



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 DĚROVÁNÍ PROFILŮ

EQUIPMENT FOR PUNCHING PROFILES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Hudeček

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Omes, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Jan Hudeček
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Omes, 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 děrování profilů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Děrovací zařízení slouží k děrování otvorů do extrudovaných U profilů. Děrování probíhá letmo bez zastavení pohybu profilů. V profilech probíhá děrování jednoho lichoběžníkového otvoru v horní stěně a dvou obdelníkových otvorů v bočních stěnách. Děrovací zařízení je součástí automatické linky a jeho jednotlivé pohyby jsou synchronizovány s taktem celé linky.

Cíle diplomové práce:

- Situační plán linky
- Návrh děrovacího zařízení
- Časový harmonogram taktu linky
- Návrhové a kontrolní výpočty
- Sestavní výkres zařízení a vybraných podsestav
- Detailní výkresy min. dvou součástí

Seznam literatury:

Kamelandr, I. (1989): Tvářecí stroje I. skriptum Brno, VUT FS Brno.

Kamelandr, I. (1989): Tvářecí stroje II. skriptum Brno, VUT FS Brno.

Kamelandr, I. (1990): Mechanizace a automatizace výrobních strojů - Tvářecí stroje III. skriptum Brno, VUT FS Brno.

Kamelandr, I. (1991): Jednouúčelové stroje - Tvářecí stroje IV. skriptum Brno, VUT FS Brno.

Rudolf, B. a Kováč, A. (1979): Tvármíecí stroje. ALFA, Bratislava.

Rudolf, B. a Kopecký, M. a kol. (1979): Tvářecí stroje - Základy výpočtů a konstrukce. SNTL ,Praha, ALFA.

Rudolf, B. (1990): Výrobní stroje a zařízení II. skriptum Praha, ČVUT Praha.

Drastík, F. (1972): Výpočty v oboru kování a lisování. SNTL Praha.

ČSN 210001 (1996): Tvářecí stroje - všeobecné požadavky

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 výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 4
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí děrovacího zařízení na děrování kontinuálně extrudovaného plastového profilu. Toto zařízení je součástí větší výrobní linky. V teoretické části této práce nalezneme úvod do extruze plastu, stříhání, vlastností plastů a průzkum trhu s děrovanými plastovými profily. Praktická část se bude zabývat popisem výrobku, výrobní linky a návrhem konstrukčního řešení celého zařízení s výpočty a samotné konstrukce zařízení. Součástí této práce je i výkresová dokumentace vybraných dílů a 3D model.

KLÍČOVÁ SLOVA

zařízení na děrování plastového profilu z PVC, konstrukce zařízení na děrování plastového profilu z PVC, extruze plastů, stříhání

ABSTRACT

This thesis is focused on the construction of punching device for punching continuously extruded plastic profile. This device is part of a larger production line. The theoretical part of this work will be focused in an introduction to plastic extrusion, cutting, molding properties and market research with punched plastic profiles. The practical part will deal with the product description, production line and the structural design of the entire machine itself including calculations. Part of this work are also drawing of selected parts and a 3D model.

KEYWORDS

punching device for plastic profile PVC construction equipment for punching plastic profile PVC extrusion molding, cutting

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

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUDEČEK, J. Zařízení pro děrování profilů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 106 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Omes, Ph.D..

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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým dílem, kterou jsem samostatně zpracoval pod vedením Ing. Jiřího Omese, Ph. D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne

.....

Bc. Jan Hudeček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Omesovi, Ph.D. za vedení a jeho mnoha radám a připomínkám k mojí práci. Moje největší poděkování však směřuje majiteli firmy GYRUS s.r.o., panu Ing. Rostislavu Bačovi, kterému děkuji nejenom za odborné rady a mnohé konzultace k celému projektu, ale především za to, že mi takovýto projekt svěřil a dovolil realizovat. Déle bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr., který nade mnou stál po celou dobu studia.

A v neposlední řadě moje velké dík patří mojí rodině a přátelům, kteří při mně stáli nejenom po dobu mého studia.

ÚVOD.....	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 ZÁKLADY TECHNOLOGIE EXTRUZE PLASTŮ	11
1.1.1 Druhy vytlačovacích strojů.....	11
1.1.2 Tavení materiálu.....	12
1.1.3 Popis částí šnekového stroje.....	13
1.1.4 Druhy provedení šnekových strojů.....	15
1.1.5 Vytlačovací hlava.....	16
1.1.6 Kalibrační část	16
1.1.7 Chladicí vana	17
1.1.8 Odtahovací zařízení	17
1.1.9 Možné druhy zařízení pro dodatečné zpracování.....	17
1.2 ZÁKLADY TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ.....	18
1.2.1 Střížná síla a vznik trhliny	19
1.2.2 Střížná vůle	19
1.3 VLASTNOSTI POLYVINYLCHLORIDU (PVC)	21
1.3.1 Vlastnosti polyvinylchloridu	21
1.3.2 Termodynamické vlastnosti PVC.....	22
1.3.3 Problematika extruze PVC	22
1.4 PRŮZKUM TRHU S DĚROVANÝMI PLASTOVÝMI PROFILY A ZAŘÍZENÍ NA JEJICH VÝROBU.....	24
1.4.1 Plastové profily	24
1.4.2 Děrovací zařízení.....	26
2 PRAKTICKÁ ČÁST	27
2.1 POPIS VÝROBKU	27
2.1.1 Extrudovaný profil - polotovár.....	27
2.1.2 Finální výrobek.....	28
2.1.3 Použití výrobku ve stavebnictví.....	28
2.2 POPIS POČÁTEČNÍHO STAVU VÝROBNÍ LINKY.....	29
2.2.1 Umístění děrovacího zařízení - situační plán výrobní linky	30
2.2.2 Paralelní dvoušnekový extruder EBT.....	31
2.2.3 Chladicí vana	32
2.2.4 Odtah s automatickou pilou	33
2.3 NÁVRH KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ – ANALÝZA	33
2.4 NÁVRH DĚROVÁNÍ PLASTOVÉHO PROFILU	34
2.4.1 Návrhové výpočty děrování	34
2.4.2 Časový harmonogram taktu děrování.....	35
2.5 TYP POHONU PRO DĚROVÁNÍ.....	38
2.5.1 Výběr typu pohonu děrování	38
2.5.2 Výběr přímočarých hydromotorů.....	39
2.5.3 Navrhovaný výpočet hydraulického agregátu.....	43
2.5.4 Výroba hydraulického agregátu	45
2.5.5 Návrh ovládání řídicího systému pohonu	45
2.6 POHON POSUVU NÁSTROJE	47
2.6.1 Snímač rychlosti profilu	48
2.6.2 Výběr pohonu posuvu nástroje	49
2.6.3 Možné varianty provedení lineárního aktuátoru.....	50
2.6.4 Zvolení provedení, parametrů a rozměrů pohonu	51
2.6.5 Výběr pohonu posuvu nástroje	53
2.6.6 Finální parametry elektromechanického lineárního aktuátoru	53
2.6.7 Kontrolní výpočet pohonu posuvu nástroje	54
2.7 VÝBĚR LINEÁRNÍHO VEDENÍ	55
2.7.1 Výpočty lineárního vedení	56
2.8 ANALÝZA RIZIK.....	58
2.8.1 Seznam nařízení vlády a technických norem použitých při návrhu strojního zařízení	58

2.8.2	Postup při navrhování opatření.....	59
2.8.3	Vlastní analýza rizik.....	61
3	KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ PRO DĚROVÁNÍ PLASTU	68
3.1	NÁSTROJ.....	69
3.1.1	Konstrukce nástroje	69
3.1.2	Volba materiálů	72
3.1.3	Mechanické vlastnosti.....	73
3.2	PROPOJENÍ NÁSTROJE S POHONEM.....	73
3.2.1	Poloha pohonu a nástroje	73
3.2.2	Konstrukce propojení nástroje s pohonem.....	74
3.3	ZAJIŠTĚNÍ POHONU	76
3.4	LINEÁRNÍ VEDENÍ	78
3.5	KONSTRUKCE STOLU ZAŘÍZENÍ SE ZÁKLADOVOU DESKOU	81
3.5.1	Volba provedení konstrukce stolu	81
3.5.2	Popis svařence stolu.....	83
3.5.3	Odpad pro materiál.....	83
3.6	KRYTOVÁNÍ A BEZPEČNOSTNÍ PRVKY ZAŘÍZENÍ	84
3.6.1	Ochranné krytování s měřícím kolečkem	85
3.6.2	Ochranná zařízení	86
3.6.3	Doplňková ochranná zařízení.....	86
3.7	INSTALACE HYDRAULICKÉHO AGREGÁTU, HYDROMOTORŮ A ROZVODŮ.....	87
3.8	FINÁLNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY ZAŘÍZENÍ.....	88
4	ZÁVĚR.....	89

Úvod

Výroba děrovaných plastových profilů je velmi specifická činnost, kterou se zabývá pouze několik firem v České republice. Většina těchto výrobků je určena pro stavebnictví, kde se profily používají při zateplování, sádrokartonování, obkládání a betonování podlah. Pro výrobu takovýchto děrovaných profilů se často používají standardně vyráběné děrovačky pracující na rotačním principu a fungující zároveň jako odtah.



Obr. 1 Rotační lisovací stroj od firmy Märdian Werkzeug- und Maschinenbau GmbH

Cílem této diplomové práce je navrhnutí děrovacího zařízení pro děrování kontinuálně extrudovaného plastového profilu. Zadání a vypracování této práce proběhlo ve firmě GYRUS s.r.o.. Toto zařízení je součástí větší automatické linky na extruzi plastu. Obsah této práce se proto v teoretické části zaměřuje na základní popis technologie extruze plastu, stříhání a na vlastností plastů, především PVC. Praktická část bude rozdělena na popis výrobku a celé výrobní linky, výběr důležitých komponentů zařízení a analýzu rizik. V poslední části této práce pak bude popsána samotná konstrukce zařízení.

Tvar a materiál profilu, poloha a vzor děrování byl zadán zákazníkem. Profil bude sloužit ve stavebnictví, jako podpůrný prvek pod ocelovou výztuž do betonu. Požadavek na přesnost tedy není tak veliký. Plastový profil je nutné děrovat ze tří stran s tím, že profil se posouvá proměnlivou rychlostí - podle rychlosti extruze profilu z extrudéru. Zařízení je navrženo tak, aby investiční náklady byly co nejnižší. Výstupem této práce bude i 3D model celého zařízení, výkresová dokumentace některých částí a návod k obsluze.

1 Teoretická část

1.1 ZÁKLADY TECHNOLOGIE EXTRUZE PLASTŮ

Extruze PVC materiálů se skládá z několika navzájem na sebe navazujících procesů, tyto procesy na sobě závisí a je třeba jejich pořadí dodržovat. Výsledný výrobek je těmito procesy řízen a ovlivňován. [1]

Proces extruze vždy začíná přidáním vstupního materiálu, většinou se jedná o granule, nebo sypký materiál, v našem případě jde o recyklované PVC. Tento vstupní materiál se přidává do vstupní komory – násypky. Násypka poté vede do extrudéru (válec se šnekem), kde se plastový materiál zahřívá na teplotu tavení a je neustále tlačén šnekem kupředu. Teplota tavení se mění dle složení dostupného plastu. Po dosažení správné teploty je tavenina pod tlakem vytlačována přes vytlačovací hlavu a dále zpracována v následujících procesích do finálního produktu. [1]

1.1.1 Druhy vytlačovacích strojů

Vytlačovací stroje slouží pro kontinuální nebo diskontinuální výrobu desek, fólií, tyčí, trubek, profilů a jiných výrobků z plastu nebo kaučukových směsí. Vytlačovací stroje můžeme rozdělit podle způsobu zpracovávání taveného materiálu na: [2]

- Pístové
- Diskové
- Speciální
- Šnekové
 - o Jednošnekové
 - o Dvoušnekové
 - o Vícešnekové
 - S centrálním šnekem
 - Bez centrálního šneka

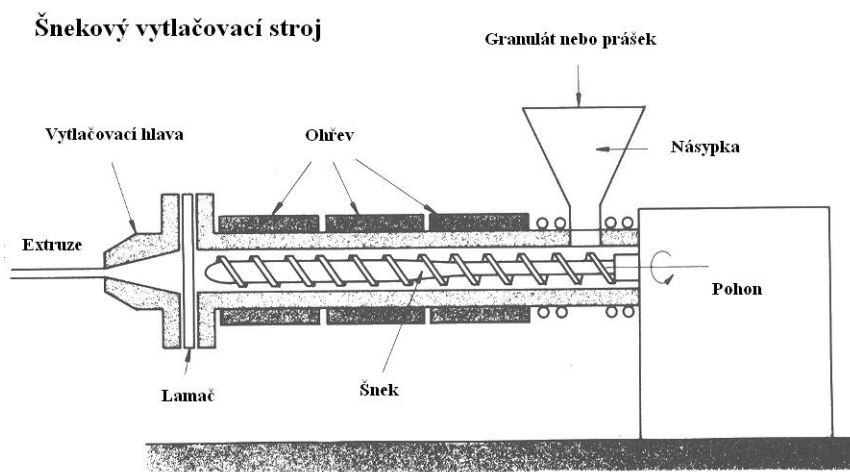
Nejrozšířenější jsou právě stroje šnekové. Tyto stroje se vyrábí v mnoha variantách, které se od sebe liší v poloze a tvaru šneku a provedení pracovní komory – válce se šnekem. Obecně platí, že kratší šneky se používají ke zpracování kaučukových směsí a delší šneky jsou využívány na zpracování plastů. [2]

Pro pohyb materiálu ve šnekovém stroji je nejdůležitější zajištění dvou různých povrchů válce a šneku. Povrch válce musí být drsný a povrch šneku naopak velmi hladký, jinak bez dostatečného tření nebude možné materiál posunovat kupředu – dojde k protáčení. Proto je třeba šneky leštit pro nízký koeficient tření a válce naopak drsnit, často i drážkovat, pro dosažení největších rozdílů v tření. Tvar šneku je pro každý polymer jiný. [3]

Pohon šneku je v provozu velice namáhán a při zpracovávání recyklovaného PVC je možné i krátkodobé přetížení, proto je vhodné pohon řešit dostatečně robustně. Tlaky vyvozené šnekem jsou zachycovány axiálními a radiálními ložisky. Válce menších strojů jsou většinou vyrobeny z nitridační oceli a válce větších strojů jsou odlévány z oceli a vypouzdřena vložkou z nitridační oceli. [3]

Teplo vzniká třením nebo se vede materiálem ze stěny válce, toto teplo vede k ohřevu materiálu podél šneku. Když teplota dosáhne bodu tání krystalického polymeru nebo teploty skelného přechodu amorfního polymeru, na povrchu válce se tak vytváří vrstvička taveniny. Další smykové

namáhání vyvolá víc viskózního tepla, které je vedeno k tuhému loži a roztaví více polymeru. Jakmile se tato vrstvička stane silnější než je vůle mezi lopatkou šneku a válcem, vytvoří se zásobník taveniny v zadní části šnekového kanálu. [3]



Obr. 2 Šnekový vytlačovací stroj [2]

Pro dosažení velké přesnosti vytlačovaných profilů by kolísání průtoku mělo být co nejmenší. V tomto režimu je nutné, aby vytlačovací stroj neustále pracoval. Toho lze dosáhnout jen při plném zatížení vytlačovacího stroje. Z toho důvodu na začátku a na konci extruze nedosahují produkty uspokojivé kvality. Extruze se proto nevyplácí při zpracování malých množství a při častém střídání polymerních hmot s rozdílnými vlastnostmi. [3]

1.1.2 Tavení materiálu

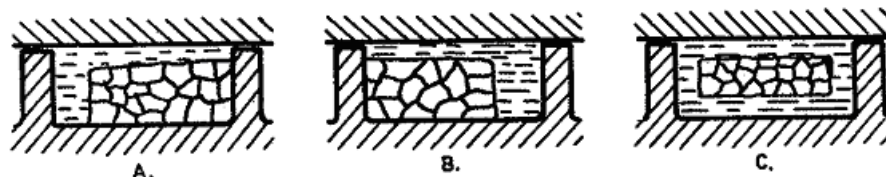
U kaučukových směsí se vstupní materiál do stroje dostává již v předeřátém stavu. U plastů však proces tavení začíná až po vstupu do násypky. Ten nejdůležitější proces tavení však probíhá až na šneku stroje a končí vytlačením do volného prostoru přes vytlačovací hlavu, kde se chladí a kalibruje. V pracovní komoře se tavený materiál mění v taveninu v několika různých pásmech. [4]

1.1.2.1 Vstupní pásmo

U vstupního pásma bývá problém nejčastěji se sypkým materiálem. Vstupní pásmo je neustále zahlcováno sypkým materiálem a tak je profil šneku pořád udržován na mezní hodnotě. Pro zabezpečení plynulého přísunu materiálu do šneku se často používá míchadlo zabudované do násypky. Vstupní pásmo se dále upravuje dle druhu zpracovávaného plastu. [4]

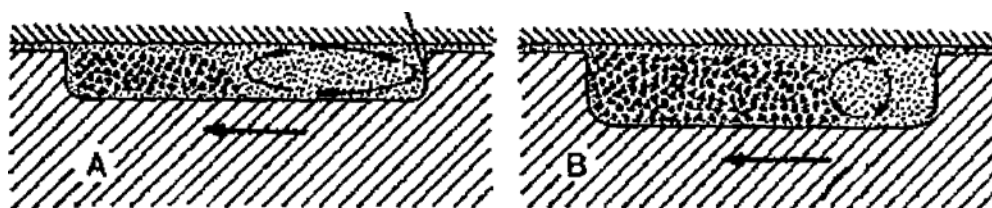
1.1.2.2 Přechodové pásmo

V přechodovém pásmu je šnekový kanál zaplněn zčásti tuhým a zčásti roztaveným materiálem. Tuhý materiál vystupující ze vstupního pásma postupně přechází do taveniny vlivem ohřevu od stěn válce a účinkem tření. Přitom bylo experimentálně zjištěno, že tuhé lože může být u čela profilu (Obr. 2 A) nebo u hřbetu profilu (Obr. 2 B), případně ve střední části profilu ze všech stran obklopené taveninou (Obr. 2 C). [4]



Obr. 3 Tavení materiálu ve šnekovém kanálu [4]

Tavení hmoty začíná převážně na povrchu pouzdra, odkud je roztavená hmota nabírána čelem profilu šneku a klouže nejprve po čele a posléze po další části profilu šneku (Obr. 3 A). Do kruhového pohybu, tzv. příčného toku (Obr. 3 B), je uváděno stále větší množství hmoty, až se plast zcela roztaví. [4]



Obr. 4 Tok taveniny na šneku [4]

1.1.2.3 Výstupní pásmo

Výstupní pásmo je konečnou částí šneku a představuje úsek obsahující převážné taveninu. Tok taveniny v této zóně je uskutečňován působením sil viskózního tření, které vznikají jako následek vzájemného pohybu šneku a pouzdra. [4]

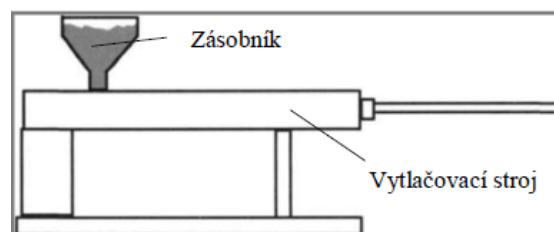
1.1.3 Popis částí šnekového stroje

1.1.3.1 Dávkovače

Dávkovače se starají o neustálý přísun materiálu do vstupní komory a tím pomáhají k zajištění nepřetržitého, kontrolovaného přísunu materiálu. Dávkovače jsou nejčastěji plněny plastovým materiálem ve formě granulí. [5]

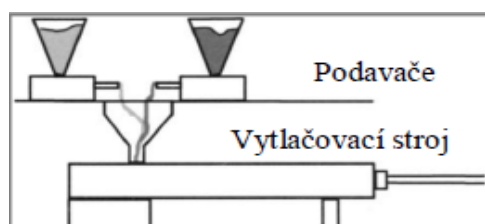
1.1.3.2 Záplavové krmení

Je to nejběžnější způsob provedení, krmení materiál se provádí ze zásobníku umístěného nad hrdlem. Vlivem gravitace se materiál sype do vstupní komory vytlačovacího stroje. [5]



Obr. 5 Záplavové krmení [5]

1.1.3.3 Hladovějící krmení

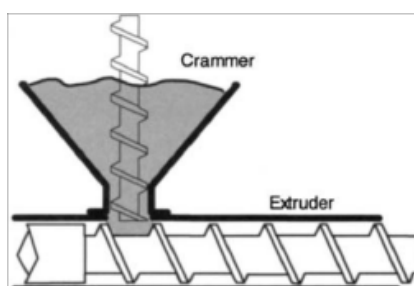


Obr. 6 Hladovějící krmení [5]

Materiál je podáván do pracovní komory rychlostí odpovídající rychlosti šroubování šneku. Materiál je dodáván v přesných dávkách a poměrech tak, aby se docílilo nepřesycování pracovní komory stroje. Využití tak najdeme při přesném podávání přísad do materiálu. [5]

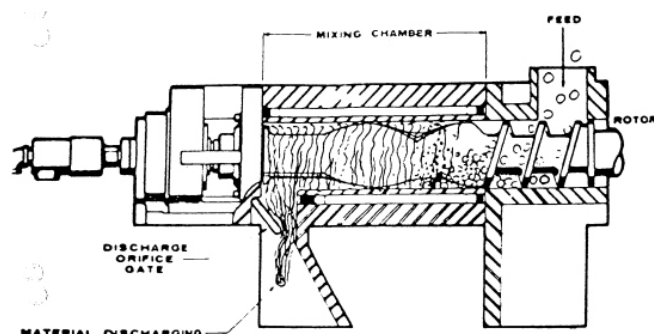
1.1.3.4 Nucené krmení

Nucené krmení se provádí, pokud se materiál těžko dostává přes hrdlo násypky. Nucené krmení je používáno pro podávání materiálů, které se špatně dostávají přes hrdlo násypky. Zde je nutné použít šroubový mechanismus, který uvnitř násypky tlačí materiál do stroje. Při tomto druhu krmení je důležité správné nastavení obou šroubů tak, aby nedocházelo k přesycování. [5]



Obr. 7 Nucené krmení [5]

1.1.3.5 Tavné krmení



Obr. 8 Tavné krmení [6]

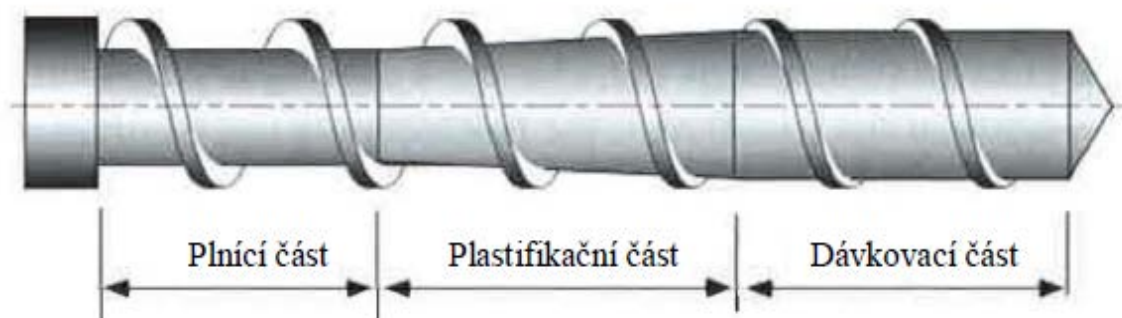
Při používání některých plastových materiálů, převážně kaučuků, je třeba tento vstupní materiál tepelně předpřipravit. Pro tento účel se používá třeba Farrell Continuous Mixer (FCM), který materiál dokáže nejenom tepelně, ale taky i předmíchat vstupní materiál s aditivy v požadovaném poměru. [5], [6]

1.1.4 Druhy provedení šnekových strojů

Šnekové stroje jsou nejrozšířenější typem extrudérů a pro jejich rozdělení se používá způsob uložení a počet šneků v pracovním prostoru.

1.1.4.1 Jednošnekový vytlačovací stroj

Šnek je základním funkčním prvkem celého vytlačovacího stroje, sloužícího k podávání, přepravě, tavení (promíšení) a vytlačení taveného materiálu. Tyto procesy se dějí na různých částech šneku a proto je třeba tvar šneku navrhovat pro každý materiál zvlášť. Tyto části šneku jsou popsány následovně: [5]



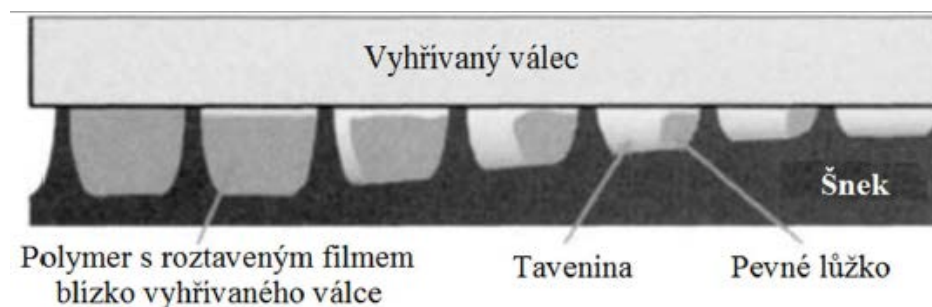
Obr. 9 Části šneku [5]

1) Plnicí část šneku

První zóna šneku je plnicí zóna, v které je materiál šnekem zachycován a podáván díky gravitaci a pohybu šneku dále. Zde je drážka šneku zaplněna pouze zčásti. [5]

2) Plastifikační část šneku

Materiál se z tuhého stavu (pokud není již tepelně předpracován) na úplnou taveninu mění až v plastifikační zóně. Teplo se dodává přes válec extrudéru a vzniká i samotným třením tavicího se materiálu. [5]



Obr. 10 Plastifikační zóna [5]

3) Dávkovací část šneku

Dávkovací část šneku obsahuje již pouze homogenní taveninu. Pohyb taveniny je vnucován přes boky a dna drážek a povrchem válce. Výsledkem je tažný tok taveniny. Výtlačný tok lze popsat jako výkon šnekového vytlačovacího stroje, který vytlačuje do volného prostoru - bez vytlačovací hlavy. Vytlačovací hlava vytváří odpor a tím napomáhá k vytváření tlakového profilu podél šneku. Tímto dochází k vytvoření dalšího proudění a to ve směru tlakového spádu. Mezi hřbetem a vnitřním povrchem válce zase vzniká tzv. tok vůlí. [5]

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

1.1.4.2 Dvoušnekový vytlačovací stroj

S přidáním šneku navíc narůstá náročnost pro konstrukci stroje v oblasti uložení a pohonu šneků. Šneky se otáčí buďto se stejným smyslem otáčení anebo s protiběžným smyslem otáčení. Šneky do sebe zapadají a tím vzniká řada komor, vytvořených profilem jednoho šneku a závitem druhého šneku. Tyto komory slouží k dopravě materiálu. Dvoušnekové vytlačovací stroje jsou lepší pro jejich homogenizační účinky, které ovšem závisí na směru otáčení šneků a na vůli mezi závitem a profilem šneků. Protiběžný směr otáčení má menší homogenizační účinnost než stejný směr otáčení. Díky zmiňovaným komůrkám je tlak v tavenině větší a celková extruze má i větší výkonnost. Problém však tvoří nutnost dostatečného a přesného zásobování, aby se zabránilo přetížení šneků a dosáhlo neustálého a rovnoměrného zásobování vytlačovací hlavy. [7]

1.1.5 Vytlačovací hlava

Vytlačovací hlava je část stroje následující po extrudéru, ve které extrudovaný materiál dostává jeho konečný tvar. Tento tvar je sice konečný, ale je třeba dalších procesů pro zafixování tohoto tvaru. Hlava musí být navrhnutá tak aby zaručovala pravidelný a trvalý tok taveniny. Problém by způsobila existence tzv. mrtvých prostor, kde by se materiál mohl zastavovat a v důsledku dlouhého kontaktu s vyhřívanou hlavou by degradoval. [7]

1.1.5.1 Hlediska při návrhu vytlačovací hlavy

Jako u každého složitějšího návrhu sestavy je třeba dbát na zajištění její výrobní proveditelnosti, správném výběru materiálu, provozní udržitelnosti, tepelném zpracování, snadné údržbě a možné modularitě. Nejdůležitější je především výběr správného materiálu, protože při zpracovávání plastů, především PVC, se vytváří vysoce korozní prostředí díky vysokým teplotám, tlakům a adheznímu opotřebením, takže materiál je velice namáhaný. Je tedy třeba volit nekorozní materiály schopné odolat těmto podmínkám a musí být zároveň dobře lešitelný kvůli otěrům.

1.1.6 Kalibrační část

Kalibrační část slouží k zafixování tvaru a rozměrů vytlačovaných profilů nebo trubek, díky rychlému chlazení povrchu materiálu. Kalibraci tak můžeme rozdělit dle způsobu chlazení:

1.1.6.1 Průvlaková kalibrace

Válec pouzdra průvlakové kalibrace je opatřeno šroubovitou drážkou, ve kterém při extruzi protéká chladicí kapalina. Tato kalibrace je vhodná na plastové trubky s větší tloušťkou stěny. Chlazení povrchu vytlačované trubky je natolik intenzivní, že tvar a rozměr zůstane po kalibraci fixní. [7]

1.1.6.2 Přetlaková kalibrace

Přetlaková kalibrace využívá tlaku vzduchu, který působí zevnitř na vytlačovaný profil a přitlačuje jej tak na kalibrační pouzdro. Vzduch je nutné dodávat přes vytlačovací trn. Pouzdro kalibrace je chlazeno vodou. Tento druh kalibrace je vhodný pro trubky a duté profily, kde vháněný vzduch proudí i dutinami profilu a fixuje tvar a rozměry i zevnitř. [7]

1.1.7 Chladicí vana

Chladicí vana slouží jako finální prvek kalibrace, kde se zajišťuje, aby vytlačovaný materiál měl právě takovou teplotu, která je potřebná, aby nedocházelo k jeho nechtěným deformacím při jeho následném zpracování v dalších zařízení vytlačovací linky. Chlazení nastává při ponoru nebo sprchováním vytlačovaného profilu ve vodě nebo v jiném chladicím médiu. Typ a způsob chlazení je třeba volit pro každý materiál zvlášť pro jejich specifické použití a složení. Délku chladicí vany je třeba volit vzhledem ke zpracovávanému materiálu, jeho vlastnostem, rychlosti vytlačování a síly stěny profilu.

1.1.8 Odtahovací zařízení

K odtahu profilu slouží pásové nebo válcové odtahovací zařízení. Odtah slouží k nasměrování, přepravě a vedení profilu do následujícího zařízení ve výrobní lince bez poškození či deformace profilu. K odtahu se používají válcové a pásové odtahy. Rozdíl mezi válcovým a pásovým odtahem je počet ploch, na které mohou třecí a tažné síly působit. [14]



Obr. 11 Odtahovací zařízení (pásový, válcový) [13]

1.1.9 Možné druhy zařízení pro dodatečné zpracování

1.1.9.1 Tvarovací zařízení

Součástí výrobních linek jsou různé druhy tvarovacích zařízení sloužící třeba pouze ke krácení extrudovaného profilu na požadované délky nebo zařízení pro děrování, vyřezávání a povrchové upravování extrudovaného profilu.

1.1.9.2 Navíjecí zařízení

Navíjecí zařízení se používají pro navíjení plastových kruhových profilů, nebo trubek za účelem lepšího skladování a dopravy produktu. Navíjecí zařízení musí být synchronizováno s rychlostí extruze tak, aby se vytlačovaný profil správně navinul na buben s cívkou. O správné a přesné řádkování se stará řádkovač. [14]

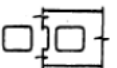
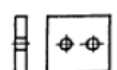
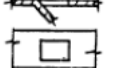
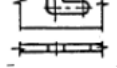
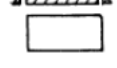
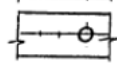
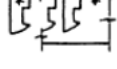


Obr. 12 Navíjecí zařízení [13]

1.2 ZÁKLADY TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

Stříhání je nejrozšířenější operace tváření z důvodu její velké efektivity a nízkých nákladů při výrobě jak polotovarů, tak hotových výrobků. Stříhání je velice využíváno při práci s plechovými a plastovými polotovary ve velkých sériích, u kterých je použití technologií vyřezávání velice nákladné a zbytečně zdouhavé. Při stříhání kovových i nekovových materiálů platí obecně stejná pravidla. Mechanické vlastnosti plastů se od vlastností kovů liší pouze tím, že jsou podstatně více závislé na teplotě a především na čase.

Stříhání je provedeno buďto v jednom kroku, kdy po stříhu dostaneme hotový výrobek, nebo probíhá ve více krocích. Při více krocích je třeba vždy myslet na zajištění správné pozice materiálu v dalším kroku. Střih je proveden pomocí střížných nástrojů, ukotvených v lisech nebo jiných zařízeních. Materiál je střížen střížníkem na střížnici, při správně zvolené vymezené střížné vůli. Materiál je tvářen pomocí střížné síly působící v protilehlých střížných hranách způsobujících v řezné rovině smykové napětí.

Název operace	Popis operace	Schéma operace	Schéma nástroje
Prosté stříhání	Rozdělování materiálu nebo polotovarů na části.		
Vystřihování	Vystřížení tvaru z materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výstřížek.		
Děrování	Prostřížení otvoru v materiálu nebo polotovaru. Vystřižená část tvoří odpad.		
Prostřihování	Částečné oddělení materiálu v určitém tvaru uvnitř dílce.		
Prosekávání	Postupné prosekávání vnějších tvarů a otvorů v materiálu.		
Ostřihování	Oddělení nerovného kraje nebo přebytečného materiálu plochých nebo dutých součástí.		
Přistřihování	Dosažení přesných rozměrů součástí, hladkého a kolmého povrchu stříhu. (odstraněním přídatku materiálu)		
Vysekávání	Oddělování součástí z nekovových materiálů podél uzavřené křivky na podložce.		
Přesné stříhání	Výroba přesných součástí s kvalitní střížnou plochou.		

Obr. 13 Druhy stříhání [15]

1.2.1 Střížná síla a vznik trhliny

Určení střížné síly je důležité pro správný návrh nástroje a výběr stroje, nebo zařízení, které bude konat vlastní stříh. Tato síla vzniká působením střížných dvojic. V reálných střížných podmínkách nedochází k ideálnímu stříhu, vzniká kombinované namáhání. Z tohoto důvodu je vždy třeba uvažovat o zvětšení síly o 20%-50%. Při vnikání střížníku do materiálu dochází ještě ke zpevnění materiálu a tudíž i k nárůstu odporu. Tento odpor vzniká po překročení meze kluzu a pokračuje až do dosažení meze pevnosti.

- Střížná plocha [mm²]**

$$S = L \cdot s \quad (1)$$

Kde:

L [mm] délka stříhu

s [mm] tloušťka materiálu

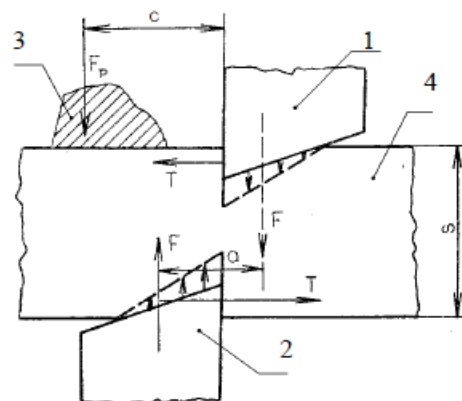
- Maximální střížná síla [N]**

$$F_{max} = S \cdot R_{ms} \cdot k \quad (2)$$

Kde:

k [-] součinitel řezných podmínek

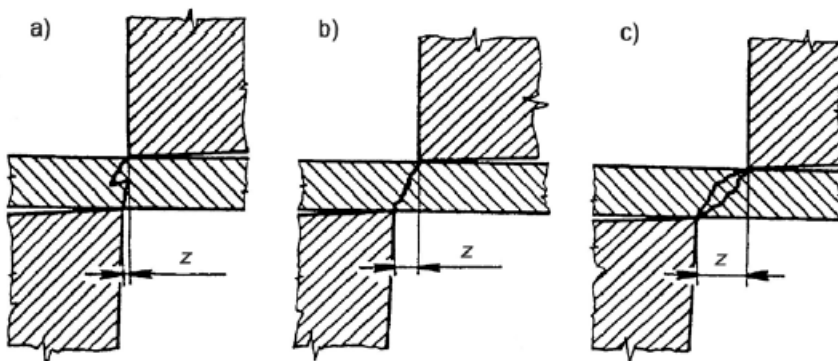
R_{ms} [MPa] pevnost ve stříhu



Obr. 14 Silové působení při stříhu (1 – střížník, 2 – střížnice, 3 – přidržovač, 4 – stříhaný plech) [2]

1.2.2 Střížná vůle

Jeden z hlavních faktorů ovlivňujícím kvalitu a jakost u stříhání, je správně zvolit střížnou vůli, tedy rozdíl rozměrů pracovních částí střížníku a střížnice. Střížná vůle je faktor ovlivňující nejenom kvalitu a jakost stříhu ale i životnost nástroje nebo spotřebu energie.



Obr. 15 Vliv střížné mezery z na kvalitu střížné plochy (malá, optimální a velká střížná mezera) [2]

Při výrobě střížného nástroje je proto nutné zajistit dodržení přesných rozměrů a předepsaných tolerancí. Střížná vůle musí být stejná na všech místech střížné křivky stříhu, tím se zamezí vzniku vad na střížku, střížnici a výrobku nebo polotovaru samotném.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Velikost střížné vůle je závislá především na stříhaném materiálu a jeho tloušťce. Optimální vůle je taková vůle, u které dosáhneme požadované přesnosti a kvality stříhu za použití co nejmenší střížné síly. Obvykle se ale velikost volí v rozmezí mezi 3-20% tloušťky stříhaného materiálu, což jsou řádově setiny až desetiny na stěnu. Střížná mezera je rovna polovině střížné vůle.

Určení velikosti střížné mezery [mm²]:

- *Pro tloušťku do 3 mm*

$$z = c \cdot t_p \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (3)$$

- *Pro tloušťku nad 3 mm (do 10 až 12 mm)*

$$z = (1,5 \cdot c \cdot t_p - 0,015) \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (4)$$

Kde:

c [-] koeficient závislý na druhu stříhání (volí se v rozmezí 0,005 ÷ 0,035)
 R_{ms} [MPa] pevnost materiálu ve stříhu
 t_p [mm] tloušťka plechu

1.3 VLASTNOSTI POLYVINYLCHLORIDU (PVC)

Polyvinylchlorid (PVC) je všestranný materiál díky jeho závislosti na přidaných látkách, které ovlivňují jeho mechanické a chemické vlastnosti. PVC může být pružný nebo pevný, čirý nebo barevný, dle potřeby jeho použití a nároků na jeho kvalitu. [8]

PVC je tak dostatečně silný, snadno mísitelný, tavitelný, opracovatelný, má velice dobrou životnost a stálost a zároveň je i velice špatně hořlavý. Dalšími úpravami lze dosáhnout i speciálních vlastností jako odolností vůči kapalinám, plynům a parám. Jeho složení se skládá z 43% ropy a zbytek ze soli, což z PVC dělá nejlépe recyklovatelný plast na světě. PVC je zároveň vědecky nejprozkoumanější materiál v ohledu na dopad na životní prostředí, zdraví a bezpečnost – jeho nejstinnější stránky ale stále zůstává jeho výroba, při které vzniká velký počet silně toxických chemických látek, jako je dioxin, kyselina chlorovodíková a vinylchlorid. [8]

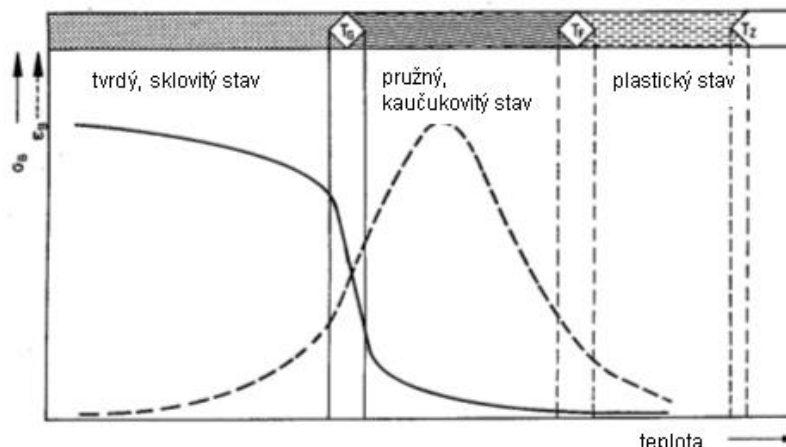
1.3.1 Vlastnosti polyvinylchloridu

Tabulka 1 Vlastnosti PVC [9]

Obecné vlastnosti		
Hustota	1 160 - 1450	kg/m ³
Cena	1,3 – 1,8	EUR/kg
Krystalinita	5,4 – 15	%
Mechanické vlastnosti		
Youngův modul pružnosti	1,12 – 4,83	GPa
Modul objemové pružnosti	4,7 – 4,9	GPa
Modul pružnosti v ohybu	1,29 – 4,69	GPa
Modul pružnosti ve smyku	0,77 – 1,49	GPa
Pevnost v tahu	14 – 80	MPa
Pevnost na mezi kluzu	17 – 52	MPa
Mez pevnosti	40 – 60	MPa
Tvrdost – Vickers	10,6 – 15,6	HV
Tvrdost – Rockwell	79 – 113	R
Tažnost	3 – 120	%
Vrubová houževnatost IZOD	0,3 – 12,9	%
Lomová houževnatost	1,46 – 5,12	Mpa.m ^{1/2}
Fyzikální vlastnosti		
Teplota tavení	200 – 212	°C
Bod měknutí VICAT	63 – 89	°C
Teplota skelného přechodu	81	°C
Min. provozní teplota	(-129) – (-73)	°C
Max. provozní teplota	80	°C
Teplota zpracování	180 – 210	°C
Měrné teplo	1,355 – 1,445	kJ/kg.K
Teplotní součinitel roztažnosti	45 – 125	10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Hořlavost UL94	V-1, V-0	-
Elektrický odpor	10 ⁵	Ω.cm
Průrazné napětí	6	MV/m
Dielektrická konstanta	3,1 – 4,4	-
Disipační faktor	0,03 – 0,1	-
Index lomu	1,54 – 1,56	-

1.3.2 Termodynamické vlastnosti PVC

Vlastnosti PVC, jako i u ostatní polymerů, jsou výrazně závislé na teplotě. Vlastnosti se tak během změny teploty mění velice rychle a v přechodových oblastech přímo skokově. V přechodových oblastech existují přechodové teploty: T_g – teplota zasklenění (nebo teplota skelného přechodu), T_f – teplota viskózního toku, T_z – teplota tání degradace materiálu. [10]



Obr. 16 Průběh deformačních vlastností [10]

U PVC se hodnota meze pevnosti v tahu (a také modul pružnosti) se v přechodové oblasti teploty zasklení T_g mění skokově, modul pružnosti se tak posune cca o tři řády a koeficient roztažnosti poskočí až o 100%. Konkrétní hodnoty tak závisí na velikosti mezimolekulárních sil, čím silnější síly, tím bude teplota zasklení vyšší, a ohebnosti řetězců, kde větší ohebnost naopak teplotu zasklení snižuje. Další úpravy teploty zasklení jde ovlivnit přísadami, změkčovadly, snižující mezimolekulární soudržnost. Pro PVC je teplota zasklení 81 °C. [10]

Nad teplotou zasklení se nachází teplota viskózního toku T_f při níž PVC ztrácí své předešlé vlastnosti a mění se na vysoce viskózní kapalinu. Nad touto teplotou leží oblast pro zpracovávání (extruzi) PVC. Další zvyšování teploty pak začne snižovat mezimolekulární síly a tím tavenina začne ztrácet svoji viskozitu až do bodu vzniku degradace materiálu T_z . [10]

1.3.3 Problematika extruze PVC

Problematika s vlastnostmi PVC při extruzi je obecně stejná jako při extruzi zbylých druhů plastových materiálů. S těmito negativními faktory, vznikajícími tepelným zpracováním, je tak třeba počítat při návrhu všech zařízení výrobní linky.

1.3.3.1 Zamrzlá orientace polymerních řetězců

Deformace polymerních řetězců vzniká účinkem vnějšího napětí v jeho směru, čili ve směru extruze. Po uvolnění napětí, vytlačení plastového materiálu z vytlačovací hlavy, mají polymerní řetězce snahu na návrat do původního stavu v tzv. relaxační době. Největší smykové napětí vzniká až na stěně při výstupu materiálu z hlavice, a proto mají polymerní řetězce největší orientaci na povrchu výrobku. Jakmile tedy na výrobek přestane působit napětí, řetězce se začnou vracet do původního stavu. Při normální teplotě je relaxační doba velmi dlouhá a to vede k zůstatku zbytkové orientace polymerních řetězců po prakticky neomezenou dobu – tzv. zamrzá.

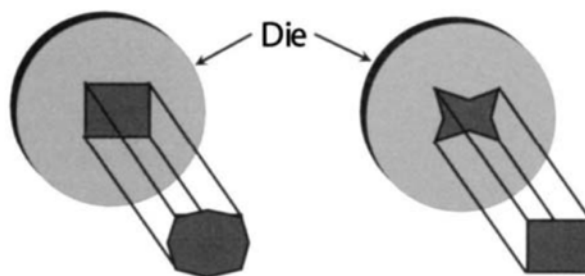
Zamrzlou orientaci doprovází nechtěné vnitřní pnutí, které závisí na následujících faktorech: [5]

- stupni počáteční orientace
- průměrných relaxačních dob taveniny v rozsahu teplot mezi teplotou zpracování a teplotou tuhnutí PVC
- čase, který je k dispozici pro zrušení orientace

Pro zabránění vzniku zamrzlé orientace je nutné správně volit technologické parametry při extruzi (teplota, tlak, přesné složení materiálu,..) nebo lze výrobek temperovat při obdobné teplotě. Zde je třeba zajistit, aby nedošlo k nežádoucím tavným účinkům na výrobek. [5]

1.3.3.2 Narůstání za vytlačovací hlavou

Narůstání za vytlačovací hlavou je častý nežádoucí faktor, u kterého vytlačovaný výrobek zvětšuje svůj průřez ihned za vytlačovací hlavou, způsobený normálovým napětím, kdy polymerní řetězce orientované ve vytlačovací hlavě se po uvolnění napětí vracejí do polosbaleného stavu a výrobek se v podélném směru smršťuje a v příčném směru narůstá za těchto podmínek: [5]



Obr. 17 Narůstání za hubicí [5]

- narůstání za hubicí vzrůstá se smykovou rychlostí
- při konstantní smykové rychlosti narůstání za hubicí klesá s klesající teplotou, ale maximum poměru narůstání s rostoucí teplotou vzrůstá
- při konstantní smykové rychlosti narůstání klesá se zvětšující se délkou hubice
- čím delší je doba průchodu taveniny hubicí, tím menší je narůstání za hubicí

1.3.3.3 Poruchy toku

Poruchy toku vznikají při extruzi materiálu za takových podmínek, kdy smyková rychlost nebo smykové napětí překračuje kritickou mez, která je závislá na teplotě, složení zpracovávaného materiálu a jeho relativní molekulové hmotnosti. Poruchy toku se tak projevují zubovitým povrchem profilu. [5]

Tuto poruchu toku lze odstranit nebo redukovat následujícími způsoby: [5]

- Leštění, lapování tokového kanálku vůči proudění taveniny
- Redukovat smykové napětí na výstupu
- Použití přísad na zlepšení tokových vlastností
- Použití vnitřního mazání
- Zvětšit teplotu taveniny v extrudéru
- Rozšířit tokový kanálek
- Zvýšit teplotu vytlačovací hlavy

1.3.3.4 Deformace a smršťování při chlazení

Chlazení způsobuje zvětšení hustoty vytlačovaného plastu a tím dochází ke zmenšení velikosti. U amorfních plastů tento jev není tak znatelný díky neuspořádané mřížce. Zmenšování velikosti neprobíhá v celém výrobku rovnoměrně. U dílů s tlustou stěnou se tak mohou vyskytovat vzduchové kapsy



Horká plastová tavenina



Zchlazený plast

Obr. 18 Smršťování při chlazení [11]

uvnitř stěny, vlivem různé rychlosti chlazení na povrchu a jádru výrobku. Takové deformace mohou způsobit vážnější problémy, pokud výrobek má žebra, na kterých úbytek materiálu může být až kritický (Obr. 17). Této deformaci lze předejít správným zvolením rychlosti ochlazování, nebo použitím kaskádových chladících nádrží, kde výrobek vstupuje nejprve do teplejší vody a následně postupuje do studenějších pásů. Tyto chladicí vany jsou však technologicky a cenově náročnější. [11]

1.4 Průzkum trhu s děrovanými plastovými profily a zařízení na jejich výrobu

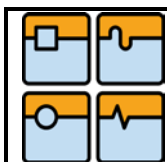
1.4.1 Plastové profily

Použití plastových profilů je všestranné. Průzkum je tedy zaměřen primárně na stavebnictví, kde je největší poptávka po tomto druhu produktu. Plastové profily s děrováním jsou využívány ve stavebnictví především jako materiál pro:

- Zateplování
- Suchou stavbu (sádkarton, pórobeton)
- Vnitřní a vnější omítky
- Obklady

Profily z PVC se pro toto použití hodí z důvodu jejich velké stálosti a odolnosti vůči vnějším podmínkám, nízké ceně a snadné modifikovatelnosti vlastností PVC. Třeba pro přesnější, čili složitější tvary profilů, lze použít PVC materiál lepší kvality a různých příměsí. Konstrukční řešení takovýchto zařízení pro výrobu děrovaných profilů jsou většinou firmami utajována a pečlivě střežena. Pouze finální produkty těchto zařízení jsou dostupné. Na následujících obrázcích jsou produkty firmy MATEICIUC a.s. a RETIX s.r.o..

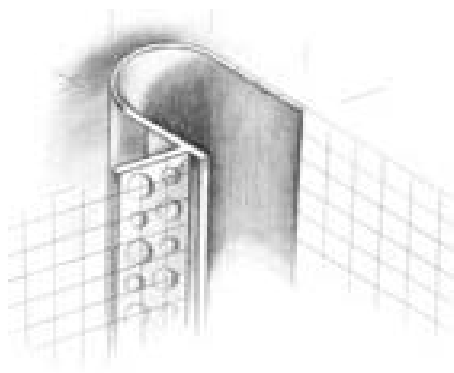
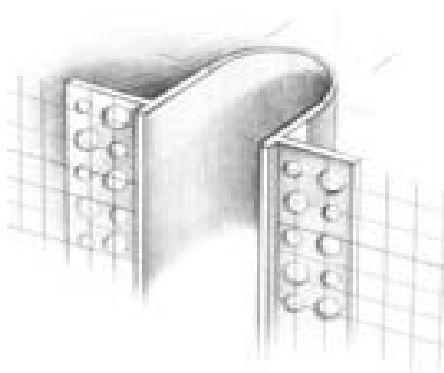




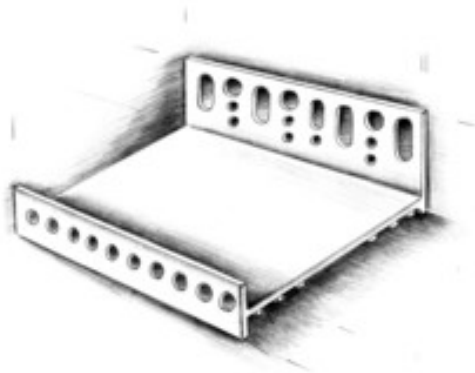
Obr. 22 PVC profily pro vnitřní a vnější omítky [16]



Obr. 21 PVC profily obkladové [16]



Obr. 23 PVC profily pro zateplovací systémy [17]



Obr. 24 PVC profily pro zateplovací systémy [17]

1.4.2 Děrovací zařízení

V praxi se pro děrování jednoduchých tvarů děrování a profilů používají standardní rotační lisovací zařízení, které fungují na principu rotování dvou kol (válců) umístěné nad sebou. Vrchní kolo je s razníky a spodní kolo slouží jako raznice s dírami. Odpad se pak rotací dostává z děr do odpadní části pod koly. Výrobou takovýchto zařízení se zabývá například německá firma Märdian Werkzeug- und Maschinenbau GmbH.

- Rotační lisovací zařízení typ RS 150

Velikost	D 713 x H 690 x V 1688 mm
Hmotnost	cca 350 kg
Rychlost extruze	max. 50 m/min.
Výška extruze	min. 1000 mm ± 100 mm
Výkon pohonu	1 kW / 3 kW
Příkon	400 V / 16 A



Obr. 25 RS 150 [29]

- Rotační lisovací zařízení RS 75

Velikost	D 713 x H 690 x V 1688 mm
Hmotnost	cca 200 kg
Rychlost průchodu	max. 250 m/min.
Výkon pohonu	1 kW
Příkon	400 V / 16 A



Obr. 26 RS 75 [29]

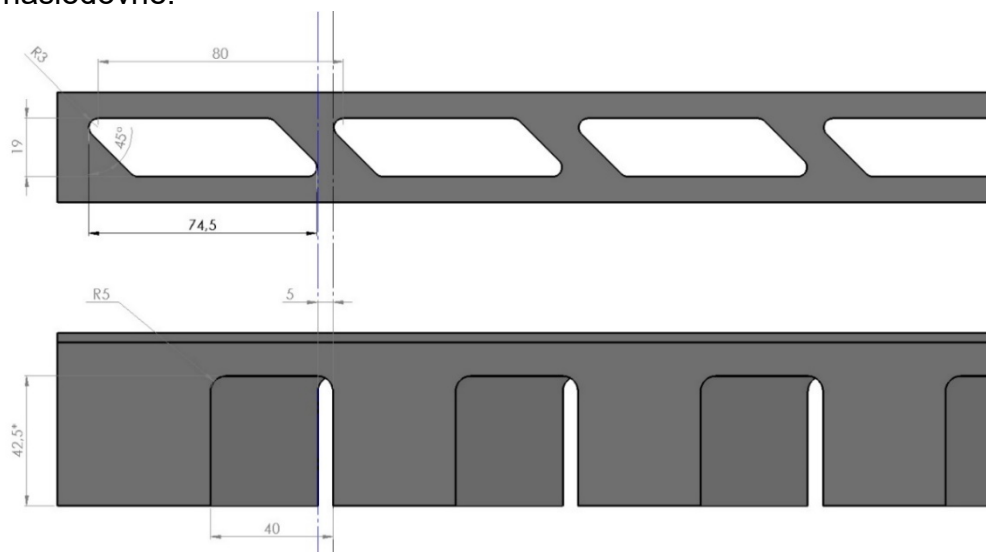
Výhodou použití těchto zařízení je jejich vysoká rychlost: RS 150 dosahuje 50 m/min. a RS 75 až 250 m/min. při výkonu pohonu pouze 1 kW. Lze zpracovávat téměř všechny materiály: plasty, pryž, karton, fólie, kůži i textilie při tloušťce materiálu až 3 mm – a dokonce i kovové fólie do max. 0,8 mm. Snadno je lze integrovat do jakékoliv extruzní linky. Kompaktní konstrukce, nízká cena a hmotnost, snadná obsluha a téměř žádná údržba je velkou výhodou [29].

Nevýhoda pro použití těchto zařízení v tomto případě je jejich specifická oblast použití. Tímto zařízením lze děrovat pouze jednodušší tvary a při použití jednodušších tvarů profilů. Pro děrování „U“ profilu ze tří stran se toto řešení použít nedá. Konstrukce bezvúlového převodového systému je navíc v těchto zařízeních velice složitá a vyžaduje velké praktické zkušenosti.

2 Praktická část

2.1 Popis výrobku

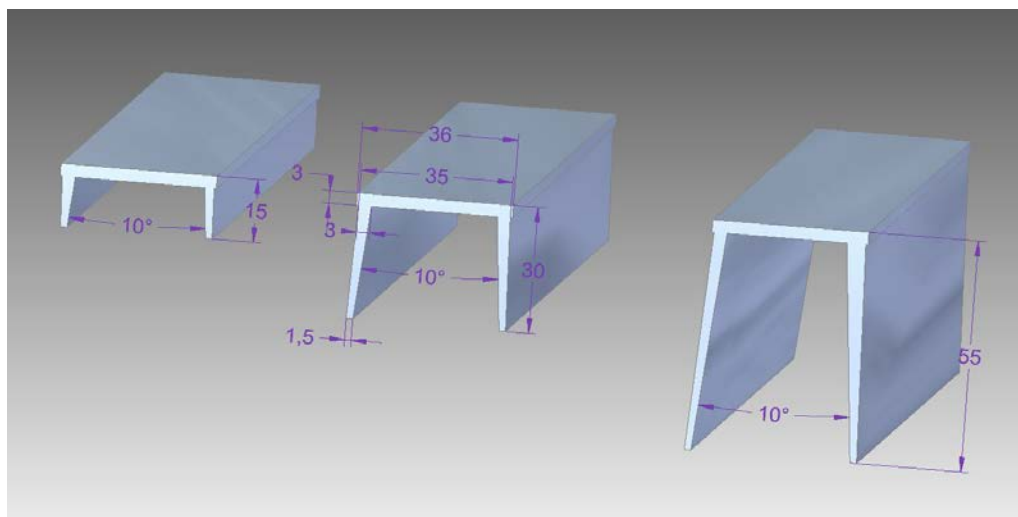
V diplomové práci je řešeno děrovací zařízení profilu z PVC. Tento profil je využit pro fixaci ocelových výztuží v betonu. Proto snaha výrobce je využít levný, recyklovaný plast pro výrobu plastového „U“ profilu za použití technologie extruze plastů. Tento polotovár je nadále určen na další zpracování. Dalším zpracováním je děrování plastového profilu za pomoci strojního zařízení. Rozměry tvaru děrování profilu vypadají následovně:



Obr. 27 Rozměry děrování profilu

2.1.1 Extrudovaný profil - polotovár

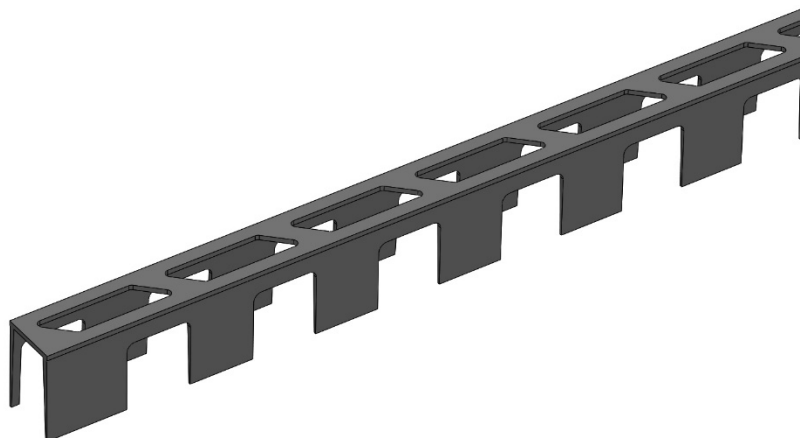
Extrudovaný profil lze vidět na Obr 25. Materiál extrudovaného profilu je recyklované PVC. Profil se bude extrudovat ve třech provedeních a to: 15 mm, 30 mm a 55 mm (tj. výška profilu). Tloušťka stěny profilu je 3 mm. Tato šířka se na bočních stěnách zužuje z 3 mm na 1,5 mm. Boční stěny se sebou svírají úhel 10°. Profil je extrudován maximální rychlostí 6 m/min.



Obr. 28 Tvary extrudovaného profilu

2.1.2 Finální výrobek

Vzhled finálního výrobku lze vidět na Obr. 26. Střih tak bude proveden ve svislém a vodorovném směru. Provedené děrování slouží jako odlehčení profilu, a pro umožnění protékání betonu, při jeho použití ve stavebnictví. Požadavek je, aby odlehčení bylo co největší, tzn., díry musí být co nejbližší u sebe. Minimální rozteč děr tak byla dána 80 mm z důvodu konstrukce nástroje. Profil se bude vyrábět v 6 m, 4 m a 2 m délkovém provedení.



Obr. 29 Finální tvar plastového profilu

2.1.3 Použití výrobku ve stavebnictví

Ve stavebnictví se používají dva způsoby podložení železné výztuže do betonu. Pomocí distanční podložky (Obr. 28) a plastových profilů (Obr. 27). Nevýhodou distančních podložek je jejich nešikovnost a časová náročnost při připínání k železné výztuži u betonování větších ploch. Profily jsou tak mnohem jednodušší na instalování a tím mnohem používanější, z tohoto hlediska je jejich použití častější.



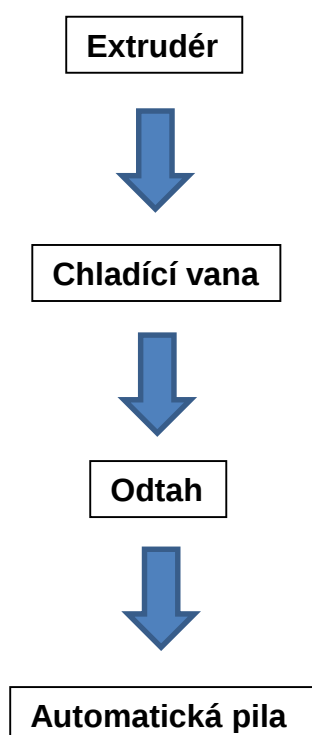
Obr. 31 Plastová distanční podložka



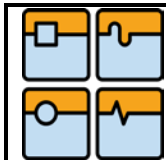
Obr. 30 Železná výztuž podložena plastovým profilem

2.2 Popis počátečního stavu výrobní linky

Samotná linka na extruzi plastového profilu se skládá z dvoušnekového extrudéru, chladicí vany s kalibrací a odtahu s automatickou pilou. Samotné zařízení na děrování tak bude umístěno mezi odtahem a automatickou pilou. Součástí linky má být i zásobník na hotové profily umístěný za pilou.

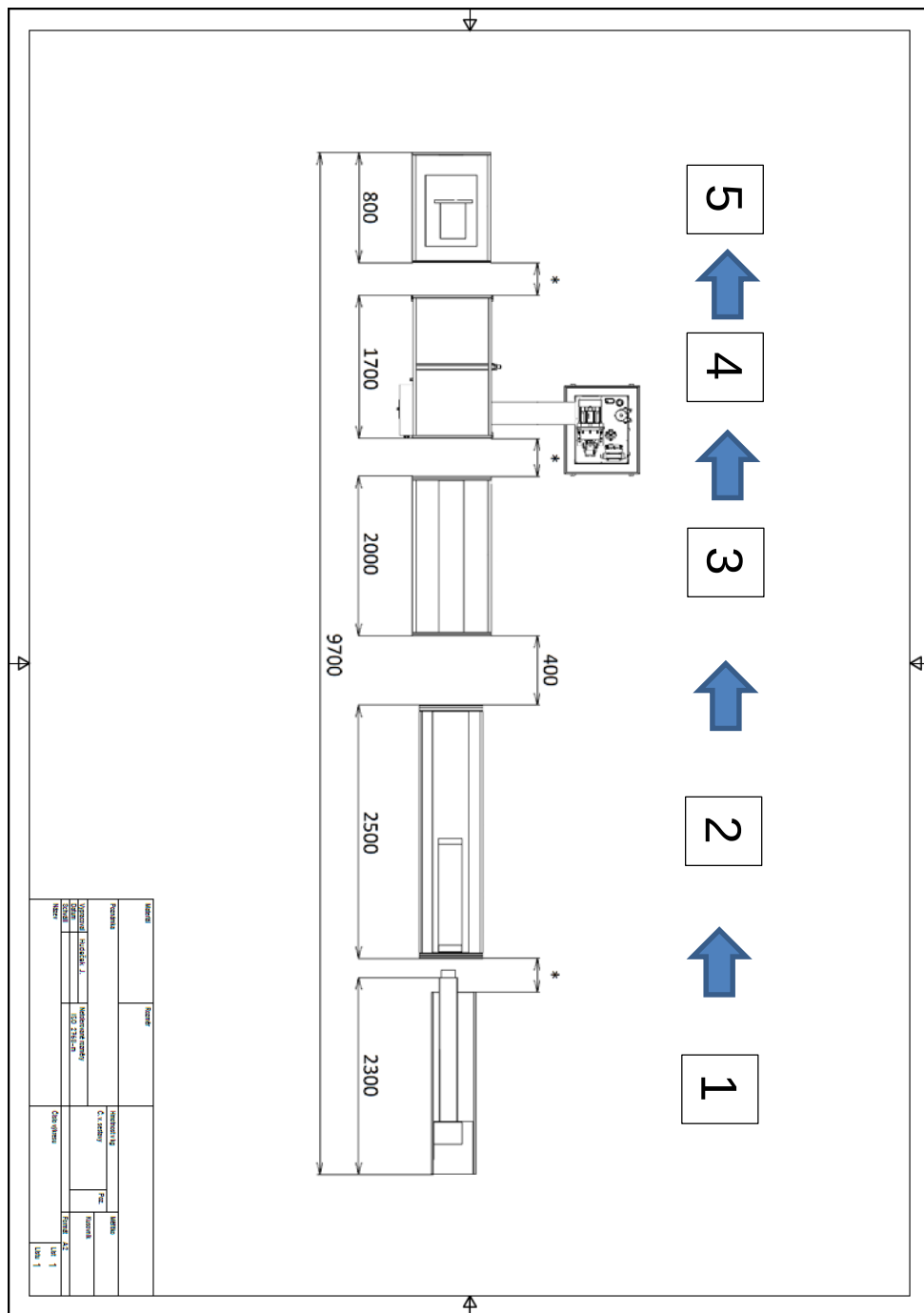


Obr. 32 Výrobní linka na plastové profily



2.2.1 Umístění děrovacího zařízení - situační plán výrobní linky

Místo pro instalaci děrovacího zařízení do stávající linky se získá rozpojením odtahu a automatické pily, které prvně sloužilo jako jedno zařízení na odtah a krácení profilu. Umístění děrovacího zařízení mezi tyto dvě části linky způsobí, že jednotlivé části linky už nebudou pevně a bezpečně spojeny. Zařízení na děrování proto bude nutno podle normy ČSN EN ISO 12100:2011 umístit tak, aby mezery (kóta „*“ na Obr. 29) mezi krytváním děrovacího zařízení, odtahu a pily byly minimální, nejlépe nulové.



Obr. 33 Situační plán výrobní linky s děrovacím zařízením

1 – Extrudér BOCOMATIC EBT67,2 - chladič vana s kalibrem, 3 – odtah, 4 – zařízení na děrování, 5 – automatická pila

2.2.2 Paralelní dvoušnekový extruder EBT

Extrudér BOCOMATIC EBT67 je navržen pro extruzi velké škály plastových materiálů. Jeho dvoušnekové paralelní provedení je velice vhodné pro vysoký výkon, čili pro extruzi velkého množství materiálu. Jeho řídicí systém je velice flexibilní a tak je velice snadné přizpůsobení extrudéru k vlastnostem právě vytlačovaného materiálu. Šneky jsou nitridované, pancéřované a tvrdochromované a komora je upravena nitridací. Parametry tohoto typu extrudéru jsou uvedeny v následující tabulce:

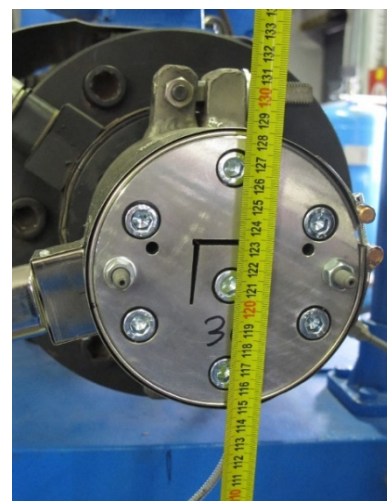


Obr. 34 Extrudér EBT od firmy BOCOMATIC [18]

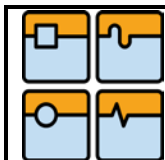
Tabulka 2 Modely extrudéru [18]

Model		EBT55	EBT67	EBT68	EBT75	EBT90	EBT110
Šneky Ø	mm	55	67	68	75	90	110
L/D	-	20	22	25	25	23/26	25
Otáčky šneku	ot/min	30	30	35	35	35	35
Výkon hlavního motoru	kW	11	22	30	33	43/53	82
Celkový instalovaný příkon	kW	25	44	55	65	75/95	140
Rozměr - délka	mm	2260	3800	4150	4500	5100/5125	6123
Rozměr - šíře	mm	1100	1050	1300	1400	1235/1400	1600
Rozměr - výška s násypkou	mm	2230	2300	2300	3380	2430/2635	2675
Výkon	kg/hod	70	140	180	220	300/350	600

Extrudér je opatřen třemi výměnnými hlavami pro extruzi, které se mohou měnit dle typu (výšky) právě vytlačovaného profilu. Vzdálenost vrchní hrany profilu od země je vždy cca 1235 mm a tato výška extruze profilu bude zachována i pro vedení profilu do zařízení na děrování.

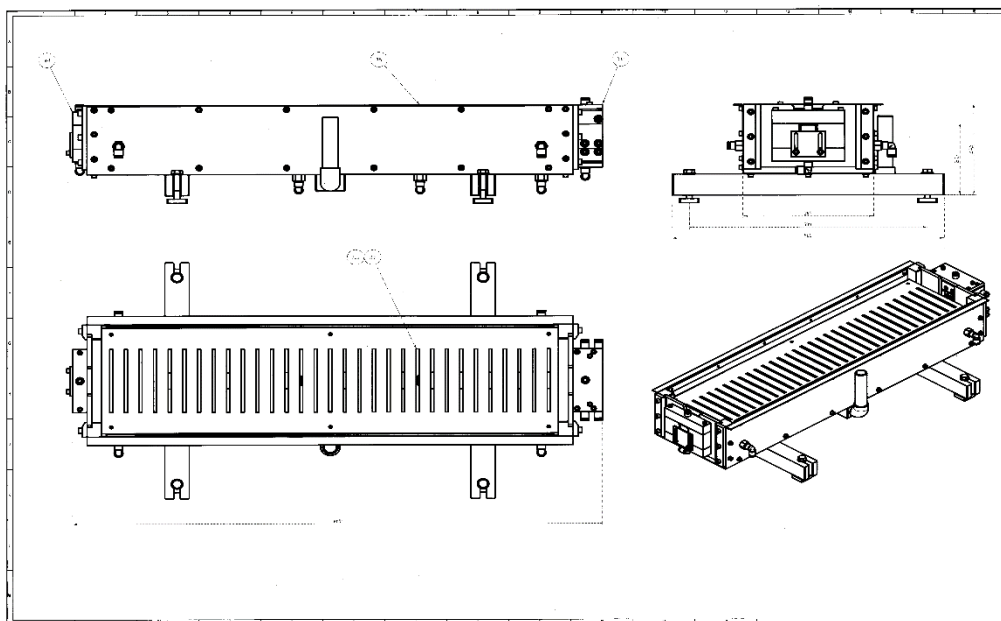


Obr. 35 Vytlačovací hlava

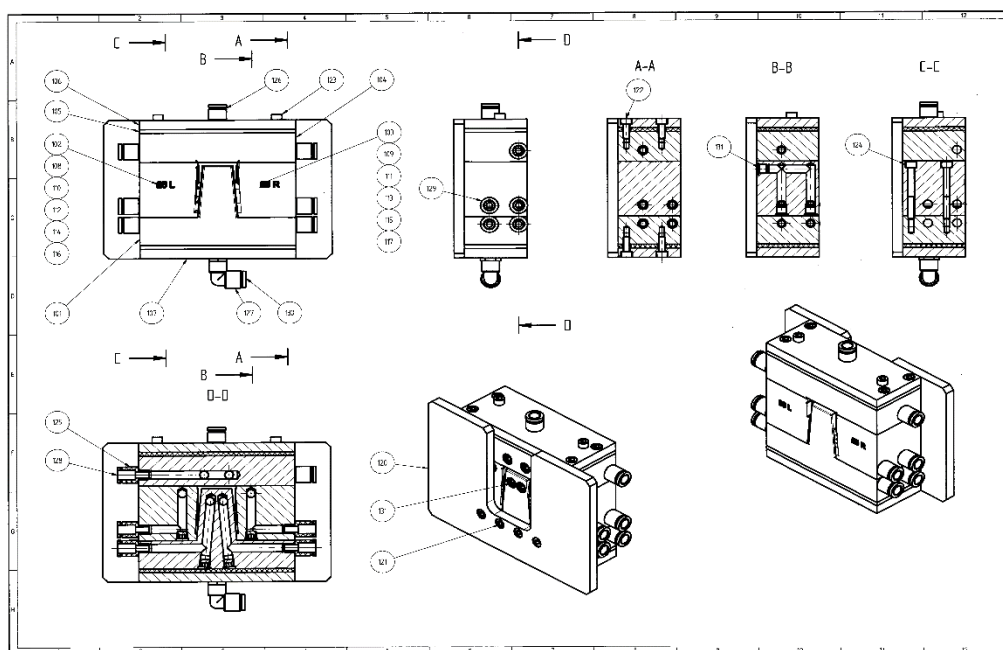


2.2.3 Chladicí vana

Chladicí vana slouží k zafixování tvaru profilu pro jeho další zpracování. Délka vany je 1090 mm a na obou koncích se nachází kalibry, které jsou namontovány na vstupu a výstupu profilu do a z vodní lázně. Vana je následně přišroubována na původní stůl pro chlazení. Pro kontrolu správného tvaru profilu před vstupem do děrovacího zařízení, bude vyroben speciální ruční kalibr, sloužící k rychlému zkontrolování tvaru profilu, aby se předcházelo zasekávání profilu v nástroji, z důvodu jeho tvarových deformací.



Obr. 36 Výkres chladicí nádrže s vodou



Obr. 37 Výkres kalibru pro profil výšky 55 mm

2.2.4 Odtah s automatickou pilou

Odtah a automatická pila slouží k směrování, posouvání a krácení profilů. Pro umístění děrovacího zařízení bude tak třeba oddělit pilu od odtahu. Odtah a pila je nastavitelná, a tak je možné nastavit požadovanou výšku a směr pro vedení profilu do děrovacího zařízení a z něj. Odpad z řezání v automatické pile je z oblasti řezu odsáván. Pila je poháněna elektromotorem.



Obr. 38 Odtah a automatická pila

2.3 Návrh konstrukce zařízení – analýza

Konstrukce děrovacího zařízení by měla vycházet z analýzy rizik, která vznikne zvolením jednotlivých komponentů a způsobem jakým děrování bude probíhat. Z důvodu kontinuálně extrudovaného profilu (tzn. profil je neustále v pohybu) lze vyvodit, že děrování profilu bude muset být provedeno pomocí nástroje, který bude kopírovat rychlost profilu, aby mohlo být provedeno děrování. Tento pohybující se prvek, tvoří největší riziko pro obsluhu, a tak bude nutné počítat se zakrytím celého stroje a vytvořením systému ovládání, který bude umožňovat bezpečnou práci se zařízením v provozu.

Pro pohyb tohoto nástroje, jeho pohonu a pro krytování, tak bude třeba navrhnout nosný stůl, který ponese všechny tyto prvky. Tento nosný stůl bude sloužit jako základní konstrukce pro pohyblivý stůl, na kterém se bude nacházet děrovací nástroj. Lineární vedení a kotvící prvky pro pohon posuvu nástroje budou další prvky na nosném stole. Při jeho konstrukci je třeba myslet i na způsob odvádění odpadu z procesu stříhání.

Odpadem nám vzniká další riziko pro obsluhu. Je třeba zajistit, aby nedošlo k újmě na zdraví neopatrnou manipulací u odpadového otvoru. Zde bude nutné volit i jiné prvky zabezpečení než pouze mechanické, protože odpadové kusy jsou příliš velké a otvory pro ně budou dovolovat vložení rukou obsluhy. Další rizika pak vzniknou volbou pohonů zařízení a samostatným provozem a údržbou zařízení. Na tyto skutečnosti bude upozorněno v návodu na obsluhu zařízení a budou blíže rozebrány v kapitole 2.8. - Analýza rizik.

2.4 Návrh děrování plastového profilu

Plastový profil bude třeba děrovat ze tří stran, a tak bude možné volit mezi několika možnostmi rozdělení stříhu a výběru média pro stříhání (hydraulika, pneumatika, mechanika). Nejlepší se jeví možnost, kde by se děrování všech stran provedlo **pomocí jednoho nástroje a to v jednom kroku**. Další varianta by mohla být rozdělení děrování na boční strany a vrch profilu. Tato varianta by však značně komplikovala návrh celého zařízení, protože by bylo nutné zajistit synchronizaci děrování dvou různých procesů děrování na jednom výrobku. Při této možnosti by bylo možné volit i mezi dvěma pohony pro stříh.

Výběr konečného způsobu pohonu samotného děrování a pohonu posuvu nástroje tak proběhne po určení střížné síly a všech střížných podmínek a požadavků pro celý proces děrování.

2.4.1 Návrhové výpočty děrování

2.4.1.1 Střížné síly

Pro výpočty střížné síly je třeba určit délku střížných hran. Pro výpočty byly použity hodnoty z 3D modelu profilu, které 3D software Solidworks snadno spočítá. Pro boční stěny profilu bude uvažováno pouze s typem profilu 55 mm a kvůli zešíkmení stěny bude tloušťka stěny volena 2,25 mm.

Přesné složení materiálu profilu, čili recyklovaného PVC, anebo jakékoliv jeho přesné mechanické vlastnosti není možné zjistit z důvodu jejich velké proměnlivosti (různé druhy příměsí). I kdyby proběhla odborná analýza daného materiálu profilu, toto měření by bylo stále neprůkazné. Kvalita dodávek recyklovaného PVC se pokaždé výrazně liší. Proto návrhové výpočty budou provedeny pomocí obecných mechanických vlastností PVC z Tabulky 1. Pro kompenzaci proměnlivosti složení materiálu byl výpočet navýšen o 50%. S touto určenou hodnotou zatížení je následně pracováno návrhové fázi zařízení.

- **Svislé děrování profilu:**

$$S = 166,65 \cdot 3 \div 500 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

$$F_{max} = 500 \cdot 60 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \div 36000 \text{ N} \quad (6)$$

- **Vodorovné děrování profilu:**

$$S = 120,65 \cdot 2,25 \div 271,5 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

$$F_{max} = 271,5 \cdot 60 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \div 19548 \text{ N} \quad (8)$$

R_{ms} [MPa] volím 60 MPa
 k [-] volím 1,5

2.4.1.2 Střížné síly - experimentální zjištění

Jak již bylo uvedeno, výpočty v tomto případě nebudou dostatečně spolehlivé, a tak bylo třeba ověřit sílu stříhu experimentálně na kusu extrudovaného profilu. Pro přesnější odhad reálné střížné síly tak budou použity výsledky tohoto experimentu. Pro experiment bylo vyrobeno jednoduché zařízení s otvory pro razník a odpad, které profil zafixovalo na raznici. Tento vyrobený držák profilu byl pak vložen do hydraulického lisu. Síla vyvolaná stříhem byla odečítána na siloměru. Hodnoty odečtené ze siloměru jsou následovné:

- 60 000 N pro svislý směr stříhu
- 40 000 N pro vodorovný směr stříhu

Hodnoty se při tomto experimentu vyšplhaly až k 60000 N ve svislém směru profilu a 40000 N ve vodorovném směru. Po dosažení těchto hodnot následoval prudký lom. Z důvodu nedodání dostatečného množství zkušebního profilu od zákazníka, tento experiment nemohl být opakován vícekrát k zjištění více hodnot a následnému přesnějšímu vyhodnocení výsledků.



Obr. 39 Použitý hydraulický lis se siloměrem

Proto hodnota střížné síly byla zvolena ještě s 50% rezervou následovně:

Pro svislý směr stříhu:

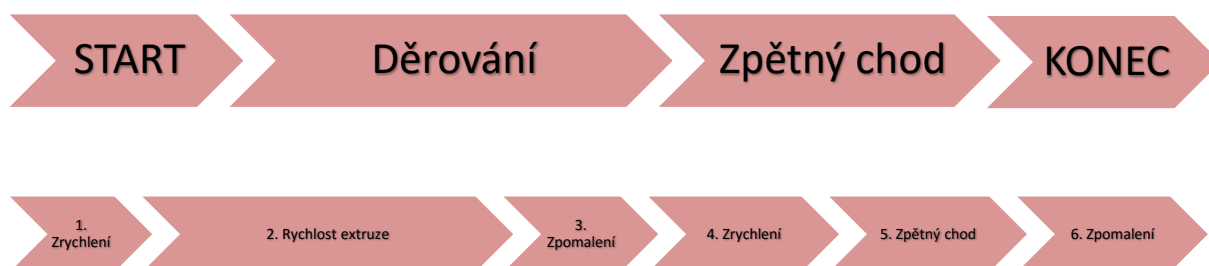
$$60000 \cdot 1,5 = 90000 \text{ N} \quad (9)$$

Pro vodorovný směr stříhu:

$$40000 \cdot 1,5 = 60000 \text{ N} \quad (10)$$

2.4.2 Časový harmonogram taktu děrování

Pro určení způsobu pohonu posuvu nástroje je třeba určit dynamiku celého zařízení sloužící k výpočtům zbylých parametrů pohonů. Děrování bude probíhat v cyklech, které budou rozděleny na několik operací. Tyto operace budou provedeny jednotlivými komponenty zařízení. Jeden cyklus děrování bude vypadat následovně:



Kde START a KONEC označuje tu samou výchozí (nulovou) polohu nástroje. Jeden cyklus se tedy skládá ze samotného děrování (tzn. synchronního běhu nástroje s extrudovaným profilem a jeho zrychlením a zpomalením) a jeho zpětným chodem do

konečné/výchozí polohy. Nejprve je třeba zrychlit na aktuální rychlost extrudovaného profilu tak, aby mohlo proběhnout samotné děrování. Po následném provedení samotného děrování nastane zabrzdění nástroje na konci pojezdu, poté je třeba nástroj rychloposuvem dopravit do výchozí polohy.

Celkový možný čas jednoho cyklu je tedy určen dobou, za kterou extrudovaný profil ujede zvolenou délkou pojezdu. Pohon děrování a posuvu nástroje tak bude dimenzován dle maximální rychlosti extruze:

- **Maximální rychlost extruze - v_{ext} :** **0,1 m/s**
- **Dráha nástroje - s_{celk} :** **0,15 m**

Kde maximální celkový čas pro jeden cyklus se spočítá rovnicí:

$$s_{celk} = v_{ex} \cdot t_{celk} \Rightarrow \quad (11)$$

$$t_{celk} = \frac{0,15}{0,1} = 1,5 \text{ s} \quad (12)$$

Jeden cyklus tak bude muset být proveden za 1,5 sekundy. Jednotlivé děje budou však pro svoje provedení potřebovat rozdílné časy a tyto rychlosti budou záviset na rychlosti posuvu profilu. Zjištění a dokonalá optimalizace těchto časů je však nad rámec této diplomové práce. Tyto časy byly vypočteny a optimalizovány odbornou firmou, zabývající se konstrukcí a návrhem řízením elektropohonů. To vše bylo součástí nabídky při koupi pohonu posuvu nástroje. Proto pro navržení a kontrolní výpočty bude stačit, když časy jednotlivých dějů budou vypočítány následovně:

Dráha nástroje ujetá během konstantní rychlosti extruze:

$$s_{ext} = v_{ext} \cdot t_2 = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ m} \quad (13)$$

Kde t_2 je zvolený čas pro děrování - 0,5 s. Délka dráhy nástroje je volena 0,15 m a v jednom cyklu je třeba, aby nástroj tuto vzdálenost byl schopen ujet 2x - tzn. 0,3m. Protože dráha nástroje ujetá během konstantní rychlosti extruze je jediná fixní hodnota, tak celou dráhu cyklu můžeme rozdělit na děje o stejné vzdálenosti: 0,05 m. Na zbylé operace tak zbyde celkově 1 s, kterou rozdělíme na zbylých 5 dějů, tzn. 0,2 s na děj.

Tyto vypočítané a zvolené hodnoty slouží k určení minimálního zrychlení, které bude sloužit jako jeden z parametrů při výběru pohonu posuvu nástroje. Největší zrychlení je předpokládáno při rozběhu nástroje u zpětného chodu, tzn. při čtvrtém ději:

$$s_4 = \frac{1}{2} a_{max} t_4^2 \Rightarrow \quad (14)$$

$$a_{max} = \frac{s_4}{t_4^2} \cdot 2 = 2,5 \text{ m/s}^2 \quad (15)$$

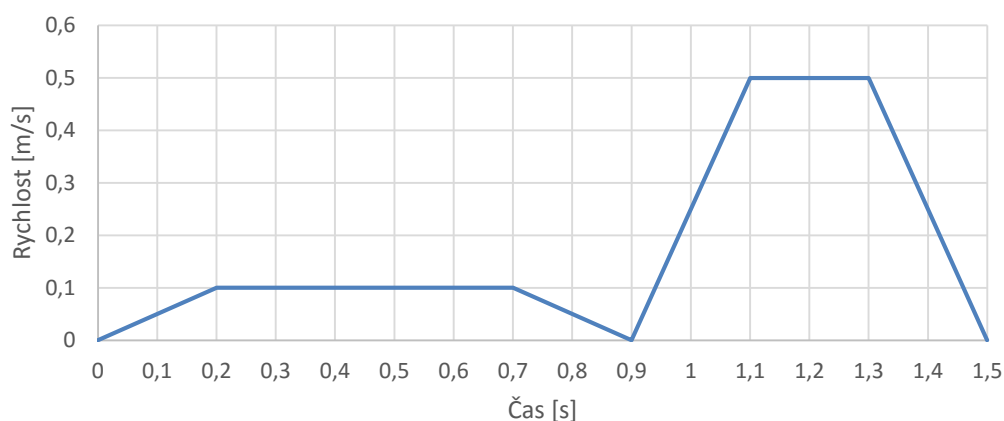
Díky minimálnímu předpokládanému zrychlení tak lze určit i minimální předpokládanou rychlost zpětného chodu (5. děj) a to následovně:

$$v_{max} = a_{max} \cdot t_5 = 2,5 \cdot 0,2 = 0,5 \text{ m/s} \quad (16)$$

Tabulka 3 Časový harmonogram

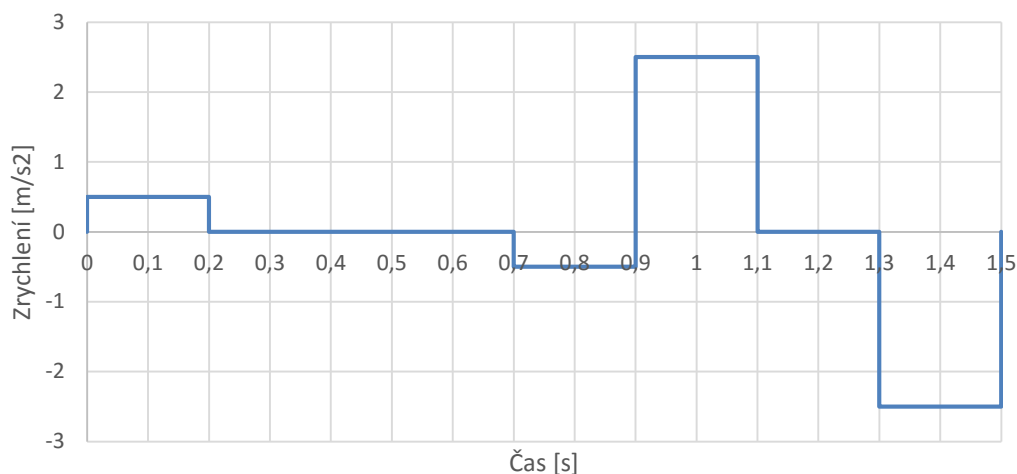
OPERACE KOMPONENT	CYKLUS					
	Děrování		Zpětný chod			
	Aktuátor	Aktuátor	Aktuátor			
	Hydraulický agregát					
DĚJ	1. Zrychlení	2. Rychlost extruze	3. Zpomalení	4. Zrychlení	5. Maximální rychlost	6. Zpomalení
HODNOTA	0,5	0,1	0,5	2,5	0,5	2,5
ČAS NA PROVEDENÍ [S]	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
UJETÁ DÉLKA [MM]	50	50	50	50	50	50

Graf rychlosti nástroje v závislosti na čase



Graf 1 Rychlost nástroje v závislosti na čase

Graf zrychlení nástroje v závislosti na čase



Graf 2 Zrychlení nástroje v závislosti na čase

2.5 Typ pohonu pro děrování

Pro samotné děrování je možné vybrat pohon z několika dostupných možností. Z těchto možností bylo vybíráno především na základě pořizovací ceny, dostatečné síly pro prostřihnutí materiálu, spolehlivosti prostřihnutí materiálu, synchronizace všech tří stříhů a provozních nákladů. Celkový čas pro děrování je určen 0,5 s. Možnosti děrování tak jsou:

- Pneumatika
- Elektromechanika
- Mechanika
- Hydraulika

2.5.1 Výběr typu pohonu děrování

2.5.1.1 Pneumatické řešení

Použití pneumatických válců je v tomto případě vysoce rizikové. Vysoké střížné síly, krátký čas a potřeba synchronizace děrování nejsou vhodné podmínky pro děrování pneumatikou. Pneumatické válce by bylo třeba dimenzovat na co nejpřesnější hodnoty tak, aby nedošlo ke zbytečnému navýšení rozměrů válců a tím pádem i navýšení hmotnosti. Toto předimenzování způsobující potřebu použití větších rozměrů válců by vedlo k většímu tlaku nebo průtoku vzduchu a tím pádem k větší ekonomické náročnosti na nákup a provoz. Při takto vysokých střížných silách by následný únik vzduchu mohl způsobit značné finanční ztráty při provozu. Příklad špatného použití a seřízení děrování za pomoci pneumatiky je uveden na následujícím obrázku, kde lze vidět, jak pneumatika nesplňuje plynulost krokování:



Obr. 40 Problém při použití pneumatiky při děrování plastového profilu od konkurenční firmy

2.5.1.2 Elektromechanické řešení

Další možností by bylo použití elektromechanických lineárních aktuátorů. Tato varianta v silových a časových atributech by byla zcela nejvhodnější. Jediný možný konstrukční problém by byl v zakomponování servo pohonů do zařízení tak, aby šířka pohonu nepřekračovala šířku nástroje. Navýšení hmotnosti nástroje o tři aktuátory by bylo taky značné. Tato varianta pohonu nakonec nebyla zvolena z důvodu větší pořizovací ceny, i když provozní náklady by byly nejnižší. Například cena za hydraulický agregát s montáží a všemi součástmi je nižší jako cena za jeden ze tří potřebných aktuátorů.

2.5.1.3 Mechanické řešení

Pokud by se děrování rozdělilo na dva kroky, čili samostatné děrování ve svislém a vodorovném směru, tak by se dalo uvažovat i o zvolení mechanického řešení děrování. Mechanické řešení (pomocí vačkových mechanismů nebo jiných mechanismů) by ale bylo zbytečně složitější a komplikovanější na výrobu. U mechanických částí by se z důvodu synchronizace všech tří stříhů musela zajistit velká přesnost všech dílů, jako třeba bezvúlové převody pro zajištění správné synchronizace. Při dimenzování pohonu by se muselo uvažovat i s mnohem většími, proměnlivými silami, protože jeden pohon by zajišťoval pohon posuvu nástroje a i samotný posuv profilu pro mechanické děrování.

2.5.1.4 Hydraulické řešení

Hydraulika snadno zvládá dodat velkou sílu v dostatečně krátkém čase pro děrování. Snadná kontrola tlaku a všech ostatních parametrů je velkou výhodou při synchronizaci všech tří stříhů. Pořizovací cena je relativně nízká a provozní náklady jsou mírně nižší než by byly u pneumatiky. Problém však je umístění hydraulického agregátu a jeho hlučnost, teplotní expozice, popřípadě manipulace s daným médiem a jeho likvidací při výměně.

2.5.1.5 Zvolení typu pohonu

Tabulka 4 Shrnutí výběru pohonu děrování

	Pořizovací cena	Síla stříhu	Spolehlivost prostřihnutí	Synchronizace stříhů	Provozní náklady
Pneumatika	+++	-	++	+	-
Elektromechanika	---	+++	+++	+++	+++
Mechanika	-	++	+++	+++	++
Hydraulika	++	+++	+++	+++	+

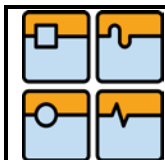
Pro pohon děrování z technologického hlediska jasně vyplývá, že elektromechanické aktuátory jsou nejvhodnějším řešením. V toto případě na výběr pohonu děrování mělo největší vliv přání zákazníka a tak **byl vybrán hydraulický pohon děrování** a to i přes její poměrně vysoké provozní náklady. Investicí do elektromechanického řešení by se celková cena zařízení prodražila asi o 30%, ale návratnost ve třisměnném provozu, 5 dní v týdnu, by činila asi 4 roky.

2.5.2 Výběr přímočarých hydromotorů

Hlavní parametry pro výběr přímočarých hydromotorů vychází ze střížné síly, rychlosti pracovního posuvu a pracovního zdvihu. Rychlost pracovního posuvu dána dobou pro stříh, což je 0,5s a z toho bude 0,3s pro samotný stříh a 0,2s pro návrat pístů válců.

- Střížná síla: 90 kN a 60 kN
- Rychlost pracovního posuvu: 0,05 m/s
- Délka pracovního zdvihu: 15 mm

Přímočaré hydromotory jsou vybrány z katalogů firmy HYDRAULICS s.r.o.. Nejprve jsou zvoleny přímočaré dvojčinné hydromotory řady ZH2 bez regulovaného tlumení v koncových polohách a s maximálním tlakem 25 MPa. Dále je volen typ 90 pro svislý válec a typy 70 pro vodorovné válce, kde průměry jsou:



- Typ 90: $D_1 = 105 \text{ mm}$ a $d_1 = 50 \text{ mm}$
- Typ 70: $D_2 = 85 \text{ mm}$ a $d_2 = 40 \text{ mm}$

kde:

D [mm]

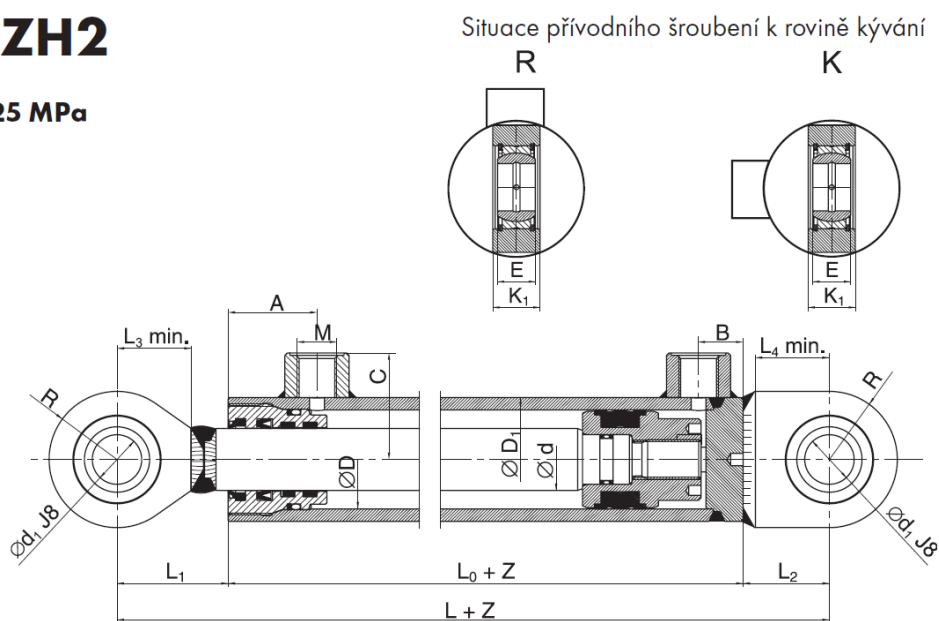
průměr pístu

d [mm]

průměr tyče

Série ZH2

pro $P_{\max} 25 \text{ MPa}$



$\varnothing D$	$\varnothing d$	$\varnothing D_1$	$\varnothing d_1$	L	L_0	L_1	L_2	$L_3 \pm 1$	$L_4 \pm 1$	M	A	B	C	E	K_1	R	Maximální doporučené zdvihy dle zvol. $\varnothing d$	Hmotnost při zdvihu Z (kg)
70	40	85	30	260	150	65	45	44	39	22x1,5	54	33	60,5	22	28	42,5	460	$8,90 + Z \times 0,02420$
90	50	105	40	310	165	85	60	57	53	22x1,5	64	35	70,5	28	35	52,5	560	$15,20 + Z \times 0,03344$

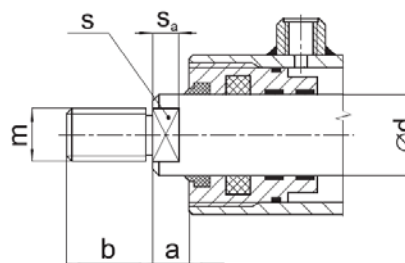
Obr. 41 Výběr typu válce [20]

Dále bylo třeba zvolit variantu ukončení hydraulického pístu pro zakomponování hydraulického válce do nástroje dle následující tabulky:

vnější závit

provedení 3

$\varnothing d$	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	55	63	70	80	90	100	110
m	16x1,5	16x1,5	16x1,5	18x1,5	20x1,5	24x1,5	24x1,5	27x2	27x2	30x2	36x2	42x2	42x2	60x2	68x2	75x2	75x2
a	12	12	12	15	17	17	20	20	20	25	25	30	30	35	40	40	45
b	20	20	20	30	30	34	40	40	40	45	50	60	60	70	70	70	70
s	16	18	19	22	24	30	32	36	41	46	50	60	65	70	80	90	100
s_a	8	8	8	10	12	12	15	15	15	18	18	20	20	25	30	35	35



Obr. 42 Výběr provedení ukončení hydraulického pístu [20]

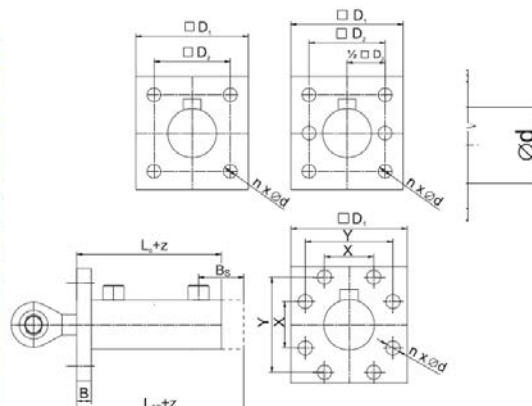
Kvůli velice krátkému zdvihu a snaze o co nejnižší hmotnost byly zvoleny speciální kratší verze válců hydromotorů řady ZH2 a to v provedení **ZH2-AS90** a **ZH2-AS70**. Tyto typy byly vybrány pro jejich dostačující technické parametry a vhodné konstrukční rozměry.

Uchycení hydromotorů série ZH2

Uchycení ZH2-A

Typ válce	D ₁	D ₂	B	Ød	X	Y	n	L _a	L _{os}	B _s
32	67	50	10	8,4			4	95	118	41
40	98	80	12	8,4			6	105	128	41
45	103	85	12	10,5			6	102	130	46
50	113	95	13	10,5			6	117	146	50
55	118	100	13	10,5			6	116	152	56
60	128	108	13	10,5			6	126	160	59
63	138	115	15	13			6	130	160	57
65	138	115	15	13			6	130	165	59
70	148	120	15	13			6	150	178	61
75	155	130	16	15			6	150	184	64
80	168	140	18	15			6	155	190	68
90	178	150	20	15			6	165	203	73
100	200	170	20	17			6	180	224	82
110	210	180	22	17			6	185	236	89
125	240	210	25	17	90	180	8	260	302	102
140	265	230	28	21	90	210	8	270	302	102
160	280	240	28	25	120	230	8	290	319	109
180	295	250	35	25	130	250	8	310	341	116
200	350	300	35	31	150	290	8	330	364	124

ZH2-AS



Obr. 43 Rozměry uchycení hydromotorů [20]

Technické parametry řady ZH2:

- Jmenovitý tlak – 20 MPa
- Maximální tlak – 25 MPa
- Maximální pracovní rychlost – 0,5 m/s

Zvolen byl tedy typ ze série ZH2 – AS s délkou válce 90 mm pro svislý střih a 70 mm pro dva vodorovné střihy. Tento přímočarý hydromotor je prvek, který přeměňuje tlakovou energii dodávanou hydraulickým agregátem na energii mechanickou – axiální sílu pístní tyče v obou směrech. Hydromotory jsou bez regulovaného tlumení v koncových polohách a jsou sestaveny z trubky s přesně opracovaným vnitřním průměrem v toleranci H8. Na této trubce jsou následně navařeny přípojovací hrdla pro vstup tlakového oleje s vnitřním závitem a se zátkou společně s pevným okem válce. Na broušené – leštěné a chromované pístní tyči s rozměry f7 je na koncové straně osazen píst. Tyto hydromotory jsou schopné pracovat se jmenovitým tlakem 20 MPa, maximální tlak je až 25 MPa s maximální pracovní rychlostí 0,5 m/s.

2.5.2.1 Kontrola vzpěrné stability pístu válce

Pro provoz při jmenovitých hodnotách provozních parametrů je výrobcem stanovena míra bezpečnosti $k_v = 2$ [13]. Kontrola vzpěru proběhne pouze pro maximální sílu střihu 90 kN. Z hodnoty zdvihu je však již jisté, že vzpěr bude vyhovovat, nicméně kontrola vypadá následovně:

$$F_{DOV} = F_{stř} \cdot k_v \quad (17)$$

$$F_{DOV} = 90\,000 \cdot 2 = 180 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (18)$$

Kde:

- | | | |
|-----------|-----|---|
| F_{DOV} | [N] | dovolená maximální síla, při které nedojde k vybočení pístní tyče |
| $F_{stř}$ | [N] | maximální tlačná síla |
| k_v | [-] | míra bezpečnosti |

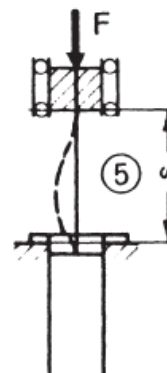
Následně dle způsobu uložení přímočarého hydromotoru se zdvih $Z = 15 \text{ mm}$ přepočítat na redukovanou délku. Typ uložení odpovídá Obr. 36.

$$l_r = 0,5 \cdot Z \quad (19)$$

$$l_r = 7,5 \text{ mm} \quad (20)$$

kde:

l_r [mm] redukovaná délka
 Z [mm] zdvih přímočarého hydromotoru



Obr. 44
Redukovaná délka [20]

Mezní štíhlostní poměr:

Materiál pístní tyče a modul pružnosti:

$R_m = 500 \text{ MPa}$

$R_e = 280 \text{ MPa}$

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

$$\lambda_m = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{0,8 \cdot R_e}} \quad (21)$$

$$\lambda_m = \pi \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{0,8 \cdot 280}} = 96 \quad (22)$$

kde:

λ_m [-] mezní štíhlostní poměr

E [MPa] modul pružnosti v tahu

R_e [MPa] mez kluzu

Na základě štíhlosti prutu λ se určí postup kontroly:

- výpočet podle Eulerova ($\lambda > \lambda_m$)
- výpočet podle Tetmajera ($\lambda \leq \lambda_m$)

$$\lambda = \frac{l_r}{i} \quad (23)$$

$$\lambda = \frac{7,5}{12,5} = 0,6 \quad (24)$$

kde:

$$i = \sqrt{\frac{J}{S_1}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot d_1^4}{64}}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}}} \quad (25)$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot 50^4}{64}}{\frac{\pi \cdot 50^2}{4}}} = 12,5 \quad (26)$$

$\lambda < \lambda_m$ podle Eulerova nedojde ke vzpěru, a proto kontrola bude pokračovat podle Tetmajerova vzorce.

Tetmajerova rovnice pro σ_{kr} :

$$\sigma_{kr} = a - b \cdot \lambda \quad (27)$$

$$\sigma_{kr} = 500 - 3,85 \cdot 0,6 = 497,7 \text{ MPa} \quad (28)$$

Výpočet kritické síly:

$$F_{kr} = \sigma_{kr} \cdot S_1 \quad (29)$$

$$F_{kr} = 497,7 \cdot 1963,5 = 977\,234 \text{ N} \quad (30)$$

Bezpečnost svislého válce:

$$k_1 = \frac{F_{kr}}{Z} \quad (31)$$

$$k_1 = \frac{977\,234}{15} = 65\,149 \Rightarrow \text{vyhovuje} \quad (32)$$

Při použití tohoto typu hydraulického válce nedojde k poškození válců ani zařízení.

2.5.3 Navrhovaný výpočet hydraulického agregátu

Tlak ve válcích hydromotorů nutný pro stříh:

$$p_{1,2} = \frac{F_{1,2}}{\frac{\pi \cdot D_{1,2}^2}{4}} \quad (33)$$

Pro svislý válec:

$$p_1 = \frac{90000}{\frac{\pi \cdot 105^2}{4}} = 10,4 \text{ MPa} \quad (34)$$

Pro vodorovné válce:

$$p_2 = \frac{60000}{\frac{\pi \cdot 85^2}{4}} = 10,57 \text{ MPa} \quad (35)$$

kde:

p [MPa] tlak ve válci hydromotoru

F [N] maximální střižná síla

D [mm] průměr pístu

Průtok dodávaný do hydromotorů:

$$Q_{1,2} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot v \quad (36)$$

Pro svislý válec:

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot 105^2}{4} \cdot 50 = 26 \text{ dm}^3/\text{min} \quad (37)$$

Pro vodorovné válce:

$$Q_2 = \frac{\pi \cdot 85^2}{4} \cdot 50 = 17 \text{ dm}^3/\text{min} \quad (38)$$

Kde:

$$Z = v_{vys} \cdot t_{stř} \quad (39)$$

$$v_{vys} = \frac{Z}{t_{stř}} \quad (40)$$

$$v_{vys} = \frac{15}{0,3} = 50 \text{ mm/s} \quad (41)$$

Z [mm] zdvih

v_{vys} [mm/s] rychlost pracovního posuvu – zvoleno 0,3s

$t_{stř}$ [s] čas stříhu

Geometrický objem hydrogenerátoru:

Otáčky hydrogenerátoru jsou stejné jako otáčky elektromotoru. Elektromotor je vybrán od firmy SIEMENS, třífázový se zvýšená účinnost IE2 s přírubou s parametry výkonu a otáček:

- 7,5 kW
- 1500 ot/min

$$V_g = \frac{Q_1}{n} \quad (42)$$

$$V_g = \frac{26}{1500} = 0,01733 \text{ dm}^3 = 17,33 \text{ cm}^3 \quad (43)$$

Potřebný výkon elektropohonu:

$$P = \frac{Q_1 \cdot p_2}{\eta_t} \quad (44)$$

$$P = \frac{4,33 \cdot 10^{-4} \cdot 10,57 \cdot 10^6}{0,9} = 5089 \text{ W} \quad (45)$$

Kde:

η_t [-] celková účinnost hydrogenerátoru – garantována výrobcem

P [W] výkon elektromotoru

Q_i [m³/s] jmenovitý výstupní průtok

n [ot/min] otáčky za minutu

2.5.4 Výroba hydraulického agregátu

Po zjištění potřebných parametrů, byla pro výrobu hydraulického agregátu na základě výběrového řízení a referencí vybrána firma HYTEK s.r.o., která se zároveň postarala i o zapojení hydraulických válců a rozvodů hydraulické kapaliny v zařízení. Navrhované řešení a parametry plně vyhovují požadavkům a vypočteným hodnotám.

2.5.4.1 Popis hydraulického agregátu od firmy HYTEK s.r.o.

Hydraulický agregát je vybaven pístnicovým regulačním čerpadlem, které tvoří zdroj tlaku. Čerpadlo je s elektrickým motorem spojeno křížovou spojkou, která přenáší krouticí moment. Na vývodní kostce jsou umístěny ovládací ventily, manometr a akumulátor o objemu 1l. Na víku nádrže umístěn vzduchový chladič průsaku čerpadla, odpadní filtr s optickou indikací zanesení filtrační vložky, nalévací hrdlo s odvzdušňovací zátkou a hrubým filtračním sítkem, elektrický termostat.

Nádrž je svařenec z ocelového plechu tloušťky 3mm. Na čele nádrže je stavoznak s teploměrem pro vizuální kontrolu výšky hladiny a teploty oleje v nádrži. Ve dně nádrže je zátka k vypouštění oleje. Agregát není určen pro provoz ve výbušném prostředí. Povrch nádrže je opatřen oleji vzdornou barvou.

Dodávka obsahuje:

- Ocelová nádrž o objemu 150L
- Elektromotor přírubový 7,5kW 1500ot/min IE2
- Čerpadlo YUKEN A16-22/5,5kW
- Hydraulické válce
- Optický hladinoměr
- Šroub na vypouštění, víčko na vypouštění, kostka na výtlak, kostka pro sání, příruba pro čerpadlo, termostat
- Odpadní filtr s optickou indikací zanesení filtrační vložky
- Akumulátor ELM1
- Elektro a řízení celého pohonu
- Chladič oleje

2.5.5 Návrh ovládání řídicího systému pohonu

Jak již bylo zmíněno, cílem této diplomové práce není vyřešení kompletního řídicího programu, ale pro vysvětlení bude třeba uvést základní analogii řízení zařízení. Pro řízení děrování bylo třeba vytvořit řídicí systém, se kterým obsluha zařízení bude pracovat. Řídicí systém je součástí bezpečnostních prvků zařízení.

Požadavky na řídicí software:

- Po zapnutí a najetí referencí stolu se stlačením tlačítka start spustí proces pohybu stolu a děrování. Řídicí jednotka bude v závislosti na údajích z odměřovacího snímače (kolečka) ovládat pohyb stolu a děrování. Ve chvíli, kdy se bude stůl pohybovat rychlostí shodnou s rychlostí extrudovaného profilu a bude ve správné poloze – krok 150 mm – proti předchozímu pracovnímu zdvihu dojde nejdříve k sepnutí okruhu svislého válce, následně vodorovných válců, po dosažení pracovního zdvihu vodorovných válců se odpojí napájení napětí rozvaděče vodorovných válců a následně svislého válce, po návratu válců do klidové polohy vykoná stůl pohyb proti pohybu profilu do výchozí polohy a celý cyklus se bude opakovat.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 46
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Celé řízení zařízení tak bude vypadat následovně:

1) Zapnutí rozvaděče

K zapnutí rozvaděče slouží bezpečnostní vypínač na pravé straně rozvaděče. Po zapnutí tohoto vypínače se aktivuje hlavní displej. Zařízení tak bude připraveno k další operaci po zobrazení úvodní stránky na displeji – bezpečnostní obvod.

2) Bezpečnostní obvod

Bezpečnostní obvod slouží k odemykání dveřních zámků a to jde pouze, když zařízení je uvedeno do klidové polohy, což je po zastavení všech pohonů. Bezpečnostní obvod slouží i k signalizaci problémů. Před spuštěním stroje je proto třeba bezpečnostní obvod vždy resetovat a to v následujících případech:

- Vždy po startu stroje
- Po rozpojení bezpečnostního obvodu některým z tlačítek nouzového zastavení
- Po rozpojení bezpečnostního obvodu navazujícím zařízením ve výrobní lince
- V případě odemknutí a následném zamknutí dveřních zámků

Zařízení má dva režimy provozu:

3) Automatický režim

Automatický režim slouží k samostatnému provozu zařízení, kdy děrování je řízeno na základě údajů rychlosti profilu ze snímacího kolečka. Pro tento automatický režim je však nutno splnit následující podmínky:

- Bezpečnostní obvod musí být aktivovaný
- Válců hydraulického stříhu musí být v horní (výchozí) poloze

Samotné spuštění tak vypadá následovně:

- Zapnutí napájení – hlavní vypínač
- Resetnutí bezpečnostního obvodu
- Stisknutí tlačítka „Servo ON“
- Stisknutí tlačítka „Start“

Stisknutím tlačítka „Start“ se stane následující:

- Rozběhne se čerpadlo hydraulického aktuátoru
- Lineární aktuátor zajede vzad na maximální mezní polohu, následně popojede vpřed o 10 mm na nulovou (výchozí) polohu
- Následně systém přechází do **synchronního režimu** v závislosti na údajích z odměřovacího kolečka – tím se pohon chová jako systém s mechanickou váčkou, kde odměřovací kolečko je master a pohon slave

Zastavení se provádí tlačítkem „Stop“, kdy právě probíhající se cyklus se dokončí. Tlačítkem „Servo OFF“ se provede okamžité vypnutí servopohonu.

4) Manuální režim

Manuální režim slouží k ručnímu pohybu s lineárním aktuátorem a k ručnímu spouštění hydraulických prvků. Tento režim je určený především pro údržbu a pro případné ruční nastavování výchozích poloh. V tomto režimu lze provádět následující operace:

- Pro lineární aktuátor:
 - o Pohyb lineárního aktuátoru vpřed a vzad konstantní rychlostí
- Pro hydrauliku:
 - o Start a Stop čerpadla hydraulického systému
 - o Posuv do výchozí/pracovní pozice pístu svislého válce
 - o Posuv do výchozí/pracovní pozice pístů vodorovných válců

5) Čítač zdvihů

Čítač zdvihů je zakomponován do řídicího systému z důvodu sledování počtu zdvihů od posledního servisu pro mazání aktuátoru a sledování opotřebení částí zařízení.

2.6 Pohon posuvu nástroje

Pro posuv nástroje je možné volit z těchto způsobů:

- **Kuličkový šroub**
- **Pneumatika**
- **Hydraulika**
- **Elektromechanický lineární aktuátor**

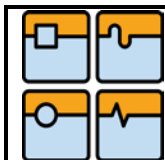
Faktory ovlivňující výběr budou zrychlení a tuhost provedení pohonu posuvu. Síla pohonu a jeho parametry budou záviset na hmotnosti nástroje a tuto hmotnost bude nutno neustále zrychlovat a brzdit. Při stále se opakujícím cyklu děrování tak bude nutné vybrat pohon s dobrou přesností polohování. Z toho vyplývá i požadavek na regulování průběhu rychlosti, zrychlení a síly pohonu. Pohon bude regulován na základě hodnot ze snímače rychlosti pohybu profilu při vstupu profilu do zařízení. Tento snímač rychlosti profilu bude řídit celý běh nástroje. Celý systém pohonu tak bude muset být snadno řízen a ovládán. Při výběru je třeba dbát i na ekonomické hledisko jak pro pořizovací cenu, tak pro provozní náklady.

Požadované parametry pohonu:

- rychlost pohybu děrovaného profilu do 6 m/min.
- krok posuvu nástroje 150 mm
- čas pro střih 0,5 sek.
- hmotnost nástroje max. 115 kg
- uložení stolu na lineárním vedení

Požadované komponenty pro řídicí systém:

- osazený rozvaděč
- řídicí jednotka
- servomotor + servopohon
- snímače polohy hydraulických válců (nástroje)
- minimálně 3 ks koncových snímačů krytování
- minimálně 2 ks tlačítek total stop
- odměřovací senzor rychlosti profilu (kolečko)
- řídicí software
- kompletní silová i ovládací kabeláž
- montáž a oživení
- odladění programu



2.6.1 Snímač rychlosti profilu

Pro snímání rychlosti posuvu profilu a její změny byl vybrán snímač DFV60 od firmy SICK. Tento snímač se skládá ze senzoru (odměřovacího kolečka) a konzole s pružinou na uchycení snímače do výrobní linky. Senzor je vybaven vyměnitelným gumovým kroužkem, který třením přenáší rychlost pohybu profilu. Gumový kroužek je určen do náročnějšího prostředí, ale přesto je kontrola opotřebení nutná a bude na ni upozorněno v návodu pro obsluhu. Snímač je v zařízení třeba umístit tak, aby byla zajištěna dostatečná přitlačná síla senzoru na pohybujiící se profil.



Obr. 45 Snímač DFV60 [19]

Technické data jsou uvedeny v následující tabulce od výrobce:

Tabulka 5 Technické parametry snímače DFV60 [19]

Technical data to DIN 32878		DFV60	A
Electrical interface		4.5 to 32 V, TTL/HTL, programmable	
Number of lines per revolution		1 to 65,536	
Mass		0.5 kg	
Reference signal			
	Number	1	
	Position	90° electr., gated with A and B	
Error limits		± 0.03°	
Measuring step deviation			
	Number of lines 1 to 99	± 0.04°	
	Number of lines 100 to 10,000	± 0.008°	
	Number of lines > 10,000	± 0.002°	
Max. output frequency		820 KHz	
Operating speed ¹⁾		3,000 min ⁻¹	
Bearing lifetime		3 x 10 ⁹ revolutions	
Working temperature range		-20 to +100 °C	
Storage temperature range (without package)		-40 to +100 °C	
Permissible relative humidity ²⁾		90 %	
EMC according to EN 61000-6-2 and EN 61000-6-4			
Resistance to shock (according to EN 60068-2-27)		70 g/6 ms	
Resistance to vibration (according to EN 60068-2-6)		30 g/10 to 2,000 Hz	
Protection class according to IEC 60529		IP 65	
Load current			
	4.5 to 32 V, TTL/HTL, programmable	30 mA	
No load operating current			
	4.5 to 32 V, TTL/HTL, programmable	40 mA	
Initialisation time after power on			
	4.5 to 32 V, TTL/HTL, programmable	Max. 30 ms	
Preload spring arm		20 mm	
Spring deflection spring arm		40 mm	

2.6.2 Výběr pohonu posuvu nástroje

2.6.2.1 Pneumatické řešení

Samotné médium – vzduch – představuje největší problém a tím je jeho stlačitelnost, která bude mít velký vliv na přesnost polohování. U pneumatického provedení by velikost pneumatických prvků, pro dynamiku nástroje vážícího přes 100 kg, byla až příliš velká. Problematika pneumatiky, i v dnešní době, stále spočívá v její nižší účinnosti a výskytu ztrát netěsnostmi. V provozu tohoto děrovacího zařízení by jakékoliv ztráty tlaku média způsobily značné ekonomické ztráty celé výrobní linky. I následné zajištění spolehlivého řízení a celkové odladění takového systému by bylo problematické. Už z těchto hledisek se pneumatický pohon jeví jako nepravděpodobný.

2.6.2.2 Hydraulické řešení

Při využití hydrauliky je rychlost vysouvání hydraulického válce dána jeho objemem a rychlostí jakou tento objem válce dokážeme naplnit – tedy výkonem hydraulického čerpadla a to ještě za předpokladu, že není žádný jiný činný výstup z daného hydraulického čerpadla. Vyšším výkonem čerpadla by se prodražila výroba agregátu a hydraulické prvky a už jen samotný provoz by byl neekonomický.

2.6.2.3 Řešení pomocí kuličkového šroubu s pohonem

Kuličkový šroub s pohonem splňuje všechny požadavky jak v tuhosti, spolehlivosti, přesnosti synchronizace s pohybem profilu a také i v ceně. Při řešení pohonu pomocí poháněného kuličkového šroubu vyvstal problém s jeho symetrickým umístěním a krytováním proti odpadu ze stříhu. Kuličkový šroub by tak musel být umístěn nesymetricky a to by zapříčinil vzniku nechtěných bočních sil. Proto byla tato varianta zamítnuta.

2.6.2.4 Elektromechanické řešení

Tento typ pohonu je přímo určen jako alternativní náhrada hydraulických a pneumatických válců pro lisařské operace, ohýbačky, protlačovací stroje, balící stroje, manipulace a mnoho dalších aplikací. Elektromechanický lineární aktuátor byl vyvinut jako pohon vytvářející tlačnou nebo tažnou sílu vůči určitému vztažnému bodu. Princip tohoto aktuátoru vychází z převodu rotačního pohybu na lineární. Aktuátor je samostatné a samonosné těleso, k němuž se potom připojuje převodovka s motorem. [12] Elektromechanický lineární aktuátor je tak díky jeho konstrukci a velkému množství dostupných variant provedení **nejvhodnější**. Při použití aktuátoru je možné jeho umístění symetricky před pohyblivý stůl. Toto umístění tak zabrání vzniku nežádoucích bočních sil na lineární vedení a vyřeší problém s odvodem odpadu.



Obr. 46 Elektromechanický lineární aktuátor [12]

Výhody pro použití elektromechanického lineárního aktuátoru [12]:

- nehrozí žádné úniky oleje a vzduchu v netěsnostech
- výrazně nižší hlučnost
- možnost regulace pohybu
- vysoká tuhost i při vysokých zátěžích a rychlostech
- vyšší energetická účinnost, nižší tepelné ztráty
- nižší provozní náklady a nároky na údržbu
- snížené riziko úrazu redukováním nebezpečných prvků
- synchronizovaný chod více aktuátorů, rozložení sil na zátěži

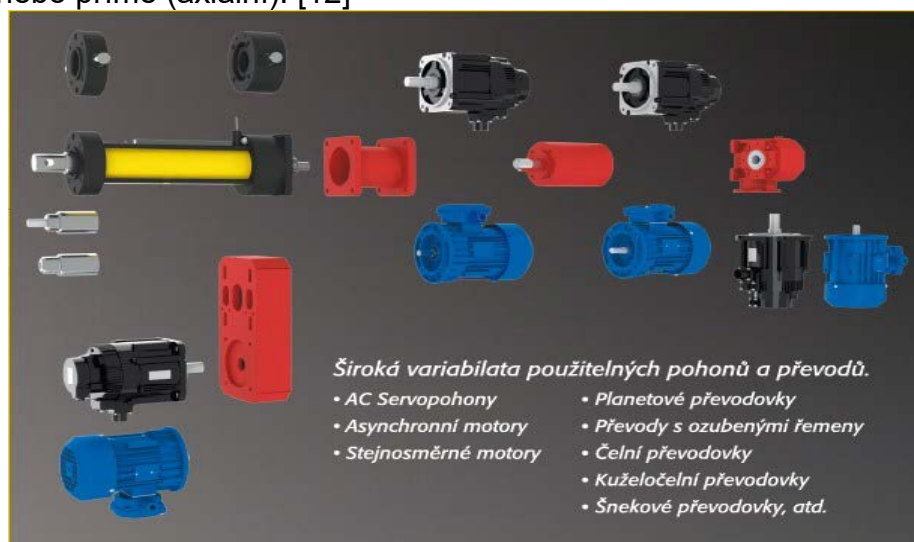
Dle volby pohonného ústrojí a tělesa aktuátoru lze dosáhnout požadované axiální síly (statické i dynamické) a požadované rychlosti. Tímto lze dosáhnout i dalších využitelných funkcí a vlastností [12]:

- proměnný průběh rychlosti a síly
- detekce dosažené síly, omezení síly
- polohovatelnost, vysokou přesnost
- zjednodušenou obsluhu připojené zátěže

Pneumatické a hydraulické, jsou nevyhovující především z důvodu velmi problematického či spíše nemožného zajištění přesné synchronizace pohybu nástroje s vytlačovaným profilem. Především u pneumatiky, kdy stlačitelnost vzduchu nedovoluje přesné polohování. Z těchto důvodů, a to i přes vyšší pořizovací cenu, byl **jako pohon posuvu nástroje vybrán elektromechanický lineární aktuátor.**

2.6.3 Možné varianty provedení lineárního aktuátoru

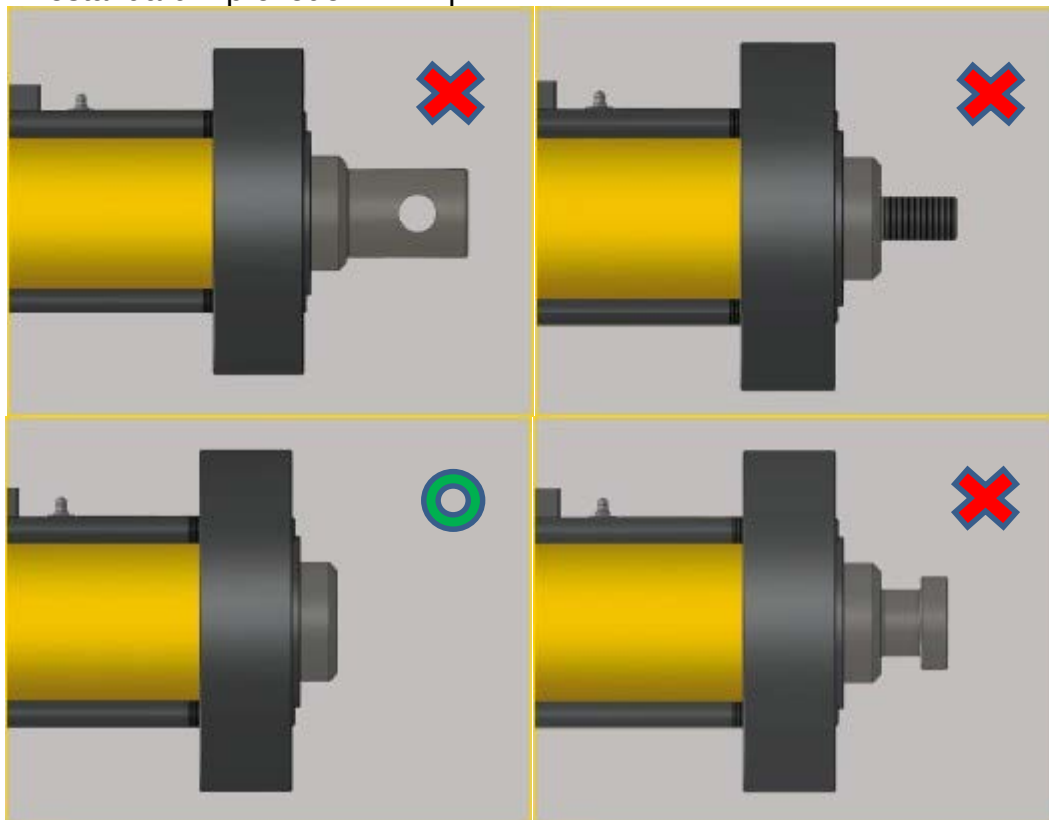
Jak již bylo zmíněno, při sestavování pohonu lze volit z mnoha variant podle požadavků aplikace. Na výběr je z několika pohonných jednotek (AC servopohony, asynchronní motory, stejnosměrné motory) a několika druhů převodů (planetové převodovky, převody s ozubenými řemeny, čelní převodovky, kuželové převodovky, šnekové převodovky, atd.). Pohon tak lze pomocí převodovek upravit do varianty paralelní nebo přímé (axiální). [12]



Obr. 47 Možné varianty provedení [12]

Pro zakomponování pohonu do zařízení a pro různé potřeby je na výběr z mnoha variant provedení volného konce pístnice. Na následujícím obrázku tak lze vidět tyto varianty: [12]

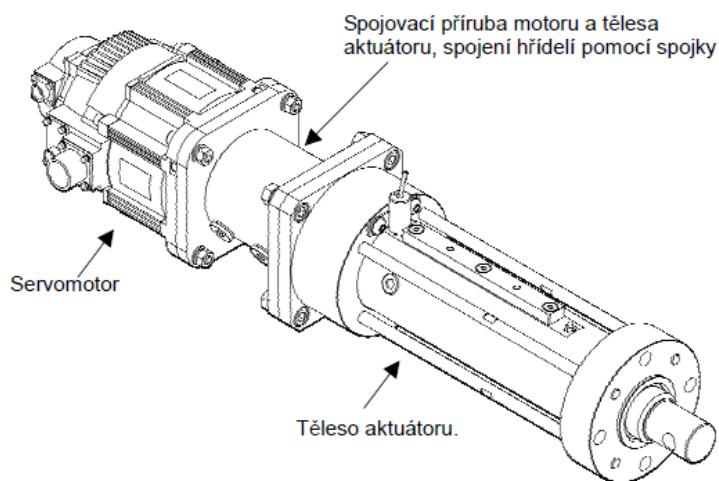
- Standardní provedení - čep s otvorem
- Standardní provedení - vnější závit
- **Standardní provedení - vnitřní závit**
- Nestandardní provedení - dle přání zákazníka



Obr. 48 Varianty provedení volného konce pístnice [12]

2.6.4 Zvolení provedení, parametrů a rozměrů pohonu

Typ provedení bude axiální. Toto provedení představuje přímé uspořádání tělesa aktuátoru a pohonu. Pohon je upevněn v ose s vysouváním pístu a může to být samostatný elektromotor nebo elektromotor se všemi typy skříňových převodovek (např. čelní, kuželočelní, šneková, planetová). Spojení pohonu a tělesa aktuátoru je prostřednictvím tuhé spojky a mezipříruby. [12]



Obr. 49 Axiální provedení aktuátoru a jeho pohonu [12]

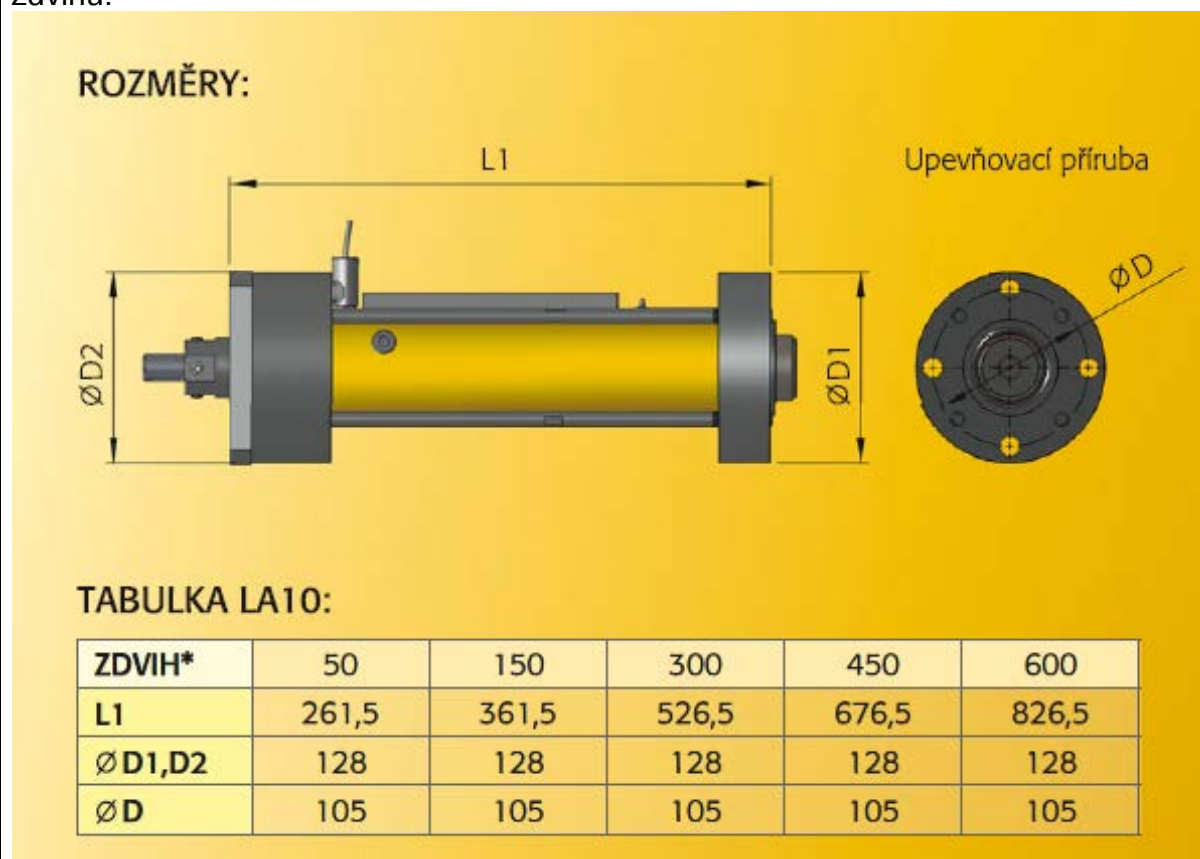
Při volení parametrů bylo nejprve třeba vybrat typ provedení na základě požadované axiální síly tělesa aktuátoru. Pro pohon nástroje bude typ **LA10** zcela vyhovovat.

Typ	LA10	LA20	LA40	LA60
Jmenovitá axiální síla tělesa aktuátoru [N]	10000	20000	40000	60000
Maximální axiální síla tělesa aktuátoru [N]*	20000	40000	80000	100000
Maximální rychlost posuvu pístnice [mm/s]	1000	1000	1000	1000

Obr. 50 Specifikace typu aktuátoru [12]

Jmenovitá a maximální síla je dána mechanickou únosností daného tělesa aktuátoru. Tyto síly jsou uváděny s ohledem životnosti aktuátoru. Při překročení maximální axiální síly hrozí trvalé poškození aktuátoru. Proto pohon musí být správně dimenzován, případně je třeba omezit moment motoru. Standardní motory mají vždy možnost krátkodobého přetížení, a proto maximální moment motoru nesmí vytvořit sílu větší, než je maximální povolená síla aktuátoru zvoleného typu. Aktuátor vytváří tlačnou nebo tažnou sílu, která může být ovlivněna volbou pohonu. Jakékoliv radiální zatížení pístnice není přípustné a aktuátor je určený pro nepřetržitý provoz. [12]

Přesný typ a rozměr pohonu byl tak vybrán na základě hodnoty pojezdu nástroje - zdvihu:



Obr. 51 Rozměry aktuátoru typu LA10 [12]

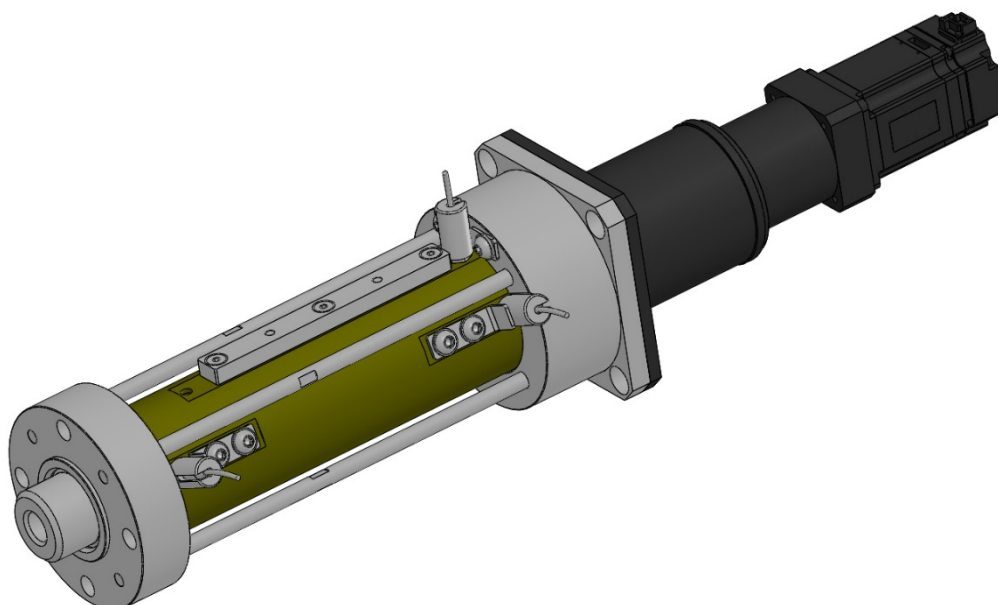
2.6.5 Výběr pohonu posuvu nástroje

Pohon posuvu nástroje musí být implementován do celého řídicího systému a řídicího programu. Tento řídicí systém má na starost vyhodnocovat rychlost profilu pomocí snímacího kolečka a řídit tak celý děrovací cyklus. Cílem této diplomové práce však není elektroinstalace a vypracování řídicího programu tohoto zařízení, a tak přesný výběr pohonu a celého řídicího systému včetně elektroinstalace a rozvodů bylo třeba řešit přes odbornou konzultaci. Konečné parametry pohonu tak musely být vybrány na základě schopností a možnosti nastavení řídicího systému a jeho komponentů.

2.6.6 Finální parametry elektromechanického lineárního aktuátoru

Tabulka 6 Parametry zvoleného aktuátoru:

TYP AKTUÁTORU		LA
PROVEDENÍ		LA-10-0167-0150-1310
<i>PARAMETRY AKTUÁTORU S POHONEM</i>		
JMENOVITÁ SÍLA		1,9 kN
MAXIMÁLNÍ SÍLA		5,9 kN
ZDVIH		150 mm
STOUPÁNÍ ŠROUBU		10 mm/ot
HMOTNOST		18 kg
<i>POHON, KOMPONENTY</i>	Typ	Označení
MOTOR	YASKAWA	SGMAV-04ADA61 0.4kW, 3000ot/min, 1.27Nm
PŘEVODOVKA	Planetová	MP-060-1-3-15'-14-30-50-70-0 (i=1:3)
ČIDLO	Referenční 1ks	BES 516-324-G-E4-C-S49-00,3
ČIDLO	Koncové polohy 2 ks	BES 516-377-G-E4-C-S49-00,3



Obr. 52 Model použitého elektromechanického lineárního aktuátoru

2.6.7 Kontrolní výpočet pohonu posuvu nástroje

Pohon posuvu je dimenzován na nevyšší možnou sílu, kterou aktuátor dovoluje. Tato síla by mohla vzniknout při rozjezdu nástroje, kde by aktuátor špatným nastavením řízení mohl zrychlit do maxima a následně brzdil do rychlosti extruze.

Síla odporu od vedení:

$$F_t = m_{nást} \cdot g \cdot f_1 = 115,8 \cdot 9,81 \cdot 0,004 = 4,54 \text{ N} \quad (46)$$

kde:

$m_{nást}$ [kg] hmotnost nástroje

f_1 [-] součinitel tření od kuličkového vedení (0,002 – 0,004)

Tíhová složka zátěže:

$$F_g = m_{nást} \cdot g = 1135,5 \text{ N} \quad (47)$$

Setrvačná síla posuvných hmot:

$$F_a = m_{nást} \cdot a_{max} = 579 \text{ N} \quad (48)$$

$$a_{max} = \frac{v_{max}}{t_1} = \frac{0,5}{0,1} = 5 \text{ m/s}^2 \quad (49)$$

kde:

a_{max} [m/s^2] maximální zrychlení pohonu

Stanovení špičkové síly:

$$F_{max} = F_t + F_g + F_a = 1719,2 \text{ N} \quad (50)$$

Výkon:

$$P = \frac{W}{t_{celk}} = \frac{435,5}{1,5} = 343,8 \text{ W} \quad (51)$$

$$W = F_{max} \cdot 2 s_{celk} = 515,75 \text{ J} \quad (52)$$

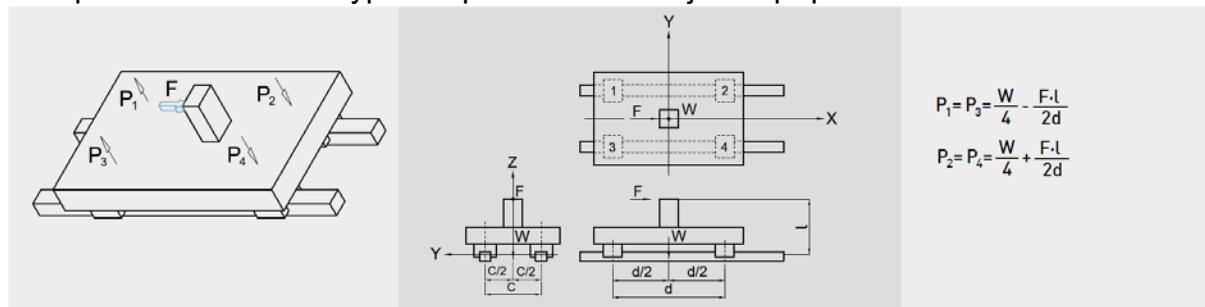
Zvolený elektromechanický lineární aktuátor vyhovuje.

Obr. 54 Rozměry kolejnice [21]

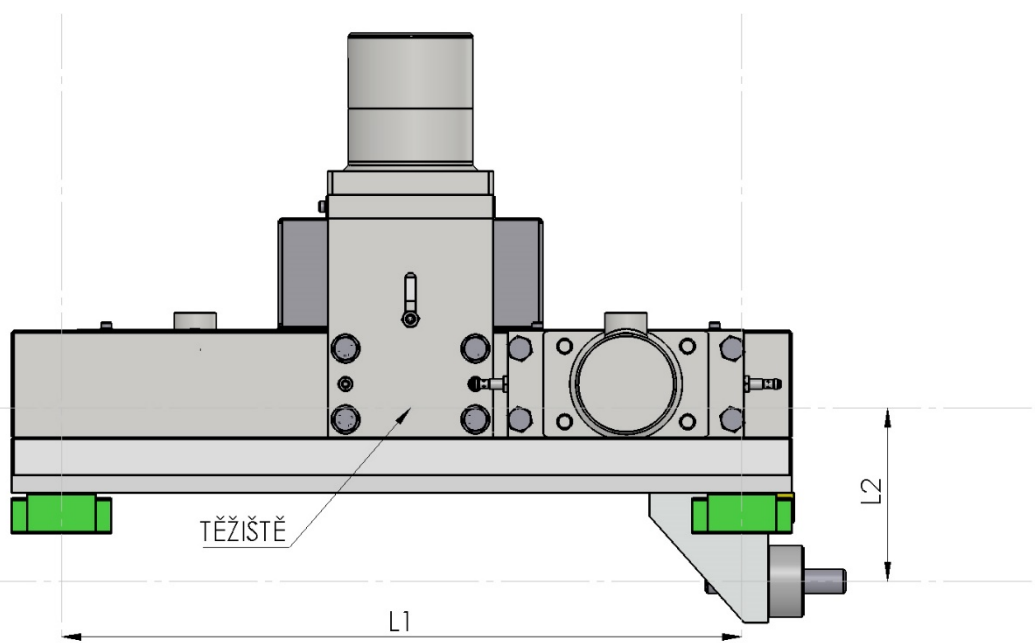
2.7.1 Výpočty lineárního vedení

2.7.1.1 Pracovní zátěž

Kde pracovní zátěž se vypočítá pomocí následujícího případu:



Obr. 55 Výpočet pracovní zátěže [21]



Obr. 56 Těžiště nástroje

$$P_1 = P_3 = \frac{m_{nást} \cdot g}{4} + \frac{m \cdot a_{max} \cdot L2}{2 \cdot L1} \quad (53)$$

$$P_1 = P_3 = \frac{115,8 \cdot 9,81}{4} + \frac{115,8 \cdot 5 \cdot 147}{2 \cdot 576} = 357,9 \text{ N} \quad (54)$$

kde:

$m_{nást}$ [kg] hmotnost nástroje - 115,8 kg
 a_{max} [m/s²] maximální zrychlení – 5 m/s²
 $L1$ [mm] vzdálenost vozíků
 $L2$ [mm] vzdálenost těžiště od pohonu

2.7.1.2 Statický bezpečnostní faktor

$$f_s = \frac{C_0}{P} \quad (55)$$

$$f_s = \frac{56190}{357,9} = 157 \quad (56)$$

kde:

C_0 [N] statické zatížení

2.7.1.3 Nominální životnost

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P} \right)^3 \cdot 50 \quad (57)$$

$$L = \left(\frac{26480}{357,9} \right)^3 \cdot 50 = 20\,250\,644 \text{ km} \quad (58)$$

kde:

C_{dyn} [N] dynamické zatížení

2.7.1.4 Provozní životnost

$$L_h = \frac{L \cdot 1000}{2 \cdot l_s \cdot n \cdot 60} \quad (59)$$

$$L_h = \frac{20\,250\,644 \cdot 1000}{2 \cdot 0,340 \cdot 60} = 14\,062\,947 \text{ h} \quad (60)$$

kde:

l_s [m] dráha nástroje

n [cykl/min] počet cyklů za minutu (40)

2.8 Analýza rizik

Analýza rizik je pro strojní zařízení vyžadována jako jedna z mála dokumentů strojní směrnici (2006/42/ES). Již z toho plyne, že analýza rizik je důležitým faktorem při návrhu strojů a řešení jejich bezpečnosti. Proto by neměla být brána jako jen předpisem vyžadovaný dokument, ale především jako užitečný nástroj pro konstrukci. Je třeba ale dbát na formu metodiky, aby zbytečně nezatěžovala a neprodložovala konstrukci. Pokud se analýza provede účelně, tak může sloužit i jako návod na tvorbu řídicího systému strojního zařízení. Vhodnou metodou tvorby analýzy rizik lze jasně určit požadované úrovně zabezpečení jednotlivých bezpečnostních funkcí a taktéž zajistit přesný popis požadavků pro zabránění pozdějších problémů a konfliktů mezi konstrukcí a zákazníkem [22] [27].

2.8.1 Seznam nařízení vlády a technických norem použitých při návrhu strojního zařízení

Dle NC ČR č. 378 / 2001 Sb. – Typy norem:

A – základní bezpečnostní normy

Stanovují základní pravidla, konstrukční principy, terminologii a obecné faktory, které se vztahují na veškerá strojní zařízení.

Technická norma:

- EN ISO 12 100: 2010

B – obecné bezpečnostní normy

Řeší bezpečnost z určitého hlediska nebo se zabývá jedním konkrétním bezpečnostním prvkem, který lze použít v rámci širokého rozsahu strojních zařízení. Normy typu B se dále dělí na normy B1 a B2.

B1 – řeší konkrétní bezpečnostní faktory

Například: bezpečné vzdálenosti, teplotu povrchu, hluk, umístění ochranných zařízení.

Příklady těchto norem:

- EN ISO 13 855: 2010 – Umístění ochranných zařízení
- EN ISO 13 857: 2008 – Bezpečné vzdálenosti
- EN 60 204 – 1: 2005 – Elektrická zařízení

B2 – řeší konkrétní bezpečnostní prvky a zařízení

Například: dvouruční ovládací zařízení, blokovací zařízení, zařízení citlivá na tlak, kryty.

Příklady těchto norem:

- EN 574 + A1: 2008 – Dvouruční ovládání
- EN ISO 13 850: 2008 – Nouzové zastavení
- EN ISO 14 119: 2013 – Blokovací zařízení

C – bezpečnostní normy pro konkrétní strojní zařízení nebo skupiny strojů

Zabývá se konkrétními a podrobnými bezpečnostními požadavky. Mají přednost před normami typu A i B.

Příklady těchto norem:

- EN ISO 10 218 – 1 / 2: 2011 – Robot
- EN 692: 2009 – Mechanický lis
- EN 618 – EN 620 – Dopravníkové systémy

Použité normy u zařízení na děrování plastového profilu viz. Příloha 1.

2.8.2 Postup při navrhování opatření

Při navrhování opatření postupujeme v pořadí podle efektivity účinnosti a zásad v zajišťování bezpečnosti. Ve směrnici 2006 / 42 / ES, příloze I, článek 1.1.2, písmeno b) a v normě EN ISO 12 100: 2010 článek 6.1 je tento postup popsán jako: **třístupňová metoda** [22] [27].

2.8.2.1 První krok = priorita první

Opatření při navrhování, která jsou realizována nebo zabudována do konstrukce strojního zařízení. Jedná se o nejúčinnější ochranné opatření, protože nebezpečí jsou vyloučena nebo rizika snížena vlastní konstrukcí strojního zařízení. V prvním kroku se provádí následující:

- Zajištění stability
- Úplné vyloučení nebezpečí
- Vyloučení ostrých hran
- Umístění nebezpečných částí mimo dosah
- Omezit nebezpečné prostory
- Omezit přístup k horkým povrchům
- Omezit emise hluku nebo zařízení – např. volbou vhodné technologie

2.8.2.2 Druhý krok = priorita druhá

Opatření, která jsou realizována technickými prostředky nebo doplňkovými opatřeními a zamezují tomu, aby byly osoby vystaveny nebezpečí. Spolehlivost technických prostředků je ovlivněna způsobem používání, správnou volbou, umístěním nebo obejitím. V druhém kroku se provádí následující:

- Izolace částí pod napětím
- Uzavření zdrojů hluku
- Tlumení vibrací
- Stabilizátory
- Zařízení pro zachycování nebo odvádění emisí nebezpečných látek, záření
- Ochranné konstrukce proti riziku převrácení nebo riziku padajících předmětů

Ochranné prvky se v druhém kroku dělí na:

Ochranné kryty – pevné, snímatelné nebo nastavitelné omezující přístup (EN 953).

Nejzákladnější normy pro ochranné kryty:

- o EN ISO 13 857 – dosahové vzdálenosti
- o EN 349 – nejmenší mezery proti stlačení
- o EN 547 – tělesné rozměry a otvory pro přístup ke strojnímu zařízení

Nejzákladnější požadavky na ochranné kryty:

- o Stabilní konstrukce
- o Zamezení proti překonání, obejití, podlezení
- o Dosah skrz ochranné kryty – dosahové vzdálenosti u štěrbin
- o Dosah nad nebo pod ochranným krytem
- o Eliminace střížných míst – odsuvné přístupové dveře
- o Aretace zvedacích ochranných krytů

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

Ochranná zařízení – pro monitorování polohy ochranného krytu, který umožňuje přístup do nebezpečného prostoru stroje nebo monitorování nebezpečného prostoru. Blokovací zařízení jsou prostředky pro monitorování polohy ochranného krytu s blokováním spuštění nebezpečných funkcí strojního zařízení za určitých podmínek (při otevření ochranného krytu). Příklady nejzákladnějších norem:

- o EN ISO 14 119 – blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty
- o EN ISO 13 855 – umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlost přiblížení
- o EN ISO 13 849 – bezpečnost části ovládacích systémů
- o EN 61 496 – elektrická snímací ochranná zařízení

Nejzákladnější požadavky na ochranná zařízení:

- o Zamezení proti obejití nebo vyřazení
- o Volba vhodného typu s ohledem na rizika
- o Dosažení požadované úrovně vlastností pro danou bezpečnostní funkci
- o Správa instalace ochranného zařízení – ochrana před poškozením a eliminace vzniku závad se společnou příčinou

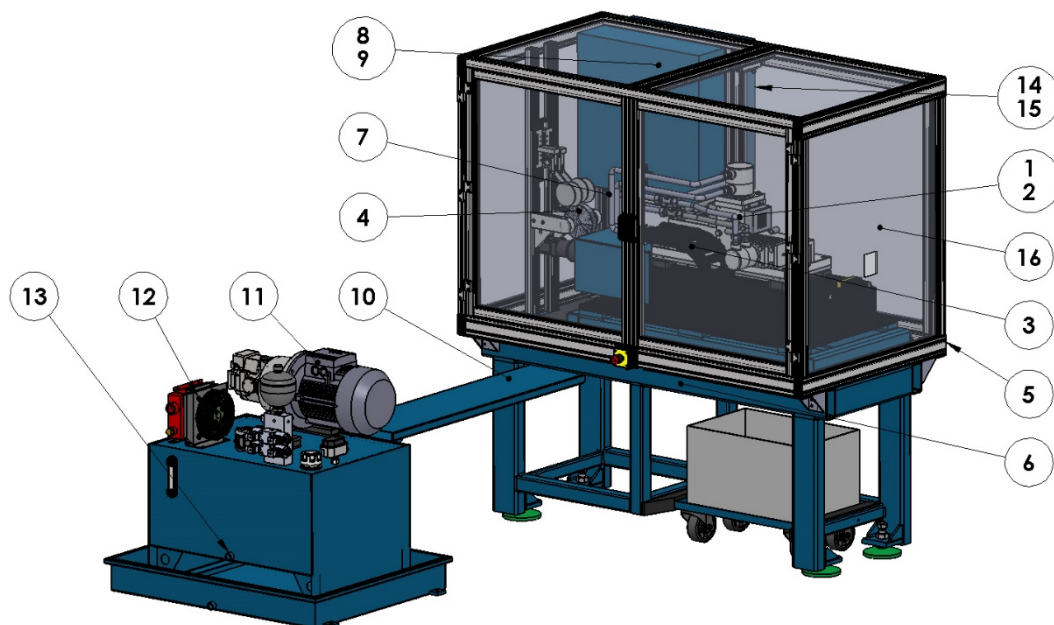
Doplňková ochranná zařízení – ovladače nouzového zastavení (EN ISO 13 850)

2.8.2.3 Třetí krok = priorita třetí

Opatření, která jsou realizována **informováním uživatelů** o zbytkových rizicích nebo o technologických postupech. Spolehlivost je závislá na kázni obsluhy a nesmí být náhradou za správné aplikování ochranných opatření uvedených v krocích 1 a 2. Do kroku třetího patří:

- o Údaje o strojním zařízení (hmotnost, rozměry,...)
- o Informace a výstrahy na strojním zařízení
- o Akustické nebo světelné signály
- o Upozornění na omezení v používání
- o Definování pracovních postupů

2.8.3 Vlastní analýza rizik



Obr. 57 Popis analýzy rizik zařízení

DRUH NEBEZPEČÍ	POPIS	OBLAST	ČÍSLO
1 MECHANICKÁ NEBEZPEČÍ	Doraz pohyblivých částí nástroje na pevné části	Prostor nástroje pro děrování	1
	Doraz pohyblivých částí s nástrojem na pevné části stroje	Prostor lineárního pojezdu mechanismu s nástrojem	2
	Pohybující se prvky (konzole pro en. vedení, en. vedení..)	Prostor děrovacího mechanismu	3
	Rotující prvky	Prostor vstupu profilu do zařízení	4
	Nebezpečí způsobené hranatými částmi nebo ostrými hranami	Celé zařízení	5
	Tíže (potenciální energie)	Prostor okolo a pod jednotlivými samostatnými částmi zařízení při jejich zdvihání nebo manipulaci	6
	Vysoký tlak v hydraulickém okruhu	Prostor kolem hydraulického agregátu, hydraulických rozvodů a válců	7
2 ELEKTRICKÁ NEBEZPEČÍ	Elektromagnetické a elektrostatické jevy	Prostor kolem celého zařízení, zvláště jeho řídicích částí	8
	Živé části. Přímý dotyk. Přetížení a zkrat.	Všechny elektrické části zařízení.	9
	Přímý dotyk částí, které se staly živými při závadě.	Vodivé, zpravidla kovové části zařízení.	10
3 TEPELNÁ NEBEZPEČÍ	Vysoká teplota	Prostor hydraulického agregátu a lineárního pohonu	11

4 NEBEZPEČÍ HLUKU	Pohybující se části, opotřebené části a hydraulický agregát	Prostor zařízení a okolí.	12
5 NEBEZPEČÍ MATERIÁLU A LÁTEK	Nebezpečné látky a biologická nebezpečí	Prostor kolem rozvodu oleje a hydraulického agregátu	13
6 ERGONOMICKÁ NEBEZPEČÍ	Přístup k zařízení. Námaha a poloha těla.	Pracovní prostor obsluhy zařízení.	14
	Konstrukce, umístění nebo identifikace ovládacích a zobrazovacích zařízení	Prostor ovládání zařízení	15
	Místní osvětlení	Obslužný prostor jednotlivých částí pracoviště zařízení	16

2.8.3.1 Mechanická nebezpečí

1) Doraz pohyblivých částí nástroje na jeho pevné části

Popis nebezpečí Nebezpečí zranění končetin, především stlačení, rozdrčení nebo oddělení prstů pohyblivými částmi nástroje.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukcí nástroje zabezpečit všechny pracovní prostory nástroje proti dosahu ruky nebo prstů – bezpečné mezery pro přístup podle článku 4.2.4 EN ISO

Krok 2 Zajištění proti přístupu k pohybům hydraulických mechanismů pro děrování pevnými kryty splňujícími požadavky uvedených článků EN 953+A1 a EN ISO 13857.

Krok 3 Popis obsluhy zařízení v návodu.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

4

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

2) Doraz pohyblivých částí s nástrojem na pevné části stroje

Popis nebezpečí Nebezpečí stlačení nebo rozdrčení prstů nebo končetin při pojezdu mechanismu s děrovacím zařízením.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukcí zamezit přístup k pojezdu děrovacího mechanismu na lineárním vedení. Zakrytování proti přístupu k pohybujícím se částím v pracovním prostoru v automatickém režimu v úrovni vlastností PL_r = d. Vyloučení pohybu mechanismu v seřizovacím režimu při otevřených krytech.

Krok 2 Zajištění proti přístupu k pohybům mechanismu pro děrování pevnými kryty a pohyblivými kryty s jističením splňujícími požadavky uvedených článků EN 953+A1 a EN ISO 13857.

Krok 3 Popis obsluhy zařízení v návodu. Upozornění v návodu na zabezpečení přístupu k nebezpečným pohybům spojením s okolními stroji linky.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

4

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

3) Pohybující se prvky (konzole pro en. vedení, en. vedení..)		
Popis nebezpečí	Nebezpečí nárazu prstů ve vlastním děrovacím mechanismu.	
Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis		
Krok 1	Bezpečná konstrukce děrovacího mechanismu proti dosahu prstů do nebezpečného prostoru – bezpečné mezery pro přístup podle článku 4.2.4 EN ISO 13857 s výjimkou dosahu zespodu z prostoru výstupu odpadu.	
Krok 2	Zajištění proti přístupu k pohybům hydraulických mechanismů pro děrování pevnými kryty splňujícími požadavky uvedených článků EN 953+A1 a EN ISO 13857. Přístup ze spodního prostoru minimalizován kryty a výstražnými štítky na teoretické nebezpečí čelního nárazu prstů podle článku 4.2.4 EN ISO 13857	
Krok 3	Popis obsluhy zařízení v návodu.	
ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA (S,F,O,A)		ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA (S,F,O,A)
2		1

4) Rotující prvky		
Popis nebezpečí	Nebezpečí vtažení nebo rozdrčení prstů v rotačním odměřovacím mechanismu	
Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis		
Krok 1	Zabezpečení bezpečné přítláčné síly pro odměřovací kolečko. Zabezpečení krytů proti přístupu k pohybům mechanismu v automatickém režimu minimálně v úrovni vlastností PL _r = b.	
Krok 2	Zajištění proti přístupu k pohybům hydraulických mechanismů pro děrování pevnými kryty splňujícími požadavky uvedených článků EN 953+A1 a EN ISO 13857.	
Krok 3	Popis obsluhy zařízení v návodu.	
ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA (S,F,O,A)		ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA (S,F,O,A)
2		1

5) Nebezpečí způsobené hranatými částmi nebo ostrými hranami		
Popis nebezpečí	Nebezpečí při naražení nebo kontaktu s ostrou hranou nebo vyčnívající hranatou částí při obsluze zařízení nebo pohybu kolem zařízení. Pořezání při doteku s ostrými hranami.	
Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis		
Krok 1	Konstrukce a krytování jednotlivých zařízení pracoviště se zaoblenými hranami a bez vyčnívajících výstupků.	
Krok 2		
Krok 3	Popis obsluhy zařízení v návodu.	
ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA (S,F,O,A)		ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA (S,F,O,A)
2		1

6) Tíže (potenciální energie)

Popis nebezpečí Nebezpečí stlačení nebo naražení při zdvihání a manipulaci s jednotlivými částmi zařízení nebo při montáži zařízení na lince.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

- Krok 1** Konstrukční přizpůsobení jednotlivých samostatných částí zařízení pro manipulaci zvedacími prostředky. Kotvy do betonu pro uchycení strojního zařízení při provozu.
- Krok 2** Povinnosti uživatele pro školení obsluhy pro zvedání a vážení břemene.
- Krok 3** Informace o hmotnosti jednotlivých samostatně manipulovaných částí na štítku a v návodu. Podrobné pokyny pro zdvihání, manipulaci a montáž v návodu k používání zařízení.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

3

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

1

7) Vysoký tlak v hydraulickém okruhu

Popis nebezpečí Nebezpečí zranění v důsledku zasažení očí proudem tlakového oleje nebo zasažením hydraulickou hadicí při její poruše

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

- Krok 1** Dodržení požadavků kapitoly 5 EN ISO 4413 pro konstrukci agregátu a hydraulických okruhů
- Krok 2** Krytování pracovního prostoru stroje pevnými a pohyblivými kryty s jištěním
- Krok 3** Povinnost obsluhy kontrolovat správnou funkci zařízení.
Povinnost uživatele zajistit dostatečnou kvalifikaci obsluhy a údržby hydraulických zařízení. Informace v návodu k postupům servisu a údržby.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

3

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

1

2.8.3.2 Elektrická nebezpečí

8) Elektromagnetické a elektrostatické jevy

Popis nebezpečí Rušení způsobené provozem zařízení, účinky na lékařské implantáty. Odolnost celého zařízení vůči vnějším elektromagnetickým jevům.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukce jednotlivých částí zařízení a celého zařízení vyhovující požadavkům na EMC. ES prohlášení o shodě EMC od dodavatele elektročásti zařízení.

Krok 2

Krok 3 Povinnost uživatele – požadavek odbornosti servisu, zákaz úprav zařízení. Informace v návodu k používání.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

5

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

9) Živé části. Přímý dotyk. Přetížení a zkrat.

Popis nebezpečí Nebezpečí stlačení, rozdrcení nebo oddělení prstů ve vlastním děrovacím mechanismu

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukce elektročásti zařízení podle požadavků EN 60204-1

Krok 2

Krok 3 Označení příslušných krytů elektročásti zařízení s nebezpečným napětím. Dodržování povinností pro provoz pracoviště, opravy a zásahy do elektroinstalace pouze osobou s odpovídající kvalifikací. Pokyny v návodu k používání.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

5

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

10) Živé části. Přímý dotyk. Přetížení a zkrat.

Popis nebezpečí Nebezpečí úrazu elektrickým proudem při dotyku osob s částmi zařízení, které se staly živými vlivem závady na elektrickém zařízení.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Ochrana proti úrazu el. proudem – zemnění, pospojování a jištění. Dodržení všech předepsaných zásad pro ochranné obvody.

Krok 2 Ochrana jističi podle EN 60204-1

Krok 3 Dodržování povinností pro provoz zařízení, opravy a zásahy do elektroinstalace pouze osobou s odpovídající kvalifikací. Parametry pro připojení a jištění v návodu. Pokyny v návodu k používání.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

5

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

2.8.3.3 Tepelné nebezpečí

11) Vysoká teplota

Popis nebezpečí Popálení od horkého povrchu hydraulického agregátu nebo lineárního aktuátoru.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukce agregátu zajišťující bezpečnou teplotu agregátu – včetně chladicí jednotky oleje

Krok 2

Krok 3 Varovné štítky na zařízení. Informace v návodu.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

2

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

2.8.3.4 Nebezpečí hluku

12) Pohybující se části, opotřebené části a hydraulický agregát

Popis nebezpečí Nepohodlí, stres, únava, poškození sluchu způsobené provozem zařízení - pohyblivými mechanismy a hydraulickým agregátem.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukce jednotlivých mechanismů zohledňující emise hluku, tuhá konstrukce jednotlivých částí zařízení, Konstrukce hydraulického agregátu podle požadavků EN ISO 4413.

Krok 2

Krok 3 Pokyny pro údržbu, která je součástí prevence proti zvyšování emise hluku, v návodu k používání zařízení.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

2

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

2.8.3.5 Nebezpečí materiálu a látek

13) Nebezpečné látky a biologická nebezpečí

Popis nebezpečí Nebezpečí poškození zdraví kontaktem se znečištěnými hydraulickými kapalinami, kde se můžou vyskytovat bakterie nebo viry – v prostorech s možným únikem oleje.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukce zařízení minimalizující možnost úniku oleje.

Krok 2

Krok 3 Dodržování povinností pro provoz, údržbu a opravy daného zařízení – dodržování intervalů kontroly hydraulického okruhu, dodržování čistoty na pracovišti.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

2

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

2.8.3.6 Ergonomická nebezpečí

14) Přístup k zařízení. Námaha a poloha těla.

Popis nebezpečí Nepohodlí, únava a námaha při obsluze zařízení, zvláště špatný přístup k jednotlivým částem obsluhy, údržby nebo čištění děrovacího zařízení.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukce zařízení, krytování a uspořádání zařízení podle ergonomických zásad.

Krok 2

Krok 3 Povinnost uživatele dodržovat pracovní postupy a udržovat pořádek na pracovišti.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

2

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

15) Konstrukce, umístění ovládacích a zobrazovacích zařízení

Popis nebezpečí Nepohodlí, únava, stres nebo chybné jednání v důsledku nevhodně umístěného nebo zvoleného ovládacího a zobrazovacího zařízení.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukce a umístění ovládacího a sdělovacího zařízení podle ergonomických požadavků obsažených v EN 61310-1 a EN 61310-3.

Krok 2

Krok 3 Povinnost uživatele neupravovat a nezakrývat sdělovací a ovládací prvky a udržovat k nim volný přístup.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

2

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

16) Místní osvětlení

Popis nebezpečí Nepohodlí, únava, stres nebo chybné jednání v důsledku nedostatečného osvětlení pracoviště zařízení.

Způsob dosažení odpovídajícího snížení rizika – podrobný popis

Krok 1 Konstrukce pracoviště zařízení umožňující dostatečný přístup vnějšího světla pro osvětlení zařízení – průhledné krytování zařízení.

Krok 2 Povinnost provozovatele zajistit dostatečné vnější osvětlení k zajištění osvětlenosti místa zrakového úkonu na pracovišti.

Krok 3 Informace v návodu k používání.

ODHAD RIZIKA PŘED BEZPEČNOSTNÍM
OPATŘENÍM – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

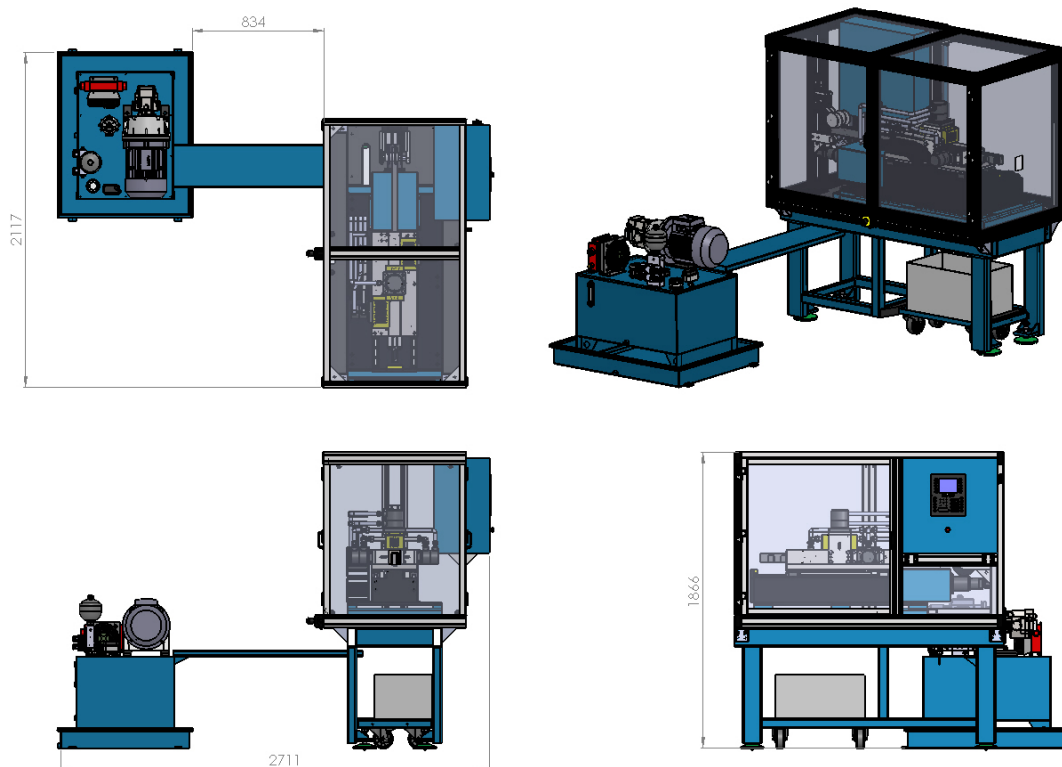
2

ZHODNOCENÍ RIZIKA PO BEZPEČNOSTNÍCH
OPATŘENÍCH – INDEX RIZIKA

(S,F,O,A)

0

3 Konstrukce zařízení pro děrování plastu



Obr. 58 Sestava děrovacího zařízení

Vlastní konstrukce a tvorba výkresů probíhala v programu Solidworks. Konstrukce zařízení se odvíjí od děrovacího nástroje, protože nástroj je zde klíčový prvek celého zařízení. Jak již bylo vysvětleno, nástroj se bude pohybovat po délce vysunutí aktuátoru. Takže konstrukce zařízení bude vyžadovat řešení ukotvení pohonu a lineárního vedení pro nástroj. Nástroj následně bude muset být ukotven na pojízdné platformě, která bude sloužit pro spojení nástroje s jeho pohonem. Zajištění přesné polohy lineárního vedení a aktuátoru bude nejdůležitější a konstrukčně nejpřesnější část celého zařízení. Tyto části následně budou ukotveny na přesné základové desce, která bude připevněna na nosnou konstrukci (stůl) zařízení. Veškerá pohybující se prvky, tak následně budou zakrytovány ochranným krytem a zabezpečeny ochrannými prvky.

Postup konstrukce zařízení tak vyplývalo z následujících kroků:

- 1) Nástroj
- 2) Propojení nástroje s pohonem
- 3) Zajištění pohonu
- 4) Zajištění lineárního vedení
- 5) Konstrukce stolu zařízení
- 6) Bezpečnostní prvky
- 7) Rozvod energetických prvků

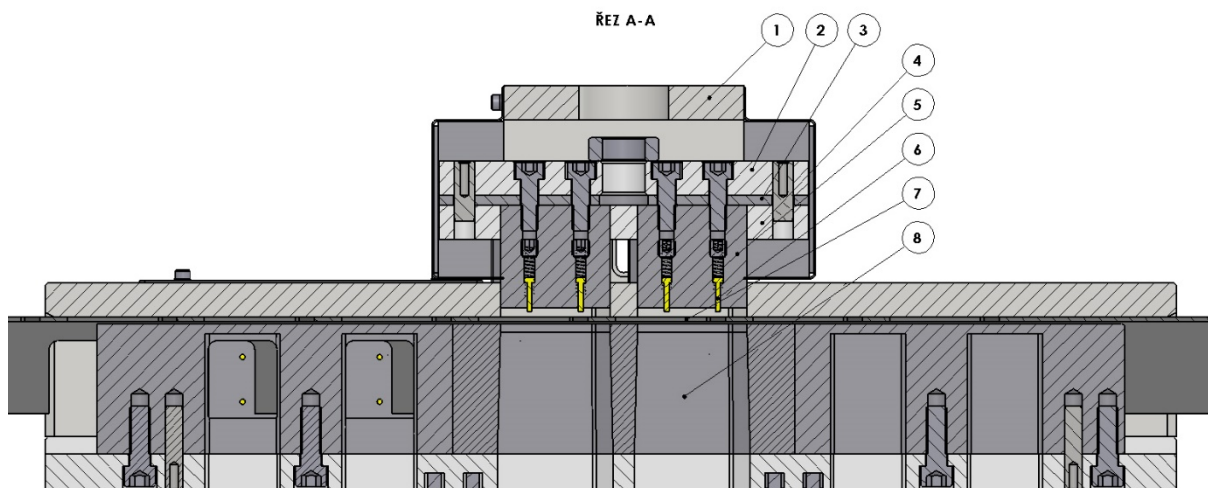
3.1 Nástroj

Samotná konstrukce nástroje nebyla součástí diplomové práce. Přesto zde bude uveden přesnější popis provedení konstrukce z důvodu vysvětlení procesu děrování, který je důležitý pro konstrukci celého zařízení. Úpravy konstrukce však byly nutné a to především ve výběru materiálu tak, aby se snížila hmotnost nástroje, přičemž funkčnost a životnost byla zachována.

Nástroj byl navržen tak, že střížnice současně funguje jako vedení profilu a je rozdělena na tři části: jedna část pro svislý stříh a dvě části pro vodorovný stříh. Odpad následně propadá těmito střížnicemi. Střížníky jsou pomocí upínací desky a šroubu ukotveny na pístech hydraulických válců ve svislém a vodorovném směru. Střížníky jsou vedeny konstrukcí (plotnami) nástroje. Střížná vůle je 0,03 mm na stěnu a výška stříhu je 15 mm. Krok děrování byl určen 80 mm, z důvodu co největšího odlehčení profilu a konstrukce nástroje.

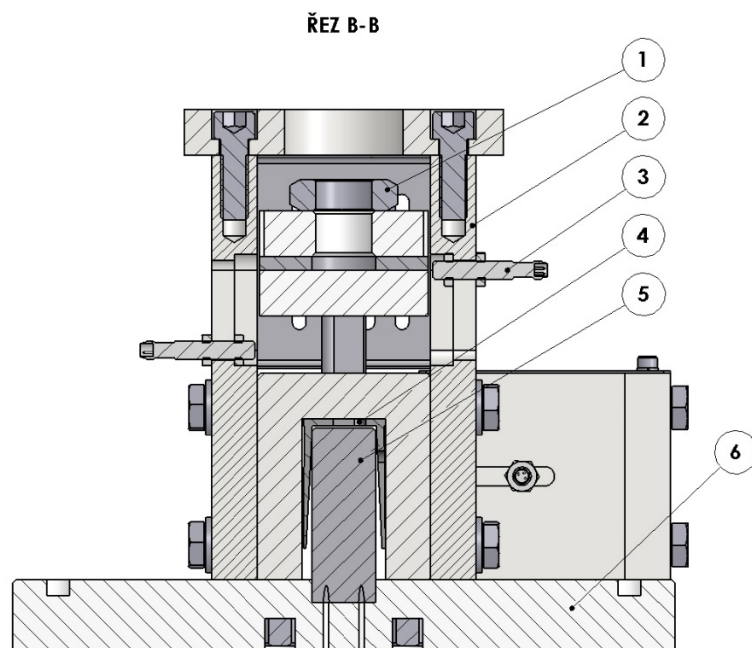
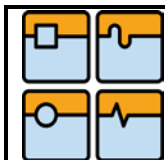
3.1.1 Konstrukce nástroje

Profil se extruduje ve výšce 1325 mm od země a tato výška vedení profilu je zachována i v zařízení pro děrování. Konstrukční provedení nástroje lze vidět na následujících obrázcích:



Obr. 59 Řez nástroje svislou rovinou ve směru pohybu profilu

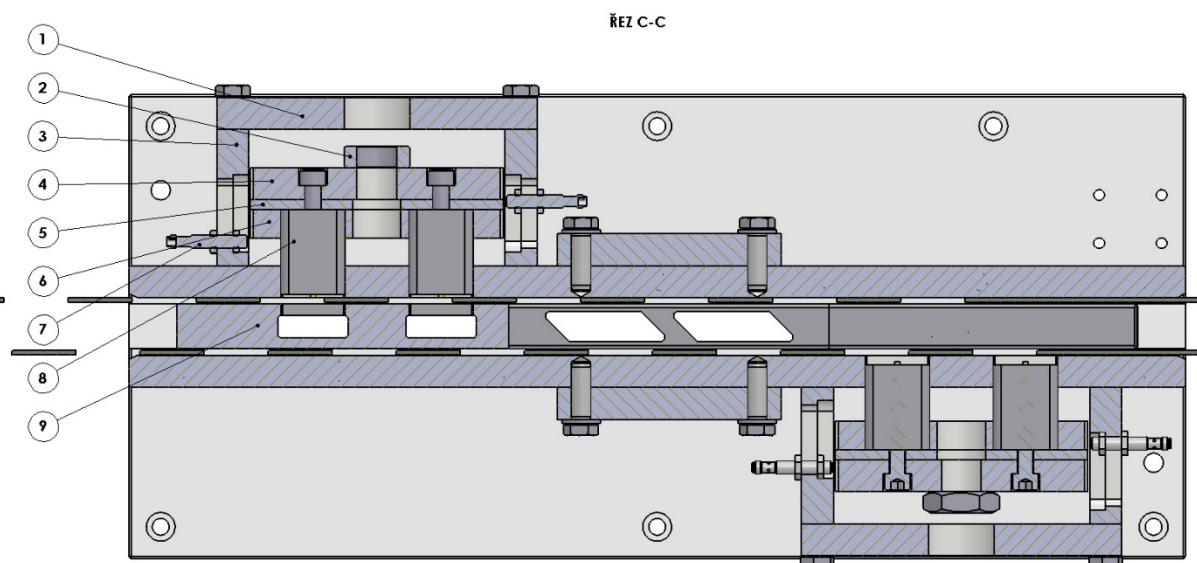
- 1) Plotna pro hydraulický válec s pístem
- 2) Kotevní deska
- 3) Opěrná deska
- 4) Vodící deska
- 5) Razník
- 6) Vyhazovač
- 7) Profil
- 8) Odpad



Obr. 60 Řez nástroje svislou rovinou v kolmém směru pohybu profilu

- 1) Kontra matka pro hydraulický píst
- 2) Boční podpůrná plotna
- 3) Polohové čidlo SICK
- 4) Profil
- 5) Vedení (střížnice)
- 6) Hlavní deska

Hydraulický válec s pístem je přišroubován k vrchní plotně, která s dalšími dvěma plotnami tvoří nosnou konstrukci pro tento hydraulický válec. Píst válce je přichycen pomocí kontra matky ke kotevní desce. Ke kotevní desce jsou přišroubovány dvě desky – opěrná a vodící. Vodící deska slouží k vedení razníků a její tloušťka je 20 mm. Vůle pro vedení razníků je 0,01 mm, střížná vůle je 0,03 mm na stěnu a výška stříhu je 15 mm. Razník následně děruje profil pohybující se na vedení, které zároveň slouží jako střížnice. Toto vedení (střížnice) je rozděleno na tři úseky (vodorovné, svislé, vodorovné děrování). Při tomto uspořádání tak vzniká problém v podobě správného broušení všech částí střížnice. Broušení musí být provedeno tak, aby nevznikaly schodky mezi jednotlivými částmi vedení. Předepsaný způsob broušení razníků a střížnic je uvedený v návodu na obsluhu zařízení. Vyhazovače uvnitř razníků jsou stlačeny pod pružinou. Na bočních plotnách jsou vyfrézované drážky pro připevnění čidel od firmy SICK. Tyto čidla slouží ke snímání horní a dolní polohy razníku (vodící desky). Všechny tyto části jsou následně připevněny na hlavní desku nástroje.



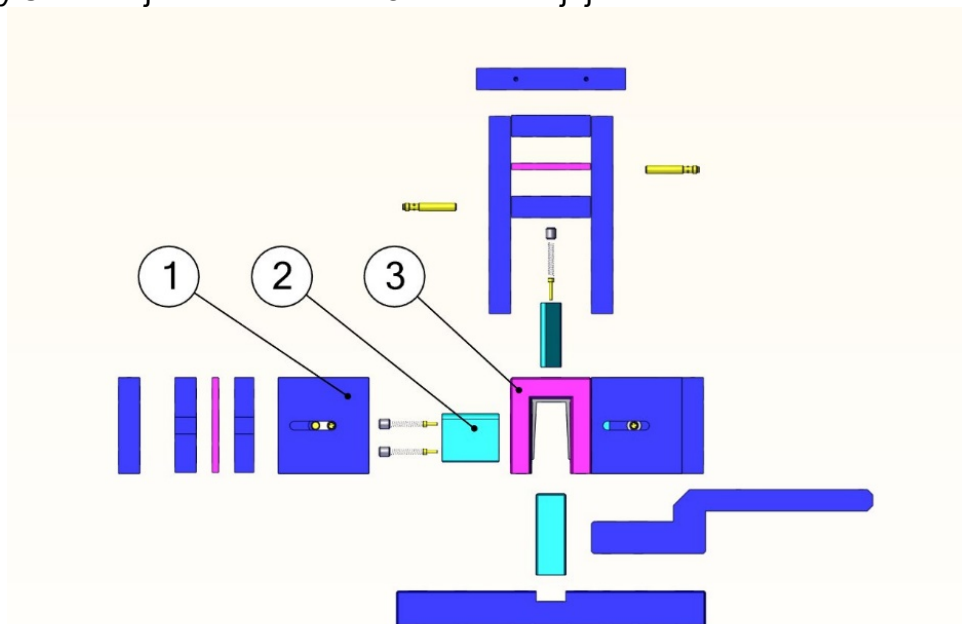
Obr. 61 Řez nástroje vodorovnou rovinou

- 1) Plotna pro upevnění hydraulického válce s pístem
- 2) Kontra matka pro upevnění pístu
- 3) Boční podpůrná plotna
- 4) Kotvící deska
- 5) Opěrná deska
- 6) Vodící deska
- 7) Polohové čidlo SICK
- 8) Razník
- 9) Vedení profilu (střižnice)

Konstrukce nástroje ve vodorovném směru děrování je obdobná jako u svislého směru. Rozdíl je pouze ve tvaru razníku, děr ve střižnici a síle hydraulického pístu. Na hlavní desce lze vidět díry pro šrouby M10 x 40 (6x) a kolíky Ø12 h8 x 45 (2x) sloužící k upevnění hlavní desky k pojízdnému stolu. Dále lze vidět čtyři závity M8 pro ukotvení držáku energetického vedení sloužící k přívodu kabeláže.

3.1.2 Volba materiálů

Materiály bylo třeba volit s ohledem na funkci dílů a jejího opotřebení, životnosti. Díly sloužící tak pouze jako podpůrné mohou být vyrobeny z lehčích materiálů. Nástroj při stříhu plastového profilu nebude vystaven výrazným vibračním a rázům, takže není předpoklad výrazných zátěží a namáhání materiálu. Pouze funkční díly budou vyrobeny s odolnějšími materiály s ohledem na jejich funkčnost.



Obr. 62 Použité materiály v nástroji

1) Pro snížení hmotnosti nástroje byly díly, které nebudou namáhané stříhem, vyrobeny z materiálu ENAW 7075 (duralu). Jedná se o následující díly:

- základová deska
- podpůrná deska pro vozíky
- plotny pro uchycení hydraulických válců
- boční plotny
- vodící desky
- upínací desky
- konzole pro energetické vedení

Porovnání hmotnosti jednotlivých dílů lze vidět v tabulce 7. Pro srovnání byl vybrán materiál ČSN 12050, který se při konstrukci děrovacích nástrojů běžně používá.

2) Pro razníky a spodní vedení střížnic byl vybrán materiál ČSN 19 573. Tato vysoce legovaná chrom - molybden - vanadová ocel je často používaná nástrojářská ocel, která se vyznačuje vysokou otěruvzdorností, odolností proti opotřebení a dobrou houževnatostí. Pevnost 750 - 800 MPa Tvrdost ve stavu žíhaném na měkko max. 250 HB Dosažitelná tvrdost po kalení 63 HRC. Pro razníky je třeba ocel kalit na sekundární tvrdost 60+-2 HRC a pro spodní vedení střížnice na 58-60 HRC [23].

- 3) Vrchní vedení a vnitřní plotny jsou vyrobeny z materiálu ČSN 19 436. Tato ocel je vhodná na razníky a matrice pro střížné nástroje na stříhání papíru, plastových hmot (s velkým obsahem příměsí) a oceli do síly 3 mm. Tato vysoce legovaná chromová ledeburitická ocel s vysokým obsahem uhlíku a chromu vyznačující se vysokou odolností proti otěru s pevností 800 - 850 MPa a dosažitelné tvrdost po kalení do 64 HRC je tak vhodná pro vedení a stříhání plastového profilu. Vedení bude kaleno na 60+-2 HRC [23].

Tabulka 7 Porovnání hmotnosti dílů nástroje

Název dílu	ČSN 12050	ALUMINIUM 7021	ks
Základová deska	43,95 kg	15,6 kg	1
Plotna pro vodorovný válec	2,46 kg	0,89 kg	2
Plotna pro svislý válec	2,43 kg	0,87 kg	1
Boční plotna vodorovná	0,94 kg	0,34 kg	4
Boční plotna svislá	3,78 kg	1,14 kg	2
Svislé vedení	2,02 kg	0,73 kg	1
Boční vedení	1,32 kg	0,48 kg	2
Upínací deska svislá	2,03 kg	0,73 kg	1
Upínací deska vodorovná	1,83 kg	0,66 kg	2
Konzole pro ener. vedení	3,71 kg	1,34 kg	1
<i>Ostatní díly ovlivňující hmotnost nástroje</i>			
Podpůrná deska	21,52 kg	7,75 kg	1
Kostka	3,35 kg	1,25 kg	1

Hmotnost samotných dílů nástroje je tak **60,7 kg** s použitím materiálu ALUMINIUM 7021 a **107 kg** s použitím oceli dle ČSN 12 050.

3.1.3 Mechanické vlastnosti

Tabulka 8 Srovnání mechanických vlastností materiálů

Materiál	Stav	min R _m [MPa]	min R _{p0,2} [MPa]
ENAW 7075	vytvrzený	550	450
ČSN 12 050	normální	540	320

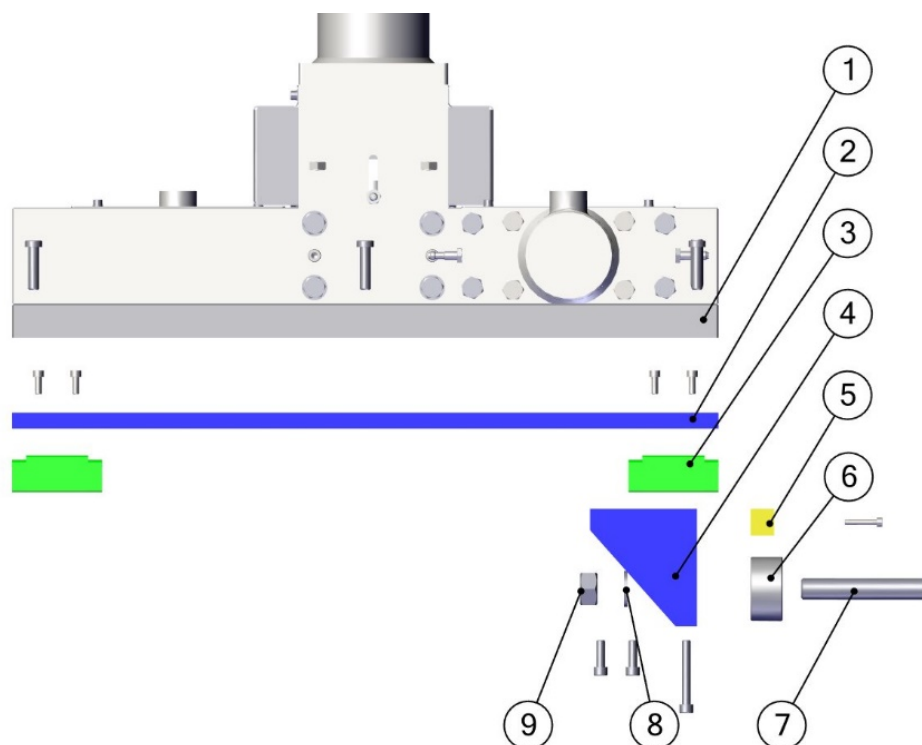
Odlehčením hmotnosti nástroje hliníkovým materiálem nedojde k zhoršení mechanických vlastností a tím se nesníží životnost nástroje.

3.2 Propojení nástroje s pohonem

3.2.1 Poloha pohonu a nástroje

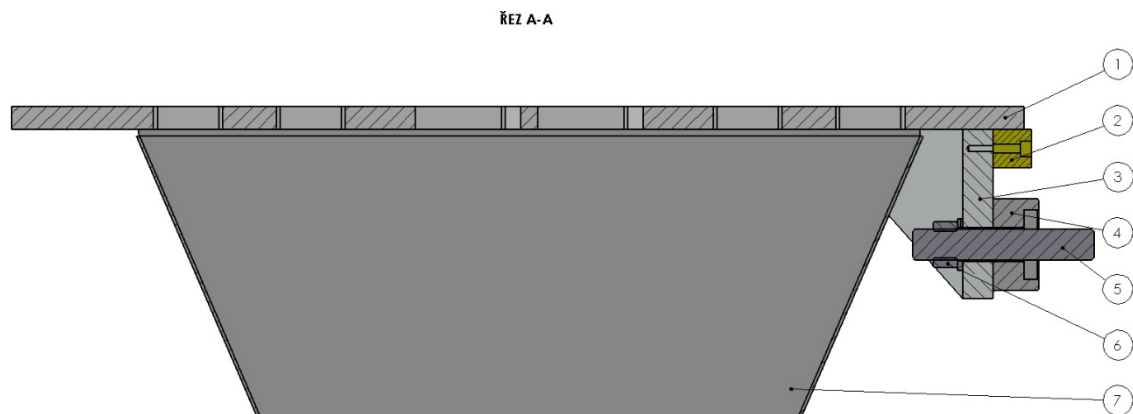
Poloha pohonu nástroje byla zvolena na ose pohybu profilu a pod úrovní nástroje. K tomuto uspořádání vedlo především dostatek volného místa a snaha zamezení vzniku nežádoucích bočních sil. Proto součásti zabezpečující správnou polohu ukotvení nástroje a pohonu jsou vyrobeny s vysokou přesností. Pro propojení pohonu s nástrojem tak vznikne konzole, která bude přenášet sílu z pístu aktuátoru do pohybu nástroje.

3.2.2 Konstrukce propojení nástroje s pohonem



Obr. 63 Součásti propojení nástroje s pohonem

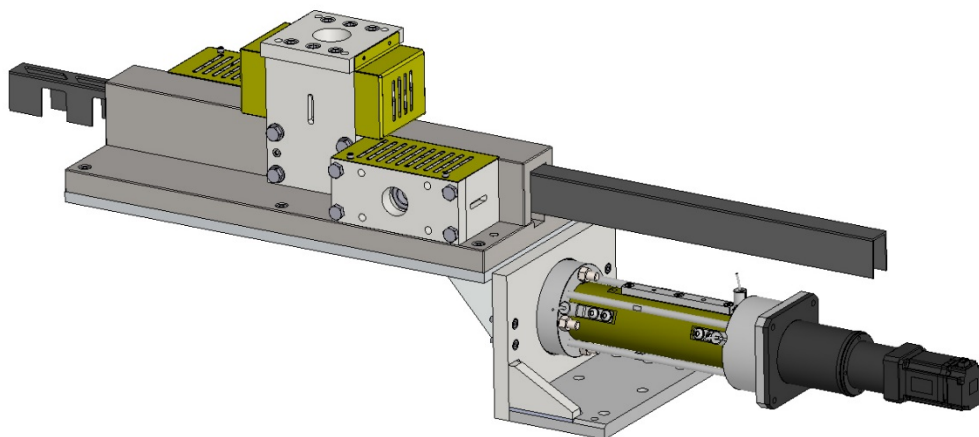
Tato konzole se skládá z duralové podpůrné desky (2), vozíků lineárního vedení od společnosti HIWIN (3), duralové kostky (4), bezpečnostního dorazu (5) (z polyuretanu), prodloužení aktuátoru (6), šroubu (7), bezpečnostní podložky (8) a bezpečnostní matky (9). Bezpečnostní doraz slouží k zajištění proti nárazu při manipulaci nástroje na lineárním vedení s nezapojeným aktuátorem. Tím by mohlo dojít ke kolizi mezi duralovou podpůrnou deskou s vozíky a deskou dorazu aktuátoru. Kostka je vyfrézována z jednoho kusu duralu a následně je šroubovými spoji přišroubována k podpůrné desce a aktuátoru. Ke spojení kostky a aktuátoru slouží šroub DIN 912 – M20 x 80. Tento šroub má dostatečnou tuhost pro zajištění bezpečného převodu sil. Zajištění matice na šroubu je dosaženo pomocí speciálních bezpečnostních podložek. Prodloužení aktuátoru slouží jako doraz pro vymezení vůle mezi aktuátorem a konzolí tak, aby bylo zajištěno doražení kostky s koncem pístu aktuátoru. Materiál pro tento díl byl zvolen legovaná ocel ČSN 15 142, která je vhodná pro více namáhané strojní díly. Součástí tohoto stolu je i svařenec odpadového plechu, který slouží k usměrňování odpadu do vozíku pro odpad umístěného pod odpadovými otvory.



Obr. 64 Řez sestavy desky nástroje s konzolí

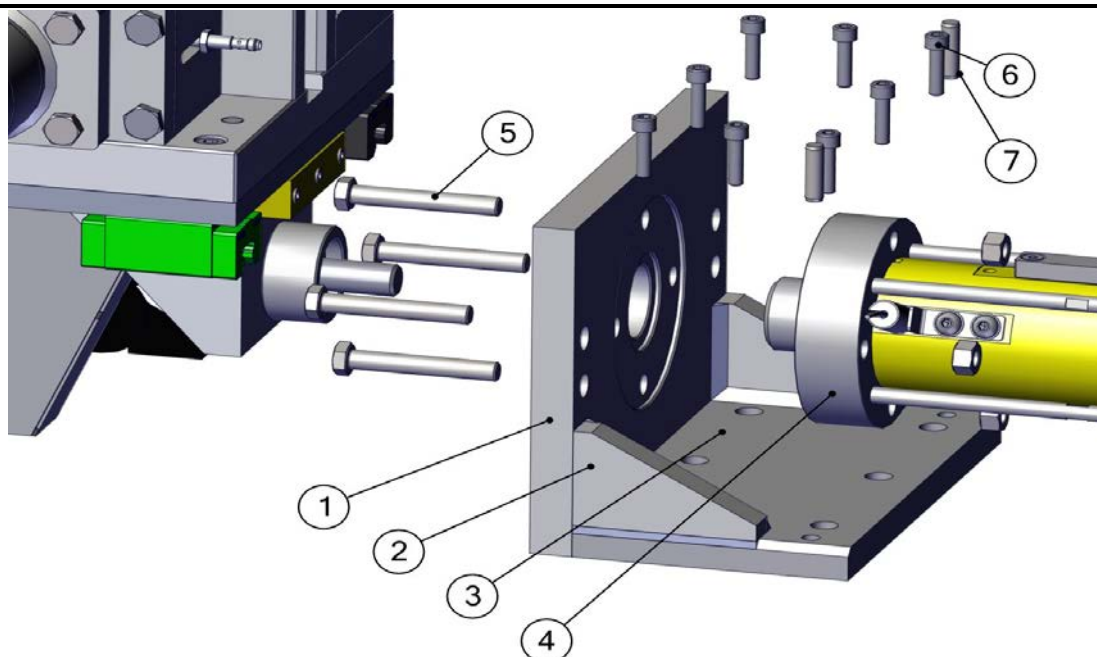
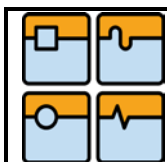
- 1) Podpůrná deska
- 2) Gumový doraz
- 3) Kostka
- 4) Prodloužení aktuátoru
- 5) Šroub M20
- 6) Matice M20 s bezpečnostní podložkou
- 7) Svařenec odpadu

3.3 Zajištění pohonu



Obr. 65 Způsob zajištění pohonu

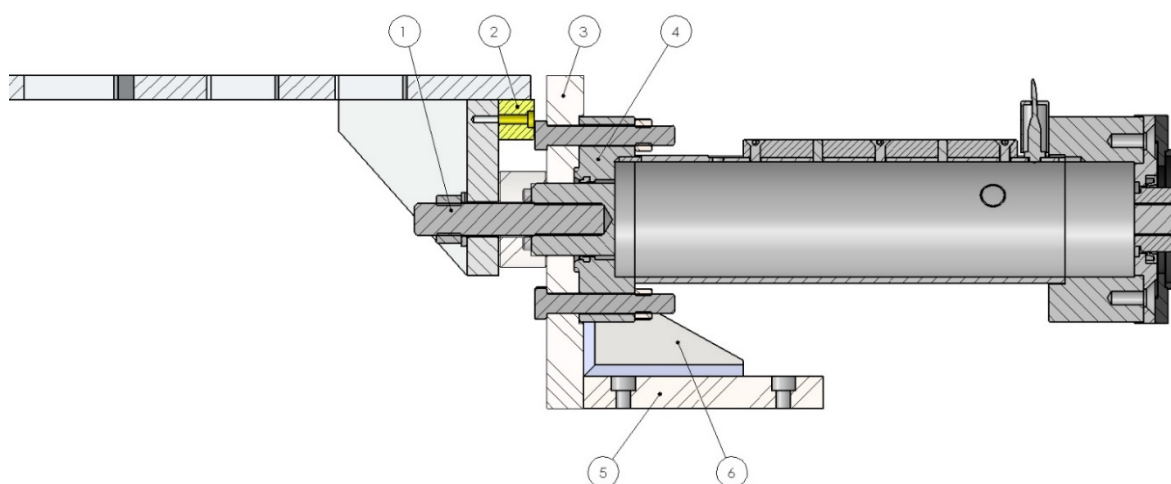
Aktuátor je přes její přírubu upevněn šrouby DIN 912 - M18 (4x) k opracovanému svařenci (výkres tohoto svařence je v příloze), který zajišťuje spojení s pevným stolem zařízení. Svařenec je svařen ze tří částí a to z desky pohonu, desky dorazu aktuátoru a dvou žeber. Svařenec je po vystavení vysokým teplotám při svařování velice nepřesný a tak je třeba počítat s dostatečným přídavkem materiálu pro následné obrobení. Celý svařenec je následně tepelně zpracován pro odstranění zbytkového pnutí na jeho další opracovávání. Při konstrukci svařence je nutno zajistit kolmost dorazu pohonu s deskou pohonu tolerancemi a dostatečnou drsnost povrchů na vyfrézované kapse pro přírubu aktuátoru (desky dorazu aktuátoru) a na spodku desky pohonu, kde je potřeba zajistit dobré přilnavosti k podkladové desce (deska stolu). Jako materiál pro všechny tyto části byla volena konstrukční cel ČSN 11 523, která patří mezi měkkčí ocel a tím pádem má velice dobré vlastnosti pro svařování a následné obrobení.



Obr. 66 Detailní popis zajištění pohonu

- 1) Deska dorazu
- 2) Žebro
- 3) Deska pohonu
- 4) Příruba aktuátoru
- 5) Šroub M18
- 6) Šroub M8
- 7) Přesné kolíky – průměr 10 mm

ŘEZ A-A

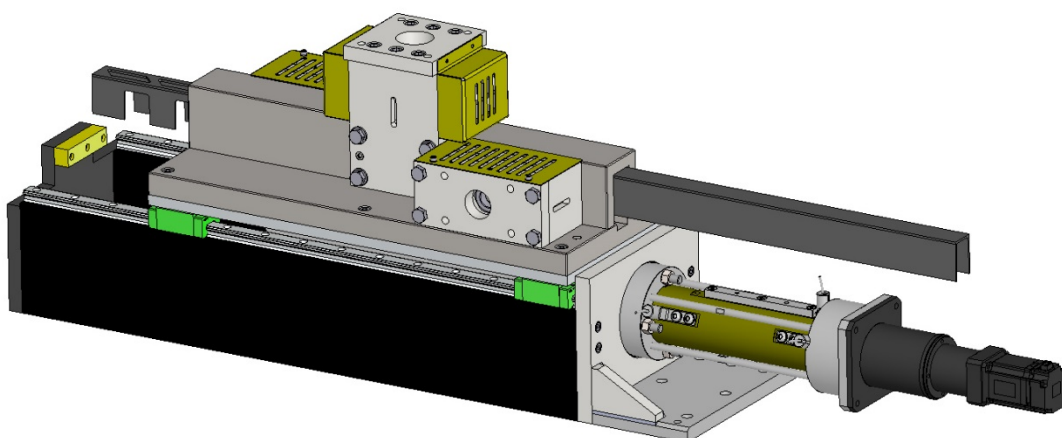


Obr. 67 Řez propojení pohonu s nástrojem

- 1) Šroub M20 s maticí a pojistnou podložkou
- 2) Gumový doraz
- 3) Deska dorazu aktuátoru
- 4) Příruba aktuátoru
- 5) Deska pohonu
- 6) Žebro svařence

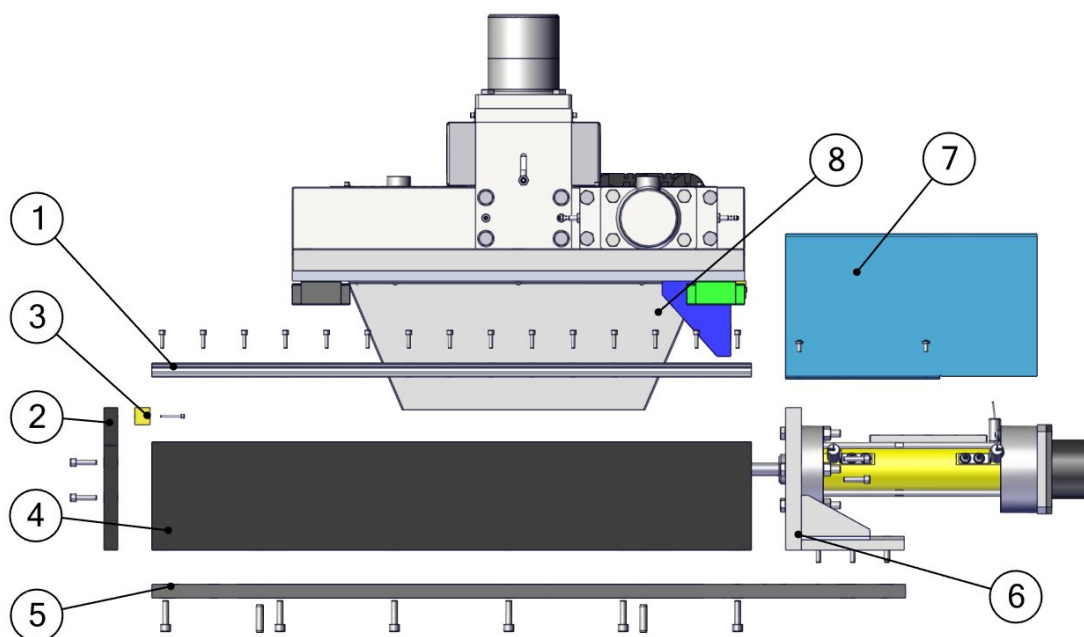
3.4 Lineární vedení

Pro zajištění přesnosti lineární vedení je nutno pomocí konstrukce zajistit, aby kolejnice byly k sobě rovnoběžné a byly uloženy ve stejné výšce. Posuv po kolejnicích je na obou stranách limitován mechanickými dorazy při odpojení aktuátoru, který sám o sobě slouží jako mechanický doraz. Kolejnice jsou od možných nečistot a drobných částí z procesu děrování chráněny plechovým svařencem pro odvádění odpadu.



Obr. 68 Zajištění lineárního vedení

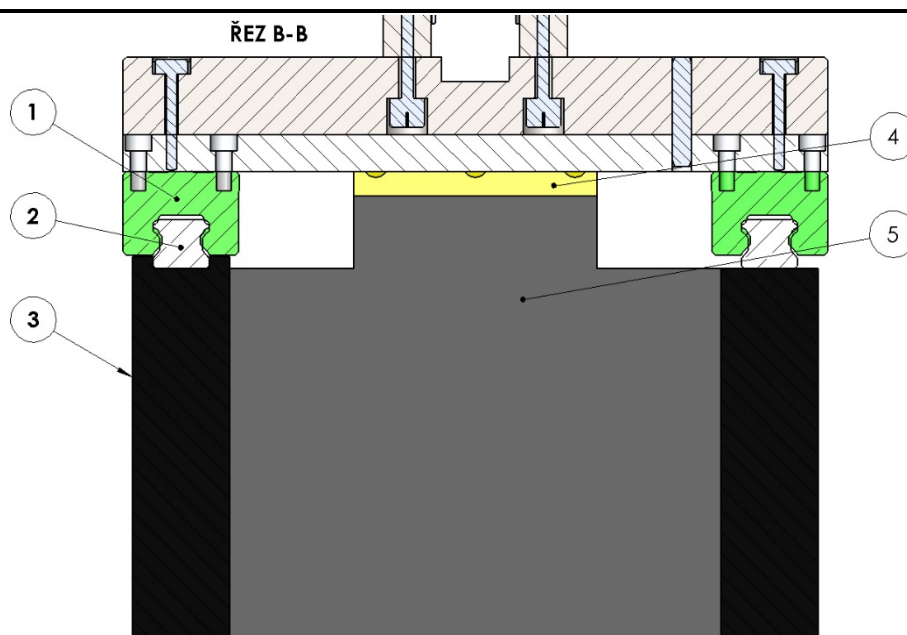
Přidáním přesných distančních hranolů se tak zajistí přesná poloha a směr kolejnic. Distanční hranoly je potřeba brousit společně tak, aby se zajistila stejná výška obou hranolů (odchylka v toleranci po broušení bude stejná). Pro zajištění přesné polohy distančních hranolů na desce stolu je nutné zatoleroovat polohu děr pro kolíky s drážkou pro kolejnice lineárního vedení. Tato tolerance zajistí, že poloha distančních hranolů bude vůči poloze svařence držáku pohonu ve správné poloze a tak aktuátor s lineárním vedením budou rovnoběžné. V zadní části se pak nachází přišroubovaná deska, na kterou je přišroubovaný další mechanický (gumový) doraz.



Obr. 69 Detailnější popis zajištění lineárního vedení s nástrojem

- 1) Lineární vedení – kolejnice
- 2) Zadní deska
- 3) Gumový doraz
- 4) Distanční hranol
- 5) Základová deska
- 6) Svařenec držáku pohonu
- 7) Plechový kryt pohonu
- 8) Sestava nástroje

Kolejnice je na jednom distančním hranolu zasazena v drážce H7, která s tolerancí kolejnice vytvoří spoj bez znetelné vůle. Toto spojení následně zabezpečí požadovanou přesnou polohu a směr lineárního vedení vůči pohonu. Druhá strana vedení je tak pouze přišroubovaná. Materiál distančních hranolů a desky zadního dorazu je konstrukční ocel ČSN 11 523.



Obr. 70 Řez uložením lineárního vedení

- 1) Vozík lineárního vedení HIWIN HGH25CA
- 2) Koleje lineárního vedení
- 3) Distanční hranol (s drážkou pro kolejnici)
- 4) Zadní gumový doraz
- 5) Deska zadního dorazu

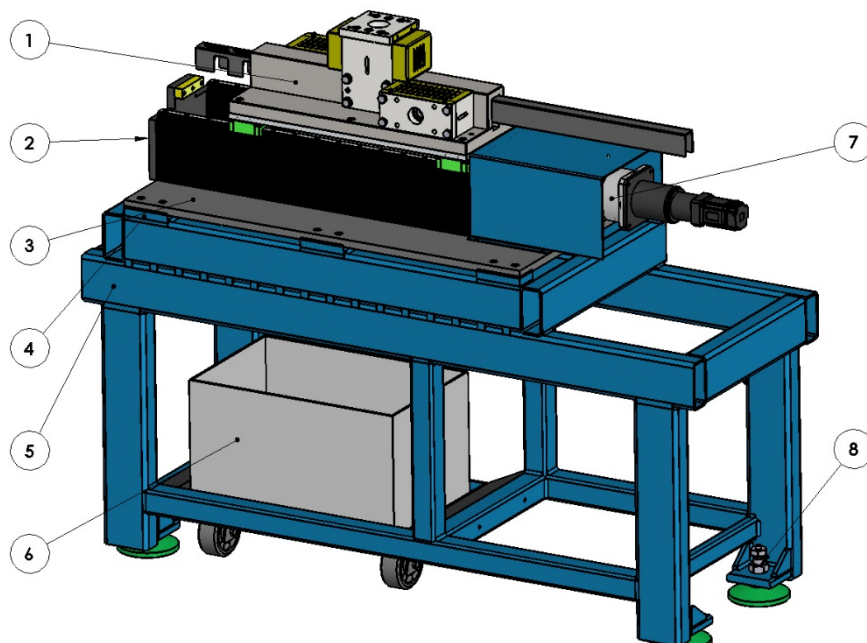
Základová deska je přišroubována na stole na přivařených a následně do roviny broušených distančních podložkách. Tato deska slouží jako prvek pro ukotvení pohonu a distančních hranolů s lineárním vedením pro nástroj. Přesnost polohy a zajištění rovnoběžnosti pohonu s lineárním vedením je zajištěno přesnými kolíky v desce. Požadavky na tuto desku tak jsou:

- vysoká přesnost jak drsnosti povrchu, tak tolerancí rovnoběžnosti a rovinnosti
- velmi dobrá obrobiteľnosť
- velmi dobrá tvarová stálosť
- vysoká rázová houževnatost

Tato deska tak musela být speciálně vybrána u dodavatelů zaměřujících se na přesné, broušené desky různých provedení. V tomto případě se jednalo o následovné provedení:

- materiál – ČSN 12 050 (nelegovaná ocel k zušlechťení)
- rozměr – 1100 x 600 x 20
- tloušťka - broušený povrch pod hodnotou Ra1.6
- rovnoběžnost – do 0.03 mm
- rovinnost – do 0.1 mm

3.5 Konstrukce stolu zařízení se základovou deskou



Obr. 71 Sestava svařence stolu s nástrojem

- 1) Nástroj s profilem
- 2) Distanční hranoly s lineárním vedením
- 3) Broušená deska
- 4) Distanční desky
- 5) Nosná konstrukce stolu
- 6) Odpadový vozík
- 7) Pohon s krytem
- 8) Nohy stolu s kotvou do betonu FAZII

3.5.1 Volba provedení konstrukce stolu

Pro konstrukci stolu je možné vybrat z těchto druhů provedení stolu:

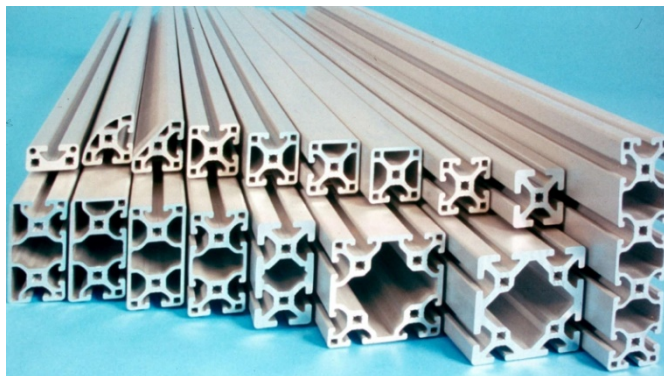
- Hliníkové konstrukční systémy
- Svařovaná ocelová konstrukce

Požadavky na konstrukci stolu:

- Jednoduchá konstrukce
- Tuhost
- Nízká cena

3.5.1.1 Hliníkové konstrukční systémy

Hliníkové konstrukční systémy jsou dneska nepostradatelné v mnoha oborech, neustále se výrobci konstrukcí snaží o nahrazení oceli hliníkem, především hliníkových stavebnicových systémů. Tyto konstrukce jsou velmi používané u výrobců jednoúčelových strojních zařízení, dále pak v automobilovém, dopravním průmyslu, průmyslové automatizaci, výstavbě výrobních linek a při krytování strojů. Mobilní pracoviště mohou díky příznivým vlastnostem hliníku získat na své mobilitě a variabilitě. Nejčastější důvody pro zvolení hliníkových konstrukcí jsou především variabilita (52%) a snadná a rychlá montáž (40%). Další je hmotnost (33%), design (15%), odolnost povrchu (12%) a jiné důvody (8%) [24].



Obr. 72 Hliníkové profily [25]

Nevýhodou je však mnohem vyšší pořizovací cena a tuhost těchto konstrukcí. Hliníkové profily jsou šroubované a i s použitím rohových výztuh je tuhost při nárazech nižší než u svařovaných konstrukcí.

3.5.1.2 Svařovaná ocelová konstrukce

Při použití svařovaných konstrukcí je výhoda především v ceně a tuhosti celé konstrukce. Tuhost celé konstrukce se v tomto případě odvíjí od její mohutnosti a hmotnosti – čím vyšší hmotnost a mohutnost stolu, tím více bude celé zařízení stabilní, bezpečné a lépe bude snášet dynamiku nástroje. Jelikož pro hmotnost a rozměry zařízení nebyla stanovena žádná maximální hodnota, je tak **svařovaná ocelová konstrukce nejvhodnější pro použití.**



Obr. 73 Ocelové profily [26]

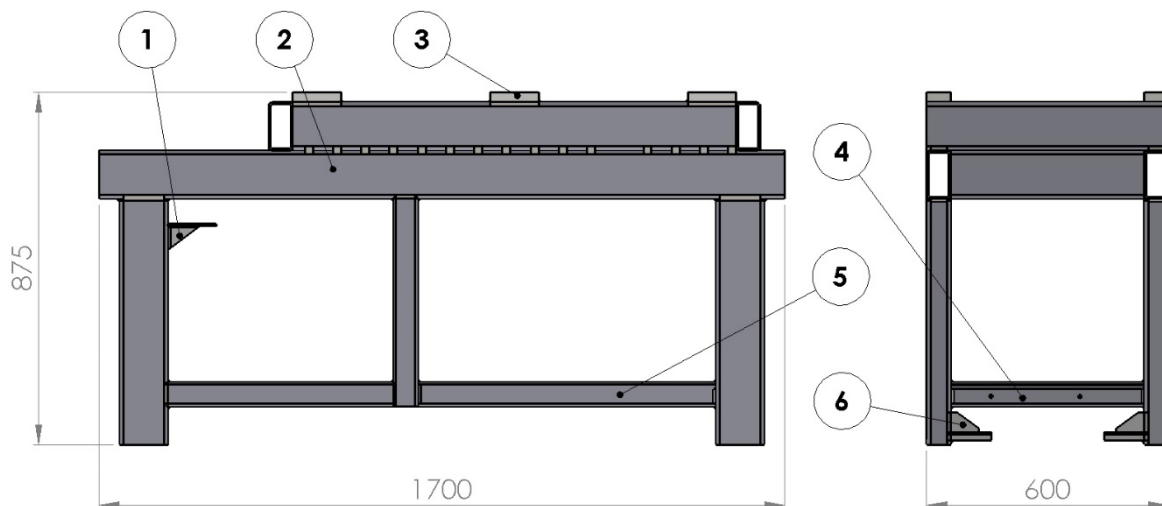
Srovnání ceny a hmotnosti:

Cena pro uzavřený ocelový profil obdélníkový (jekl) a hliníkového profilu vybraných rozměrů je:

Tabulka 9 Srovnání cen konstrukčních profilů

Profil	Rozměry	Hmotnost [kg/m]	Cena [Kč/kg]
Ocelový jekl	120x60x3	8,12	18,83
Hliníkový profil	90x90	10,4	252,11

3.5.2 Popis svařence stolu



Obr. 74 Svařenec stolu

Konstrukce stolu je řešena jako svařenec z ocelových profilů ČSN EN 10219-2 o rozměrech 120x60x5 pro hlavní konstrukci a 60x60x3 pro podpůrnou, vnitřní konstrukci. Celá konstrukce je navržena tak, aby zvládala dynamiku nástroje. A to díky její vysoké tuhosti, hmotnosti a robustnosti. Její tuhost a váha je vysoce předimenzovaná – celková váha je 170 kg. To v tomto případě vyhovuje, protože použité profily jsou levné a limit pro hmotnost zařízení není – naopak, od větší hmotnosti se očekává větší tuhost, stabilita a bezpečnost celého zařízení. Svařenec stolu se ještě kotví do betonu pomocí kotev do betonu FAZ II. Kotvy jsou zároveň jeden z bezpečnostních prvků, které slouží k zajištění stability celého zařízení.

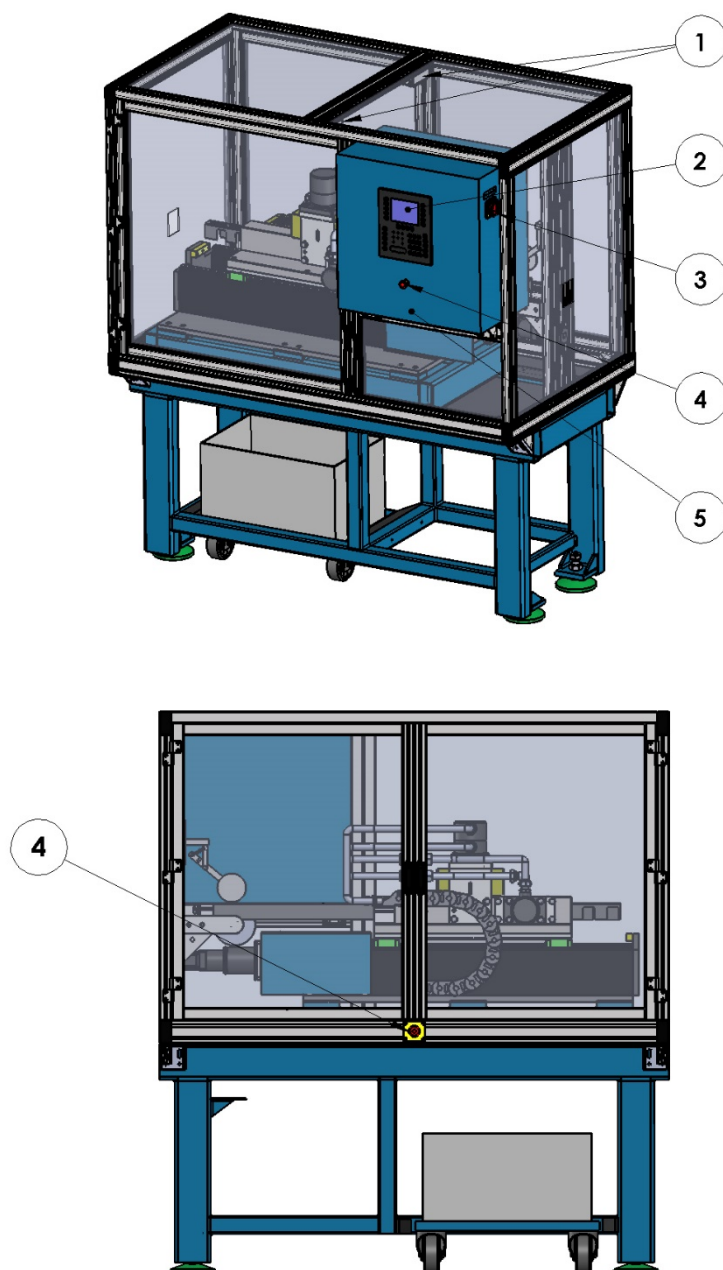
3.5.3 Odpad pro materiál

Odpad je ze zařízení odváděn pomocí odpadového otvoru pod nástrojem. Na otvoru odpadu je přišroubován svařenec z plechů, který směřuje odpad do plastové krabice umístěné pod odpadovým otvorem. Tato krabice je umístěna na pojízdné platformě na kolečkách pro snadnější výměnu.



Obr. 75 Stohovací euro přepravka série Athena na kolečkách

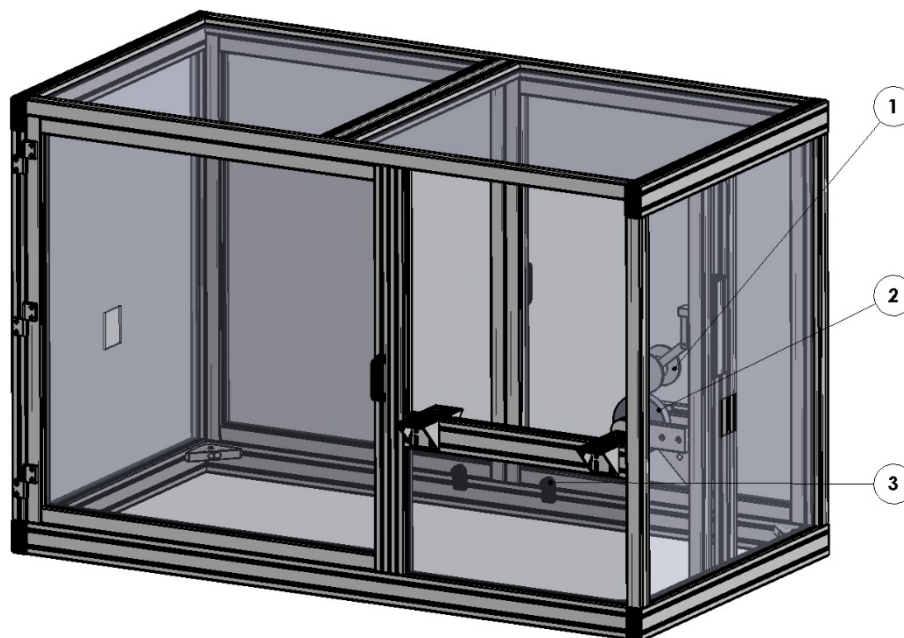
3.6 Krytování a bezpečnostní prvky zařízení



Obr. 76 Bezpečnostní prvky zařízení ze přední a zadní strany

- 1) Elektromagnetické zámky
- 2) Ovládací panel
- 3) Hlavní vypínač
- 4) Ovladače nouzového zastavení (Total stopy)
- 5) Elektrický rozvaděč

3.6.1 Ochranné krytování s měřicím kolečkem



Obr. 77 Ochranné krytování a jeho části

- 1) Měřicí kolečko DFV60
- 2) Podpurná válec pro vedení a přitlačení profilu
- 3) Magnetické dorazy dveří

Krytování stroje je hlavní bezpečnostní prvek zařízení. Pohybující se nástroj musí být od obsluhy oddělen pevnou bariérou, aby se předešlo neodborným zasahováním v prostoru pohybujícího se nástroje bez zastavení děrování. Krytování má i funkci ochranou, kde je třeba ochránit pohyblivé části od možných nechtěných těles.

Konstrukce ochranného krytování je zhotovena z hliníkových profilů, čirého polykarbonátu jako výplně a černého polykarbonátu ze spodu zařízení. Jedinými problematickými otvory tak zůstávají otvory pro vstup a výstup profilu a odpadní část. Zde bude nutno použít jiných bezpečnostních prvků, jako jsou bezpečnostní samolepky upozorňující na nebezpečí úrazu končetin.



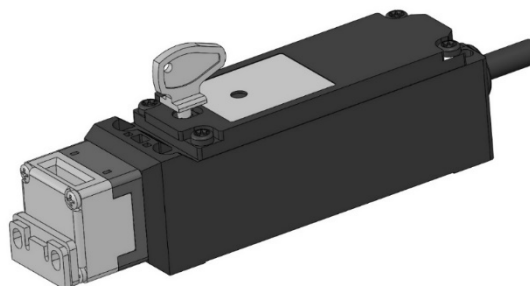
Obr. 78 Výstražný štítek W024

Toto krytování je vybaveno dvěma přístupy k nástroji chráněnými elektromagnetickými bezpečnostními zámky a magnetickými dorazy. Tyto zámky jsou ovládány ovládacím softwarem a neumožňují otevření ochranného krytování při provozu zařízení. Jeden je určen pro obsluhu zařízení a je přístupný ze strany ovládacího panelu. Druhý přístup je servisní, který slouží pro vytažení nástroje ze zařízení.

Na krytování je naistalována i konzole s měřicím kolečkem (čidlem) pro snímání rychlosti pohybu profilu a válcem, který slouží jako podpurný prvek pro snímání profilu a zároveň napomáhá k vedení.

3.6.2 Ochranná zařízení

Ochranné zařízení slouží k monitorování polohy ochranného krytu s blokováním a jištěním spuštění nebezpečných funkcí strojního zařízení při otevřeném ochranném krytu, kde obsluze hrozí riziko poškození zdraví od strojního zařízení. Tyto prvky blokují řídicí systém strojního zařízení a tím blokují a zabráňují startu celého strojního zařízení. Jako ochranné prvky spadající do normy ČSN EN ISO



Obr. 79 Model bezpečnostního zámku

14119 tak byly použity tři elektromagnetické bezpečnostní zámky se spínacím klíčem typu HS5EA-4401130. Zámky jsou umístěny na vrchu krytování (jeden ze strany obsluhy, dva ze servisní strany). Tyto zámky jsou montovány bezpečnostními šrouby, aby je nebylo možné neodborným zásahem odmontovat a provozovat tak strojní zařízení bez nich [28].

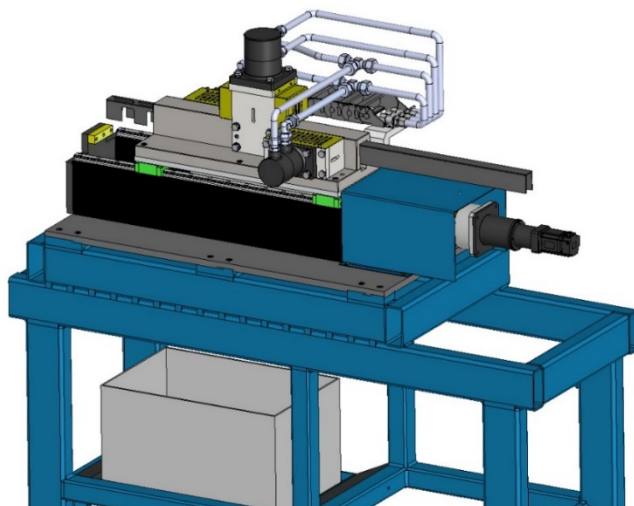
3.6.3 Doplnková ochranná zařízení

Pro provoz zařízení bylo třeba doplnit bezpečnost zařízení přidáním doplňkových ochranných zařízení dle normy EN ISO 13 850: 2008. Do této skupiny patří především ovladače nouzového zastavení (Total stop). Jeden total stop je umístěn pod panelem ovládání pro obsluhu a druhý je na spodním rámu ze servisní strany. Tento total stop je opatřen ochranným krytem, který zabrání nechtěnému dotyku při servisu nástroje [28].



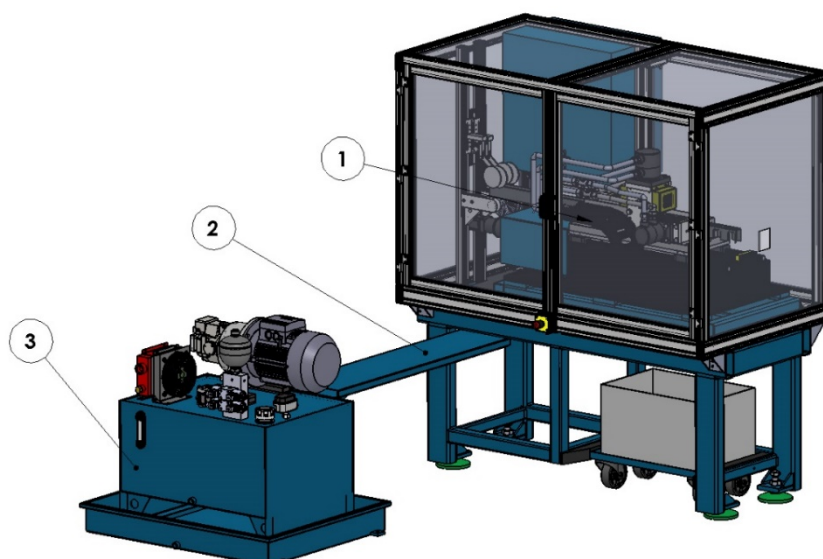
Obr. 80 Total stopy a) na rozvaděči b) na servisní straně zařízení

3.7 Instalace hydraulického agregátu, hydromotorů a rozvodů



Obr. 81 Hydraulické vedení a energetické vedení

Přívod hydraulické kapaliny do hydraulických válců je proveden s použitím energetického vedení od firmy IGUS. Vedení je pomocí konzole přišroubováno k nástroji. V tomto vedení se nachází i všechna kabeláž pro snímače polohy SICK a rozvodu elektrické energie. Kabeláž je následně vedena profilem stolu a hydraulický rozvod je veden do žlabu vedoucího do hydraulického agregátu. Umístění hydraulického agregátu bylo zvoleno vně zařízení, kvůli nedostatku místa pod zařízením a vysoká hmotnost agregátu nedovolovala umístění agregátu nad zařízením. Toto umístění však plně vyhovuje provozovateli zařízení.



Obr. 82 Umístěný hydraulického agregátu

- 1) Energetické vedení IGUS
- 2) Plechová žlab pro hydraulické rozvody
- 3) Hydraulický agregát

3.8 Technické parametry zařízení

Tabulka 10 Finální technické parametry zařízení

Rozměry (š x v x d) -	zařízení bez agregátu	1050 x 1875 x 1700
	- zařízení s agregátem	2737 x 1875 x 2200
	- agregátu	857 x 968 x 1046
Hmotnost	- celková	815 kg
	- agregátu	165 kg
	- nástroje	100 kg
Rychlost posuvu materiálu		Do 6 m/min
Děrovaný úsek (krok)		150 mm
Čas stříhu		0,5 s
Provozní napětí		3x400 V / 50 Hz
Celkový příkon		8.5 kW

*Rozměry jsou v mm

4 Závěr

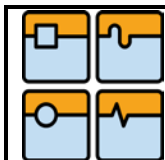
Tato práce se nejprve zaměřila na popsání technologií vyskytujících se ve výrobě finálního výrobku. Jednalo se o stručné uvedení čtenáře do problematiky celého výrobního procesu ve snaze zaměřit se na ty části, které přímo i nepřímo budou ovlivňovat konstrukci celého zařízení. Znalosti jako teorie tváření a problematika deformací profilu po extruzi je nutná k předcházení dalších problémů. Do této teoretické části spadal i průzkum trhu s podobnými výrobky a zařízeními. Tento průzkum však žádné praktické poznatky pro konstrukci tohoto děrovacího zařízení nepřinesl, protože výrobci si svoje „know-how“ pečlivě střeží.

Na začátku praktické části je detailněji popsán samotný výrobek, který slouží jako zadání konstrukce celého děrovacího zařízení. Ze znalosti jeho složení a použití tak lze určit mnoho parametrů a tolerancí pro jeho výrobu. Zde byl největší problém určit jeho přesné složení a dimenzovat tak zařízení pro bezproblémový chod. Celé zařízení bude součástí větší automatické linky pro extruzi plastu, takže detailnější popis této linky a především znalost parametrů linky jako je rychlost extruze, rozměry a výkon je pro konstrukci dalšího zařízení této linky velice důležité. Po zjištění těchto skutečností je již možné provést návrh konstrukce děrovacího zařízení.

Při navrhování je nutný výběr způsobu jakým se vlastní děrování bude provádět. Tento způsob byl však zadán provedením konstrukce nástroje, který umožňoval děrování extrudovaného profilu v jednom kroku při neustálém posuvu profilu podle rychlosti extruze. Pro tento způsob děrování tak bylo třeba vybrat správný typ pohonu samotného děrování profilu v nástroji a pro posuv tohoto. Proto bylo třeba nejprve určit časový harmonogram a parametry děrování, které sloužily k přesnější specifikaci těchto pohonů. Při výběru všech komponentů byla vždy nejdůležitější pořizovací cena. Po výběru těchto hlavních komponentů a navrhnutí způsobu provedení celého děrovacího zařízení pak bylo možné provést analýzu rizik, sloužící k přesné specifikaci možných nebezpečí a řešením těchto nebezpečí byly zadány první podmínky pro samotnou konstrukci.

Samotná konstrukce děrovacího zařízení se odvíjela od nástroje, který je základním prvkem celého zařízení. Nástroj bylo nutné uložit na lineární vedení tak, aby všechny komponenty (nástroj, pohon posuvu a lineární vedení) byly v přesné poloze. Tím se zabránilo vzniku nežádoucích sil, které by vedli ke snížení životnosti zařízení. Jako nosná konstrukce těchto všech částí pak byla zvolena svařovaná konstrukce z ocelových profilů (jeklů). Toto řešení přispělo díky velké robustnosti a tuhosti k vyšší bezpečnosti při provozování zařízení. Pro ochranu obsluhy zařízení, bylo nutné celý prostor s pohyblivým se nástrojem zakrytovat krytem s bezpečnostními prvky a ovládacím systémem umožňujícím bezpečný provoz.

Po zhotovení výkresové dokumentace bylo celé zařízení následně vyrobeno ve firmě GYRUS s.r.o.. Oživení (instalace hydrauliky a el. rozvodů) a odzkoušení děrovacího zařízení pak proběhlo u zákazníka. Zařízení je tak zcela funkční a tím byly plně splněny cíle této diplomové práce.



Obr. 83 Zařízení pro děrování plastového profilu

Seznam použité literatury:

- [1] KUTA, A. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1989. 637 s.
- [2] Technologie II online [online] 2009 [cit. 2016-05-16]. Zpracování plastů. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/06.htm
- [3] Zpracovatelské inženýrství polymerů - Vytlačování [online] 2010 [cit. 2016-02-09] Dostupné z: http://web.ft.utb.cz/cs/docs/1_VYTILA_OV_N_ZI_-_A_Kalendova.pdf
- [4] TOMIS, František. Gumárenská a plastikářská technologie: Zpracovatelské procesy. Učební texty vysokých škol. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická. 289 s.
- [5] SOVA, Miloš et al. Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. Základní dílo včetně 6. aktualizace - aktuální stav: duben 2001. Praha: Dashöfer, 2001. 1 sv. (v různém stránkování). ISBN 80-86229-15-7.
- [6] Compounding of Polypropylene. [Http://www.plastemart.com](http://www.plastemart.com) [online]. [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: <http://www.plastemart.com/upload/literature/compounding.asp>
- [7] MANAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II. Učební texty vysokých škol. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická. 199 s.
- [8] PVC Thermoplast. In: Plastic Systems s.r.o. [online]. [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://tiefziehen.com/cz/PVC/>
- [9] Výskumno-vývojová a inovačná sieť pre oblasť materiálov a technológií: Vlastnosti polyvinylchloridu (PVC) [online]. Slovensko: Mat Net [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/data/files/798.pdf>
- [10] Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci: Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti [online]. Liberec: Technické univerzity v Liberci [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [11] RAUWENDAAL, Chris J. Understanding extrusion. 2nd ed. Munich: Hanser, c2010, xi, 231 s. ISBN 978-3-446-41686-4.
- [12] ELEKTROPOHONY s.r.o.: Engineering v oblasti regulovaných střídavých a stejnosměrných pohonů. EPO [online]. Frenštát pod Radhoštěm: ELEKTROPOHONY, 2013 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.epo.cz/>

- [13] ESI – Extrusion services, Inc. [online] 2011 [cit. 2016-05-16]
Dostupné z: <http://www.esi-extrusion.com/>
- [14] The plastic extrusion proces for tube, hose, pipe and rod [online] 2013, [cit. 2016-05-16] Dostupné z: <http://www.streamlineextrusion.com/files/manuals/paper4.pdf>
- [15] LENFELD, Petr. Technologie II. [online]. Liberec: [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm.
- [16] MATEICIUC a.s.. [online]. 16.5.2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: www.mat-plasty.cz/
- [17] RETIX s. r. o.. [online]. 16.5.2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.retix.cz/>
- [18] BOCO PARDUBICE machines, s.r.o.. [online]. 16.5.2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.boco.cz/cs/produkty/divize-extruze-plastu/extrudery-vytlacovaci-stroje-na-plasty-a-gumu/paralelni-dvousnekove-extrudery-ebt/>
- [19] SICK AG. www.sick.com. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: https://www.sick.com/media/pdf/6/46/146/dataSheet_DFV60A-22PL65536_1051334_en.pdf
- [20] HYDRAULICS s.r.o.. <http://www.hydraulics.cz>. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://www.hydraulics.cz/Vyrobní_katalog_primocarych_hydromotoru.pdf
- [21] Kataloge = Profilschienenführungen. HIWIN.de [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.hiwin.de/DownloadCenter/files/G99TE14=1006.pdf>
- [22] MMspektrum. www.mmspektrum.com. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/analyza-rizik-pro-strojnickarizeni.html>
- [23] PRECIZ, s.r.o.. www.preciz.cz. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2080>
- [24] Časopis Automa. <http://automa.cz>. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=34191
- [25] GS Eurotherm. www.gseurotherm.sk. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.gseurotherm.sk/hlinikove-profilu.htm>
- [26] Ocelové nosné konstrukce – ELUC. <https://eluc.kr-olomoucky.cz>. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2174>

- [27] HW server s.r.o.. <http://automatizace.hw.cz>. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-1-dil-normy-rizika.html>
- [28] Euchner Electric s.r.o.. <http://www.euchner.cz>. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/norma14119-prakticky/>
- [29] Märdian Werkzeug- und Maschinenbau GmbH: EXTRUZNÍ LINKY. Märdian [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://maerdian.com/cz/produkte.html>

Seznam použitých symbolů a zkratk:

Symbol	Jednotka	Název veličiny
n	[cykl/min]	počet cyklů za minutu
L_2	[mm]	vzdálenost těžiště od pohonu
L_1	[mm]	vzdálenost vozíků
λ_m	[-]	mezní štíhlostní poměr
η_t	[-]	celková účinnost hydrogenerátoru
Z	[mm]	zdvih přímočarého hydromotoru
v_{vys}	[mm/s]	rychlost pracovního posuvu – zvoleno 0,3s
$t_{stř}$	[s]	čas stříhu
t_p	[mm]	tloušťka plechu
s	[mm]	tloušťka materiálu
R_e	[MPa]	mez kluzu
Q_j	[m ³ /s]	jmenovitý výstupní průtok
P	[W]	výkon elektromotoru
p	[MPa]	tlak ve válci hydromotoru
n	[ot/min]	otáčky za minutu
l_r	[mm]	redukovaná délka
L	[mm]	délka stříhu
K_v	[-]	míra bezpečnosti
k	[-]	součinitel řezných podmínek
$F_{stř}$	[N]	maximální tlačná síla
F_{DOV}	[N]	dovolená maximální síla
F	[N]	maximální střižná síla
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
D	[mm]	průměr pístu
d	[mm]	průměr tyče
C_o	[N]	statické zatížení
C_{dyn}	[N]	dynamické zatížení
c	[-]	koeficient závislý na druhu stříhání
$m_{nást}$	[kg]	hmotnost nástroje
l_s	[m]	dráha nástroje
f_1	[-]	součinitel tření od kuličkového vedení
a_{max}	[m/s ²]	maximální zrychlení pohonu
R_{ms}	[MPa]	pevnost materiálu ve stříhu

Seznam obrázků:

Obr. 1 Rotační lisovací stroj od firmy Märdian GmbH	10
Obr. 2 Šnekový vytlačovací stroj [2]	12
Obr. 3 Tavení materiálu ve šnekovém kanálu [4]	13
Obr. 4 Tok taveniny na šneku [4]	13
Obr. 5 Záplavové krmení [5]	13
Obr. 6 Hladovějící krmení [5]	14
Obr. 7 Nucené krmení [5]	14
Obr. 8 Tavné krmení [6]	14
Obr. 9 Části šneku [5]	15
Obr. 10 Plastifikační zóna [5]	15
Obr. 11 Odtahovací zařízení (pásový, válcový) [13]	17
Obr. 12 Navíjecí zařízení [13]	17
Obr. 13 Druhy stříhání [15]	18
Obr. 14 Silové působení při stříhu [2]	19
Obr. 15 Vliv střížné mezery z na kvalitu střížné plochy [2]	19
Obr. 16 Průběh deformačních vlastností [10]	22
Obr. 17 Narůstání za hubicí [5]	23
Obr. 18 Smršťování při chlazení [11]	24
Obr. 19 PVC profily pro sádrokarton [16]	24
Obr. 20 PVC profily pro zateplování [16]	24
Obr. 21 PVC profily obkladové [16]	25
Obr. 22 PVC profily pro vnitřní a vnější omítky [16]	25
Obr. 23 PVC profily pro zateplovací systémy [17]	25
Obr. 24 PVC profily pro zateplovací systémy [17]	25
Obr. 25 RS 150	26
Obr. 26 RS 75	26
Obr. 27 Rozměry děrování profilu	27
Obr. 28 Tvary extrudovaného profilu	27
Obr. 29 Finální tvar plastového profilu	28
Obr. 30 Železná výztuž podložena plastovým profilem	28
Obr. 31 Plastová distanční podložka	28
Obr. 32 Výrobní linka na plastové profily	29
Obr. 33 Situační plán výrobní linky s děrovacím zařízením	30
Obr. 34 Extrudér EBT od firmy BOCOMATIC [18]	31
Obr. 35 Vytlačovací hlava	31
Obr. 36 Výkres chladicí nádrže s vodou	32
Obr. 37 Výkres kalibru pro profil výšky 55 mm	32
Obr. 38 Odtah a automatická pila	33
Obr. 39 Použitý hydraulický lis se siloměrem	35
Obr. 40 Problém při použití pneumatiky	38
Obr. 41 Výběr typu válce [20]	40
Obr. 42 Výběr provedení ukončení hydraulického pístu [20]	40
Obr. 43 Rozměry uchycení hydromotorů [20]	41
Obr. 44 Redukovaná délka [20]	42
Obr. 45 Snímač DFBV60 [19]	48
Obr. 46 Elektromechanický lineární aktuátor [12]	49

Obr. 47 Možné varianty provedení [12]	50
Obr. 48 Varianty provedení volného konce pístnice [12].....	51
Obr. 49 Axiální provedení aktuátoru a jeho pohonu [12].....	51
Obr. 50 Specifikace typu aktuátoru [12]	52
Obr. 51 Rozměry aktuátoru typu LA10 [12].....	52
Obr. 52 Model použitého elektromechanického lineárního aktuátoru	53
Obr. 53 Rozměry použitého lineárního vedení [21].....	55
Obr. 54 Rozměry kolejnice [21].....	55
Obr. 55 Výpočet pracovní zátěže [21].....	56
Obr. 56 Těžiště nástroje	56
Obr. 57 Sestava děrovacího zařízení.....	68
Obr. 58 Řez nástroje svislou rovinou ve směru pohybu profilu	69
Obr. 59 Řez nástroje svislou rovinou v kolmém směru pohybu profilu.....	70
Obr. 60 Řez nástroje vodorovnou rovinou.....	71
Obr. 61 Použité materiály v nástroji	72
Obr. 62 Součásti propojení nástroje s pohonem	74
Obr. 63 Řez sestavy desky nástroje s konzolí	75
Obr. 64 Způsob zajištění pohonu	76
Obr. 65 Detailní popis zajištění pohonu	77
Obr. 66 Řez propojení pohonu s nástrojem	77
Obr. 67 Zajištění lineárního vedení	78
Obr. 68 Detailnější popis zajištění lineárního vedení s nástrojem.....	79
Obr. 69 Řez uložením lineárního vedení.....	80
Obr. 70 Sestava svařence stolu s nástrojem.....	81
Obr. 71 Hliníkové profily [25]	82
Obr. 72 Ocelové profily [26]	82
Obr. 73 Svařenec stolu	83
Obr. 74 Stohovací euro přepravka série Athena na kolečkách	83
Obr. 75 Bezpečnostní prvky zařízení ze přední a zadní strany.....	84
Obr. 76 Ochranné krytování a jeho části.....	85
Obr. 77 Výstražný štítek W024	85
Obr. 78 Model bezpečnostního zámku	86
Obr. 79 Total stopy a) na rozvaděči b) na servisní straně zařízení	86
Obr. 80 Hydraulické vedení a energetické vedení	87
Obr. 81 Umístěný hydraulického agregátu.....	87
Obr. 82 Zařízení pro děrování plastového profilu.....	90

Seznam příloh:

Příloha I – Výkresová dokumentace vybraných částí

Příloha II – Návod na obsluhu zařízení

Příloha III – Analýza rizik

Seznam příloh na CD:

Příloha I – Výkresová dokumentace vybraných částí

- 140081.S.0001 - Kompletní sestava stroje.pdf
- 140081.S.0002 - Svařenec stolu.pdf
- 140081.S.0003 - Sestava stroje bez krytování.pdf
- 140081.S.0301 - Svařenec držáku pohonu.pdf
- 140081.S.0302 - Svařenec odpadu.pdf
- 140081.V.0301 - Deska stolu.pdf
- 140081.V.0302 - Deska pod nástroj.pdf

Příloha II – Návod na obsluhu zařízení

Příloha III – Analýza rizik

Příloha IV – Model zařízení (STEP)