



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**KONSTRUKCE ŘÍZENÉ TRYSKY VYSOKOTLAKÉ
VSTŘIKOVACÍ HLAVY**

DESIGN OF CONTROLLED NOZZLE FOR HIGH PRESSURE RIM HEAD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Sýkora

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Daniel Koutný, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Petr Sýkora**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Daniel Koutný, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

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

Konstrukce řízené trysky vysokotlaké vstřikovací hlavy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při výrobě integrální polyuretanové hmoty se používá vysokotlaká hlava směřující isokyanát a polyol v požadovaném poměru. V současnosti se směšovací poměr hlav používaných firmou SKB Sýkora s.r.o. zajišťuje pomocí dvojice koncových trysek o definovaných rozměrech. Pro výměnu koncových trysek a nastavení jiného směšovacího poměru je nutné dočasné zastavení výroby. Pro zvýšení produktivity je tedy potřeba zajistit rychlou změnu poměru obou materiálů. To umožní vyrábět v jedné směně výrobky s odlišným poměrem obou komponentů.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je vyvinout řízenou trysku vysokotlaké vstřikovací hlavy pro výrobu integrální polyuretanové pěny při dodržení zaměnitelnosti se současnou tryskou na směšovací hlavě Cannon.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- analyzovat současné řešení a zhodnotit výhody a nevýhody konkurenčních řešení,
- navrhnout varianty konstrukčního řešení řízené trysky,
- pro zvolenou variantu vypracovat konstrukční návrh včetně výkresové dokumentace.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2019.pdf

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G.: Konstruování strojních součástí. Překlad 7. vydání, VUTUM, Brno 2010, 1186 s, ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem regulace směšovací trysky u vysokotlakého směšovacího stroje na výrobu výrobků z polyuretanu. Cílem práce je navrhnout konstrukci řízené směšovací trysky pro směšovací hlavu Cannon při dodržení zaměnitelnosti se současnou tryskou. Zvolený cíl jsem vyřešil konstrukcí trysky ovládané krokovým motorem o stejných zástavbových rozměrech. Regulace je zajištěna škrcením průtoku otáčením šroubu trysky motorem. Podařilo se vytvořit funkční prototyp a vytvořit tabulku umožňující přepočet stávajících průměrů trysek na natočení motoru. Hlavním přínosem této práce je vytvoření automaticky regulované trysky nutné pro plně automatizovaný provoz stroje.

KLÍČOVÁ SLOVA

polyuretan, směšovací stroj, směšovací hlava, směšovací tryska, krokový motor

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of mixing nozzle regulation for high-pressure mixing machine for production of polyurethane products. The aim of this work is to design the construction of controlled mixing nozzle for mixing head Cannon while keeping interchangeability with the current nozzle. I solved the chosen goal by constructing a nozzle controlled with the same build dimensions by a stepper motor. Control is ensured by throttling the flow by turning the nozzle screw through the motor. We managed to create a functional prototype and create a table to convert the existing nozzle diameters to the rotation of the engine. The main benefit of this work is the creation of an automatically regulated nozzle required for fully automated machine operation.

KEYWORDS

Polyurethane, mixing machine, mixing head, mixing nozzle, stepper motor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SÝKORA, Petr. *Konstrukce řízené trysky vysokotlaké vstřikovací hlavy* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117417>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Daniel Koutný.

PODĚKOVÁNÍ

Nejprve bych rád touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Danielu Koutnému, Ph.D. za jeho odborné rady. Dále bych chtěl poděkoval rodině, která mě po celou dobu studia podporovala. V neposlední řadě bych rád poděkoval pracovníkům konstrukčního oddělení firmy SKB Sýkora s.r.o. kteří mi poskytli dostatečné množství informací pro vytvoření této práce a věřím, že tato práce bude ku prospěchu firmy.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Konstrukce řízené trysky vysokotlaké směšovací hlavy*. napsal sám pod vedením doc. Ing. Daniela Koutného Ph.D. s použitím odborné literatury a zdrojů uvedených v seznamu na konci této práce.

V Brně dne 1. května 2019. Petr Sýkora:

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Popis vysokotlakého vypěňovacího stroje	14
2.2	Typy vysokotlakých směšovacích hlav	16
2.2.1	Hlavy s otevřenou směšovací komorou	16
2.2.2	Hlavy s boční směšovací komorou	17
2.3	Režimy směšovacích hlav	18
2.3.1	Režim recirkulace	18
2.3.2	Režim lití	19
2.3.3	Režim čištění	19
2.4	Další části vypěňovacího stroje	20
2.4.1	Hydraulický systém stroje	20
2.4.2	Polyol	21
2.4.3	Izokyanát	21
2.4.4	PLC a zobrazovací systém Controlweb	21
2.5	Přehled konstrukcí trysek	23
2.5.1	Tryska s manuálně nastavitelnou jehlou	23
2.5.2	Manuální výměna trysek	24
2.5.3	Motorová tryska Krauss Maffei Vario	24
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	26
3.1	Analýza problému	26
3.2	Cíl práce	26
3.2.1	Hlavní cíl bakalářské práce:	26
3.2.2	Dílčí cíle bakalářské práce:	27
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	28
4.1	Základní koncepce	28
4.2	Varianta s přímým pohonem	29
4.3	Varianta se kuželovou převodovkou	31
4.4	Závěrečná volba varianty	31
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	32
5.1	Celková konstrukce trysky	32

5.1.1	Konstrukce tělesa nosiče jehly	33
5.1.2	Tryska a jehla trysky	33
5.1.3	Výpočet nastavení posuvu trysky	35
5.1.4	Laminátor	37
5.1.5	Nosič jehly trysky	38
5.1.6	Náboj motoru	38
5.1.7	Pevnostní výpočet šroubu náboje	39
5.1.8	Kontrolní výpočet mosazné vložky	39
5.2	Konstrukce řízení trysky	39
5.2.1	Krokový motor	39
5.2.2	Řízení motoru	40
5.2.3	Konstrukce PLC a spolupráce s EZI	41
5.2.4	Komunikace krokového motoru a PC	41
5.2.5	Komunikace krokového motoru a PLC	41
5.2.6	Konstrukce regulace	42
5.2.7	Konstrukce kalibrace a nastavení	43
5.3	Ekonomická kalkulace	44
6	DISKUZE	46
6.1	Shrnutí práce	46
6.2	Technologické a ekonomické kritérium	46
6.3	Využití návrhu	47
7	ZÁVĚR	48
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	51
9.1	Seznam použitých fyzikálních veličin	51
9.2	Seznam použitých zkratk	51
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	52
11	SEZNAM TABULEK	53
12	SEZNAM PŘÍLOH	54
13	PŘÍLOHY	55

1 ÚVOD

Výroba volantů je jedním z typických aplikací výroby výrobků z integrálních polyuretanových pěn. Samotný proces výroby integrálního polyuretanu je dán smísením obou komponent, tj. polyolu a izokyanátu ve speciální směšovací hlavě a následným vypěněním smíšené směsi vlité do formy. Pro správné smísení obou komponent je však podstatné správné nastavení parametrů směšování ve směšovací hlavě. Jeden z důležitých parametrů směšovací hlavy je průměr směšovací trysky. Změna průměru trysky ovlivňuje průtok komponenty, popř. poměr obou komponent a tím i vlastnosti výsledného výrobku a výkonnost výroby.

Ve směšovacích hlavách strojů firmy SKB Sýkora s.r.o. v současné době se provádí nastavení potřebného průměru trysek obou komponent jejich manuální výměnou. To ovšem způsobuje prostoje ve výrobě a neumožňuje flexibilní výrobu výrobků s odlišným poměrem komponent v rámci jedné pracovní směny. Současný stav rovněž zamezuje hlubší automatizaci výroby a je náchylný na chyby vzniklé lidským faktorem. Proto manuální výměna trysek, vzhledem k stále většímu nedostatku kvalifikovaných pracovních sil a rostoucích mzdových nákladů, způsobuje finanční ztráty.

Umožnění změny průměru směšovací trysky za chodu stroje bez výměny trysky ve směšovací hlavě způsobí podstatné rozšíření možností výroby i zkvalitnění výsledného výrobku. Bude možné vyrábět v rámci jedné směny bezprostředně za sebou výrobky z velmi odlišnou hmotností i tvrdostí, což současná technologie neumožňuje. Rovněž zkrácení doby přípravy výroby způsobí finanční úsporu.

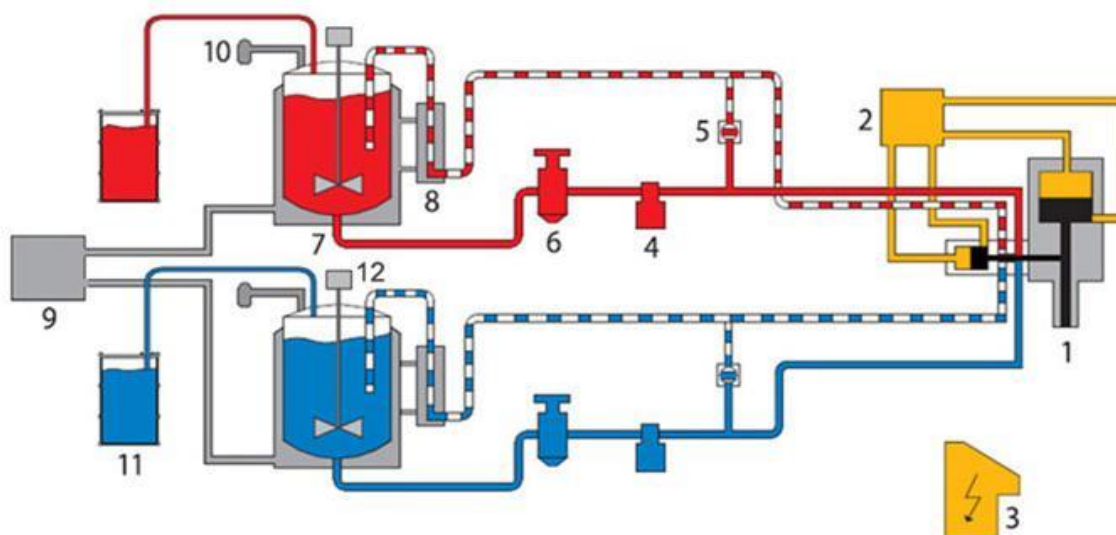
Vyřešením tohoto problému je jedním z bodů nutných pro úplné a dokonalé zvládnutí této choulostivé výroby a to i v podmínkách kusové nebo prototypové výroby.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Výroba výrobků z integrální polyuretanové pěny je možná jen na speciálním vypěňovacím stroji, jež existují v nízkotlakém a vysokotlakém provedení. Princip výroby integrálního polyuretanu spočívá v smíšení dvou hlavních komponent, polyolu a izokyanátu, ve směšovací hlavě vypěňovacího stroje. Typ vypěňovací hlavy zároveň určuje, zda se jedná o vysokotlaký nebo nízkotlaký stroj. Vzhledem k tomu, že se tato bakalářská práce týká konstrukce trysky pro vysokotlaký stroj, nebudu o nízkotlaké variantě blíže pojednávat.

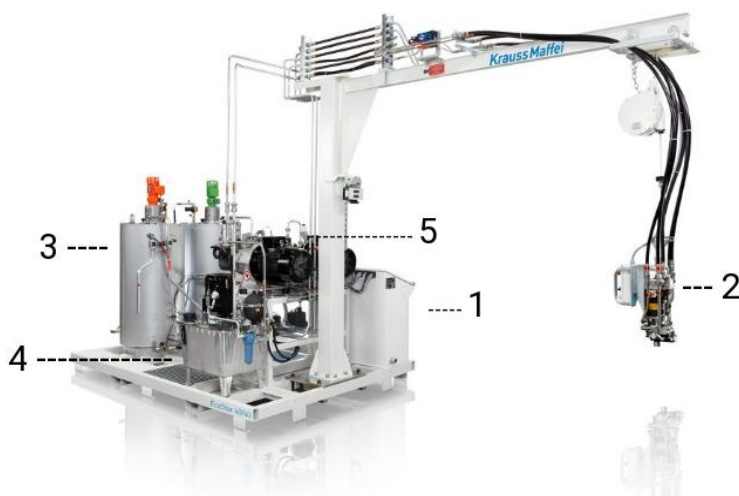
2.1 Popis vysokotlakého vypěňovacího stroje

Zásobníky materiálů (7), jež jsou doplňovány z externího kontejneru (11), bývají zpravidla dvoupášťové tlakové nádrže s domíchávacím zařízením (12). V tomto zásobníku je jak polyol tak i izokyanát uskladněn s přetlakem vzduchu (10) přibližně 150-200 kPa, kdy je neustále míchán míchacím zařízením pro nutnou homogenizaci kapaliny. Materiál je temperační kapalinou ohříván (7) nebo ochlazován (8) na požadovanou teplotu. Obvyklá teplota je 19-30 °C. Tlak v nádrži je zároveň dopravním tlakem do vstupu čerpadel (4), kam materiál proudí přes čisticí filtry (7). [01]



Obr. 2-01 Schéma vysokotlakého směšovacího stroje [23]

Materiál je po průchodu čerpadlem stlačen na tlak dle použité technologie, jež je ovládán škrtícím ventilem (5) a dopraven do směšovací hlavy (7). Směšovací hlava obsahuje zpětný kanál pro obě komponenty, který je otevřen pouze v okamžiku, pokud nedochází ke směšování a tím i vstřiku do formy a zároveň jsou dopravní čerpadla v provozu. Tímto zpětným kanálem se materiál vrací zpět do zásobníku bez kontaktu s druhou složkou. Průběžnou cirkulací materiálu se dosahuje celkové homogenizace a tím i konstantních chemických vlastností obou komponent. Všechny prvky ovládání zajišťuje po elektrické stránce PLC (3) spolu s rozvodnou skříní a po mechanické stránce hydraulický systém (2) s elektricky ovládanými ventily. [01]



Obr. 2-03 Vysokotlaký směšovací stroj Krauss-Maffei [25]

Popis obrázku: 1. řídicí systém s PLC, 2. vysokotlaká směšovací hlava, 3. tlakové zásobníky materiálu, 4. hydraulický agregát, 5. vysokotlaká dopravní čerpadla

Vypěňovací stroj ve vysokotlakém provedení je navržen následovně. Každá komponenta je při určitém tlaku dopravena do trysky směšovací hlavy o různém průměru a vytlačena proti druhé komponentě pod vysokým vstřikovacím tlakem přibližně 10-20 MPa, ve velmi tenkém paprsku a při velmi vysoké rychlosti. Oba proudy materiálů narazí do sebe a dojde k velmi dobrému smísení. Takto smíchaný materiál odchází volně do vtokové soustavy formy, kde dochází k reakčnímu procesu obou složek. [04]

Výsledné vlastnosti integrální polyuretanové směsi jsou ovlivněny směšovacím poměrem obou komponent, teplotou materiálu, dynamickou viskozitou v okamžiku smísení a chemickými vlastnostmi obou komponent. Hlavním problémem při výrobě integrálního polyuretanu je velmi náročné nastavení směšovacích poměrů v okamžiků mísení obou hlavních komponent a jejich komplikovaná opakovatelnost nastavení.

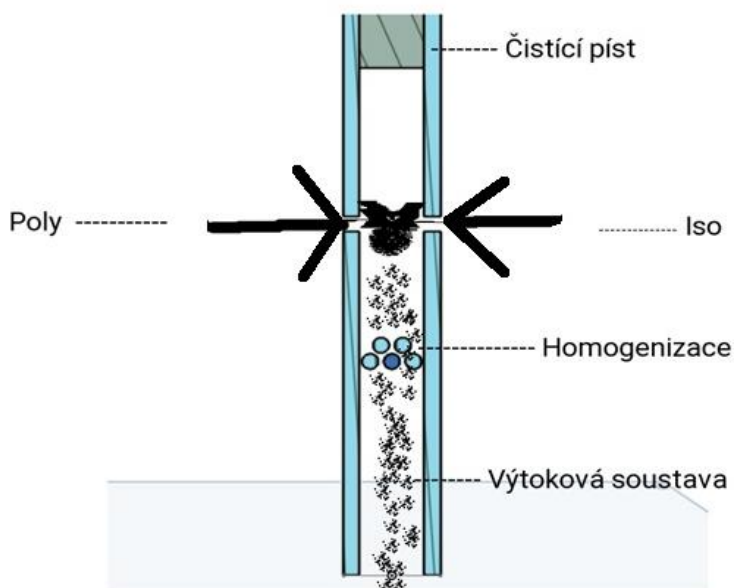
U hromadné nebo velkosériové výroby je situace jednodušší, protože nedochází k potřebě časté změny směšovacích parametrů. U výroby středně sériové a nižší je velmi obtížné dosáhnout přesné opakovatelnosti. I v případě nastavení zcela shodných parametrů je vlivem značných odlišností chemických vlastností vstupních komponent nezbytná korekce parametrů každého jednoho vstřiku do formy. [04]

2.2 Typy vysokotlakých směšovacích hlav

Existuje několik typů vysokotlakých směšovacích hlav. Obecně je lze rozdělit na hlavy s otevřenou směšovací komorou a boční směšovací komorou.

2.2.1 Hlavy s otevřenou směšovací komorou

Tento typ se vyznačuje jednoduchou konstrukcí. Jeho hlavní nevýhodou je špatné smísení polyuretanové směsi v počátečním okamžiku lití. Při použití tohoto principu je nutné aby forma obsahovala alespoň jednoduchý typ domíchávací vtokové soustavy.

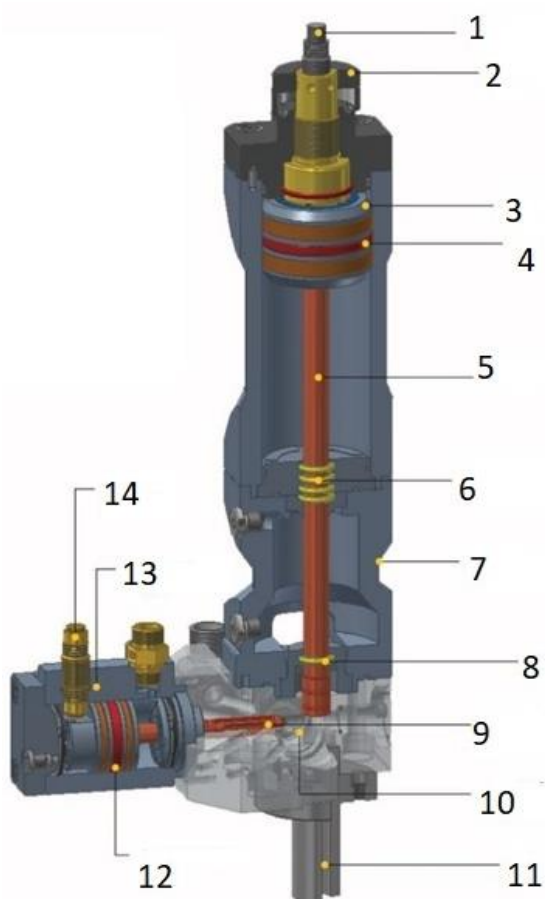


Obr. 2-10 Vysokotlaká směšovací hlava s otevřenou komorou a homogenizací

Odstranění těchto problémů částečně umožňuje varianta hlavy s následnou homogenizací, kde po zahájení směřování, čistící píst otevře směšovací komoru, jež je umístěna přímo ve výtoku směšovací hlavy a hydraulický systém hlavy vysune zpravidla pět malých prutů do prostoru výtoku z hlavy. Tím materiál bezprostředně po smísení vytéká přes vysunuté výstupky a dochází k homogenizaci směsi. V praxi je tato směšovací hlava velmi oblíbená pro svou jednoduchost a výborné směšovací vlastnosti.[27]

2.2.2 Hlavy s boční směšovací komorou

Při použití tohoto typu je směs dobře promísena i v počátečním okamžiku. Její princip spočívá ve smísení proudů materiálu v malé boční směšovací komoře, odkud volně, klidně vytéká do výtokové komory a dále do formy. Je to nejběžnější typ směšovací komory a vyznačuje se velmi rychlým náběhem reakce obou komponent.[13]



Obr. 2-04 Vysokotlaká směšovací hlava s uzavřenou komorou [26]

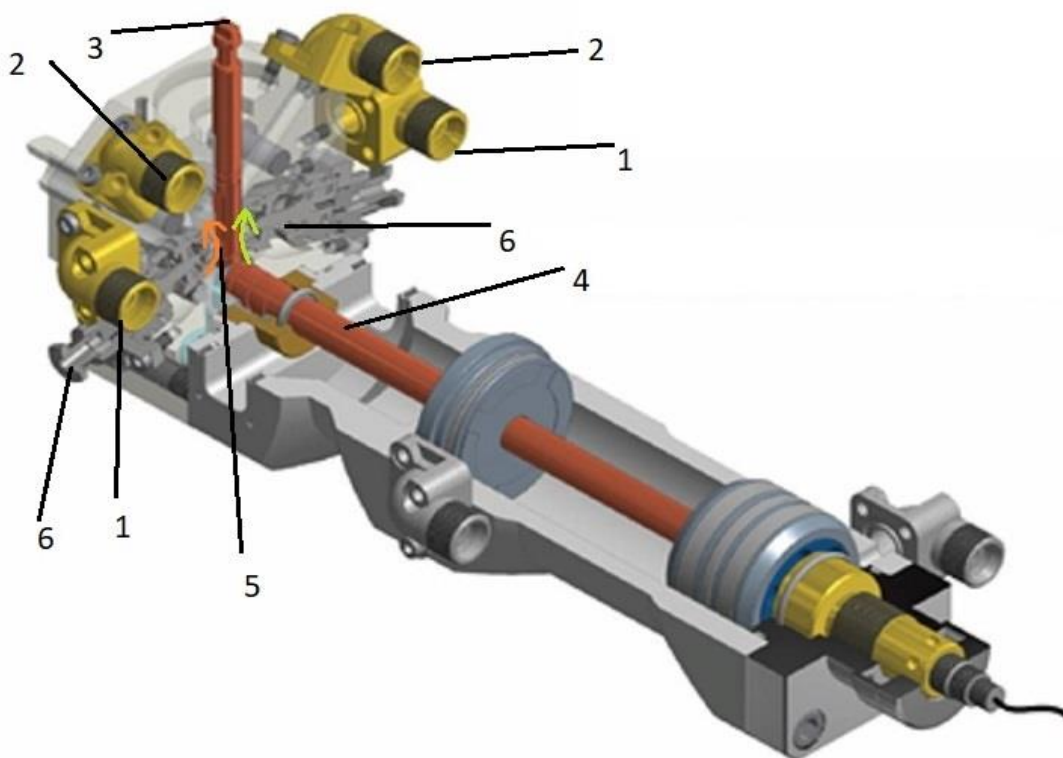
Popis obrázku: 1. čidlo dorazu pístu, 2. regulace výšky pístu, 3. těleso pístu, 4. těsnění pístu, 5. čistící píst, 6. těsnění pístu, 7. válec pístu, 8. těsnění pístu, 9. směšovací píst, 10. směšovací komora, 11. výtoková komora, 12. těsnění hydraulického pístu, 13. válec hydraulického pístu, 14. vtok hydraulického oleje

2.3 Režimy směšovacích hlav

Směšovací stroj pracuje ve třech pracovních režimech, jimž odpovídá nastavení parametrů hlav a které obvykle na sebe navazují. Jsou to režimy recirkulace, lití a čistění.

2.3.1 Režim recirkulace

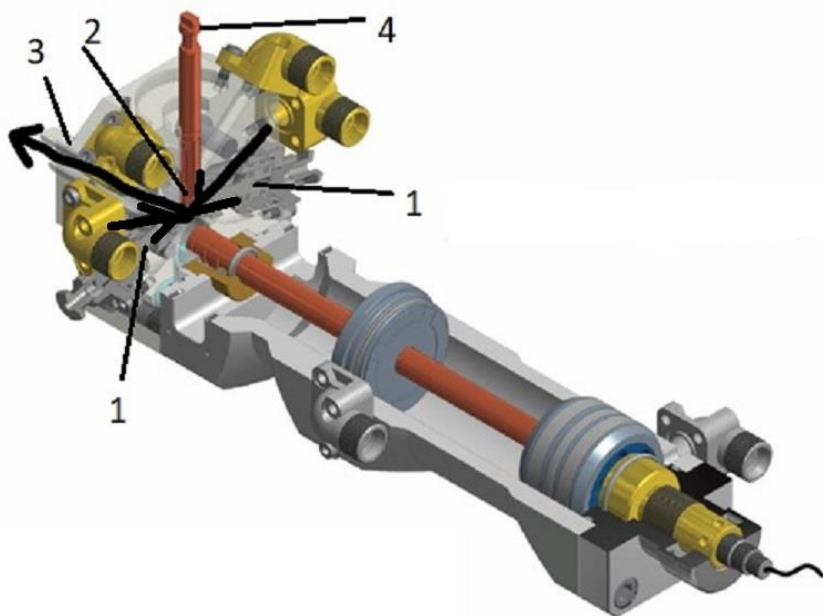
Režim recirkulace je spuštěný v okamžiku, kdy mají všechny systémy pracovní tlak a není zahájeno směšování a lití do formy. To bývá jen několik sekund před zahájením lití z důvodů uklidnění pohybu obou komponentu. Znázornění je uvedeno na obrázku níže. Materiál přitéká vtokem (1) přes trysky (6) a kanály (5) v pístu směšovací komory (3) se vrací zpět do zásobníku každé komponenty. Čistící píst (4) je vysunut, avšak nedochází v žádném případě ke smísení obou komponent. Hlavním důvodem použití tohoto režimu je kalibrace tlaků a průtoku přes trysky ve směšovací hlavě. Tento režim je prvním režimem v celé sekvenci zahájení směšování. [05]



Obr. 2-13 Vysokotlaká směšovací hlava v režimu recirkulace [29]

2.3.2 Režim lití

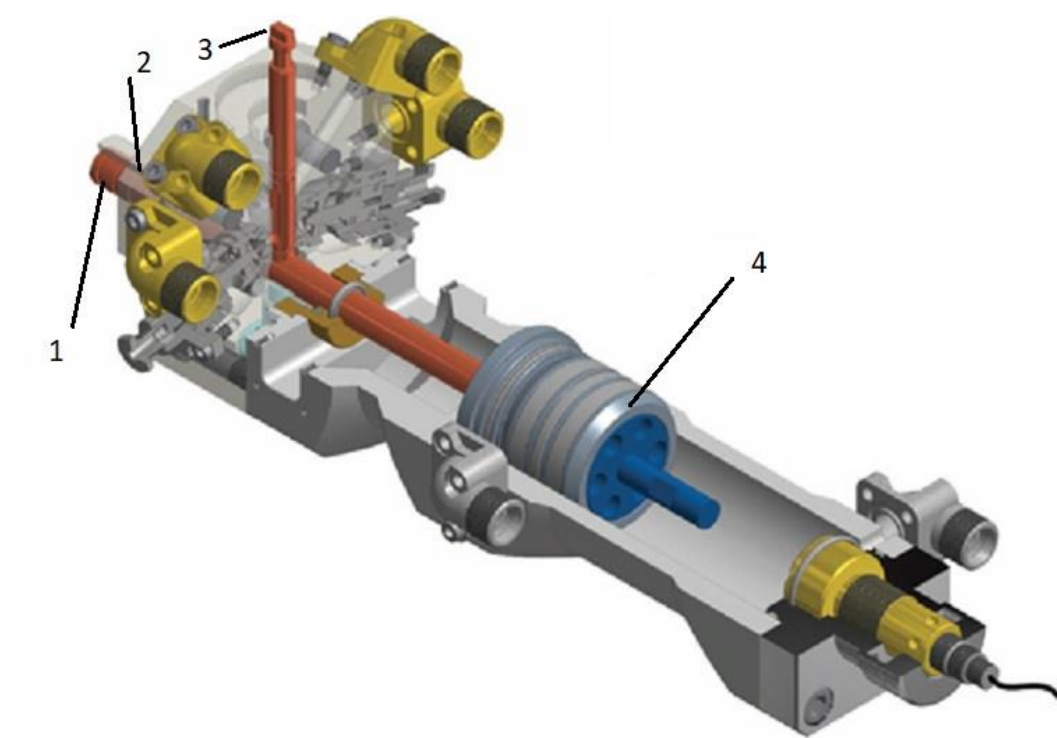
Po sekvenci recirkulace nastupuje režim lití. V tomto režimu oba materiály prochází přes trysky (1) do směšovací komory (2), kde dochází ke smísení obou komponent a směs volně vytéká do výtokové komory (3) a vtokové soustavy formy. K ukončení tohoto režimu dojde přesunutím směšovacího pístu (4) do počáteční polohy shodné s polohou při recirkulaci. [06]



Obr. 2-14 Vysokotlaká směšovací hlava v režimu lití [26]

2.3.3 Režim čištění

Režim čištění je zahájen přesunutím směšovacího pístu (3) do počáteční polohy a přesunutím hlavního čistícího pístu (1) hydraulickým pístem (4) do spodní polohy. Tím dojde k dokonalému vyčištění výtokové komory (2) a hlava je připravena k dalšímu lití. Řízení PLC následně vypne chod čerpadel materiálu. [07]



Obr. 2-15 Vysokotlaká směšovací hlava v režimu čištění [26]

2.4 Další části vypěňovacího stroje

2.4.1 Hydraulický systém stroje

Hydraulický systém je zdrojem energie a hlavní řídicí prvek pro pohon všech ventilů směšovací hlavy. Základním prvkem je vysokotlaké čerpadlo umístěné v zásobníku hydraulické kapaliny a poháněné asynchronním elektromotorem.



Obr. 2-16 Hydraulický agregát směšovacího stroje [28]

Regulaci tlaku provádí regulační ventil, který je nastaven na konstantní pracovní tlak dle doporučení výrobce. Hodnota tlaku je regulována obvykle nastavením spínacích ventilů pro minimální a maximální tlak. Rozdělení hydraulického oleje provádí elektromagnetické ventily, díky kterému je ovládán hlavní čistící píst i píst směšovací komory. Řízení jednotlivých spínacích ventilů provádí PLC systém stroje.[08]

2.4.2 Polyol

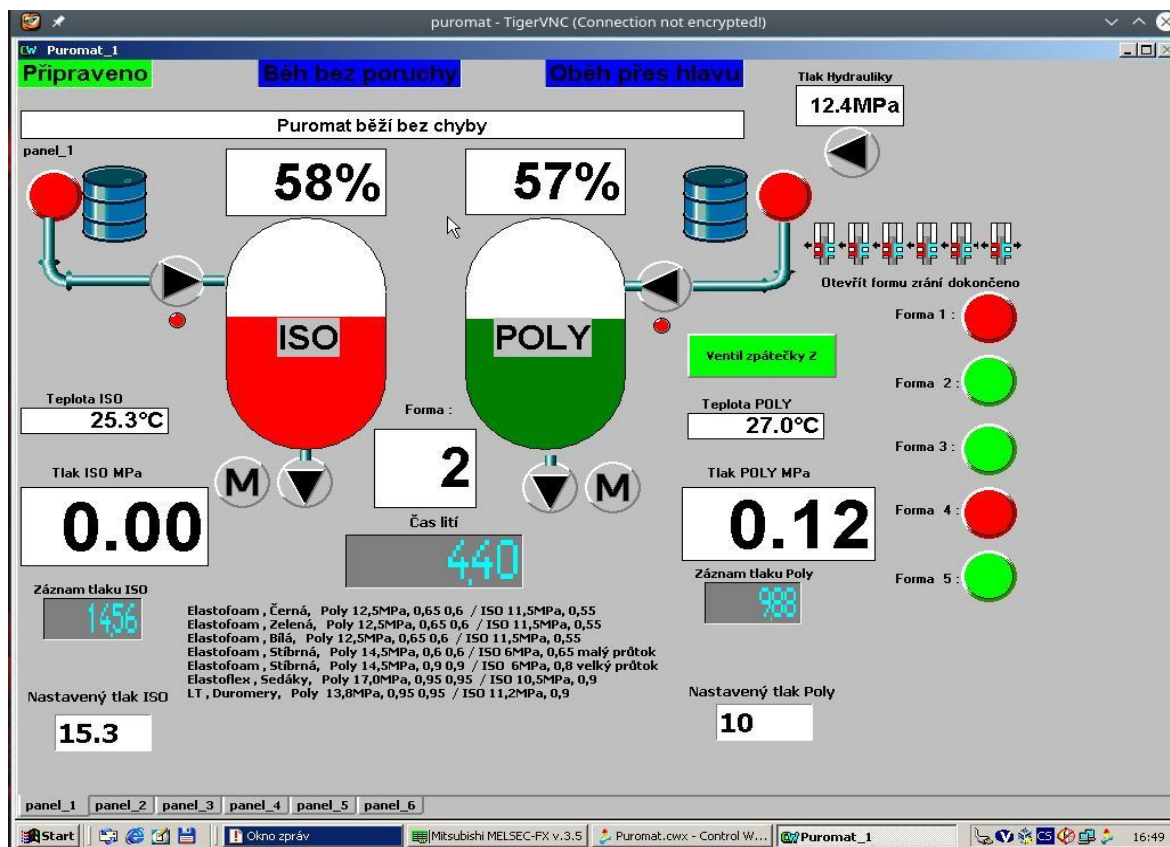
První ze dvou složek výroby polyuretanu je směs se žlutobílým zabarvením obecně nazývaná jako polyol. Nicméně se jedná o homogenizovanou směs více typů polyolů (vícesytných alkoholů obsahující dvě a více hydroxilových skupin). Vzhledem k menší reaktivitě polyolů jsou do této složky výrobcem domýchávány nadouvadla, pracující na bázi CO₂, freonů R-XX, pentanu, popř. dalších. Dále jsou zde katalyzátory reakce, pigmenty, retardéry hoření a další složky upravující vlastnosti pěny. [09]

2.4.3 Izokyanát

Druhou složkou je směs obecně nazývaná jako izokyanát. Jedná se o směs izokyanátů s tmavěhnědým zabarvením. Izokyanáty jsou látky obsahující izokyanátovou skupinu (1 atom kyslíku, dusíku a uhlíku). Jsou silně reaktivní a zdraví škodlivé. Konkrétní chemické složení je u obou složek výrobním tajemstvím dodavatele materiálu. [10]

2.4.4 PLC a zobrazovací systém Controlweb

Řídicí systém stroje zajišťuje PLC systém typu Siemens Sinumatic a hlavní jeho činností je řízení všech jednotlivých prvků, čidel a ventilů v návaznosti na jednotlivé časové diagramy pro režimy lití, režimy klidu stroje a chybové režimy. Zpravuje jednotlivé programy lití a nastavení provozních parametrů. [11]



Obr. 2-17 Zobrazovací systém Controlweb

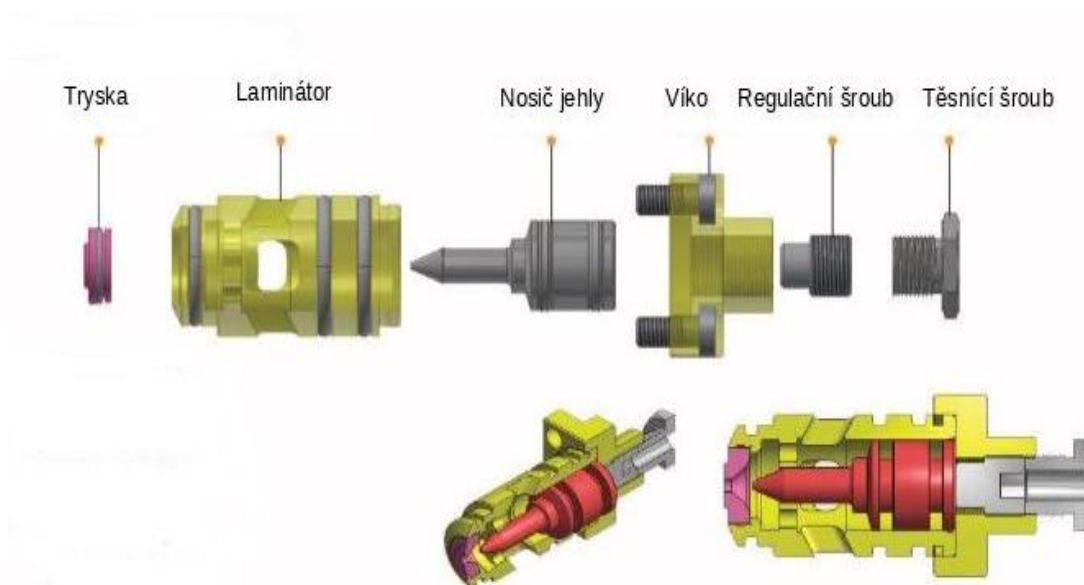
Zobrazovací systém je vytvořen v programu Controlweb a jeho úkolem je zpráva a nastavení jednotlivých parametrů řídicího systému PLC. Komunikace je provedena přes sériové rozhraní RS232 přímo s PLC procesorem. Pomocí tohoto zobrazovacího systému je možné ovládat stroj v reálném čase a stanovovat jednotlivé parametry každého vstřiku do formy včetně jeho záznamu provozních parametrů z provedených úkonů. Tak je zajištěna zpětná kontrola úkonů a nastavení při každém vstřiku. Záznam se provádí na lokální soubor nebo prostřednictvím ODBC na libovolný SQL server. V reálném čase je tento systém používán jako zobrazovací a nastavovací rozhraní. [12]

2.5 Přehled konstrukcí trysek

Cílem mé bakalářské práce je vytvoření trysky směšovací hlavy na stávajícím stroji, která by umožnila univerzální použití stroje a jeho co největší automatizaci. Renomovaní výrobci, jako Krauss Maffei nebo Cannon a další, jsou orientováni na hromadnou výrobu v oblasti automotive a univerzálnímu řešení nevěnují žádnou pozornost, pravděpodobně z hlediska objemu trhu. Technické řešení, které by umožnilo opakované nastavení směšovacích parametrů i v kusové nebo dokonce zakázkové výrobě pro současnou technologii není za současného stavu dostupné. Proto se pokusím o krátké shrnutí dnes používaných typech směšovacích trysek.

2.5.1 Tryska s manuálně nastavitelnou jehlou

Jedná se o nejběžnější způsob regulace průtočného průměru trysky. Princip spočívá ve škrcení otvoru trysky jehlou, kdy je posuv jehly nastaven regulačním šroubem. Regulační šroub je vybaven pojistkou, z důvodu zamezení nechtěného pootočení. Většího rozpětí regulačních schopností lze zajistit výměnou trysky za jinou, s větším či menším průměrem otvoru.



Obr. 2-18 Schéma mechanické trysky [25]

Posuv jehly pak slouží jen k jemné regulaci. Toto řešení je spolehlivé a ověřené mnohaletou praxí. Nicméně neumožňuje automatizaci výroby a ovládání v průběhu pracovní směny bez zásahu člověka. Jak bylo uvedeno výše, jsou evropští výrobci zaměřeni na hromadnou výrobu, kde není potřeba časté změny parametrů. [14]



Obr. 2-19 Mechanicky ovládaná tryska Krauss Maffei [14]

2.5.2 Manuální výměna trysek

Tento systém je obdobný jako v případě principu s regulovatelnou jehlou. Regulaci otvoru trysky zajišťuje výhradně manuální výměna trysek ve směšovací hlavě. Z důvodu absence jehly jsou otvory trysek menší a výrobce polyuretanu potřebuje větší množství trysek s rozdílnými průměry otvorů. Nastavení parametrů konkrétního výrobku pak zajišťuje změna tlaku čerpadel suroviny. Tento systém je oproti variantě s jehlou daleko méně náchylný na vady vzniklé neodborným zásahem obsluhy stroje. Změnou tlaků materiálu je možná určitá regulace parametrů, a to jen v úzkém rozsahu. Tento systém neumožňuje automatizaci. Manuální výměna trysek způsobí zastavení linky na řádově desítky minut a vyžaduje odborného pracovníka. Regulace parametrů tlakem je pro kusovou výrobu nevyhovující. [5]

2.5.3 Motorová tryska Krauss Maffei Vario

Německý výrobce strojů pro výrobu polyuretanu Krauss Maffei vyvinul v roce 2013 motorovou trysku umožňující ovládání elektromotorem. Obdobně, jako v případě s manuálně ovládanou jehlou, dochází k regulaci průtoku pomocí jehly ovládané zde krokovým motorem a převodem.[14]



Obr. 2-20 Ovládání trysky pomocí servomotoru Krauss Maffei [14]

Cíl vývoje této trysky byla regulace poměru míchané směsi v průběhu lití a to z důvodů rozdílných mechanických vlastností výsledného polyuretanu v rámci jednoho vstříku. To umožňuje, aby např. boky sedadel automobilu byli tužší, vnitřní část sedadla měkčí. Řízení stroje je pak uzpůsobeno pro změnu poměru v okamžiku každého vstříku při konstantním množství směsi. Bohužel není možné v našem případě trysku použít. Tryska je vyvinutá na typy strojů vyráběné firmou KM v současnosti, nikoliv na starší typy strojů, tím spíše na stroje odlišných výrobců. Využití na starší typ stroje by vyžadovalo komplikovanou úpravu stroje, zejména programu v PLC. Ekonomická nevýhodnost této varianty je blíže popsána v kap. 5.5 Využití na strojích odlišných výrobců není možné, vzhledem k rozměrové nekompatibilitě.[1]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Prvkem, který ovlivňuje nastavení poměrů mísení směsi je dopravní tlak komponent z vysokotlakého čerpadla a průtočná plocha trysky. Nastavení dopravního tlaku mění podmínky směřování, tj. množství směsi a tím je tedy nutné při výrobem předepsaném poměru obou komponent nastavit průměr trysky v závislosti na dopravní tlak a požadovaný průtok. Protože tato technologie neumožňuje nastavit libovolný dopravní tlak, je dalším prvkem, který ovlivňuje průtok průměr trysky.

V současné době jsou používány trysky pevného rozměru na obou komponentách a tím je nastavení poměru a množství směsi zcela závislé jen na dopravním tlaku a ten lze vzhledem k nutné velmi malé toleranci nastavení poměru směsi měnit jen omezeně. Řešením problému je tedy plynulá nebo skoková regulace průměru trysky u obou komponent. Toto řešení je ke koupi u jediného výrobce a to u firmy Krauss Maffei. Bohužel není možné tuto trysku použít pro používané stroje, jelikož jejich řízení není pro ni uzpůsobeno, popř. mají směšovací hlavy odlišných výrobců, jež jsou rozměrově nevyhovující.

Vyvinutá tryska by měla mít minimální průtočnou plochu, jež odpovídá v současnosti používaným tryskám pr. 0,3 mm a maximální průtočná plocha by měla být ekvivalentem průměru 1,5 mm při počtu alespoň 20 kroků. Minimální čas nastavení trysek by měl být 30 sekund, jež vychází z taktu stroje. Vzhledem k tomu, že není uvažováno o změně směšovacího poměru v průběhu lití, není nutné použít spojitě řízení. Dále by bylo vhodné použít konstrukci podobnou variantě trysky s manuálně stavitelným šroubem, protože by v tomto případě bylo možno využít doporučené nastavení firmy Krauss Maffei. Použité materiály by měly odpovídat náročným podmínkám a konstrukce mít dobrou životnost. Hmotnost není limitována, jelikož je směšovací hlava zavěšena na polohovacím rameni. Demontáž trysky má být nenáročná, jelikož předpokládaný pravidelný servisní interval trysky je 1x týdně.

3.2 Cíl práce

3.2.1 Hlavní cíl bakalářské práce:

Hlavním cílem je vyvinout řízenou trysku vysokotlaké vstřikovací hlavy pro výrobu integrální polyuretanové pěny, jež by umožňovala zaměnitelnost se současnými tryskami na hlavách firmy Cannon.

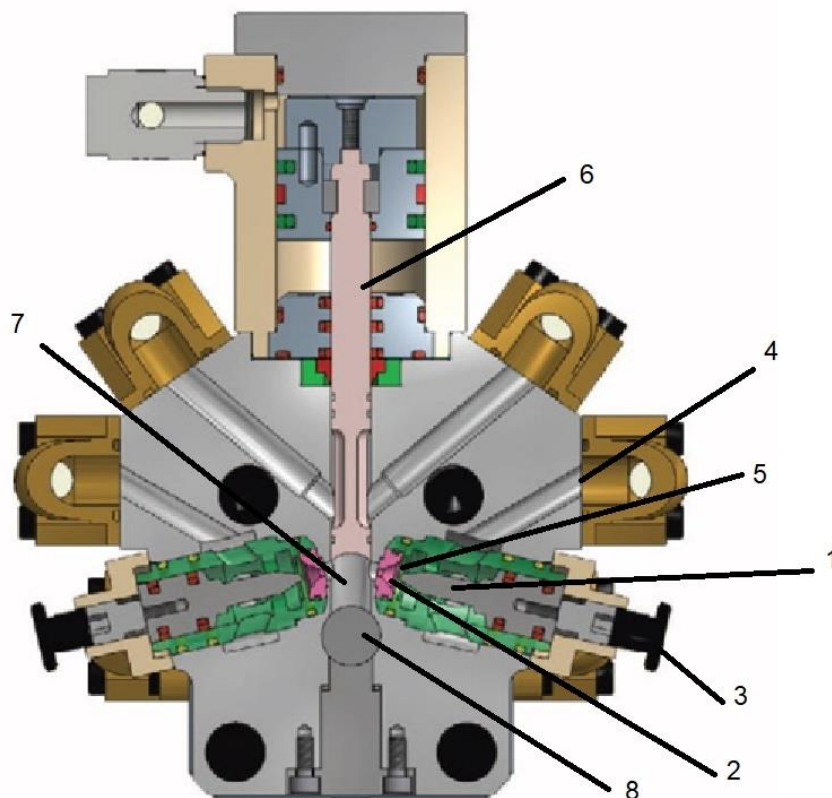
3.2.2 Dílčí cíle bakalářské práce:

Dílčím cílem je analyzovat současné řešení a zhodnotit výhody a nevýhody konkurenčních řešení, navrhnout varianty konstrukčního řešení řízené trysky a pro zvolenou variantu vypracovat konstrukční návrh včetně výkresové dokumentace. Regulační schopnosti by měly odpovídat současnému rozpětí průměru trysek 0,3-1,5 mm při době změny nastavení minimálně 30 sekund.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Základní koncepce

Dle požadavků je třeba navrhnout směšovací trysku s rozpětím průtočných průměrů 0,3-1,5 mm jež by byla ovládána pomocí PLC a umožňovala co nejsnadnější zaměnitelnost se současnými tryskami. Nejjednodušším způsobem bude aplikace malého krokového motoru a vhodné řídicí jednotky spolupracující s PLC daného vysokotlakého směšovacího stroje při shodnosti šroubového mechanismu používané v mechanicky stavitelných tryskách na hlavách firmy Cannon. Tím bude možné využívat nastavení doporučené výrobcem jakož i současnou databázi nastavení stroje pro veškerý sortiment výrobků. Princip je znázorněn na obrázku níže. Polohovatelná jehla (1) škrtí otvor trysky (2), kdy je doraz nastaven šroubem (3). Materiál prochází přes vtok (4) do prostoru trysky (5) a po vysunutí směšovacího pístu (6) je materiál smísen s druhou komponentou ve směšovací komoře (7) a odtéká do výtokové komory (8). Jehly a trysky bude vhodné zvolit totožných rozměrů, jelikož bude možné využívat ty, jež jsou dodávány výrobcem stroje.



Obr. 4-01 Mechanické ovládání trysky-detail [26]

Další prvky, jež je nutno zvolit jsou pohon regulace trysky a řídicí systém pohonu.

Jako pohon je možné volit z několika dostupných variant, hlavním kritériem výběru je zde velikost motoru a regulační přesnost. Po zvážení dostupných variant na trhu u renomovaných výrobců jako nejlépe vyhovující vyšel model EZI-PR20-M [16] od firmy Fastech [17]. Hlavním důvodem je jeho malý rozměr a zároveň vysoká přesnost rozlišení, která je 10000 možných pozic na jednu otáčku. To dává předpoklad pro jedinečné schopnosti nastavení a regulace trysky.

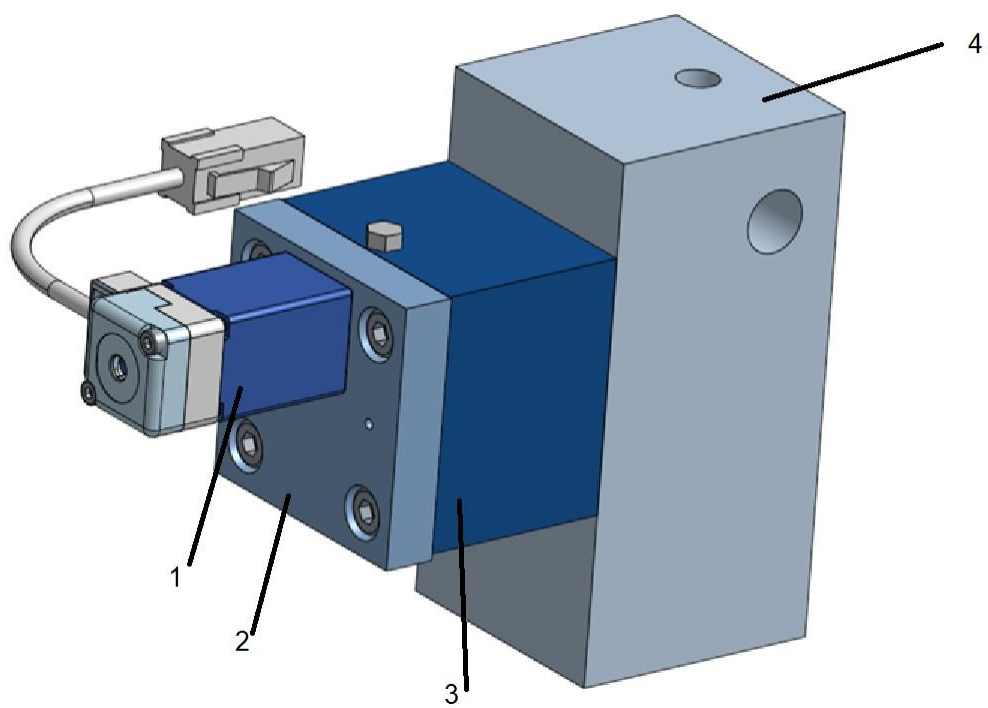
Volbou tohoto motoru byla určena i volba řídicího systému, jež je dodán výrobcem k motoru. Tyto systémy dodává výrobce v několika variantách. Hlavní rozdíl mezi jednotlivými variantami je v schopnosti řízení pohybu motoru bez nutnosti připojení na PLC systém a samostatné ovládání motoru prostřednictvím PC. Tuto variantu jsem vybral pro snadné ověření všech vlastností bez nutnosti zásahu do programu v PLC směšovacího stroje, kde bude tato regulace umístěna. Všechny vstupy a výstupy je možné přes kanál RS 485 a redukci propojit přímo s PC a veškeré testy provést bez zapojení na stroji. Při dalších aplikacích bude možnost použít asi o 20% levnější modul řízení tohoto motoru a to tehdy jakmile vznikne úprava programu v PLC stroje a ten již bude zajišťovat samotné řízení regulace trysky.

Poslední otázkou zůstává poloha použitého motoru a případné možné využití šnekové či kuželové převodovky.

4.2 Varianta s přímým pohonem

Varianta s přímým pohonem je výhodná pro svou konstrukční jednoduchost a tím i nízké výrobní náklady. Další snížení nákladů přinese absence převodovky. Na obrázku níže je motor s enkodérem (1) přišroubován na přírubu (2) a ta na těleso, v němž bude uložena tryska s jehlou (3). Vše bude přišroubováno na těleso směšovacího pístu.

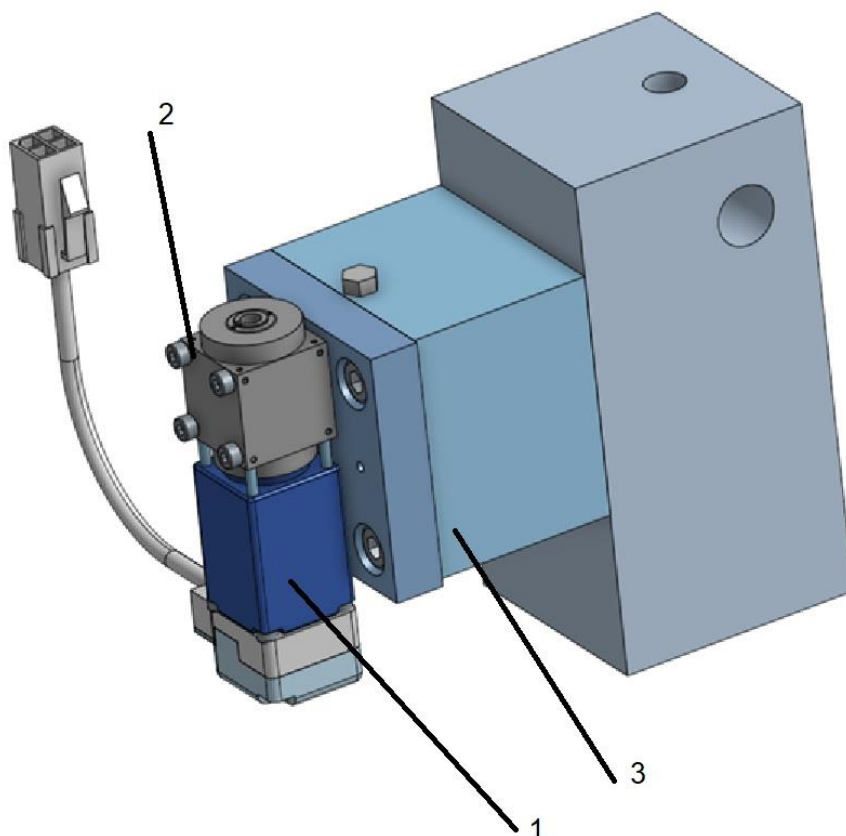
Jako nevýhodu lze v této variantě chápat samotné uložení motoru a tím i zvětšení zastavovacího rozměru do šířky hlavy. V praxi je rozměr hlavy limitován prostorem horní části formy, jelikož je nutné zasunout výtok směšovací komory do licího kužele vtokové soustavy formy. V tomto prostoru je ale často umístěn nosič formy a jeho pneumatická soustava. Proto by bylo žádoucí, aby zvětšení každé strany nebylo větší než cca 100 mm oproti současnosti.



Obr. 4-02 Varianta s přímým pohonem

4.3 Varianta se kuželovou převodovkou

Varianta s převodem je výhodná pro menší zvětšení zastavovacího rozměru do šířky hlavy. Jednalo by se vlastně jen o napojení motoru (1) na výše použitý mechanismus (3) přes kuželovou převodovku (2).



Obr. 4-03 Varianta se kuželovou převodovkou.

Obdobně by bylo možné použít šnekovou převodovku. Nevýhodou při použití šnekového nebo kuželového převodu jsou vyšší výrobní náklady. Rovněž zlepšené regulační schopnosti díky převodu nebudou kvůli vysokým možnostem natočení motoru využity.

4.4 Závěrečná volba varianty

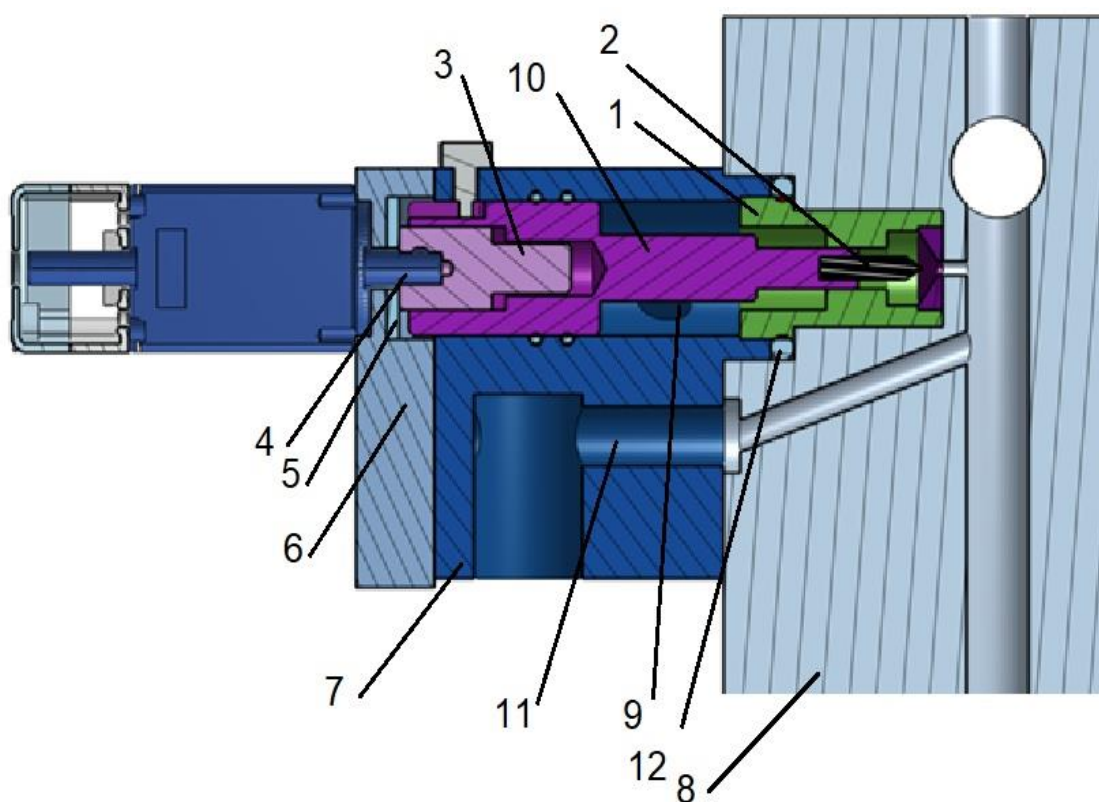
Z uvedených variant je zvolena **varianta s přímým pohonem**. Vzhledem k malým rozměrům zvoleného motoru není nutné se snažit o snížení šířky hlavy. Absence převodovky přinese snížení výrobních nákladů a umožní rychlejší údržbu trysky. Volba motoru a řízení je popsána v kap. 4.1. Konkrétní řešení šroubového mechanismu bude detailně popsáno v následující kapitole.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Tato kapitola popisuje řešení dle varianty s přímým pohonem, jež bude splňovat parametry určené v kapitole 3. V první části je představena celková konstrukce. Dále budou popsány detailněji hlavní části mechanismu trysky a provedeny kontrolní výpočty a výpočet polohy trysky v závislosti na natočení motoru. V další části bude popsána komunikace motoru s PLC, jeho řízení a kalibrace. Konec kapitoly se věnuje ekonomickému zhodnocení vyrobené trysky, kde je pro srovnání uvedena cena úpravy již existující trysky KM Vario.

5.1 Celková konstrukce trysky

Mechanismus vychází z konstrukce s mechanicky polohovatelnou jehlou. Pro zjednodušení zde budu uvádět jen jednu komponentovou stranu. Druhá strana je totožná a bude v praxi pouhou kopií tohoto návrhu. Nosič jehly (1), na jehož konci je zasunuta tvrdokovová či ocelová jehla (2) je posouván pomocí šroubu (3) na náboji hřídele krokového motoru (4). Pro zamezení přenosu axiálních sil vzniklých tlakem materiálu při lití na motor bylo nutné vložit mosaznou vložku (5), jež je vložena do příruby motoru (6).

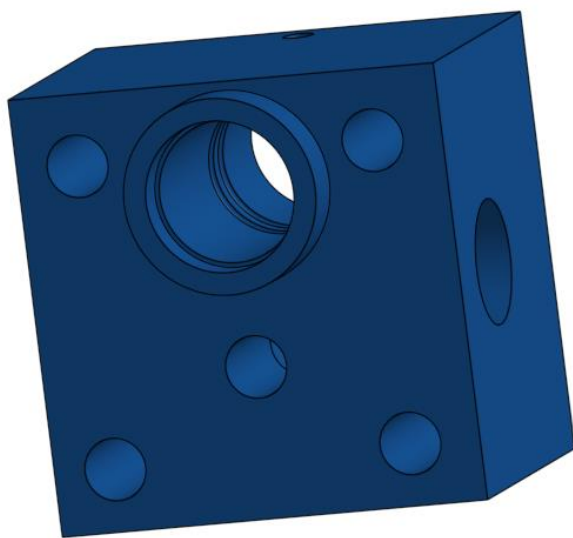


Obr. 5-01 Konstrukce ovládání trysky pomocí krokového motoru EZI

Celý mechanismus je uložen v tělese nosiče jehly (7), jež je přišroubována na těleso směšovacího pístu (8). Materiál vstupuje do tělesa nosiče jehly vtokem z boku (9), kde jde přes otvory laminátoru (10) a dále do směšovací komory, popř. při režimu recirkulace do zpětného okruhu materiálu (11). Jednotlivé díly jsou na potřebných místech těsněny O-kroužky (12).

5.1.1 Konstrukce tělesa nosiče jehly

Obě komponenty vstupují do tělesa pružnými vysokotlakými hadicemi, které jsou připojené na ocelové vysokotlaké tvarové potrubí o světlosti 16 mm [04]. Ocelové potrubí je zašroubováno v tělese nosiče na výstupu kanálu vtoku materiálu, jež ústí v dutině nad laminátorem. Obdobně je kanálem vyveden materiál do zpětného okruhu při recirkulačním režimu. Těleso jehly nebylo nutné upravit, proto bude v praxi použito stávající těleso. Pro účely testování byla nicméně vyrobena zjednodušená kopie tělesa dle vnitropodnikové výkresové dokumentace, jež postrádá tepelné zpracování.



Obr. 5-02 Těleso nosiče jehly

5.1.2 Tryska a jehla trysky

V případě regulace je jehla trysky prvek, který nastavuje průchozí velikost otvoru trysky. Posunutím jehly do kuželu trysky se průchozí otvor zmenší a naopak. Jehla trysky i tryska je vyrobena z kalené oceli ČSN 19 855 a zušlechtěna na 60 HRC.



Obr. 5-03 Tryska

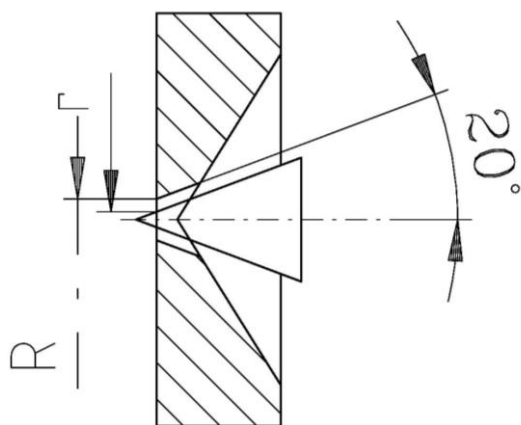
Při průchodu materiálu tryskou velmi vysokou rychlostí kolem jehly dochází k výraznému abrazivnímu opotřebení. Dochází tak k zakulacení hrotu jehly i k opotřebení na hraně trysky a tím se mění výsledný rozměr a tím tedy i změna průtočného množství při definovaném dopravním tlaku. Oba tyto díly mají definovanou životnost a je nutné je pravidelně vyměňovat.



Obr. 5-04 Jehla trysky

5.1.3 Výpočet nastavení posuvu trysky

Zde je uveden výpočet průtočné plochy a jeho aplikace pro současné průměry trysek používané ve firmě SKB. Nyní existuje v podnikové databázi přiřazení konkrétní sady trysek, doby lití a nastavení tlaků na čerpadlech obou materiálů každému výrobku. Vzhledem k značnému počtu výrobků nelze odladit každý výrobek na parametry nové trysky. Na druhou stranu vzhledem k silně turbulentnímu proudění při přechodu materiálu do směšovací komory a rozdílností viskozit materiálů způsobených výrobní tolerancí výrobce polyolu a izokyanátu nelze celý proces popsat matematicky. Dalším problémem je, že v současnosti se ve firmě SKB používají trysky bez regulace jehlou, takže aplikace jehly může způsobit změnu chování materiálu. Uvedené hodnoty se v praxi proto mohou lišit a bude je třeba ověřit při testování na stroji. Nejsnadnějším způsobem kontroly je sepnutí stroje v recirkulačním režimu a porovnání průtoků materiálu na průtokoměru se současnými hodnotami. Dále by bylo vhodné ke každé v současnosti používané dvojici trysek odměřit potřebné natočení motoru.



Obr. 5-11 Schéma škrčení trysky

Při výpočtu průtočné plochy jsem vycházel z plochy mezikruží. Zdvih jehly b odpovídá při natočení motoru od nulového bodu 180° a stoupání závitu:

$$b = p \cdot \frac{\varphi}{360} = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ mm}$$

Je-li průměr trysky,

$$r = R - b \tan 20^\circ$$

pak plocha mezikruží, kterým odchází materiál do směšovací komory je:

$$S = \pi(R^2 - r^2) = \pi(Rbtg20^\circ - b^2tg^220^\circ) = \pi(2,5 \cdot 0,25 \cdot tg20^\circ - 0,25^2 \cdot tg^220^\circ) \\ = 0,69 \text{ mm}^2$$

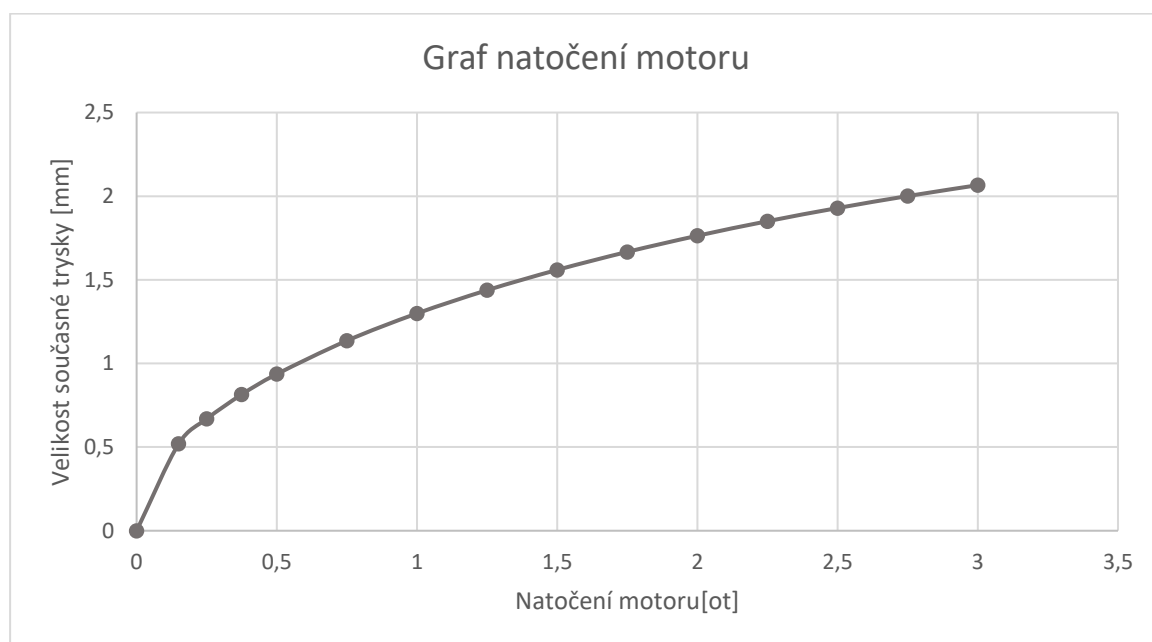
Přepočet na současnou tabulku trysek vztaženou ke konkrétním výrobkům se vypočítá ze vztahů:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \pi(Rbtg20^\circ - b^2tg^220^\circ) \Rightarrow d = 2 \cdot \sqrt{(Rbtg20^\circ - b^2tg^220^\circ)} \\ = 2 \cdot \sqrt{2,5 \cdot 0,25 \cdot tg20^\circ - 0,25^2 \cdot tg^220^\circ} = 1,14 \text{ mm}$$

Tab. 5-01 Hodnoty nastavení trysky

natočení ϕ [ot]	zdvih trysky b [mm]	plocha průtoku S [mm ²]	ekvivalent současné trysky d [mm]
0	0	0	0
0,15	0,08	0,21	0,52
0,25	0,13	0,35	0,67
0,38	0,19	0,52	0,81
0,50	0,25	0,69	0,94
0,75	0,38	1,01	1,14
1,00	0,50	1,33	1,30
1,25	0,63	1,62	1,44
1,50	0,75	1,91	1,56
1,75	0,88	2,18	1,67
2,00	1,00	2,44	1,76
2,25	1,13	2,69	1,85
2,50	1,25	2,92	1,93
2,75	1,38	3,14	2,00
3,00	1,50	3,35	2,07

Graf 5-1 Natočení motoru



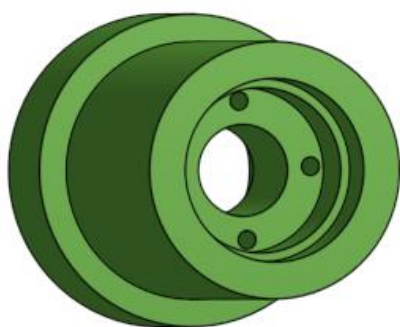
5.1.4 Laminátor

Laminátor je nosný díl nesoucí trysku. Kromě upevnění trysky je také opatřen v koncové části uvnitř skupinou malých otvorů, které mají důležitou vlastnost na výslednou kvalitu smíchané směsi. Při dopravě materiálu při vysokém dopravním tlaku dochází k zamíchání malých vzduchových nebo plynových bublin.



Obr. 5-05 Vyrobený laminátor

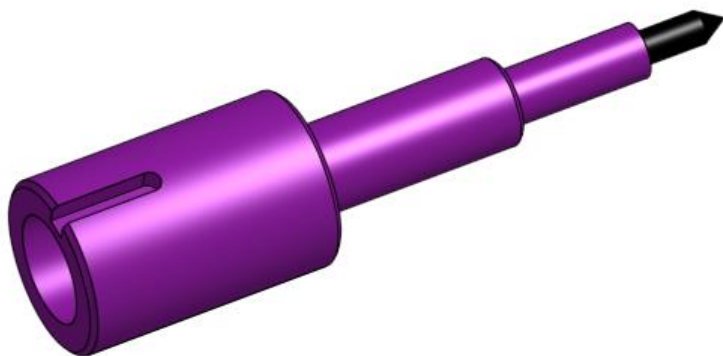
Tyto bubliny pak bez použití laminátoru způsobují nehomogenitu smíchaných komponent. Při průchodu materiálu přes skupinu malých otvorů dojde k oddělení těchto vzduchových bublin a materiál se výrazně uklidní a výsledná směs je homogenní.



Obr. 5-10 Model laminátoru

5.1.5 Nosič jehly trysky

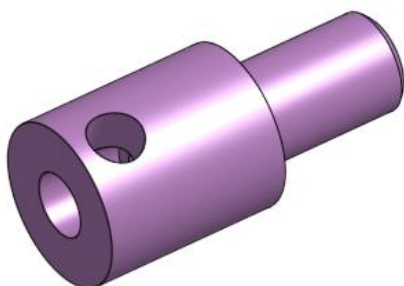
Na konci nosiče trysky je vložena jehla. Nosič jehly je veden otvorem v laminátoru a vedením v tělese nosiče jehly. Na druhé straně je otvor se závitem, jež zajišťuje translační posuv nosiče trysky. Nosič je vyroben z oceli ČSN 19 452 a zušlechtěn na 55 HRc.



Obr. 5-06 Nosič jehly trysky

5.1.6 Náboj motoru

Náboj motoru je nasazen na hřídeli motoru a zajištěn šroubem. Šroub náboje zajišťuje posuv jehly trysky. Náboje je stejně jako nosič jehly trysky vyroben z oceli ČSN 19 452 a zušlechtěn na 55 HRc. Pro zamezení přenosu síly z tlaku materiálu při lití je náboj opřen o mosaznou vložku, na níž je naneseno mazivo. Vzhledem k tomu, že tryska nebude měnit svoji polohu při lití, není nutný kontrolní výpočet na dovolený tlak při pohybu a byl proveden pouze kontrolní výpočet otláčení vložky.



Obr. 5-07 Náboj motoru

5.1.7 Pevnostní výpočet šroubu náboje

Uvažujeme-li max. tlak kapaliny 20 MPa, jež odpovídá maximálnímu tlaku čerpadla stroje a průměru nosiče jehly 16 mm je velikosti zatěžující síly:

$$F = pS = p \frac{\pi d^2}{4} = 20 \cdot \frac{\pi 16^2}{4} = 4021,2 \text{ N}$$

Materiál nosiče ČSN 19 452 při předepsaném zušlechtění 55 HRc odpovídá $\sigma_K = 1795 \text{ MPa}$ [29].

Pro míjivé namáhání je pak návrhový průřez nepředepjatého šroubu, utahovaného v nezatíženém stavu [30]:

$$S_N = \frac{F \cdot k_K}{k_{II} \cdot \sigma_k} = \frac{4021,2 \cdot 1,25}{0,85 \cdot 1795} = 3,29 \text{ mm}^2$$

Tento průřez odpovídá průměru jádra šroubu:

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,29}{\pi}} = 2,1 \text{ mm}$$

Zvolený průměr šroubu M6 proto vyhovuje.

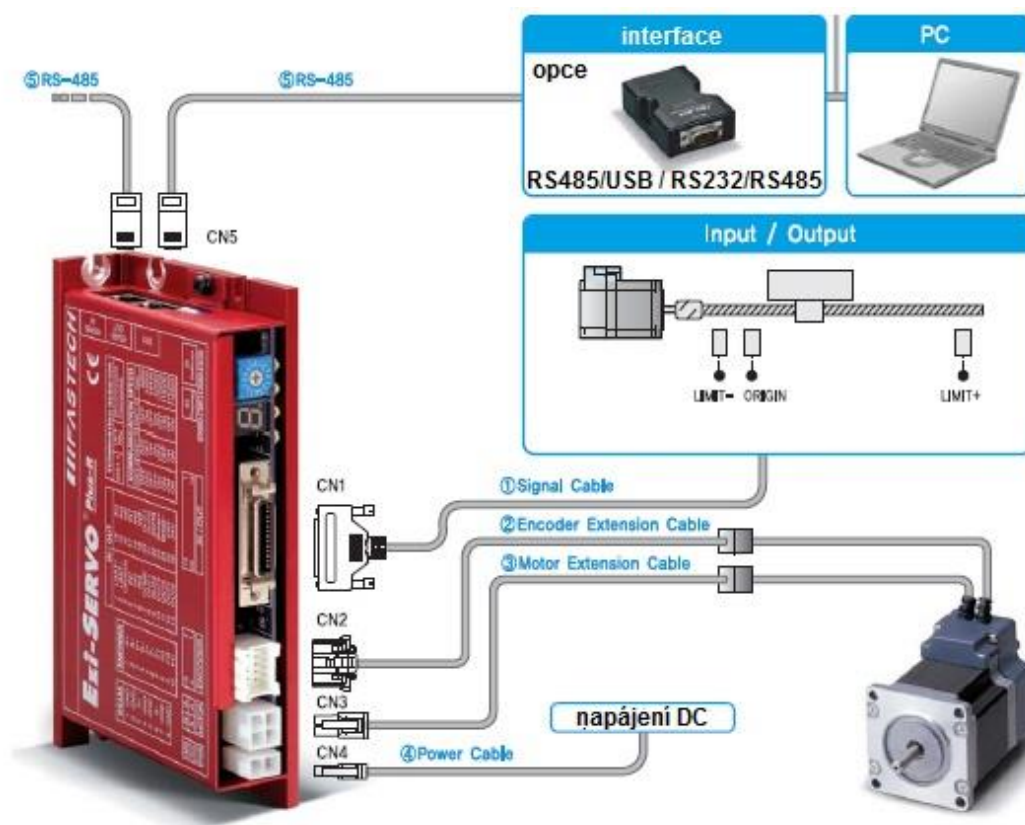
5.2 Konstrukce řízení trysky

5.2.1 Krokový motor

Jako pohonnou jednotku pro ovládání trysky směšovací hlavy jsem použil krokový motor korejského výrobce Fastech typ Ezi-SERVO-PR-20M [19]. Tento krokový motor je vhodný pro svou minimální velikost a schopnosti dané jak svým vysokým kroutícím momentem, tak i vysokým stupněm řízení. Uvnitř těla krokového motoru je integrován optický inkrementální snímač polohy. Ve spolupráci s řídicí jednotkou a optickým inkrementálním snímačem je schopen rozlišení až 10 000 impulzů na jednu otáčku. To dává možnost velmi přesné a citlivé nastavení posunu regulační trysky směšovací hlavy. Spolupráce krokového motoru a řídicí jednotky probíhá s rychlostí zpětné vazby 25 μs . Toto je zvláště vhodné pro skokové změny zatížení, které při zahájení vznikají. Zároveň je tím zabráněno chvění hřídele krokového motoru, které běžně u přesné regulace krokového motoru vzniká.

5.2.2 Řízení motoru

Řízení krokového motoru je zajištěno pomocí řídicího modulu dodaného výrobcem. Jeho komunikace s okolím je primárně nasměrována přes sériové kanály RS/485. Je možné celkem adresovat až 16 zařízení na jednom sériovém kanálu. Toto je dostatečné pro tuto aplikaci, kde bude celkem potřebné adresovat u dvoukomponentní hlavy jen 4 kanály. Pro regulaci průměru trysky jsem zvolil možnost skokové regulace před možností proporcionálního řízení. Hlavním důvodem byla jednoduchost nastavení a přesná opakovatelnost. Řídicí jednotka motoru má implementovanu možnost 256 předem definovaných pozic motoru. To umožní předem vytvořit přesný průměr trysky a při kalibraci vždy z tohoto průměru vycházet pro nastavení dopravního tlaku. Jednou z hlavních předností tohoto řízení je úplná nezávislost na řízení motoru ze strany PLC stroje. Tím je zajištěno, že i v případě problémů při komunikaci po sériovém kanálu bude rozměr trysky v definované a požadované poloze.



Obr. 5-08 Modul řízení motoru EZI model PR-20-M [20]

5.2.3 Konstrukce PLC a spolupráce s EZI

Řídicí systém stroje PLC má několik možných způsobů komunikace od vlastní systémové sběrnice, signálové sběrnice, ethernetového rozhraní a sériové kanály typu RS 232 a RS 485. Protože nepotřebujeme regulaci v reálném čase, zvolil jsem komunikaci pro svou jednoduchost přes signálovou sběrnici, tj. přes digitální vstupy a výstupy PLC, které jsou také součástí řídicí jednotky motoru „EZI”.

5.2.4 Komunikace krokového motoru a PC

Řízení motoru prostřednictvím PC je možné přes sériový kanál RS485, který je součástí řídicí jednotky motoru a sériové rozhraní PC RS232 připojené přes převodník RS485/RS232. Komunikaci zajišťuje výrobcem krokového motoru dodaný software. Tento software slouží jako hlavní nastavovací software a zároveň je možné jej používat pro testování a jednoduché operace s motorem. Výrobce motoru také dodává spolu s softwarem na řízení motoru kompletní knihovnu řídicích funkcí napsanou v jazyce C++, takže v budoucnu nebude problém s vytvořením vlastního software na komunikaci i nastavování prostřednictvím PC na jiném operačním systému než Windows. Základní nastavení, tj. základní parametry motoru a předem definované pozice motoru se provede v prostředí dodané výrobcem motoru.

Při nastavování je nutné postupovat podle manuálu výrobce, vlastní nastavení je intuitivní a jednoduché. Pro zjednodušení, zde nepopisuji možné detailní nastavení parametrů ovládání motoru. Tyto informace jsou dostupné v manuálech výrobce, viz seznam zdrojů číslo [20].

5.2.5 Komunikace krokového motoru a PLC

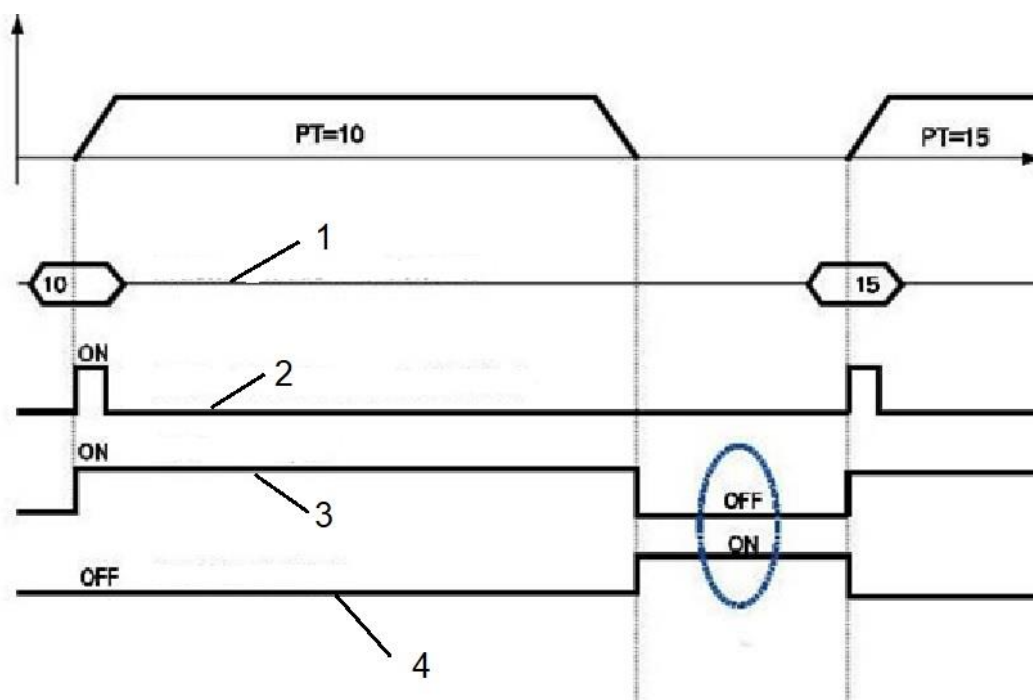
Řízení motoru prostřednictvím PLC je možné přes sériový kanál RS485, který je součástí řídicí jednotky motoru a sériové rozhraní PLC kontroleru RS232 připojené přes převodník. Také je možné propojit PLC a řídicí jednotku přes digitální vstupy a výstupy, jak na straně kontroleru PLC, tak řídicí jednotky. V PLC kontroleru upravit program tak, aby řízení celého stroje přímo spolupracovalo s řídicí jednotkou motoru. Tím by bylo možné libovolné řízení jak vícestavové i proporcionální a to podle potřeby. Použití komunikace přes digitální vstupy považuji v této aplikaci jako nejlepší. Na straně PLC se vytvoří vazba prostřednictvím vstupních a výstupních signálů. V přílohách uvádím tabulku a schématické zapojení vazby obou komponent (viz příloha A a B).

Adresováním pěti datových vstupů řídicí jednotky krokového motoru bude docíleno 32 nastavení průměru trysky. Hodnota nastavení bude definována v nastavení řídicí jednotky motoru pomocí dodaného software a to přesnou pozicí. Tato pozice nastavení motoru je definována s přesností 10000 bodů na otáčku motoru. Toto dává dostatečnou přesnost nastavení průměru trysky. Ostatní vstupní signály jako „Start”, „Origin” jsou použity pro zahájení změny průměru trysky a jeho dokončení.

Ostatní výstupní signály jako „Inposition”, „Servoready”, „Alarm” jsou použity pro informace v PLC a jejich vazby na řízení celého stroje. Signál „Inposition” je informace, že jednotka motoru je na požadované pozici, „Servoready” je signál, že motor je připraven pro činnost a poslední signál „Alarm” je informace pro PLC o jakémkoli problému na straně jednotky motoru. Nezapojené vstupy a výstupy mohou být použity v případě dalšího rozšíření funkcí, například pro zvýšení počtu nastavení polohy trysky na 64 pozic. Na straně PLC uvádím čísla vstupů a výstupů jen pro informaci, protože přesné zapojení je dáno konkrétním strojem a jeho definicí vstupů a výstupů PLC. Na straně řídicí jednotky motoru je možné definici vstupů a výstupů změnit a to nastavením v software, který slouží pro definici vstupů a výstupů řídicí jednotky motoru. V přílohách uvádím pro informaci jednoduché schéma zapojení řídicí jednotky motoru s označením vstupů a výstupů (viz příloha C).

5.2.6 Konstrukce regulace

Pro regulaci trysky bude k dispozici v PLC funkce typu nastavení trysky. Funkce nastavení trysky se provede vždy při zahájení sekvence startu hydraulického čerpadla. Vzhledem k tomu, že start hydraulického systému trvá více než 3 s, bude čas na nastavení polohy trysky dostatečný. Pro tuto funkci předpokládám, že jako provozní parametr nastavení rychlosti otáčení motoru bude použito minimálně 2 ot/s. Pro zjednodušení uvádím schéma průběhu funkce regulace s vazbou na signál „Inposition” pro kontrolu dosažené pozice. Signál „Moving” může být ignorován vzhledem k tomu, že pozice byla dosažena po signálu „Inposition” .



Obr. 5-09 Časový diagram nastavení trysky [20]

Popis diagramu obrázku 6-01: 1.Position table address (PTA0-A7) - Číslo programu vydané z PLC na datovou sběrnici EZI, (výstup z PLC), 2. Position table start execution (PT Start) - Zahajovací impuls z PLC pro přesunutí na další pozici motoru dle čísla PTA0-A7, (výstup z PLC), 3. Moving signal - motor v pohybu, (výstup z EZI), 4. Inposition output signal - motor na nastavené pozici, (výstup z EZI)

5.2.7 Konstrukce kalibrace a nastavení

Pro kalibraci a nastavení trysky budou k dispozici v PLC dva typy funkcí funkce kalibrace a funkce nulové polohy [18].

Funkce kalibrace bude realizována pouze v případě, že bude směšovací hlava demontována včetně motoru z důvodů údržby nebo poruchy. Zde se pomocí vnitřní funkce řídicí jednotky motoru zvané „Teaching“ nastaví koncová, tj. maximální, minimální a počáteční poloha, tj. signál „Origin“ a tyto pozice krokového motoru se uloží v řídicím systému motoru.

Funkce nulové polohy bude spuštěna vždy při uvedení stroje do provozu. Tato funkce nulové polohy je maximální poloha trysky, to znamená, že tryska je uzavřena. Zde se po najetí na nulovou polohu zkontroluje čistota trysky a po stanoveném čase se tryska přesune do polohy „Origin”, tj. počáteční v tabulce nastavení. Vyhodnocení bude provedeno v PLC za pomoci výstupního signálu „Inposition” a „ServoReady”. Pokud by signál „Inposition” nenabyl hodnoty 1 v čase 3 s, PLC situaci vyhodnotí jako chybu a další činnost stroje zastaví”.

5.3 Ekonomická kalkulace

Ekonomická kalkulace vychází z porovnání realizace na stávající technologii u firmy SKB, tj. realizace na stroji KM EcoStar 16/16. Při realizaci z komponent navržených v této práci vycházím z cen jednotlivých nutných komponent EZI a celkového předpokládaného rozsahu prací na programování jak řídicí jednotky motoru tak i dodatečné programování ovládání ze strany PLC směšovacího stroje.

Ceny byly převzaty z nabídek poskytnutých firmou SKB. Pro srovnání uvádím cenovou kalkulaci realizace od výrobce směšovacího stroje Krauss Maffei a s nutnou úpravou PLC pro řízení nového typu motorové směšovací trysky. Pro rozsah prací jsem počítal hodinovou sazbu pro modul EZI 500 Kč/hod a pro modul KM 75 EUR/hod, což odpovídá 1950 Kč/hod vzhledem k tomu, že programování u trysky KM musí provádět pracovník firmy KM a to včetně cestovních nákladů v rozsahu jednoho dne, které u této firmy činí 300 EUR na jeden den. Z porovnání nákladů uvedených v tabulce 6-01 a 6-02 vyplývá, že realizace ovládání od firmy EZI je o 61% levnější.

Tab. 5-01 Tabulka kalkulace EZI

Pořadí	Popis	Cena v Kč
1	Krokový motor EZI model PR-20-M	6.200,-
2	Modul řízení pro EZI model PR-20-M	10.534,-
3	Sestava komponent pro směšovací hlavu KM (viz příloha č. X)	21.790,-
4	Práce na programování PLC + servo 8 hod	4.000,-
	Celkem za EZI	42.524,-

Tab. 5-02 Tabulka kalkulace KM

Pořadí	Popis	Cena v Kč
1	Modul ovládání trysky KM	85.280,-
2	Práce na programování PLC - 8 hod	23.400,-
	Celkem za KM	108.680,-

Při realizace tohoto ovládání na obou komponentových stranách dojde v plánování výroby k odstranění servisních časů na výměnu pevné směšovací trysky a to nejméně jednou týdně. Při režijním nákladu výroby firmy SKB Sýkora s.r.o. v rozsahu 2000 Kč/hod a potřebě přibližně jedné hodiny na tuto výměnu je to roční úspora nejméně v hodnotě 94.000,- Kč/rok. V předpokládané životnosti realizace 8 roků bude tato úspora velmi významná.

6 DISKUZE

6.1 Shrnutí práce

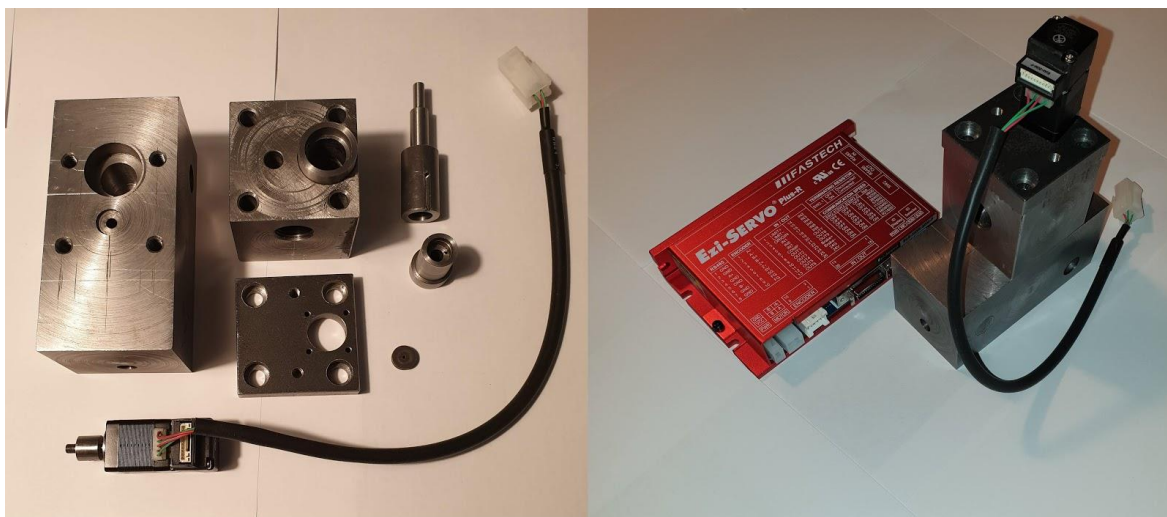
Bakalářská práce se zabývá návrhem regulace směšovací trysky u vysokotlakého směšovacího stroje na výrobu polyuretanu. V současné době není na trhu tryska, jež by umožňovala automatickou regulaci na strojích využívaných firmou SKB. Trysky vyráběné pro dané stroje umožňují pouze manuální regulaci a tím znemožňují automatizaci výroby. Moje konstrukce motorového ovládání směšovací trysky umožňuje automatické nastavení průměru směšovací trysky z předem připravené definiční tabulky a tím i výrazně mění výrobní možnosti vysokotlakých směšovacích strojů a to jak v oblasti použití různých materiálů tak i v oblasti výroby zcela hmotnostně odlišných výrobků v krátkém časovém okamžiku bez dalších servisních požadavků. Při konstrukci byl kladen důraz na jednoduchost aplikace, snadné nastavení, ovládání stroje a jednoduché rozšíření na druhou komponentovou stranu směšovací hlavy.

6.2 Technologické a ekonomické kritérium

Regulace trysky je vytvořena z osmi komponent, z čehož základní komponenty jako je krokový motor a řídicí jednotka jsou snadno dostupné z komerční výroby s velmi dobrou kvalitou a životností. Vlastní konstrukční řešení je velmi malé a choulostivé komponenty jako řídicí jednotka motoru je umístěna v dostatečné bezpečné vzdálenosti od mechanicky namáhané směšovací hlavy. Jednotlivé díly regulace trysky jsou bezpečně kryté proti poškození a celkový dojem působí stejně jako v případě podobného řešení u firmy Krauss Maffei, avšak s výhodou téměř poloviční nákladové ceny a možnosti dodatečného rozvoje spolupráce regulace trysky a nastavení směšovacích poměrů ve smyslu automatizace celého servisního procesu.

6.3 Využití návrhu

Návrh vytvořený v této bakalářské práci je prvním návrhem regulace směšovací trysky u směšovacího stroje vhodného pro kusovou výrobu. Pro ověření všech požadovaných parametrů byl postaven funkční prototyp (viz obrázek níže) a v laboratorních podmínkách otestován bez použití v samotném stroji. Testování proběhlo podle předpokladů a bylo ověřeno, že vlastnosti, které byly na testu dosaženy, jsou více než dostačující. Tryska umožňuje posuv jehly z nulové polohy o 1 mm, tj. ekvivalent změny průměru současné trysky z 0 na 1,8 mm v čase kratším než 1 sekunda. Na tomto základě se v budoucnu provedou testy na samotném směšovacím stroji, s již upraveným software v PLC směšovacího stroje a dále bude vyrobena stejná tryska pro druhou komponentovou stranu. Ověření a případnou korekci definiční tabulky lze snadno provést odečtením průtoků na indukčním průtokoměru při recirkulačním režimu stroje. Po celkové aplikaci na směšovacím stroji by tímto tato práce získala velkou cenu při výrobě výrobků z polyuretanů a byla by přínosem ve zvýšení efektivity výroby ve firmě SKB.



Obr. 6-01 Vyrobený prototyp

7 ZÁVĚR

Na základě rešerše a technologického rozboru byly nejdříve získány parametry, které definují vhodný konstrukční návrh regulace směšovací trysky u vysokotlaké směšovací hlavy. Následně byly vytvořeny koncepční a konstrukční návrh, který tyto parametry splňuje. Byl vytvořen 3D model všech částí komponentní strany směšovací hlavy včetně výkresové dokumentace. Na tomto základě byla celá tryska vyrobena jako prototyp a otestována.

Finální konstrukce regulace směšovací trysky se skládá ze tří částí. Vstupních komponent směšovací hlavy stroje, krokového motoru a řídicí jednotky motoru. Všechny stanovené cíle bakalářské práce byly splněny.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-04 Dry tanks*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 1992.
2. Perchlorethylen. In: *Bezpečnostní list podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) 1907/2006: Perchlorethylen*: 1.1.2005 , Dostupné z: https://images.obl.cz/PROD/CZ/document/367/367876_safety_1.pdf
3. Polyurethane Waste Reduction and Recycling: From Bench to Pilot Scales. In: *Designed Monomers and Polymers*. [cit-online: 02 Apr 2012] Dostupné z: <https://iom3.tandfonline.com/doi/pdf/10.1163/138577211X587618>
4. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-04 Variable pumps A2V*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 1992.
5. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-07 Operation*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 1992.
6. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-04 Instalation and Comissioning*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 1992.
7. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-08 Instructions for care and maintenance*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 1992.
8. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-04 Hydraulic system*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 1992.
9. Polyol. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyol>
10. Isocyanate. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Isocyanate>
11. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-04 Operating manual*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 1992.
12. Moravské přístroje a.s.: *Controlweb. Programový systém Control Web* [online]. Masarykova 1148, Zlín-Malenovice, 76302 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.mii.cz/cat?id=146>
13. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-04 Transfer mixing head*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 1992
14. Press - *Small nozzle with a large impact*. [online]. Copyright © 2019 KraussMaffei [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://www.kraussmaffei.com/automation-en/press/d/small-nozzle-with-a-large-impact.html>
15. Polyurethane. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>

16. Ezi-SERVO Plus-R - krokové motory se zpětnou vazbou a externím driverem | RAVEO s.r.o.. RAVEO s.r.o. | *WORLD OF MOTION* [online]. Copyright © [cit. 05.05.2019]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/krokovye-motory-zpetna-vazba-fastech>
17. *Fastech: Fastech EZI-Step Plus R* [online]. Bucheon Techno-Park, 655, Pyeongcheon-ro, Bucheon-si Gyeonggi-do, Republic of Korea: FASTECH, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://fastech.co.kr/new/eng/sub0105-0301.php>
18. *Technical documentation Rim Star 16/16: BA 61-1600-00-4 Operating manual*. 11.05.1992. . Krauss Maffei , Kunstoftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Strasse 2, 199
19. *Fastech EZI-Step Plus R: Motor Specification* [online]. Bucheon Techno-Park, 655, Pyeongcheon-ro, Bucheon-si Gyeonggi-do, Republic of Korea: FASTECH, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://fastech.co.kr/new/board/bbs/board.php?bo_table=sub010503_motor_en
20. *Fastech EZI-Step Plus R: Setting & Operation* [online]. Bucheon Techno-Park, 655, Pyeongcheon-ro, Bucheon-si Gyeonggi-do, Republic of Korea: FASTECH, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://fastech.co.kr/new/eng/sub0105-0305.php>
21. *BASF GmbH: Technický list Elastofom_I_4202_109*. 23.02.2005. Elastogran GmbH, Germany, 2005.
22. *BASF GmbH: Technický list Elastolit_K_4961_LT*. 16.01.2001. Elastogran GmbH, Germany, 2001.
23. Plat - Servisní inženýr, Informační technologie - Platy.cz. *Průzkum platů | přehled platů, průměrná mzda,...* - Platy.cz [online]. Copyright © 1997 [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <https://www.platy.cz/platy/informacni-technologie/servisni-inzenyr>
24. LPR Global: *HIGH PRESSURE FOAMING MACHINE. LPR Global* [online]. 344 Bloor Street West, #606. Toronto, ON, Canada; M5S 3A7, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://cdn.thomasnet.com/ccp/30574669/208528.pdf>
25. KraussMaffei: *EcoStar* [online]. Krauss-Maffei-Strasse 2 80997 Munich: KraussMaffei, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.kraussmaffei.com/rpm-en/ecostar.html>
26. PU-RIM: *RIM-L-Type Mixing Head* [online]. Esco Group, Inc. 2287 Three Mile RD NW Grand Rapids, MI 49503: Esco Group, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://pu-rim.com/ReactionInjectionMolding.aspx>
27. KraussMaffei: *MKE-3B mixinghead* [online]. Krauss-Maffei-Strasse 2 80997 Munich: KraussMaffei, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.kraussmaffei.com/rpm-en/mke-3b-mixing-head.html>
28. Standard hydraulic systems - Ponar Wadowice. *Hydraulics, cylinders, hydraulic systems and valves - Ponar Wadowice* [online]. Copyright © 2017 PONAR Wadowice S.A. [cit. 16.05.2019]. Dostupné z: <http://www.ponar-wadowice.com/standard-hydraulic-systems>
29. Převod tvrdosti na pevnost. *Ferrum Plzeň* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.ferrum.cz/technicka-normalizace/prevod-tvrdosti-na-pevnost/>
30. ING. KŘÍŽ, Rudolf. *Stavba a provoz strojů I: Části strojů*. SNTL, 1977, s. 48-50

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

9.1 Seznam použitých fyzikálních veličin

F [N]	zatěžující síla
p [MPa]	tlak kapaliny
σ_K [MPa]	napětí na mezi kluzu
k_k [-]	koeficient bezpečnosti
S [mm ²]	plocha
d [mm]	průměr

9.2 Seznam použitých zkratk

Obr. - Obrázek

SKB - SKB Sýkora s.r.o.

KM - Krauss Maffei GmbH

EZI - Komponentová řada motorů firmy Fastech

Fastech - Fast, Accurate, Smooth Motion

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-01 Schéma vysokotlakého směřovacího stroje	14
Obr. 2-03 Vysokotlaký směřovací stroj Krauss-Maffei	15
Obr. 2-10 Vysokotlaká směřovací hlava s otevřenou komorou a homogenizací	16
Obr. 2-04 Vysokotlaká směřovací hlava s uzavřenou komorou	17
Obr. 2-13 Vysokotlaká směřovací hlava v režimu recirkulace	18
Obr. 2-14 Vysokotlaká směřovací hlava v režimu lití	19
Obr. 2-15 Vysokotlaká směřovací hlava v režimu čištění	20
Obr. 2-16 Hydraulický agregát směřovacího stroje	20
Obr. 2-17 Zobrazovací systém Controlweb	22
Obr. 2-18 Schéma mechanické trysky	23
Obr. 2-19 Mechanicky ovládaná tryska Krauss Maffei	24
Obr. 2-20 Ovládání trysky pomocí servomotoru Krauss Maffei	25
Obr. 4-01 Mechanické ovládání trysky-detail	28
Obr. 4-02 Varianta s přímým pohonem	30
Obr. 4-03 Varianta se kuželovou převodovkou.	31
Obr. 5-01 Konstrukce ovládání trysky pomocí krokového motoru EZI	32
Obr. 5-02 Těleso nosiče jehly	33
Obr. 5-03 Tryska	34
Obr. 5-04 Jehla trysky	34
Obr. 5-05 Vyrobený laminátor	37
Obr. 5-06 Nosič jehly trysky	38
Obr. 5-07 Náboj motoru	38
Obr. 5-08 Modul řízení motoru EZI model PR-20-M	40
Obr. 5-09 Časový diagram nastavení trysky	43
Obr. 5-10 Model laminátoru	37
Obr. 5-11 Schéma škrcení trysky	35
Obr. 6-01 Vyrobený prototyp	47
Graf 5-1 Natočení motoru	36

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 5-01 Hodnoty nastavení trysky	36
Tab. 6-01 Tabulka kalkulace EZI	44
Tab. 6-01 Tabulka kalkulace KM	45

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Zapojení datových vstupů řídicí jednotky motoru	55
Příloha B: Zapojení datových výstupů řídicí jednotky motoru	55
Příloha C: Zapojení řídicí jednotky motoru	56
Příloha D: Výkresová dokumentace:	
- Výkres sestavy	
- Výrobní výkres příruby motoru	
- Výrobní výkres nosiče jehly trysky	
- Výrobní výkres jehly	
- Výrobní výkres náboje motoru	
- Výrobní výkres laminátoru	
- Výrobní výkres trysky	
- Výrobní výkres pouzdra	
Příloha E: 3D model sestavy	

13 PŘÍLOHY

Příloha A: Zapojení datových vstupů řídicí jednotky motoru

Tab. 6-04 Zapojení datových vstupů řídicí jednotky motoru EZI [20]

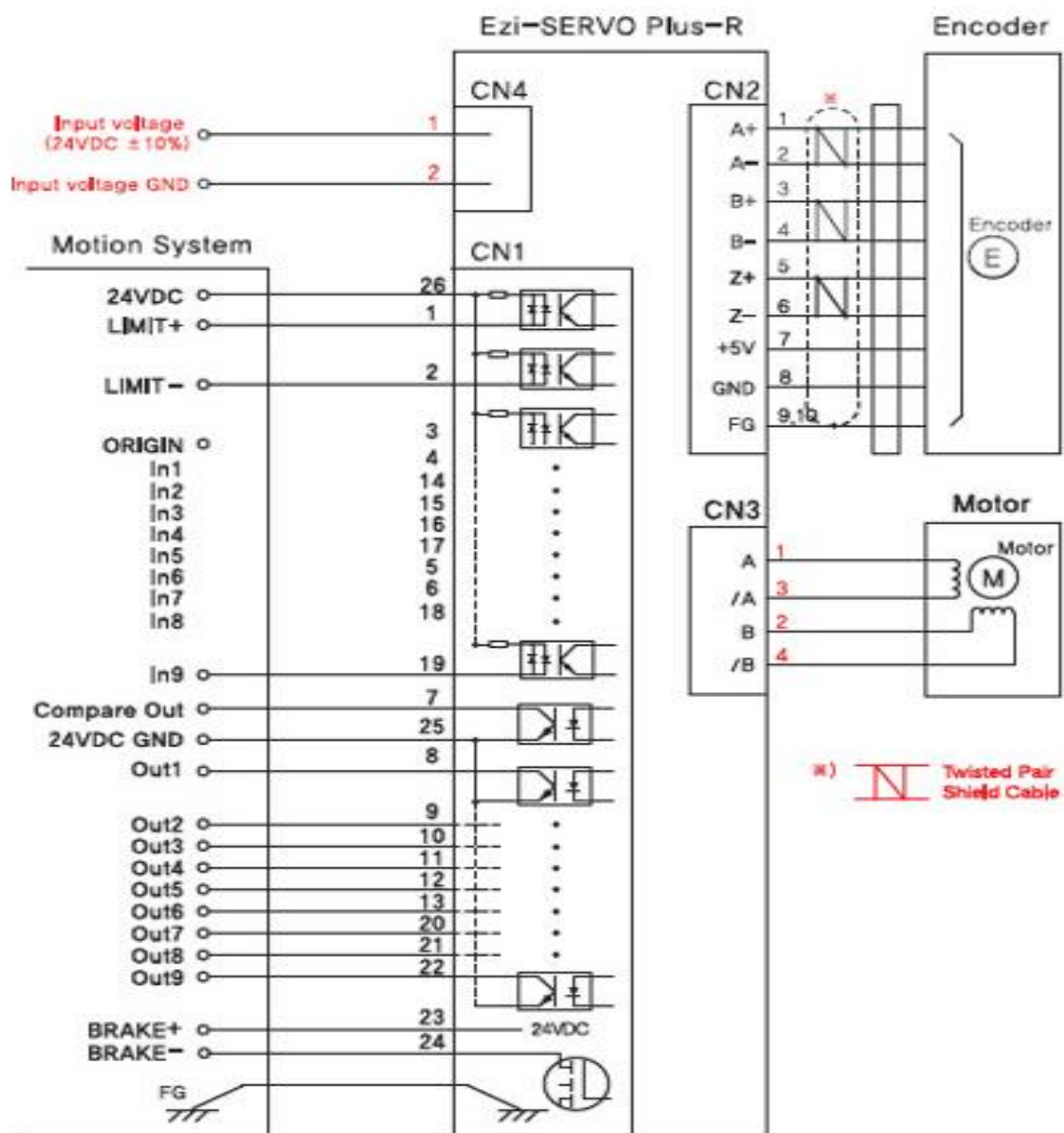
INPUT EZI			
Pořadí	Název signálu	Strana PLC	Strana EZI
1	Datový vstup EZI 5[bit] – D0	Y [y.1]	IN1
2	Datový vstup EZI 5[bit] – D1	Y [y.2]	IN2
3	Datový vstup EZI 5[bit] – D2	Y [y.3]	IN3
4	Datový vstup EZI 5[bit] – D3	Y [y.4]	IN4
5	Datový vstup EZI 5[bit] – D4	Y [y.5]	IN5
6	Datový vstup EZI - Start	Y [y.6]	IN6
7	Datový vstup EZI - Origin	Y [y.7]	IN7
8	Datový vstup EZI – Nezapojen	-	IN8

Příloha B: Zapojení datových výstupů řídicí jednotky motoru

Tab. 6-05 Zapojení datových výstupů řídicí jednotky motoru EZI [20]

OUTPUT EZI			
Pořadí	Název signálu	Strana PLC	Strana EZI
1	Datový výstup – In position	X [x.1]	OUT1
2	Datový výstup – Servo Ready	X [x.2]	OUT2
3	Datový výstup – Alarm	X [x.3]	OUT3
4	Datový výstup – Nezapojen	-	OUT4
5	Datový výstup – Nezapojen	-	OUT5
6	Datový výstup – Nezapojen	-	OUT6
7	Datový výstup – Nezapojen	-	OUT7
8	Datový výstup – Nezapojen	-	OUT8
9	Datový výstup – Nezapojen	-	OUT9

Příloha C: Zapojení řídicí jednotky motoru



obr. 6-07 Zapojení řídicí jednotky motoru EZI [20]