



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZAŘÍZENÍ PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

PLASTIC INJECTION MOULDING MACHINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ľubomír Ličko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Ľubomír Ličko**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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

Zařízení pro vstřikování plastů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte a konstrukčně zpracujte řešení vstřikovacího lisu pro zpracování plastu. Zařízení s horizontálním uzavíracím pohybem (vertikální dělicí rovina) formy s max. rozměry dělicí roviny 350x350mm.

Cíle diplomové práce:

- 1) Rešerše, analýza a vytipování vhodných parametrů
- 2) Vytipování vhodných nakupovaných komponent
- 3) Návrh konstrukce + 3D model
- 4) Blokové schéma el. zapojení
- 5) Výpočtová správa (včetně MKP hlavních prvků a uzlů)
- 6) Cenová kalkulace zařízení

Seznam literatury:

LENFELD, P. , Technologie II - Zpracování plastů, http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/, přístup 30. 11. 2015.

Shigley J.E.,Mischke Ch.R.,Budynas R.G.(2010): Konstruování strojních součástí. ISBN 978-80-2-4-2629-0.

ARBURG , <https://www.arburg.com/cs/cz/>, přístup 30. 11. 2015.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 3
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá návrhom zariadenia pre vstrekovanie plastov. V práci sa rozoberá aktuálny stav technológie pre vstrekovanie plastov. Následne je prevedený konštrukčný návrh horizontálneho vstrekovacieho lisu pre spracovanie plastov s horizontálnym uzatváracím pohybom. Vstrekovací lis je navrhnutý pre formu o maximálnom rozmere deliacej roviny 350 x 350 mm.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Zariadenie pre vstrekovanie plastov, vstrekovací lis pre spracovanie plastov, horizontálny uzatvárací pohyb.

ABSTRACT

This thesis is focused on design of equipment for injection molding. The work discusses current state of technology for injection molding. In the work is conducted structural design of horizontal injection press for plastics processing with horizontal closing movement. Injection molding machine is designed to form the parting plane of maximum dimension 350 x 350 mm.

KEY WORDS

Equipment for injection molding, injection molding machine for processing plastics, horizontal closing movement.

	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 4
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

LIČKO, L. *Zařízení pro vstřikování plastů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 93 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D..

	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Jana Pavlíka, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zoznamu.

V Brne dňa 27. mája 2016

.....

Bc. Ľubomír Ličko

	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

POĎAKOVANIE

Týmto by som chcel poďakovať svojmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D. za odborné rady a pripomienky, ktoré viedli k vytvoreniu tejto práce. Ďalej by som chcel poďakovať svojej rodine za finančnú pomoc, bez ktorej by som na tejto škole nemohol študovať.

OBSAH

Úvod.....	9
1 Technológia vstrekovania plastov	10
1.1 Princíp činnosti vstrekovacieho zariadenia.....	10
1.2 Základné druhy vstrekovacích zariadení	11
2 Charakteristické vlastnosti plastov	15
3 Základné časti vstrekovacieho stroja	17
3.1 Hydraulický vstrekovací stroj.....	17
3.1.1 Vstrekovacia jednotka.....	18
3.1.2 Uzatváracia jednotka.....	19
3.1.3 Hydraulický systém	20
3.2 Plne elektrický vstrekovací stroj.....	22
3.2.1 Vstrekovacia jednotka.....	23
3.2.1 Uzatváracia jednotka.....	24
4 Porovnanie technických parametrov strojov.....	26
4.1 Engel e-mac	26
4.2 Arburg ALLROUNDER.....	27
4.3 INTEC.....	29
4.4 Toshiba Machine.....	30
4.5 Voľba vhodných parametrov vstrekovacieho stroja	31
5 Voľba vhodných nakupovaných komponentov	34
5.1 Závitovka	34
5.2 Spätný uzáver.....	35
5.3 Závitovkový valec.....	35
5.4 Vstrekovacia tryska.....	36
5.5 Topné pásy	38
6 Konštrukčný návrh.....	40
6.1 Návrh vstrekovacej jednotky	40
6.1.1 Návrh násypky granulátu	40
6.1.2 Návrh chladiacej komory pod násypkou	40
6.1.3 Návrh pohonov závitovky.....	41
6.1.3.1 Návrh rotačného pohonu závitovky.....	41
6.1.3.2 Uloženie ozubeného kola na hriadeľu závitovky.....	41
6.1.3.3 Výpočet rozmeru ozubených kôl	42
6.1.3.4 Požadované technické parametre motora	46
6.1.4 Návrh posuvného pohybu závitovky	49
6.1.4.1 Výpočet sily pôsobiacej v závitovkovom valci	49
6.1.4.2 Výpočet náhonu guľôčkovou skrutkou.....	50

6.1.4.3	Požadované technické parametre motora	54
6.1.5	Návrh spojenia závitovky a posuvnej časti.....	56
6.1.6	Vedenia posuvnej časti vstrekovacej jednotky	57
6.1.7	Návrh posuvu vstrekovacej jednotky.....	58
6.2	Návrh vyhadzovacieho zariadenia	60
6.2.1	Návrh náhonu vyhadzovacieho zariadenia	60
6.2.2	Požadované technické parametre motora	62
6.2.3	Návrh ozubeného remeňa	64
6.2.4	Návrh posuvu pohyblivej časti	64
6.3	Návrh uzatváracej jednotky	65
6.3.1	Návrh pákového mechanizmu	65
6.3.2	Návrh náhonu pákového mechanizmu.....	66
6.3.3	Požadované technické parametre motora	69
7	Konstruktívny 3D model zariadenia	71
7.1	Vstrekovacie jednotka	71
7.2	Vyhadzovacie zariadenie	72
7.3	Uzatváracia jednotka	73
7.4	Stôl zariadenia pre vstrekovanie plastov	74
7.5	Zariadenie pre vstrekovanie plastov	75
8	Bloková schéma elektrického zapojenia.....	76
9	MKP analýza hlavných prvkov a uzlov	78
9.1	Pevnostná analýza stolu	78
9.1.1	Napätie Von Mises	78
9.1.2	Deformácia stola	79
9.2	Pevnostná analýza pákového mechanizmu.....	80
9.2.1	Napätie Von Mises	80
9.2.2	Deformácia pákového mechanizmu	81
10	Cenová kalkulácia.....	82
Záver		84
Použité informačné zdroje		85
Zoznam použitých skratiek a symbolov		88
Zoznam tabuliek		92
Zoznam príloh.....		93

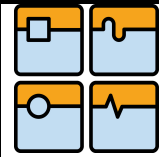
	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 9
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

Úvod

Technológia vstrekovania plastov má dlhú tradíciu v strojárskvej výrobe. Vďaka možnosti vytvárania tvarovo zložitých a zároveň presných výrobkov z plastov predstavuje poprednú technológiu v tejto oblasti. Často používané hydraulické vstrekovacie stroje v súčasnosti čoraz častejšie nahrádzajú plne elektrické vstrekovacie stroje.

V diplomovej práci bude prevedená základná rešerš technológie vstrekovania plastov. Ďalej na základe rešerše parametrov existujúcich zariadení a požiadaviek vyplývajúcich zo zadania diplomovej práce sa určia vhodné parametre určené pre návrh zariadenia pre vstrekovanie plastov. Podľa zvolených parametrov prebehne konštrukčný návrh s potrebnými výpočtami vrátane MKP analýzy vybraných častí. Na základe návrhu bude vytvorený 3D model zariadenia pre vstrekovanie plastov. Návrh zariadenia bude obsahovať základné konštrukčné časti. Práca nebude obsahovať riešenie krytovania a bezpečnostných prvkov zariadenia, taktiež nebude riešený riadiaci systém.

Ďalej bude práca obsahovať základnú blokovú schému elektrického zapojenia navrhnutých častí. Taktiež príde k cenovej kalkulácii použitých nakupovaných častí zariadenia pre vstrekovanie plastov.



1 TECHNOLOGIA VSTREKOVANIA PLASTOV

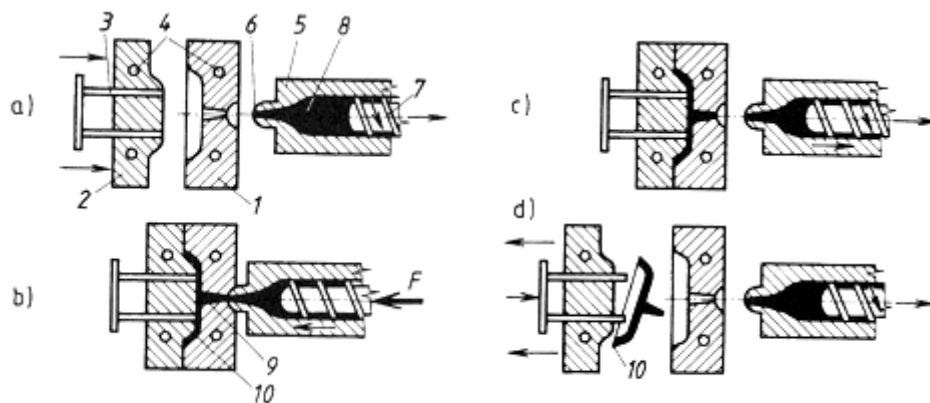
Základom technológie vstrekovanie plastov je roztavenie pridávaného materiálu v plastifikačnej jednotke a jeho následná doprava do dutiny formy. Privedený roztavený materiál v dutine formy vytuhne v požadovanom tvare a rozmere.

Medzi hlavné výhody technológie vstrekovania plastov patrí najmä možnosť vytvárať tvarovo veľmi zložité súčasti, u ktorých môžeme zabezpečiť vysokú tvarovú a rozmerovú presnosť. Ďalšou podstatnou výhodou je vysoké využitie materiálu, ktoré sa dosahuje prostredníctvom procesu, prípadne aj vďaka možnosti recyklácie privádzaného materiálu.

1.1 PRINCÍP ČINNOSTI VSTREKOVACIEHO ZARIADENIA

Pracovný cyklus vstrekovania termoplastov sa skladá z nasledovných operácií [1, str.236]:

- Plastifikácia
- Vstrek
- Ukončenie vstreku
- Otvorenie formy



Obr.1 Pracovný cyklus vstrekovacieho zariadenia [1, str.236]

1- pevná časť formy, 2- pohyblivá časť formy, 3- samočinnné vyhadzovače, 4- kanáliky pre chladiacu vodu, 5- topný valec, 6- tryska, 7- závitovka, 8- termoplast, 9- vtok, 10- výtrisk

a) plastifikácia, b) vstrek, c) ukončenie vstreku, d) otvorenie formy

Plastifikácia - dochádza k uzatváraniu formy a zároveň sa plastifikuje roztavená hmota, ktorá sa dopravuje rotačným pohybom a spätným pohybom závitovky smerom k tryske pred závitovku.

Vstrek - v tejto fáze pracovného cyklu sa vstrekovacia jednotka pritlačí na doraz k forme tak, aby neprišlo k úniku roztavenej hmoty. Závitovka sa prestane otáčať a presunie sa smerom k tryske. Pri tomto pohybe sa nahromadená tavenina počas procesu plastifikácie pred závitovkou tlačí cez trysku do dutiny formy.

Ukončenie vstreku - vstreknutá tavenina tuhne v požadovanom tvare. Po vytuhnutí vtoku príde k odsunu vstrekovacej jednotky smerom od formy. Zároveň prichádza k rotácii a odsunu závitovky, pri ktorom sa plastifikuje a nahromaďuje roztavená hmota pred závitovkou.

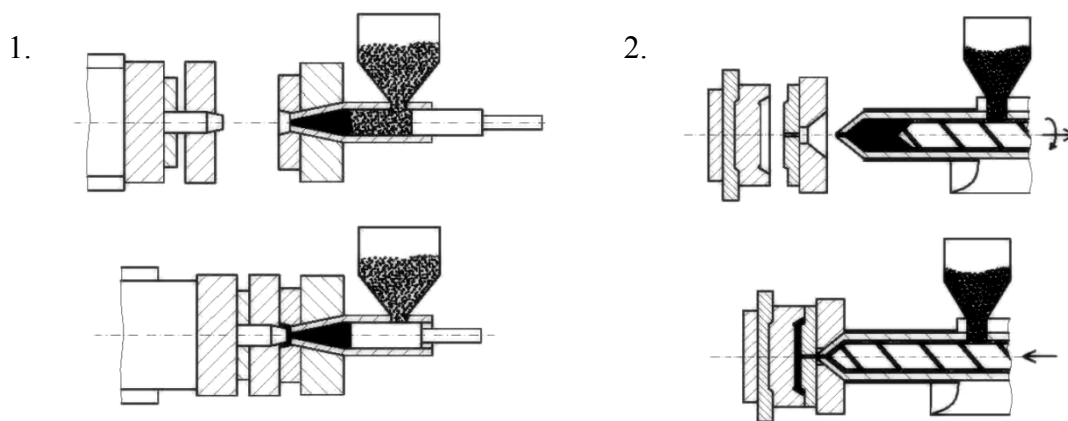
Otvorenie formy - po dostatočnom stuhnutí vstreknutej hmoty dochádza k otvoreniu formy a odobratiu hotového výlisku. Zároveň pokračuje proces plastifikácie a hromadenia roztavenej hmoty.

1.2 ZÁKLADNÉ DRUHY VSTREKOVACÍCH ZARIADENÍ

Vstrekovacie zariadenia môžeme deliť vzhľadom na konštrukciu z mnohých hľadísk.

Podľa spôsobu dopravy roztaveného materiálu rozoznávame nasledovné druhy vstrekovacích strojov [2, str.15]:

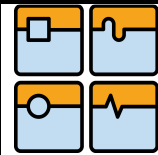
- Piestové vstrekovacie stroje
- Závitovkové vstrekovacie stroje



Obr.2 Základné druhy dopravy roztaveného materiálu [2, str.15]

1- piestové vstrekovacie stroje, 2- závitovkové vstrekovacie stroje

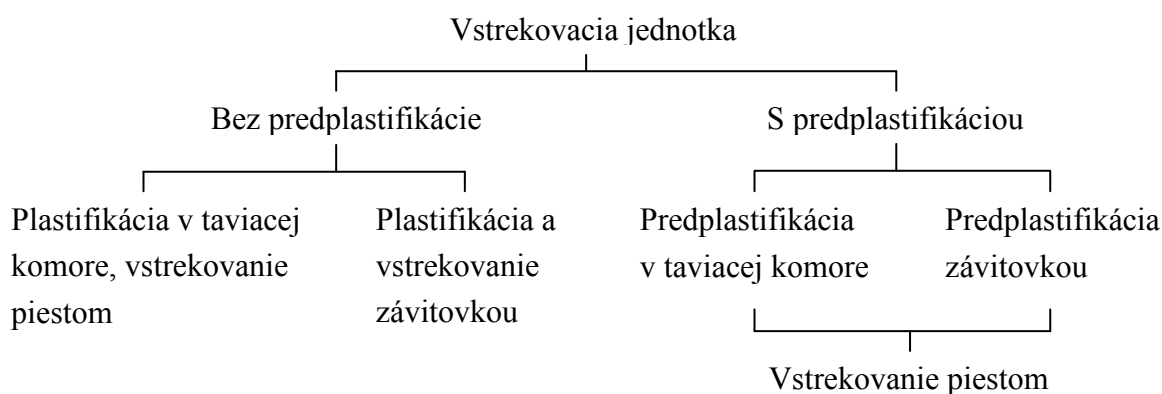
Piestové vstrekovacie stroje- „Výhodou vstrekovacích jednotiek s piestovou plastifikáciou je jednoduchá konštrukcia a ľahké docielenie pomerne vysokých vstrekovacích tlakov. Nevýhodou je horšia homogenizácia taveniny.“ [2, str.204]



Závitovkové vstrekovacie stroje dosahujú vyššie výkony ako piestové vstrekovacie stroje. Zabezpečujú rovnomernú premenu a lepšiu homogenizáciu taveniny, avšak majú zložitejšiu konštrukciu a vykonávajú zložitejší pohyb počas cyklu. [2]

Podľa spôsobu plastifikácie vo vstrekovacej jednotke rozlišujeme tieto druhy [2, str.202]:

- S predplastifikáciou
- Bez predplastifikácie



Obr.3 Vstrekovacie jednotky [2, str.202]

Podľa smeru posuvu uzatvárackej jednotky sa delia vstrekovacie stroje na [3, str.83]:

- Stroje s horizontálnou uzatváracou jednotkou
- Stroje s vertikálnou uzatváracou jednotkou

Stroje s horizontálnou uzatváracou jednotkou sa zvyčajne používajú pri plne automatizovanej výrobe, kde po otvorení formy príde k automatickému odvedeniu dielu pomocou napr. dopravníkového pásu.



Obr.3 Stroj s horizontálnou uzatváracou jednotkou [4]

Stroje s vertikálnou uzatváracou jednotkou sa zvyčajne používajú pre poloautomatizovanú výrobu s obsluhou, kde obsluha po otvorení formy odoberie vystreknutý diel. Tento spôsob je vhodný najmä pre rozmernejšie súčasti a pre súčasti, kde by mohlo prísť po otvorení formy v prípade padnutia k poškodeniu dielu.



Obr.4 Stroj s vertikálnou otočnou uzatváracou jednotkou [5]

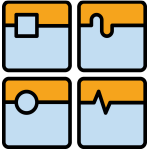
Podľa spôsobu pohonu sa vstrekovacie stroje delia na [3, str.84]:

- Hydraulické vstrekovacie stroje
- Elektrické vstrekovacie stroje
- Kombinácia hydraulických a elektrických pohonov

Hydraulické vstrekovacie stroje sú náročnejšie z hľadiska prevádzkovej kvapaliny. Tento spôsob ovládania spôsobuje nižšiu presnosť stroja. Dosahuje sa však vyššia pritlačacia sila v porovnaní s elektrickými vstrekovacími strojmi pri rovnakých rozmeroch.

Elektrické vstrekovacie stroje dosahujú vyššiu presnosť, ako je to v prípade hydraulických vstrekovacích strojov. Hlavnou nevýhodou je obmedzená veľkosť pritlačnej sily.

Kombinácia hydraulických a elektrických pohonov využíva výhody oboch spôsobov.

Str. 14	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

Podľa počtu vstrekovacích jednotiek sa vstrekovacie stroje delia na [3, str.84]:

- Jednokomponentné
- Viackomponentné

Jednokomponentný vstrekovací stroj obsahuje jednu vstrekovaciu jednotku. To znamená, že do dutiny formy môžeme vstrekať iba jeden druh plastov.

Viackomponentný vstrekovací stroj obsahuje dve a viac vstrekovacích jednotiek, a preto je možné do dutiny formy vstrekať naraz plasty odlišných druhov alebo farieb. Používa sa pre výrobu zložitejších dielov.

2 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI PLASTOV

Základné rozdelenie plastov vhodných pre vstrekovanie:

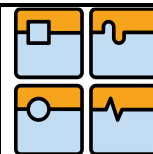
POLYMÉRY			
REAKTOPLASTY	TERMOPLASTY	TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	ELASTOMERY
Fenolické	Čiastočne kryštalické	S vysokou tvrdosťou	NR
Melaminové	Amorfné	S nízkou tvrdosťou	SBR
Epoxidové			NBS
Polyesterové			EPDM
Ďalšie			Ďalšie

Obr.5 Rozdelenie polymérnych materiálov [6, str.16]

Reaktoplasty majú reťazce vytvorené sieťovaním. Tieto reťazce nie je možné rozpojiť vplyvom tepla. Dosahovaná pevnosť sa nachádza v rozmedzí medzi 30-100 MPa. Najčastejšie reaktoplasty používané pre vstrekovanie plastov sú napr. fenolformaldehyd (PF), močovinoformaldehyd (UF), melaminformaldehyd (MF). [6,7]

„**Termoplasty** všeobecne používame v rozmedzí teplôt -70 až +120°C. Za teploty miestnosti sú obvykle ohybné, pod 20°C sa stávajú tvrdými a krehkými. Pri teplotách nad 200°C mäknú, stávajú sa plastickými a niektoré sa môžu aj rozložiť.“ [2, str.19] Dosahovaná pevnosť sa nachádza v rozmedzí medzi 10-80 MPa. Hlavnou nevýhodou termoplastov je starnutie a zhoršovanie vlastností vplyvom tepla a vzduchu. Najčastejšie termoplasty používané pre vstrekovanie plastov sú napr. polyetylén (PE), polykarbonát (PC), polyamid (PA). [6,7]

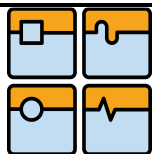
Elastomery majú hlavnú vlastnosť elasticitu, preto sa dokážu aj po veľkej deformácii vrátiť späť k približne rovnakým rozmerom a tvaru ako pred zaťažením. „Spoje medzi reťazcami sú aktivované teplom - vulkanizácia. Okolo spojov sa reťazce môžu pohybovať - elasticita.“ [6, str.18] Dosahovaná pevnosť sa nachádza v rozmedzí medzi 80-280 MPa. Najčastejšie termoplasty používané pre vstrekovanie plastov sú napr. styrolbutadie (SBR), etylen propylen dien (EPDM). [6]

**TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY – TPE**

Typy s vysokou tvrdosťou	Typy s nízkou tvrdosťou
KOPOLYESTERY – TPE-E	TERMOPLASTICKÉ POLYOLEFINY –TPE-O
POLYETHERBLOKAMIDY – TPE-A	STYREN-OLEFINOVÉ-BLOK-KOPOLYMERY – TPE-S
	TERMOPLASTICKÉ POLYURETÁNY – TPE-U

Obr.6 Rozdelenie termoplastických elastomerov [6, str.17]

Termoplastické elastomery - „Materiály, v ktorých sú elastické polymerné reťazce (zvulkanizované) integrované do polymernej matrice. Integrácia nie je chemickej povahy, je len fyzikálna- zmes.“ [6, str.18] Rozdeľujeme ich na 2 typy a to s vysokou tvrdosťou 25-70 Shore D a s nízkou tvrdosťou 60-98 Shore A. Najčastejšie termoplastické elastomery používané pre vstrekovanie plastov sú napr. kopolyestery (TPE-E), polyetherblokamid (TPE-A), termoplastické polyolefiny (TPE-O). [6]

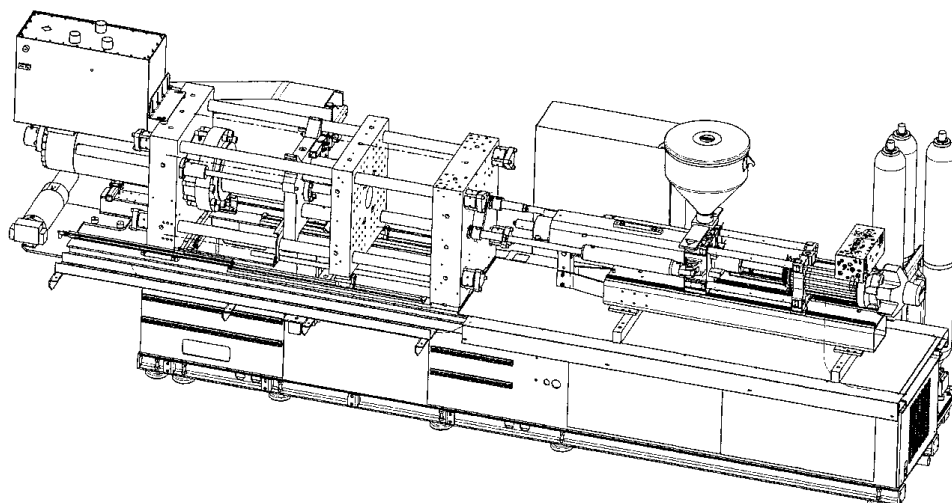


3 ZÁKLADNÉ ČASTI VSTREKOVACIEHO STROJA

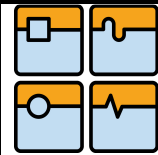
3.1 HYDRAULICKÝ VSTREKOVACÍ STROJ

Zariadenie pre vstrekovanie plastov sa skladá z niekoľkých hlavných častí [8, str.4-1]:

- Vstrekovacia jednotka
- Uzatváracia jednotka
- Hydraulický systém
- Elektrické a elektronické zariadenie
- Ovládací terminál

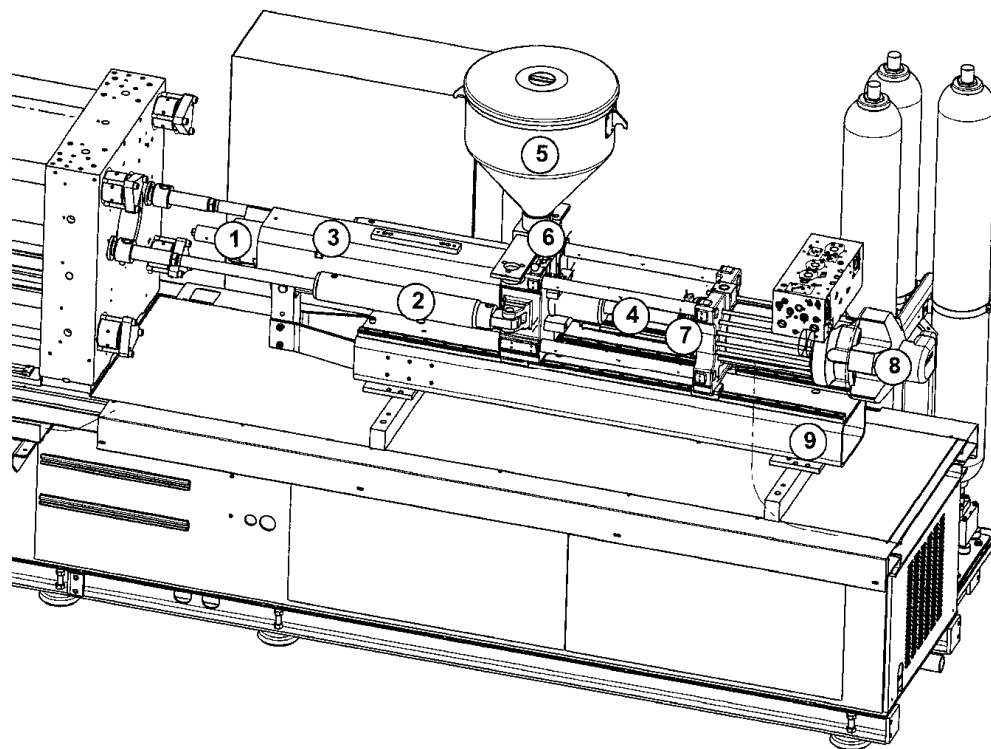


Obr.7 Zariadenie pre vstrekovanie plastov Ferromatik Milacron K-TEC250 [8, str.4-8]



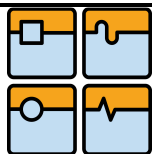
3.1.1 VSTREKOVACIA JEDNOTKA

Základnou funkciou vstrekovacej jednotky je pohyb jednotky smerom k forme, roztavenie privádzaného granulátu a jeho následný vstrek do dutiny formy pod určitým tlakom. Granulát v surovom stave je privádzaný do násypky materiálu, ktorá je chladená studenou vodou pre zabránenie prípadného roztavenia granulátu v násypke. Granulát je následne dopravovaný do valca závitovky, kde pomocou topných pásov dochádza k jeho plastifikácii. Pohyb granulátu v závitovkovom valci je zabezpečený rotačným a zároveň spätným posuvným pohybom závitovky. Rotačný pohyb závitovky tvorí hydraulický motor umiestnený na konci závitovkového valca. Týmto pohybom je docieľené hromadenie potrebnej dávky roztaveného granulátu pred závitovkou. Po dosiahnutí potrebného množstva príde k posunu celej vstrekovacej jednotky pomocou pojazďových valcov po lineárnom vedení smerom k forme a následný vstrek taveniny spôsobený dopredným pohybom závitovky v závitovkovom valci. [3,8]



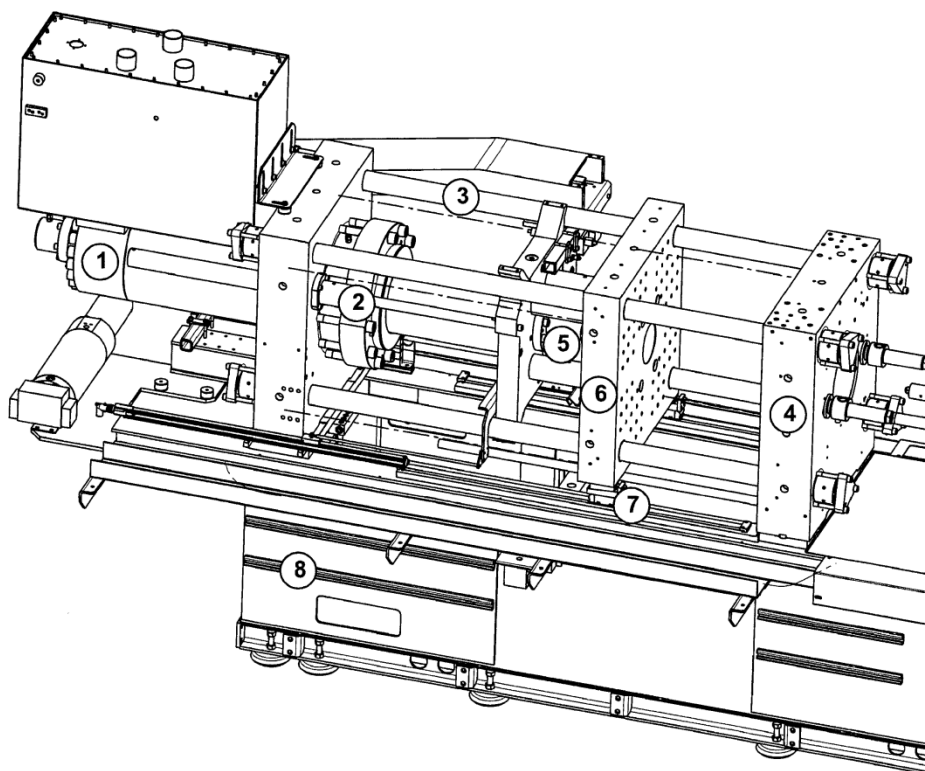
Obr.8 Vstrekovacia jednotka zariadenia [8, str.4-4]

1- teleso a hlava trysky, 2- pojazďové valce, 3- valec závitovky, 4- závitovka, 5- násypka materiálu, 6- telo násypky, 7-vstrekovací valec, 8- hydraulický motor, 9- nosník s lineárnym vedením



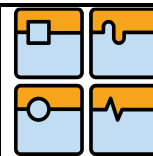
3.1.2 UZATVÁRACIA JEDNOTKA

Uzatváracia jednotka zariadenia slúži k vytuhnutiu vstreknutého roztaveného granulátu v požadovanom tvare a rozmere. Skladá sa z pohyblivej a nepohyblivej upínacej dosky, na ktorých sa umiestňujú upínacie časti formy. Silu potrebnú k pohybu pohyblivej časti uzatváraciej jednotky po vodiacich tyčiach a valčekových jazdcoch vytvárame pomocou dosádzacej nádrže. Pohyb formy je neustále monitorovaný pomocou lineárneho meracieho systému. Počas cyklu musí byť zabezpečená ochrana proti nepovolenému vniknutiu do uzatváraciej časti, napr. ochrannými dverami s koncovým spínačom. Po uzatvorení formy príde k vstreku roztaveného granulátu do dutiny formy. Správne chladnutie taveniny je zabezpečené pomocou chladiacich kanálikov umiestnených vo vnútri formy. Po uplynutí požadovaného času pre vytuhnutie príde k otvoreniu formy a vytlačeniu hotového výlisku z dutiny formy pomocou hydraulického vyhadzovača. [3,8]



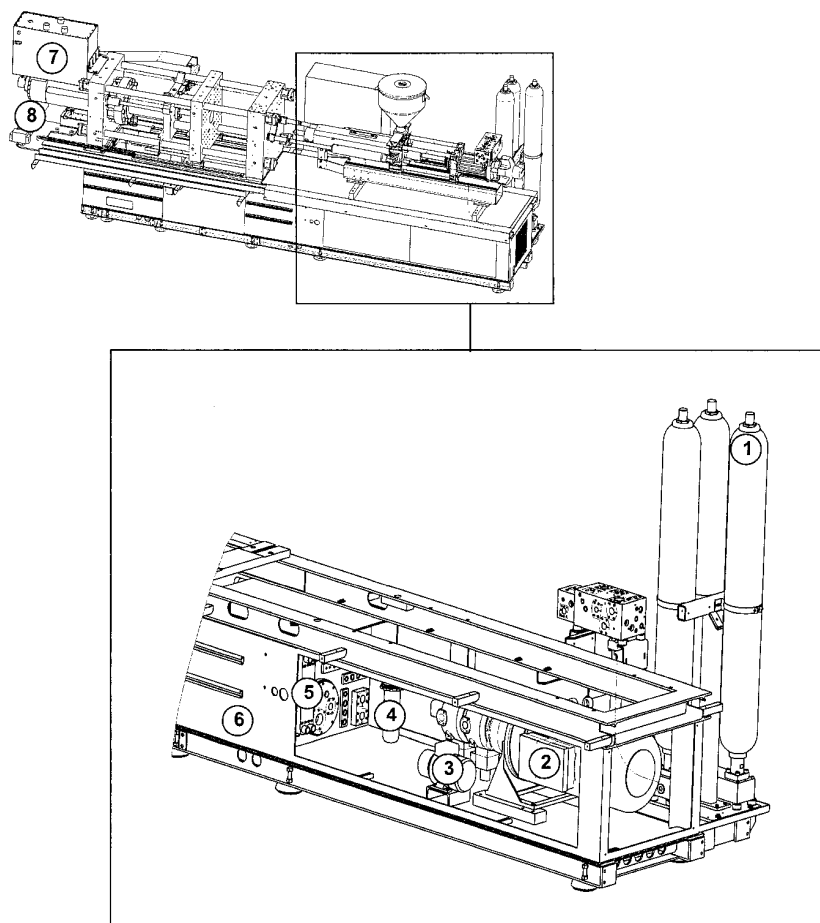
Obr.9 Uzatváracia jednotka (bez ochranných krytov) [8, str.4-2]

- 1- uzatvárací valec, 2- pojazdový valec, 3- vodiace tyče, 4- nepohyblivá upínacia doska formy, 5- vyhadzovač, 6- pohyblivá upínacia doska formy, 7- valčekový jazdec, 8- koľajnice profilu C k montáži rôznych súčastí



3.1.3 HYDRAULICKÝ SYSTÉM

Hydraulický systém zabezpečuje väčšinu činností vstrekovacieho zariadenia. V uzatváracíj jednotke slúži na vytváranie uzatváracíj sily a jeho pomocou sa vykonáva pohyb formy a vyhadzovačov. V rámci vstrekovacej jednotky slúži na vytváranie rotačného a priamočiareho pohybu závitovky a na pohyb vstrekovacej jednotky pomocou hydraulických valcov. [3]



Obr.10 Hydraulické zariadenie [8, str.4-6]

1- tlaková nádrž, 2- pohonná jednotka, 3- elektrické čerpadlo pre filtráciu oleja a chladenie,
4- olejový filter, 5- doskový tepelný výmenník, 6- hlavná nádrž, 7- dosádzacia nádrž,
8- tlakový prevodník

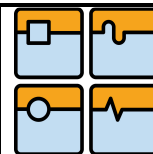
Účinnosť hydraulického systému vychádza z účinnosti premeny elektrickej energie elektromotoru vstrekovacieho stroja na mechanickú energiu vytváranú pomocou

	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 21
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

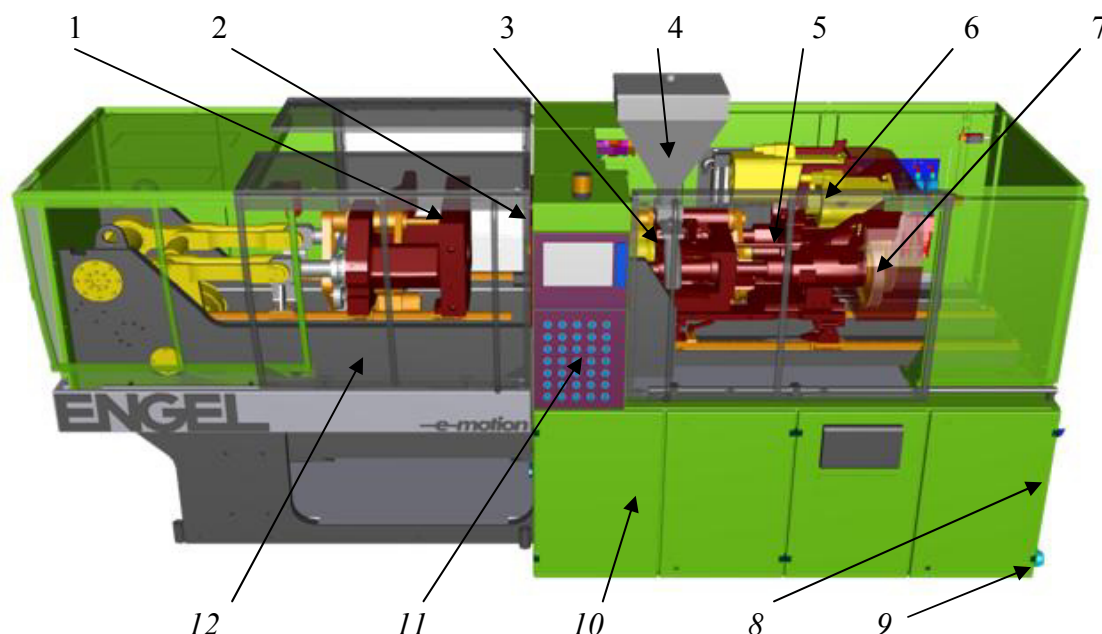
hydraulických čerpadiel. Účinnosť pohonu závitovky a pohonu uzatváracej jednotky sa pohybuje v rozmedzí 10 – 40%. [9]

Presnosť prenosu riadiaceho a regulačného signálu z riadiacich prvkov až do hydraulických prvkov je daná kritériami [9, str.4]:

- Spínacia doba
- Hysterézia
- Reprodukovenosť nastavenia
- Linearita
- Tepelná stálosť
- Citlivosť a znečistenie



3.2 PLNE ELEKTRICKÝ VSTREKOVACÍ STROJ



Obr.11 Plne elektrický vstrekovací stroj [10]

1- pohyblivá upínacia platňa, 2- pevná upínacia platňa, 3- plastifikačný valec s tryskou,
4- násypka, 5- vstrekovací agregát, 6- pohon vstreku, 7- pohon závitovky dávkovanie,
8- hlavný vypínač, 9- pripojenie siete, 10- spínacia skriňa, 11- ovládací panel s obrazovkou,
12- posuvná ochranná zábrana uzáveru

Výhody elektrických strojov v porovnaní s hydraulickými vstrekovacími strojmi sú [3,11]:

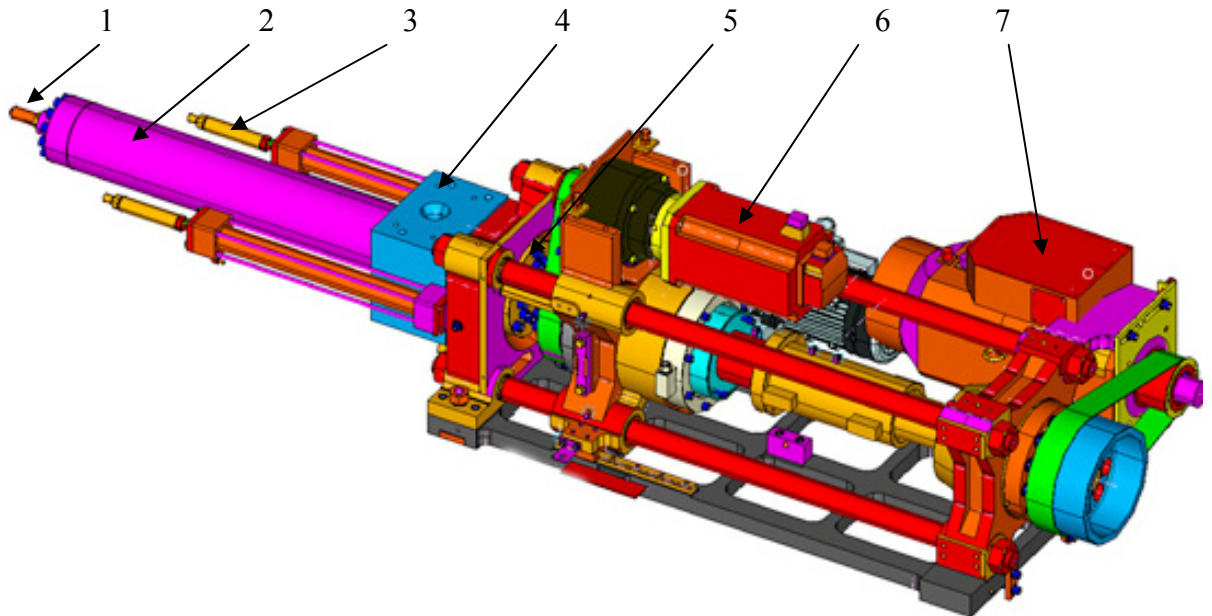
- Presnejšie výroba
- Regulácia všetkých pohybov je rýchlejšia a bez prejazdov
- Úspora elektrickej energie
- Vyššia účinnosť pohonov
- Nižšie náklady na údržbu
- Výrazne nižšia ekologická záťaž
- Výrazne nižšia hlučnosť stroja

Nevýhody elektrických strojov v porovnaní s hydraulickými vstrekovacími strojmi [3,11]:

- Vyššia cena
- Menšie uzatváracie tlaky pri rovnakej veľkosti stroja

V prípade plne elektrických vstrekovacích strojov je lineárny pohyb zabezpečený pomocou guľôčkových skrutiek a matíc. Pohon a riadenie je zabezpečené pomocou synchronných servomotorov s frekvenčnými meničmi.

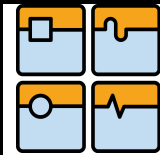
3.2.1 VSTREKOVACIA JEDNOTKA



Obr.12 Vstrekovacia jednotka [12]

- 1- elektricky vyhrievaná tryska, 2- elektrický vyhrievaný plastifikačný valec,
3- upevnenie piestnice na ráme stroja, 4- chladenie zóny pod násypkou (traverza),
5- zámok plastifikačného valca, 6- pohon závitovky dávkovanie, 7- pohon vstreku*

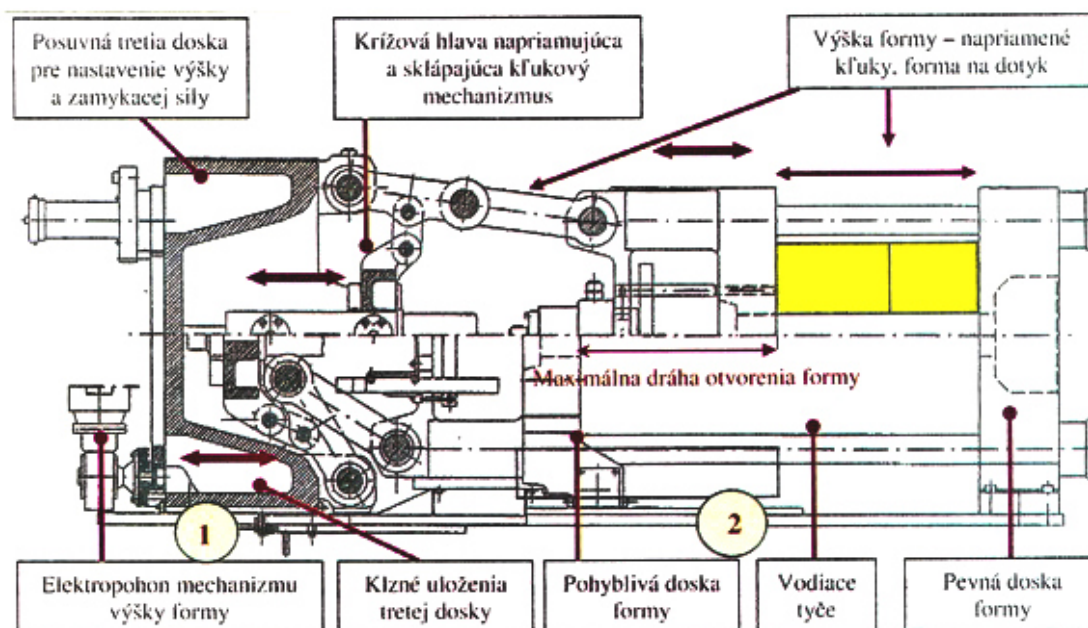
U plne elektrických vstrekovacích strojov je hydromotor nahradený servopohonmi. Pomocou servopohonov sa vykonáva rotácia a pohyb závitovky v závitovkovom valci, ako aj pohyb vstrekovacej jednotky po lineárnom vedení smerom k forme.



3.2.1 UZATVÁRACIA JEDNOTKA

„Súčasnú riešenie elektrických pohonov uzatvárania jednotiek vstrekovacích strojov využívajú rôznych transformačných mechanizmov pre zmenu rotačného pohybu na pohyb translačný“: [1, str.199]

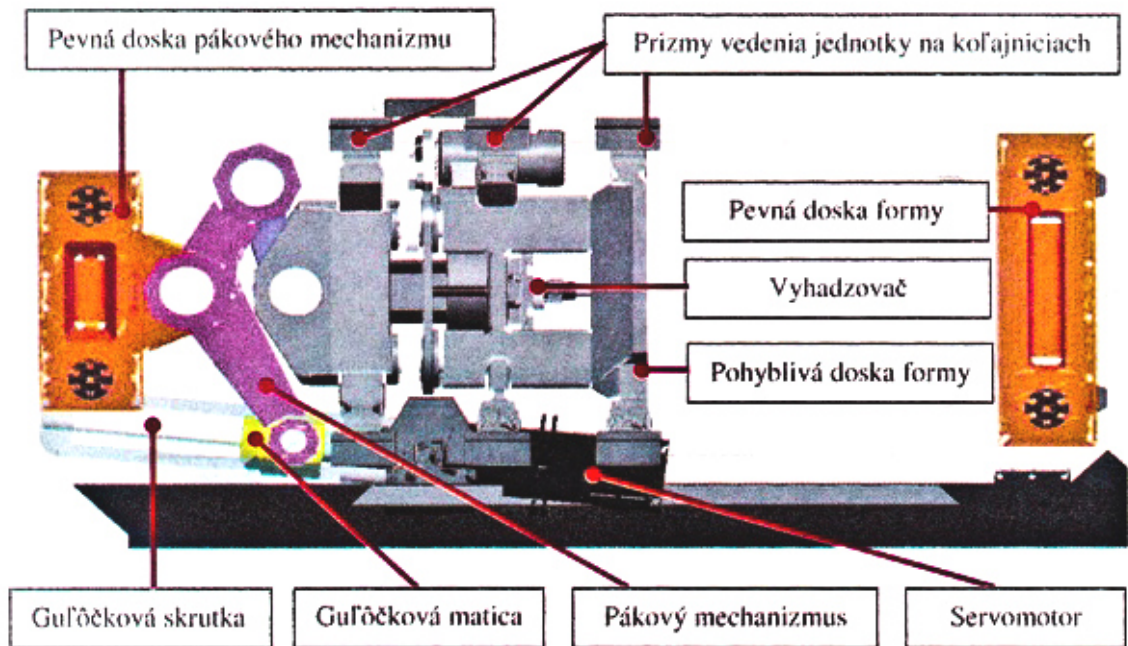
- Kľukový mechanizmus v kombinácii s kľbovým uzatváracím mechanizmom
- Výstredníkový mechanizmus v kombinácii s kľbovým uzatváracím mechanizmom
- Skrutkový mechanizmus s guľôčkovými skrutkami



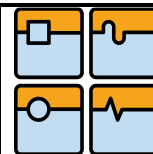
Obr.13 Jednotka s lineárnym kľukovým mechanizmom [3, str.91]

Uzatváracia časť plne elektrického vstrekovacieho stroja sa skladá z troch dosiek, a to z pohyblivej, nepohyblivej a posuvnej dosky pre nastavenie výšky a zamykacej sily. Posuvná doska pre nastavenie výšky je klzne uložená na klzákoch lôžka a je na nej uchytená jedna časť kľukového mechanizmu. Kľukový mechanizmus sklápame alebo napriamujeme pomocou posuvu krížovej hlavy. Posuv krížovej hlavy vytvárame pomocou guľôčkovej skrutky. Krížová hlava je pritom vedená na samostatných vodiacich tyčiach. Sklápaním alebo napriamovaním dosky posúvame pohyblivú dosku jednotky, ktorá je vedená po vodiacich tyčiach alebo koľajniciach. Dráha pohyblivej dosky sa meria od posuvnej dosky pomocou odmeriavacieho potenciometrického alebo ultrazvukového vlnového snímača a nezodpovedá zdvihu guľôčkovej skrutky posúvajúcej hlavu. [3]

Bezstĺpové prevedenie uzatváracích jednotiek má oproti stĺpovému prevedeniu výhodu jednoduchšieho prístupu k priestoru medzi upínacími doskami. Hlavnou nevýhodou je však nižšia tuhosť systému.



Obr.14 Bezstĺpová uzatváracia jednotka s otočným pákovým mechanizmom elektrického stroja ZHAFIR MERCURY [3, str.94]



4 POROVNANIE TECHNICKÝCH PARAMETROV STROJOV

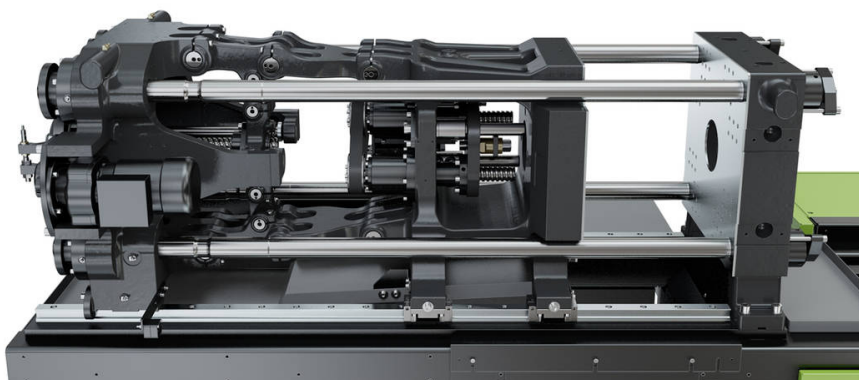
4.1 ENGEL E-MAC

Spoločnosť ENGEL je v oblasti vstrekovacích strojov vedúcou spoločnosťou na trhu. Má výrobné pobočky vo viacerých štátoch ako Rakúsko, Česká republika, Nemecko, Čína a Kórea.

Engel e-mac predstavuje plne elektrický vstrekovací stroj vhodný pre štandardné použitie. Vyniká malými rozmermi. Dosahovaná uzatváracia sila je 500-1800 kN.



Obr.15 Vstrekovací stroj Engel e-mac [13]



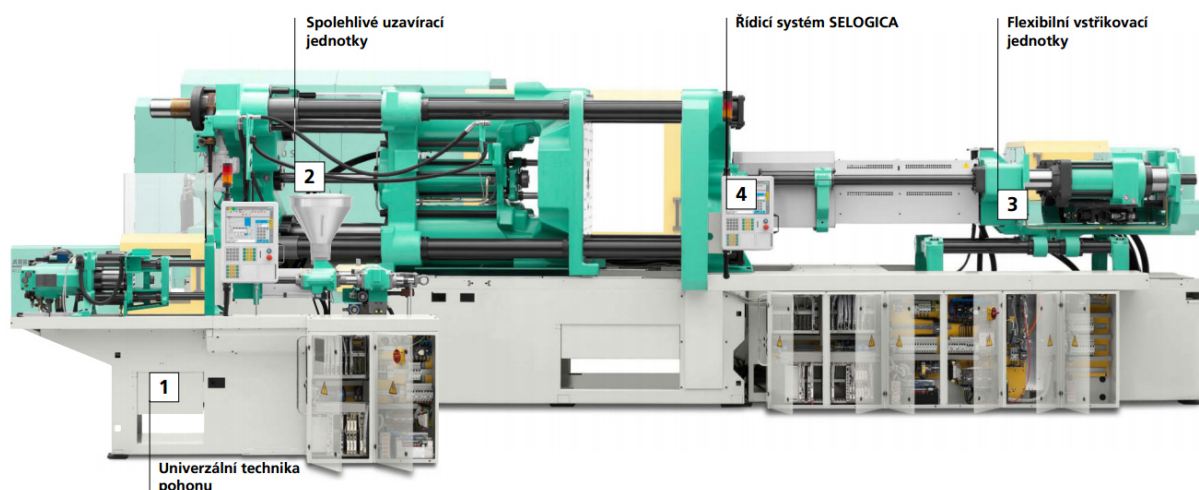
Obr.16 Uzatváracia časť vstrekovacieho stroja Engel e-mac [13]

Tab.1 Technické parametre vstrekovacieho stroja e-mac 50/75/100 [13]

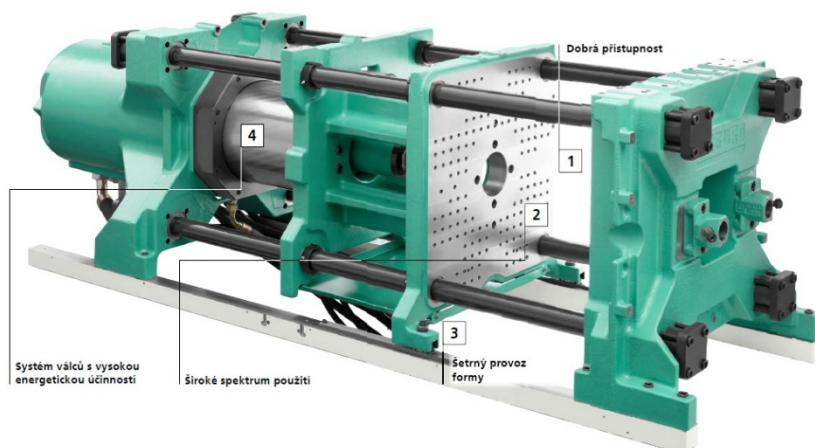
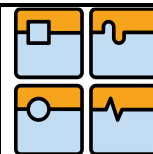
		e-mac 50	e-mac 75	e-mac 100
Uzatváracia sila	[kN]	500	750	1000
Otváracia sila	[kN]	60	75	100
Max. zdvih	[mm]	260	350	350
Montážna výška	[mm]	150/350	150/450	150/450
Max. vzdialenosť dosiek	[mm]	610	800	800
Medzera medzi tyčami	[mm]	370x320	460x410	460x410
Upevňovacia doska	[mm]	520x470	650x600	650x600
Max. hmotnosť formy	[kg]	480	1000	1000
Zdvih vyhadzovača	[mm]	100	100	100
Sila vyhadzovača	[kN]	22	22	22
Doba cyklu schnutia	[sec/mm]	1,0/25	1,4/320	1,4/320

4.2 ARBURG ALLROUNDER

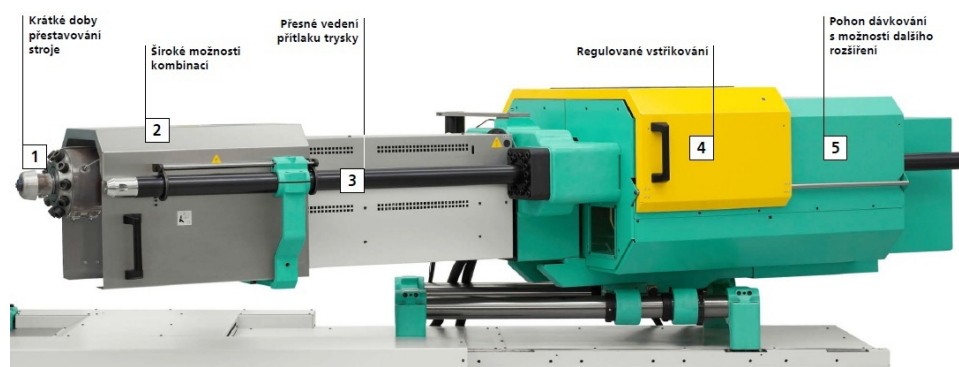
Tento typ hydraulického vstrekovacieho stroja je vhodný pre výrobu od mikrosúčiastok až po veľkorozmerné diely. Pri dodatočných úpravách je vhodný pre špeciálne oblasti vstrekovania a viackomponentné výlisky. Dosahovaná uzatváracia sila je od 125 do 5000 kN. [14]



Obr.17 Hydraulický vstrekovací stroj Allrounder [14]



Obr.18 Uzatváracia časť hydraulického vstrekovacieho stroja Allrounder [14]



Obr.19 Vstrekovacia časť hydraulického vstrekovacieho stroja Allrounder [14]

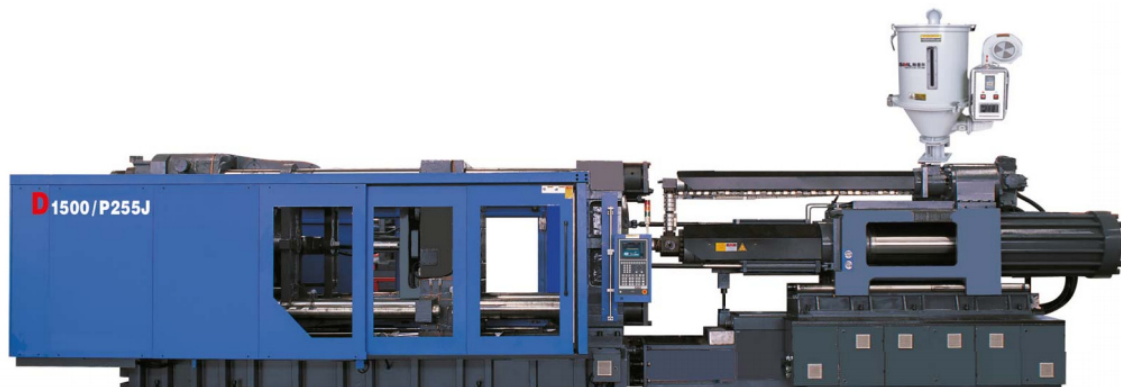
Tab.2 Technické parametre vstrekovacieho stroja Allrounder [14]

Vzdálenosti medzi vodičmi stĺpcy [mm]										Uzavírací sily [kN]	Vstříkovací jednotky dle EUROMAP													
920 x 920	820 x 820	720 x 720	630 x 630	570 x 570	520 x 520	470 x 470	420 x 420	370 x 370	320 x 320		270 x 270	170 x 170	30	70	100	170	290	400	800	1300	2100	3200	4600	
											Hmotnost vstříkovací dávky v [g PS]													
												125 - 180												
												250 - 400												
												500												
												500 - 700												
												1.000												
												800 - 1.500												
												1.300 - 1.600												
												1.600 - 2.200												
												2.500												
												3.200												
												4.000												
												5.000												

4.3 INTEC

Firma Invera dodáva horizontálne hydraulické vstrekovacie stroje v troch sériách:

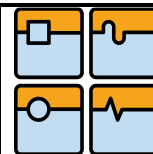
- INTEC-D a INTEC-J s uzatváracou silou 150-350 ton,
- INTEC-L vhodné pre vstrekovanie rozmerných výrobkov,
- INTEC-PVC.



Obr.20 Hydraulický vstrekovací stroj INTEC-S1500/P255J [15]

Tab.3 Technické parametre hydraulického vstrekovacieho stroja INTEC [15]

		D400/P140J	D500/P160J	D600/P190J	D700/P190J
Priemer závitovky	[mm]	80	90	90	90
Vstrekovacia hmotnosť	[g]	7093	12305	21231	21231
Vstrekovací tlak	[MPa]	83,6	90,3	82,0	82,0
Vstrekovací zdvih	[mm]	640	850	1040	1040
Vstrekovacia rýchlosť	[cm/s]	5,1	4,4	3,7	3,7
Uzatváracia sila	[kN]	4000	5000	6000	7000
Uzatvárací zdvih	[mm]	750	840	900	980
Medzera medzi tyčami	[mm]	730x730	820x820	880x880	960x960



4.4 TOSHIBA MACHINE

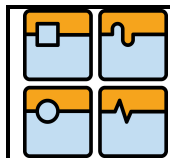
Firma Invera dodáva plne elektrické vstrekovacie stroje TOSHIBA MACHINE EC-SX SERIES s uzatváracou silou v rozmedzí 50 – 1300 ton. Pohyby sú zabezpečené pomocou guľôčkových skrutiek. Pohon je zabezpečený pomocou servopohonov, ktorými dosiahneme zníženie prevádzkových nákladov oproti konvenčným hydraulickým agregátom. [16]



Obr.21 Plne elektrický vstrekovací stroj TOSHIBA MACHINE EC100SX [16]

Tab.4 Technické parametre vstrekovacieho stroja TOSHIBA MACHINE [16]

TECHNICKÉ PARAMETRY		TOSHIBA EC100SX									TOSHIBA EC130SX				
Vstrikovací jednotka		i2			i3			i4			i3		i4		
Označení vstrikovací jednotky		Y	A	B	Y	A	Y	A	B		Y	A	Y	A	B
Průměr šneku	mm	28	32	36	32	36	36	40	45		32	36	36	40	45
Teoretický vstřík. objem	cm ³	78	102	130	115	146	162	201	254		115	146	162	201	254
Gramáž vstříku (PS)	gr	72	94	120	105	134	145	180	230		105	134	145	180	230
Gramáž vstříku (PE)	gr	57	75	95	83	106	115	145	185		83	106	115	145	185
Vstrikovací tlak (max.)	MPa	287	220	174	253	200	247	200	158		253	200	247	200	158
Přidržovací tlak (max.)	MPa	287	220	174	253	200	247	200	158		253	200	247	200	158
Rychlost vstříku	mm/s	200									200				
Rychlost vstříku (zvýšená)	mm/s	500			350						350				
Kapacita vstříku	cm ³ /sec	123	161	204	161	204	204	251	318		161	204	204	251	318
Kapacita vstříku (zvýšená)	cm ³ /sec	308	402	509	281	356	356	440	557		281	356	356	440	557
Kapacita plastik. jednotky (PS)	kg/hod.	40	61	83	61	83	83	110	120		61	83	83	110	120
Otáčky šneku	ot./min	400	390	350	390	350	350	320	285		390	350	350	320	285
Uzavírací jednotka															
Uzavírací síla	kN	980									1270				
Průchod mezi sloupky (Vxš)	mm	460 x 410									510 x 460				
Vnější rozměr upínac. desek (Vxš)	mm	660 x 610									720 x 670				
Zdvih pohyblivé desky (max.)	mm	350									400				
Max. otevření	mm	900									950				
Výška formy (min. – max.)	mm	180 ~ 550									180 ~ 550				
Vyrážecí síla	kN	30									30				
Zdvih vyrážení	mm	90									90				
Ostatní data															
Příkon topení 220V/50Hz	kW	6,8			7,9			11,2			7,9		11,2		
Rozměry stroje (D x Š x V)	m	4,6 x 1,3 x 1,7						4,9 x 1,3 x 1,7			4,9 x 1,4 x 1,8		5,1 x 1,4 x 1,8		5,2 = D
Celková hmotnost stroje	tun	4,2			4,3			4,3			5,2		5,3		

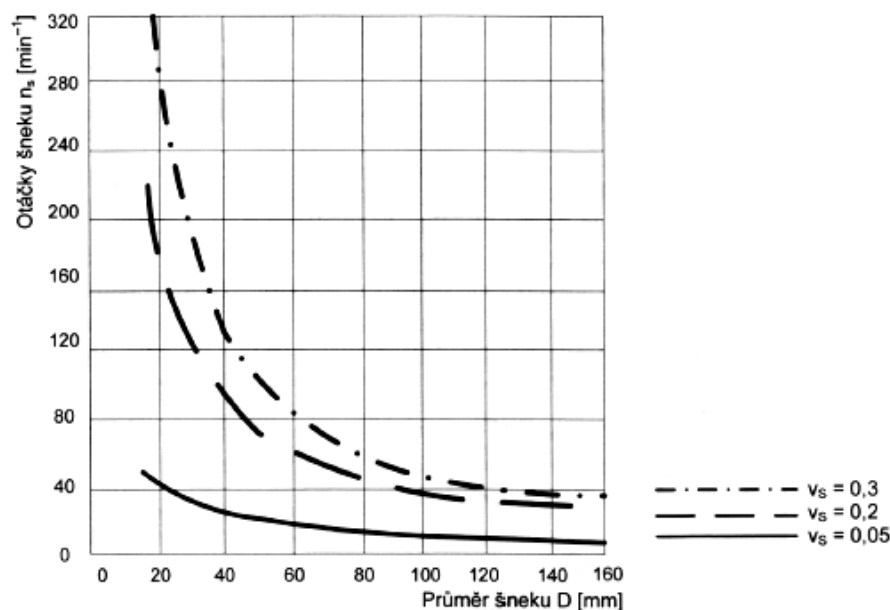


4.5 VOĽBA VHODNÝCH PARAMETROV VSTREKOVACIEHO STROJA

Odporúčané obvodové rýchlosti na závitovkách: [2, str.217]

- Pre strednú a dobrú tekutosť: $0,2 - 0,3 \text{ ms}^{-1}$
- Vysokoviskózne a tvrdé materiály: $0,05 - 0,2 \text{ ms}^{-1}$

Podľa uvedených závislostí je volená obvodová rýchlosť pohybu závitovky $0,2 \text{ ms}^{-1}$.



Obr.27 Závislosť medzi otáčkami závitovky a jeho priemerom – obvodová rýchlosť závitovky [6, str.122]

Výpočet otáčok závitovky [6, str.122]:

$$n_z = \frac{v_z}{\pi \cdot D_z} \cdot 60000 = \frac{0,2}{\pi \cdot 35} \cdot 60000 = 109,13 \text{ min}^{-1} \quad (4.1)$$

n_z – otáčky závitovky [min^{-1}]

D_z – priemer závitovky [mm]

v_z – obvodová rýchlosť závitovky [m.s^{-1}]

Výpočet objemu pred závitovkou:

$$S_z = \frac{\pi \cdot D_z^2}{4} = \frac{\pi \cdot 35^2}{4} = 962,11 \text{ mm}^2 = 9,62 \text{ cm}^2 \quad (4.2)$$

$$V_z = S_z \cdot l_z = 9,62 \cdot 14 = 134,70 \text{ cm}^3 \quad (4.3)$$

S_z – plocha vnútorného valca závitovky [cm^2]

V_z – objem vnútorného valca pred závitovkou [cm^3]

l_z – vstrekovací zdvih [cm]

Výpočet hmotnosti teoretického vstrekovacieho objemu:

$$G_v = V_{zz} \cdot \rho = 101,01 \cdot 0,93 = 93,94 \text{ g} \quad (4.4)$$

V_{zz} – objem znížený o požiadavky na dekompresiu [cm^3]

ρ – hustota PE, [7] $\rho=0,92-0,94$ pre výpočet volím hodnotu 0,93 [g/cm^3]

G_v – hmotnosť teoretického vstrekovacieho objemu [g]

Teoretický vstrekovací objem je závislý od priemeru závitovky a zdvihu závitovky. Zdvih závitovky pri vstrekaní by nemal prekročiť 5-násobku jej priemeru, preto je zvolený zdvih 140 mm, čím sa zabezpečí objem pred závitkou $134,7 \text{ cm}^3$, z čoho dávka maximálne jedného priemeru závitovky má byť vyhradená dekompresiam. Výsledný dosahovaný teoretický vstrekovací objem je potom približne 100 cm^3 , čo pri predpokladanej priemernej hustote polyetylénu $0,93 \text{ g}/\text{cm}^3$ predstavuje teoretickú vstrekovaciu hmotnosť 94 g. [6]

Tab.5 Technologické podmienky pre vstrekovanie základných termoplastov [17]

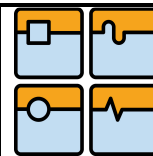
Materiál	Vstřikovací teplota [°C]	Vstřikovací tlak [MPa]	Teplota formy [°C]	Smrštění [%]
LDPE	160–280	20–50	30–50	2,0–3,0
HDPE	220–300	60–120	40–70	1,5–3,0
PP	180–300	80–150	25–80	1,0–3,0
PS	150–240	60–150	40–65	0,3–0,5
HPS	180–260	60–150	50–70	0,3–0,5
ABS	180–220	100–150	60–80	0,4–0,6
PA	230–320	70–100	40–50	0,5–2,0

Vzhľadom na technologické podmienky základných termoplastov tab.5 je zvolený maximálny dosahovaný vstrekovací tlak 100 MPa.

Vzhľadom na výhody plne elektrických vstrekovacích strojov oproti strojom hydraulickým sa bude navrhovať konštrukcia plne elektrická. Na základe porovnania parametrov výrobcov vstrekovacích strojov a odporúčaných hodnôt, sú zvolené vhodné parametre navrhovaného vstrekovacieho stroja pre formu s rozmermi 350 x 350 mm podľa tab.6.

Tab.6 Technické parametre navrhovaného vstrekovacieho stroja

Vstrekovacia jednotka		
Priemer závitovky	[mm]	35
Teoretický vstrekovací objem	[cm ³]	90
Vstrekovacia hmotnosť (PE)	[g]	94
Vstrekovací tlak	[MPa]	80
Vstrekovacia rýchlosť	[mm/s]	150
Vstrekovací zdvih	[mm]	140
Otáčky závitovky	[ot./min]	110
Uzatváracia jednotka		
Uzatváracia sila	[kN]	500
Vyrážacia sila	[kN]	20
Zdvih vyrážania	[mm]	90
Zdvih pohyblivej dosky	[mm]	200
Medzera medzi tyčami	[mm]	550x550
Vonkajší rozmer upínacích dosiek	[mm]	750x750



5 VOĽBA VHODNÝCH NAKUPOVANÝCH KOMPONENTOV

5.1 ZÁVITOVKA



Obr.24 Závítovka [18]

Tab.7 Možné rozmery nakupovaných závitoviek od firmy Boco [18]

Druh výroby	Nitridované	Pancierované
Vonkajší priemer	20-750 mm	25-750 mm
Max. dĺžka	6000 mm	6000 mm
Hrúbka vrstvy	0,3 – 0,7 mm	1,5 – 2,5 mm

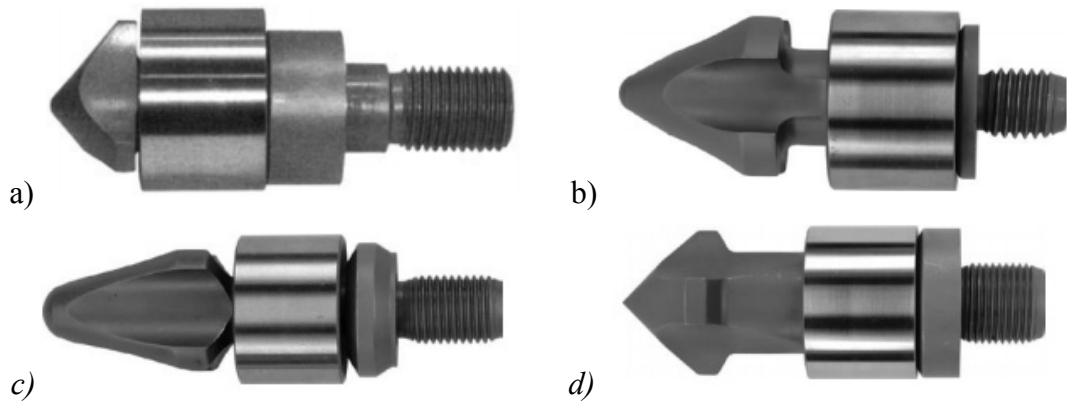
Nitridované závitovky sú vhodné pre náročné procesy s vyšším nárokom na odolnosť voči opotrebeniu. Ide napríklad o výrobu bežných druhov plastov bez pridaných aditív, najmä abrazívnych aditív. [18]

Pancierované závitovky sú vhodné pre náročné procesy s vyšším nárokom na odolnosť voči opotrebeniu, napr. pre spracovanie rôznych druhov plastov s definovanými prísadami abrazív. Sú vhodné pre stroje spracovávajúce recyklovaný materiál. [18]

Pre spracovanie prakticky všetkých na trhu dostupných vstrekovacích materiálov (okrem PVC) sa používajú tzv. univerzálne závitovky charakterizované pomerom dĺžky k priemeru (obvyklý priemer sa pohybuje v rozmedzí od cca 1:16, do 1:25, najčastejšie 1:20 až 22) a kompresným pomerom, t.j. objemom jedného závitovky u jeho špičky k jednému závitov pod násypkou. Typická hodnota kompresného pomeru je 1:2. [6, str.81]

Pre návrh zariadenia je vybraná nitridovaná závitovka vhodná pre náročné procesy s vyšším nárokom na odolnosť voči opotrebeniu. Závítovka je vyrobená z ocele ČSN 15340 (1.8550). Zvolené parametre závitovky sú vonkajší priemer 35 mm a dĺžka 770 mm v pomere 1:22.

5.2 SPÄTNÝ UZÁVER



*Obr.26 Spätný uzáver od jednotlivých výrobcov [19]
a) Krauss Maffei, b) Demag, c) Arburg, d) Battenfeld*

Z týchto druhov je vybraný spätný uzáver od spoločnosti Krauss Maffei s priemerom 35 mm, ktorý obsahuje 3 krídla a dĺžku špičky 115,5 mm. Pre spojenie so závitovkou má ľavý závit M 18 x 2,5. [19]

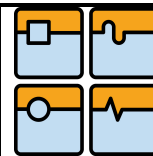
5.3 ZÁVITOKOVÝ VALEC



Obr.25 Závitokový valec [20]

Tab.8 Možné rozmery nakupovaných závitokových valcov od firmy Boco [20]

Druh výroby	Nitridované	Pancierované - bimetalitické
Priemer vnútorný	20 -500 mm	25 -500 mm
Max. vonkajší priemer	600 mm	600 mm
Max. dĺžka	8000 mm	8000 mm
Hrúbka vrstvy	0,3 - 0,7 mm	1,0 - 2,5 mm



Výpočet potrebnej hrúbky závitovkového valca [21]:

$$(\sigma_t)_{max} = \frac{p_v \cdot (D_z + t)}{2t} \Rightarrow t = \frac{p_v \cdot D_z}{2(\sigma_t)_{max} - p_v} = 4,46 \text{ mm} \quad (5.1)$$

$(\sigma_t)_{max}$ – maximálne obvodové napätie [MPa], podľa [7] volím $(\sigma_t)_{max} = 400 \text{ MPa}$

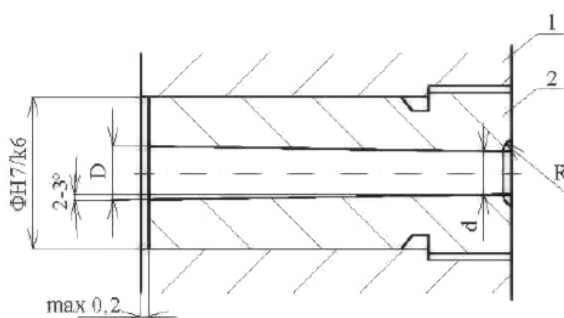
D_z – vnútorný priemer závitovkového valca [mm]

t – hrúbka steny závitovkového valca [mm]

p_v – tlak pôsobiaci na stenu valca [MPa], $p_v = p_2$ kap. 6.1.4.1

Zvolený závitovkový valec je nitridovaný rovnako ako závitovka. Parametre uvedeného závitovkového valca sú nasledovné: vnútorný priemer 35 mm, dĺžka 1055 mm a predbežná hrúbka steny 10 mm. Hodnota hrúbky steny sa môže meniť podľa návrhu výrobcu.

5.4 VSTREKOVACIA TRYSKA



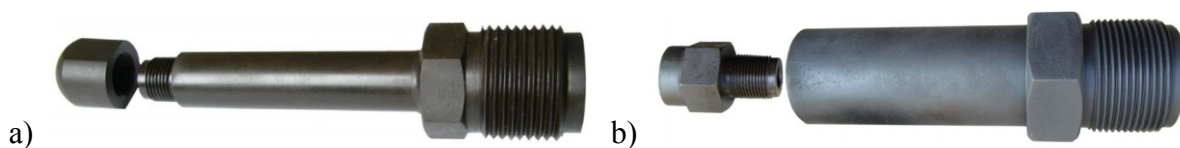
Obr.26 Vtoková vložka [2]

1- tvárnica, 2- vtoková vložka

Tab.9 Priemer trysky vzhľadom k hmotnosti výlisku [2]

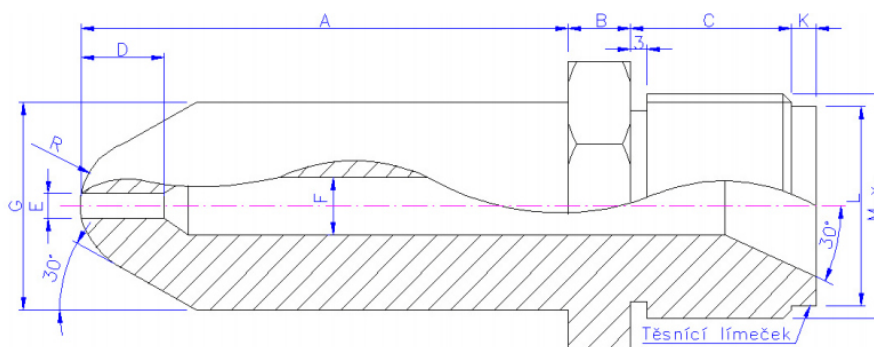
Hmotnosť výlisku [g]	Priemer d [mm]	Hmotnosť výlisku [g]	Priemer d [mm]
do 10	2,5	150 – 300	4,5 – 7,5
10 – 20	2,5 – 4,5	300 – 500	5,0 – 8,0
20 – 40	4,0 – 5,0	500 – 1000	5,5 – 8,5
40 – 150	4,5 – 6,0	1000 – 5000	6,0 – 10,0

Vzhľadom k vypočítanej teoretickej vstrekovacej hmotnosti je vhodný priemer otvoru vstrekovacej trysky vstrekovacej jednotky 6 mm.



Obr.28 Trysky pre vstrekovacie stroje od firmy Technotrend [19]
a) Predná tryska s vnútorným závitom, telo trysky s vonkajším závitom
b) Predná tryska s vonkajším závitom, telo trysky s vnútorným závitom

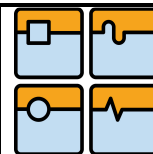
Pre navrhované zariadenie je zvolená predná tryska s vonkajším závitom, telo trysky s vnútorným závitom. Tryska je nakupovaná so zvolenými rozmermi podľa tab.10.



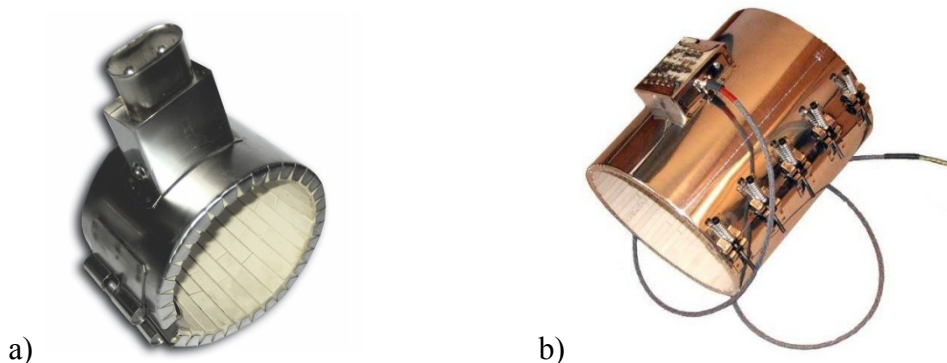
Obr.28 Zvolené rozmery vstrekovacej trysky [19]

Tab.10 Hlavné zvolené rozmery vybranej vstrekovacej trysky

Kóta		Vysvetlivka	Rozmer
A	[mm]	Dĺžka špičky	100
B	[mm]	Dĺžka šesťhranu	10
C	[mm]	Dĺžka závitu	30
D	[mm]	Dĺžka ústia	20
E	[mm]	Priemer ústia	6
F	[mm]	Priemer jadra	15
G	[mm]	Priemer topného telesa	45
M..x..	[mm]	Veľkosť závitu	48x1,5
R	[mm]	Rádus trysky	5
SW	[mm]	Veľkosť šesťhranu pre kľúč	60
K	[mm]	Dĺžka tesniaceho límečku	5
L	[mm]	Vonkajší priemer tesniaceho límečku	47



5.5 TOPNÉ PÁSY



Obr.22 Topné pásy s keramickou izoláciou rady SCB [22, 23]

a) rada SCB od firmy Easytherm, b) rada od firmy Elkop

Tab.11 Technické parametre topných pásov s keramickou izoláciou [22, 23]

Parametre	Jednotky	Easytherm	Elkop
Hrúbka steny	[mm]	10	12
Max. teplota	[°C]	550	500
Max. merný výkon	[W/cm ²]	8	8-10
Min. vnútorný priemer	[mm]	20	70
Max. vnútorný priemer	[mm]	-	-
Min. šírka	[mm]	23	25
Max. šírka	[mm]	800	500
Tolerancia výkonu	[%]	+5% -10%	neuvedené
Max. napätie	[V]	400	400

Vzhľadom na menšie rozmery závitovkového valca sú zvolené 4 topné pásy s keramickou izoláciou od firmy Easytherm s priemerom 55 mm a šírkou 100 mm. Týmto sa zabezpečí postupné regulované tavenie granulátu v závitovkovom valci.

Výpočet výkonu použitých topných pásov:

$$P_{pm} = P_p \cdot S_{tp} = 8 \cdot 172,79 = 1382,32 \text{ W} \quad (5.2)$$

P_{pm} – výkon topných pásov [W]

P_p – merný výkon topných pásov [W/cm²]

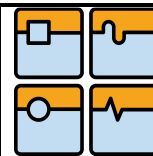
S_p – plocha topných pásov [cm²]

	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 39
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

Pre lepšie využitie topných pásov a zníženie tepelných strát stroja sa použijú topné manžety od firmy Techtrend. Ich využitím sa zníži spotreba elektrickej energie o 20 – 40 % a zvýši sa bezpečnosť vplyvom zníženia povrchovej dotykovej teploty o 60 – 70 %. [24]



Obr.24 Izolačné manžety pre vyhrievacie zóny vstrekovacích strojov [24]



6 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH

6.1 NÁVRH VSTREKOVACEJ JEDNOTKY

6.1.1 NÁVRH NÁSYPKY GRANULÁTU

Výpočet objemu násypky pri zvolených rozmeroch:

$$S_v = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 706,86 \text{ cm}^2 \quad (6.1)$$

$$V_c = V_v + V_k = S_v \cdot h_1 + \frac{\pi \cdot h_2}{3} \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) = 17798,69 \text{ cm}^3 \quad (6.2)$$

$$G_c = \rho_g \cdot V_c = 948 \cdot 17798,69 = 16,52 \text{ kg} \quad (6.3)$$

ρ_g – hustota granulátu [g/cm^3], podľa [48] je zvolené predbežne $\rho_g = 948 \text{ g/cm}^3$

d_{nv} – priemer vrchnej časti násypky [cm]

S_{nv} – plocha vrchnej časti násypky [cm^2]

V_{nv} – objem valcovej časti násypky [cm^3]

V_{nk} – objem kužeľovej časti násypky [cm^3]

V_{nc} – celkový objem násypky [cm^3]

G_c – hmotnosť plastu v násypke [kg]

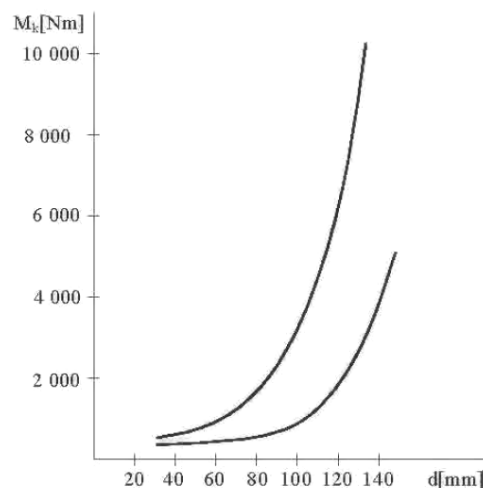
Celková hmotnosť granulátu bude v skutočnosti menšia vzhľadom na vzduchové medzery medzi granulami granulátu. Objemová hmotnosť násypky je dostačujúca pre vstrekovacie možnosti vstrekovacieho lisu. Ďalej je násypka navrhnutá na možnosť pripojenia centrálného rozvodu granulátu.

6.1.2 NÁVRH CHLADIACEJ KOMORY POD NÁSYPKOU

Chladiaca komora pod násypkou je navrhnutá s rozmermi 200x200x270 mm s hrúbkou steny 10 mm. Približné objemové množstvo pretekajúcej kvapaliny je $7\,189,51 \text{ cm}^3$.

6.1.3 NÁVRH POHONOV ZÁVITOVKY

6.1.3.1 NÁVRH ROTAČNÉHO POHONU ZÁVITOVKY



Obr.26 Závislosť maximálneho a minimálneho záťažného momentu na priemere závitovky plastifikačných jednotiek vstrekovacích strojov [2, str.216]

Pôsobiaci záťažný moment na priemere závitovky je pri priemere závitovky 35 mm podľa grafu obr.26 $M_k=700 \text{ Nm}$.

6.1.3.2 ULOŽENIE OZUBENÉHO KOLA NA HRIADEĽU ZÁVITOVKY

Výpočet pera:

$$l_1 \geq \frac{2 \cdot M_{kz}}{d_1 \cdot t_1 \cdot p_d} = \frac{2 \cdot 700000}{50 \cdot 3,5 \cdot 120} = 66,67 \text{ mm} \quad (6.4)$$

l_1 – dĺžka pera [mm]

d_1 – priemer hriadeľa [mm]

t_1 – hĺbka pera v náboji [mm], je zvolené podľa [7] $t_1=3,5 \text{ mm}$

p_d – dovolený tlak [MPa], je zvolené podľa [7] $p_d=120 \text{ MPa}$

M_{kz} – záťažný moment na priemere závitovky [Nmm]

Pre uloženie ozubeného kola na hriadeľ závitovky sú zvolené 2 perá 14x9x40 ČSN 02 2507.

6.1.3.3 VÝPOČET ROZMERU OZUBENÝCH KÔL

Tab.12 Základné zvolené parametre ozubených kôl [25]

		Pastorok	Kolo
Voľba materiálu		12 020.9	15 241.4
Povrchová úprava zubov:		cementované, kalené, brúsené	povrchovo kalené po boku, brúsené
Tvrdosť V_{HV}	[-]	600 - 720	600 – 675
σ_{Hlim}^0	[MPa]	1210	1160
σ_{Flimb}^0	[MPa]	500	528
R_e	[MPa]	295	850
Počet zubov z	[-]	45	90
α	[°]	20	
b_{wH}	[mm]	60	
β	[°]	20	
p_b	[mm]	8,86	

Prevodový pomer na ozubenom prevode:

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{90}{45} = 2 \quad (6.5)$$

u – prevodový pomer na ozubenom prevode [-]

z_1 – počet zubov pastorka [-]

z_2 – počet zubov kola [-]

Normálový modul [7]:

$$m_n = f_F \cdot \sqrt[3]{\frac{K_F \cdot T_1}{\left(\frac{b_{wF}}{m_n}\right) \cdot z_1 \cdot \sigma_{FP}}} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,42 \cdot 350}{20 \cdot 45 \cdot 300}} = 2,21 \text{ mm} \Rightarrow m = 3 \quad (6.6)$$

m_n – normálny modul [mm]

f_F – pomocný súčiniteľ pre výpočet modulu ozubenia [-], pre kalené ozubené kolesá $f_F=18$

K_F – súčiniteľ prídavných zaťažení [-], $K_F = K_A \cdot K_{H\beta} = 1,35 \cdot 1,05=1,42$

K_A – súčiniteľ vonkajších dynamických síl [-], podľa [7] je zvolené $K_A=1,35$

$K_{H\beta}$ – súčiniteľ nerovnosti zaťaženia zubov po šírke [-], podľa [7] je zvolené $K_{H\beta}=1,05$

b_{wF}/m_n – súčiniteľ nerovnosti zaťaženia zubov po šírke [-], podľa [7] je zvolené $b_{wF}/m_n=20$

σ_F – ohybové napätie v nebezpečnom priereze päty zuba [MPa], $\sigma_F = 0,6 \cdot \sigma_{Flimbl} = 300$ MPa
 σ_{Flimbl} – medza únavy v ohybe materiálu pastorku [MPa], podľa [7] je zvolené
 $\sigma_{Flimbl}^0 = 500$ MPa

Ψ_{bd1} – pomer šírky kola k priemeru [-], $\Psi_{bd1} = b/d_1 = 60/135 = 0,44$

T_1 – krútiaci moment na pastorku [Nm], $T_1 = M_k/u = 350$ Nm

Osová vzdialenosť [7]:

$$A = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} = 3 \cdot \frac{45 + 90}{2} = 202,5 \text{ mm} \quad (6.7)$$

A- osová vzdialenosť [mm]

m- modul [-]

Rozmery kola [25]:

$$d_{r1} = z_1 \cdot m = 45 \cdot 3 = 135 \text{ mm} \quad (6.8)$$

$$d_{r2} = z_2 \cdot m = 90 \cdot 3 = 270 \text{ mm} \quad (6.9)$$

$$d_{a1} = d_{r1} + 2 \cdot m = 135 + 2 \cdot 3 = 141 \text{ mm} \quad (6.10)$$

$$d_{a2} = d_{r2} + 2 \cdot m = 270 + 2 \cdot 3 = 276 \text{ mm} \quad (6.11)$$

$$d_{b1} = d_{r1} \cdot \cos \alpha = 135 \cdot \cos 20 = 126,86 \text{ mm} \quad (6.12)$$

$$d_{b2} = d_{r2} \cdot \cos \alpha = 270 \cdot \cos 20 = 253,72 \text{ mm} \quad (6.13)$$

d_{r1} – priemer roztečnej kružnice pastorku [mm]

d_{r2} – priemer roztečnej kružnice kola [mm]

d_{a1} – priemer hlavovej kružnice pastorku [mm]

d_{a2} – priemer hlavovej kružnice kola [mm]

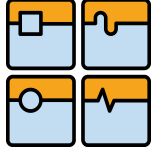
d_{b1} – priemer základnej kružnice pastorku [mm]

d_{b2} – priemer základnej kružnice kola [mm]

Zjednodušený kontrolný výpočet [7]:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{0,5 \cdot \left[\sqrt{(d_{a1}^2 - d_{b1}^2)} + \sqrt{(d_{a2}^2 - d_{b2}^2)} \right] - A \cdot \sin \alpha}{p_b} = 1,79 \quad (6.14)$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{0,5 \cdot \left[\sqrt{(141^2 - 126,86^2)} + \sqrt{(276^2 - 253,72^2)} \right] - 202,5 \cdot \sin 20}{8,86} = 1,79$$

Str. 44	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

$$F_t = \frac{2000 \cdot T_1}{d_1} = \frac{2000 \cdot 233,33}{135} = 3456,74 \text{ N} \quad (6.15)$$

F_t – obvodová sila pôsobiaca v čelnom reze na roztečnej kružnici [N]

Kontrola z hľadiska únavy v dotyku [7]:

$$\sigma_H = \sigma_{HO} \cdot \sqrt{K_H} = 234,11 \cdot \sqrt{1,70} = 305,24 \text{ MPa} \leq \sigma_{HP} \quad (6.16)$$

$$\sigma_{HO} = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b_{wH} \cdot d_{r1}} \cdot \frac{u+1}{u}} \quad (6.17)$$

$$\sigma_{HO} = 190 \cdot 2 \cdot 0,77 \cdot \sqrt{\frac{3456,74}{60 \cdot 135} \cdot \frac{2+1}{2}} = 234,11 \text{ MPa}$$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{HV} = 1,35 \cdot 1,05 \cdot 1,2 = 1,70 \quad (6.18)$$

$$\sigma_{HP1} = \frac{\sigma_{Hlim1} \cdot Z_R}{S_{Hmin}} = \frac{1210 \cdot 1,0}{1,3} = 930,78 \text{ MPa} \quad (6.19)$$

$$\sigma_{HP2} = \frac{\sigma_{Hlim2} \cdot Z_R}{S_{Hmin}} = \frac{1160 \cdot 1,0}{1,3} = 892,31 \text{ MPa} \quad (6.20)$$

σ_H – napätie v dotyku vo valivom bode [MPa]

σ_{Hlim1} – Medza únavy v dotyku materiálu pastorka [MPa], stanovená z σ_{Hlim1}^0

σ_{Hlim2} – Medza únavy v dotyku materiálu kola [MPa], stanovená z σ_{Hlim2}^0

σ_{HO} – napätie v dotyku pri ideálnom zaťažení presných zubov [MPa]

σ_{HP} – prípustné napätie v dotyku [MPa]

Z_E – súčiniteľ mechanických vlastností materiálu [-], zvolené podľa [7] $Z_E = 190$

Z_H – súčiniteľ tvaru spoluzaberajúcich zubov [-], zvolené podľa [7] $Z_H = 2$

Z_ε – súčiniteľ súčtovej dĺžky dotykových kriviek bokov zubov [-], zvolené podľa [7]

$$Z_\varepsilon = 0,77$$

b_{wH} – pracovná šírka ozubenia [mm]

K_H – súčiniteľ prídavných zaťažení [-]

K_A – súčiniteľ vonkajších dynamických síl [-]

$K_{H\beta}$ – súčiniteľ nerovnomernosti zaťaženia zubov po šírke [-]

$K_{H\alpha}, K_{HV}$ – súčiniteľ podielu zaťaženia jednotlivých zubov [-], $K_{H\alpha} \cdot K_{HV} = 1,2$

Z_R – súčiniteľ východzej drsnosti bokov zubov [-], pre brúsené boky zubov $Z_R = 1,0$

S_{Hmin} – najmenšia hodnota súčiniteľa bezpečnosti proti vzniku únavového poškodenia boku zubov [-], podľa [7] $S_{Hmin} = 1,3$

Kontrola na dotyk pri jednorazovom pôsobení najväčšieho zaťaženia [7]:

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_{HO} \cdot \sqrt{\frac{F_{t1} \cdot K_H}{F_t}} = 373,84 \text{ MPa} \leq \sigma_{HPmax} \quad (6.21)$$

$$\sigma_{HPmax} = 4 \cdot V_{HV} = 2600 \text{ MPa} \quad (6.22)$$

$$F_{t1} = F_t \cdot K_{AS} = 3456,74 \cdot 1,5 = 5185,11 \text{ N} \quad (6.23)$$

$$K_{AS} = 1,5 (> K_A) \quad (6.24)$$

σ_{Hmax} – najväčšie napätie v dotyku vzniknuté pôsobením sily F_{t1} [MPa]

σ_{HPmax} – prípustné napätie v dotyku pri najväčšom zaťažení [MPa]

K_{AS} – súčiniteľ vonkajších dynamických síl na výpočet s ohľadom na trvalú deformáciu, vznik trhlíny alebo krehkého lomu z jednofázového preťaženia [-]

F_{t1} – obvodová sila pôsobiaca v čelnom reze na rozstupovej kružnici, zodpovedajúca 1. stupňu zaťaženia [MPa]

Kontrola z hľadiska únavy v ohybu [7]:

$$\sigma_{F1} = \frac{F_t}{b_{wF} \cdot m_n} \cdot K_F \cdot Y_{FS} \cdot Y_\beta \cdot Y_\epsilon = 63,56 \text{ MPa} \leq \sigma_{FP1} \quad (6.25)$$

$$\sigma_{F2} = \frac{F_t}{b_{wF} \cdot m_n} \cdot K_F \cdot Y_{FS} \cdot Y_\beta \cdot Y_\epsilon = 58,14 \text{ MPa} \leq \sigma_{FP2} \quad (6.26)$$

$$\sigma_{FP1} = \frac{\sigma_{Flimb1}}{S_{Fmin}} = 357,14 \text{ MPa} \quad (6.27)$$

$$\sigma_{FP2} = \frac{\sigma_{Flimb2}}{S_{Fmin}} = 377,14 \text{ MPa} \quad (6.28)$$

σ_{F1} – ohybové napätie v nebezpečnom priereze päty zuba [MPa]

σ_{FP1} – prípustné napätie v ohybe [MPa]

K_A – súčiniteľ vonkajších dynamických síl [-]

$K_{F\beta} = K_{H\beta}$ – súčiniteľ nerovnomernosti zaťaženia zubov po šírke [-]

K_{Fa}, K_{Fv} – súčiniteľ podielu zaťaženia jednotlivých zubov [-]

$K_F = K_H$ – súčiniteľ prídavných zaťažení [-]

Y_β – súčiniteľ sklonu zubu [-], zvolené podľa [7] $Y_\beta=0,85$

Y_ϵ – súčiniteľ vplyvu záberu profilu [-], $Y_\epsilon = 1/\epsilon_\alpha = 0,60$

Y_{Fs1} , Y_{Fs2} – súčiniteľ tvaru zubu a koncentrácie napätia [-], $Y_{Fs1} = 4,1$, $Y_{Fs2} = 3,75$

S_{Fmin} – najmenšia hodnota súčiniteľa bezpečnosti proti vzniku únavového poškodenia boku zubov [-], zvolené podľa [7] $S_{Fmin} = 1,4$

Kontrola na ohyb pri jednorazovom pôsobení najväčšieho zaťaženia [7]:

$$\sigma_{Fmax1} = \sigma_{F1} \cdot \frac{F_{t1}}{F_t} = 95,34 \leq \sigma_{FPmax1} \quad (6.29)$$

$$\sigma_{FPmax1} = 0,8 \cdot \sigma_{Fst} = 0,8 \cdot 2,5 \cdot \sigma_{Flimb1} = 1000 \text{ MPa} \quad (6.30)$$

$$\sigma_{Fmax2} = \sigma_{F2} \cdot \frac{F_{t1} \cdot K_{AS}}{F_t} = 130,82 \text{ MPa} < \sigma_{FPmax2} \quad (6.31)$$

$$\sigma_{FPmax2} = 0,8 \cdot \sigma_{Fst} = 0,8 \cdot 2,5 \cdot \sigma_{Flimb2} = 1056 \text{ MPa} \quad (6.32)$$

σ_{Fst} – pevnosť v ohybe pri najväčšom zaťažení [MPa]

σ_{Fmax} – najväčšie miestne ohybové napätie v päte zuba, vzniknuté pôsobením sily F_{t1} [MPa]

σ_{FPmax} – prípustné napätie v ohybe pri najväčšom zaťažení [MPa]

Navrhnuté ozubené súkolie s priamymi zubmi vyhovuje aj v prípade výskytu vyššieho zaťaženia.

6.1.3.4 POŽADOVANÉ TECHNICKÉ PARAMETRE MOTORA

Pre zníženie nárokov na použitý servopohon je použitá planétová prevodovka MNT 140 od spoločnosti TG drives.



Obr.27 Planétová prevodovka MNT [26]

Tab.13 Technické parametre planétovej prevodovky MNT 140 [26]

Hmotnosť	[kg]	9
Prevod	[-]	10
Vstupné hodnoty		
Rozbehový moment	[Nm]	83
Menovitý moment	[Nm]	57
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	4000
Menovitý výkon	[kW]	23,9
Výstupné hodnoty		
Rozbehový moment	[Nm]	800
Menovitý moment	[Nm]	550
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	400

Požadované otáčky servomotora:

$$n_{m1} = \frac{n_z \cdot u \cdot i_{p1}}{\eta_1} = \frac{110 \cdot 2 \cdot 10}{0,96} = 2291,67 \text{ min}^{-1} \quad (6.33)$$

η_1 – účinnosť planétovej prevodovky [-]

n_{m1} – požadované otáčky motora [min⁻¹]

i_{p1} – prevodový pomer prevodovky [-]

Požadovaný moment servomotora:

$$M_{m1} = \frac{M_{kz}}{u \cdot i_{p1} \cdot \eta_1} = \frac{700}{2 \cdot 10 \cdot 0,96} = 36,46 \text{ Nm} \quad (6.34)$$

M_{m1} – požadovaný moment motora [Nm]

Požadovaný výkon servomotora:

$$P_{m1} = \frac{M_{m1} \cdot n_{m1}}{9550} = \frac{36,46 \cdot 2291,67}{9550} = 8,75 \text{ kW} \quad (6.35)$$

P_{m1} – požadovaný výkon motora [kW]

Vzhľadom na potrebný moment a otáčky je zvolený synchronný servomotor 560 VDC TGN6-4400. Pre potrebu zastaveného pohybu v priebehu vstreku taveniny priamočiarym pohybom je synchronný motor vybavený brzdou s brzdným momentom 36 Nm. Pre riadenie pohybu synchronného servomotora je použitý 24A digitálny servozosilovač AKD-P02407-NBCC-E074 vhodný pre riadenie tohto typu synchronného servomotora. [27]



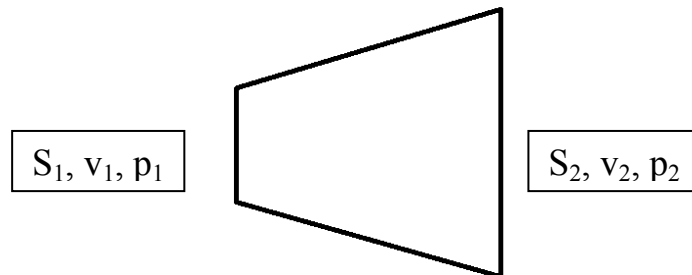
Obr.28 Synchronný servomotor typu TGN [27]

Tab.14 Technické parametre synchronného servomotora 560 VDC TGN6-4400 [27]

Menovitý moment	[Nm]	36,5
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	2000
Menovitý výkon	[kW]	7,64
Hmotnosť s brzdou	[kg]	30,4
Maximálny moment	[Nm]	132
Maximálne otáčky	[min ⁻¹]	6000
Brzdny moment brzdy	[Nm]	36

6.1.4 NÁVRH POSUVNÉHO POHYBU ZÁVITOVKY

6.1.4.1 VÝPOČET SILY PÔSOBIACEJ V ZÁVITOVKOVOM VALCI



Obr.29 Zjednodušené zobrazenie pôsobenia veličín

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 28,27 \text{ mm}^2 \quad (6.36)$$

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 35^2}{4} = 962,11 \text{ mm}^2 \quad (6.37)$$

$$v_2 = \frac{S_1 \cdot v_1}{S_2} = \frac{28,27 \cdot 150}{962,11} = 4,41 \text{ mm/s} \quad (6.38)$$

$$F_1 = p_1 \cdot S_1 = 80 \cdot 10^6 \cdot 28,27 \cdot 10^{-6} = 2261,60 \text{ N} \quad (6.39)$$

$$p_2 = p_1 + \frac{v_1^2 \cdot \rho}{2} - \frac{v_2^2 \cdot \rho}{24} \quad (6.40)$$

$$p_2 = 80 + \frac{150^2 \cdot 0,93 \cdot 10^{-3}}{2} - \frac{4,41^2 \cdot 0,93 \cdot 10^{-3}}{2} = 90,45 \text{ MPa}$$

$$F_2 = p_2 \cdot S_2 = 90,45 \cdot 10^6 \cdot 962,11 \cdot 10^{-6} = 87022,85 \text{ N} \quad (6.41)$$

S_1 – plocha otvoru trysky [mm^2]

S_2 – plocha na závitovke [mm^2]

v_1 – rýchlosť toku v otvore trysky [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

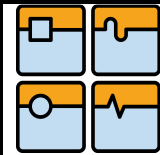
v_2 – rýchlosť pohybu závitovky [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

F_1 – sila pôsobiaca v otvore trysky [N]

F_2 – sila pôsobiaca na závitovku [N]

p_1 – tlak pôsobiaci v otvore trysky [MPa]

p_2 – tlak pôsobiaci na závitovku [MPa]



6.1.4.2 VÝPOČET NÁHONU GULÔČKOVOU SKRUTKOU

Vzhľadom na vyššie pôsobiace zaťaženie je zvolená vysoko únosná guľôčková skrutka K 63x20 s presnosťou IT1 a brúseným závitom od spoločnosti KS Kuřim, ktorá je vhodná na pomalobežné aplikácie s vysokým zaťažením. K danej guľôčkovej skrutke je zvolená vysoko únosná matica typu AP HL K 63x20 vhodná pre tento typ guľôčkových skrutiek. [28]

Predopnutie guľôčkovej skrutky [29]:

$$F_{P1} = 0,35 \cdot F_{A1} = 0,35 \cdot 87022,85 = 30458,00 \text{ N} \quad (6.42)$$

F_{P1} – sila predopnutia guľôčkovej skrutky [N]

F_{A1} – axiálna sila [N], $F_{A1} = F_2$

Maximálne axiálne zaťaženie vzhľadom ku vzpernej tuhosti hriadeľa GS [29]:

$$F_{A(\max)1} = 0,33 \cdot O_{kr1} = 0,33 \cdot 274055,06 = 90438,17 \text{ N} \quad (6.43)$$

$$O_{kr1} = \frac{\pi^3 \cdot 500 \cdot d_{o1}^4}{f_{v1} \cdot L_{S1}^2} = \frac{\pi^3 \cdot 500 \cdot 63^4}{4 \cdot 472^2} = 274055,06 \text{ N} \quad (6.44)$$

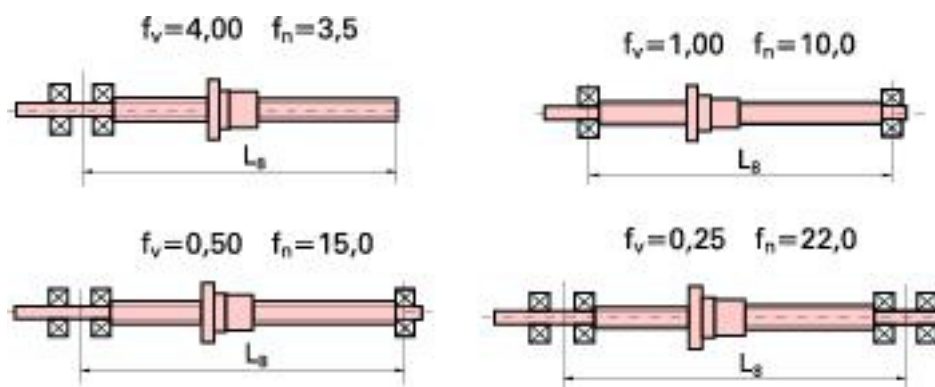
$F_{A(\max)1}$ – maximálne axiálne zaťaženie vzhľadom k vzpernej tuhosti [N]

O_{kr1} – kritická zaťažujúca axiálna sila odvodená od materiálu guľôčkovej skrutky [N]

d_{o1} – menovitý priemer guľôčkovej skrutky [mm]

L_{S1} – vzdialenosť uloženia hriadeľa [mm]

f_{v1} – súčiniteľ podľa typu uloženia hriadeľa [-]



Obr.30 Uloženie guľôčkovej skrutky a matice [29]

Uloženie guľôčkovej skrutky s maticou je zvolené podľa prípadu 1, kde $f_{v1}=4,0$ a $f_{n1}=3,5$.

Maximálne otáčky guľôčkovej skrutky [29]:

$$n_{\max 1} = 0,8 \cdot n_{kr1} = 0,8 \cdot 9897,48 = 7917,98 \text{ min}^{-1} \quad (6.45)$$

$$n_{kr1} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot f_{n1} \cdot d_{o1}}{L_{S1}^2} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot 3,5 \cdot 63}{472^2} = 9897,48 \text{ min}^{-1} \quad (6.46)$$

$n_{\max 1}$ – maximálne otáčky guľôčkovej skrutky [min^{-1}]

n_{kr1} – kritické otáčky guľôčkovej skrutky [min^{-1}]

Maximálna prevádzková rýchlosť guľôčkovej matice [30]:

$$v_{\max 1} = \frac{n_{\max 1} \cdot s_1}{60000} = \frac{7917,98 \cdot 20}{60000} = 2,64 \text{ m s}^{-1} \quad (6.47)$$

$v_{\max 1}$ – maximálna prevádzková rýchlosť guľôčkovej matice [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

s_1 – stúpanie závitú guľôčkovej skrutky [mm]

Požadovaný moment guľôčkovej skrutky [30]:

$$M_{\max 1} = \frac{F_{A1} \cdot s_1}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{c1}} = \frac{87022,85 \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 0,89} = 311,24 \text{ Nm} \quad (6.48)$$

$M_{\max 1}$ – požadovaný moment guľôčkovej skrutky [Nm]

η_{c1} – mechanická účinnosť pre prevod rotačného pohybu na lineárny [-]

Výpočet mechanickej účinnosti pre prevod rotačného pohybu na lineárny [30]:

$$\eta_{c1} = \eta_V \cdot \eta_S \cdot \eta_L^j = 0,89 \quad (6.49)$$

η_V – účinnosť vedenia: $\eta_V = 0,98$, pre valivé vedenie

η_S – účinnosť GS: $\eta_S = 0,92$

η_L – účinnosť jedného ložiska guľôčkového: $\eta_L = 0,99$

Výkon guľôčkovej skrutky [30]:

$$P_{\max 1} = \frac{M_{\max 1} \cdot n_{\max 1}}{9550} = \frac{311,24 \cdot 7917,98}{9550} = 258,05 \text{ kW} \quad (6.50)$$

$P_{\max 1}$ – maximálny výkon guľôčkovej skrutky [kW]

Str. 52	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

Požadované otáčky guľôčkovej skrutky [30]:

$$n_{pož1} = \frac{v_{pož1} \cdot 60000}{s} = \frac{0,150 \cdot 60000}{20} = 450 \text{ min}^{-1} \quad (6.51)$$

$n_{pož1}$ – požadované otáčky guľôčkovej skrutky [min^{-1}]

$v_{pož1}$ – vstrekovacia rýchlosť zariadenia pre vstrekovanie plastov [m/s], $v_{pož1} = v_1$

Požadovaný výkon guľôčkovej skrutky [30]:

$$P_{pož1} = \frac{M_{max1} \cdot n_{pož1}}{9550} = \frac{311,24 \cdot 450}{9550} = 14,67 \text{ kW} \quad (6.52)$$

$P_{pož1}$ – požadovaný výkon guľôčkovej skrutky [kW]

Trvanlivosť guľôčkovej skrutky v otáčkach [29]:

$$L_1 = \left(\frac{C_{a1} \cdot f_{m1}}{F_{A1}} \right)^p \cdot 10^6 = \left(\frac{300000 \cdot 1,25}{87022,85} \right)^3 \cdot 10^6 = 80,02 \cdot 10^6 \text{ ot.} \quad (6.53)$$

L_1 – trvanlivosť guľôčkovej skrutky [ot.]

f_{m1} – koeficient stavu a akosti materiálu [-], podľa [29] $f_m=1,25$

C_{a1} – dynamická únosnosť guľôčkovej matice [N], z [28] $C_{a1}=300000\text{N}$

p – exponent valivého elementu [-]

Trvanlivosť guľôčkovej skrutky v hodinách [29]:

$$L_{h1} = \frac{L_1}{n_{pož1} \cdot 60} = \frac{80,02 \cdot 10^6}{450 \cdot 60} = 2963,70 \text{ hod} \quad (6.54)$$

L_{h1} – trvanlivosť guľôčkovej skrutky v hodinách [hod]

Pre uloženie vysoko únosnej guľôčkovej skrutky je zvolené jedno špeciálne radiálne axiálne ložisko Zarn 90x180-TV od spoločnosti INA.

Trvanlivosť radiálne axiálneho ložiska Zarn [21]:

$$L_{l1} = \left(\frac{C_1}{P_{a1}} \right)^p \cdot 10^6 = \left(\frac{325000}{87022,85} \right)^3 \cdot 10^6 = 52,08 \cdot 10^6 \text{ ot} \quad (6.55)$$

L_{l1} – trvanlivosť radiálne axiálneho ložiska Zarn [ot.]

C_1 – dynamická únosnosť axiálneho obojsmerného ložiska [N], zvolené z [31] $C_1=325000$
 P_{a1} – axiálne ekvivalentné dynamické zaťaženie [N], v našom prípade $P_{a1}=F_2=87022,85$ N

$$L_{lh1} = \frac{L_{l1}}{n_{pož1} \cdot 60} = \frac{52,08 \cdot 10^6}{450 \cdot 60} = 1928,89 \text{ hod} \quad (6.56)$$

L_{lh1} – trvanlivosť radiálne axiálneho ložiska Zarn v hodinách [hod]

Zaťaženie 87022,85 N bude pôsobiť iba vo vstrekovacej časti pracovného cyklu, kedy dochádza k vstreku taveniny do dutiny formy. Z tohto dôvodu bude skutočná životnosť guľôčkovej matice a tiež ložiska slúžiaceho pre uloženie guľôčkovej skrutky vyššia.

Výpočet pera pod spojkou:

$$l_2 \geq \frac{2 \cdot M_{max1}}{d_2 \cdot t_2 \cdot p_d} = \frac{2 \cdot 311240}{35 \cdot 2,5 \cdot 120} = 59,28 \text{ mm} \quad (6.57)$$

d_2 – priemer hriadeľa [mm]

l_2 – dĺžka pera [mm]

t_2 – hĺbka pera v náboji [mm], je zvolená podľa [7] $t_2=2,5$ mm

p_d – dovoľený tlak [MPa], je zvolený podľa [7] $p_d=120$ MPa

Pre spojenie spojky s hriadeľovým koncom vysoko únosnej guľôčkovej skrutky je zvolené pero 10x8x63 ČSN 02 2507.

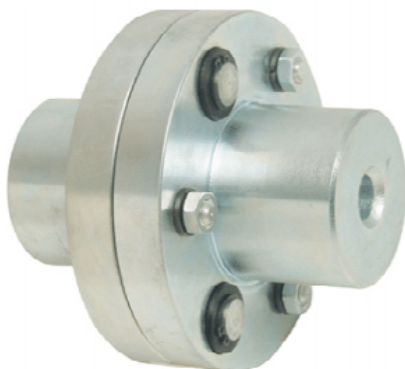
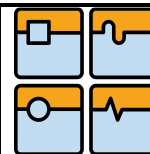
Výpočtový krútiaci moment [32]:

$$M_v = M_{max1} \cdot k = 311,24 \cdot 2 = 622,48 \text{ Nm} \quad (6.58)$$

M_v – výpočtový krútiaci moment [Nm]

k – prevádzkový súčiniteľ [-], podľa [32] je zvolený vzhľadom na použitý motor a spôsob zaťaženia $k=2$

Pre spojenie guľôčkovej skrutky so servomotorom a prevodovkou sa zvolila kotúčová čapová spojka BKN typ 160 vzhľadom na požadovaný výpočtový krútiaci moment 622,48 Nm. Dôvodom výberu tejto spojky je jej schopnosť tlmiť rázy a kmity. Je vhodná na prenos menších a stredných krútiacich momentov.



Obr.31 Kotúčová čapová spojka BKN [33]

6.1.4.3 POŽADOVANÉ TECHNICKÉ PARAMETRE MOTORA

Pre zníženie nárokov na použitý servopohon je použitá planétová prevodovka SG 155 od spoločnosti TG drives.



Obr.32 Planétová prevodovka typu SG [34]

Tab.15 Technické parametre planétovej prevodovky SG 155 [34]

Hmotnosť	[kg]	16,5
Prevod	[-]	5
Vstupné hodnoty		
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	2500
Maximálne otáčky	[min ⁻¹]	5500
Výstupné hodnoty		
Menovitý moment	[Nm]	445
Maximálny moment	[Nm]	712

Požadované otáčky servomotora:

$$n_{m2} = \frac{n_{pož1} \cdot i_{p2}}{\eta_2} = \frac{450 \cdot 5}{0,97} = 2319,59 \text{ min}^{-1} \quad (6.59)$$

n_{m2} – požadované otáčky motora [min^{-1}]

i_{p2} – prevodový pomer prevodky [-]

η_2 – účinnosť planétovej prevodovky [-]

Požadovaný moment servomotora:

$$M_{m2} = \frac{M_{max1}}{i_{p2} \cdot \eta_2} = \frac{311,24}{5 \cdot 0,97} = 64,17 \text{ Nm} \quad (6.60)$$

M_{m2} – požadovaný moment motora [Nm]

Požadovaný výkon servomotora:

$$P_{m2} = \frac{M_{m2} \cdot n_{m2}}{9550} = \frac{64,17 \cdot 2319,59}{9550} = 15,59 \text{ kW} \quad (6.61)$$

P_{m2} – požadovaný výkon motora [kW]

Vzhľadom na potrebný moment a otáčky je zvolený synchronný servomotor 560 VDC TGN7-6000. Synchronný servomotor bude v časti pracovného cyklu vstrekovania roztaveného granulátu pracovať nad menovitý výkon a otáčky. Maximálne hodnoty, ktorými sa môže synchronný motor zaťažovať, sú podstatne vyššie ako požadované. Táto časť pracovného cyklu bude trvať obmedzený čas. Z tohto dôvodu je synchronný servomotor zvolený správne. Pre potreby odmeriavania polohy je synchronný servomotor dodávaný so zastavaným rotačným snímačom Resolver, ktorý je vhodný pre presné odmeriavanie polohy. Pre riadenie pohybu synchronného servomotora je použitý 24A digitálny servozosilovač AKD-P02407-NNBC-E074, vhodný pre riadenie tohto typu synchronného servomotora s daným rotačným snímačom. [35]

Tab.16 Technické parametre synchrónneho servomotora 560 VDC TGN7-6000 [35]

Menovitý moment	[Nm]	44
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	2000
Menovitý výkon	[W]	9215
Hmotnosť	[kg]	33,5
Maximálny moment	[Nm]	180
Maximálne otáčky	[min ⁻¹]	6000

6.1.5 NÁVRH SPOJENIA ZÁVITOVKY A POSUVNEJ ČASTI

Pre spojenie hriadeľa závitovky s posuvnou časťou vstrekovacej jednotky je zvolené radiálne ložisko 6313 ČSN 02 4630 a na prenos priamočiareho pohybu axiálne obojsmerné ložisko 52317 od výrobcu ZVL Slovakia.

Výpočet zaťaženie axiálneho obojsmerného ložiska:

Minimálne axiálne zaťaženie [36]:

$$F_{amin} = M \cdot \left(\frac{n_z}{1000} \right)^2 = 1,20 \cdot \left(\frac{110}{1000} \right)^2 = 0,01452N \quad (6.62)$$

F_{amin} – minimálne axiálne zaťaženie [N]

M – koeficient minimálneho zaťaženia [-], podľa [36] $M=1,2$

Požadované minimálne zaťaženie axiálneho obojsmerného ložiska neklesne počas procesu pod vypočítanú hodnotu.

Životnosť axiálneho ložiska [21]:

$$L_{l2} = \left(\frac{C_2}{P_{a2}} \right)^p \cdot 10^6 = \left(\frac{224000}{87022,85} \right)^3 \cdot 10^6 = 17,05 \cdot 10^6 \text{ ot} \quad (6.63)$$

L_{l2} – životnosť axiálneho obojsmerného ložiska [ot.]

C_2 – dynamická únosnosť axiálneho obojsmerného ložiska [N], podľa [36] $C_2=224000$ N

P_{a2} – axiálne ekvivalentné dynamické zaťaženie [N], v našom prípade $P_{a2}= F_2=87022,85$ N

p – exponent valivého elementu [-], pre guľôčkové ložiská podľa [21] $p=3$

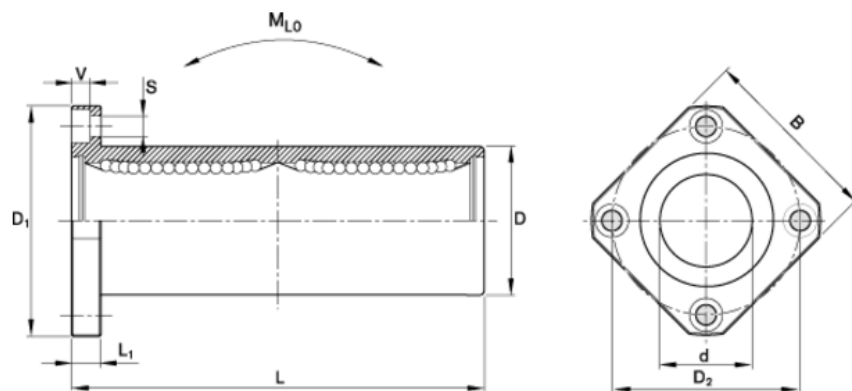
$$L_{h2} = \frac{L_{l2}}{n_z \cdot 60} = \frac{17,05 \cdot 10^6}{110 \cdot 60} = 2583,33 \text{ hod} \quad (6.64)$$

L_{h2} – životnosť axiálneho obojsmerného ložiska v hodinách [hod]

Životnosť axiálneho obojsmerného ložiska je vypočítaná vzhľadom k maximálnym otáčkam a maximálnej sile zaťaženia, ktorá sa vyskytuje len vo vstrekovacej časti pracovného cyklu. Z tohto dôvodu bude skutočná životnosť axiálneho obojsmerného ložiska vyššia a dostatočná pre požadovanú činnosť.

6.1.6 VEDENIA POSUVNEJ ČASTI VSTREKOVACEJ JEDNOTKY

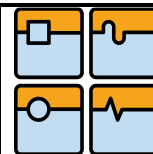
Pre zabezpečenie vedenia lineárneho pohybu posuvnej časti vstrekovacej jednotky sú zvolené 4 štandardné lineárne puzdra od firmy Bosch Rexroth R0741 540 00 s vnútorným priemerom 40 mm. Puzdra sú schopné pracovať v požadovanej vstrekovacej rýchlosti pri danom zaťažení.



Obr.33 Štandardné lineárne puzdro [37]

Tab.17 Vlastnosti lineárneho puzdra R0741 540 00 [37]

Vnútorný priemer	[mm]	40
Vonkajší priemer	[mm]	62
Celková dĺžka	[mm]	151
Dynamická únosnosť	[N]	3000
Statická únosnosť	[N]	8400



6.1.7 NÁVRH POSUVU VSTREKOVACEJ JEDNOTKY

Pre zabezpečenie lineárneho posuvu vstrekovacej jednotky smerom k forme sú zvolené 4 lineárne vozíky s valivými elementmi FNS R1651 812 22 s veľkosťou 20 obr.34 a lineárne vedenie R1605 804 31 s dĺžkou 1436 mm.



Obr.34 Lineárny vozík s valivými elementmi [37]

Tab.18 Vlastnosti lineárneho vozíka FNS R1651 812 22 [37]

Celková šírka	[mm]	63
Celková dĺžka	[mm]	75
Dynamická únosnosť	[N]	22 200
Statická únosnosť	[N]	27 700

Ako pohon pre lineárny pohyb vstrekovacej jednotky sú zvolené 2 priamočiare pneumatory DSNU-50-200-P-A od spoločnosti Festo obr.35. Priamočiary pneumatik pri pracovnom tlaku vzduchu 6 bar vyvinie prítláčnú silu 1178,1 N. Zvolené priamočiare pneumatory spĺňajú požadovanú prítláčnú silu pri pracovnom tlaku 6 bar. V prípade požadovanej vyššej prítláčnej sily je možné priamočiarym pneumatikom vyvinúť silu 1963,5 N pri pracovnom tlaku 10 bar.



Obr.35 Pneumatické motora [38]

Tab.19 Vlastnosti pneumatické motora DSNU-50-200-P-A [38]

Zdvih	[mm]	200
Priemer piesta	[mm]	50
Závit na piestnici	[-]	M16x1,5
Pracovný tlak	[bar]	1-10
Teoretická sila pri 6 bar, spätný tok	[N]	989,6
Teoretická sila pri 6 bar, tok vpred	[N]	1178,1
Hmotnosť	[kg]	1,887

Výpočet maximálnej sily na pieste:

$$F_{pmax} = p_{pmax} \cdot S_p = 1 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 1963,50 \text{ N} \quad (6.65)$$

F_{pmax} – maximálna sila na piestnici [N]

p_{pmax} – maximálny tlak na piestnici [Pa]

S_p – plocha na pieste [m²]

6.2 NÁVRH VYHADZOVACIEHO ZARIADENIA

6.2.1 NÁVRH NÁHONU VYHADZOVACIEHO ZARIADENIA

Pre zmenu rotačného pohybu motora na priamočiary pohyb vyhadzovacej časti je zvolená štandardná guľôčková skrutka K 63x10 s presnosťou IT1 a brúseným závitom od spoločnosti KS Kuřim, ktorá je vhodná na presné polohovacie skrutky. K danej guľôčkovej skrutke je zvolená matica typu APR 63x10 - predopnutá matica s prírubou vhodná pre tento typ guľôčkových skrutiek. [39]

Výpočet guľôčkovej skrutky prebiehal obdobne ako v kapitole 6.1.4.2 Výpočet náhonu guľôčkovou skrutkou. Vo výpočte účinnosti v porovnaní s predchádzajúcim výpočtom bolo potrebné navyše zahrnúť účinnosť ozubeného remeňa. Uloženie guľôčkovej skrutky je zvolené na jednom konci s radiálne axiálnym uložením.

Tab.20 Vypočítané parametre prevodu guľôčkovou skrutkou

Sila predopnutia guľôčkovej skrutky	F_{p2}	[N]	7000
Maximálne axiálne zaťaženie	$F_{A(max)2}$	[N]	174282,20
Kritická zaťažujúca axiálna sila	O_{kr2}	[N]	528158,16
Kritické otáčky guľôčkovej skrutky	n_{kr2}	[ot/min]	19074,39
Maximálne otáčky guľôčkovej skrutky	n_{max2}	[ot/min]	15259,52
Maximálna prevádzková rýchlosť	v_{max2}	[m/s]	2,54
Maximálny moment guľôčkovej skrutky	M_{max2}	[Nm]	36,58
Maximálny výkon guľôčkovej skrutky	P_{max2}	[kW]	58,45
Požadované otáčky guľôčkovej skrutky	$n_{pož2}$	[ot/min]	300
Požadovaná rýchlosť guľôčkovej skrutky	$v_{pož2}$	[m/s]	0,05
Požadovaný výkon guľôčkovej skrutky	$P_{pož2}$	[kW]	1,15

Trvanlivosť guľôčkovej skrutky v otáčkach [29]:

$$L_2 = \left(\frac{C_{a2} \cdot f_{m2}}{F_{A2}} \right)^p \cdot 10^6 = \left(\frac{62200 \cdot 1,25}{20000} \right)^3 \cdot 10^6 = 58,75 \cdot 10^6 \text{ ot.} \quad (6.66)$$

L_2 – trvanlivosť guľôčkovej skrutky [ot.]

f_{m2} – koeficient stavu a akosti materiálu [-], podľa [29] $f_m=1,25$

C_{a2} – dynamická únosnosť guľôčkovej matice [N], podľa [39] $C_{a2}=62200$ N

Trvanlivosť guľôčkovej skrutky v hodinách [29]:

$$L_{h2} = \frac{L_2}{n_{max2} \cdot 60} = \frac{58,75 \cdot 10^6}{300 \cdot 60} = 3263,91 \text{ hod} \quad (6.67)$$

L_{h2} – trvanlivosť guľôčkovej skrutky v hodinách [hod]

Pre uloženie guľôčkovej skrutky je zvolené dvojradové ložisko s kosouhlým stykom ČSN 02 4665 – 3310 od spoločnosti ZVL Slovakia.

Trvanlivosť dvojradového ložiska s kosouhlým stykom [40]:

$$L_{l3} = \left(\frac{C_3}{P_3} \right)^p \cdot 10^6 = \left(\frac{85440}{28248,24} \right)^3 \cdot 10^6 = 27,67 \cdot 10^6 \text{ ot.} \quad (6.68)$$

L_{l3} – životnosť dvojradového ložiska s kosouhlým stykom [ot.]

C_3 – dynamická únosnosť dvojradového ložiska s kosouhlým stykom [N], podľa [40]

$C_3 = 85440 \text{ N}$

$$P_3 = 0,67 \cdot F_{r3} + 1,41 \cdot F_{A2} = 0,67 \cdot 72,01 + 1,41 \cdot 20000 = 28248,25 \text{ N} \quad (6.69)$$

P_3 – dynamické ekvivalentné zaťaženie [N]

F_{r3} – radiálne zaťaženie [N]

$$L_{lh3} = \frac{L_{l3}}{n_{max2} \cdot 60} = \frac{27,67 \cdot 10^6}{300 \cdot 60} = 1537,22 \text{ hod} \quad (6.70)$$

L_{lh3} – životnosť dvojradového ložiska s kosouhlým stykom v hodinách [hod]

Vzhľadom na krátky pracovný cyklus, pri ktorom bude pracovať vyhadzovacie zariadenie, je vypočítaná hodnota trvanlivosti štandardnej guľôčkovej skrutky a ložiska použitého pre uloženie tejto guľôčkovej skrutky vhodná.

Výpočet pera pod remenicou:

$$l_3 \geq \frac{2 \cdot M_{max2}}{d_3 \cdot t_3 \cdot p_d} = \frac{2 \cdot 36580}{45 \cdot 2,5 \cdot 120} = 5,41 \text{ mm} \quad (6.71)$$

d_3 – priemer hriadeľa [mm]

l_3 – dĺžka pera [mm]

t_3 – hĺbka pera v náboji [mm], je zvolená podľa [7] $t_3=2,5$ mm

p_d – dovoľený tlak [MPa], je zvolený podľa [7] $p_d=120$ MPa

Pre spojenie hriadeľovej časti štandardnej guľôčkovej skrutky s remenicou je zvolené pero 10x8x63 ČSN 02 2507.

6.2.2 POŽADOVANÉ TECHNICKÉ PARAMETRE MOTORA

Pre zníženie nárokov na použitý pohon je použitá planétová prevodovka SG 080 od spoločnosti TG drives.

Tab.21 Technické parametre planétovej prevodovky SG 080 [41]

Hmotnosť	[kg]	2,1
Prevod	[-]	10
Vstupné hodnoty		
Menovité otáčky	$[\text{min}^{-1}]$	4000
Maximálne otáčky	$[\text{min}^{-1}]$	7000
Výstupné hodnoty		
Menovitý moment	[Nm]	38
Maximálny moment	[Nm]	61

Potrebné otáčky servomotora:

$$n_{m3} = \frac{n_{pož2} \cdot i_{p3}}{\eta_3} = \frac{300 \cdot 10}{0,97} = 3092,78 \text{ min}^{-1} \quad (6.72)$$

n_{m3} – požadované otáčky motora $[\text{min}^{-1}]$

i_{p3} – prevodový pomer planétovej prevodky [-]

Potrebný moment servomotora:

$$M_{m3} = \frac{M_{max2}}{i_{p3} \cdot \eta_3} = \frac{36,58}{10 \cdot 0,97} = 3,77 \text{ Nm} \quad (6.73)$$

M_{m3} – požadovaný moment motora [Nm]

Požadovaný výkon servomotora:

$$P_{m3} = \frac{M_{m3} \cdot n_{m3}}{9550} = \frac{3,77 \cdot 3092,78}{9550} = 1,22 \text{ kW} \quad (6.74)$$

P_{m3} – požadovaný výkon motora [kW]

Vzhľadom na potrebný moment a otáčky je zvolený synchronný servomotor 560 VDC TGN3-0480 od spoločnosti TG drives. Synchronný motor je dodávaný so zastavaným rotačným snímačom Resolver, ktorý je vhodný pre presné polohovanie. Pre riadenie pohybu synchronného servomotora je použitý 3A digitálny servozosilovač AKD-P00307-NBCC-E074 vhodný pre riadenie tohto typu synchronného servomotora. [42]

Tab.22 Technické parametre synchronného servomotora 560 VDC TGN3-0480 [42]

Menovitý moment	[Nm]	3,7
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	3000
Menovitý výkon	[W]	1162
Hmotnosť	[kg]	4,3
Maximálny moment	[Nm]	14,4
Maximálne otáčky	[min ⁻¹]	12000

6.2.3 NÁVRH OZUBENÉHO REMEŇA

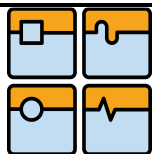
Návrh ozubeného remeňa a remeníc je navrhnutý pomocou programu MITCalc 3D ver. 1.72 for Autodesk Inventor.

Tab.23 Technické parametre navrhnutého remeňového prevodu

Požadované vlastnosti		
Prenášaný výkon	[kW]	1,15
Otáčky remenice	[ot/min.]	300
Prevodový pomer	[-]	1
Krútiaci moment	[Nm]	36,58
Remenica 8M (PowerGrip GT2)		
Počet zubov	[-]	30
Vonkajší priemer	[mm]	76,39
Šírka remenice	[mm]	26
Remeň 8M (PowerGrip GT2)		
Počet zubov	[-]	115
Dĺžka remeňa	[mm]	920
Šírka remeňa	[mm]	20

6.2.4 NÁVRH POSUVU POHYBLIVEJ ČASTI

Pre zabezpečenie lineárneho posuvu pohyblivej časti vyhadzovacieho zariadenia vzhľadom na posuv sú zvolené 2 lineárne vozíky s valivými elementmi FNS R1651 812 22 s veľkosťou 20 obr.34 a lineárne vedenie R1605 804 31 s dĺžkou 596 mm.



6.3 NÁVRH UZATVÁRACEJ JEDNOTKY

Pre zabezpečenie vedenia pohyblivej časti uzatváracej jednotky sú zvolené tyče o priemeru 100 mm s dĺžkou 2110 mm. Pre uloženie vodiacich tyčí v nepohyblivých doskách sú zvolené samostrediacie puzdra typ SIT-LOCK 5A od firmy Mateza obr.37. Pohyb pohyblivej dosky po vodiacich tyčiach je zabezpečený pomocou klzných puzdier ISO 4379 100x120x80 s prírubou.

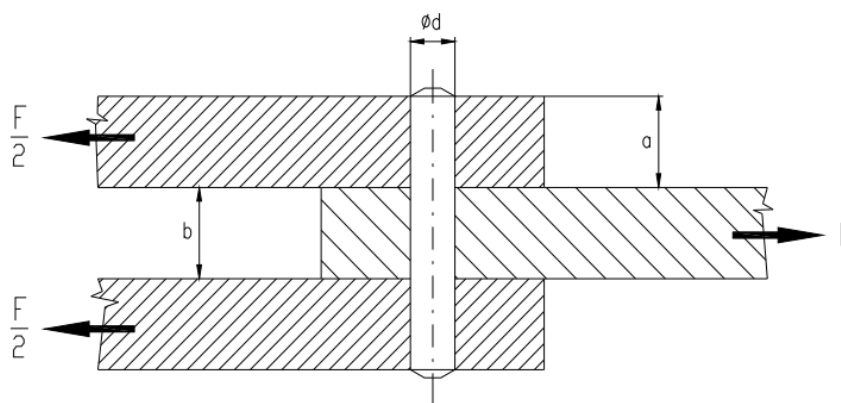


Obr.37 Samostrediacie puzdro SIT-LOCK 5A [43]

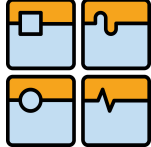
Tab.24 Vlastnosti samostrediaceho puzdra SIT-LOCK 5A [43]

Celková dĺžka	[mm]	65
Axiálna sila	[kN]	270
Tlak na hriadeli	[MPa]	160
Krútiaci moment	[Nm]	13300

6.3.1 NÁVRH PÁKOVÉHO MECHANIZMU



Obr.38 Zaťaženie čapového spoja [44]

Str. 66	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

Pre spojenie pákového mechanizmu sú zvolené čapy s priemerom 30 mm z materiálu 42CrMo4.

Kontrola čapu na strih [44]:

$$\tau_s \geq \frac{2 \cdot F_{\xi}}{\pi \cdot d_{\xi}^2} = \frac{2 \cdot 125000}{\pi \cdot 30^2} = 88,42 \text{ MPa} \leq \tau_{sDOV} \quad (6.75)$$

$$\tau_{sDOV} = 0,6 \cdot R_e = 0,6 \cdot 750 = 450 \text{ MPa} \quad (6.76)$$

d_{ξ} – priemer čapu [mm]

F_{ξ} – sila pôsobiaca na čap [N]

τ_s – napätie v strihu [MPa]

τ_{sDOV} – dovolené napätie v strihu [MPa]

R_e – medz klzu [MPa]

Kontrola čapu na odtlačenie [44]:

$$p_{\xi 1} \geq \frac{F_{\xi}}{d_{\xi} \cdot a} = \frac{125000}{30 \cdot 25} = 166,67 \text{ MPa} \leq p_{DOV} \quad (6.77)$$

$$p_{\xi 2} \geq \frac{F_{\xi}}{d_{\xi} \cdot b} = \frac{125000}{30 \cdot 30} = 138,88 \text{ MPa} \leq p_{DOV} \quad (6.78)$$

$p_{\xi 1,2}$ – tlak pôsobiaci na čap [MPa]

p_{DOV} – dovolený tlak [MPa], $p_{DOV} = 340-595 \text{ MPa}$

Mazanie čapov je zabezpečené pomocou mazacieho otvoru s mazacou hlavou. Navrhnutý čapový spoj pákového mechanizmu vyhovuje aj pri zvýšených nárokoch vzhľadom na mazací otvor.

6.3.2 NÁVRH NÁHONU PÁKOVÉHO MECHANIZMU

Pre transformáciu rotačného pohybu motora na priamočiary pohyb, ktorým je hnaný pákový mechanizmus, je zvolená vysoko únosná guľôčková skrutka K 125x20 s presnosťou IT1 a brúseným závitom od spoločnosti KS Kuřim, ktorá je vhodná na vysoké zaťaženia. K danej guľôčkovej skrutke je zvolená matica typu AP HL K125x20 s prírubou vhodná pre tento typ guľôčkových skrutiek. [28]

Výpočet guľôčkovej skrutky prebiehal obdobne ako v kapitole 6.1.4.2 Výpočet náhonu guľôčkovou skrutkou. Uloženie guľôčkovej skrutky je zvolené axiálne radiálne na jej jednom konci.

Tab.25 Vypočítané parametre prevodu guľôčkovou skrutkou

Sila predopnutia guľôčkovej skrutky	F_{p3}	[N]	175000
Maximálne axiálne zaťaženie	$F_{A(max)3}$	[N]	701878,53
Kritická zaťažujúca axiálna sila	O_{kr3}	[N]	2126904,62
Kritické otáčky guľôčkovej skrutky	n_{kr3}	[ot/min]	9833,91
Maximálne otáčky guľôčkovej skrutky	n_{max3}	[ot/min]	7867,13
Maximálna prevádzková rýchlosť	v_{max3}	[m/s]	2,62
Maximálny moment guľôčkovej skrutky	M_{max3}	[Nm]	1788,26
Maximálny výkon guľôčkovej skrutky	P_{max3}	[kW]	1473,14
Požadované otáčky guľôčkovej skrutky	n_{poz3}	[ot/min]	50
Požadovaná rýchlosť guľôčkovej skrutky	v_{poz3}	[m/s]	0,017
Požadovaný výkon guľôčkovej skrutky	P_{poz3}	[kW]	9,36

Trvanlivosť guľôčkovej skrutky v otáčkach [29]:

$$L_3 = \left(\frac{C_{a3} \cdot f_{m3}}{F_{A3}} \right)^p \cdot 10^6 = \left(\frac{600000 \cdot 1,25}{500000} \right)^3 \cdot 10^6 = 3,40 \cdot 10^6 \text{ ot.} \quad (6.79)$$

L_3 – trvanlivosť guľôčkovej skrutky [ot.]

f_{m3} – koeficient stavu a akosti materiálu [-], podľa [29] $f_m=1,25$

C_{a3} – dynamická únosnosť guľôčkovej matice [N], podľa [28] $C_{a3}=600000$ N

Trvanlivosť guľôčkovej skrutky v hodinách [29]:

$$L_{h3} = \frac{L_3}{n_{max3} \cdot 60} = \frac{3,40 \cdot 10^6}{50 \cdot 60} = 1133,33 \text{ hod} \quad (6.80)$$

L_{h3} – trvanlivosť guľôčkovej skrutky v hodinách [hod]

Pre uloženie guľôčkovej skrutky sú zvolené 2 axiálne súdkové ložiská 29417EJ – 85x180x58 od spoločnosti ZVL Slovakia.

Str. 68	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

Trvanlivosť axiálneho súdkového ložiska [46]:

$$L_{l4} = \left(\frac{C_4}{P_4}\right)^p \cdot 10^6 = \left(\frac{735000}{501190}\right)^3 \cdot 10^6 = 3,15 \cdot 10^6 \text{ ot} \quad (6.81)$$

L_{l4} – trvanlivosť axiálneho súdkového ložiska [ot.]

C_4 – dynamická únosnosť axiálneho súdkového ložiska [N], podľa [45] $C_4=735000$ N

P_4 – dynamické ekvivalentné zaťaženie axiálneho súdkového ložiska [N]

$$P_4 = F_{A3} + 1,2 \cdot F_{r4} = 500000 + 1,2 \cdot 992 = 501190 \text{ N} \quad (6.82)$$

P_4 – dynamické ekvivalentné zaťaženie [N]

F_{r4} – radiálne zaťaženie [N]

$$L_{lh4} = \frac{L_{l4}}{n_{max3} \cdot 60} = \frac{3,15 \cdot 10^6}{50 \cdot 60} = 1050,00 \text{ hod} \quad (6.83)$$

L_{lh4} – trvanlivosť axiálneho súdkového ložiska v hodinách [hod]

Skutočná životnosť vysoko únosnej guľôčkovej matice a súdkových ložísk bude v porovnaní s vypočítanou hodnotou podstatne vyššia, pretože maximálna uzatváracia sila, ku ktorej je životnosť počítaná, nastane v poslednom okamžiku procesu. Súdkové ložiská prenášajú radiálne aj axiálne zaťaženie. Z tohto dôvodu na ložisko bude počas činnosti neustále pôsobiť minimálna požadovaná sila.

Výpočet pera pod spojku:

$$l_4 \geq \frac{2 \cdot M_{max3}}{d_4 \cdot t_4 \cdot p_d} = \frac{2 \cdot 1788260}{70 \cdot 4,6 \cdot 120} = 92,56 \text{ mm} \quad (6.84)$$

l_4 – dĺžka pera [mm]

t_4 – hĺbka pera v náboji [mm], je zvolená podľa [7] $t_2=4,6$ mm

p_d – dovolený tlak [MPa], je zvolený podľa [7] $p_d=120$ MPa

Pre spojenie hriadeľového konca vysoko únosnej guľôčkovej skrutky a príruby planétovej prevodovky sú zvolené 3 perá 18x11x50 ČSN 02 2507.

6.3.3 POŽADOVANÉ TECHNICKÉ PARAMETRE MOTORA

Pre zníženie momentových požiadaviek na synchronný servomotor sa použila planétová prevodovka BDB 250 od spoločnosti TG drives.

Tab.26 Technické parametre planétovej prevodovky BDB 250 [47]

Hmotnosť	[kg]	55
Prevod	[-]	40
Vstupné hodnoty		
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	2000
Maximálne otáčky	[min ⁻¹]	3000
Menovitý moment	[Nm]	52
Rozbehový moment	[Nm]	82
Výstupné hodnoty		
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	50
Menovitý moment	[Nm]	1900
Rozbehový moment	[Nm]	3000

Požadované otáčky servomotora:

$$n_{m4} = \frac{n_{poz3} \cdot i_{p4}}{\eta_4} = \frac{50 \cdot 40}{0,96} = 2083,33 \text{ min}^{-1} \quad (6.85)$$

n_{m4} - požadované otáčky motora [min⁻¹]

i_{p4} - prevodový pomer planétovej prevodovky [-]

Požadovaný moment servomotora:

$$M_{m4} = \frac{M_{max3}}{i_{p4} \cdot \eta_4} = \frac{1788,26}{40 \cdot 0,96} = 46,57 \text{ Nm} \quad (6.86)$$

M_{m4} - požadovaný moment motora [Nm]

Požadovaný výkon servomotora:

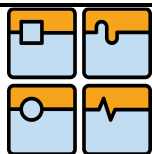
$$P_{m4} = \frac{M_{m4} \cdot n_{m4}}{9550} = 10,16 \text{ kW} \quad (6.87)$$

P_{m4} - požadovaný výkon motora [kW]

Pre pohon pákového mechanizmu je zvolený synchronný servomotor 560 VDC TGN7-6000 od spoločnosti TG drives. Synchronný servomotor je dodávaný s rotačným snímačom polohy Resolver. Pre riadenie pohybu synchronného servomotora je použitý 24A digitálny servozosilovač AKD-P02407-NNBC-E074, ktorý je vhodný pre riadenie tohto typu synchronného servomotora s daným rotačným snímačom. Servomotor je ďalej vybavený brzdou, ktorá slúži pre zastavenie motora v prípade demontáže formy tak, aby neprišlo k nedovolenému pohybu pohyblivej časti zariadenia. [35]

Tab.27 Technické parametre synchronného servomotora 560 VDC TGN7-6000 [35]

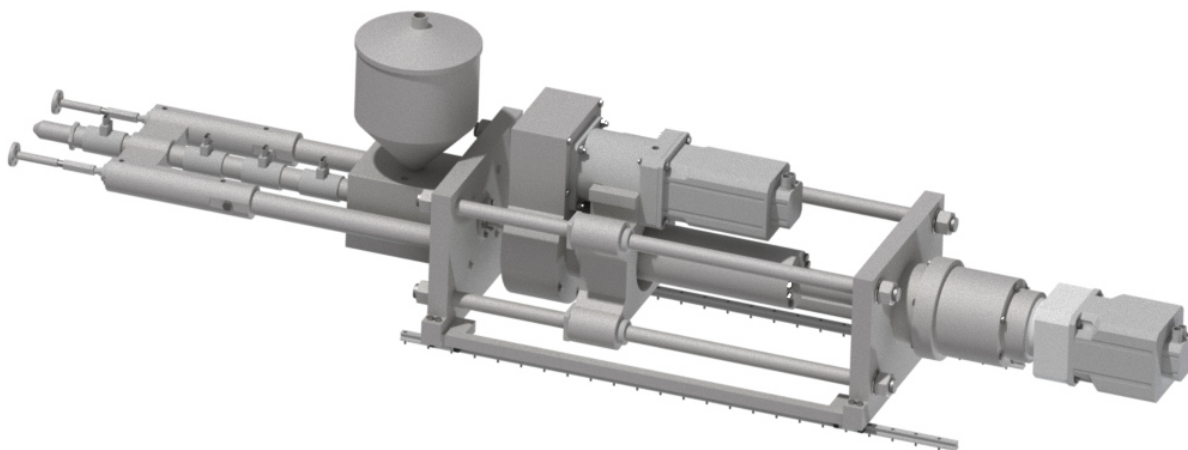
Menovitý moment	[Nm]	44
Menovité otáčky	[min ⁻¹]	2000
Menovitý výkon	[W]	9215
Hmotnosť s brzdou	[kg]	33,5
Maximálny moment	[Nm]	180
Maximálne otáčky	[min ⁻¹]	6000
Brzdny moment brzdy	[Nm]	36



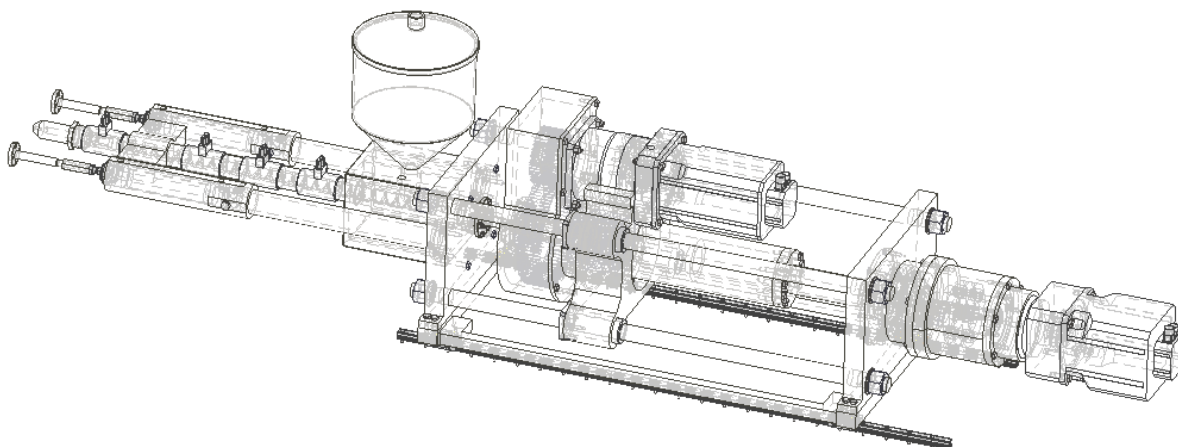
7 KONŠTRUKČNÝ 3D MODEL ZARIADENIA

Tvorba 3D modelu navrhnutého zariadenia pre vstrekovanie plastov bola prevedená v programe Autodesk Inventor Professional 2014.

7.1 VSTREKOVACIE JEDNOTKA



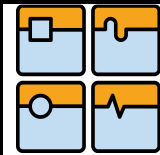
Obr.39 Vstrekovacia jednotka



Obr.40 Vstrekovacia jednotka v drôtenom zobrazení so zobrazením skrytých hrán

Otáčanie závitovky v závitkovom valci je zabezpečené pomocou synchronného servomotora 560 VDC TGN4-4400 s planétovou prevodkovou MNT 140 kap. 6.1.3.4. Spojenie závitovky s prevodkovou je tvorené ozubeným prevodom 6.1.3.3.

Priamočiary pohyb závitovky je vytváraný vysoko únosnou guľôčkovou skrutkou s maticou AP HL K 63x20 kap. 6.1.4.2, ktorá prevádza rotačný pohyb tvorený synchronným servomotorom 560 VDC TGN6-6000 s planétovou prevodkovou SG 155 kap. 6.1.4.3 na

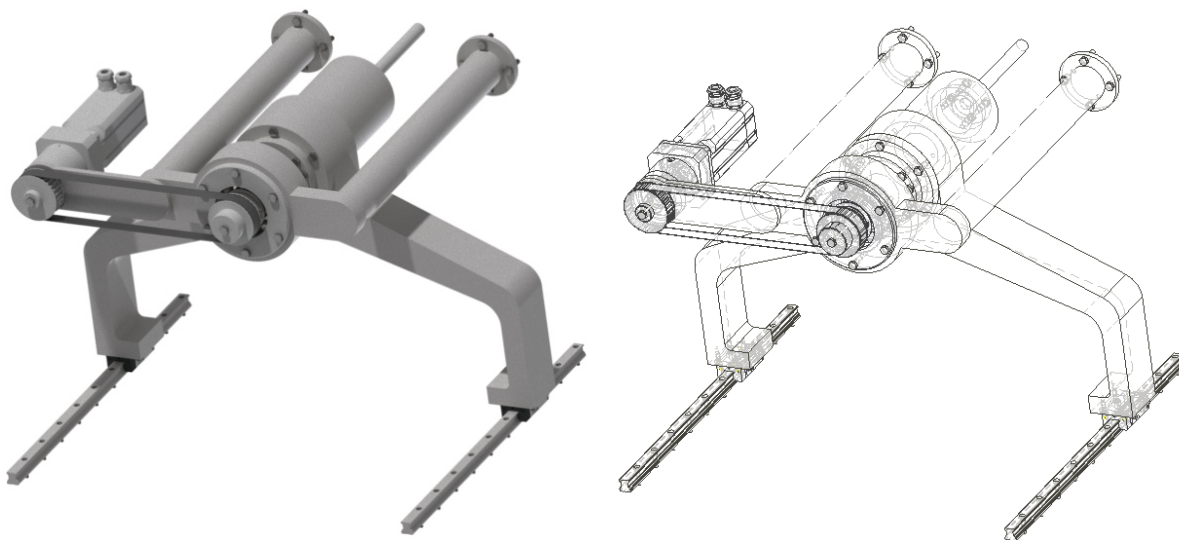


priamočiary pohyb závitovky. Planétová prevodovka a hriadeľ guľôčkovej skrutky sú spojené kotúčovou čapovou spojkou BKN 160 kap. 6.1.4.2. Priamočiary pohyb spolu so závitovkou vykonáva celá časť mechanizmu zabezpečujúca otáčanie závitovky. Uloženie tohto mechanizmu sa pohybuje po štyroch vodiacich tyčiach pomocou lineárnych puzdier R 0741 540 00 kap. 6.1.6.

Priamočiary pohyb celej vstrekovacej jednotky, ktorý zabezpečuje prerušenie styku trysky s pravou nepohyblivou doskou uzatváracieho mechanizmu je prevedený pomocou dvoch pneumatických motorov DSNU-50-200-P-A kap. 6.1.7. Vstrekovacia jednotka sa pohybuje po lineárnom vedení R 1605 804 31 štyrmi lineárnymi vozíkmi s valivými elementmi FNS R 1651 812 22 kap. 6.1.7.

Plastifikovanie privádzaného granulátu v závitovkovom valci je zabezpečené pomocou štyroch topných pásov kap. 5.5. Aby nedošlo k nataveniu granulátu už v násypke granulátu, je táto časť vybavená chladiacou komorou pod násypkou kap. 6.1.2.

7.2 VYHADZOVACIE ZARIADENIE

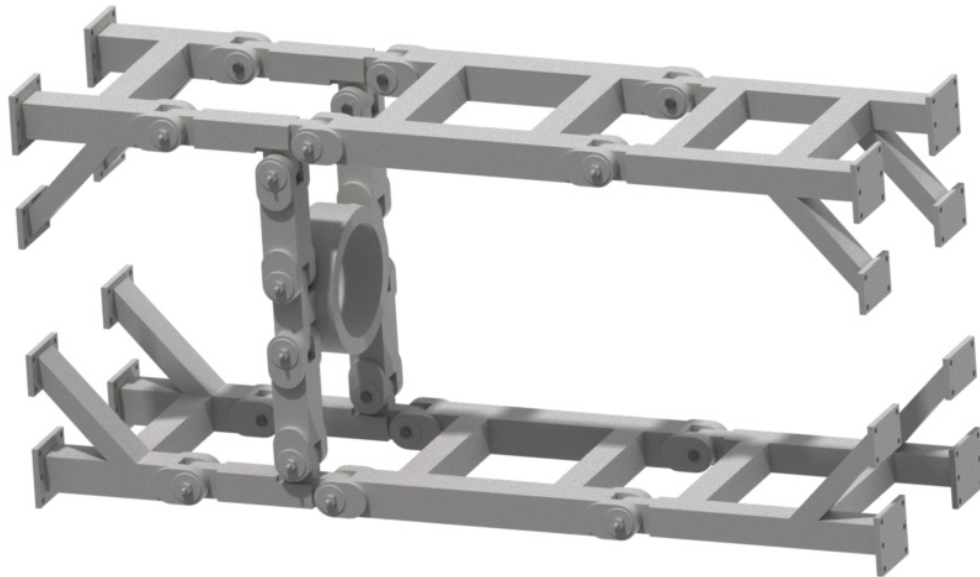


Obr.41 Vyhadzovacie zariadenie

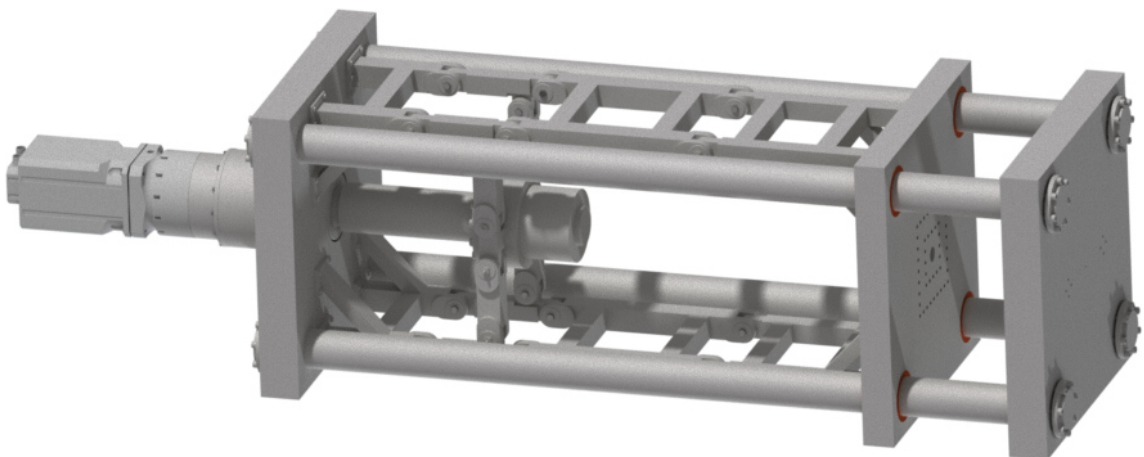
Priamočiary vyhadzovací pohyb vyhadzovacieho zariadenia je tvorený pomocou štandardnej guľôčkovej skrutky s maticou APR K 63x10 kap. 6.2.1. Hriadeľ guľôčkovej skrutky je poháňaný pomocou synchronného servomotora 560 VDC TGN3-0480 s planétovou prevodovkou SG 080 kap. 6.2.2. Prenos krútiaceho momentu zo synchronného servomotora na hriadeľ guľôčkovej skrutky je zabezpečený pomocou ozubeného remeňa 8M kap. 6.2.3. Ozubený remeň je napínaný pomocou synchronného servomotora.

Pohyblivá časť vyhadzovacieho zariadenia sa pohybuje po lineárnom vedení R 1605 804 31 pomocou dvoch lineárnych vozíkov s valivými elementmi FNS R 1651 812 kap. 6.2.4.

7.3 UZATVÁRACIA JEDNOTKA

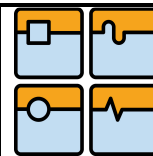


Obr.43 Pákový mechanizmus uzatváracej jednotky



Obr.44 Uzatváracia jednotka

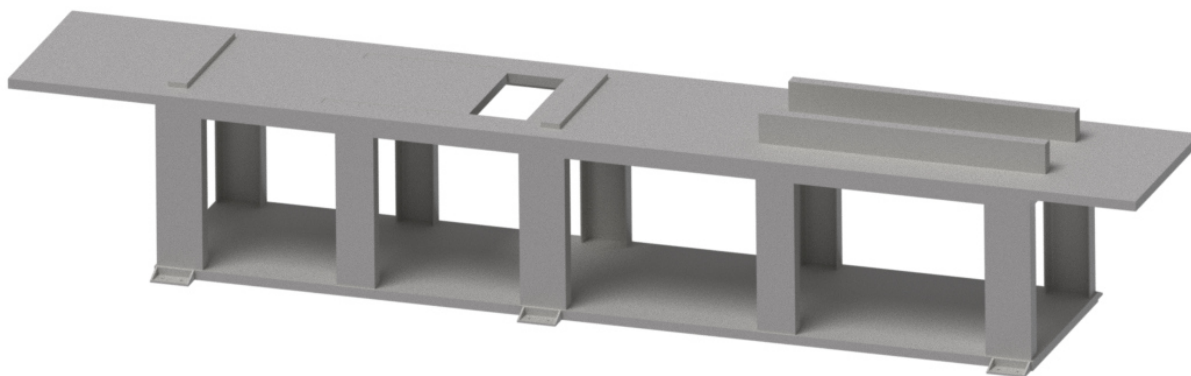
Pohyblivá doska uzatváracej jednotky je uložená na vodiacich tyčiach pomocou klzných puzdier ISO 4379 100x120x80 s prírubou. Vodiace tyče sú v nepohyblivých doskách uložené pomocou samostrediacich puzdier SIT-LOCK 5A kap. 6.3.



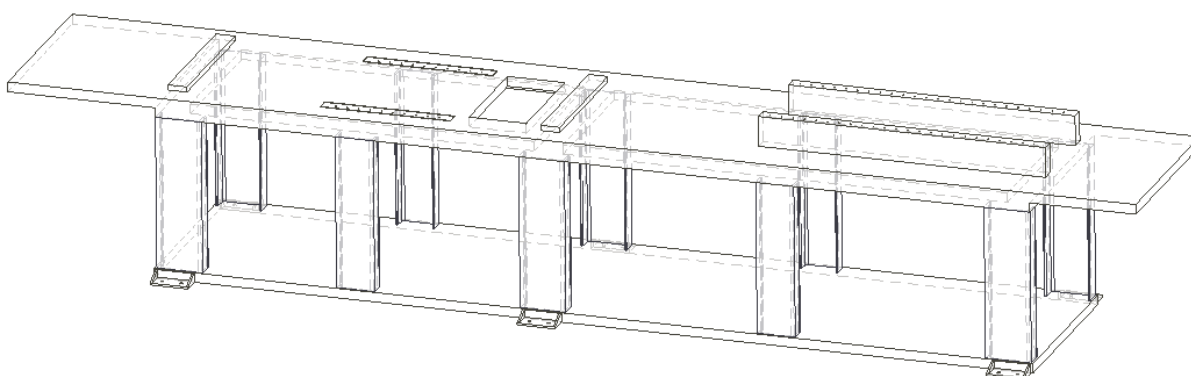
Pohyb pohyblivej dosky a vytvorenie požadovanej uzatváracej sily je vykonávané pomocou pákového mechanizmu obr. 43. Časti pákového mechanizmu sú navzájom spojené pomocou čapových spojov kap. 6.3.1.

Pohon pákového mechanizmu je tvorený pomocou vysoko únosnej guľôčkovej skrutky s maticou AP HL K 125x20 kap. 6.3.2. Vysoko únosná guľôčková skrutka je poháňaná pomocou synchronného servomotora 560 VDC TGN7-6000 s planétovou prevodovkou BDB 250 kap. 6.3.3. Spojenie planétovej prevodovky s hriadeľom guľôčkovej skrutky je zabezpečené pomocou príruby a troch pier 18x11x50 ČSN 02 2507 kap. 6.3.2.

7.4 STÔL ZARIADENIA PRE VSTREKOVANIE PLASTOV



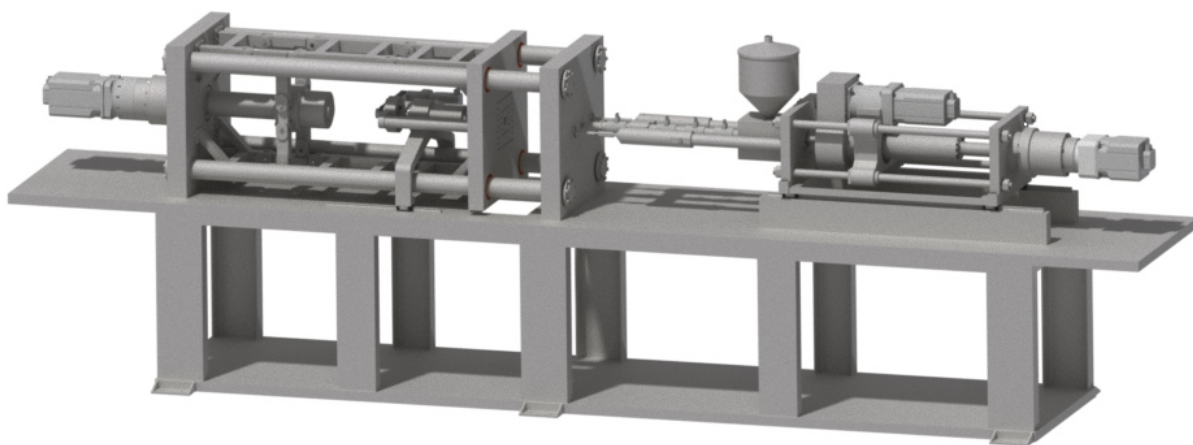
Obr.45 Stôl zariadenia pre vstrekovanie plastov



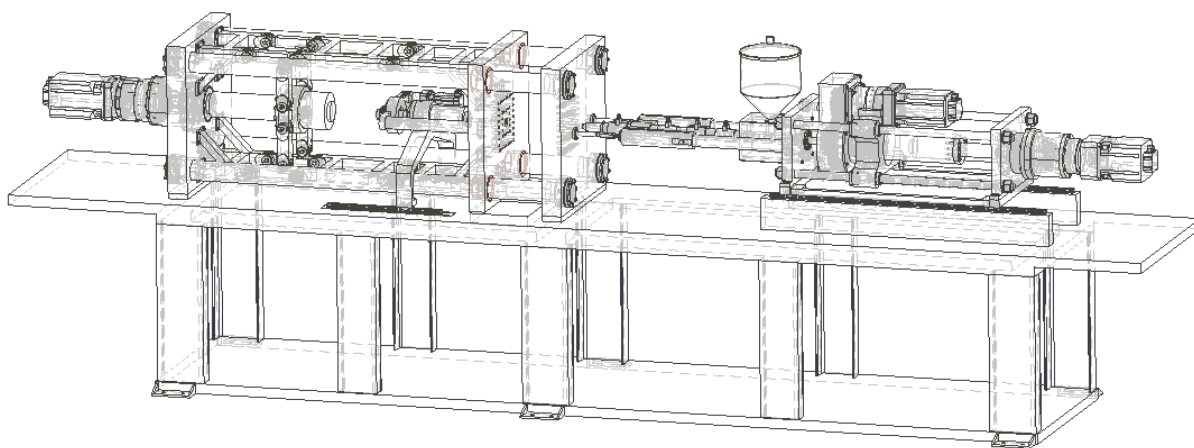
Obr.46 Stôl v drôtenom zobrazení so zobrazením skrytých hrán

Stôl zariadenia pre vstrekovanie plastov je navrhnutý so zosilnením v miestach najvyššieho zaťaženia obr.46. Podpery stola sú tvorené šiestimi U profilmi U 240/B ČSN 42 5570 v miestach vyššieho zaťaženia a štyrmi U profilmi U 200/B ČSN 42 5570 v mieste nižšieho zaťaženia obr.45. Upevnenie stola o podlahu je zabezpečené pomocou šiestich pätiiek obr.45.

7.5 ZARIADENIE PRE VSTREKOVANIE PLASTOV

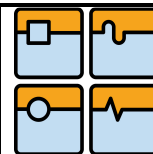


Obr.47 Zariadenie pre vstrekovanie plastov

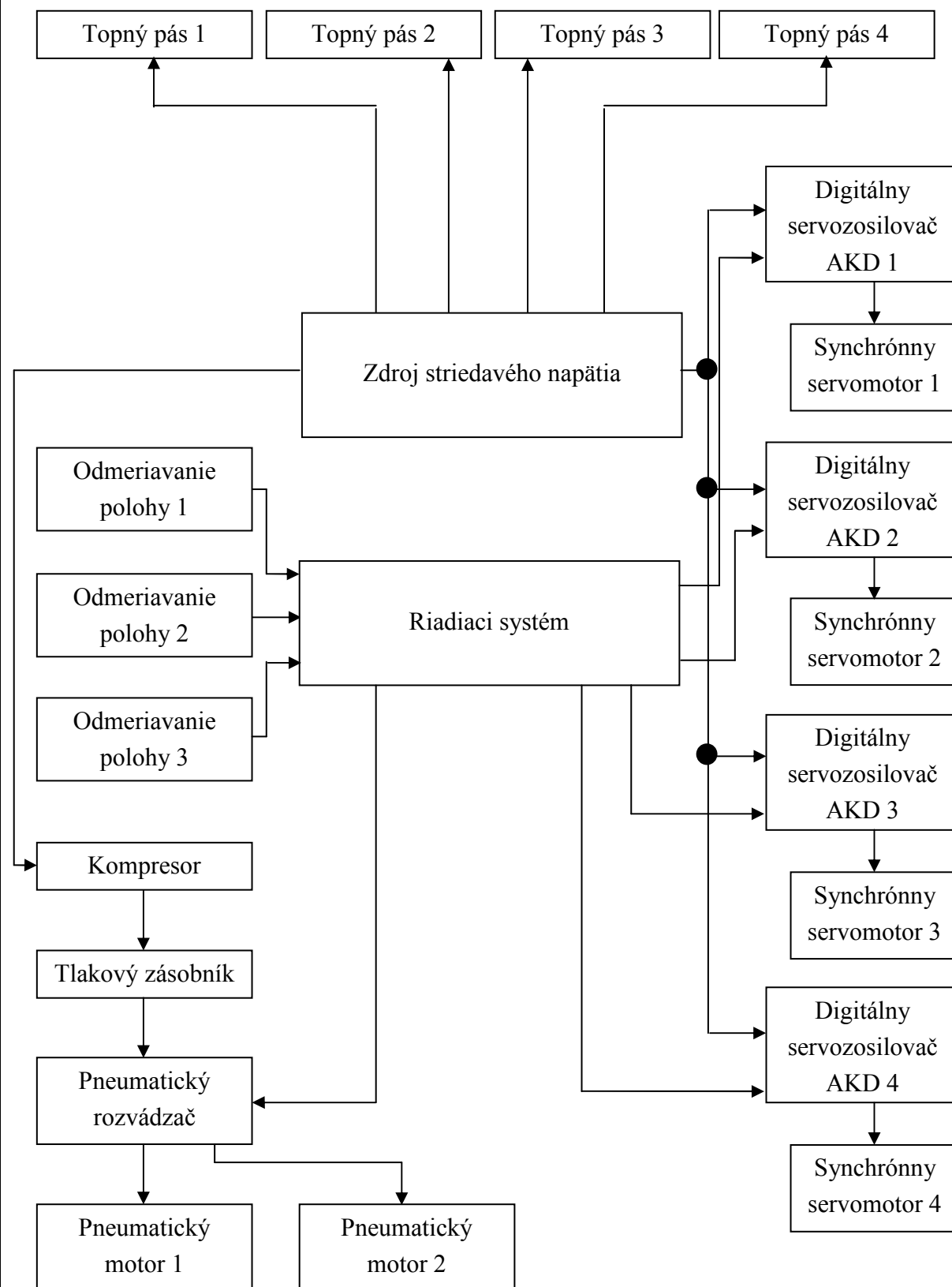


Obr.48 Zariadenie pre vstrekovanie plastov v drôtenom zobrazení so skrytými hranami

Obr.47 zobrazuje celkovú zostavu zariadenia pre vstrekovanie plastov navrhnutú v diplomovej práci.



8 BLOKOVÁ SCHÉMA ELEKTRICKÉHO ZAPOJENIA



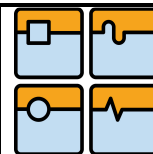
	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 77
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

Bloková schéma elektrického zapojenia zobrazuje vzťahy základných častí navrhnutého zariadenia pre vstrekovanie plastov.

Synchrónne servomotory sú riadené pomocou digitálnych servozosilovačov AKD, ktoré im zároveň dodávajú informácie z rotačných snímačov polohy vstavaných priamo do synchrónnych servomotorov. Digitálne servozosilovače posielajú získané informácie pre vyhodnotenie do riadiaceho systému.

Pneumatické motory sú poháňané pomocou kompresorov pripojených k zdroju striedavého napätia. Riadenie pohybu je zabezpečené pomocou pneumatických rozvádzačov.

Zdroj striedavého napätia ďalej dodáva elektrickú energiu do topných pásov umiestnených na závitovkovom valci vstrekovacej jednotky.

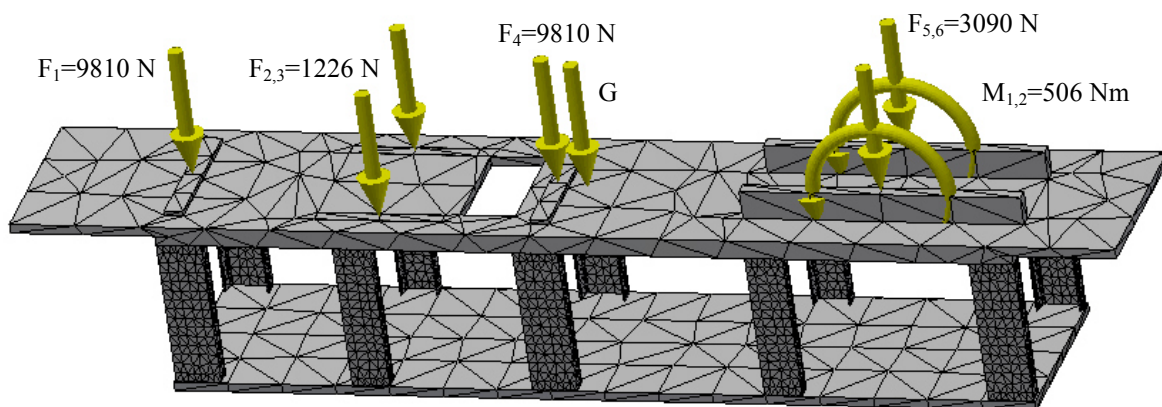


9 MKP ANALÝZA HLAVNÝCH PRVKOV A UZLOV

Pre pevnostnú analýzu hlavných častí je použitý modul v programe Autodesk Inventor Professional 2014.

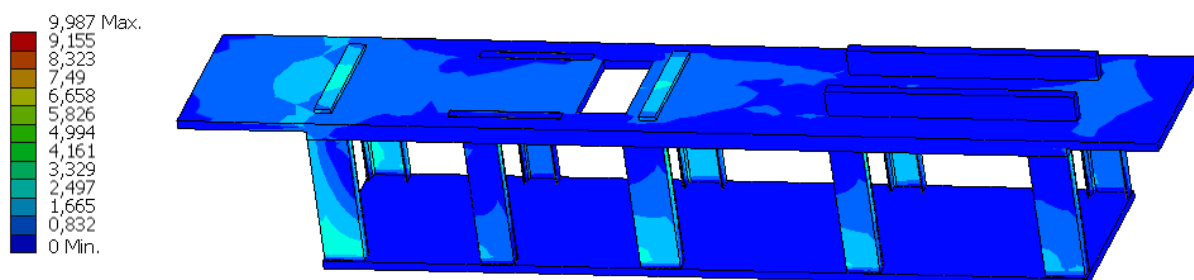
9.1 PEVNOSTNÁ ANALÝZA STOLU

Sieťovanie modelu pre prevedenie pevnostnej analýzy bolo automaticky generované programom Autodesk Inventor Profesional 2014. Zaťaženie stolu v odpovedajúcich miestach vychádzalo z hmotnosti častí konštrukcie zariadenia na vstrekovanie plastov. V analýze sa zohľadnil taktiež vplyv gravitačnej sily.

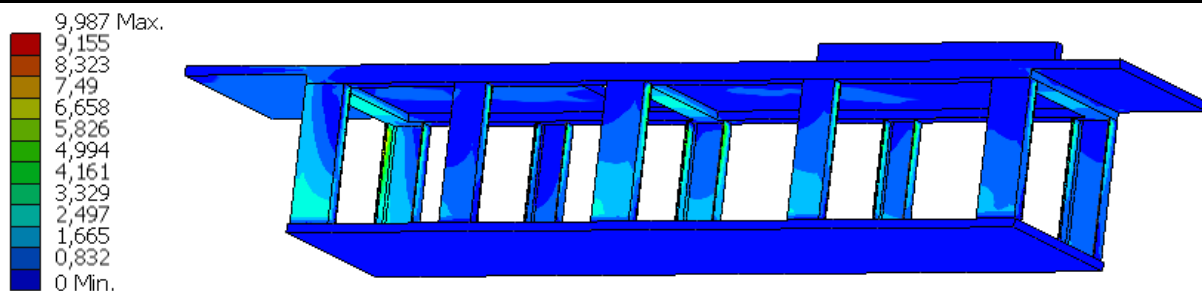


Obr.49 Sieťovaný model so zaťažením

9.1.1 NAPÄTIE VON MISES



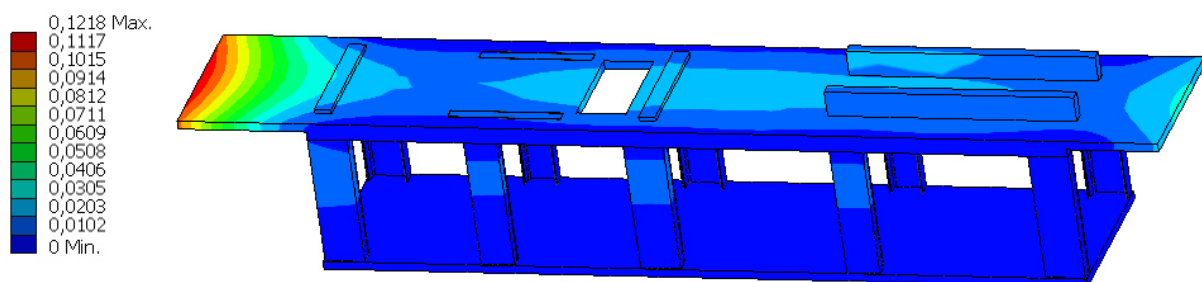
Obr.50 Napätie Von Mises



Obr.51 Napätie Von Mises

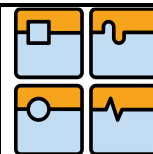
Z analýzy napätia Von Mises obr.50 vyplýva, že maximálna hodnota napätia vyskytujúceho sa na stole zariadenia pre vstrekovanie plastov je 9,987 MPa. Toto napätie je sústredené v oblastiach nôh stola. Ďalej sa vyššia hodnota napätia vyskytuje v oblasti uloženia uzatváracej jednotky, ktorá bola z tohto dôvodu v daných miestach zosilnená obr.51.

9.1.2 DEFORMÁCIA STOLA



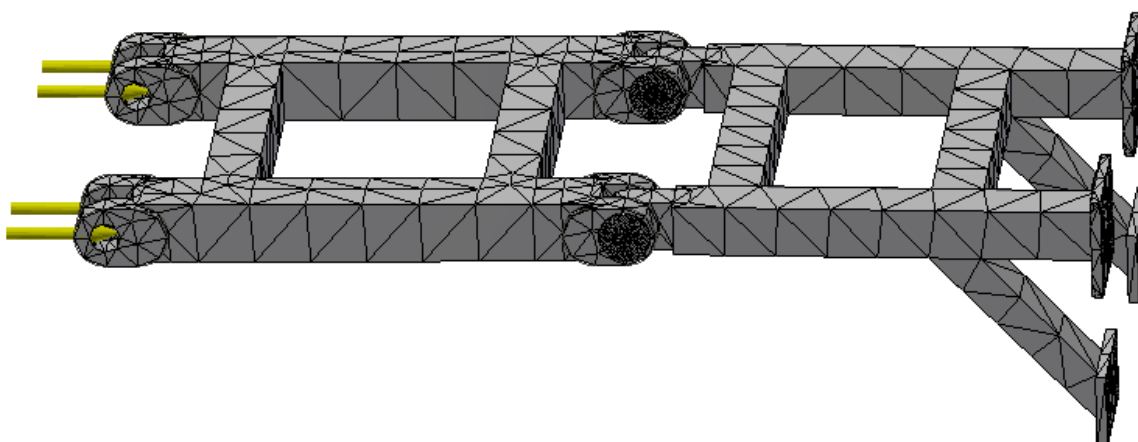
Obr.52 Deformácia stola

Z analýzy posunutí obr.52 môžeme vidieť, že k maximálnej deformácii stola zariadenia pre vstrekovania plastov dochádza na ľavom okraji stola. Najväčšia hodnota deformácie v tomto mieste je 0,1218 mm. V oblasti uloženia funkčných častí stroja nedochádza k prekročeniu hodnoty deformácií viac ako 0,03 mm.



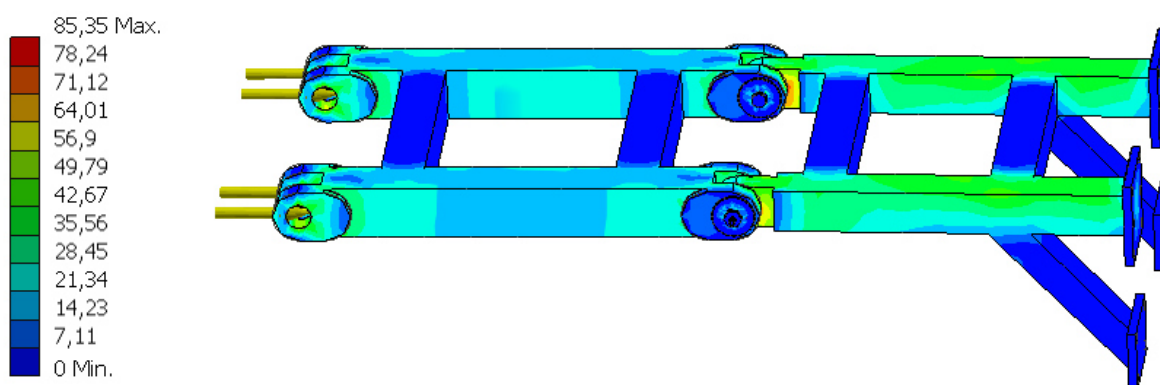
9.2 PEVNOSTNÁ ANALÝZA PÁKOVÉHO MECHANIZMU

Sieťovanie modelu pre prevedenie pevnostnej analýzy bolo rovnako ako v predchádzajúcom prípade automaticky generované programom Autodesk Inventor Profesional 2014. Zaťaženie časti pákového mechanizmu sa uvažuje v oblasti pred úplným vzpriamením pákového mechanizmu. V tejto časti procesu sa už môže začať vyskytovať určitá hodnota zaťaženia. V pevnostnej analýze bola použitá hodnota zaťaženia 300 kN, ktorá by reálne v tejto časti procesu nemala byť prekročená.



Obr.53 Sieťovaný model pákového mechanizmu so zaťažením

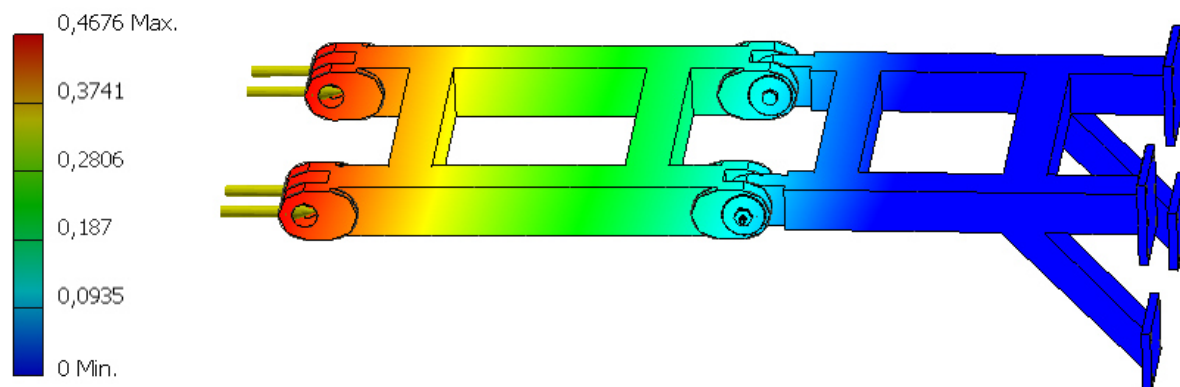
9.2.1 NAPÄTIE VON MISES



Obr.54 Napätie Von Mises

Z analýzy napätia Von Mises obr.54 vyplýva, že maximálna hodnota napätia od pôsobeného maximálneho možného zaťaženia v tejto časti procesu dosahuje hodnotu 85,35 MPa. Toto napätie je sústredené v oblasti uloženia pákového mechanizmu.

9.2.2 DEFORMÁCIA PÁKOVÉHO MECHANIZMU



Obr.55 Deformácia pákového mechanizmu

Z analýzy posunutí obr.55 vychádza, že k maximálnej deformácii časti pákového mechanizmu dochádza v oblasti zaťaženia predpokladanou silou. Najväčšia hodnota deformácie je 0,4676 mm.

10 CENOVÁ KALKULÁCIA

Zhrnutie nákladov na hlavné nakupované časti konštrukcie vstrekovacieho stroja.

Tab.28 Cenová kalkulácia

Časť stroja	Množstvo	Cena za kus
Závitovka	1	34 000 Kč
Závitovkový valec	1	48 000 Kč
Topné pásy	4	1 782 Kč
Izolačné manžety	4	5 000 Kč
Spätný uzáver	1	9 400 Kč
Vstrekovacia tryska	1	6 000 Kč
Planétová prevodovka MNT 140	1	35 100 Kč
Synchronný servomotor 560 VDC TNG6-4400/T1B	1	33 200 Kč
Guľôčková skrutka s maticou AP K 63x20	1	37 260 Kč
Obojsmerné ložisko 52411	1	1 636 Kč
Kotúčový čapová spojka BKN 160	1	1 630 Kč
Planétová prevodovka SG 155	1	27 800 Kč
Synchronný servomotor 560 VDC TNG7-6000/T1	1	33 400 Kč
Axiálno- radiálne ložisko Zarn 90 - 180	1	2 492 Kč
Lineárne puzdra R 0741 540 00	4	4 265 Kč
Lineárne vozíky FNS R1651 812 22	6	2 183 Kč
Lineárne vedenie R 1605 804 31	2	6 872 Kč
Priamočiare pneumatory DSNU-50-200-P-A	2	1 777 Kč
Guľôčková skrutka s maticou AP K 63x10	1	15 120 Kč
Dvojradové ložisko ČSN 02 4665 - 3310	1	4 726 Kč
Planétová prevodovka SG 080	1	8 900 Kč
Synchronný servomotor 560 VDC TNG3-0480/T1	1	9 800 Kč
Remenica 8M	2	190 Kč
Remeň 8M	1	267 Kč

Lineárne vedenie R 1605 804 31	2	3 436 Kč
Samostrediacie puzdro SIT-LOCK 5A	8	2 000 Kč
Gulôčková skrutka s maticou AP K 125x20	1	49 140 Kč
Ložisko 29417EJ – 85x180x58	2	6 040 Kč
Synchrónny servomotor 560 VDC TNG7-6000/T1B	1	43 600 Kč
Planétová prevodovka BDB 250	1	86 700 Kč
Servozosilovač AKD-P02407-NBCC-E074	3	39 600 Kč
Servozosilovač AKD-P00307-NBCC-E074	1	19 700 Kč
Cena spolu		721 921 Kč

V cenovej kalkulácii boli zahrnuté nakupované komponenty potrebné pre základnú konštrukciu zariadenia pre vstrekovanie plastov. Do cenovej kalkulácie boli zahrnuté tiež servozosilovače potrebné pre riadenie synchrónnych servomotorov. V cenovej kalkulácii sa neuvažovalo s cenou vyrábaných častí zariadenia, ako aj ďalšími nákladmi na potrebný riadiaci systém zariadenia, krytovanie a bezpečnostné prvky, ktorých návrh nebol súčasťou diplomovej práce. Z výslednej ceny nakupovaných súčastí 721 921 Kč, pri ktorej sa berie ohľad na ďalšie zvyšovanie nákladov vzhľadom na časti nezahrnuté v cenovej kalkulácii, je možné usúdiť, že navrhnuté zariadenie je konkurencieschopné na trhu.

Str. 84	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnuť zariadenie pre vstrekovanie plastov s horizontálnym uzatváracím pohybom jednotky s maximálnym rozmerom deliacej roviny 350 x 350 mm. Na základe rešerše aktuálneho stavu technológie vstrekovania plastov bolo vybrané riešenie plne elektrického vstrekovacieho stroja, ktoré je pre menšie rozmery formy vhodnejšie v porovnaní s hydraulickým vstrekovacím strojom. Ďalej boli zvolené vhodné parametre pre návrh zariadenia pre vstrekovanie plastov tab.6, ktoré vychádzali z rešerše a porovnania existujúcich vstrekovacích strojov na trhu.

Následne bol podľa zvolených parametrov prevedený konštrukčný návrh s potrebnými výpočtami kap.6. Na základe konštrukčného návrhu bol zhotovený 3D model v programe Autodesk Inventor Professional 2014 kap.7.

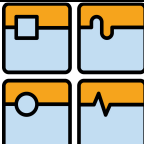
Zhotovená bloková schéma elektrického zapojenia kap.8 zobrazuje vzťahy základných častí navrhnutého zariadenia pre vstrekovanie plastov.

Z modelu zariadenia bola v programe Autodesk Inventor Professional 2014 vyhotovená MKP analýza kap.9. V pevnostnej analýze boli zvolené časti zariadenia pre vstrekovanie plastov, a to stôl zariadenia a časť pákového mechanizmu s uložením. Veľkosť výsledných napätí a deformácii získaných z MKP analýzy odpovedala predpokladom a z tohto dôvodu je zariadenie navrhnuté správne.

Nakoniec bola prevedená celková cenová kalkulácia nakupovaných súčastí zariadenia, v ktorej sa nezahrňovala cena vyrábaných súčastí. Z výslednej ceny nakupovaných súčastí 721 921 Kč, pri ktorej sa berie ohľad na ďalšie zvyšovanie nákladov vzhľadom na vyrábané časti, krytovanie a bezpečnostné prvky zariadenia, ako aj na riadiaci systém, ktoré neboli cieľom riešenia diplomovej práce, je navrhnuté zariadenie konkurencieschopné na trhu.

POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2.*, upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-7183-244-8.
- [2] RAGAN, Emil. *Vstrekovanie a spracovanie plastických hmôt*. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity, 2008, 549 s. ISBN 978-50-5530-102-0
- [3] MÉZL, Milan. *Základy technológie vstrekovania plastov*. Olomouc: Mapro spol.s r.o., 2009, 295 s. ISBN 978-80-970749-7-5
- [4] ENGEL e-victory [online]. [cit. 2015-09-27]. Dostupné z: <http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines/e-victory.html>
- [5] ENGEL insert [online]. [cit. 2015-09-27]. Dostupné z: <http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines/insert.html>
- [6] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [7] VÁVRA, Pavel. *Strojnícke tabuľky pre SPŠ strojnícke*. 5. vyd. Bratislava: Alfa-press, s.r.o., 2006, 781 s. ISBN 80-89223-07-09.
- [8] Návod k obsluze, K-TEC175 – K-TEC450, srpen 2006
- [9] Využití technologie vstřikování plastů ve strojírenství. České Budějovice: Dům techniky ČSVTS, 1988, 270 s.
- [10] ENGEL e-motion [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: http://www.neofyton.com/cms_files/plastic/pdf/e-motion.pdf
- [11] Konstrukční provedení vstřikovacích lisů [online]. [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>
- [12] Electric injection molding machine assembly [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.ec21.com/product-details/Electric-Injection-Molding-Machine-Assembly--8407930.html>
- [13] ENGEL e-mac [online]. [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://www.engelglobal.com/cs/cz/reseni/vstrikovaci-stroje/e-mac.html>
- [14] ARBURG hydraulic ALLROUNDERS [online]. [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/ARBURG_hydraulic_ALLROUNDERS_680480_cz.pdf
- [15] INTEC D SERIES [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: http://www.invera.cz/images/pdf/INTEC_D_SERIES_J.pdf
- [16] TOSHIBA MACHINE EX-SX SERIES [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: http://www.invera.cz/images/pdf/TOSHIBA_ECSXt.pdf
- [17] Labolatórní cvičení z předmětu *Plastikářská technologie*, Úloha č.2, *Vstřikování*, 5s. [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: www.utb.cz/file/36208_1_1/

Str. 86	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

- [18] Šneky [online]. [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: <http://www.boco.cz/cs/produkty/divize-sneky-a-komory/vyroba-sneku-a-komor/sneky/>
- [19] Zpětné uzávěry pro vstřikovací stroje [online]. [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: http://www.technotrend.cz/_katalog/3_Vstrikovaci_lis.pdf
- [20] Komory [online]. [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: <http://www.boco.cz/cs/produkty/divize-sneky-a-komory/vyroba-sneku-a-komor/komory/>
- [21] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE, Richard G BUDYNAS a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. V Brně: VUTUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [22] Topné pásy s keramickou izolací řady SCB [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: http://easytherm.cz/index.php?topne_pasy_SCB
- [23] Topné pásy - válcové [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.elkop.cz/topne-pasy-valcove/>
- [24] ISOWEMA – izolační manžety pro vyhřívací zóny vstřikovacích strojů [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: http://www.technotrend.cz/_katalog/1_Topna_telesa.pdf
- [25] BUREŠ, Miroslav. *Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008, 35 s.
- [26] MNT 140 – Technické parametry [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.tgdrives.cz/prevodovky-a-linearni-jednotky/planetove-prevodovky/mnt-140/>
- [27] TGN 6 – Technické parametry [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.tgdrives.cz/servomotory/servomotory-rady-tgn/tgn6/>
- [28] Vysoceúnosné kuličkové šrouby [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.ks-kurim.cz/kulickove-srouby/vysoceunosne-ks/>
- [29] Výpočtová část [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.ks-kurim.cz/kulickove-srouby/vypoctova-cast/>
- [30] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [31] Needle roller/axial cylindrical roller bearings ZARN [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br/ZARN>
- [32] KŘÍŽ, Rudolf, Cyril MARTINISKO a Karel WELGNER. *Konstrukčné cvičenie II*. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1987. 135s.
- [33] Axiální čepové spojky BKN [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://www.elprim.cz/>
- [34] SG 155 – Technické parametry [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://www.tgdrives.cz/prevodovky-a-linearni-jednotky/planetove-prevodovky/sg-155/>
- [35] TGN 7 – Technické parametry [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://www.tgdrives.cz/servomotory/servomotory-rady-tgn/tgn7/>

	Ústav výrobných strojov, systémov a robotiky	Str. 87
	DIPLOMOVÁ PRÁCA	

- [36] Axiálne jednosmerné a obojsmerné guľkové ložiská [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.zvlslovakia.sk/produkty/axialne-jednosmerne-a-obojsmerne-gulkove-loziska/>
- [37] Bosch Rexroth [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: https://www.boschrexroth.com/irj/portal/anonymous/eShop?guest_user=anonymousDE&display=catalog&bridgeSelectedCatalog=BRL
- [38] Kruhový valec DSNU, metrický [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/sk_sk/products_DSNU
- [39] Matice typu APR – predepnutá matice s prírubou [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.ks-kurim.cz/kulickove-srouby/typy-maticovych-jednotek/matice-typu-apr-predepnuta-matice-s-prirubou/>
- [40] Dvojradowé guľkové ložiská s kosouhlým stykom [online]. [cit. 2016-06-04]. Dostupné z: <http://www.zvlslovakia.sk/katalog/tab-4/>
- [41] SG 080 – Technické parametry [online]. [cit. 2016-06-04]. Dostupné z: <http://www.tgdrives.cz/prevodovky-a-linearni-jednotky/planetove-prevodovky/sg-080/>
- [42] TGN 3 – Technické parametry [online]. [cit. 2016-06-04]. Dostupné z: <http://www.tgdrives.cz/servomotory/servomotory-rady-tgn/tgn3/>
- [43] Upínací hřídelová pouzdra – typ SIT-LOCK 5A [online]. [cit. 2016-14-04]. Dostupné z: <http://www.mateza.cz/e-shop/upinaci-prvky/upinaci-hridelova-pouzdra/upinaci-hridelova-pouzdra-typ-sit-lock-5a>
- [44] Kolíky a čepy [online]. [cit. 2016-16-04]. Dostupné z: http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablon/SPS_II/VY_32_INOVACE_C-07-04.pdf
- [45] Axiálne súdkové ložiská [online]. [cit. 2016-24-04]. Dostupné z: <http://www.zvlslovakia.sk/katalog/tab-15/>
- [46] Axiálne súdkové ložiská [online]. [cit. 2016-24-04]. Dostupné z: <http://www.zvlslovakia.sk/produkty/axialne-sudkove-loziska/>
- [47] BDB 250 – Technické parametry [online]. [cit. 2016-24-04]. Dostupné z: <http://www.tgdrives.cz/prevodovky-a-linearni-jednotky/planetove-prevodovky/bdb-250/>
- [48] HDPE [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://polymertrader.com/wp-content/uploads/2014/08/22-12.pdf>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

A	[mm]	Osová vzdialenosť
b_{wF}/m_n	[-]	Súčiniteľ nerovnosti zaťaženia zubov po šírke
b_{wH}	[mm]	Pracovná šírka ozubenia
$C_{1,2,3,4}$	[N]	Dynamická únosnosť ložiska
$C_{a1,2,3}$	[N]	Dynamická únosnosť guľôčkovej matice
d_{a1}	[mm]	Priemer hlavovej kružnice pastorku
d_{a2}	[mm]	Priemer hlavovej kružnice kola
d_{b1}	[mm]	Priemer základnej kružnice pastorku
d_{b2}	[mm]	Priemer základnej kružnice kola
$d_{1,2,3,4}$	[mm]	Priemer hriadeľa
$d_{\check{c}}$	[mm]	Priemer čapu
d_{nv}	[cm]	Priemer vrchnej časti násypky
$d_{o1,2,3}$	[mm]	Menovitý priemer guľôčkovej skrutky
dr_1	[mm]	Priemer roztečnej kružnice pastorku
dr_2	[mm]	Priemer roztečnej kružnice kola
D_z	[mm]	Priemer závitovky
F_1	[N]	Sila pôsobiaca v otvorení trysky
F_2	[N]	Sila pôsobiaca na závitovku
F_{A1}	[N]	Axiálna sila
$F_{A(max)1,2,3}$	[N]	Maximálne axiálne zaťaženie vzhľadom ku vzpernej tuhosti
F_{amin}	[N]	Minimálne axiálne zaťaženie
$F_{\check{c}}$	[N]	Sila pôsobiaca na čap
f_F	[-]	Pomocný súčiniteľ pre výpočet modulu ozubenia
$f_{m1,2,3}$	[-]	Koeficient stavu a akosti materiálu
$F_{p1,2,3}$	[N]	Sila predopnutia guľôčkovej skrutky
F_{pmax}	[N]	Maximálna sila na piestnici
$F_{r3,4}$	[N]	Radiálne zaťaženie
F_t	[N]	Obvodová sila pôsobiaca v čelnom reze na roztečnej kružnici
F_{t1}	[MPa]	Obvodová sila pôsobiaca v čelnom reze na rozstupovej kružnici
f_{v1}	[-]	Súčiniteľ podľa typu uloženia hriadeľa
G_c	[kg]	Hmotnosť plastu v násypke
G_v	[g]	Hmotnosť teoretického vstrekovacieho objemu
$i_{p1,2,3,4}$	[-]	Prevodový pomer prevodovky
k	[-]	Prevádzkový súčiniteľ
K_A	[-]	Súčiniteľ vonkajších dynamických síl
K_{AS}	[-]	Súčiniteľ vonkajších dynamických síl

K_H	[-]	Súčiniteľ prídavných zaťažení
K_{Ha}, K_{HV}	[-]	Súčiniteľ podielu zaťaženia jednotlivých zubov
$K_{H\beta}$	[-]	Súčiniteľ nerovnomernosti zaťaženia zubov po šírke
K_F	[-]	Súčiniteľ prídavných zaťažení
$K_{F\beta} = K_{H\beta}$	[-]	Súčiniteľ nerovnomernosti zaťaženia zubov po šírke
K_{Fa}, K_{Fv}	[-]	Súčiniteľ podielu zaťaženia jednotlivých zubov
$l_{1,2,3,4}$	[mm]	Dĺžka pera
$L_{1,2,3}$	[ot.]	Trvanlivosť guľôčkovej skrutky
$L_{h1,2,3,4}$	[hod]	Trvanlivosť guľôčkovej skrutky v hodinách
$L_{lh1,2,3,4}$	[hod]	Trvanlivosť ložiska v hodinách
$L_{l1,2,3,4}$	[ot.]	Trvanlivosť ložiska
L_{s1}	[mm]	Vzdialenosť uloženia hriadeľa
l_z	[mm]	Vstrekovací zdvih
m	[-]	Modul
M	[-]	Koeficient minimálneho zaťaženia
M_{kz}	[MPa]	Zátťažný moment na priemere závitovky
$M_{m1,2,3,4}$	[Nm]	Požadovaný moment motora
$M_{max1,2,3}$	[Nm]	Požadovaný moment guľôčkovej skrutky
m_n	[mm]	Normálny modul
M_v	[Nm]	Výpočtový krútiaci moment
$n_{kr1,2,3}$	[min ⁻¹]	Kritické otáčky guľôčkovej skrutky
$n_{m1,2,3,4}$	[min ⁻¹]	Požadované otáčky motora
$n_{max1,2,3}$	[min ⁻¹]	Maximálne otáčky guľôčkovej skrutky
$n_{pož1,2,3}$	[min ⁻¹]	Požadované otáčky guľôčkovej skrutky
n_z	[min ⁻¹]	Otáčky závitovky
$O_{kr1,2,3}$	[N]	Kritická zaťažujúca axiálna sila
p	[-]	Exponent valivého elementu
p_1	[MPa]	Tlak pôsobiaci v otvore trysky
p_2	[MPa]	Tlak pôsobiaci na závitovku
$P_{3,4}$	[N]	Dynamické ekvivalentné zaťaženie
P_{a1}	[N]	Axiálne ekvivalentné dynamické zaťaženie
$p_{\xi1,2}$	[MPa]	Tlak pôsobiaci na čap
p_{DOV}	[MPa]	Dovolený tlak
p_d	[MPa]	Dovolený tlak
$P_{m1,2,3,4}$	[kW]	Požadovaný výkon motora
$P_{max1,2,3}$	[kW]	Maximálny výkon guľôčkovej skrutky
P_p	[W/cm ²]	Merný výkon topných pásov
P_{pm}	[W]	Výkon topných pásov
p_{pmax}	[Pa]	Maximálny tlak na piestnici

$P_{pož1,2,3}$	[kW]	Požadovaný výkon guľôčkovej skrutky
p_v	[MPa]	Tlak pôsobiaci na stenu valca
R_e	[MPa]	Medza klzu
$s_{1,2,3}$	[mm]	Stúpanie závitú guľôčkovej skrutky
S_1	[mm ²]	Plocha otvoru trysky
S_2	[mm ²]	Plocha na závitovke
S_{Fmin}	[-]	Najmenšia hodnota súčiniteľa bezpečnosti proti vzniku únavového poškodenia boku zubov
S_{Hmin}	[-]	Najmenšia hodnota súčiniteľa bezpečnosti proti vzniku únavového poškodenia boku zubov
S_{nv}	[cm ²]	Plocha vrchnej časti násypky
S_{tp}	[cm ²]	Plocha topných pásov
S_p	[m ²]	Plocha na pieste
S_z	[mm ²]	Plocha vnútorného valca závitovky
t	[mm]	Hrúbka steny závitovkového valca
$t_{1,2,3,4}$	[mm]	Hĺbka pera v náboji
T_1	[Nm]	Krútiaci moment na pastorku
u	[-]	Prevodový pomer na ozubenom prevode
v_1	[mm.s ⁻¹]	Rýchlosť toku v otvore trysky
v_2	[mm.s ⁻¹]	Rýchlosť pohybu závitovky
$v_{max1,2,3}$	[m.s ⁻¹]	Maximálna prevádzková rýchlosť guľôčkovej matice
V_{nk}	[cm ³]	Objem kužeľovej časti násypky
V_{nc}	[cm ³]	Celkový objem násypky
V_{nv}	[cm ³]	Objem valcovej časti násypky
$v_{pož1,2,3}$	[m.s ⁻¹]	Vstrekovacia rýchlosť zariadenia pre vstrekovanie plastov
v_z	[m.s ⁻¹]	Obvodová rýchlosť závitovky
V_z	[cm ³]	Objem vnútorného valca pred závitovkou
V_{zz}	[cm ³]	Objem znížený o požiadavky na dekompresiu
Y_{Fs1}, Y_{Fs2}	[-]	Súčiniteľ tvaru zubu a koncentrácie napätia
Y_β	[-]	Súčiniteľ sklonu zubu
Y_ϵ	[-]	Súčiniteľ vplyvu záberu profilu
z_1	[-]	Počet zubov pastorka
z_2	[-]	Počet zubov kola
Z_E	[-]	Súčiniteľ mechanických vlastností materiálu
Z_H	[-]	Súčiniteľ tvaru spoluzaberajúcich zubov
Z_R	[-]	Súčiniteľ východzej drsnosti bokov zubov
Z_ϵ	[-]	Súčiniteľ súčtovej dĺžky dotykových kriviek bokov zubov
$\eta_{1,2,3,4}$	[-]	Účinnosť planétovej prevodovky
η_{c1}	[-]	Mechanická účinnosť pre prevod rotačného pohybu na lineárny

η_L	[-]	Účinnosť jedného ložiska guľôčkového
η_S	[-]	Účinnosť guľôčkovej skrutky
η_V	[-]	Účinnosť vedenia
ρ	[g/cm ³]	Hustota PE
ρ_g	[g/cm ³]	Hustota granulátu
σ_F	[MPa]	Ohybové napätie v nebezpečnom priereze päty zuba
σ_{F1}	[MPa]	Ohybové napätie v nebezpečnom priereze päty zuba
σ_{Flimb}^0	[MPa]	Medza únavy v ohybe zodpovedajúca bazovému počtu zaťažovacích cyklov
σ_{Flimb1}	[MPa]	Medza únavy v ohybe materiálu pastorku
σ_{FP1}	[MPa]	Prípustné napätie v ohybe
σ_{FPmax}	[MPa]	Prípustné napätie v ohybe pri najväčšom zaťažení
σ_{FSt}	[MPa]	Pevnosť v ohybe pri najväčšom zaťažení
σ_{Fmax}	[MPa]	Najväčšie miestne ohybové napätie v päte zuba, vzniknuté
σ_H	[MPa]	Napätie v dotyku vo valivom bode
σ_{Hlim}^0	[MPa]	Medza únavy v dotyku zodpovedajúca bazovému počtu záťažných cyklov
σ_{Hlim1}	[MPa]	Medza únavy v dotyku materiálu pastorka
σ_{Hlim2}	[MPa]	Medza únavy v dotyku materiálu kolesa
σ_{Hmax}	[MPa]	Najväčšie napätie v dotyku vzniknuté pôsobením sily F_{t1}
σ_{HO}	[MPa]	Napätie v dotyku pri ideálnom zaťažení presných zubov
σ_{HP}	[MPa]	Prípustné napätie v dotyku
σ_{HPmax}	[MPa]	Prípustné napätie v dotyku pri najväčšom zaťažení
$(\sigma_t)_{max}$	[MPa]	Maximálne obvodové napätie
τ_s	[MPa]	Napätie v strihu
τ_{sDOV}	[MPa]	Dovolené napätie v strihu
Ψ_{bd1}	[-]	Pomer šírky kola ku priemeru

ZOZNAM TABULIEK

Tab.1	Technické parametre vstrekovacieho stroja e-mac 50/75/100 [13]
Tab.2	Technické parametre vstrekovacieho stroja Allrounder [14]
Tab.3	Technické parametre hydraulického vstrekovacieho stroja INTEC [15]
Tab.4	Technické parametre vstrekovacieho stroja TOSCHIBA MACHINE [16]
Tab.5	Technologické podmienky pre vstrekovanie základných termoplastov [17]
Tab.6	Technické parametre navrhovaného vstrekovacieho stroja
Tab.7	Možné rozmery nakupovaných závitoviek od firmy Boco [18]
Tab.8	Možné rozmery nakupovaných závitovkových valcov od firmy Boco [20]
Tab.9	Priemer trysky vzhľadom k hmotnosti výlisku [2]
Tab.10	Hlavné zvolené rozmery vybranej vstrekovacej trysky
Tab.11	Technické parametre topných pásov s keramickou izoláciou [22, 23]
Tab.12	Základné zvolené parametre ozubených kôl [25]
Tab.13	Technické parametre planétovej prevodovky MNT 140 [26]
Tab.14	Technické parametre synchronného servomotora 560 VDC TGN6-4400 [27]
Tab.15	Technické parametre planétovej prevodovky SG 155 [34]
Tab.16	Technické parametre synchronného servomotora 560 VDC TGN7-6000 [35]
Tab.17	Vlastnosti lineárneho puzdra R0741 540 00 [37]
Tab.18	Vlastnosti lineárneho vozíka FNS R1651 812 22 [37]
Tab.19	Vlastnosti pneumatického motora DSNU-50-200-P-A [38]
Tab.20	Vypočítané parametre prevodu guľôčkovou skrutkou
Tab.21	Technické parametre planétovej prevodovky SG 080 [41]
Tab.22	Technické parametre synchronného servomotora 560 VDC TGN3-0480 [42]
Tab.23	Technické parametre navrhnutého remeňového prevodu
Tab.24	Vlastnosti samostrediaceho puzdra SIT-LOCK 5A [43]
Tab.25	Vypočítané parametre prevodu guľôčkovou skrutkou
Tab.26	Technické parametre planétovej prevodovky BDB 250 [46]
Tab.27	Technické parametre synchronného servomotora 560 VDC TGN7-6000 [35]
Tab.28	Cenová kalkulácia

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č.1	Výkres zostavy – DP-2-001-2016
Príloha č.2	Výrobný výkres – DP-3-002-2016
Príloha č.3	Výrobný výkres – DP-3-003-2016