozsah teplot	-25 až +70 °C	
Pracovní spínací vzdálenost	max. 3,2	

Tab.3 Technické parametry indukčních snímačů – katalogový list



Obr.30 Rozmístění snímačů na stroji i s názvy použitými v programu



4.2.3 Zdroj 24V DC

V kap. 4.2.2.1 bylo spočítáno, že pro napájení šesti stykačů, které ovládají pohony stroje, musíme doplnit elektrické zapojení o přídatný zdroj 24V DC. Maximální počet společně sepnutých stykačů je 3. Zdroj musíme tedy dimenzovat na 330mA (jeden stykač=110mA). Typ použitého zdroje je ABL 7RM2401 od firmy Telemecanique s hodnotou výstupního napětí $U=24V$ a proudu $I=1,3A$. Vzhledem k tomu, že se jedná o pulzní zdroj, kterým se při indukční zátěži a přesnému dimenzování krátí životnost, je možnost vyšší proudové zatížitelnosti výhodná a zdroj bude fungovat spolehlivěji.

4.2.4 Stykače

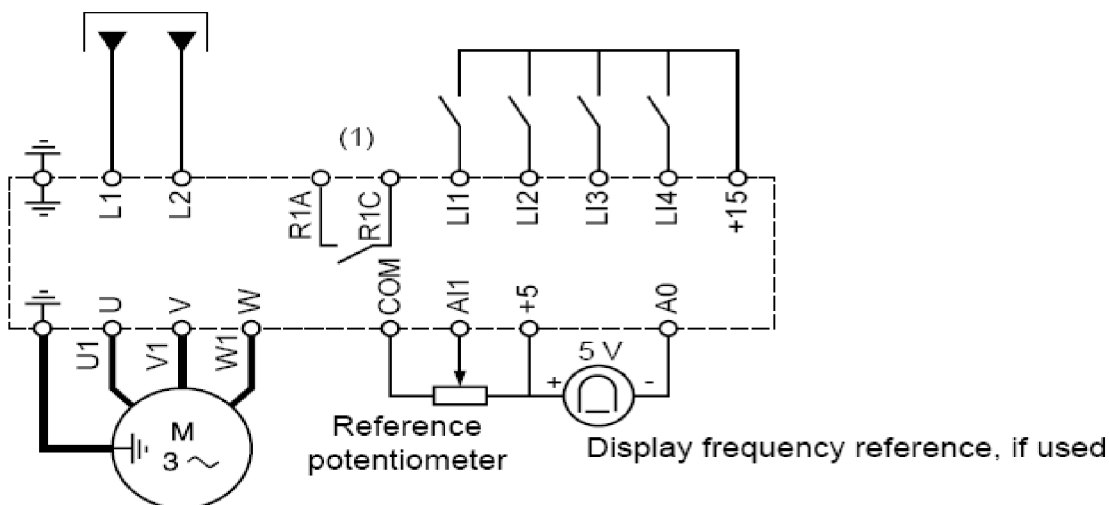
Pro spínání motorů posuvných i rotačních os, pro sepnutí pohonu bubnu s posypovým materiálem a pohonu míchadla keramické břečky použijeme stykače Möeller typ DIL ER-40-G. Napájecí napětí 24VDC. Měřením bylo zjištěno, že proud procházející cívkou v sepnutém stavu je 110mA. Pro lineární posuvy použijeme též pomocné kontakty pro hardwarové blokování spuštění dvou stykačů stejného motoru do zkratu. Je to z důvodu náhodné chyby PLC, nebo chyby programu.

4.2.5 Frekvenční měnič

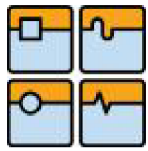
Pohon otoče je realizován přes starý motor s převodovkou a řetězovým převodem. Použité prvky však nestačí ke z převodování na otáčky 1min^{-1} . Z tohoto důvodu použijeme pro další snížení otáček starší frekvenční měnič. Za daných okolností je toto řešení ekonomicky nejvýhodnější. Měnič Altivar 08 typ ATV08HU09M2 pochází od firmy Telemecanique a má vstupní napětí 200/240V a max. výkon 0,37kW.

4.2.5.1 Nastavení frekvenčního měniče

200/240 V - 50/60 Hz



Obr.31 Schéma zapojení frekvenčního měniče, zdroj[14]



Abychom dosáhli požadovaných výstupních otáček $n_0 = 1 \text{ min}^{-1}$ musíme zajistit frekvenčním měničem další převod. $i_{FM} = 2,9$ (spočítáno v kap. 3.2.2.1). Nastavíme proto parametr HSP (High speed) na hodnotu 19. Dále parametr LI na hodnotu 2C4. Tím se nakonfigurují vstupy frekvenčního měniče viz tab.4

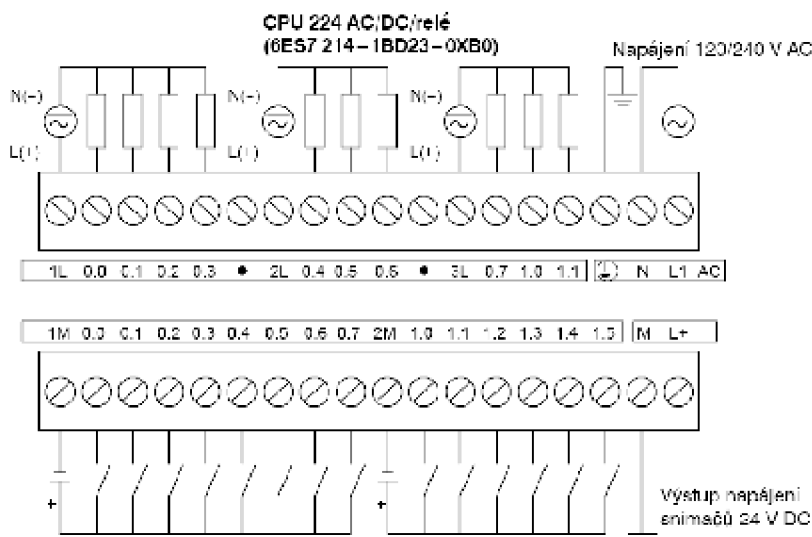
LI	Configuration of Logic Inputs
LI1	• L 5 P 2 (2-wire control, 2 operating directions, 4 speeds): - LI1 = forward - LI2 = reverse - LI3/LI4 = 4 speeds (1)
LI2	• L 5 P 3 (3-wire control, 1 operating direction and 4 speeds): - LI1 = stop - LI2 = RUN forward - LI3/LI4 = 4 speeds (1)
LI3	• L 5 P 2 (3-wire control, 2 operating directions and 2 speeds): - LI1 = stop - LI2 = RUN forward - LI3 = RUN reverse - LI4 = 2 speeds (LI1 to 0: L 5 P + setpoint A1, LI4 to 1: H S P)
LI4	• L 5 P 3 (2-wire control, 1 operating direction and 4 speeds): - LI1 = forward - LI2 = not assigned - LI3/LI4 = 4 speeds (1)

Tab.4 Tabulka konfigurování vstupů LI1-LI4.

Vstupy LI1 a LI2 řídíme směr otáčení a kombinací vstupů LI3 a LI4 (tab.45) nastavíme požadavek na rychlost frekvenčního měniče na HSP tím, že na LI3 i LI4 přivedeme trvale 1 (+15V) dle tab. 45. Rotaci otoče je třeba provádět jen v jednom směru, tzn. přiváděním log. 1 (+15V) na LI1 uvádíme motor do chodu a LI2 je trvale odpojen.

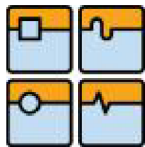
- (1) 4 speeds via LI3/LI4 :
- L 5 P + reference A11 if LI3 = 0 and LI4 = 0
 - S P 2 if LI3 = 1 and LI4 = 0
 - S P 3 if LI3 = 0 and LI4 = 1
 - H S P if LI3 = 1 and LI4 = 1

Tab.5 Tabulka konfigurování vstupů LI1-LI4.

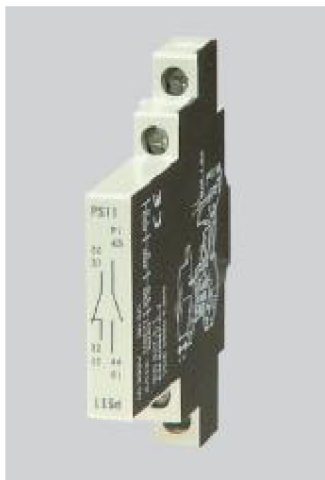


Obr.32 Popis vstupů a výstupů PLC

FM je jediný elektrický prvek který je ovládán jiným napětím než 24V. Nemusíme však nutně použít přechodové relé, abychom dosáhli napětové úrovně, 24V při log.1. Jako výstup z PLC použijeme svorku Q0.7 a na svorku 3L přivedeme napětí 15V přímo z frekvenčního měniče (na obr.32 je to vrchní řada svorek). Tím se sice zbavíme možnosti použít výstupy Q1.0 a Q1.1, s úrovní 24V pro log.1, ale za daného počtu výstupů s (rozšiřovacím modulem) je nebudeme potřebovat. Dojde-li v budoucnu z rozšíření funkcí stroje, např. o odsávání nebo o druhý buben s hrubějším posypem, můžeme tyto výstupy použít jako rezervu s použitím přechodového relé na výstupu Q0.7.



4.2.6 Motorové spouštěče



Obr.33 Vlevo motorový spouštěč. Vpravo
přídavné pomocné kontakty.

Jako ochrana proti přetížení byly u motorů použity motorové spouštěče od firmy OEZ. Samotné spínání motorů je realizováno stykači v sérii za motorovým spouštěčem. Volbu typu provedeme podle tabulky Tab.6. a katalogu asynchronních motorů [11]. V katalogu motorů zjistíme nominální proud daného motoru. Motorový spouštěč potom zvolíme s jmenovitým proudem nejbližším vyšším vzhledem k motoru. Motorový spouštěč má možnost proudového nastavení tepelné ochrany. Tento proud nastavíme vždy na hodnotu nominálního

proudu viz *Katalog asynchronních motorů* [11]. Např. pro pohon otoče je $I_N=0,53A$ volím tedy SM1E-0,63 s $I_N=0,63A$ (tab.6 zdroj [13]).

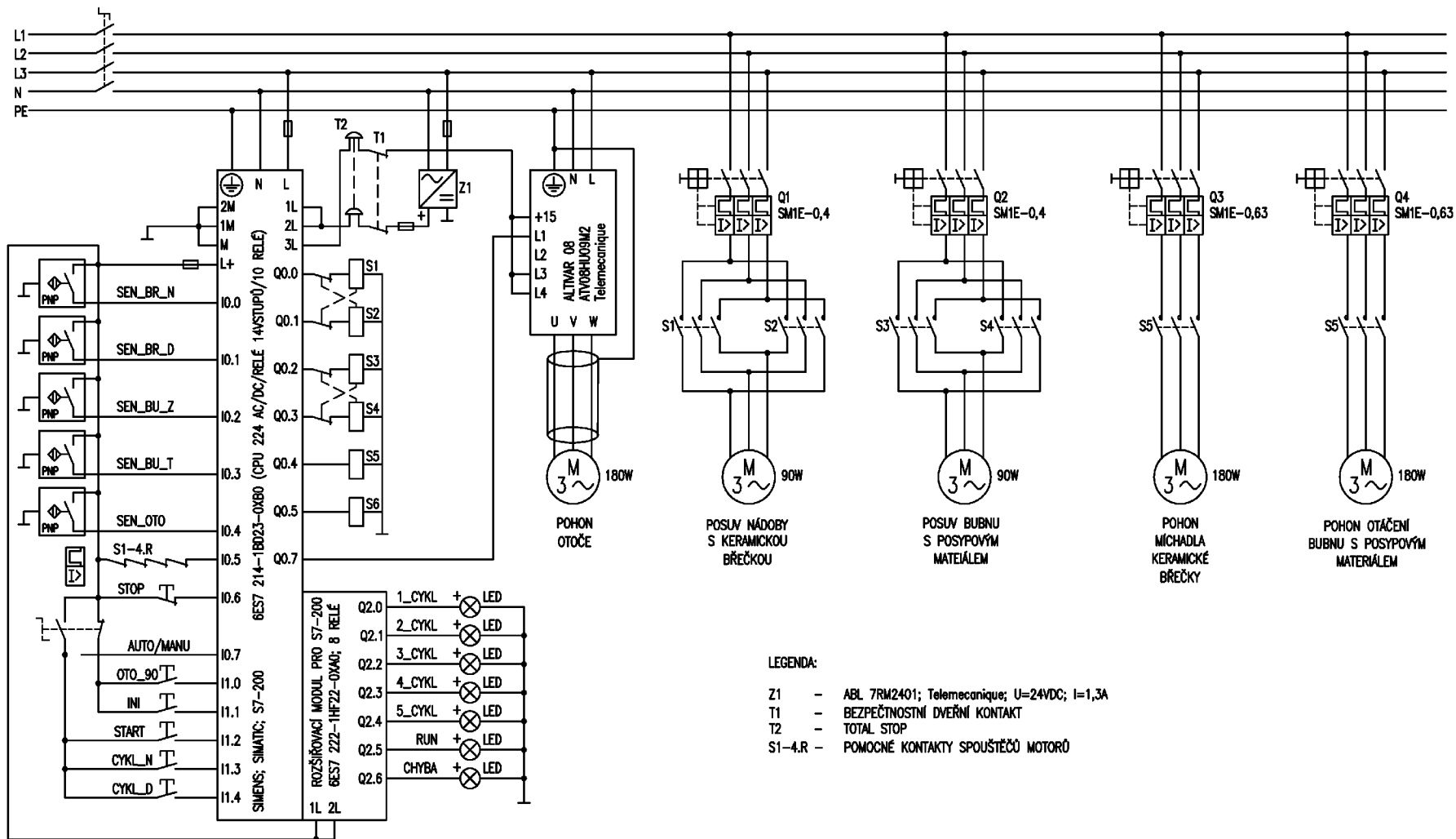
Jako chybové hlášení pro PLC o vypnutí tepelné ochrany některého ze spouštěčů motoru použijeme pomocný spínací a rozpínací kontakt ze standardního příslušenství od firmy OEZ. Pomocné rozpínací kontakty od všech motorových spouštěčů zapojíme do série, přivedeme napětí 24V a přivedeme na vstup PLC I0.5 (obr.34). Tím bude mít PLC informaci o stavu motorových spouštěčů.

Vhodné pro 3-fázové motory s výkonem ²⁾	Jmenovitý proud	Typ	Kód výrobku	Rozsah nastavení tepelné spouště	Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost ¹⁾	Hmotnost	Balení
P_n [kW]	I_n [A]			[A]	I_{cu} [kA]	m [kg]	[ks]
0,02	0,16	SM1E-0,16	39257	0,1 ÷ 0,16	50	0,252	1
0,06	0,25	SM1E-0,25	39258	0,16 ÷ 0,25	50	0,252	1
0,09	0,4	SM1E-0,4	39259	0,25 ÷ 0,4	50	0,252	1
0,12	0,63	SM1E-0,63	39260	0,4 ÷ 0,63	50	0,252	1
0,25	1	SM1E-1	39261	0,63 ÷ 1	50	0,252	1
0,55	1,6	SM1E-1,6	39262	1 ÷ 1,6	50	0,252	1

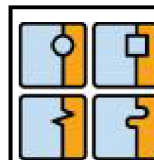
Tab.6 Část tabulky s typy motorových spouštěčů od firmy OEZ Letohrad

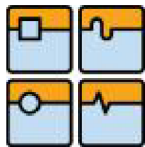
4.3. Návrh elektrického zapojení

Jako součást technické dokumentace byl proveden také návrh schématu elektrického zapojení stroje (obr.34). Instalace koncového spínače provedeme dle normy ČSN EN 1088:1999 – Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu.



Obr.34 Návrh schématu elektrického zapojení





5 Bezpečnost provozu stroje

5.1 Stanovení stupně rizikovosti dle ČSN EN 14121

Jeden z kroků pro zajištění bezpečnosti strojních zařízení je stanovení stupně rizikovosti práce při práci na stroji pro jednotlivé životní etapy stroje.

Životní etapy stroje:

- a) výroba
- b) přeprava, montáž a instalace
- c) uvedení do provozu
- d) používání (seřizování/programování, provoz, čištění, vyhledávání závady, údržba)
- e) vyřazení z provozu, demontáž a likvidace

Ohrožené osoby:

- a) dopravci
- b) seřizovač
- c) údržbář
- d) obsluha
- e) třetí osoba

Provozní stav stroje

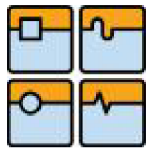
- a) normální provoz (stroj vykonává předpokládanou funkci) – výrobní a seřizovací režim činnosti stroje
- b) selhání stroje (stroj nevykonává předepsanou funkci)
- c) nepředpokládané chování obsluhy (únava, neopatrnost, ...)
- d) neoprávněný zásah třetí osoby

Kvůli rozsáhlosti problematiky je zpracování rizikové analýzy omezeno pouze na :

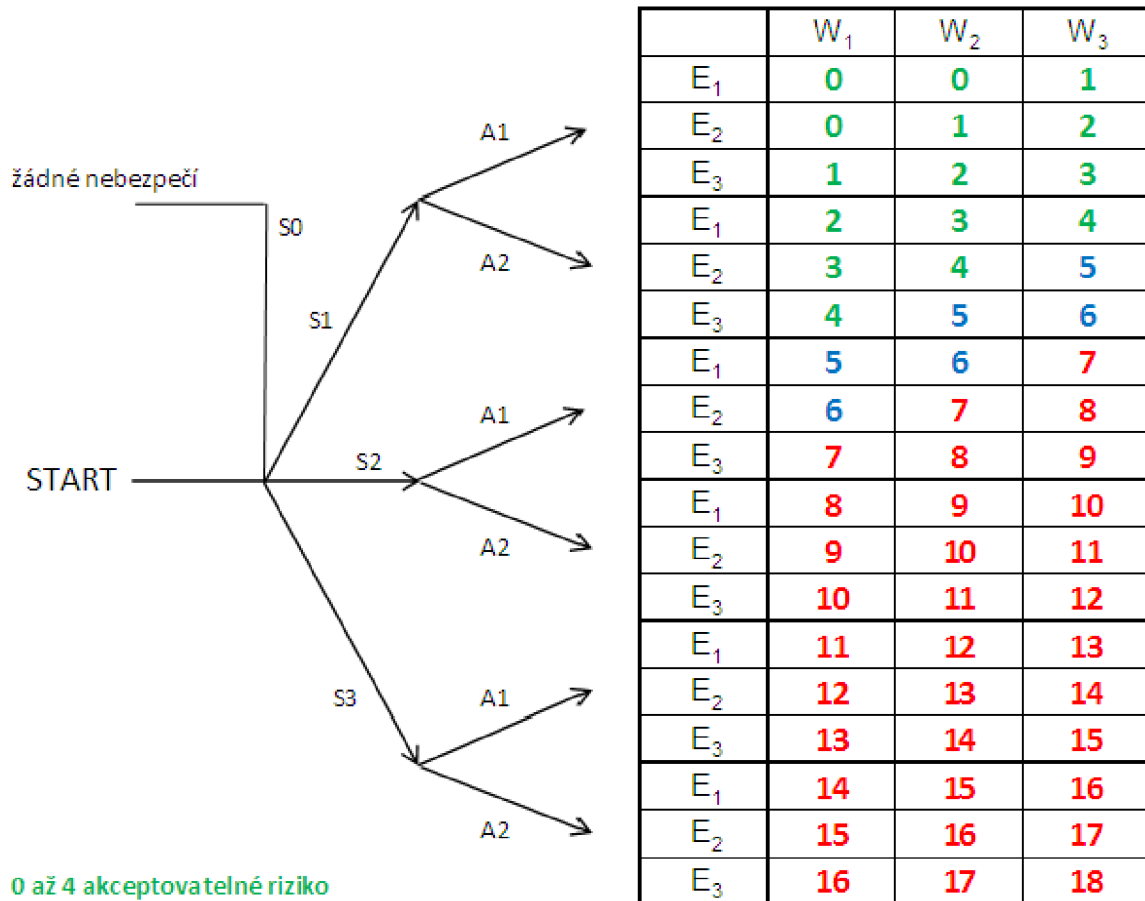
- používání (provoz stroje)
- obsluha
- normální provoz

Velikost rizika určíme dle obr.34 zdroj [2]. Jednotlivé symboly reprezentují

- a) závažnost a možné škody na zdraví
 - S0 žádné nebezpečí
 - S1 lehké zranění (přechodné následky)
 - S2 těžké zranění (trvalé následky)
 - S3 smrt
- b) četnost a doba trvání ohrožení
 - A1 zřídka až častěji
 - A2 často až trvale
- c) možnost rozpoznání a vyvarování se nebezpečí
 - E1 možné
 - E2 možné za určitých okolností
 - E3 sotva možné



- d) pravděpodobnost výskytu nebezpečné události
W1 malá (nepravděpodobné)
W2 střední (je pravděpodobná vícekrát za život jedince)
W3 velká (je častý vstup)



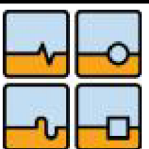
Obr.34 Graf pro odhad rizikovosti

Postup práce je zřejmý z tab.7. Původní odhadnuté riziko snižujeme postupnými kroky na přijatelnou mez stupeň rizika 0-6 (tzv. „metoda tří kroků“).

Krok č.1 je opatření ke snížení rizika zabudované přímo v konstrukci.
Tzn. konstrukčním řešením daného uzlu snížíme původní riziko.

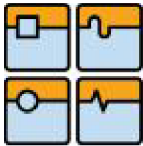
Krok č.2 je opatření ke snížení rizika je použití bezpečnostní ochrany a doplňkových ochranných opatření.

Krok č.3 popis rizika v informacích pro používání.



Tab. 7 Analýza rizik

Analýza rizik pro stroj na výrobu keramických forem		Krok č.1: Opatření zabudované v konstrukci		Krok č.2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření		Krok č.3: Informace pro používání														
Číslo operace	Popis operace	Činnost	Popis nebezpečné události	Počáteční riziko			Snížené riziko			Zbýtkové riziko										
				Závažnost možné škody na zdraví	Četnost a doba trvání ohrožení	Možnost vyvarování se nebezpečí	Pra. výskytu nebezpečné události	Závažnost možné škody na zdraví	Četnost a doba trvání ohrožení	Možnost vyvarování se nebezpečí	Pra. výskytu nebezpečné události	Závažnost možné škody na zdraví	Četnost a doba trvání ohrožení	Možnost vyvarování se nebezpečí	Pra. výskytu nebezpečné události					
1.	Doplnění posypového materiálu	Manipulace s jemným práchem.	Všechny jemných práchových částic.	S2	A1	E2	W3	8	Nejste aplikovat	S2	A1	E2	W3	8	Upoznornění v návodu použít: Při doplňování posypového materiálu látku doplňovat pomocí lopatky. Sřazení provádět z minimální výšky.	S1	A1	E2	W2	1
2.	Doplnění (vyjmání) keramické brsky	Manipulace s těžkým břemenem.	Pozanění přetížení zad.	S2	A1	E2	W3	8	Nejste aplikovat	S2	A1	E2	W3	8	Upoznornění v návodu k použití: Při vyjímání vyžadovat nádobu postavenou překřivením pomocí mramří někdy až po ruku vidličkou zavrřit nádobu. Po té vyjít dýlkek nádoby.	S1	A1	E2	W2	1
3.	Uprtí stromečku do stroje	Přináknutí prstu mezi kleslinu ujmene a ujmene částí stromečku.	Pohmoždení prstu (rakou). Přináknutí prstu mezi kleslinu ujmene a ujmene částí stromečku.	S2	A2	E3	W3	12	Stromeček uzpůsobit pro bezpečné uchopení při vřídání do klesliny (osazení pro dlaň).	S2	A2	E3	W1	10	Upoznornění v návodu k použití: Při ujmání stromečku do klesliny otočit kleslinu až po ruku vidličkou zavrřit část stromečku.	S1	A2	E2	W1	3
4.	Přelad otáček o 90°	Nesprávná montáž stromečku - Hledná není odložena potřebnou silou vykouzlení a pád stromečku.	Poranění nohou, paží.	S2	A2	E3	W3	12	Spoj mezi kleslinou a stromečkem uzpůsobit tak, aby po montáži bylo možné vizuální kontrolou ověřit správnost montáže	S2	A2	E1	W3	10	Upoznornění v návodu použít: Při ujmání stromečku do klesliny položit stromeček v kleslině zkontrolovat v ve zlože označenem průzvoru v kleslině	S1	A2	E1	W3	4
5.	Nastavení programu stroje. Spuštění stroje	Žádná rizika	0	S0					Upoznornění v návodu použít: Po ujmání stromečku do klesliny potažením směrem k zemi ověřit sílu srovnání klesliny	S1	A2	E3	W2	5	Upoznornění v návodu použít: Během přeladění otáček neukouvat do pracovního prostoru stroje	S2	A1	E1	W1	5
6.	Chod stroje v automatickém režimu	Primáknutí rotující částí stroje.	Zimozáclenný na těle, usřídění prstu.	S2	A2	E3	W3	12	Nejste aplikovat	S2	A2	E3	W3	12	Upoznornění v návodu použít: Sřazení II neukouvat do pracovního prostoru stroje ohrančeného pservými hrázením s dvěma vybovými bezpečnostním kontaktem	S2	A1	E2	W1	6
7.	Demontáž stromečku	Upeáknutí, vysněknutí stromečku.	Poranění nohou, chodidel (těla)	S2	A2	E3	W3	12	Stromeček uzpůsobit pro bezpečné uchopení při odepnání z klesliny	S2	A2	E3	W1	10	Upoznornění v návodu k použití: Postupodepnání stromečku z klesliny: 1. uchopit za žluté označenou část stromečku. 2. Na stromeček působit silou směrem do klesliny. 3. Pomalu povolit ujmání pádu. 4. Vysněknout stromeček z klesliny	S1	A2	E2	W1	3

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

6. Závěr

Návrh automatu pro výrobu keramických forem pro metodu přesného lití je proveden dle zadání diplomové práce a stanovených cílů. Konstrukční návrh je rozdělen do dvou hlavních dílčích skupin. Na část mechanickou a řídicí. Doprovodná výkresová dokumentace byla zpracována v programu ProEngineer WF4.0.

6.1 Zhodnocení mechanické části

Pro pohon řízených os stroje byly zvoleny trapézové závitové tyče s maticí. Vzhledem k prašnosti prostředí doporučuji ještě doplnit zařízení o odsávání při posypovém cyklu, nebo doplněním upínací části pro stromečky o poklop, který by při najetí bubnu na stromeček otvor uzavřel. Vzhledem k frekvenci posypů (6hod.) by na životnost posuvů neměl mít prach z posypu rozhodující vliv. V případě nestanovení druhu posuvu zadavatelem, volil bych pohon os přímočarým pneumatickým motorem s tyčovým vedením v kluzných plastových pouzdrech (např. od firmy Igus). U tohoto druhu motoru není třeba krytování z důvodu prachu, neboť jsou prachotěsné a vedení nevadí ani přímé brodění v syklých látkách.

Pro pohon obou os není třeba použít ozubený řemen, ale stačí použít též řemen klínový nebo plochý, které jsou cenově dostupnější. Není zde nutná přesná synchronizace mezi motorem a osou pohybového šroubu. V konstrukci byl použit tento druh pohonu kvůli skladovým zásobám firmy, pro kterou byl stroj navrhován.

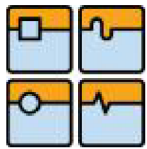
Vůle v převodu válečkovým řetězem mezi řetězovým kolem otoče a výstupní hřídelí šnekové převodovky může vést k velké chybě opakovatelnosti v přesnosti polohování. Tuto nepřesnost je možno eliminovat použitím převodu ozubeným řemenem.

6.2 Zhodnocení řídicí části

Program byl napsán tak, že předpokládá dostatečně přesnou opakovatelnost při vypnutí pohonu otoče a následném doběhu setrvačných hmot bez nutnosti brzdy, nebo další regulace polohy. Moment setrvačnosti této soustavy do značné míry závisí na množství modelů napájených na stromeček a to může mít velký význam pro zmiňovanou opakovatelnost doběhu.

Při nutnosti použití brzděného motoru bude nutné prodloužit čekací smyčku po dojezdu otoče. Soustava této osy se rozkmitá díky relativně nízké torzní tuhosti hřídele v náboji.

Druhá možná alternativa pro pohon otoče, která jako jediná vyžaduje jistou přesnost polohování, je použití krokového namísto asynchronního motoru. Díky náběhovým a doběhovým rampám bude stroj polohovat spolehlivěji a indukční čidlo bude sloužit pouze jako kontrola polohy otoče a pro inicializaci stroje. Toto řešení předpokládá však rozšíření soustavy PLC o přídatný polohovací modul pro řízení krokových motorů typ EM253 (obj.č.: 6ES7 253-1AA22-0XA0), nebo PLC s digitálními výstupy, které mají v sobě integrované vysokorychlostní výstupy pro posílání pulsů do driverů pro krokové motory. Tento modul (EM253) má kromě vysokorychlostního výstupu, také řadu jiných funkcí pro řízení pohonu jedné osy stroje jako je např. vyhledávání nulového bodu. Ekvivalent PLC pro použitý reléový typ je 6ES7 214-1AD23-0XB0; CPU 224 DC/DC/DC se 14 dig. vstupy/10 dig. výstupy. Pro generování pulsů použijeme vnitřní funkci PTO (Profile table for output) pro nastavení profilu chodu

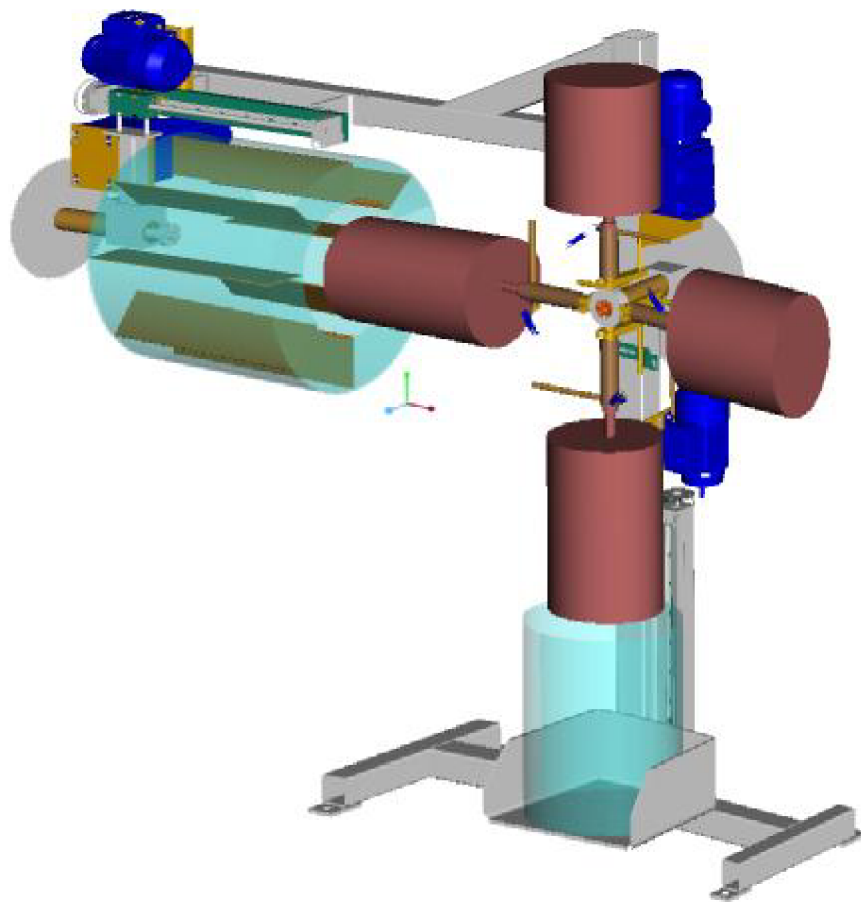


motoru (náběh, přejezd a doběh). Pro napájení krokových motorů bude také nutné zvýšit proudovou zatížitelnost přídavného zdroje 24VDC a doplnit o driver pro krokové motory např. typ „M325 Driver“ od firmy Leadshine Technology Ltd (typ v závislosti na výstupním proudu).

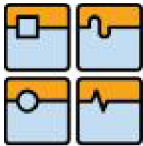
Program pro PLC se z časových důvodů nepodařilo dokončit. Na dokončení a ladění programu by bylo třeba kompletní zapojení elektrického obvodu, nebo alespoň možnost simulace všech vstupů, která nebyla k dispozici. Část programu režimu „AUTO“ je funkční, ale není ještě ošetřena proti neodbornému zásahu. Taktéž zbývá dokončit část programu, která bude řešit stav při výpadku napájení, což může vést i k úpravě elektrického zapojení.

6.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Navržený stroj nemůže svými parametry a stupněm inteligence konkurovat robotizovaným linkám, které se pro tuto technologii standardně vyrábí. Vzhledem použitým komponentám ze starého stroje a vlastní montáži náklady na výrobu nepřesáhnou 20 000 Kč. Stroj sice ušetří majiteli asi jen 0,5 hod. denně čistého času, ale odpadne nutnost příchodu na dílnu každých 6 hodin. Nebude se tím narušovat pracovní den majitele a zároveň jediného zaměstnance firmy, pro kterou je stroj navrhován, což dělá z navrhovaného stroje zařízení rentabilní.



Obr.35 Model stroje pro výrobu keramických forem

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

7 Seznam použitých zdrojů

Knihy:

- [1] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. MM Průmyslové spektrum, speciální vydání, ISSN 1212-2572, září 2006. 284 s.
- [2] HLINOVSKÝ, J.; MAREK, J.; BLECHA, P.; MAREČEK, J. *Management rizik v konstrukci výrobních strojů*. MM Průmyslové spektrum, speciální vydání, ISSN 1212-2571, září 2009. 92 s.
- [3] VÁVRA, P.; LEINVEBER, J. *Strojnické tabulky – Druhé doplněné vydání*. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2005. 907 s.
- [4] HORÁČEK, M.: *Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 92 s.
- [5] SVOBODA, P.; BRANDEJS, J.; PROKEŠ, F. *Základy konstruování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ISBN 80-72074-306-4, 2003. 200 s.
- [6] KRATOCHVÍL, C.; SLAVIK, J. *Mechanika těles - Dynamika*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ISBN 80-214-2260-2, listopad 2002. 227 s.
- [7] ŽDÍMAL, P.: *Příspěvek k návrhovému výpočtu hřídele*, ISBN 80-7078-919-0, Ostrava, 2001.
- [8] *FAG Valivá ložiska, standardní program*. Katalog WL 41520 CSA, Září 1997. 623 s.

Internetové zdroje:

- [9] *Volba hnacího válečkového řetězu*.
Dostupné z: <http://www.kovos-retezy.cz>
- [10] *Programovatelný automat S7-200, Systémový manuál*,
Vydání 06/2004.
Dostupné z: <http://www.siemens.com>
- [11] *Nízkonapěťové motory - Trojfázové asynchronní motory nakrátko 1LA7, osová výška 56 až 160, výkon 0,06 až 18,5 kW, K02-0811CZ*.
Dostupné z: <http://www.siemens.com>
- [12] *Hiwin - Lineární vedení*.
Dostupné z: <http://www.hiwin.cz>

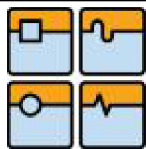
- [13] *Přístroje pro spínání a ovládání Conteo.*
Dostupné z: <http://www.oez.cz>
- [14] *User's manual ATV08H / Guide d'exploitation ATV08H, VDED398035.*
Dostupné z: <http://www.schneider-electric.com>
- [15] *Mechanical Standard Components for Factory Automation.* 2007. 2237 s.
Dostupné z: <http://www.misumi-ec.com>

Zákony:

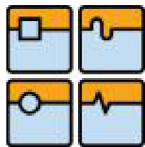
- [16] NV 17/2003 Sb. Technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí
- [17] NV 18/2003 Sb. Technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility

Normy:

- [18] ČSN EN ISO 12100-1:2004 - Bezpečnost strojních zařízení – Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci – Část 1: Základní terminologie metodologie.
- [19] ČSN EN ISO 12100-2:2004 - Bezpečnost strojních zařízení – Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci – Část 2: Technické zásady a specifikace.
- [20] ČSN EN ISO 14121-1:2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Posouzení rizika – Část 1: Zásady
- [21] ČSN EN 1088:1999 – Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu.

**8 Seznam použitých zkratk a symbolů**

Značka	Jednotka	Název veličiny
α	[°]	Úhel obecného natočení otoče
β	[°]	Úhel trapézového závitu
γ	[°]	Úhel stoupání závitu
ε_M	[rad.s ⁻²]	Úhlové zrychlení motorů pro posuvy os
η_P	[-]	Účinnost šnekové převodovky
a_N	[m.s ⁻²]	Zrychlení posuvu bubnu i nádoby s keramickou břečkou
g	[m.s ⁻²]	Gravitační tíhové zrychlení
i	[-]	Převod mezi motorem a posypovým šroubem
i_B	[-]	Převod mezi motorem posypového bubnu a posypovým bubnem
i_{FM}	[-]	Převod frekvenčního měniče
i_O	[-]	Převod mezi hřídelí převodovky a otočí
$i_{\dot{S}P}$	[-]	Převod šnekové převodovky na motoru pohonu otoče
$i_{\dot{R}}$	[-]	Řetězový převod otoče
n_B	[min ⁻¹]	Otáčky posypového bubnu
n_M	[min ⁻¹]	Otáčky motorů pro posuv posypového bubnu i nádoby s keramickou břečkou
n_{MB}	[min ⁻¹]	Otáčky motoru posypového bubnu
n_{MO}	[min ⁻¹]	Otáčky motoru otoče
$n_{\dot{S}}$	[min ⁻¹]	Otáčky posuvového šroubu
$n_{\dot{S}P}$	[min ⁻¹]	Otáčky na výstupu šnekové převodovky
d_{N1}	[m]	Střední průměr řemenic na posunových šroubech bubnu i nádoby s keramickou břečkou
d_{N2}	[m]	Střední průměr řemenic na motorech posuvu bubnu i nádoby s keramickou břečkou
d_{STR}	[m]	Střední průměr závitu posuvů
s	[m]	Stoupání závitu
ST_N	[m]	Vzdálenost vozíku lineárního vedení od těžiště nádoby s keramickou břečkou
J_M	[kgm ²]	Moment setrvačnosti motorů pro posuv posypového bubnu i nádoby s keramickou břečkou
J_{N1}	[kgm ²]	Moment setrvačnosti řemenic na posunových šroubech bubnu i nádoby s keramickou břečkou
J_{N2}	[kgm ²]	Moment setrvačnosti řemenic na motorech posuvu Bubnu i nádoby s keramickou břečkou
J_{RED}	[kgm ²]	Moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru
M_{DYN}	[Nm]	Moment motoru pohonu nádoby s keramickou břečkou potřebný na urychlení hmot
M_{KO}	[Nm]	Kroutící moment na hřídeli otoče
M_{KOM}	[Nm]	Kroutící moment na motoru otoče
$M_{T\dot{S}M}$	[Nm]	Momentová složka od vlivu předpětí šroubu
M_Z	[Nm]	Momentové zatížení vozíku od hmotnosti nádoby s keramickou břečkou
d_{STR}	[m]	Střední průměr závitu posuvů
v_N	[m.s]	Rychlost posuvu bubnu i nádoby s keramickou břečkou



DIPLOMOVÁ PRÁCE

F_Q	[N]	Tažná síla vyvozená utahováním šroubu
F_U	[N]	Síla působící na závit při utahování šroubu
F_T	[N]	Síla působící na závit vyvozená silou F_Q
$F_{\check{R}}$	[N]	Tažná síla v řetězu
$F_{\check{R}EM}$	[N]	Tažná síla v ozubeném řemenu
N_{FU}	[N]	Normálová síla v závitě vyvozená utahováním šroubu
R_{TS}	[m]	Vzdálenost těžiště stromečku od osy otoče
T_1	[N]	Třecí síla v závitě vyvozená zatížením na šroubu
T_2	[N]	Třecí síla v závitě vyvozená utahováním šroubu
Z_{N1}	[-]	Počet zubů řemenic na posunových šroubech bubnu i nádoby s keramickou břečkou
Z_{N2}	[-]	Počet zubů řemenic na motorech posuvu bubnu i nádoby s keramickou břečkou
$Z_{\check{R}}$	[-]	Počet zubů ozubeného řemenu

9 Seznam příloh

9.1 Výkresová dokumentace

Název:

Sestava stroje pro výrobu keramických forem
Sestava pohybové osy

Číslo výkresu:

GAA165A
GAA165A3

9.2 Přílohy na CD-ROM

Diplomová práce – zpráva (MS Word 2007)

Diplomová práce – zpráva (Adobe Acrobat)

Výkresová dokumentace + modely (ProEngineer WF4.0)

Prezentace – (MS Power point 2007)

Řídící program (Step 7 MicroWin V4.0 SP6)

MKP analýzy (ProMechanica)

Schéma elektrického zapojení (AutoCAD 2006)

Altivar 08 – katalogový list (Adobe Acrobat)

Indukční snímače Festo - katalogový list (Adobe Acrobat)