



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ  
A ROBOTIKY

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

## NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE PRO VÝROBU NEREZOVÉHO KALÍŠKU POSTUPOVÝM NÁSTROJEM

DESIG OF A FORMING MACHINE FOR PRODUCTION OF A STAINLESS STEEL CUP WITH  
FOLLOW DIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MICHAL STANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Michal Staněk

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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:

### **Návrh tvářecího stroje pro výrobu nerezového kalíšku postupovým nástrojem**

v anglickém jazyce:

### **Design of a forming machine for production of a stainless steel cup with follow die**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod do problematiky současných způsobů výroby součástek tažením (popis technologie).
2. Analýza současných řešení konstrukce tvářecích strojů, vhodných pro tažení (popis, použití, výhody, nevýhody).
3. Návrh nového řešení technologie tažení součástky „Kalíšek“ (velikost tvářecí síly, postup tváření, atd.)
4. Návrh postupového tvářecího nástroje pro typorozměr součástky Kalíšek
5. Návrh vybraných konstrukčních skupin (sestav a podsestav) jednoúčelového tvářecího stroje s ohledem na technologičnost výroby, zavádění polotovaru do pracovního prostoru, transfer polovýrobku, odvod odstřížků, bezpečnostní prvky, atd.
6. Vytvoření 3D modelu JÚS stroje
7. Nakreslit 3D model JÚS a výkresovou dokumentaci sestavy a vybraných podsestav včetně vybraných dílenských výkresů součástek.
8. Nakreslit 3D model nástroje
9. Stručné zhodnocení přínosu nové koncepce JÚS a nového nástroje Nakreslit 3D model (včetně časové návratnosti vložené investice s ohledem na pořizovací cenu stroje i nástroje atd.).
10. Provedení přiměřeně rozsáhlé analýzy rizik nového JÚS
11. Závěr a vyhodnocení technicko-provozních vlastností a možností reálného využití v praxi nového provedení JÚS a jeho komponent ve srovnání s jiným typovým provedením.

Cíle diplomové práce:

Cílem je navrhnout v podmínkách ČR zcela nové řešení JÚS, určeného pro výrobu součástky Kalíšek. Součástí DP je tedy jak projekt, konstrukce tak i částečná realizace projektu v podmínkách společnosti TES Electric drives, spol. s r. o. ve Vsetíně.

Seznam odborné literatury:

Rudolf B., Kopecný M. a kol: Tvářecí stroje – základy stavby a využití, SNTL Praha, 1985

Kamelander I.: Tvářecí stroje I až IV, skriptum VUT v Brně, 1984 až 1986

Firemní literatura

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 23.11.2012

L.S.

---

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

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty



## **Abstrakt**

Tato diplomová práce uvádí postup a výsledky při navrhování jednoúčelového stroje pro tažení nerezového výtažku ze vstupního polotovaru, kterým je nerezový plech tloušťky 0,28mm. Úvod této práce ukazuje vývoj technologie ve světě a na našem území s tím, že seznamuje čtenáře s bližšími podmínkami technologie tažení. V této rešeršní části je uveden i přehled jednotlivých strojů dle ČSN.

Praktická část je dále věnována jednotlivých problémům a požadavkům při navrhování samotného nástroje a stroje pro splnění zadání dle výkresu požadovaného výtažku.

## **Klíčová slova**

Tváření, tažení, výtažek, jednoúčelový stroj, výroba

## **Abstract**

My dissertation describes the procedure and results of designing a single-purpose machine, which is designed for forming a stainless metal product from an initial semi-finished product. This semi-finished product is a 0.28mm-thick stainless-steel plate. The introduction of my dissertation outlines the evolution of the pulling technology in the Czech Republic and abroad and describes its further details. This research part also includes an overview of individual machines according to the CSN.

The practical part is then further dedicated to the exploration of individual issues and requirements for designing the machine itself as well as designing the machine according to the requirements of the final pulled product.

## **Keywords**

Forming, press forming, forming product, single purpose machine, produce



STANĚK, M. *Návrh tvářecího stroje pro výrobu nerezového kalíšku postupovým nástrojem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 98 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..





## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma *Návrh tvářecího stroje pro výrobu nerezového kalíšku postupovým nástrojem* jsem vypracoval samostatně pod vedením svého vedoucího doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a za využití informací ze svého zaměstnání. V seznamu literatury uvádím všechny literární a odborné zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Brně dne 12. května 2013

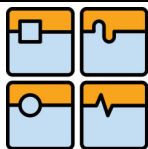
-----  
Bc. Michal Staněk



## **Poděkování**

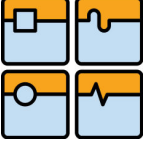
Rád bych tímto velice poděkoval doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za příkladné odborné vedení při vytváření této práce. Dále bych velmi rád poděkoval dvěma kolegům, Ing. Tomáši Pavlíkovi a Jaromírovi Haplovi, při poskytnutí cenných rad, kterými nedílnou mírou přispěli k vypracování této diplomové práce.



**OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ROZDĚLENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ A ZÁKLADNÍ POJMY.....</b>	<b>6</b>
2.1	ROZDĚLENÍ .....	6
2.2	NÁZVY A ZNAČENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ.....	7
<b>3</b>	<b>PROBLEMATIKA SOUČASNÝCH ZPŮSOBŮ VÝROBY TAŽENÍM .....</b>	<b>9</b>
3.1	TECHNOLOGIE TAŽENÍ.....	9
3.2	PODMÍNKA PLASTICKÉ DEFORMACE A PRŮBĚH DEFORMACE .....	10
3.3	TECHNOLOGICKÉ ZÁSADY A ZÁKONY .....	11
3.4	NÁSTROJE .....	14
3.5	MAZÁNÍ .....	16
<b>4</b>	<b>NÁVRH ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE TAŽENÍ VÝTAŽKU „KALÍŠEK“.....</b>	<b>17</b>
4.1	ZADÁNÍ DLE ZADAVATELE .....	17
4.2	MATERIÁL A ROZMĚRY VÝTAŽKU.....	17
4.3	VOLBA NÁSTROJE .....	18
<b>5</b>	<b>NÁVRH POSTUPOVÉHO NÁSTROJE .....</b>	<b>19</b>
5.1	NÁVRH A VÝPOČET NÁSTROJE PRO TYPOROZMĚR DLE VÝKRESU .....	19
5.1.1	VÝPOČET VELIKOSTI PŘÍSTŘÍHU A POLOTOVARU .....	19
5.1.2	POČET POTŘEBNÝCH BEZPEČNÝCH TAHŮ.....	21
5.1.3	VÝŠKA JEDNOTLIVÝCH TAHŮ VÝTAŽKU .....	21
5.1.4	TAŽNÁ SÍLA S PEVNOSTÍ DNA.....	22
5.1.5	POUŽITÍ A SÍLA VYHAZOVAČE.....	22
5.1.6	POUŽITÍ A SÍLA PŘIDRŽOVAČE.....	23
5.1.7	STŘIŽNÁ SÍLA .....	23
5.1.8	VYRAŽENÍ HVĚZDY NA DNU VÝTAŽKU.....	24
5.1.9	CELKOVÁ POTŘEBNÁ PRÁCE .....	24
5.2	NÁVRH A VÝPOČET NÁSTROJE PRO MAX. VÝTAŽEK DLE ZADÁNÍ .....	25
5.2.1	VÝPOČET VELIKOSTI PŘÍSTŘÍHU A POLOTOVARU .....	25
5.2.2	POČET POTŘEBNÝCH BEZPEČNÝCH TAHŮ.....	26
5.2.3	VÝŠKA JEDNOTLIVÝCH TAHŮ VÝTAŽKU .....	26
5.2.4	TAŽNÁ SÍLA S PEVNOSTÍ DNA.....	27

5.2.5	STŘIŽNÁ SÍLA.....	27
5.2.6	SÍLA VYHAZOVAČŮ.....	28
5.2.7	CELKOVÁ POTŘEBNÁ PRÁCE.....	28
5.3	VOLBA MAZÁNÍ A KONSTRUKCE SYSTÉMU.....	29
5.4	KONSTRUKCE NÁSTROJE.....	31
5.5	MOŽNOST VYUŽITÍ NÁSTROJE.....	33
<b>6</b>	<b>VOLBA STROJE.....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>NÁVRH JEDNOÚČELOVÉHO STROJE JAKO CELKU.....</b>	<b>37</b>
7.1	ROZBOR STROJE.....	38
7.1.1	KLIKOVÝ MECHANISMUS – ROZBOR.....	38
7.1.2	VAČKOVÝ MECHANISMUS – ROZBOR.....	41
7.2	DIAGRAM PRACOVNÍHO CYKLU.....	45
<b>8</b>	<b>NÁVRH URČITÝCH KONSTRUKČNÍCH SKUPIN JÚS.....</b>	<b>49</b>
8.1	VOLBA MOTORU.....	49
8.2	VÝPOČET ŘEMENICE A ŘEMENŮ.....	50
8.2.1	VÝPOČET ŘEMENICE.....	50
8.2.2	VÝPOČET ŘEMENŮ.....	52
8.2.3	NEJČASTĚJŠÍ PORUCHY A JEJICH ŘEŠENÍ.....	56
8.3	KONTROLA HLAVNÍ VAČKOVÉ HŘÍDELE.....	57
8.4	VOLBA PODÁVÁNÍ NEREZOVÉHO PÁSKU.....	65
8.4.1	PNEUMATICKÝ PODÁVAČ.....	66
8.5	PNEUMATICKÉ KOMPONENTY.....	68
8.6	BEZPEČNOST.....	69
8.7	ŘÍZENÍ STROJE A JEHO ELEKTROVÝBAVA.....	71
8.8	TRANSFEROVÉ LIŠTY.....	75
8.9	SKŘÍŇ.....	76
<b>9</b>	<b>ANALÝZA RIZIK.....</b>	<b>78</b>
9.1	ZÁKLADNÍ POPIS.....	79
9.2	ZÁKLADNÍ PARAMETRY.....	81
9.3	BLOKOVÝ DIAGRAM STROJE.....	81
9.4	IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ.....	83
9.5	ODHAD RIZIKA.....	83
9.6	ZHODNOCENÍ RIZIKA.....	83

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 3
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

<b>10</b>	<b>ZHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ JÚS.....</b>	<b>84</b>
10.1	TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ.....	84
10.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	86
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>90</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ.....</b>	<b>92</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....</b>	<b>93</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>98</b>

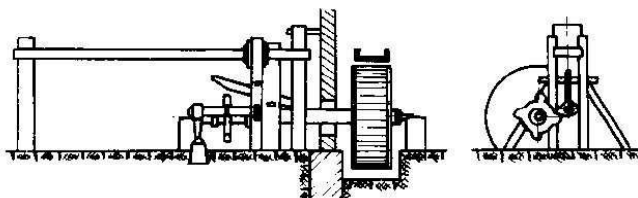
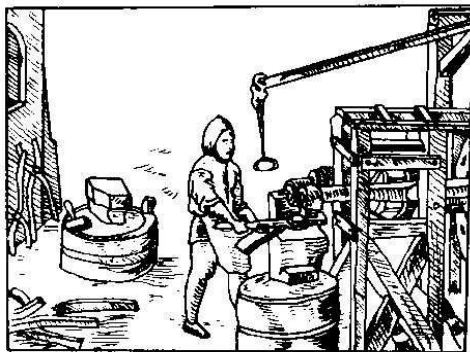




## 1 ÚVOD

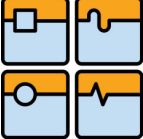
Metalurgie, taktéž nazývána hutnictví, je lidské odvětví, zabývající se získáváním a následným zpracováním kovů a jejich slitin. Pochází z řeckého slova „*metallourgos*“ - *metallon*=kov + *ergon*=práce. Proto ani není divu, že první písemně doložené informace o zpracování kovů se datují již do doby starověkého Řecka. Tyto ranní zmínky od řeckého básníka Homéra popisují ruční zpracování železa, což je ten nejjednodušší způsob. Od těchto dob si člověk začal pomalu osvojovat hutní technologie a s tímto je zároveň i spatřit vznik a vývoj tvářecích strojů.

Vznik tvářecích strojů je datován již do 13. století, kdy docházelo k velkému rozvoji obchodu. Začínal být stále větší požadavek na výrobu těžkých výkovků, které se například využívali pro výrobu kotev k lodím a děl. Proto se začali objevovat první buchary, tehdy na vodní pohon. S přibývajícím dobou a stále většími požadavky na velikost, hmotnost a počet výkovků docházelo k rychlému rozvoji tvářecích strojů a samotné technologii. V 18. století, kdy samotná lidská společnost byla na vzestupu a ekonomika zažívala první velký technický boom, vznikl buchar na parní pohon, který navrhl známý mechanik a vynálezce James Watt. Později v tomto století vznikli i buchary na hydraulický pohon. V 19. století s nástupem elektrického proudu do lidského života vznikaly tvářecí stroje i na tento pohon s mnohými obměnami v konstrukci (výstředníkové lisy, klikové lisy, šroubové) [5].



Obr. 1: Schéma pákového bucharu na vodní pohon z roku 1266 [5].

S dalším rozvojem techniky a celé ekonomiky lidstva docházelo k rychlému rozvoji těchto progresivních strojů. To mělo za následek i vznik českých světově věhlasných podniků jako jsou například Škodovy závody v Plzni (1859), Šmeralovy závody v Brně (1861) nebo Žďárské strojírna a slévárny (1951).

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

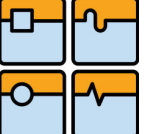
V 60. letech minulého století se Šmeralovy závody staly předním světovým výrobcem a dodavatelem tvářecích strojů ve střední Evropě, co se týče objemu a zároveň i počtem typů.

Tvářecí stroje pocházející z československých podniků se díky svému věhlasu začaly exportovat do celého světa a dnes se na těchto strojích vyrábí ve více jak 60ti zemích.

Konstrukce tvářecích strojů byla ze začátku směřována především na jejich univerzální použití do podniků (tabulové nůžky, zkružovačky, ohýbačky, výstředníkové lisy, buchary, atd.), ale s nástupem úzké specializace jednotlivých firem na svá výrobní portfolia vznikala i velká výroba speciálních jednoúčelových tvářecích strojů rozmanitého provedení na zakázku. Toto se především dělo ze skutečnosti, že nabídka dostupných univerzálních strojů nebyla z technického nebo ekonomického aspektu vhodná pro danou realizaci a zároveň pro vysokou výrobnost výrobků se vyplatí používat rozsáhlý strojový park různých tvářecích strojů, které jsou co nejhodněji přizpůsobené na dané využití.

V současnosti se výrobci především zaměřují na zdokonalování jednotlivých parametrů tvářecích strojů, protože především ekonomický trend toto vyžaduje. Proto dochází ke zlepšování technickým parametrů, jako jsou pracovní rozsah, účinnost přenosu energie, spolehlivost a v neposlední řadě bezpečnost, která je doplněna o následné servisní služby.

*„Tváření můžeme vysvětlovat jako provádění záměrné a trvalé změny tvaru materiálu – ponejvíce kovu – působením mechanické síly, bez odběru třísek. Při tváření může vznikat také odpad (odstřížky, výronky), který je však většinou celistvý.“* [1]. To znamená, že při použití tvářecích strojů nedochází k odběru třísek, ale pouze se mění objem polotovaru, aniž by docházelo ke ztrátě celistvosti hmoty kovu. Využívá se plasticity daného kovu, tzn. *„schopnost snést určité trvalé přemístění svých částí bez porušení soudržnosti“* [4]. Vyvoláním vysokého napětí, které je vyšší jak mez kluzu, ale nesmí být zároveň vyšší jak mez pevnosti. Toto napětí je obvykle vyvoláno nástrojem na větší průřez materiálu. Při tváření dochází samozřejmě i k působení velikých vnitřních tlaků, které se nejvíce projeví na nejslabších místech celé soustavy Stroj-nástroj-obrobek, což je nástroj. Abychom mohli dosáhnout takových podmínek, při kterých lze měnit takto objem polotovaru, jsou tvářecí stroje z principu podstatně větší než například obráběcí. Pokud však tyto tvářecí parametry materiálu jsou příliš vysoké (např. mez kluzu vysoká, snížená tvárnost materiálu, příliš velká přetvárná plocha, atd.) je tvářený materiál předeříván pro jednodušší zpracování. Materiál, který snese velkou plastickou deformaci bez porušení je označován jako snadno, neboli lehce tvářitelný (má nízký přetvárný odpor) [1] [3] [7].

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

## 2 ROZDĚLENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ A ZÁKLADNÍ POJMY

Tvářecí stroje jsou výrobní stroje, které využívají technologii tváření ke zpracování daného materiálu působením mechanické síly bez odběru třísek. Výhodou této technologie a strojů je vysoká produktivita práce, lepší využitelnost materiálu oproti obrábění a podstatné zlepšení mechanických vlastností tvářeného materiálu (dochází k výhodnějšímu uspořádání vláken v materiálu, to má za následek zlepšení mechanických vlastností.) [2] [8] [9].

### **Tváření:**

Technologický proces, při kterém se mění tvar výchozího materiálu působením mechanické síly bez odběru třísek.

### **Technologie tváření materiálu:**

Výrobní proces, při kterém se využívá tváření.

### **Výtvarok:**

Obecný název pro výrobek vytvoření technologií tváření.

## 2.1 ROZDĚLENÍ

Tvářecí stroje můžeme rozdělit podle více způsobů [2] [6]:

### **Podle charakteristiky tvářecího pochodu:**

- pro tváření plošné
- pro tváření objemové
- ostatní

### **Podle pracovního rozsahu:**

- univerzální
- jednoúčelové

### **Podle druhu relativního pohybu nástroje:**

- s přímočarým pohybem (silové, zdvihové, energetické)
- s rotačním a obecným pohybem

### **Podle způsobu práce:**

- lisy (silové, zdvihové)
- buchary (zdvihové, energetické)
- rotační stroje
- ostatní

### **Podle druhu mechanismu použitého k přenosu energie:**

- mechanické
- hydraulické
- pneumatické



- parní
- ostatní

**Podle uspořádání:**

- svislé
- vodorovné
- naklápěcí
- ostatní

**Podle tvaru stojanu:**

- stojan tvaru C
- stojan tvaru O
- sloupové
- stolní
- ostatní

**Podle druhu tváření:**

- kovací
- tažné
- ohraňovací
- rovnací
- ohýbací
- montážní
- děrovací
- ostatní

## 2.2 NÁZVY A ZNAČENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ

Pro zjednodušení názvů jednotlivých tvářecích strojů se používají jejich písemné zkratky, které zároveň tvoří i označení typu stroje. Následně tato zkratka je doplněna o číslice, které zpravidla vyjadřují hlavní technické parametry daného stroje. Tyto zkratky jsou dnes zažité mezi výrobci a dá se říci, že je všichni s určitými výjimkami dodržují.

Zpravidla je zkratka tvořena třemi písmeny. První písmeno udává stroj, podle základního rozdělení. Druhá a třetí číslice následně přibližuje stroj podle technologického určení a použitého hlavního pohonu [9].

Např.:

**L ... mechanické lisy**

LK...	klikové lisy	(LKT, LKO, LKV)
LV...	vřetenové lisy	
LT...	tažné lisy	(LTN, LTL)
LU...	univerzální lisy	(LUC, LUD)
LE...	výstředníkové lisy	(např. LEN – výstředníkový lis naklápěcí)
LL...	kolenové lisy	(LLR, LLH)
LZ...	kovací lisy	(LZK)

### C ... hydraulické lisy

- CB... hydraulický lis na plastické hmoty
- CD... hydraulický lis montážní, dílenský
- CZ... hydraulický razící lis
- CT... hydraulický tažný lis
- CK... hydraulický kovací lis (CKZ – hydraulický lis kovací na zápustky)

### K ... buchary

- KP... padací buchar
- KD... parní buchar
- KK... protiběžný buchar
- KB... kompresorový buchar
- KA... pružinový buchar
- KE... elektrický buchar

### X ... Ohýbací stroje

- XZ... zakružovačka (XZM - zakružovačka plechu)
- XR... rovnačka (XRM – rovnačka plechu)

### N ... nůžky

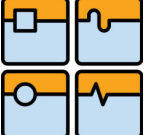
- NS... nůžky na odpad
- NV... vystřihovací nůžky
- NC... pákové nůžky (NCR – ruční pákové nůžky)

### T ... automat

- TP... postupový automat
- TO... ostřihovací automat



Obr. 2: Kolenový razící lis s jmen. tvářecí silou 2500 kN firmy Šmeral Brno a.s.

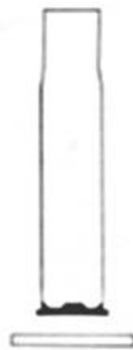
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 3 PROBLEMATIKA SOUČASNÝCH ZPŮSOBŮ VÝROBY TAŽENÍM

#### 3.1 TECHNOLOGIE TAŽENÍ

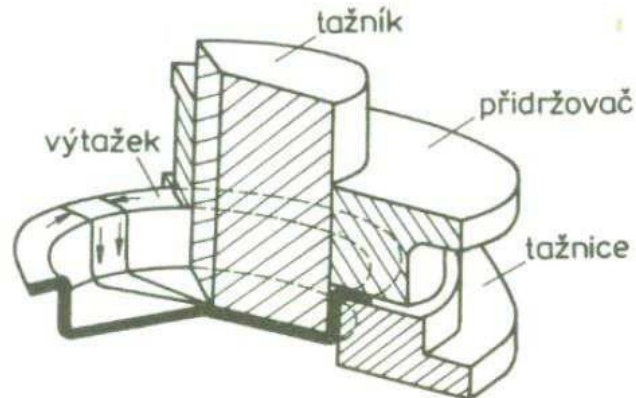
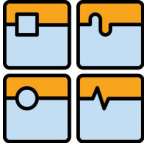
Pod pojmem tažení se rozumí „trvalé přetváření plechu v dutá tělesa pomocí lisovacích nástrojů – tažidel“ [3]. Základním polotovarem je přístřih neboli rondel, pokud se jedná o kruhový přístřih. Přístřih se tažením, pomocí tažníku a tažnice, přetváří na dutý výtažek miskovitého tvaru.

V teorii o tažení se vychází z předpokladu, že tloušťka stěny výtažku se během operací nemění, ale ve skutečnosti je tomu přesně naopak. Vlivem působení sil a přetváření objemu v jiný tvar dochází k určitým změnám v tloušťce stěny, v rozích a rádiusem výtažku se tažený materiál zeslabuje a na okrajích zase zesiluje. Toto je dáno rozdílnou napjatostí, která se vyskytuje během průběhu technologie. Tyto změny jsou ve většině případů zanedbatelné, a proto se často ve výpočtech neuvádí. V určitých případech je zase tento poznatek vyžadován. Například taková nábojnice, u ní je z funkčních důvodů požadována velká tloušťka dna a poměrně tenké stěny.



Obr. 3: Nábojnice se zmenšenou tloušťkou stěny získaná tažením [3].

Změna tvaru plochého přístřihu se provádí tlakem tažníku na tento přístřih. Přístřih je tažníkem vtahován do tažnice, která nám vytváří vnější výsledný rozměr a miskovitý tvar. Tažník a tažnice jsou vyrobeny tak, aby byla mezi nimi dostatečná vůle pro toto vtažení přístřihu. Při vtažení přístřihu do tažnice dochází k jeho zmenšování průměru a zároveň k pěchování materiálu po okraji. Tato vlastnost může mít za následek (především u tenkých materiálů) zvlnění okrajů přístřihu, což má nepříznivý účinek na výslednou jakost a tvar povrchu. Zároveň také znemožňuje následné použití další tažných operací. Tomuto se dá nejčastěji předejít vhodným použitím tzv. přidržovačů. Přidržovače slouží právě k přidržování přístřihu a jeho přitlačování v rovině tažení k tažnici tak, aby volné okraje neměli tendenci se zvlítnit.



Obr. 4: Řez jednoduchým nástrojem včetně výtažku [3].

### 3.2 PODMÍNKA PLASTICKÉ DEFORMACE A PRŮBĚH DEFORMACE

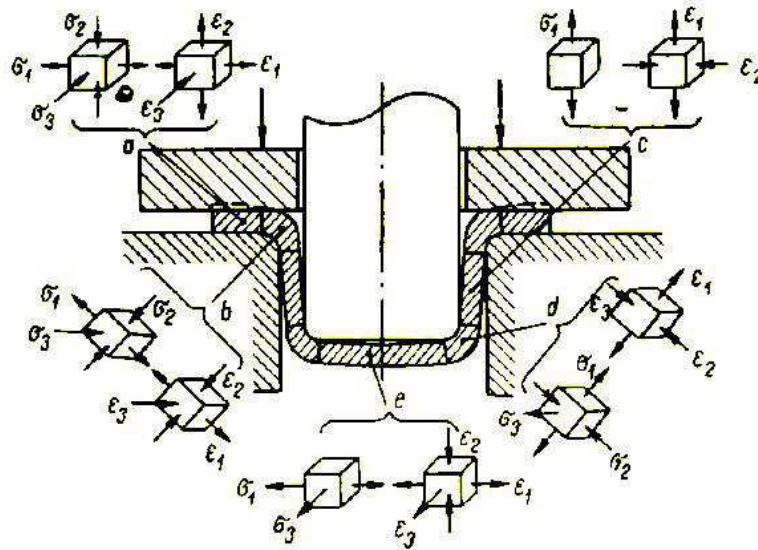
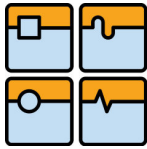
Podmínku plastické deformace neboli tzn. tvárnosti lze definovat takto:

„U kovů je podmínkou přechodu z pružného (elastického) stavu do stavu tvárného (plastického), aby velikost napětí  $\sigma_H$  dosáhla meze kluzu  $\sigma_K$ . Hodnota  $\sigma_K$  je závislá na druhu a stavu materiálu a tedy i na jeho teplotě a předchozí deformaci atd.“ [7]. Tato podmínka se dá stanovit jako  $\sigma_H = \sigma_K$  [7].

Z této definice je zřejmé, že aby při tažení nastala trvalá požadovaná deformace taženého materiálu, je nutné, aby napětí v taženém materiálu překročilo mez skluzu. Zároveň však nesmí dojít k překročení meze pevnosti, jinak by došlo k porušení soudržnosti taženého materiálu.

Při tažení dochází ke složité tvárné deformaci, při které částice přístřihu mění své rozměry a přesouvají se do výsledné polohy. V první fázi dochází k prodloužení materiálu vlivem především tahového napětí, které postupně přechází do prostorové deformace při přechodu materiálu přes hranu tažnice. Vyskytuje se zde také namáhání v radiálním směru, pokud je použit přidržovač. Následně dochází k přechodu materiálu do axiálního směru, kde nastává jednoosá napjatost s rovinnou deformací. Při této deformaci dochází k prodloužení a zároveň ke ztenčení stěny (2 až 3%). Toto ztenčení se dá v praxi zanedbat. Část výtažku, nacházející se v zaoblení přechodu do dna, je vystavena prostorové nestejnorodé napjatosti. Díky tomuto dochází k prodloužení a ztenčení tloušťky i v tomto místě. Dno výtažku je tvořeno pak materiálem, na který působí rovinná napjatost s prostorovou deformací.

Při působení těchto deformací dochází ke zvýšení tvrdosti a pevnosti výsledného výtažku.



Obr. 5: Mechanická schémata deformace a napjatosti při tažení [10].

### 3.3 TECHNOLOGICKÉ ZÁSADY A ZÁKONY

#### Zákon stálosti objemu

Tento základní zákon nám říká, že materiál při tažení se nikde neztrácí ani následně nevzniká. Objem přístřihu, který je polotovarem, je naprosto totožný s objemem finálního výtažku. Pouze zde dochází k přeskupování a změnám tloušťky a tvaru.

#### Tažná rychlost

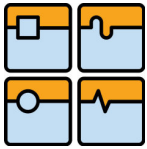
Jedná se o rychlost, která nám udává maximální hodnotu, za kterých je možno bezpečně táhnout materiál bez obav, že nastane porušení výtažku (např. utržení dna výtažku). To znamená rychlost, kterou je nutno akceptovat při samotném vtahování přístřihu tažníkem do tažnice. Jak je možno poznat, tato hodnota je jednoznačně závislá na druhu taženého materiálu. Hodnoty tažení při použití klasických metod se ve více literaturách někdy i znatelně liší. Je to dáno především celkovou složitostí problematiky tažení. Proto se často tyto rychlosti v praxi upravují dle operačních zkoušek.

Jsou však i technologie tažení, kdy se táhne za extrémně vysokých rychlostí a dosahuje se velmi pozitivních výsledků (např. tažení explozí) [3].

Tažený materiál	Tažná rychlost [m.min <sup>-1</sup> ]
Korozivzdorná ocel	7
Nelegovaná ocel	17
Hliník a jeho slitiny	25
Měď a jeho slitiny	66

Tab. 1: Doporučené rychlosti tažení kovů [3].





### Trhání materiálu

Rozmanitost výsledných výrobků tažením z plechu je omezena vlastním trháním přetvářeného materiálu při samotném procesu. Trhání je vlastnost, kterou lze popsat, jako nadměrné ztenčení stěny přetvářeného výrobku při kterém dochází k trvalé deformaci s následným porušením celistvosti díky oslabení v daném místě.

### Zvlnění okrajů

Při tažení materiálu, především tenkých, dochází často ke zvlnění okrajů. Toto je zapříčiněno tlakovým napětím při redukci průměru výtažku. Tahové napětí vzniká při působení tažníku na přístřih a jeho následné vtahování do tažnice. Pro zabránění této skutečnosti se používají přidržovače, jak již bylo zmíněno ve výše popsané kapitole. Jsou případy, kdy je možno táhnout i bez přidržovače. Vše závisí na materiálu polotovaru, tloušťce, tažné vůli a zaoblení tažné hrany. Tyto parametry udávají největší možnou redukci, při které lze táhnout bez přidržovače. Obvykle se jedná o hodnotu do 10%. V praxi se však nejčastěji využívá prototypová zkouška a zkušenosti konstruktéra (a celého týmu) [3].

### Tažný poloměr

Jedná se o poloměr, který se nachází na tažnici, přes který je přístřih tažen do miskovitěho tvaru. Tažný poloměr silně ovlivňuje schopnost úspěšně táhnout daný materiál, jelikož při zvolení příliš malého poloměru dochází k trhání materiálu, ale naopak při zvolení velkého tažného poloměru se setkáváme se vznikem zvlněných okrajů. Obvykle se jeho velikost udává v hodnotách mezi 4 až 10násobku tloušťky taženého materiálu, ale ani toto nemusí být vždy jednoznačnou pravdou [3].

### Vůle mezi tažníkem a tažnicí

Vůle mezi tažníkem a tažnicí především závisí na tloušťce a druhu materiálu, který je zde přetvářen-tažen. Nejčastěji se volí vůle tak, aby se zmenšilo tření při přechodu tažného materiálu přes hranu tažnice. Díky tomuto se zmenší tažná síla a zároveň se nám zvýší životnost daného nástroje. Pokud je však tato vůle příliš velká, může docházet ke zvlnění tažené plochy a tím k horší jakosti povrchu výtažku. Tažná vůle se nejčastěji nazývá tažná mezera a proto i my s tímto pojmem budeme dále pracovat.

Tažná mezera se vždy liší podle druhu a pořadí dané operace. Při první operaci bývá nejčastěji tažná mezera  $m_t = 1 až 1,5 \cdot tl$ . Výjimku tvoří výtažky tažené na jednu operaci. Při vícenásobném tažení se v dalších tazích tažná mezera postupně snižuje, jak dochází ke zmenšování deformací. V poslední operaci zpravidla bývá tažná mezera o něco málo větší než, je výsledná tloušťka výtažku.

Tyto hodnoty tažných mezer jsou pouze doporučeny. Výsledné hodnoty se v praxi často mírně liší z důvodů všech ostatních vlivů, které nelze do výpočtů zařadit a jsou zjištěny pouze při jednotlivých praktických zkouškách tažení daného materiálu určitou operací [10].



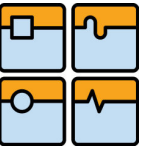
### Vůle mezi střížníkem a střížnicí

Tyto vůle jsou zde uvedeny pouze pro připomenutí, že technologie tažení jde ruku v ruce s technologií tažení, která je s ní spjata. Často se totiž setkáváme s případy, kdy nástroje jsou složeninou obou těchto technologií. Však už jen samotný přístřih musí být někde vyroben a pro dobré využití časových a ekonomických hledisek se tak často děje přímo na tažném stroji v tzn., sdruženém nástroji.

Střížná vůle má podobné vlastnosti a účel jako vůle tažná. V zásadě se volí tak, že čím tlustší a měkčí materiály stříháme, tím se volí menší vůle. Se vzrůstající tvrdostí a tloušťkou stříhaného materiálu se střížná vůle zvětšuje. Pro určení střížné vůle existují tabulky, kde lze vyhledat doporučenou vůli na základě druhu a tloušťce stříhaného materiálu nebo lze použít výpočtových vztahů, které vznikly na základě praktických zkušeností. Hodně literatur udává různé tabulky a hodnoty se v nich liší, proto tyto údaje berme pouze jako doporučení [10].

Tloušťka materiálu $\delta$ [mm]	Kovy					
	Mez pevnosti $\sigma_{pe}$					
	do 40 kp mm <sup>-2</sup>		40 až 60 kp mm <sup>-2</sup>		nad 60 kp mm <sup>-2</sup>	
	$\epsilon$ [%]	$\epsilon$ [mm]	$\epsilon$ [%]	$\epsilon$ [mm]	$\epsilon$ [%]	$\epsilon$ [mm]
0,1	3–5	0,003–0,005	5–7	0,005–0,007	7–9	0,007–0,009
0,2		0,006–0,010		0,010–0,014		0,014–0,018
0,3		0,009–0,015		0,015–0,021		0,021–0,027
0,4		0,012–0,020		0,020–0,028		0,028–0,036
0,5		0,015–0,025		0,025–0,035		0,035–0,045
0,6	4–6	0,024–0,036	6–8	0,036–0,048	8–10	0,048–0,060
0,8		0,032–0,048		0,048–0,064		0,064–0,080
1,0		0,040–0,060		0,060–0,080		0,080–0,100
1,2		0,048–0,072		0,072–0,096		0,096–0,120
1,5		0,060–0,090		0,090–0,120		0,120–0,150
1,8	5–7	0,090–0,126	7–9	0,126–0,162	9–11	0,162–0,198
2,0		0,100–0,140		0,140–0,180		0,180–0,220
2,5		0,125–0,175		0,175–0,225		0,225–0,275
3,0		0,150–0,210		0,210–0,270		0,270–0,330
3,5		0,245–0,350		0,315–0,420		0,385–0,490
4,0	7–10	0,280–0,400	9–12	0,360–0,480	11–14	0,440–0,560
4,5		0,315–0,450		0,405–0,540		0,495–0,630
5,0		0,350–0,500		0,450–0,600		0,550–0,700
6,0		0,60–0,78		0,72–0,90		0,84–1,02
7,0		0,70–0,91		0,84–1,05		0,98–1,19
8,0	10–13	0,80–1,04	12–15	0,96–1,20	14–17	1,12–1,36
9,0		0,90–1,17		1,08–1,35		1,26–1,53
10,0		1,00–1,30		1,20–1,50		1,40–1,70
11,0		1,43–1,76		1,65–1,98		1,87–2,20
12,0		1,56–1,92		1,80–2,16		2,04–2,40
13,0	13–16	1,69–2,08	15–18	1,95–2,34	17–20	2,21–2,60
14,0		1,82–2,24		2,10–2,52		2,38–2,80
15,0		1,95–2,40		2,25–2,70		2,56–3,00
16,0		2,08–2,56		2,40–2,88		2,72–3,20

Tab. 2: Tabulka pro určení velikosti střížné vůle [10].

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 3.4 NÁSTROJE

Nástroje tvoří základní část technologického procesu tváření. Jejich životnost často určuje výslednou účinnost a efektivitu celého procesu tažení včetně stroje.

Výroba tažných nástrojů vyžaduje teoretické i praktické zkušenosti konstruktéra, tak i zároveň nástrojáře, jelikož i nepatrné odchylky od správných hodnot a tvarů nástroje mohou značně ovlivnit výsledný tvar výtažků, počet tažných operací i samotný zdar celého tažení [3] [10].

Nástroje používané v technologii tažení můžeme rozdělit:

#### Univerzální a skupinové nástroje

Univerzální a skupinové nástroje využívají prvky standardizování výroby z důvodu použití velké škály jednotlivých částí za účelem zvýšení variabilnosti. Využívá se především v kusové nebo malosériové výrobě.

Rozdíl mezi univerzálním a skupinovým nástrojem je v jeho použití a možnosti při jeho nasazení pro danou operaci. Univerzální nástroj má větší rozpětí použití, ale jeho nastavení a seřízení pro danou operaci je podstatně delší než u skupinových nástrojů. Nástroje skupinové proto využívají svoje konstrukční řešení pro daný typ operace, kde se mění pouze například velikost a rozměr. Tyto nástroje musí v neposlední řadě také splňovat vlastnosti jako jsou rychlá manipulace, upnutí do nástroje včetně přesného ustavení, přesnost, tuhost, bezpečnost.

Tyto nástroje můžeme dále rozdělit do skupin:

#### - s vyměnitelnými funkčními nástroji

Do této skupiny řadíme nástroje, jejichž funkční části, např. tažník a tažnice, jsou vyměnitelné podle určitého tvaru, který je odvozen od tažného polotovaru.

#### - přestavitelné a seřiditelné

Tato skupina nástrojů se vyznačuje tím, že jednotlivé funkční části je možno použít pro širší rozměrové rozdíly. Tohoto je docíleno pomocí systému určitých dorazů, které nám limitují maximální a minimální možný cílový výtažek či výstřižek.

#### - sestavitelné z normalizovaných částí

Tyto skupina je, v dnešní době, nepoužívanější a nejrozšířenější, z důvodu využití normalizovaných částí, kterými jsou vodící stojánky, střižné skříně, upínací hlavice, atd. Tyto nástroje se mohou sestavovat pouze ze samostatných funkčních částí (potom nazýváme stavebnicové) nebo jsou obohaceny i o nenormalizované,



keré zde nejsou zastoupeny v tak velké míře, co se týče kusů, tak hlavně i důležitosti na technologii.

### **Kusové nástroje**

Tyto nástroje se využívají především v hromadné výrobě, jelikož při kusové by byli velice nerentabilní. Jedná se o konstruovaný nástroj na předem danou operaci, která je neměnná a předem definované rozměry. V určitých případech se využívají i v kusové výrobě tam, kde není možno využít univerzálních nástrojů. Toto je ale zcela výjimečně.

### **Postupové nástroje**

Postupové nástroje se využívají pro hromadnou výrobu, kde se jejich nákladnost na specifickou operaci za určitou dobu vrátí. Jejich konstrukce se proto od kusových nástrojů liší. Tyto nástroje často obsahují řady nastavitelných funkčních prvků a zjednodušení (např. Snadné vyjímání rychle opotřebitelných dílů – pružiny, nastavitelné lišty, vyjímatelné jednotlivé matrice, atd.).

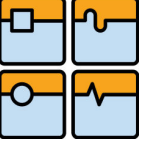
#### **- jednoduchý postupový nástroj**

Skládá se pouze z jednotlivých tažných operací, které jsou postupně podle technologie za sebou řazeny.

#### **- sdružený postupový nástroj**

Jedná se o sdružení více technologií v jednom nástroji, proto název sdružený. Nejčastěji se skládá ze dvou částí, kde jedna je střižná a druhá tažná. Střižná část nám umožňuje vystřížení základního tvaru z pásu, nástřih, ostřih, atd.

Jak lze z výše uvedených skupin nástrojů odvodit, tak nejčastěji se pro výrobu hlubokotažných výtažku používá sdružených postupových nástrojů, které jsou nejvíce vhodné pro danou technologii. Vyplývá to především z nutnosti daný výtažek táhnout na několik postupně po sobě jdoucích operacích a zároveň i zde musí docházet k základnímu vystřížení polotovaru pro tažení. Často se zde setkáváme i s následným dělením zbylého odpadu pro snadnou manipulaci a finálním zastřiháváním na daný rozměr.

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

### 3.5 MAZÁNÍ

Tažení kovů velmi ovlivňuje tření, které vzniká mezi nástrojem a taženým materiálem. Nástroj je díky tomu velice namáhán a tím samozřejmě je ovlivněna i jeho životnost a zahřívání. Toto jsou aspekty, kvůli kterým je nutné nástroj a tažený materiál vhodně mazat, abychom je co nejvíce snížily.

Nanášené mazivo musí dokonale obalit tvářený materiál v místech, kde dochází k tažení. Tento vytvořený film musí být celistvý po dobu tváření i při těch nejvyšších tlacích (literatura udává, že tlaky mohou dosahovat hodnot až 3500 MPa) [3].

Rozděluje se několik druhů maziva:

- Čistá kapalina ..použití pro lehčí tváření při tlacích do 600 MPa (při použití pro vyšší tlaky je kapalina obohacena o tzv. „plnidlo“ pro zvýšení schopnosti přilnavosti a spojitosti).
- Lanolín ..jedná se o tuhé maziva získané při praní ovčí vlny, vhodné pro těžké a hluboké tahy.
- Hypoidní maziva ..jedná se o směsi minerálních olejů, které obsahují sloučeniny síry a chloru.
- Maziva s grafitem .. použití pro nejobtížnější tváření.



## 4 NÁVRH ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE TAŽENÍ VÝTAŽKU „KALÍŠEK“

Cílem této diplomové práce je navrhnout a vyřešit možný způsob výroby daného výtažku podle výkresu finálního výtažku a zadání od zadavatele.

### 4.1 ZADÁNÍ DLE ZADAVATELE

Předmětem dodání je nástroj a s ním související stroj na výrobu nerezových kalíšku dle přiložené dokumentace (viz. příloha). Nástroj pro výrobu nerezových kalíšku má být navržen a zhotoven tak, aby výsledný výrobek dosahoval parametrů daných výkresem. Stroj je specifikován jako samostatně stojící automatický stroj, který je možno umístit do běžné výrobní haly o nosnosti podlahy  $750 \text{ kg/m}^2$ . Výrobní takt stroje bude 60ks/min při dvousměnném provozu. Stroj musí být navržen tak, aby ho mohl obsluhovat pouze jeden pracovník. Vstupním polotovarem bude nerezový pásek o jakosti 1.4301 tloušťky 0,28 mm. Součástí stroje bude i řešení mazání vstupního pásku a jeho zavádění. Stroj musí být schopný při výměně nástroje vyrábět za stejných podmínek i dutinky jiným délek (max. 9,8mm).

### 4.2 MATERIÁL A ROZMĚRY VÝTAŽKU

Vstupní materiálem je nerezový pásek jakosti 1.4301 tloušťky 0.28 mm. Materiál je ocel se zvláštními fyzikálně chemickými vlastnostmi. Jedná se o chromniklovou korozivzdornou ocel, která má vysokou tažnost, ale její vysoká pevnost a rychlé zpevňování tvářením za studena vyžadují vyšší tažnou sílu. Lze ji použít například na tlakové nádoby a do prostředí oxidační povahy. Při jejich tažení se obvykle užívá velmi malých tažných rychlostí, zpravidla do 7 m/min.

Dle doporučení, které bylo vyžádáno na VUT v Brně, ústav strojírenské technologie – odbor technologie tváření, je navrhovaná rychlost tváření 2 m/min.

Tyto pásy se dodávají v několika šířkách. Dle výkresu výtažků jsou zjištěny rozměry a následně vypočtena nejvhodnější možná šířka nakupovaného polotovaru. Toto je úzce spjato zároveň s návrhem a následným výpočtem nástroje při určení přesné technologie výroby, proto tento výpočet bude zahrnut do výpočtu nástroje (viz. bod 5.1).

Prvek	C	Cr	Mn	Ni	P	S	Si
%	do 0,7	17 až 20	do 2,0	9 až 11,5	do 0,045	do 0,03	Do 1,0

Tab. 3: Tabulka chemického složení.

### Fyzikální hodnoty oceli 1.4301 (ekvivalent 17 240):

Mez kluzu $R_{p0,2}$	do 186 MPa
Mez pevnosti $R_m$	490 až 686 MPa
Tažnost $A_5$	do 37 %

Daná tažnost se týká především nevystárlé oceli. Při použití vystárlé oceli, může nastat problém při tažení, jelikož dochází k poklesu tažnosti a tvárnosti dané ocele vlivem deformačního stárnutí. Díky tomuto se zároveň zvyšuje mez kluzu u oceli.

Podle počtu vyráběných kusů a tvaru výrobku se jeví jako nejlepší možnost součástku vyrábět plošným tvářením. Bez předem určené přesné technologie výroby je jisté, že nejdříve bude nutno vystříhnout základní rondel, z kterého se následně bude výtazek táhnout. Velikost rondelu bude vycházet z přídatku z důvodu materiálové anizotropie, která způsobuje zvlnění okrajů. Tento prvotní výstřih je možno provést více způsoby, např. řezání vodním paprskem, laserem, stříhání, atd. Jelikož je navrhovaná technologie výroby pro vysoký počet vyráběných kusů, je nevhodnější základní rondel stříhat. K vytažení duté součásti ze základního rondelu se jeví jako nejlepší použít technologii hlubokého tažení.

### 4.3 VOLBA NÁSTROJE

Podle tvaru součásti, výšky a průměru je zřejmé, že nebude možné tento výtazek vyrobit na jednu tažnou operaci, proto je nutné táhnout na více operací. Podle zadání je nevhodnější použít postupový nástroj, který je velice progresivním výrobním řešením. Nástroj by se měl minimálně skládat ze dvou částí:

1. střížná část - vystřížení rondelu, odstřih přebytečného materiálu
2. tažná část - samotné tažení výtazku

Nástroj bude konstruován jako jeden kompaktní celek pro snadné zavádění a výměnu ve stroji. Jednotlivé tažníky a tažnice jsou rozměrově odstupňovány pro správnou technologii tažení (viz. kap. 3.4. Sdružené postupové nástroje).



## 5 NÁVRH POSTUPOVÉHO NÁSTROJE

### 5.1 NÁVRH A VÝPOČET NÁSTROJE PRO TYPOROZMĚR DLE VÝKRESU

#### 5.1.1 VÝPOČET VELIKOSTI PŘÍSTŘÍHU A POLOTOVARU

Základní rozměry dutinky podle výkresu **DP12-00-00-V01**:

$d_v = 6,51\text{ mm}$	vnitřní průměr dutinky
$d_{v1} = 7,04\text{ mm}$	vnější průměr dutinky
$d_{v2} = 7,2\text{ mm}$	vnější průměr dutinky s lemem
$tl_1 = 0,3\text{ mm}$	tloušťka dna
$tl_2 = 0,26\text{ mm}$	tloušťka stěny
$tl = 0,28\text{ mm}$	tloušťka nerezového pásku
$v_1 = 0,28\text{ mm}$	výška lemu
$v_2 = 6,52\text{ mm}$	výška dutinky bez lemu
$v_c = 6,8\text{ mm}$	celková výška kalíšku

**Přibližný výpočet objemu dutinky:**

$$V_{v-t} = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} \cdot tl_1 + \frac{\pi \cdot (d_{v1}^2 - d_v^2)}{4} \cdot v_2 + \frac{\pi \cdot (d_{v2}^2 - d_v^2)}{4} \cdot v_1 \quad V_{v-t} = 48,841\text{ mm}^3$$

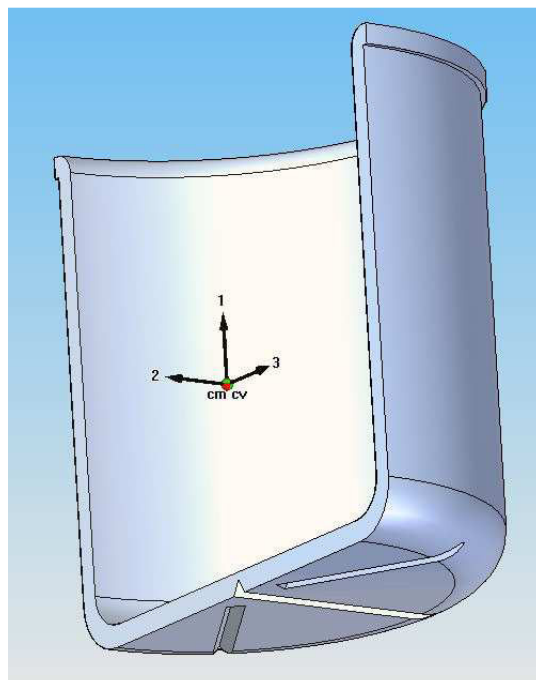
**Zákon o zachování objemu:**  $V_p = V_{v-t} \quad V_p = 48,841\text{ mm}^3$

**Přibližný výpočtový průměr přístříhu:**

$$D_{p-t} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot tl}} \quad D_{p-t} = 14,397\text{ mm}$$

Výhodou dnešní pokročilé doby ve výpočtové technice je možné tento výkres překreslit ve 3D softwaru do modelu. S tímto modelem se dá dále pracovat jako s „fyzickým“ výrobkem. Proto tento software je použit i k vypočítání objemu pro porovnání s ručním výpočtem, který byl proveden o řádky výše





Obr. 6: 3D Model výtažku v řezu.

**Objem dutinky za použití vypracování 3D modelu:**

$$V_V = 46,938 \text{ mm}^3$$

Výsledkem je objem, který se neznatelně liší od objemu, který byl ručně spočítán. Pro přesnější výpočty bude dále počítáno s objemem, který byl získán prostřednictvím 3D softwaru.

**Průměr přístřihu:**  $D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot V_V}{\pi \cdot tl}}$   $D_p = 14,61 \text{ mm}$

Přídavek pro odstřížení nerovných krajů, které vznikají při tažení z důsledku plošné anizotropie materiálu:  $a = 3\%$

**Průměr přístřihu s přídavkem:**  $D = D_p \cdot \frac{a}{100} + D_p$   $D = 15,048 \text{ mm}$

**Volím skutečný průměr přístřihu:**  $D_v = 15 \text{ mm}$

Šířka pásku bude volena 16mm, abychom docílili dobré využitelnosti pásku (viz. kapitola 7.6.).

$$a_p = 16 \text{ mm}$$



$$\text{Skutečný objem přístříhu: } V_{sk} = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} \cdot tl$$

$$V_{sk} = 49,48 \text{ mm}^3$$

### 5.1.2 POČET POTŘEBNÝCH BEZPEČNÝCH TAHŮ

Počet bezpečných tahů pro vytažení dutinky je zjištěn pomocí koeficientu  $m_n$ . Tento koeficient charakterizuje poměrné zmenšení průměru výstřížku. Hodnota koeficientu se pohybuje v rozmezí 0 až 1. Čím se koeficient blíží více k číslu 1, tím je zmenšení výstřížku a deformace menší a naopak. Pro určení nejmenšího počtu tahů se používají tzv. mezní součinitelé odstupňování tahů  $M$ . Toto odstupňování je možno najít v literatuře. V praxi je pak nutno odzkoušet. [10]

$$M = \frac{d}{D}$$

$$M_1 = 0,67$$

$$d_1 = M_1 \cdot D_v$$

$$d_1 = 10,05 \text{ mm}$$

$$M_2 = 0,826$$

$$d_2 = M_2 \cdot d_1$$

$$d_2 = 8,301 \text{ mm}$$

$$M_3 = 0,848$$

$$d_3 = M_3 \cdot d_2$$

$$d_3 = 7,04 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{M} = \frac{D}{d} = K \quad \text{.. je stupeň tažení}$$

**Celkový stupeň tažení:**

$$M_C = \frac{d_{v1}}{D_v}$$

$$M_C = \frac{7,04}{15}$$

$$M_C = 0,46$$

### 5.1.3 VÝŠKA JEDNOTLIVÝCH TAHŮ VÝTAŽKU

Výšku jednotlivých tahů je vypočtena pomocí zákona o zachování objemu, který byl již jednou použit pro výpočet velikosti přístříhu, pouze ho je upraven metodou vytýkání.

$$V_{sk} = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5$$

$$V_{sk} = \frac{\pi \cdot (d_n - 2 \cdot tl)^2}{4} \cdot tl_2 + \frac{\pi \cdot (d_n^2 - (d_n - 2 \cdot tl)^2)}{4} \cdot l_n$$

$$l_n = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_n - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_n^2 - (d_n - 2 \cdot tl)^2)}$$

$$l_1 = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_1 - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_1^2 - (d_1 - 2 \cdot tl)^2)}$$

výška dutinky při 1. tahu:  $l_1 = 3,6 \text{ mm}$

$$l_2 = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_2 - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_2^2 - (d_2 - 2 \cdot tl)^2)}$$

výška dutinky při 2. tahu:  $l_2 = 5,3 \text{ mm}$

$$l_3 = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_3 - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_3^2 - (d_3 - 2 \cdot tl)^2)}$$

výška dutinky při 3. tahu:  $l_3 = 6,88 \text{ mm}$

#### 5.1.4 TAŽNÁ SÍLA S PEVNOSTÍ DNA

$\sigma_{pt} = 660 \text{ MPa}$  ..mez pevnosti v tahu (zjištěno při tahové zkoušce)

$$F_{t1} = \pi \cdot d_1 \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \qquad F_{t1} = 5835 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \pi \cdot d_2 \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \qquad F_{t2} = 4819 \text{ N}$$

$$F_{t3} = \pi \cdot d_3 \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \qquad F_{t3} = 4087 \text{ N}$$

**Celková tažná síla:**

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} \qquad F_t = 14741 \text{ N}$$

#### 5.1.5 POUŽITÍ A SÍLA VYHAZOVAČE

Aby došlo k zcela jednoznačnému a bezpečnému vysunutí výlisku z matric je nutné použití vyhazovačů a stěračů. Vyhazovače vysouvají výlisky zpět na rovinu tažení. Stěrače se zase pracují tak, že stírají výlisky, které jsou zachyceny na tažnicích tak, aby je zase spustili do roviny tažení. Vyhazovače máme především dvou druhů, zpětné a dopředné. Zpětné jsou umístěny ve spodní části nástroje nebo stroje a působí proti tažníkům. Dopředné (často nazývané jako stěrače) jsou konstruovány v horní části nástroje, obvykle jsou v dutém tažníku nebo kolem něj. Takto umístěný vyhazovač, může v některých případech působit i jako přidržovač.

Vyhazovače a stěrače se konstruují velice podobně. Síla, kterou vyvozují je nejčastěji odvozena od pružin nebo pneumatických válců. Nejčastěji se volím 20 až 30% tvářecí síly. Volím 25%:



$$F_{vyh} = 0,25 \cdot F_t$$

$$F_{vyh} = 0,25 \cdot 14741$$

$$F_{vyh} = 3685 \text{ N}$$

### 5.1.6 POUŽITÍ A SÍLA PŘIDRŽOVAČE

Při prvním tahu je nutné, ve většině případů, okraje přístřihu přidržet tak, aby nedocházelo k zvlnění okraje. Přidržovač pracuje tak, že při pohybu beranu směrem dolů (tvářecí směr) dochází nejdříve ke kontaktu přidržovače s taženým materiálem, který ho přidrží a následně dojde ke kontaktu tažníku s materiálem. Dochází k tváření a materiál se pod přidržovačem stírá a vsunuje do matrice.

Jsou případy, kdy je možno táhnout i bez přidržovače. Vše závisí na materiálu polotovaru, tloušťce, tažné vůli a zaoblení tažné hrany. Tyto parametry udávají největší možnou redukci, při které lze táhnout bez přidržovače. Obvykle se jedná o hodnotu do 10%. [3]

$$R_{\max} = 50 \cdot \frac{\sqrt{tl}}{\sqrt[3]{D_v}} + 100 \cdot (1 - c)$$

$c$  ..konstanta závislá na druhu taženého materiálu

$$c = 1$$

$$R_{\max} = 50 \cdot \frac{\sqrt{0,28}}{\sqrt[3]{15}} + 100 \cdot (1 - c)$$

$$R_{\max} = 10.7\%$$

Námi vypočítaná redukce je na hranici použití bez nebo s přidržovačem.

Tažníky bez přidržovače jsou levné, jednoduché na výrobu a v celku spolehlivé.

### 5.1.7 STŘIŽNÁ SÍLA

Při tažení dané dutinky postupovým nástrojem je nutné tento nástroj i obohatit o střížné prvky pro vystřížení vypočteného přístřihu, po posledním tahu i odstříhnout přebytečný materiál a tím vytvořit konečnou výšku dutinky a ještě stříhání zbylého pásku na odpad, aby bylo možno je dobře skladovat a dále likvidovat.

$$k_o = 1,2$$

koeficient otupení nástroje

**Síla potřebná pro vystřížení výstřížku z plechu:**

$$F_{s1} = \pi \cdot D_v \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \cdot 0,8 \cdot k_o$$

$$F_{s1} = 8360 \text{ N}$$

**Síla potřebná pro odstřížení přebytečného materiálu u příruby dutinky:**

$$F_{s2} = \pi \cdot d_{v2} \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \cdot 0,8 \cdot k_o$$

$$F_{s2} = 4013 \text{ N}$$



**Síla potřebná pro stříh zbylého pásku:**

$$F_{s3} = a_p \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \cdot 0,8 \cdot k_o \qquad F_{s3} = 3016 N$$

**Celková střížní síla:**

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} \qquad F_s = 15386 N$$

### 5.1.8 VYRAŽENÍ HVĚZDY NA DNU VÝTAŽKU

Dle zadání, jde vidět, že na dnu výtažku je vyražen tvar hvězdy. Toto vyražení je do hloubky 0,2mm o vrcholovém úhlu 65 až 70°. Předpokládaná síla nutná k vyražení této hvězdy je v porovnání všech ostatních sil zanedbatelná, a proto zde tento výpočet není uveden.

### 5.1.9 CELKOVÁ POTŘEBNÁ PRÁCE

$k_n = 0,66$  ..volím koeficient zaplnění diagramu

Tento koeficient je udáván v rozmezí 0,6 až 0,9.

$$A_{t1} = F_{t1} \cdot \frac{l_1}{1000} \cdot k_n \qquad A_{t1} = 13,931 J$$

$$A_{t2} = F_{t2} \cdot \frac{l_2}{1000} \cdot k_n \qquad A_{t2} = 16,79 J$$

$$A_{t3} = F_{t3} \cdot \frac{l_3}{1000} \cdot k_n \qquad A_{t3} = 18,56 J$$

**Celková potřebná práce při tažných operacích:**

$$A_t = A_{t1} + A_{t2} + A_{t3} \qquad A_t = 49,3 J$$

**Střížná práce při vystřihnutí přístřihu:**

$$A_{s1} = F_{s1} \cdot \frac{tl}{1000} \cdot k_n \qquad A_{s1} = 1,55 J$$

**Střížná práce při odstřihnutí otřepu:**

$$A_{s2} = F_{s2} \cdot \frac{tl}{1000} \cdot k_n \qquad A_{s2} = 0,742 J$$

**Střížná práce při odstřihnutí zbytku:**

$$A_{s3} = F_{s3} \cdot \frac{tl}{1000} \cdot k_n \qquad A_{s3} = 0,56 J$$

**Celková práce:**

$$A = A_t + A_{s1} + A_{s2} + A_{s3} \qquad A = 52,1 J$$

## 5.2 NÁVRH A VÝPOČET NÁSTROJE PRO MAX. VÝTAŽEK DLE ZADÁNÍ

Dle zadání je maximální výtažek rozměrově totožný s výkresem „kalíšek“, pouze je zde jediná změna v celkové délce 9,8 mm.

### 5.2.1 VÝPOČET VELIKOSTI PŘÍSTŘIHU A POLOTOVARU

Základní rozměry maximální dutinky:

$d_v = 6,51 mm$	vnitřní průměr dutinky
$d_{v1} = 7,04 mm$	vnější průměr dutinky
$d_{v2} = 7,2 mm$	vnější průměr dutinky s lemem
$tl_1 = 0,3 mm$	tloušťka dna
$tl_2 = 0,26 mm$	tloušťka stěny
$tl = 0,28 mm$	tloušťka nerezového pásu
$v_1 = 0,28 mm$	výška lemu
$v_2 = 9,52 mm$	výška dutinky bez lemu
$v_c = 9,8 mm$	celková výška kalíšku

**Objem dutinky za použití vypracování 3D modelu:**  $V_V = 63,86 \text{ mm}^3$

**Průměr přístřihu:**  $D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot V_V}{\pi \cdot tl}}$   $D_p = 17,04 \text{ mm}$

Přídavek pro odstřížení nerovných krajů, které vznikají při tažení z důsledku plošné anizotropie materiálu:  $a = 3\%$

**Průměr přístřihu s přídavkem:**  $D = D_p \cdot \frac{a}{100} + D_p$   $D = 18,4 \text{ mm}$

**Volím skutečný průměr přístřihu:**  $D_v = 19 \text{ mm}$

**Skutečný objem přístřihu:**  $V_{sk} = \frac{\pi \cdot D_v^2}{4} \cdot tl$   $V_{sk} = 79,39 \text{ mm}^3$

## 5.2.2 POČET POTŘEBNÝCH BEZPEČNÝCH TAHŮ

$M_1 = 0,62$	$d_1 = M_1 \cdot D_v$	$d_1 = 11,78 \text{ mm}$
$M_2 = 0,84$	$d_2 = M_2 \cdot d_1$	$d_2 = 9,895 \text{ mm}$
$M_3 = 0,853$	$d_3 = M_3 \cdot d_2$	$d_3 = 8,441 \text{ mm}$
$M_4 = 0,863$	$d_4 = M_4 \cdot d_2$	$d_4 = 7,284 \text{ mm}$
$M_5 = 0,966$	$d_5 = M_5 \cdot d_2$	$d_5 = 7,04 \text{ mm}$

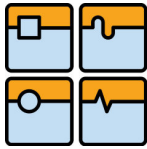
**Celkový stupeň tažení:**

$M_C = \frac{d_{v1}}{D_v}$   $M_C = \frac{7,04}{19}$   $M_C = 0,37$

## 5.2.3 VÝŠKA JEDNOTLIVÝCH TAHŮ VÝTAŽKU

$V_{sk} = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5$

$l_1 = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_1 - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_1^2 - (d_1 - 2 \cdot tl)^2)}$  výška dutinky při 1. tahu:  $l_1 = 5,1 \text{ mm}$



$$l_2 = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_2 - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_2^2 - (d_2 - 2 \cdot tl)^2)}$$

výška dutinky při 2. tahu:  $l_2 = 7,1 \text{ mm}$ 

$$l_3 = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_3 - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_3^2 - (d_3 - 2 \cdot tl)^2)}$$

výška dutinky při 3. tahu:  $l_3 = 9,2 \text{ mm}$ 

$$l_4 = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_4 - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_4^2 - (d_4 - 2 \cdot tl)^2)}$$

výška dutinky při 4. tahu:  $l_4 = 11,3 \text{ mm}$ 

$$l_5 = \frac{4 \cdot V_{sk} - (d_5 - 2 \cdot tl)^2 \cdot tl_2}{\pi (d_5^2 - (d_5 - 2 \cdot tl)^2)}$$

výška dutinky při 5. tahu:  $l_5 = 11,8 \text{ mm}$ 

## 5.2.4 TAŽNÁ SÍLA S PEVNOSTÍ DNA

 $\sigma_{pt} = 660 \text{ MPa}$  ..mez pevnosti v tahu

$$F_{t1} = \pi \cdot d_1 \cdot tl \cdot \sigma_{pt}$$

$$F_{t1} = 6800 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \pi \cdot d_2 \cdot tl \cdot \sigma_{pt}$$

$$F_{t2} = 5762 \text{ N}$$

$$F_{t3} = \pi \cdot d_3 \cdot tl \cdot \sigma_{pt}$$

$$F_{t3} = 4915 \text{ N}$$

$$F_{t4} = \pi \cdot d_4 \cdot tl \cdot \sigma_{pt}$$

$$F_{t4} = 4242 \text{ N}$$

$$F_{t5} = \pi \cdot d_5 \cdot tl \cdot \sigma_{pt}$$

$$F_{t5} = 4098 \text{ N}$$

**Celková tažná síla:**

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} + F_{t4} + F_{t5}$$

$$F_t = 25817 \text{ N}$$

## 5.2.5 STŘIŽNÁ SÍLA

**Síla potřebná pro vystřížení výstřížku z plechu:**

$$F_{s1} = \pi \cdot D_v \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \cdot 0,8 \cdot k_o$$

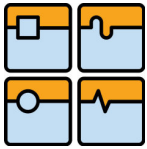
$$F_{s1} = 10620 \text{ N}$$

**Síla potřebná pro odstřížení přebytečného materiálu u příruby dutinky:**

$$F_{s2} = \pi \cdot d_{v2} \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \cdot 0,8 \cdot k_o$$

$$F_{s2} = 4025 \text{ N}$$





**Síla potřebná pro stříh zbylého pásku:**

$$F_{s3} = a_p \cdot tl \cdot \sigma_{pt} \cdot 0,8 \cdot k_o \qquad F_{s3} = 3726 \text{ N}$$

**Celková střížní síla:**

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} \qquad F_s = 18371 \text{ N}$$

### 5.2.6 SÍLA VYHAZOVAČŮ

Celkovou sílu vyhazovačů volím 25% z tvářecí síly.

$$F_{vyh} = 0,25 \cdot F_t \qquad F_{vyh} = 0,25 \cdot 25817 \qquad F_{vyh} = 6454 \text{ N}$$

### 5.2.7 CELKOVÁ POTŘEBNÁ PRÁCE

$k_n = 0,66$  .. volím koeficient zaplnění diagramu

$$A_{t1} = F_{t1} \cdot \frac{l_1}{1000} \cdot k_n \qquad A_{t1} = 22,1 \text{ J}$$

$$A_{t2} = F_{t2} \cdot \frac{l_2}{1000} \cdot k_n \qquad A_{t2} = 25,9 \text{ J}$$

$$A_{t3} = F_{t3} \cdot \frac{l_3}{1000} \cdot k_n \qquad A_{t3} = 28,3 \text{ J}$$

$$A_{t4} = F_{t4} \cdot \frac{l_4}{1000} \cdot k_n \qquad A_{t4} = 30,1 \text{ J}$$

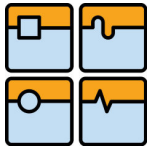
$$A_{t5} = F_{t5} \cdot \frac{l_5}{1000} \cdot k_n \qquad A_{t5} = 30,5 \text{ J}$$

**Celková potřebná práce při tažných operacích:**

$$A_t = A_{t1} + A_{t2} + A_{t3} + A_{t4} + A_{t5} \qquad A_t = 136,9 \text{ J}$$

**Střížná práce při vystřihnutí přístříhu:**

$$A_{s1} = F_{s1} \cdot \frac{tl}{1000} \cdot k_n \qquad A_{s1} = 1,87 \text{ J}$$

**Střížná práce při odstřihnutí otřepu:**

$$A_{s2} = F_{s2} \cdot \frac{tl}{1000} \cdot k_n \qquad A_{s2} = 0,71 J$$

**Střížná práce při odstřihnutí zbytku:**

$$A_{s3} = F_{s3} \cdot \frac{tl}{1000} \cdot k_n \qquad A_{s3} = 0,69 J$$

**Celková práce:**

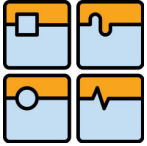
$$A = A_t + A_{s1} + A_{s2} + A_{s3} \qquad A = 140,2 J$$

### 5.3 VOLBA MAZÁNÍ A KONSTRUKCE SYSTÉMU

Pro mazání tvářeného materiálu dutinky je použit minerální olej, který je dopravován samospádovým mazacím systémem na daný tvářený materiál. Mazací systém se skládá z olejové nádoby se dvěma výstupy, které jsou pomocí hadic spojeny s mazacími tryskami, které dopravují mazivo na povrch mazacích válečků. Mazací trysky jsou válečky, které mají jádro duté a na povrchu jsou děrované. Těmito otvory je mazivo dopravováno na povrch mazacích válečků.

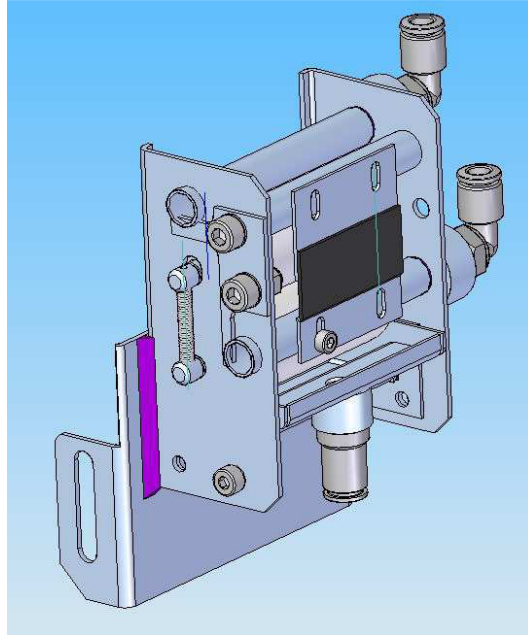


Obr. 7: Ilustrační foto mazací nádoby se čtyřmi výstupy.



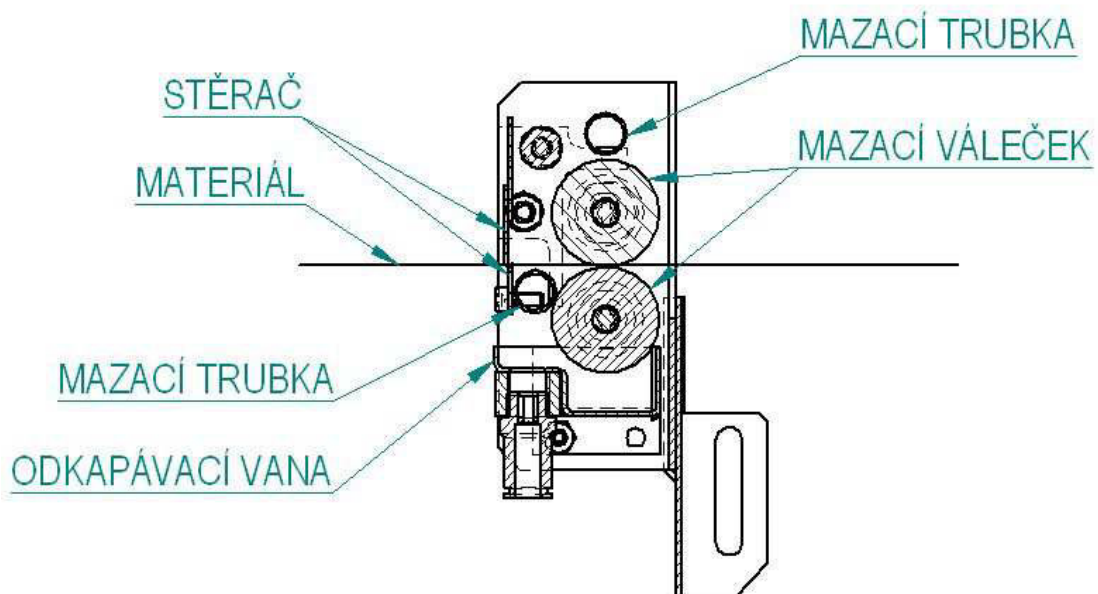
## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Mazací válečky jsou konstruovány tak, že spodní váleček je pevně uložen a k němu je z horní části přitlačován druhý. Toto uspořádání napomáhá k snadnějšímu zavedení pásku skrz tento systém do nástroje a zároveň zaručuje dobré mazání.



Obr. 8: 3D model mazacího systému.

System je nutno opatřit o stírací břity pro odstranění přebytečného oleje a zároveň o odkapávací vanu.



Obr. 9: Řez mazacím systémem.



Množství dopravovaného maziva se dá nastavit pomocí škrtec výstupů na mazací nádobě. Vizuálně se dá množství kontrolovat pomocí skleněného prostoru pod těmito škrtecími ventily ve formě jednotlivých kapek.

Pro správnou funkčnost v rámci celé technologie je umístěn tento mazací systém mezi podávač pásku a nástroj.

## 5.4 KONSTRUKCE NÁSTROJE

Postupový nástroj je konstruován s daným počtem pozic, které jsou vypočteny pro vytažení výtažku dle výkresu. Tyto pozice jsou doplněny o další, „předávací“ pozice. Tyto prázdné pozice zaujímají pozdější místa pro další přidání jednotlivých tahů pro vytažení maximální dutinky, tj 9,8 mm.

Konstruovaný postupový nástroj bude mít celkem tyto polohy (viz. Obr. 11):

1. poloha vystřížení přístřihu
2. poloha předávací
3. poloha 1. tah
4. poloha 2. tah
5. poloha předávací
6. poloha předávací
7. poloha 3. kalibrovací tah
8. poloha vyražení hvězdy do spodní části dutinky
9. poloha odstřížení přebytečného materiálu

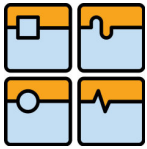
Rozteč mezi jednotlivými polohami je zvolena **30 mm** pro bezpečné ustavení a prostor pro předávací systém z jedné polohy do následující. Tato hodnota je pouze předběžný návrh. Pokud se při navrhování předávacího systému zjistí, že tento prostor (rozteč) není dostačující, bude muset dojít k její změně.

Dle výpočtu jsme zjistili, že maximální celková síla, kterou je potřeba vyvodit je součet tažné a střížné síly. Pro snížení těchto sil budeme nástroj konstruovat tak, aby střížná rovina nebyla shodná s tažnou. Střížná rovina bude o něco více, abychom rozložili výsledné silové účinky.

Tažníky v 7. a 8. poloze jsou vyrobeny s možností výškového stavění, aby zde mohlo dojít k nastavení a úpravě během výroby a seřízení.

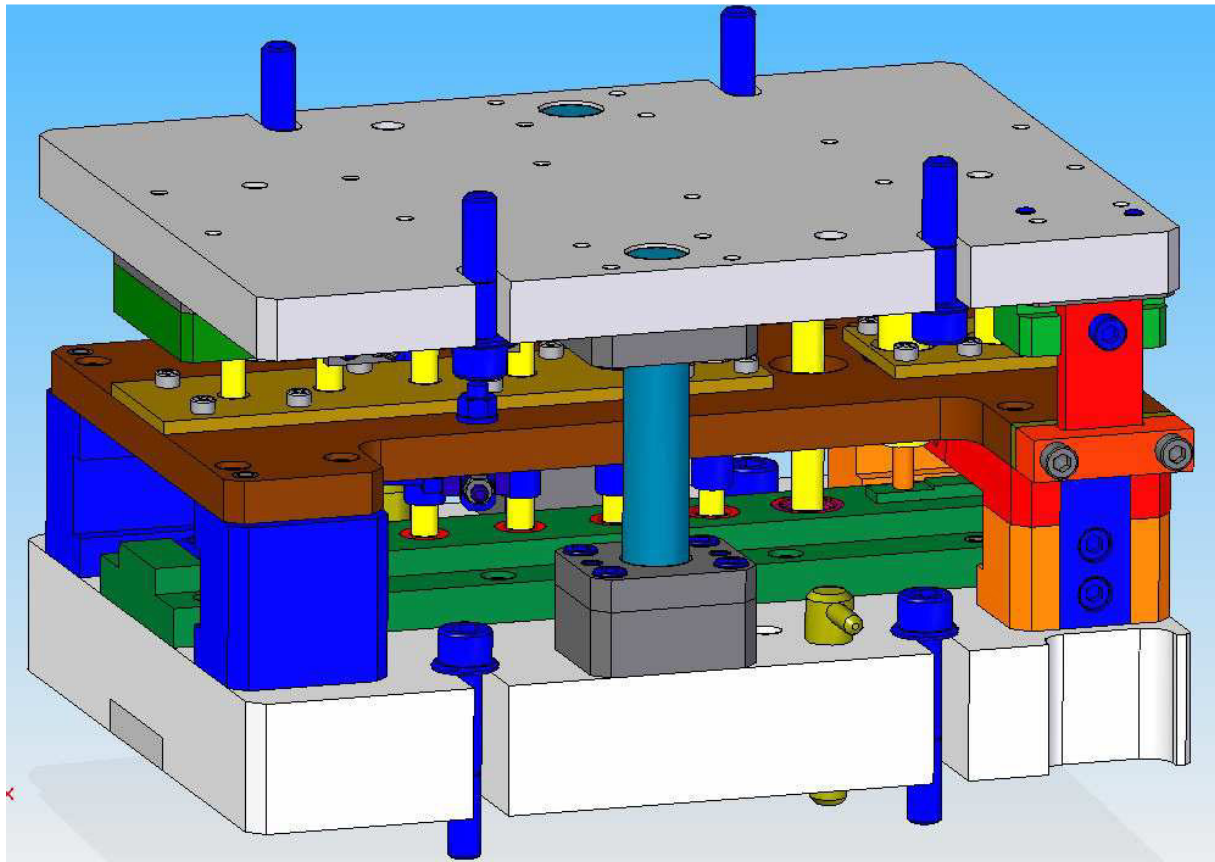
Materiál nástrojů pro odzkoušení prototypového výtažku je volen 19573. Jedná se o nástrojovou ocel vhodnou pro tvářecí a střížné nástroje. Vykazuje vysokou pevnost, zejména v tlaku, houževnatost a dobrou odolnost vůči opotřebení.

Po odzkoušení funkčních rozměrů bude materiál změněn na VANCRO 40 pro tažnice a VANADIS 23 pro tažníky. Tyto změny budou provedeny z důvodu zlepšení užitečných vlastností a to především životnosti. Tyto materiály nejsou voleny hned pro odzkoušení z důvodu vyšší pořizovací ceny.

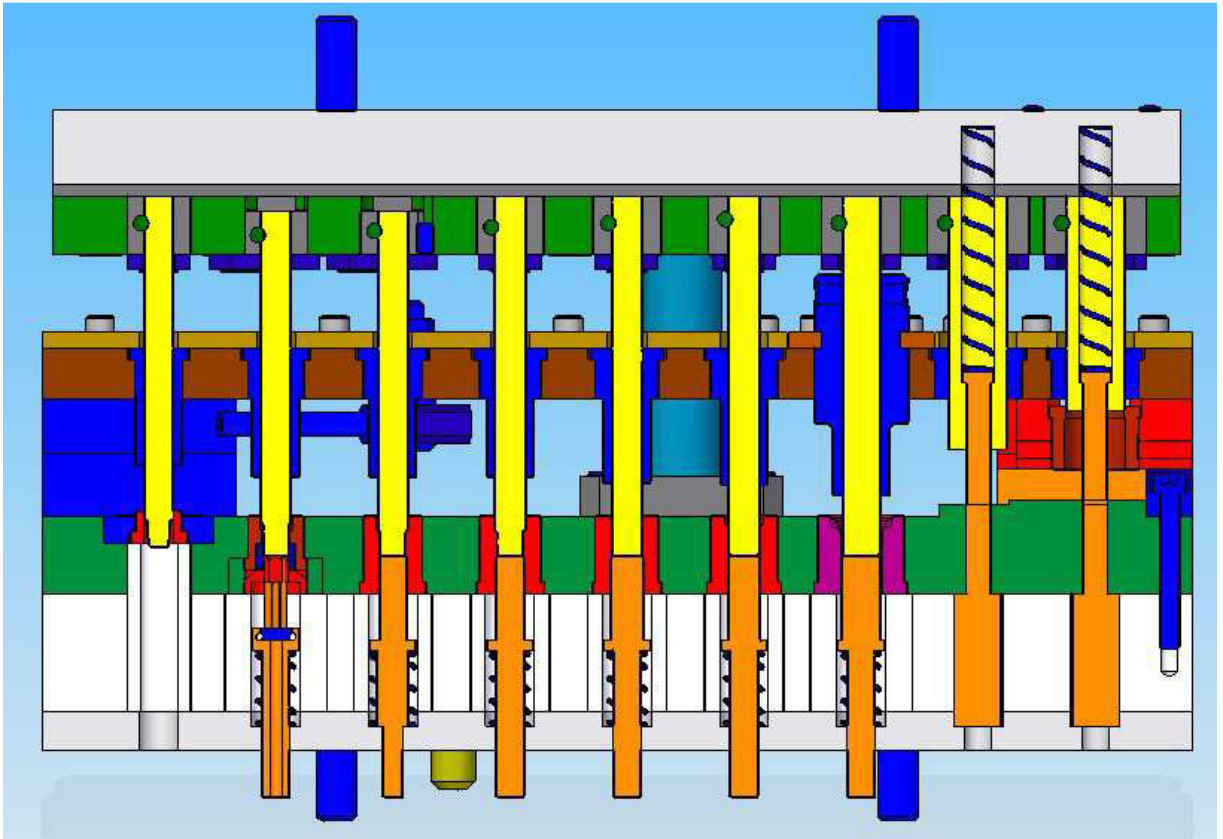
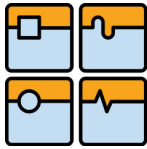


VANCRON 40 je prášková metalurgická nástrojová ocel, která se vyznačuje vynikající odolností proti adhezi a nalepování částic zpracovaného materiálu. Dobře se obrábí. Není potřeba jej následně povlakovat, jelikož obsahuje nitrid vanadu, který zaručuje nízké tření, odolnost proti adhezi a vysokou pevnost v tlaku. Používá se především pro stříhání, tažení a protlačování za studena.

VANADIS 23 je legovaná rychlořezná prášková ocel, která je charakteristická svojí odolností vůči opotřebení, vysokou pevností a houževnatostí. Je vhodná především pro stříhání a tváření tenčích materiálů.



Obr. 10: 3D model návrhu postupového nástroje.



Obr. 11: Řez navrhovaným postupovým nástrojem při zasunutých tažnicích.

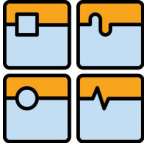
## 5.5 MOŽNOST VYUŽITÍ NÁSTROJE

Nástroj je konstruován tak, že jednotlivé tažníky a tažnice jsou vyjímatelné z kotevní desky. Toto je provedeno z důvodu snadné výroby a zároveň i údržby. Pokud dojde k nadměrnému opotřebení určitého tažníku či tažnice je možno jej následně vyjmout a upravit nebo vyměnit za nový, neopotřebovaný.

Zároveň to naskýtá možnost i využít jedno tělo nástroje pro přestavbu na jiný tažný výrobek. Pouze vyjmutím a náhradou tažníků a tažnic. Tato možnost je však velice nákladná, co se týče nevýrobního času.

Proto bude doporučeno zadavateli použití více těl nástrojů pro rychlou výměnu a zkrácení tak nevýrobních časů na minimum.

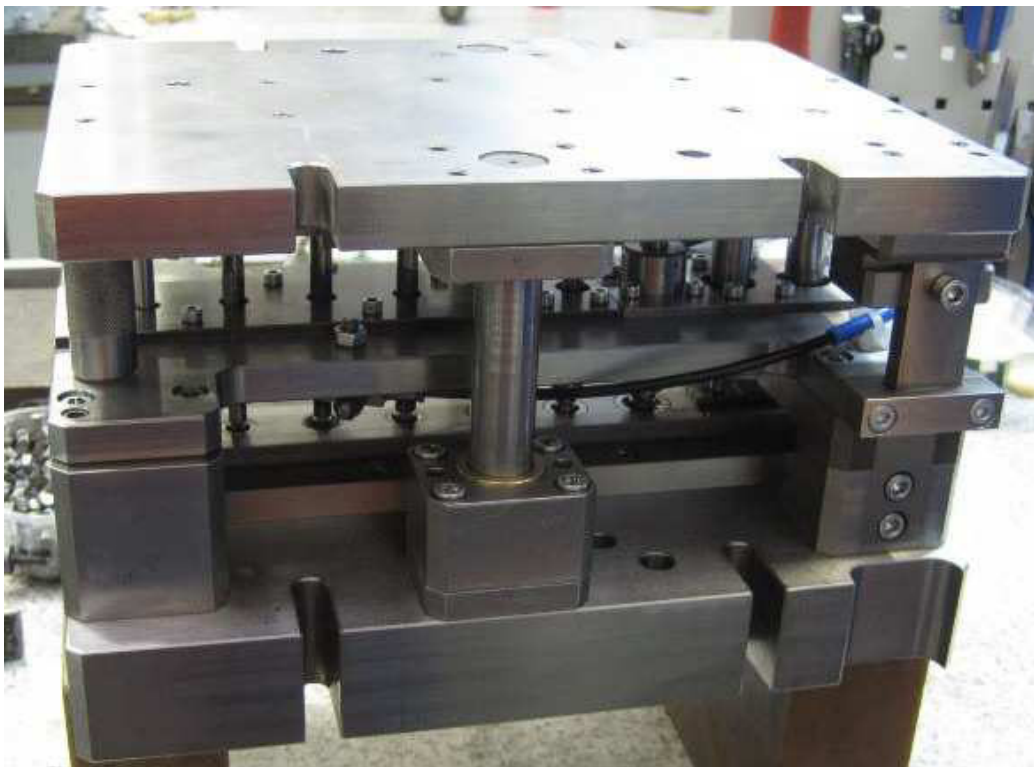
Tento způsob se dá využít i při údržbě nástroje. Při možnosti vlastnění dvou nástrojů na stejný typ výtažku je možno jednotlivé nástroje rychle vyměnit a údržbu provést při minimální prostoji stroje.



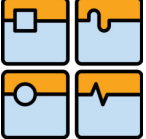
Pokud by bylo potřeba vypočítat přesnou rentabilitu nákupu dvou a více nástrojů oproti výměně jednotlivých tažníků a tažnic, bylo by potřeba zanést do výpočtu několik neznámých:

- Cena jednotlivých tažnic a tažníků
- Cena těla nástroje
- Životnost nástrojů celková
- Životnost nástrojů údržbová
- Nutný prostoj pro výměnu nástrojů
- Nutný prostoj pro přestavbu nástrojů
- Atd.

Tento výpočet a zhodnocení není předmětem zadání a proto je zde pouze uveden jako další možnost posouzení nástroje. V závěru se nachází ekonomické zhodnocení při posouzení nákupu jednoho nástroje vůči nákupu dvou nástrojů (kompaktní provedení).



*Obr. 12: Foto vyrobeného nástroje.*

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 6 VOLBA STROJE

Správná volba tvářecího stroje musí vycházet především z vypočítaných hodnot nástroje, tj. celková tvářecí síla, která musí být v souladu s danou jmenovitou silou stroje (tento údaj je dán výrobcem jako technický parametr).

Stroj, který je volen, by měl mít 9 pracovních poloh, tažná síla min 30 kN, rozteč cca 30 mm, dosedací rychlost beranu 2 m/min., takt 60 ks/min, hmotnostně a rozměrově vhodný do klasické výrobní haly.

Pracovní zdvih je také jedním z důležitých parametrů strojů. Stroj musí mít pracovních zdvih dostatečně veliký na to, aby došlo k bezpečnému vytažení součástky a zároveň nedocházelo zase k časovým ztrátám při příliš vysokém zdvihu. Nejčastěji se volí jako 2,5 až 3 násobek výšky výtažku.

$$H_V = 3 \cdot v_c$$

$$H_V = 3 \cdot 9,8$$

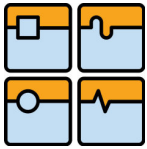
$$H_V = 29,4 \text{ mm}$$

Zdvih stroje je vždy celé číslo zaokrouhleno na desítky, proto volím  $H = 30 \text{ mm}$ .

Klasický konvenční univerzální tvářecí stroj má cca 13 pracovních pozic a pracovní výška se pohybuje kolem 60-140 mm. Hmotnost a rozměry takových strojů jsou předurčeny pro tažení větších výtažku na více operací při zachování dostatečné tuhosti celého technologického celku. Výrobou těchto strojů se zabývají například tyto světoznámé firmy: Pharos Platarg (Británie), Waterbury farrel (USA), Asahi Seiki (Japonsko), atd.

Pro porovnání jsou využity údaje zjištěné u tažného lisu PLATARG 312. Tento univerzální tažný transferový lis je řešen jako vačkový s bočním pohonem transferu pro přesun jednotlivých tahů. Každá tažná operace má svůj vlastní tažný beran, který je ovládaný svou vačkou.





Obr. 13: Univerzální tažný lis PLATARG 312.

#### Technické parametry PLATARG 312:

Počet pracovních pozic	13
Tvářecí síla	3 t
Zdvih	60 mm
Takt	70-210 ks/min
Rozměry (d x š x v)	2337x1016x1930 mm
Hmotnost	3140 kg

Zároveň se zde setkáváme také s aspektem vysokých vstupních investičních nákladů na nákup (Cena se pohybuje řádově v několika milionech. Tento údaj nelze přesně zjistit z důvodu, že ceny nejsou dostupné bez objednávky. Při určení alespoň určitého měřítko jsem se rozhodl využít internetu, kde bylo zjištěno, že cena např. modelu PLATARG 312 z roku 1960 je přibližně 1 100 000 Kč.).

Při použití univerzálního stroje se musíme i zabývat otázkou výměny nástroje za jiný nástroj, jelikož toto je i v požadavcích dle zadání. Tyto stroje jsou většinou konstruovány tak, že mají pro každý tah svoji pracovní vačku. Pokud by docházelo k výměně nástroje za jiný, tak čas potřebných pro přenastavení je zde příliš vysoký, jelikož se musí všechny tahy vyměnit a nastavit na správnou výšku.

Při použití nakupovaného univerzálního stroje máme zde více poloh, které nejsou využity, příliš velký zdvih, vysoké požadavky na přenastavení a další nevýhody včetně ceny.

Z těchto důvodů nebude použit univerzální tvářecí stroj, ale jednoúčelový, který bude vyroben přesně pro danou aplikaci.

## 7 NÁVRH JEDNOÚČELOVÉHO STROJE JAKO CELKU

Pro objemové tváření podobných výtažků se v současnosti nejčastěji používají tvářecí stroje mechanické. Z mechanických strojů jsou to především stroje, které využívají k přenosu energie klikový nebo vačkový mechanismus. Tvářecí stroje na jiný pohon se zde příliš nevyužívají z těchto důvodů:

Hydraulický tažný stroj – velká tvářecí síla, ale nelze zde dosahovat takové rychlosti, abychom splnily daný takt stroje. Rozměrově se tyto stroje pohybují také nad námi dané limity.

Pneumatické tažné stroje – využívají se velice zřídka. Nasetkal jsem se s jejich použitím. Nelze vyvodit takové tvářecí síly při podobné rozměrové zástavbě jako například hydraulika.

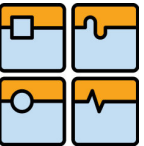
Tažné stroje se servomotory – Tento princip vytváření tvářecí síly je poměrně nový. Pro naši aplikaci nevhodný, jelikož deklarovaná životnost těchto pohonů je v řádech desítek milionů a to je při našem výrobním taktu zcela nedostačující.

Z těchto důvodů jsem se rozhodl dále vytvořit rozbor pro využití klikového nebo vačkového mechanismu, abych zvolil vhodný pohon vytvářeného jednoúčelového tvářecího stroje. Při těchto rozbořích budeme zjišťovat zástavbovou velikost a schopnost dosáhnout požadovaných parametrů, kterými jsou dosedací rychlost 2m/min při splnění taktu stroje 60 m/min.

Stroj bude dále koncipován s jedním hlavním beranem, který bude mít požadovaný zdvih 30mm. Do pracovního prostoru se bude umisťovat zvolený nástroj jako kompaktní monoblok, který se zde uchytí pomocí šroubů a pojišťovacích prvků. Tímto bude zajištěna rychlá manipulace s nástrojem, která umožňuje zkrátit vedlejší nevýrobní časy na minimum.

Technologie postupného tažení výtažku nám také určuje, že je nutno počítat a vhodně navrhnout i přesouvání jednotlivých výtažků z jedné do druhé pozice. Toto nám bude umožňovat transfer. Tento transfer bude v pracovním režimu procházet skrz nástroj a musí být přesně svázán jeho pohyb s pohybem beranu, aby docházelo ke správnému přesouvání a zároveň nedošlo k žádné kolizi.

Těmito a dalšími problémy se budeme zabývat níže v návrhu jednotlivých celků.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 38
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 7.1 ROZBOR STROJE

Navrhovaný nový jednoúčelový stroj využívá k tažení sdružený postupový nástroj, který byl navržen. Tento nástroj je pevně spojen pomocí šroubů a dalších upínacích prvků ke stolu a zároveň k beranu stroje. Beran vykonává přímočarý svislý pohyb, kde budeme rozeznávat dolní (DÚ) a horní úvrať (HÚ), tohoto pohybu. Pro vytvoření přímočarého pohybu bude použit vhodný kinematický mechanismus. Tento kinematický mechanismus bude dále spojen s pohonem pomocí řemenového převodu, který bude roztáčet hřídel předepsanými otáčkami.

Do nástroje je vsunován vstupní polotovar, ve formě nerezového pásku, pomocí systému podávání. Tento systém podávání musí být částečně univerzální pro možnost jeho nastavení na jiný nástroj při jeho změně.

Při vystřížení základního polotovaru pro tažení je použit transferového systému, který tento polotovar dopraví do dalších tažných operací a bude je nadále přesouvat pro správné využití technologie.

Podávací a transferový systém musí být přesně synchronizován s pohybem beranu, aby nedocházelo k žádným kolizím nebo nepřesnostem v technologii. Abychom toho dostatečně zabezpečili, bude volen další mechanismus, který nám toto umožní.

Stroj je dále opatřen odběrovými místy pro: hotové výtažky, odstřížky, stříhaný odpad.

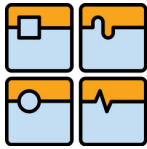
Důležitým prvkem stroje jsou bezpečnostní kryty. Tyto kryty jsou voleny tak, aby se zamezilo zraněním obsluhy nebo třetí osoby.

Je nutné zvolit vhodné ovládání stroje, které odpovídá dnešním standardům a umožňuje komfortní ovládání.

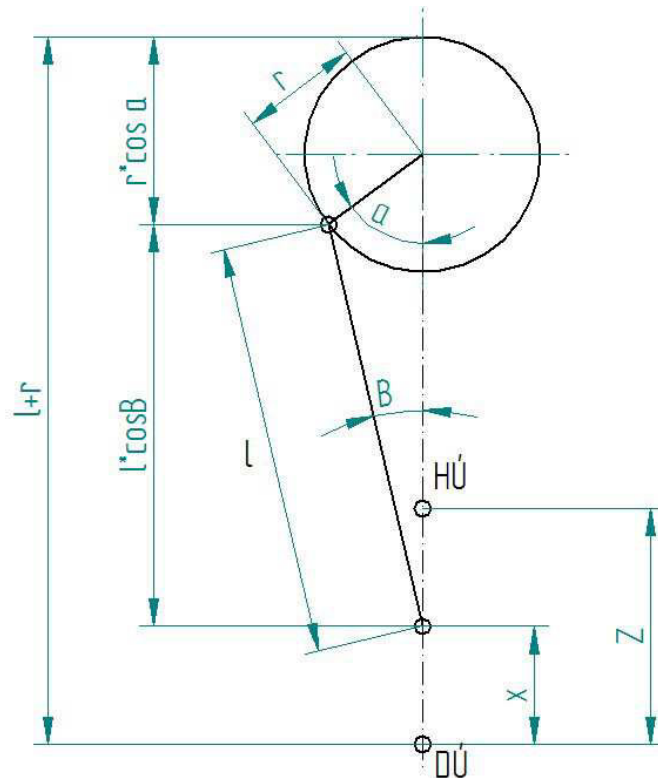
Stroj je ergonomicky navržen a vyroben tak, aby s ním šlo, co možná, nejjednodušeji manipulovat při dopravě na místo určení pomocí standartních manipulačních prostředků při dodržení všeobecných zásad bezpečnosti.

### 7.1.1 KLIKOVÝ MECHANISMUS – ROZBOR

Klikovým mechanismem rozumíme sestavu klikového hřídele, ojnice a beranu, který je vedený v rámu. Dochází zde ke změně rotačního pohybu na lineární – tvářecí pohyb. Kliková hřídel je zalomená hřídel, uložená v ložiskách, které jsou její hlavní osou otáčení. Ojnice je uchycena na hřídeli pomocí ojnicního čepu v místě, kde je zalomena a proto vůči její ose otáčení vykazuje určitou excentricitu. Dvojnásobek této excentricity zároveň udává daný zdvih celého mechanismu. Druhý konce ojnice je uchycen v beranu pomocí pístního čepu.



Při výpočtu klikového mechanismu se zavádí poměr  $\lambda$  (lambda, poměr délky ramene kliky = excentricity a délky ojnice). Nejčastěji se tento poměr pohybuje kolem 0,2 až 0,4.



Obr. 14: Kinematické schéma klikového mechanismu.

Beran má dvě úvratě, horní (HÚ) a dolní (DÚ), které udávají celkový zdvih. Jak již bylo zmíněno, délka ramene kliky udává polovinu zdvihu.

$r_{kl} = 15 \text{ mm}$ , volím  $\lambda = 0,3$

$$\lambda = \frac{r_{kl}}{l_{kl}}$$

$$l_{kl} = \frac{r_{kl}}{\lambda}$$

$$l_{kl} = \frac{15}{0,3}$$

$$l_{kl} = 50 \text{ mm}$$

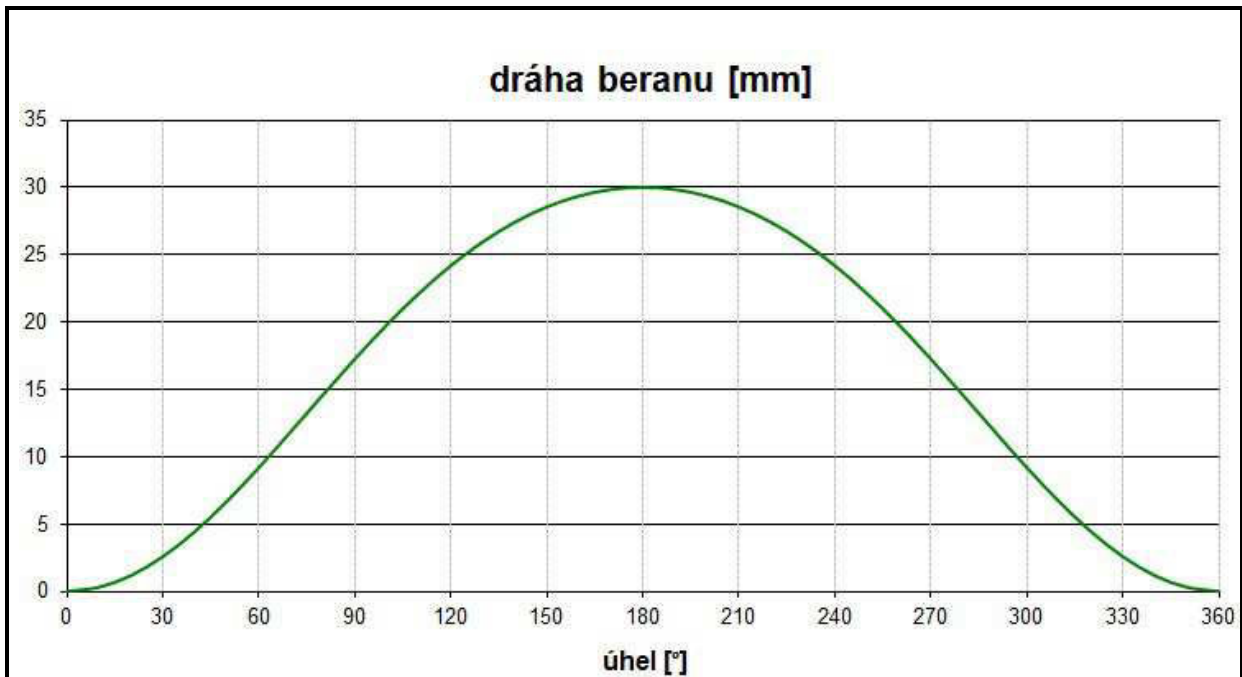
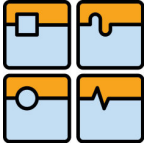
$$\omega_1 = \frac{2\pi}{60} \cdot n_1$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{60} \cdot 60$$

$$\omega_1 = 6,28 \text{ rad / s}$$

Ze vztahových vzorců, po jejich úpravě, dostaneme vzorce závislosti dráhy beranu na úhlu natočení kliky.

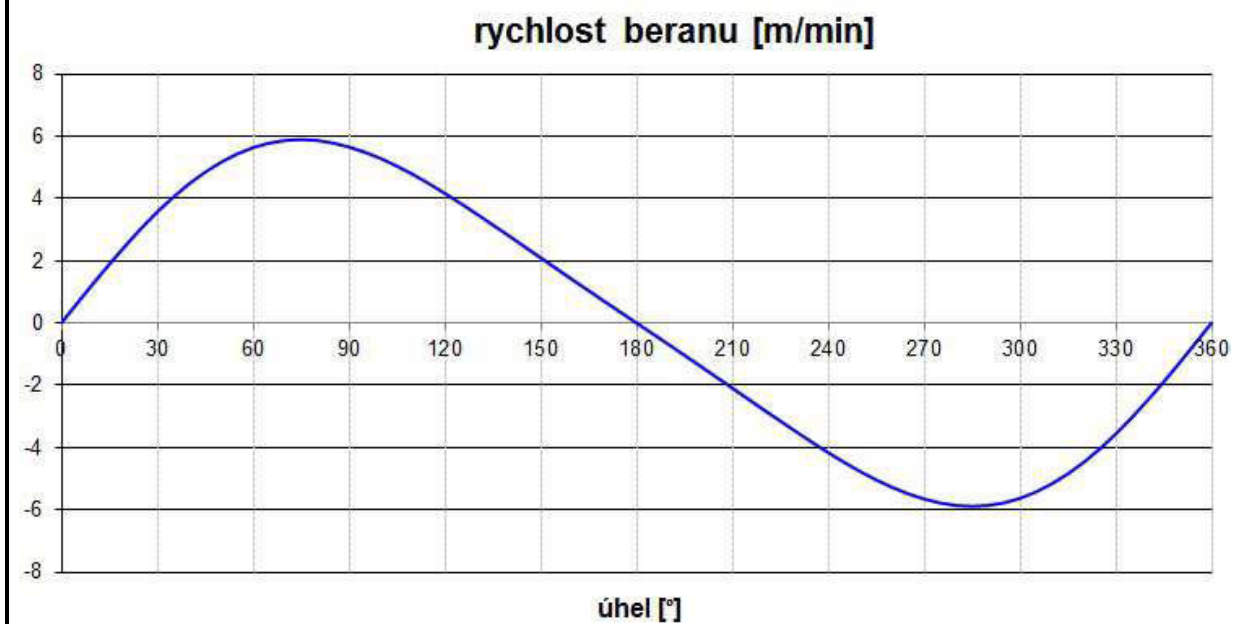
$$x_{kl}(\alpha) = r_{kl} \cdot \left(1 + \frac{\lambda}{4} - \cos \alpha - \frac{\lambda}{4} \cdot \cos(2\alpha)\right)$$



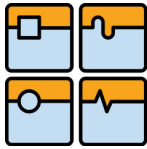
Obr. 15: Závislost dráhy beranu na úhlu natočení kliky.

Při derivaci dráhy beranu dostaneme závislost rychlosti na úhlu natočení kliky.

$$v_{kl}(\alpha) = r_{kl} \cdot \omega_1 \cdot \left( \sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin(2\alpha) \right)$$

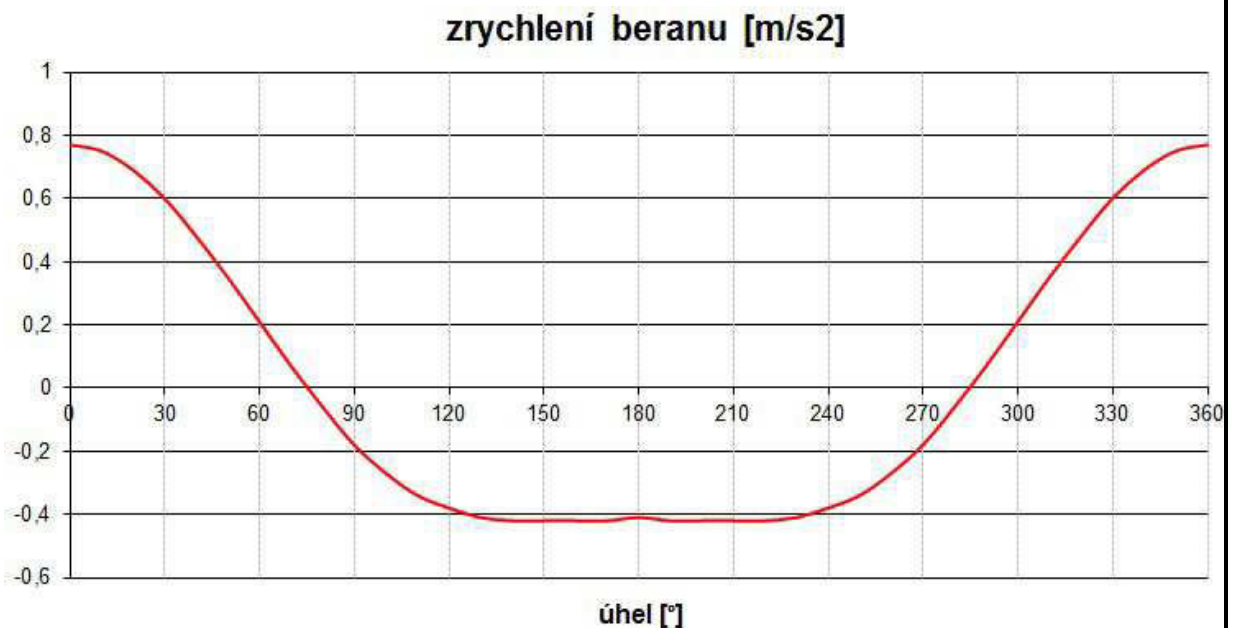


Obr. 16: Závislost rychlosti beranu na úhlu natočení kliky.



Při další derivaci dle matematických zákonů dostáváme závislost zrychlení na natočení kliky

$$a_{kl}(\alpha) = r_{kl} \cdot \omega_1^2 \cdot (\cos \alpha + \lambda \cdot \cos(2\alpha))$$



Obr. 17: Závislost zrychlení beranu na úhlu natočení kliky.

Z rozboru daného klikového mechanismu lze vidět, že požadovaná rychlost tváření 2 m/min (dle zadání) nelze dosáhnout. Z rozboru technologie tváření je zřejmé, že tuto rychlost je potřeba dosáhnout těsně před stykem nástroje s polotovarem a dále ji udržovat dokud nedojde zase k vysunutí nástroje zpět mimo materiál. To znamená, že minimálně posledních cca 11 mm musí tuto rychlost splňovat. Z grafu č. 1, který nám zobrazuje dráhu beranu lze vyčíst, že tato hodnota připadá přibližně na 105° úhlu natočení kliky. Při tomto natočení kliky, dosahuje beran rychlosti přes 5 m/min.

Tento mechanismus nebude použit dále jako základ navrhovaného stroje.

### 7.1.2 VAČKOVÝ MECHANISMUS – ROZBOR

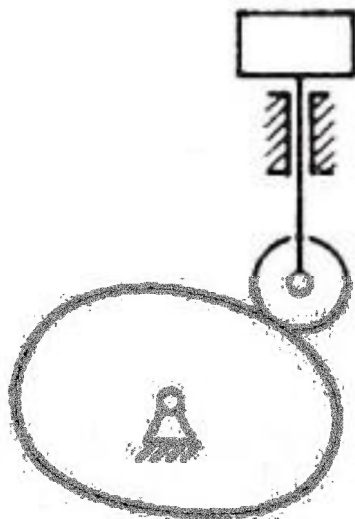
Vačkový mechanismus je mechanismus s jedním stupněm volnosti pro periodické otáčení, který převádí rotační pohyb vačky na přímočarý pohyb zdvihátka (v našem případě beranu). Převod vzniká pomocí dvou členů, křivkového členu-vačky, který dosedá na hnaný člen, kterým je beran. Výhodou těchto mechanismů je přesné dodržení tvaru dráhy, který je dán tvarem a rozměry vačky. Je možné vytvořit profil vačky tak, aby v jistém intervalu byl konstantní zdvih nebo docházelo ke

zrychlování (zpomalování). Nevýhodou těchto mechanismů je obtížná vyrobitelnost a náročnost na přesnost výroby.

Rozdělujeme dva druhy vaček:

- Rovinnou
- prostorovou

Dle zadání vyhovuje vačka rovinného typu. Díky možnosti nepravidelných tvarů je možno vytvořit vačku tak, aby měla požadovaný zdvih 30 mm a zároveň docílila v závěrečné silové fázi tvářecí dosedací rychlosti 2 m/min.



Obr. 18: Rovinný vačkový mechanismus se zdvihátkem.

Výpočet vačky se dá provést:

- Graficky - Vačka rotující kolem své osy úhlovou rychlostí pohybuje beranem. Při zastavení vačky v jednotlivých polohách se dostane cílová poloha beranu. Jestliže jednotlivé tyto polohy jsou přeneseny do grafu v závislosti na úhlu natočení vačky, dostane se zdvihová závislost. Takto lze i zpětně vytvořit z dané zdvihové závislosti vytvořit tvar vačky.
- Početně – výpočty tohoto druhu jsou velice složité a v dnešní době se provádí pomocí použití výpočetní techniky.

Grafická metoda řešení je velice zdlouhavá a nepřesná pro další použití, z důvodu možnosti vytvoření grafické chyby a tím i jiného, nepřesného tvaru vačky. Početní metoda je v tomto případě vhodná, a tudíž bude použita pro řešení našeho mechanismu. Výpočtem těchto mechanismů se dnes zabývá několik firem, institutů. Při návrhu naší vačky je spolupracováno s VÚTS Liberec.



Při vytváření zadání pro výpočet vačky je vačka rozdělena na 4 pracovní úseky:

**Úsek 1:** přibližovací – jedná se o úsek, kdy se beran přibližuje k tvářenému materiálu

**Úsek 2:** silový – úsek, kdy dochází k samotnému tažení (dosáhne dolní úvrati).

**Úsek 3:** vratný – úsek, kdy nástroj se vysouvá z tvářeného materiálu a vrací se zpět do horní úvrati.

**Úsek 4:** klidový – úsek, kdy zůstává beran v klidu.

Tyto úseky jsou voleny dle návrhu a uvážení s předpokladem, že pokud by bylo potřeba, dá se jejich začátek či konec posunout.

Jak již bylo v kapitole nástroje zmíněno, bude nástroj koncipován s rozdílnou střížnou a tažnou rovinou. Celková tažná síla je větší než střížná a proto bude pomocí ní celý mechanismus dimenzován. Celková vypočítána maximální tažná síla je 25 817 N, je k ní ještě připočítat sílu vyhazovačů.

$$F_{t \max} = F_{vyh} \cdot F_t$$

$$F_{t \max} = 6454 \cdot 25817$$

$$F_{t \max} = 32271 \text{ N}$$

Zaokrouhlíme hodnotu na celé číslo v tisících:

$$F_{t \max} = 32000 \text{ N}$$

Z výsledku lze vidět, že je potřeba vykonat poměrně velkou sílu. Aby bylo zachováno možná co nejmenších rozměrů, rozloží se tato síla na dvě vačky – pracovní, které budou uloženy symetricky k ose nástroje. Vratný pohyb beranu zpět do horní úvrati bude vykonán pomocí třetí vačky, tzv. reverzní. Tato vačka bude zvedat pouze vlastní hmotnost beranu a rozevírat nástroj. Jelikož není známa zatím hmotnost nástroje ani beranu, tak tyto dvě hmotnosti jsou odhadnuty pro výpočet.

Zadání pro výrobu vačky zní takto:

–vyvození potřebné tvářecí síly dvěma symetricky, k ose nástroje, uloženými shodnými vačkami přes přímočarý zdvihák (beran) v ose vaček. Pohyb zpět pomocí reverzní vačkou umístěnou mezi hlavními vačkami.

otáčky vačkové hřídele 60/min

celková tvářecí síla 32kN – jedna vačka 16kN

celkový zdvih vačky 30mm.

Úsek 1: přibližovací 0° až 60° zdvih 19mm.

Úsek 2: silový 60° až 190° zdvih 11 mm.

Úsek 3: vratný 190° až 260° zpět -30mm.

Úsek 4: klidový 260° až 360° zdvih 0 mm

Maximální průměr vačky 200 mm max. Materiál vačky 16 420 cementována, kalena.

Průměr kladky cca 60 mm, materiál nástrojová ocel kalena, popouštěna na 61až 63 HRC.

Maximální doporučená rychlost beranu (zdviháku) v silovém úseku je 2 m/min.

Reverzní vačka:

Zpětná síla 6 až 7 kN (síla vyvozená hmotností beranu a horní části nástroje)



Dle výpočtu od VÚTS Liberec je vytvořen tvar hlavních a reverzní vačky, která odpovídá zadání. Dosedací rychlost v silovém úseku odpovídá hodnotě 1,92 m/min. Tloušťka hlavních vaček bude 40 mm, reverzní 25 mm.

Ve výpočtu jsou i zahrnuty výsledky požadovaného krouticího momentu, který je nutno vyvodit pro získání tvářecí síly.

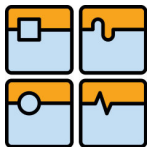
Natočení [°]	Posuv [mm]	rychlost [m/s]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Síla [N]	Mk [Nm]	Výkon [W]
0.00	0.000	0.000	0.000	-7000.0	0.0	0
10.00	0.603	0.059	3.429	-7000.0	-65.9	-414
20.00	3.595	0.154	2.870	-7000.0	-171.1	-1075
30.00	8.672	0.200	0.286	-7000.0	-222.6	-1399
40.00	13.965	0.169	-2.362	-7000.0	-188.2	-1182
50.00	17.559	0.086	-3.111	-7000.0	-96.1	-604
60.00	19.000	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
70.00	19.883	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
80.00	20.767	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
90.00	21.650	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
100.00	22.533	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
110.00	23.417	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
120.00	24.300	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
130.00	25.183	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
140.00	26.067	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
150.00	26.950	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
170.00	28.717	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
180.00	29.600	0.032	0.000	-7000.0	-35.4	-223
190.00	30.000	0.000	0.000	-7000.0	0.0	0
200.00	29.302	-0.069	-4.164	-7000.0	77.3	486
210.00	25.659	-0.193	-4.164	-7000.0	214.8	1349
220.00	18.964	-0.278	-1.666	-7000.0	309.3	1943
230.00	11.036	-0.278	1.666	-7000.0	309.3	1943
240.00	4.341	-0.193	4.164	-7000.0	214.8	1349
250.00	0.698	-0.069	4.164	-7000.0	77.3	486

*Tab. 4: Tabulka hodnot pro reverzní vačku.*

Z těchto hodnot lze vidět, že největšího potřebného krouticího momentu (a tím pádem výkonu) je nutno dosáhnout při pohybu reverzní vačky, která „vytahuje“ skříň (beran) zpět do horní úvratí. Těchto údajů je dále využito při navrhování pohonu.

$$Mk_{\max} = 309,3 \text{ Nm}$$

$$P_{\max} = 1943 \text{ W}$$



Natočení [°]	Posuv [mm]	rychlost [m/s]	zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Síla [N]	Mk [Nm]	Výkon [W]
60.00	19.000	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
65.00	19.442	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
70.00	19.883	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
75.00	20.325	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
80.00	20.767	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
85.00	21.208	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
90.00	21.650	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
95.00	22.092	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
100.00	22.533	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
105.00	22.975	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
110.00	23.417	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
115.00	23.858	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
120.00	24.300	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
125.00	24.742	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
130.00	25.183	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
135.00	25.625	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
140.00	26.067	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
145.00	26.508	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
150.00	26.950	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
155.00	27.392	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
160.00	27.833	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
165.00	28.275	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
170.00	28.717	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
175.00	29.158	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
180.00	29.600	0.032	0.000	-32000.0	-162.0	-1018
185.00	29.938	0.013	-1.717	-32000.0	-66.7	-419
190.00	30.000	0.000	0.000	-32000.0	0.0	0

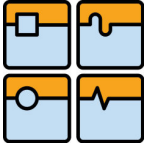
Tab. 5: Tabulka hodnot pro hlavní vačky.

## 7.2 DIAGRAM PRACOVNÍHO CYKLU

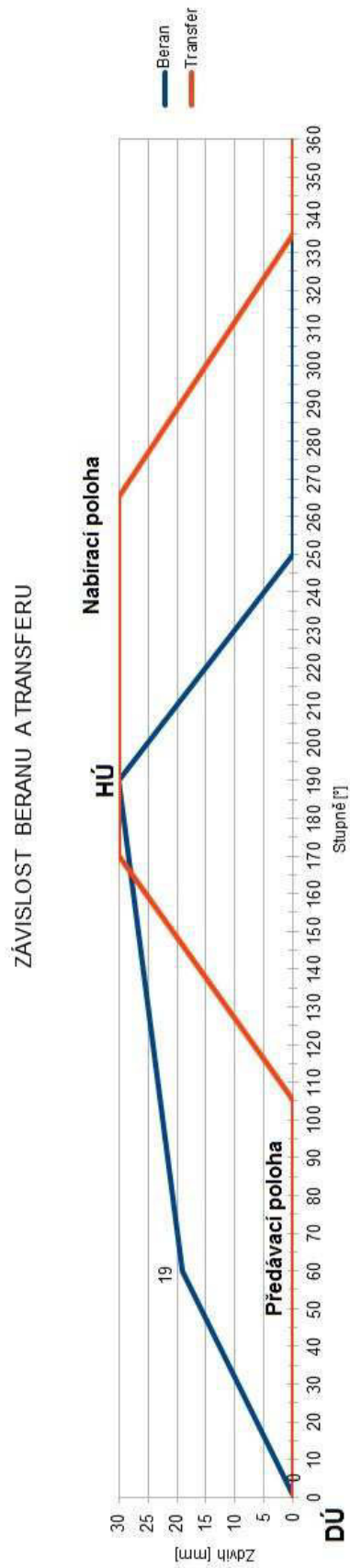
Je nutno již v této fázi přesně zvolit celý pracovní cyklus stroje, aby bylo možno navrhnout a správně zpracovat další podskupiny a části stroje. Z použitého vačkového mechanismu jde vidět, že je pro stroj velice důležitý úsek č. 2 - silový. V tomto úseku dochází k samotné operaci tažení jednotlivých rozmístěných výtažků.

Tento úsek začíná 11 mm před dolní úvratí (tj. po 19 mm.) a končí v dolní úvratí. Je nutno s tímto pohybem dobře svázat všechny ostatní.

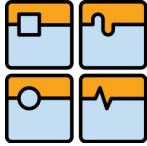
Transferový systém je důležitý pro přesné předávání výtažku z jednotlivých poloh. Jeho svázání by mělo být co nejpřesnější s možností jemného doladění při montáži. Aby bylo možno tento systém navrhnout, musí se nejdříve zařadit do pracovního cyklu. Transferový systém bude pracovat ve dvou polohách – předávací a nabírací. Předávací poloha slouží k přesouvání jednotlivých výtažků do dalších operací a nabírací slouží zase k navrácení do původní pozice pro další cyklus.



DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 19: Závislost beranu a transferu na natočení vačky

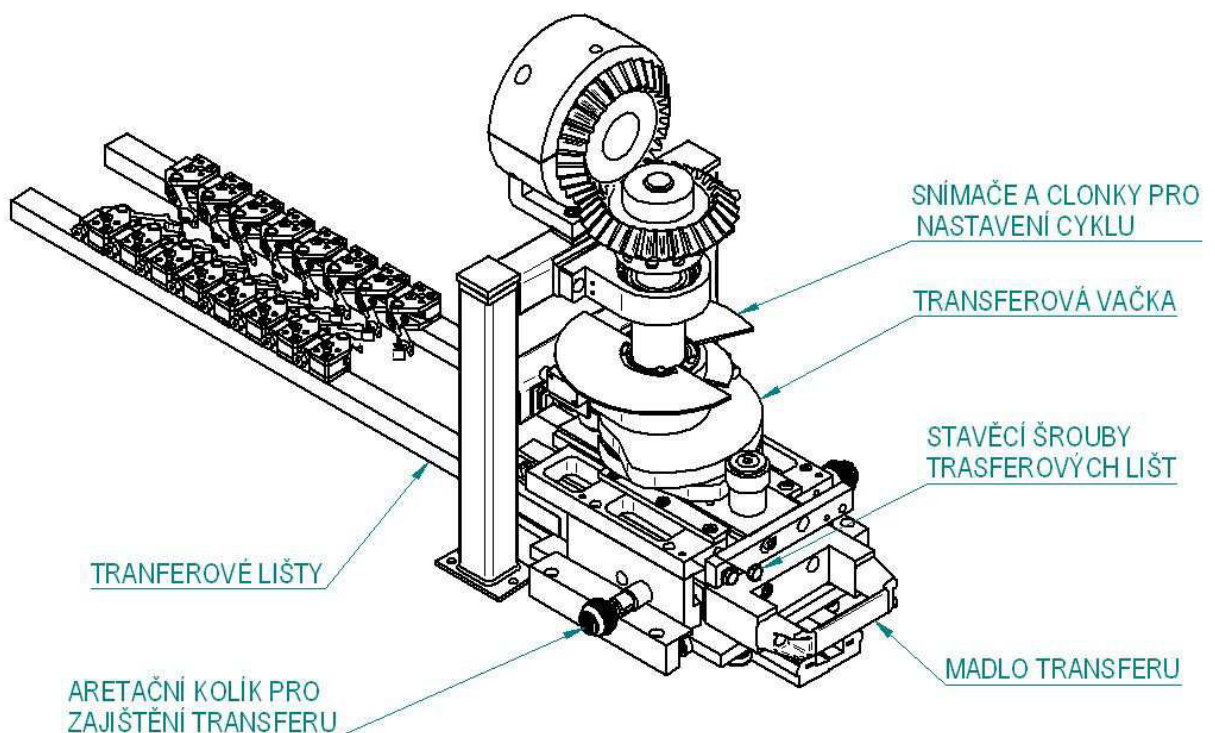


Z uvedeného diagramu lze vidět, že provedené svázání těchto dvou pohybů je takovéto:

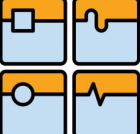
Když beran bude v horní úvratí, pak transferový systém se bude nacházet v předávací poloze. Jakmile se dá beran do pohybu a nachází se již v silovém úseku a cca 8 mm před dolní úvratí, znamená to, že nástroj je v záběru a dochází k tažení. V tento okamžik se začíná posouvat transferový systém směrem o pozici zpět do nabírací polohy, které dosáhne těsně předtím, než beran je v horní úvratí. Jakmile proběhne tažení a beran se vrátí do horní úvratě, pak se transferový systém předá zpět do předávací pozice, kde přesune hotové výtažky a čeká na další cyklus.

Je nutno si uvědomit, že systém předávání je zvolený jako zpětný. To znamená, že při začátku je transferový systém jakoby před tažníkem, z kterého přemísťuje hotové kusy do dalšího (směr ve smyslu po sobě jdoucích tažných operací.)

Dále je nutné ještě zakomponovat další části. Tyto ostatní části budou ovládány elektrickým signálem ze snímačů, které budou ovládány tak, aby plnily svoji správnou funkci. Jedná se o pneumatický podavač, ofuk a zvláště o funkci stroje „zastav“. Funkce „zastav“ bude sloužit jako referenční bod pro určení, kdy budu v horní úvratí. Tento bod nemůže být přímo při  $0^\circ(360^\circ)$ , ale přibližně o pár desítek stupňů dříve, jelikož celý systém nedokáže rychle reagovat a na místě zastavit.



Obr. 20: Uchytení transferových lišt a zobrazení clonek a snímačů na transferní hřídeli.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 48
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Pro nastavení těchto snímačů a jejich regulace na přesný takt bude zvolen „clonový“ systém. To znamená, že využijeme rotačního pohybu vačkové hřídele a ve vhodném místě zde umístíme clonky, které budou vystřiženy tak, aby v určitou dobu dávaly signály indukčním snímačům, který bude dále tyto signály zpracovávat a ovládat jednotlivé komponenty (Podavač, odfuk, „zastav“).

Jednotlivé clonky budou natáčecí kolem osy hřídele tak, aby šel nastavit lépe začátek těchto komponenty.

Podavač (snímač)

- Dopředu 240° podat materiál
- Dozadu 360° vrátit se do výchozí polohy

Odfuk (snímač) 260°

Zastav (snímač) 340°



## 8 NÁVRH URČITÝCH KONSTRUKČNÍCH SKUPIN JÚS

### 8.1 VOLBA MOTORU

Přenos krouticího momentu z vačkové hřídele na motor bude uskutečněn pomocí řemenového převodu. Toto je nutné si zvolit ještě před tím, než budeme volit motor, jelikož každý přenosový mechanismus má svoji určitou účinnost.

Výhodou řemenového převodu je zároveň také snadná montáž a údržba.

Udávaná účinnost řemenového převodu je 0,8

$$\eta_{rp} = 0,8$$

Požadovaný výkon motoru se dále vypočítá:

$$P_2 = \frac{P_{\max}}{0,8} \quad P_2 = \frac{1943}{0,8} \quad P_2 = 2,428W$$

Jelikož se jedná o prototypový vývoj stroje s malými praktickými zkušenostmi s danou technologií tažení, volíme zde opravný (bezpečnostní) koeficient:

$$k_o = 1,2$$

Při započítání tohoto koeficientu dostáváme hodnotu potřebného výkonu, podle kterého se bude volit motor.

$$P_1 = k_o \cdot P_2 \quad P_1 = 1,2 \cdot 2,428 \quad P_1 = 2914 W$$

Motor musí být osazen převodovkou, která umožní snížit otáčky výstupní hřídele na otáčky, co nejvíce podobné vačkové hřídeli (tj. 60ot/min) a zároveň dokáže přenést požadovaný krouticí moment z motoru na řemenový převod.

Volím **plochý - čelní převodový motor F67 DRE112M4BE5HR/TF**

Otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]	1455
Otáčky výstupní hřídele [ $\text{min}^{-1}$ ]	66
Celkový převodový poměr	22,05
Max. krouticí moment převodovky [Nm]	820
Výstupní krouticí moment [Nm]	435
Provozní faktor SEW-FB	1,9
Montážní poloha	M3
Výkon motoru [kW]	3
Frekvence	50Hz
Maximální radiální zatížení hřídele [N]	10 300

Tab. 6: Základní parametry zvoleného převodového motoru.

Převodový motor s brzdou s možností ručního odbrzdění.

**Kontrola výstupního krouticího momentu:**

$$\omega_2 = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_2 \qquad \omega_2 = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot 66 \qquad \omega_2 = 6,9 \text{ rad} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$Mk = \frac{P}{\omega_2} \qquad Mk = \frac{2914}{6,9} \qquad Mk = 422 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Výstupní krouticí moment je menší než maximální, který je možno převodovka přenést – **vyhovuje**.

Kontrola radiálního zatížení výstupní hřídele je provedena při volbě vhodných řemenů, jelikož je vyvozena napínací silou samotných řemenů.

## 8.2 VÝPOČET ŘEMENICE A ŘEMENŮ

Z výsledku vačkového mechanismu je zjištěn maximální krouticí moment, který je potřebný pro dosažení správných technologických výsledků.

Přenos pracovního krouticího momentu je přenášen pomocí řemenového převodu, který má výhodu málo hlučného chodu, schopnost tlumit vibrace a hlavně snadná údržba. Krouticí moment se v tomto případě přenáší pomocí tření, které vzniká na bocích jednotlivých klínových řemenů. Aby nedocházelo k prokluzování řemenů a tudíž kolísání převodového poměru je nutné dodržet správné předpětí řemenů. [15]

### 8.2.1 VYPOČET ŘEMENICE

Jelikož otáčky výstupní hřídele z převodového motoru nejsou totožné s otáčkami vačkové hřídele, je nutné tento rozdíl kompenzovat. Toto bude vyřešeno pomocí převodového poměr mezi hnanou a hnací řemenicí.

**Hnací řemenice (vstup od ze strany motoru):**

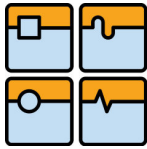
$$n_2 = 66 \text{ min}^{-1} \qquad \omega_2 = 6,9 \text{ rad} \cdot \text{sec}^{-1}$$

Volím normalizovaný průměr řemenice:

$$D_2 = 250 \text{ mm}$$

**Hnaná řemenice (vstup ze strany vačkové hřídele):**

$$n_1 = 60 \text{ min}^{-1} \qquad \omega_1 = 6,28 \text{ rad} \cdot \text{sec}^{-1}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$\text{Převodový poměr: } i = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad i = 1,1$$

$$D_1 = D_2 \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad D_1 = 250 \cdot \frac{66}{60} \quad D_1 = 275 \text{ mm}$$

Tato řemenice je vyrobena. Na vačkovou hřídel bude uchycena pomocí těsného pera pro přenos krouticího momentu.

**Kontrola tlaku v drážce pera a jeho volba:**

$$\text{Volím průměr hřídele } d_r = 55 \text{ mm} \quad p_D = 80 \text{ MPa}$$

Pro tento průměr je pero: PERO 16x10 ČSN 02 2562

$$\text{Volím délku pera } l_p = 60 \text{ mm}$$

$$p = \frac{F}{S} \leq p_D \quad p = \frac{2 \cdot Mk}{d_r \cdot t_1 \cdot l_p} \quad p = \frac{2 \cdot 422}{0,055 \cdot 0,0038 \cdot 0,06} \quad p = 67,3 \text{ MPa}$$

$$p \leq p_D \text{ vyhovuje}$$

**Napětí v krutu hřídele:**

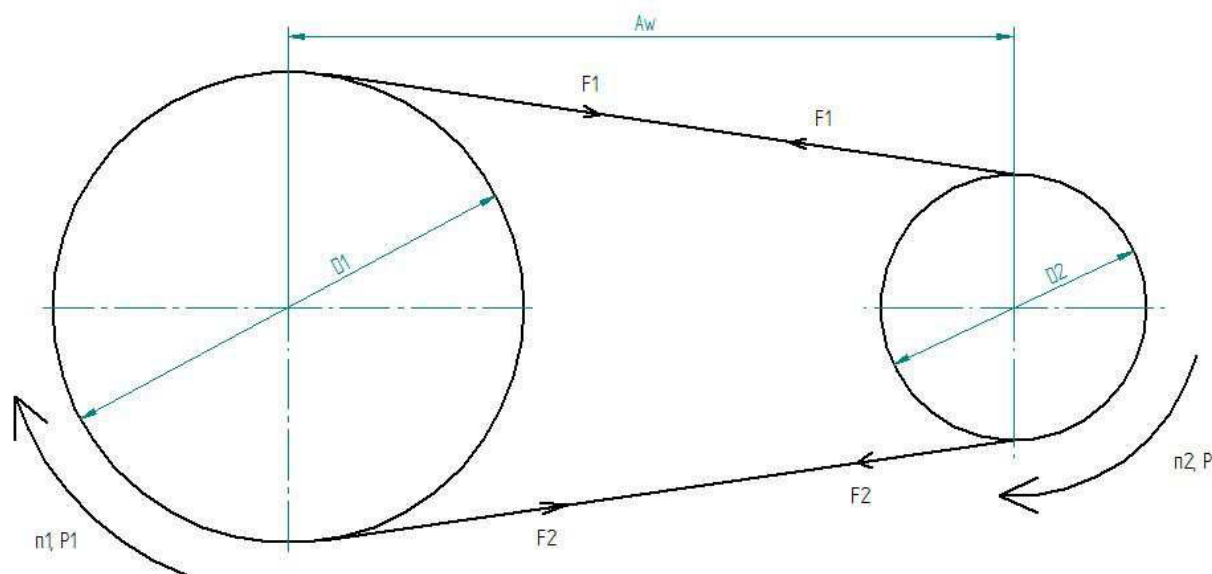
$$\tau_{KD} = 90 \text{ MPa}$$

$$\tau_K = \frac{Mk}{W_k} \leq \tau_{KD} \quad \tau_K = \frac{Mk}{\frac{\pi \cdot d_r^3}{16}} \quad \tau_K = \frac{422}{\frac{\pi \cdot 55^3}{16}} \quad \tau_K = 12,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_K \leq \tau_{KD} \text{ vyhovuje}$$



## 8.2.2 VÝPOČET ŘEMENŮ



Obr. 21: Náčrt řemenového převodu.

Předpětí je důležité pro bezporuchovou a správnou funkci řemenového převodu, tímto se i dosáhne co nejdelší životnosti. Správné předpětí zároveň zajišťuje vznik tření, které daný výkon přenáší za provozu mezi řemenem a řemenicemi. [15]

Je použit úzký klínový řemen typu SPB.

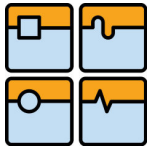
### Obvodová rychlost řemene

$$v_o = \frac{D_2 \cdot n_2}{19100} \quad v_o = \frac{250 \cdot 66}{19100} \quad v_o = \frac{250 \cdot 66}{19100} = 0,864 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$$

Jelikož je obvodová rychlost nízká ( $v_o \leq 12 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ ) je možno zanedbat odstředivou sílu, která díky ní vzniká.

### Předběžná osová vzdálenost

Volím  $A_{vp} = 850 \text{ mm}$

**Výpočtová délka řemene**

$$L_w = 2 \cdot A_{wp} + \frac{\pi}{2} \cdot (D_1 + D_2) + \frac{(D_1 - D_2)}{4 \cdot A_{wp}}$$

$$L_w = 2 \cdot 850 + \frac{\pi}{2} \cdot (250 + 275) + \frac{(275 - 250)}{4 \cdot 850}$$

$$L_w = 2524,4 \text{ mm}$$

Volím úzký klínový řemen **SPB 2530 DIN 7753**.

$$L_p = 2530 \text{ mm}$$

$$L_i = 2470 \text{ mm}$$

**Výpočet osové vzdálenosti**

$$p = 0,25 \cdot L_p - 0,393 \cdot (D_1 + D_2) \quad p = 0,25 \cdot L_p - 0,393 \cdot (275 + 250)$$

$$p = 426,2 \text{ mm}$$

$$q = 0,125 \cdot (D_1 - D_2)^2$$

$$q = 0,125 \cdot (275 - 250)^2$$

$$q = 78,1 \text{ mm}$$

$$A_w = p + \sqrt{p^2 - q}$$

$$A_w = 426,2 + \sqrt{426,2^2 - 78,1}$$

$$A_w = 852,3 \text{ mm}$$

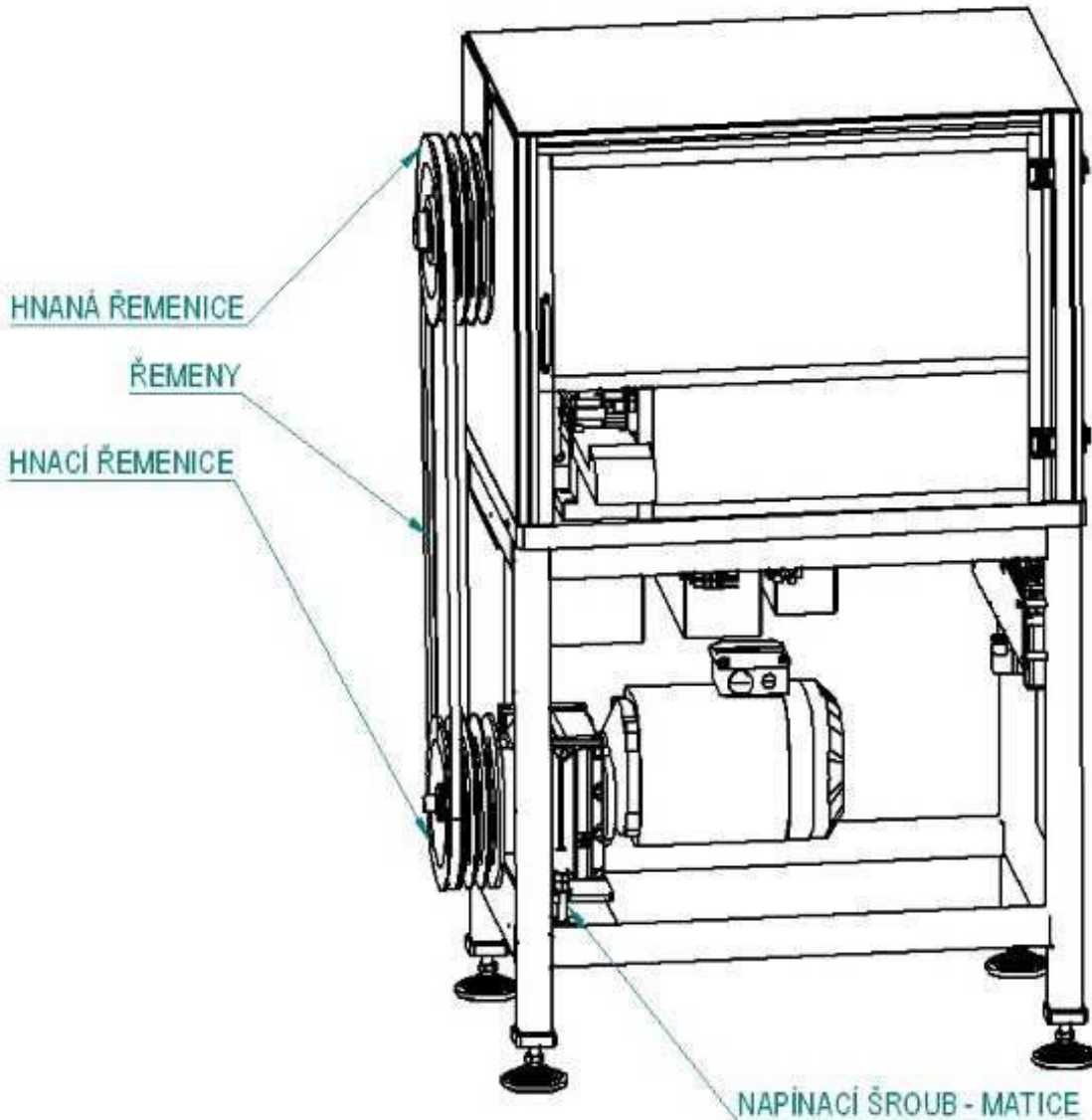
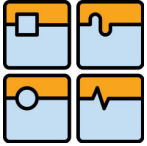
**Výpočet osové vzdálenosti pro nasazení řemenů**

$$A_{\min} = A_w - 0,015 \cdot L_p$$

$$A_{\min} = 852,3 - 0,015 \cdot 2530$$

$$A_{\min} = 814,35 \text{ mm}$$

Předpětí a napínání řemenů je řešeno pomocí napínacího šroubu a matice. Pokud matice bude utahována, dochází k zvětšování osové vzdálenosti řemenic a tudíž k většímu napnutí řemenů.

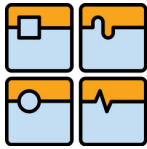


Obr. 22: Zobrazení uchycení řemenic a jejich napínání.

Pokud není řemen dostatečně napnut, nepřenáší celý výkon a dochází k prokluzu. Tento prokluz má nežádoucí účinky na celý systém, dochází k vibracím, nadměrnému opotřebení řemenů. Naopak pokud je řemen napnutí příliš, dochází k nadměrnému namáhání ložisek a hřídelí.

#### Výpočet úhlu opásání hnací řemenice

$$\beta = 180 - 60 \cdot \frac{D_1 - D_2}{A_w} \quad \beta = 180 - 60 \cdot \frac{275 - 250}{852,3} \quad \beta = 178,2^\circ$$

**Výpočet počtu potřebných řemenů**

$c_1 = 1$  součinitel úhlu opásání [13]  
 $c_2 = 1,3$  součinitel provozního zatížení [13]  
 $c_3 = 0,95$  součinitel délky klínového řemene [13]  
 $P_r = 1160W$  hodnota výkonu na jeden řemen [13]

$$z_p = \frac{P \cdot c_2}{P_r \cdot c_1 \cdot c_3} \quad z_p = \frac{3000 \cdot 1,3}{1160 \cdot 1 \cdot 0,95} \quad z_p = 3,54 ks$$

**Volím počet řemenů**  $z = 4 ks$

**Ohybová frekvence**

$$f = \frac{2000 \cdot v_o}{L_p} \quad f = \frac{2000 \cdot 0,864}{2530} \quad f = 0,683 Hz$$

**Rozdíl sil v napjaté a ochablé části řemene**

$$\Delta F = F_1 - F_2 = \frac{P_r \cdot c_1 \cdot c_3}{v_o} \quad \Delta F = \frac{1160 \cdot 1 \cdot 1,3}{0,864} \quad \Delta F = 1745,3 N$$

**Výpočet síly v napjaté části řemene**

$$\phi = \pi - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{D_1 - D_2}{2 \cdot A_w}\right) \quad \phi = \pi - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{275 - 250}{2 \cdot 852,3}\right) \quad \phi = 3,112 rad = 178,4^\circ$$

$$f = 0,13$$
$$\alpha_r = 38^\circ$$

$$f_k = \frac{f}{\sin\left(\frac{\alpha_r}{2}\right)} \quad f_k = \frac{0,13}{\sin\left(\frac{38}{2}\right)} \quad f_k = 0,4$$

$$F_1 = \frac{\Delta F \cdot \exp(f_k \cdot \phi)}{\exp(f_k \cdot \phi) - 1} \quad F_1 = \frac{1745,3 \cdot \exp(0,4 \cdot 3,112)}{\exp(0,4 \cdot 3,112) - 1} \quad F_1 = 2451 N$$

**Výpočet síly v ochablé části řemene**

$$F_2 = F_1 - \Delta F$$

$$F_2 = 2451 - 1745,3$$

$$F_2 = 705,7 \text{ N}$$

**Počáteční předpětí řemene**

$$F_u = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

$$F_u = \frac{2451 + 705,7}{2}$$

$$F_u = 1578,35 \text{ N}$$

**Celkové předpětí řemenového převodu**

$$F_{uc} = z \cdot F_u$$

$$F_{uc} = 4 \cdot 1578,35$$

$$F_{uc} = 6313,4 \text{ N}$$

Tato síla musí být menší než dovolené radiální zatížení výstupní převodové hřídele motoru – **vyhovuje**.

**Součinitel bezpečností řemenového převodu**

$$k = \frac{z \cdot P_r \cdot c_1 \cdot c_3}{P \cdot c_2}$$

$$k = \frac{4 \cdot 1160 \cdot 1 \cdot 0,95}{3000 \cdot 1,3}$$

$$k = 1,13$$

**8.2.3 NEJČASTĚJŠÍ PORUCHY A JEJICH ŘEŠENÍ**

Zde jsou uvedené nejčastější poruchy klínových řemenů a jejich možné řešení [13]:

Problém a příčina	Řešení
<b>Ztvrdlé lesklé boky</b> 1. Nesprávné předpětí 2. Poškozené tažné vlákno neodbornou montáží	1. Vyměnit řemen, nastavit správné předpětí 2. Vyměnit řemen, provést odbornou montáž
<b>Nerovnoměrné opotřebení profilu</b> 1. Nevyvážené řemenice 2. Silné vibrace řemenu	1. Zkontrolovat převod, vyrovnat řemenice, vyměnit řemeny 2. Zkontrolovat předpětí, napnout a vyměnit řemeny
<b>Vysoká hlučnost převodu</b> 1. Příliš nízké předpětí 2. Překročení životnosti řemenu	1. Napnout nebo vyměnit řemeny 2. Vyměnit řemeny

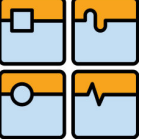


<b>Praskliny nebo vylomení těla řemenu</b> 1. Příliš vysoké nebo nízké přepětí 2. Překročení životnosti řemenu 3. Působení cizích těles v převodu	1. Vyměnit řemeny, provést odbornou montáž 2. Vyměnit řemeny 3. Vyměnit řemeny
<b>Přetržení řemenu po krátké době běhu</b> 1. Poškození tažných vláken v důsledku špatné montáže 2. Příliš vysoké předpětí	1. Vyměnit řemeny, provést odbornou montáž 2. Vyměnit řemeny, nastavit správné předpětí
<b>Znečištění řemenů</b> 1. Netěsnost na motoru nebo jiné části stroje	1. Odstranit netěsnosti, vyměnit řemeny
<b>Vysoké opotřebení profilu řemenů</b> 1. Řemenice, kladka je poškozená (neotáčí se) 2. Ne souosé řemenice	1. Vyměnit řemenice, vyměnit řemeny 2. Srovnat řemenice, vyměnit řemeny
<b>Ztvrdlé lesklé boky řemenů (různě napnuté řemeny v sadě)</b> 1. Ne souosé řemenice 2. Poškození tažných vláken v důsledku neodborné montáže 3. Špatný výběr řemenů do sady	1. Zkontrolovat převod, ne souosé řemenice a novou sadu řemenů správně namontovat. 2. Vyměnit řemeny, provést odbornou montáž 3. Používat pouze kompletní sadu řemenů
<b>Silné opotřebení boků/popraskané boky řemenů</b> 1. Vysoký prokluz 2. Ne souosé řemenice 3. Poškozené drážky řemenice	1. Vyměnit řemeny, nastavit správné předpětí 2. Zkontrolovat převod, srovnat ne souosé řemenice a napínací kladky 3. Srovnat nebo vyměnit řemenice, vyměnit řemenice

### 8.3 KONTROLA HLAVNÍ VAČKOVÉ HŘÍDELE

Vačková hřídel je hlavní hřídel celého stroje. Uvádí do pohybu beran (neboli skříň), který vykonává hlavní tvářecí sílu. Tato síla je přenášena dále na nástroj a tažený materiál. Hřídel je pevně otočně vsazena do těla stroje. Toto uchycení jí umožňuje axiální otáčení kolem své osy. Radiální pohyb je zde zamezen. Krouticí moment je na ni přenášen pomocí hnané řemenice na jedné straně. Tento krouticí moment je odebírán vačkami a na druhém konci hřídele dále transferem. Transfer je ovládán také pomocí transferové vačky, která mění rotační pohyb na přímočarý. Tento pohyb nám umožňuje přesun jednotlivých výtažků do poloh.

Při kontrole hlavní vačkové hřídele se nebude započítávat síla a krouticí moment, který je potřebný na pohyb transferu. Toto zatížení je zanedbatelné z důvodu, že transferové lišty přesouvají pouze jednotlivé polo-výtažky (výtažky).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 58
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Síla potřebná je díky tomu pouze závislá na hmotnosti transferových lišt a tvaru vačky. Hmotnost transferových lišt je cca 8kg, tudíž se dá zanedbat.

Při rotačním pohybu hřídele nastávají dva případy:

- Beran jde do dolní úvrti a zabírají hlavní vačky, které vykonávají sílu potřebnou pro technologii
- Beran se vrací do horní úvrti a je vytahován reverzní vačkou

Rozbor obou dvou případů určí jednotlivé zatížení obou podpor a hřídele:

### Rozbor 1: Beran se pohybuje do dolní úvrti

Pro zjednodušení použijeme maximální síly

$$F_{t\max} = 32000 \text{ N}$$

$$F_{uc} = 6313,4 \text{ N}$$

$F_{RA1}$  .. reakce v podpoře A (ložisko)

$F_{RB1}$  .. reakce v podpoře B (ložisko)

$\Sigma F = 0$  podmínka rovnováhy

$$-F_{RA1} + \frac{F_{t\max}}{2} + \frac{F_{t\max}}{2} - F_{RB1} - F_{uc} = 0$$

$$M_{OA} : -\frac{F_{t\max}}{2} \cdot 101,5 - \frac{F_{t\max}}{2} \cdot (101,5 + 170) + F_{RB1} \cdot (101,5 + 170 + 101,5) +$$

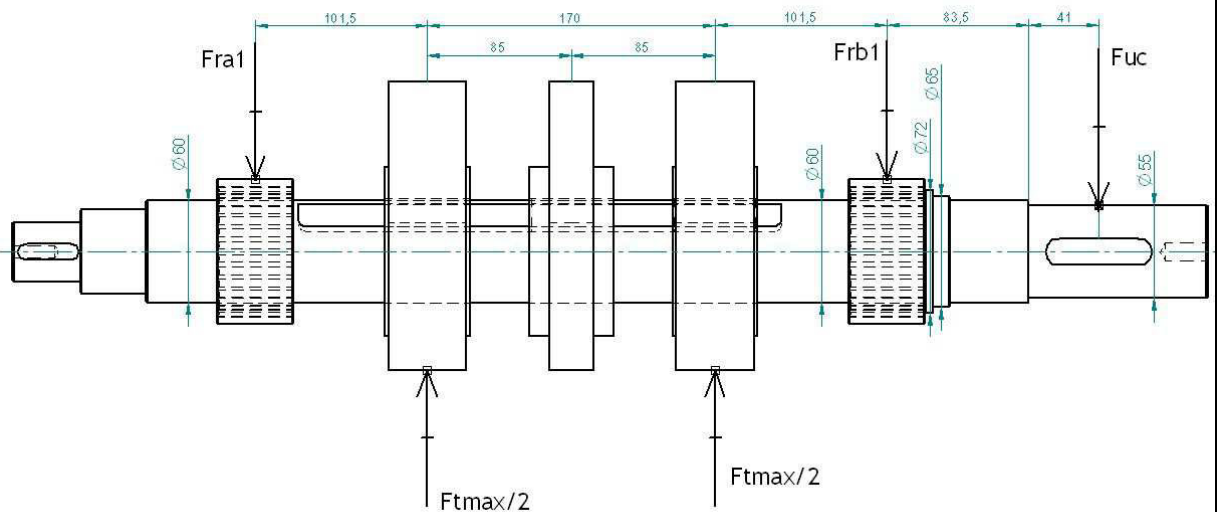
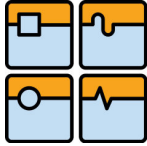
$$F_{uc} \cdot (101,5 + 170 + 101,5 + 83,5 + 41) = 0$$

$$F_{RB1} = \frac{\frac{32000}{2} \cdot 101,5 + \frac{32000}{2} \cdot (101,5 + 170) - 6313,4 \cdot (101,5 + 170 + 101,5 + 83,5 + 41)}{(101,5 + 170 + 101,5)}$$

$$F_{RB1} = 7580 \text{ N}$$

$$F_{RA1} = +\frac{F_{t\max}}{2} + \frac{F_{t\max}}{2} - F_{RB1} - F_{uc} \quad F_{RA1} = +\frac{32000}{2} + \frac{32000}{2} - 7580 - 6313,4$$

$$F_{RA1} = 18106,6 \text{ N}$$



Obr. 23: Schéma sil při tváření (pohyb do dolní úvrati).

### Výpočet ohybových momentů v jednotlivých místech pod silami

$$M_{OB} = F_{uc} \cdot (0,083 + 0,041)$$

$$M_{OB} = 6313,4 \cdot (0,0835 + 0,041)$$

$$M_{OB} = 786 \text{ Nm}$$

$$M_{OF1} = F_{uc} \cdot (0,0835 + 0,041 + 0,1015) + F_{RB1} \cdot 0,1015$$

$$M_{OF1} = 6313,4 \cdot (0,0835 + 0,041 + 0,1015) + 7580 \cdot 0,1015$$

$$M_{OF1} = 2196 \text{ Nm}$$

$$M_{OF2} = F_{uc} \cdot (0,083 + 0,041 + 0,1015 + 0,17) + F_{RB1} \cdot (0,1015 + 0,17) - \frac{F_{t\max}}{2} \cdot 0,17$$

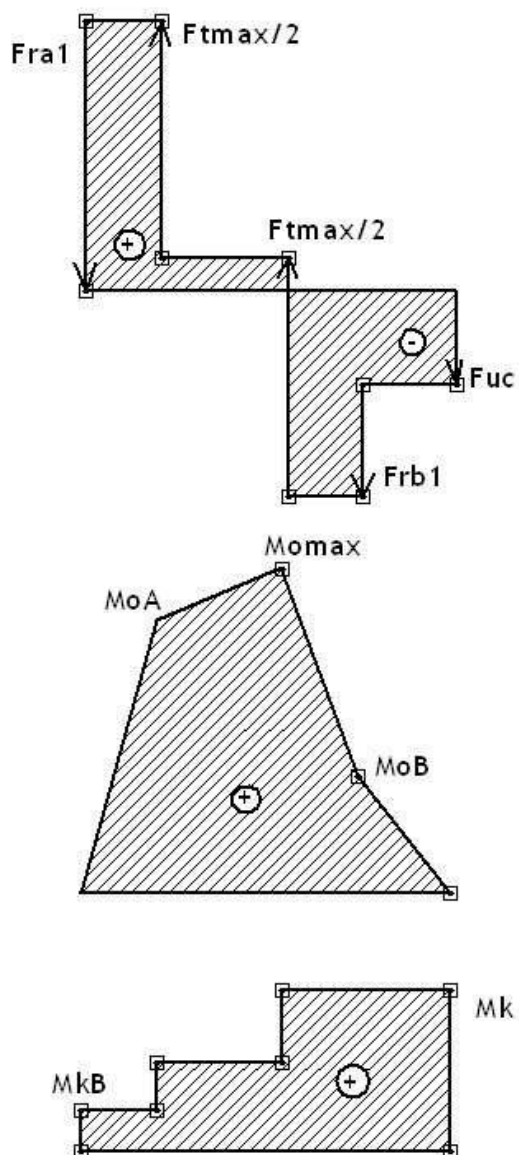
$$M_{OF2} = 6313,4 \cdot (0,083 + 0,041 + 0,1015 + 0,17) + 7580 \cdot (0,1015 + 0,17) - 16000 \cdot 0,17$$

$$M_{OF2} = 1838 \text{ Nm}$$

Hřídel je namáhána i na krouticí moment, tento moment je vypočítaný v kapitole „7.3. Volba motoru“ a také v kapitole „7.1. Vačkový mechanismus rozbor“.

Z těchto všech údajů lze vytvořit výsledné vnitřní účinky na hřídel:





Obr. 24: Vnitřní výsledné účinky pro 1. rozbor.

### Rozbor 2: Beran se pohybuje do horní úvratí

Pro zjednodušení použijeme maximální síly

$$F_{rmax} = 7000 \text{ N} \quad \text{maximální síla pro zvednutí beranu}$$

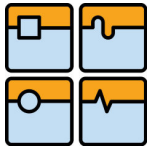
$$F_{uc} = 6313,4 \text{ N}$$

$F_{RA2}$  .. reakce v podpoře A (ložisko)

$F_{RB2}$  .. reakce v podpoře B (ložisko)

$$\Sigma F = 0 \quad \text{podmínka rovnováhy}$$

$$+ F_{RA2} - F_{rmax} + F_{RB2} - F_{uc} = 0$$



$$M_{OA} : + F_{r \max} \cdot (101,5 + 85) - F_{RB2} \cdot (101,5 + 170 + 101,5) + F_{uc} \cdot (101,5 + 170 + 101,5 + 83,5 + 41) = 0$$

$$F_{RB2} = \frac{F_{r \max} \cdot (101,5 + 85) + F_{uc} \cdot (101,5 + 170 + 101,5 + 83,5 + 41)}{(101,5 + 170 + 101,5)}$$

$$F_{RB2} = \frac{7000 \cdot (101,5 + 85) + 6313,4 \cdot (101,5 + 170 + 101,5 + 83,5 + 41)}{(101,5 + 170 + 101,5)}$$

$$F_{RB2} = \frac{7000 \cdot (101,5 + 85) + 6313,4 \cdot (101,5 + 170 + 101,5 + 83,5 + 41)}{(101,5 + 170 + 101,5)}$$

$$F_{RB2} = 11921 \text{ N}$$

$$F_{RA2} = +F_{r \max} + F_{uc} - F_{RB2} \quad F_{RA2} = 7000 + 6313,4 - 11920,6$$

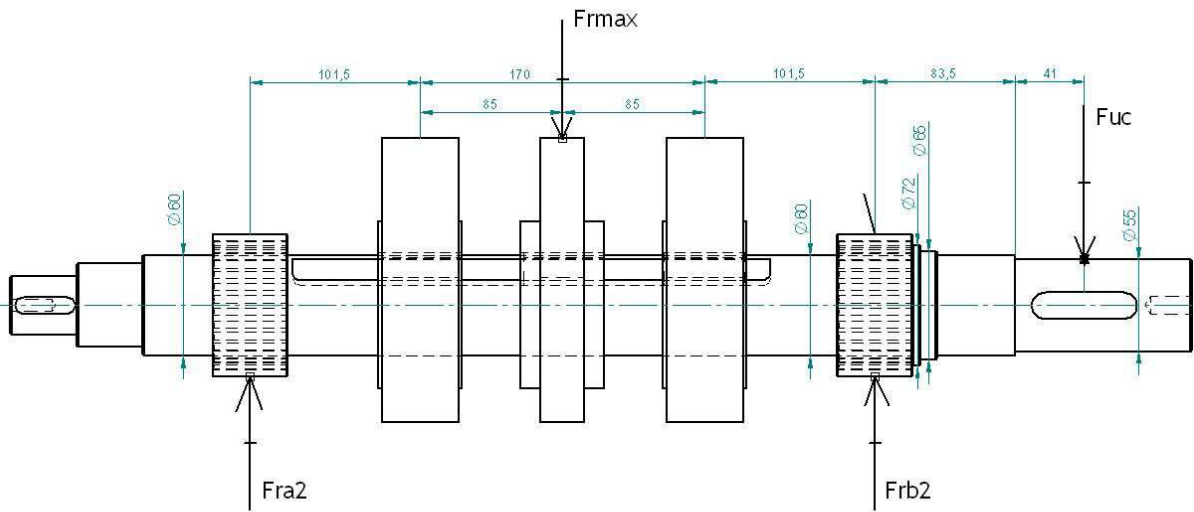
$$F_{RA2} = 1393 \text{ N}$$

### Výpočet ohybových momentů v jednotlivých místech pod silami

$$M_{OB} = F_{uc} \cdot (0,083 + 0,041) \quad M_{OB} = 6313,4 \cdot (0,0835 + 0,041) \\ M_{OB} = 786 \text{ Nm}$$

$$M_{OFr \max} = F_{uc} \cdot (0,0835 + 0,041 + 0,1015 + 0,085) - F_{RB2} \cdot (0,1015 + 0,085) \\ M_{OFr \max} = 6313,4 \cdot (0,0835 + 0,041 + 0,1015 + 0,085) - 11920,6 \cdot (0,1015 + 0,085)$$

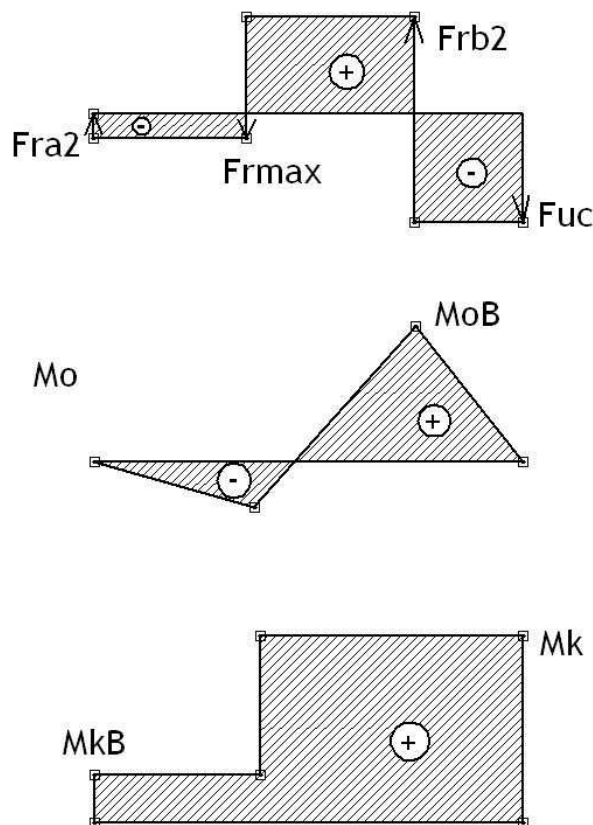
$$M_{OB} = -260 \text{ Nm}$$



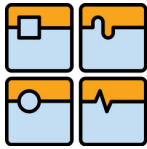
Obr. 25: Schéma sil při zvedání (pohyb do horní úvrati).

Hřídel je namáhána i na krouticí moment, tento moment je vypočítaný v kapitole „7.3. Volba motoru“ a také v kapitole „7.1. Vačkový mechanismus rozbor“.

Z těchto všech údajů lze vytvořit výsledné vnitřní účinky na hřídel:



Obr. 26: Vnitřní výsledné účinky pro 2. rozbor.



Z těchto dvou rozborů vyplývají největší extrémní hodnoty jak v podporách (ložiskách), tak v samotné hřídeli. S těmito údaji budeme dále počítat.

Jako nebezpečný průměr se jeví řez hřídelí ( $d_k = 60 \text{ mm}$ ) pod zatěžující  $\frac{F_{t \max}}{2}$  kde je maximální ohybový moment, tj.  $M_{OF1} = 2196 \text{ Nm}$ . V tomto místě se bude hřídel dále kontrolovat při přechodu na osazující průměr  $D_k = 72 \text{ mm}$ . Rádus přechodu je volen  $r_k = 0,3 \text{ mm}$ .

### Stanovení bezpečnosti k meznímu stavu únavy [15]

$$d_k = 60 \text{ mm}$$

$$D_k = 72 \text{ mm}$$

$$r_k = 0,3 \text{ mm}$$

Materiál hřídele 12050 – zušlechťeno na 900 MPa, broušeno

$$\frac{D_k}{d_k} = \frac{72}{60} = 1,2$$

$$\frac{r}{d_k} = \frac{0,3}{60} = 0,005$$

Z diagramu na obr.A-15-8 [15], respektive A-15-9 [15] se odečte přibližná hodnota součinitele tvaru pro namáhání ohybem  $\alpha_\sigma \approx 3$  a krutem  $\alpha_\tau \approx 2,6$ .

$$\beta_\sigma = \frac{\alpha_\sigma}{1 + \frac{2(\alpha_\sigma - 1)}{\alpha_\sigma} \cdot \frac{139}{R_m \cdot \sqrt{r_k}}}$$

$$\beta_\sigma = \frac{3}{1 + \frac{2(3-1)}{3} \cdot \frac{139}{900 \cdot \sqrt{0,3}}}$$

$$\beta_\sigma = 2,18$$

$$\beta_\tau = \frac{\alpha_\tau}{1 + \frac{2(\alpha_\tau - 1)}{\alpha_\tau} \cdot \frac{139}{R_m \cdot \sqrt{r_k}}}$$

$$\beta_\tau = \frac{2,6}{1 + \frac{2(2,6-1)}{2,6} \cdot \frac{139}{900 \cdot \sqrt{0,3}}}$$

$$\beta_\tau = 1,93$$

Mez únavy při ohybu za rotace

$$\sigma_{Co} = 0,504 \cdot R_m$$

$$\sigma_{Co} = 0,504 \cdot 900$$

$$\sigma_{Co} = 453,6 \text{ MPa}$$

Součinitele vlivu

$$k_a = a_k R_m^{b_k}$$

$$k_a = 1,58 \cdot 900^{-0,085}$$

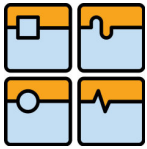
$$k_a = 0,886$$

$$k_b = 1,51 \cdot d_k^{-0,157}$$

$$k_b = 1,51 \cdot 60^{-0,157}$$

$$k_b = 0,794$$

$$k_c = k_d = k_f = 1$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$k_e = 0,814$  uvažovaná spolehlivost 99%

Korigovaná mez únavy v kritickém místě

$$\sigma'_{Co} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot \sigma_{Co} \quad \sigma'_{Co} = 0,886 \cdot 0,794 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 453,6$$

$$\sigma'_{Co} = 259,7 \text{ MPa}$$

Amplituda ohybového momentu

$$M_{oa} = \frac{M_{o\max} - M_{o\min}}{2} \quad M_{oa} = \frac{2196 - (-260)}{2} \quad M_{oa} = 1228 \text{ Nm}$$

Střední hodnota krouticího momentu (odečteno z tab. 4 a tab. 5)

$$M_{km} = \frac{M_{k\max} + M_{k\min}}{2} \quad M_{km} = \frac{309,3 + (-222,6)}{2} \quad M_{km} = 43,35 \text{ Nm}$$

Součinitel bezpečnosti

$$\frac{1}{k_u} = \frac{16}{\pi \cdot d_k^3} \left( 4 \left( \frac{\beta_\sigma \cdot M_{oa}}{\sigma'_{Co}} \right)^2 + 3 \left( \frac{\beta_\tau \cdot M_{km}}{0,8 \cdot Rm} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{k_u} = \frac{16}{\pi \cdot 60^3} \left( 4 \left( \frac{2,18 \cdot 1228000}{259,7} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,93 \cdot 43350}{0,8 \cdot 900} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \frac{1}{k_u} = 0,486$$

$$k_u = 2,06$$

### Výpočet a volba ložisek

Jak již bylo zmíněno, hřídel je ustavena na ložiskách. Ložiskové průměry hřídele jsou voleny 60mm, z důvodů vhodného osazení, normalizované velikosti průměru (pro průměr 60 mm se vyrábí ložiska) a přímo úměrné velikosti vůči ostatním rozměrům a dílům.

Z předešlých výpočtů se použije zjištěná extrémní hodnota v podporách, tj.  $F_{RA1} = 18106,6 \text{ N}$ .

Pro usazení hřídele volím ložiska jehlová dvouřadá:  
**NA6912-ZW** výrobce INA FAG

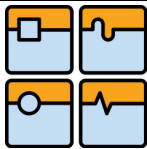
Základní dynamická radiální únosnost

$$C_r = 106000 \text{ N}$$

Základní statická radiální únosnost

$$C_{0r} = 191000 \text{ N}$$

Výpočet proveden pomocí TDS-TECHNIK a je přiložen v příloze.



## 8.4 VOLBA PODÁVÁNÍ NEREZOVÉHO PÁSKU

Podávání a zavádění pásku bude probíhat postupným podáváním do nástroje. Toto podávání musí být spolehlivé, rychlé a pevně svázané se všemi pohyby stroje, aby nedocházelo ke kolizím nebo vystřihávání zmetků.

Pro určení délky podání je nutné vytvořit nástřihový plán. Nástřihový plán je způsob rozmístění výstřižku na pásku tak, aby byl zbylý odpad co nejmenší a tím pádem využitelnost vstupního materiálu co největší.

V dnešní době se odpadovým hospodářstvím a co největší využitelností polotovarů zabývá většina podniků, jelikož je to způsob jak snížit vstupní náklady na minimum při zachování kvality. Materiál ve velké míře tvoří 60 až 70% vstupních nákladů.

Volba nástřihového plánu závisí na tvaru a konstrukci výstřižku a na minimálních vzdálenostech od okrajů pásku.

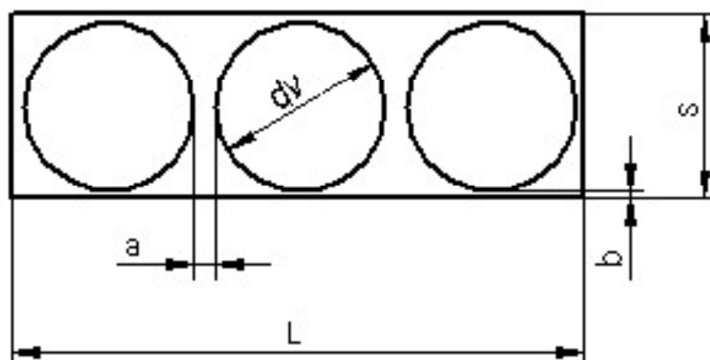
### Využitelnost materiálu

$$h_{\%} = \frac{S_o}{S_p}$$

$S_o$  ... celková plocha výstřižků [ $\text{mm}^2$ ],

$S_p$  ... plocha pásku plechu [ $\text{mm}^2$ ].

Dle navrhovaného způsobu zavádění pásku do nástroje, použijeme jednoduchý nástřihový plán. Díky využití tohoto plánu je možné použít jednoduchý systém podávání.



Obr. 27: Jednoduchý nástřihový plán.

Dle literatury vypočítány doporučené hodnoty [10]:

$$a \geq 0,8 \cdot tl$$

$$a \geq 0,8 \cdot 0,28$$

$$a \geq 0,224$$

U kruhových výstřižků platí:

$$a = b$$

Volím hodnoty:

$$a = b = 0,5 \text{ mm}$$

Výsledný nerezový pás, z kterého bude vystřihován polotovar kruhového výstřihu, bude mít šířku 16mm.

#### Délka podání

$$L_{pd} = D_v + a$$

$$L_{pd} = 15 + 0,5$$

$$L_{pd} = 15,5 \text{ mm}$$

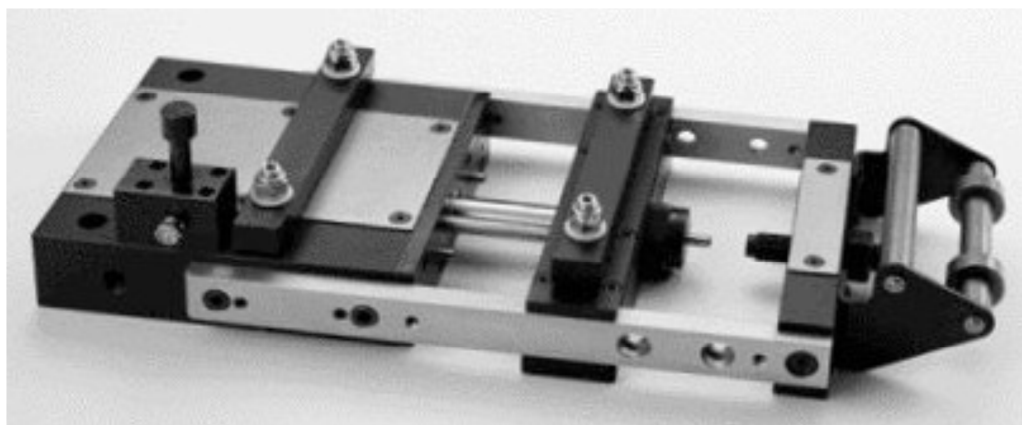
Využitelnost pásu se nedá přesně určit, jelikož není známa celková délka svitku, který je namotaný. Z tohoto důvodu tento výpočet zde není uveden.

### 8.4.1 PNEUMATICKÝ PODÁVAČ

Pro správné zavádění pásu do nástroje pro jeho následné vystřížení bude použit pneumatický podávač. Tento podavač bude nakupovanou položkou, která musí být snadno přenastavitelná při změně nástroje za jiný. Hlavními kritérii, které nám určují typ, jsou:

takt	60 zdvih/min.
šířka pásy	min. 16 mm
délka podání	min. 15,5 mm
tloušťka pásy	min. 0,28 mm

Dle těchto parametrů je zvolen podavač firmy P/A Bohemia s.r.o., model AX2.



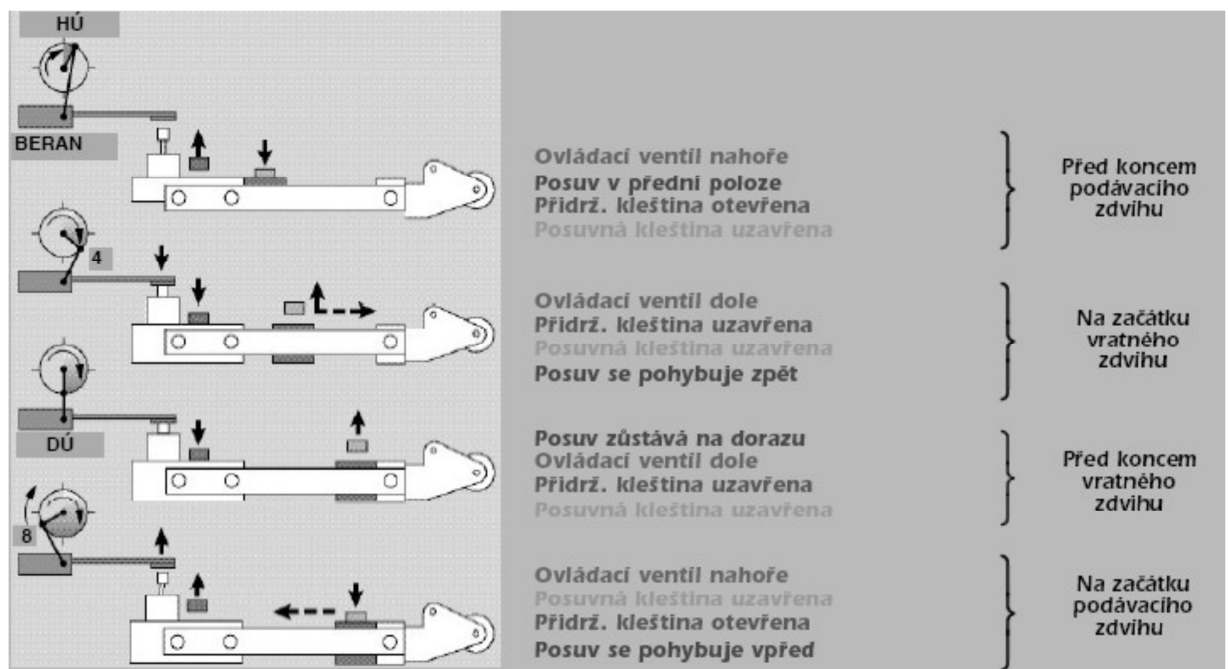
Obr. 28: Pneumatický podavač AX2.

**Technické parametry AX2:**

max. šířka pásku:	38 mm
délka podání:	0 až 50 mm
tažná síla při 7bar	110 N
max. tloušťka pásky	1,2 mm
rychlost podání	280 zdvih/min
hmotnost	3,5 kg

Tento model je rozměrově velice přijatelný a splňuje všechny požadavky. Je snadno přenastavitelný. Délka podání se nastavuje pomocí stavitelného dorazu.

Jedinou nevýhodou tohoto modelu je absence tlumení koncových poloh. Rychlost podání je závislá na délce podávaného materiálu. Čím je délka podání větší, tím se nám snižuje rychlost, tzn. při větší délce podání, déle trvá, než toto proběhne.

**Princip podavače:**

Obr. 29: Princip ovládní pneumatického podavače AX2.

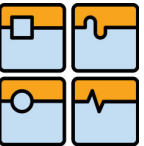
Jak již bylo zmíněno, je nutno dobře načasovat pracovní cyklus podavače, který bude pevně svázán s cyklem beranu. Toto časování lze provést několika způsoby:

**Mechanické ovládní** – podavač je vybaven mechanicky ovládaným ventilem.

**Pneumatické ovládní** – podavač je vybaven pneumaticky ovládaným ventilem.

**Elektrické ovládní** – podavač je vybaven magneticky ovládaným ventilem



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 68
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Navrhovaný stroj bude obsahovat rozvod stlačeného vzduchu pro ovládání samotného podavače, proto volím i jeho provedení s pneumaticky ovládaným ventilem. Signál pro tento ventil bude udávat indukční snímač, který bude snímat polohu beranu a ve stanovený čas udávat okamžik podání a návratu do výchozí polohy podavače.

## 8.5 PNEUMATICKÉ KOMPONENTY

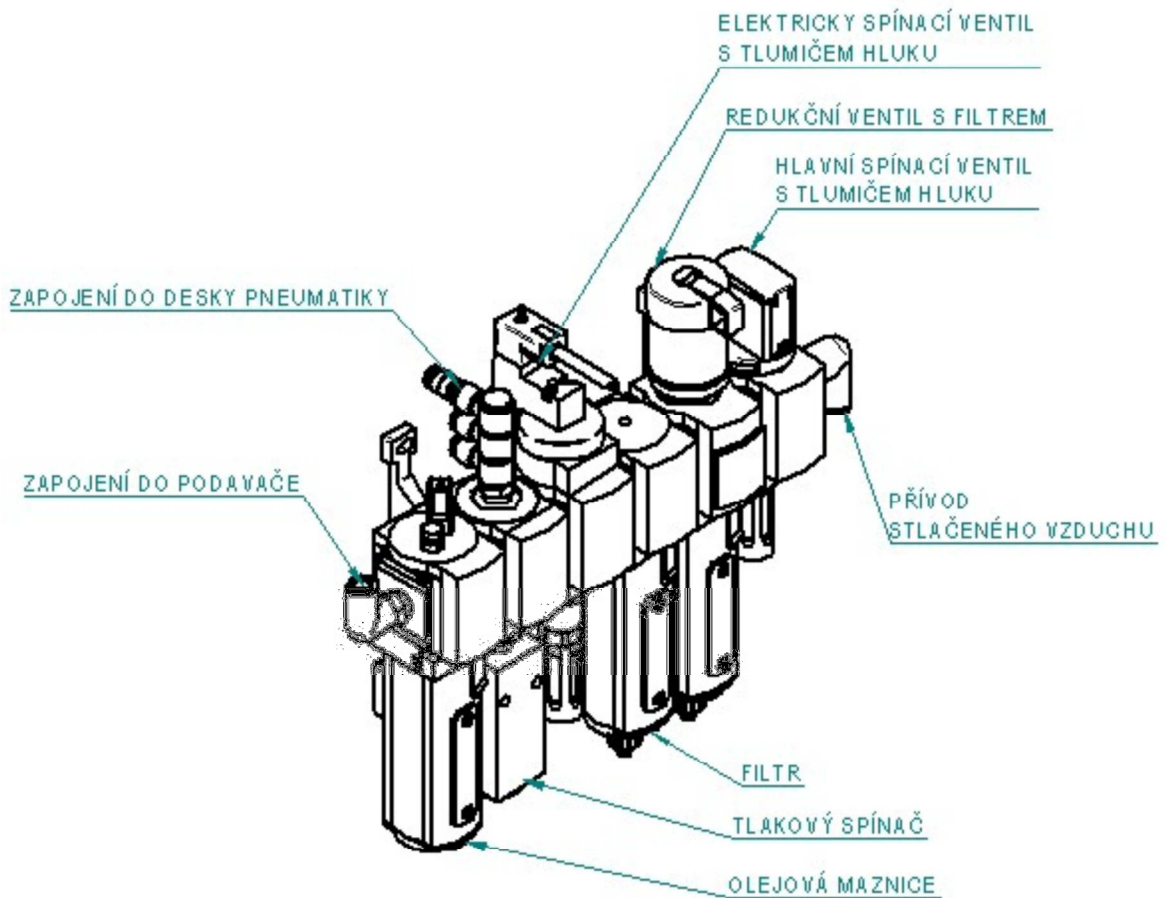
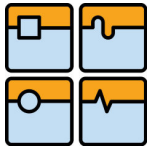
Stroj obsahuje nejen elektrické zapojení pro jeho ovládání, ale zároveň i pneumatické. Tento pneumatický systém nám umožňuje ovládat určité prvky, které nelze jinak uvést do správného pohybu. Především se jedná o pneumatický podavač, kde z jeho názvu lze odvodit, že k jeho ovládání je nutno ho připojit k systému stlačeného vzduchu. Z technologického hlediska (toto bylo zvoleno při návrhu nástroje) je nutné ještě zapojit „ofuk“. Ofukem bude dále myšleno systémové zapojení dvou trysek, které nám umožní odstranit odstřížek z místa mezi nástroj a transferem do místa pro odpad.

Při tvorbě a zapojení jednotlivých pneumatických prvků dochází ke vzniku pneumatického schématu. Toto pneumatické schéma slouží jako výrobní výkres při nákupu, zapojení a následném servisu všech komponent v něm uvedeném. Jednotlivé pneumatické komponenty jsou voleny od jednoho z předních výrobců na trhu, FESTO.

Pneumatické schéma navrhovaného stroje bude velice jednoduché a skládá se ze dvou částí. Úpravna vzduchu a deska pneumatiky.

Úpravna vzduchu se skládá:

1. Hlavní spínací ventil – slouží k ručnímu otevření/zavření přívodu vzduchu do úpravny.
2. Redukční ventil – slouží k nastavení požadovaného tlaku v úpravně
3. Filtr – slouží k filtraci přívodního stlačeného vzduchu a k jeho udržení čistoty tak, aby nedocházelo ke zkrácení životnosti jednotlivých komponent pneumatického zapojení.
4. Elektricky spínaný ventil – umožňuje spínat ventil ofuku, který je součástí desky pneumatiky.
5. Tlakový spínač – umožňuje kontrolovat hladinu tlaku. Při jeho poklesu pod určitou mez nedojde k otevření cesty pro další přenos stlačeného vzduchu.
6. Olejová maznice – slouží k mazání stlačeného vzduchu pro podavač, z důvodu zvýšení jeho životnosti.



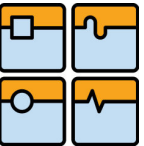
Obr. 30: Jednotka na úpravu vstupního stlačeného vzduchu.

Deska pneumatiky se skládá pouze ze spínacího a redukčního ventilu pro ovládání (spínání) ofuku.

## 8.6 BEZPEČNOST

Pro zajištění správně funkce stroje je i jeho nedílnou součástí dodržet bezpečnost práce při jeho používání. Proto je nutné konstruovat stroj tak, aby svým technickým stavem tyto vlastnosti byly dostatečně, co možná nejvíce, splněny v každé jeho životní fázi. Musí být způsobilý k trvalému provozu a zaručovat maximální možnou bezpečnost s minimálními zbytkovými riziky.

V základní fázi je nutné myslet, při návrhu, i na budoucí manipulaci s tímto strojem, např. při přepravě a ustavení, a náležitě stroj nachystat pro možnost použití prvků pro snadnou manipulaci. Tohoto bude u stroje docíleno tak, že bude jeho konstrukce ergonomicky umožňovat nadzvednutí a následné přemístění vysokozdvížným vozíkem aniž by hrozilo jeho převrnutí nebo spadnutí

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 70
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Nadále je nutné brát především ohled na bezpečnost osob, které přijdou s tímto strojem do styku, tzn. obsluhu. Tyto osoby budou se strojem pracovat a budou s ním v neustálém kontaktu. Z toho důvodu bude stroj opatřen průhlednými kryty, které znemožní přímý přístup k technologii. Tyto kryty budou mít možnost otevírání, ale pouze za podmínek, že stroj bude zastaven. Tohoto bude dosaženo pomocí řídicího systému a bezpečnostních zámků, kterými budou osazeny všechny kryty. Pokud stroj bude v provozu, tyto zámků budou uzamčeny a nebude moct dojít k jejich otevření. Při zastavení stroje, bude možnost dveře odemknout, ale zároveň se tím zablokuje možnost opětovného spuštění stroje do doby, dokud nebudou kryty opět zavřeny.

Stroj musí být zároveň opatřen i dalšími bezpečnostními prvky jako jsou dobře čitelný, a co možná nejvíce intuitivní, ovládací panel a hřibové tlačítka nouzového zastavení (a zároveň odpojení od dodavatelské elektrické sítě). Jejich rozmístění musí logicky odpovídat možnému pohybu osob kolem stroje tak, aby bylo možno vždy rychle a snadno vypnout – odpojit stroj.

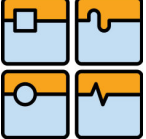
Bezpečnost však lze v provozní praxi zaručit pouze v případě, že budou provedena veškerá potřebná opatření a proto poslední, a zároveň i první, důležitou věcí, která je nedílnou součástí stroje, je vytvoření návodu pro použití a údržbu stroje. Tento dokument musí být vypracován v souladu s harmonizovanými normami a směrnici ČR, popřípadě EU. Tento návod musí obsahovat:

- Název stroje
- Určený účel stroje
- Popis stroje
- Parametry stroje
- Základní bezpečnostní pokyny
- Informace o zbytkových rizicích
- Informace o přepravě
- Informace o ustavení a zapojení
- Informace o údržbě
- Informace o seřizování a opravě
- Návod na zapnutí a ovládání stroje
- Seznam náhradních dílů
- Atd.

Takto základně vybavený návod musí být předán se strojem a umístěn vždy blízko něho pro případ použití obsluhy nebo jiné osoby. Je povinností provozovatele stroje udržovat všechny opatření aktivní a kontrolovat jejich správnou funkci a dodržování, jelikož za konečnou bezpečnost stroje zodpovídá především provozovatel.

Provozovatel musí především zajistit, aby:

- stroj byl používán pouze k určenému účelu
- stroj byl provozován pouze v bezvadném a funkčním stavu
- bezpečnostní zařízení byla pravidelně kontrolována

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 71
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- byly k dispozici a používaly se potřebné osobní ochranné prostředky pro pracovníky
- návod k použití byl v čitelném a kompletním stavu stále k dispozici v míst použití stroje
- obsluhu, údržbu a opravy stroje prováděl dostatečně kvalifikovaný a autorizovaný personál
- byl tento personál pravidelně seznamován se všemi příslušnými otázkami bezpečnosti práce a ochrany životního prostředí, a byl seznámen s tímto návodem k použití stroje, především s uvedenými bezpečnostními pokyny

Z tohoto všeho zároveň i vyplývá, že stroj může obsluhovat pouze osoba vyškolená (dostatečně technicky kvalifikovaná), která byla s tímto návodem k použití seznámena a řídí se jím. V praxi často bývá ještě bezpečnost doplněna o interní dokumenty a směrnice daného provozu, které vnitropodnikově zamezují přístup neoprávněných osob do prostoru stroje tak, aby nemohlo dojít, např. při rozběhu stroje nebo jeho seřizování, ke zranění [11] [12].

## 8.7 ŘÍZENÍ STROJE A JEHO ELEKTROVÝBAVA

Řízení stroje je důležitým prvkem při komunikaci uživatele se strojem a nástrojem. Dobře zvolený a navržený řídicí systém s přehlednými ovládacími prvky umožňuje správné a intuitivní ovládání a tudíž napomáhá k lepší efektivitě pracovní doby. V neposlední řadě také napomáhá ke zvýšení bezpečnosti.

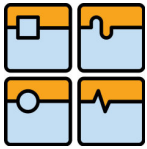
Do elektrovýbavy stroje patří ty komponenty, které tvoří hardware pro řídicí systém včetně všech ostatní elektrických prvků. Tyto ostatní prvky napomáhají pro snímání, identifikaci a vyhodnocování určitých specifických dějů, které jsou dále zpracovávány v řídicím systému (software).

Všechny prvky a komponenty by měli být voleny tak, aby byla zaručena jejich správná funkce a pokud možno se nesnižovala jejich životnost.

Toto vše jsou argumenty, které musí projektant brát v úvahu při navrhování řízení.

Elektrovýbavení jednoúčelového stroje pro tažení nerezového výtažku se bude skládat:

- Skříň rozvaděče (hlavní vypínač, zdroj napětí, jističe, měnič, PLC SIMATIC S7, bezpečnostní relé)
- Ovládací panel (dotykový panel včetně klasických ovládacích prvků)
- Kabeláž
- Vizuální a zvuková signalizace
- Ostatní prvky (bezpečnostní snímače, optické snímače, indukční snímače poloh a přítomnosti)



Obr. 31: Ovládací pult.

Pro lepší vizuální dojem a zároveň ušetření místa je ovládací panel umístěn na horní ploše skříně rozvaděče, takže vytváří dojem kompaktního ovládacího pultu.

Řídicí program stroje je navržen tak, aby předpokládal a usnadňoval předem očekávanou práci včetně poruch. Je zde možnost volby mezi dvěma režimy „automat“ a „krok“.

Režim „krok“ slouží pro nastavení a navedení např. nového polotovaru nebo pro jednotlivá seřizování operací. Předpokládá se, že tento režim bude používat především seřizovač. V tomto režimu je možnost „krokovat“ motor, jednotlivě ovládat určité skupiny jako jsou ofuk. Je možno vypnout/zapnout jednotlivé snímače (hlídání pružiny, počet kusů, atd.).

Režim „automat“ je určen pro automatickou výrobu jednotlivých kusů, kde všechny operace na sobě závislé probíhají ve správně a na sebe navazující posloupnosti. V tomto režimu nelze obsluhovat či vypínat jednotlivé prvky. Lze tento režim spustit pouze za předpokladu, že jsou všechny prvky aktivní.

Při přepnutí do jakéhokoliv režimu jsou stále aktivní všechny bezpečnostní prvky, aby se zabránilo úrazu. Je však možné, že bude potřeba (zvláště při seřizování) odpojit bezpečnostní zámky pro lepší a pohodlnější seřizování. Tato možnost zde je také, ale toto lze provést pouze při použití bezpečnostního hesla. Toto heslo musí znát pouze seřizovač a musí být seznámen se všemi riziky, které pramení s odpojením bezpečnostních prvků.

Řídicí program je dále vybaven změnou otáček: rychlost 60ot/min, 30ot/min a 10ot/min. Toto opatření je z důvodu předpokladu, že při seřizování očekáváme, že bude požadována nižší rychlost pro lepší seřízení a vizuální kontrolu všech operací. Dále je zde možnost nastavit tzn. „dávkování“ a „kontrolní dávkování“. Toto umožňuje nastavit počet kusů, které stroj vyrobí a následně se zastaví a signalizuje, že bude probíhat kontrolní dávkování. Obsluha potvrdí výrobu kontrolních kusů. Stroj provede jejich výrobu a zase se zastaví. Toto jsou kusy, které je nutno rozměrově zkontrolovat. Stroj čeká, dokud neproběhne toto rozměrové zkontrolování a dokud obsluha následně nepotvrdí další výrobu.

Na kontrolním dotykovém panelu je možnost všech těchto nastavení. Je vytvořeno vizuální příjemné prostředí pro co nejvíce intuitivní ovládání. Při poruše se na panelu vypisují i chyby, které se stanou, aby bylo možno, co nejdříve je opravit.

Ovládání v režimu stroje „krok“ může při neodborném zásahu způsobit poškození stroje! Toto je nutno si uvědomit a smí jej používat pouze proškolená obsluha.



Obr. 32: Pohled na ovládací panel včetně popisu.

Dále je stroj opatřen vizualizační a zvukovou signalizací v podobě majáku, který upozorňuje obsluhu, v jakém stavu se nachází stroj, když je v provozu.

Maják je opatřen třemi barevnými světly (zelená, oranžová, červená). Tyto jednotlivé barvy upozorňují:

Zelená svítí: stroj je v provozu v automatickém režimu

Oranžová svítí: stroj ukončil provoz klasickým způsobem a čeká na další povel

Červená svítí: stroj je v poruše

Přechod mezi jednotlivými stavy je doplněn o zvukovou signalizaci, která na tuto změnu upozorní, aby byla zvýšena pravděpodobnost, že tuto změnu obsluha co nejdříve zaregistruje.



Obr. 33: Obrázek vizualizačního majáku.

#### Vysvětlení ovládacích prvků:

**Výchozí poloha** - kontrolka udávající, že stroj je ve výchozí poloze (beran v horní úvrati).

**START cyklu** - spínač pro spuštění automatického cyklu. Tento spínač je aktivní, pokud je přepnuto do automatického režimu.

**STOP cyklu** - spínač pro vypnutí automatického cyklu. Tento spínač je aktivní, pokud je přepnuto do automatického režimu.

**Cyklus běží** - kontrolka udávající, že je spuštěn cyklus.

**Ruční / automatický režim** - dvupolohový přepínač slouží k přepnutí do jednotlivých režimů.

**Chyba** - kontrolka. Prosvítí se, pokud se vyskytne v pracovním cyklu chyba.

**RESET** - spínač pro resetování hodnot / chyb.



**Odjistit dveře** - spínač pro odjištění bezpečnostních zámků krytů. Aktivní pouze, pokud je stroj zastaven.

**START řízení** - tlačítko pro zapnutí řídicího systému stroje.

## 8.8 TRANSFEROVÉ LIŠTY

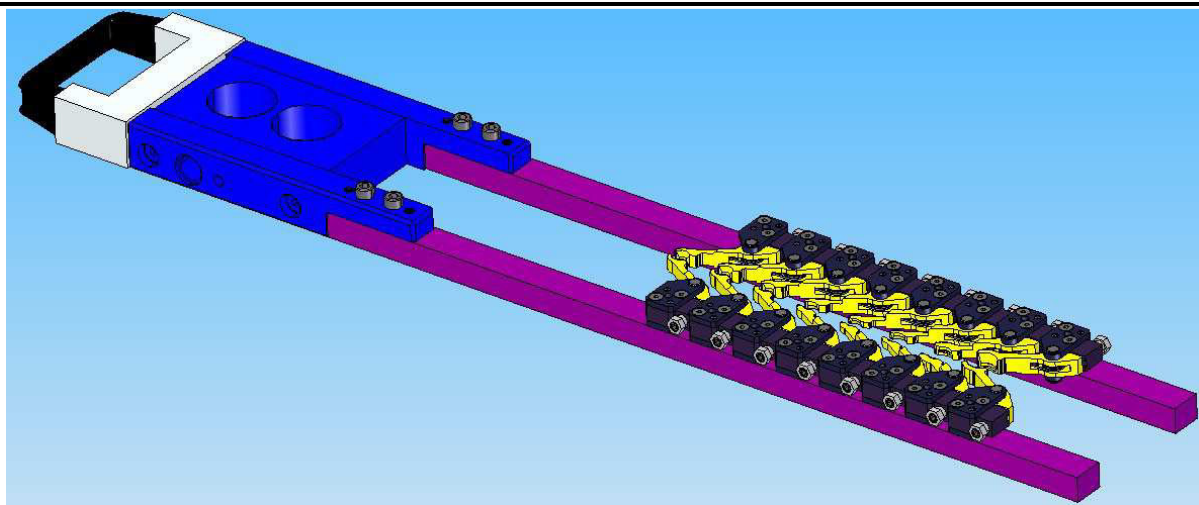
Tato konstrukční skupina slouží k předávání jednotlivých dutinek (částečných dutinek) do následných operací v technologickém procesu. Na tuto skupinu jsou běžně kladeny nároky pro dodržení opakovatelné přesnosti, aby nedocházelo ke kolizím a následným problémům v tažení. Nutnost je zároveň kladena i na jednoznačné časování v rámci celého stroje podle diagramu pracovního cyklu. Transferové lišty by měly být co možná nejlehčí, aby nedocházelo k velkým rázům díky setrvačnosti jeho hmot při dodržení dostatečné tuhosti. V praxi je možno toto předávání řešit více způsoby.

Jednotlivé čelisti mohou být nezávisle na sobě ukotveny v liště a přitlačovány do středu pomocí pružin. Tyto pružiny slouží k vyvinutí uchopovací síly. Velikost této síly lze nastavit libovolnou pro jednotlivé čelisti pomocí utahování/povolování pružiny. Zároveň systém pružin umožňuje rozevření čelistí tak, aby čelisti, při vtažení částečných dutinek tažníkem do tažníku, mohly se přemístit v jednom z axiálních směrů přes tažníky bez destrukce. Tímto způsobem je vyřešení, jak axiální pohyb čelistí (pohyb z jedné pozice do druhé a zpět), tak zároveň i radiální (rozevření čelistí pro uvolnění částečných dutinek). Tento způsob je velice elegantním řešením a používají ho i renomovaní výrobci (Platarg). Je možno vyrobit jednotlivé čelisti, které je možno nezávisle na sobě měnit či upravovat.

Čelisti jsou vyrobeny jako monoblok včetně lišt. Jedná se o dvě desky, kde jsou vyrobeny jednotlivé tvary nutné pro předávání. Při tomto řešení je nutno vyřešit pohyb axiální a radiální (např. pomocí pneumatických válců). Toto řešení se v praxi téměř nepoužívá, jelikož výroba je dosti nákladná a při výměně je nutno vyměnit celé desky. Taktéž zástavbové rozměry jsou mnohem větší při uvažování dalších pohonů pro jednotlivé pohyby.

Pro jednoúčelový stroj je zvolen první případ přenosu částečných dutinek. Čelisti jsou vyrobeny dle vypočtených hodnot a rozměrů jednotlivých tahů. Tyto rozměry jsou vypočteny. Předpoklad je, že finální tvary budou dobroušené při montáži a následně zaneseny zpět do dokumentace. Materiál čelistí včetně lišt je ocel (12050, popouštěno na 900MPa). Blok pro spojení lišt je navržen ze slitiny hliníku pro snížení hmotnosti. Samotné lišty budou následně ve stroji vedeny v kluzných pouzdrech z důvodu zajištění dostatečné tuhosti a přesnosti. Pohyb transferových lišt je odvozen od transferové vačky. Čelisti je nutno opatřit o náběhy pro zavedení (uchycení) částečného výtažku a náběhy pro snadné rozevření při přesunu přes tažníky. Rozteč jednotlivých čelistí mezi sebou je nutno volit tak velkou, aby nedocházelo ke kolizím mezi jednotlivými operacemi. Tato rozteč musí korespondovat s roztečí na nástroji.



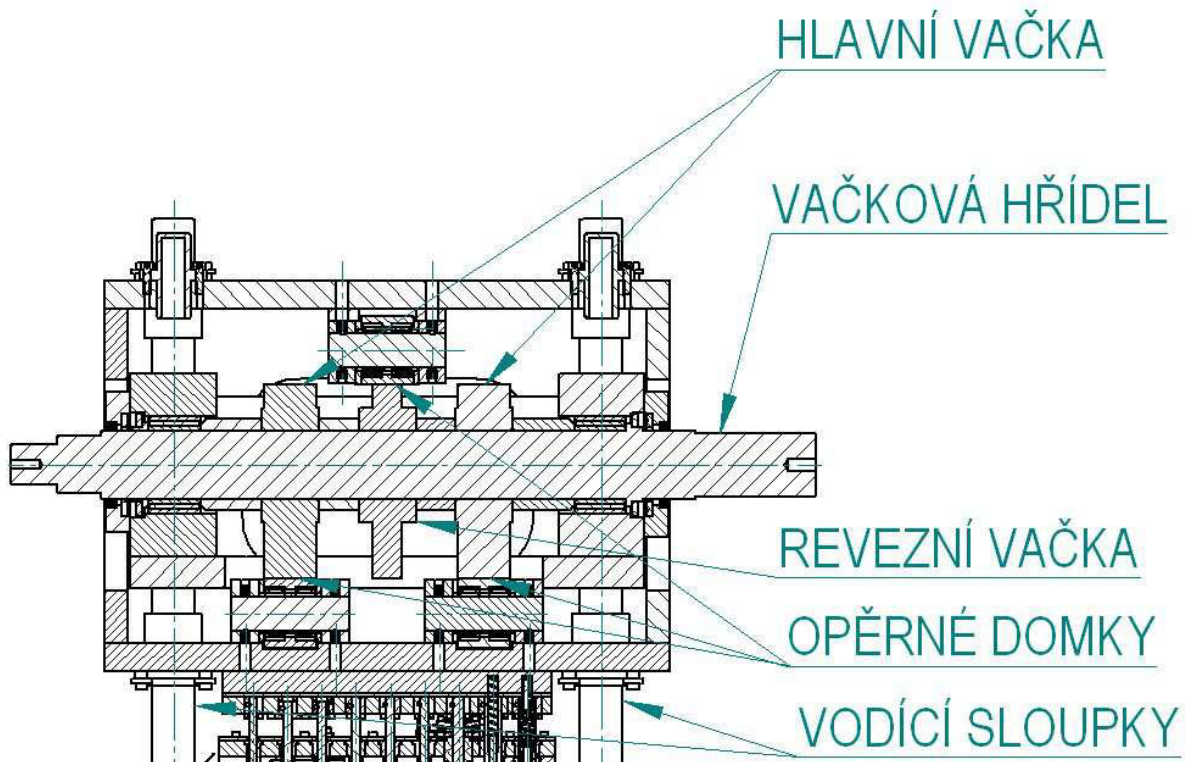
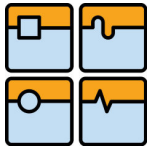


Obr. 34: 3D model transferových lišt pro předávání výtažků do jednotlivých pozic.

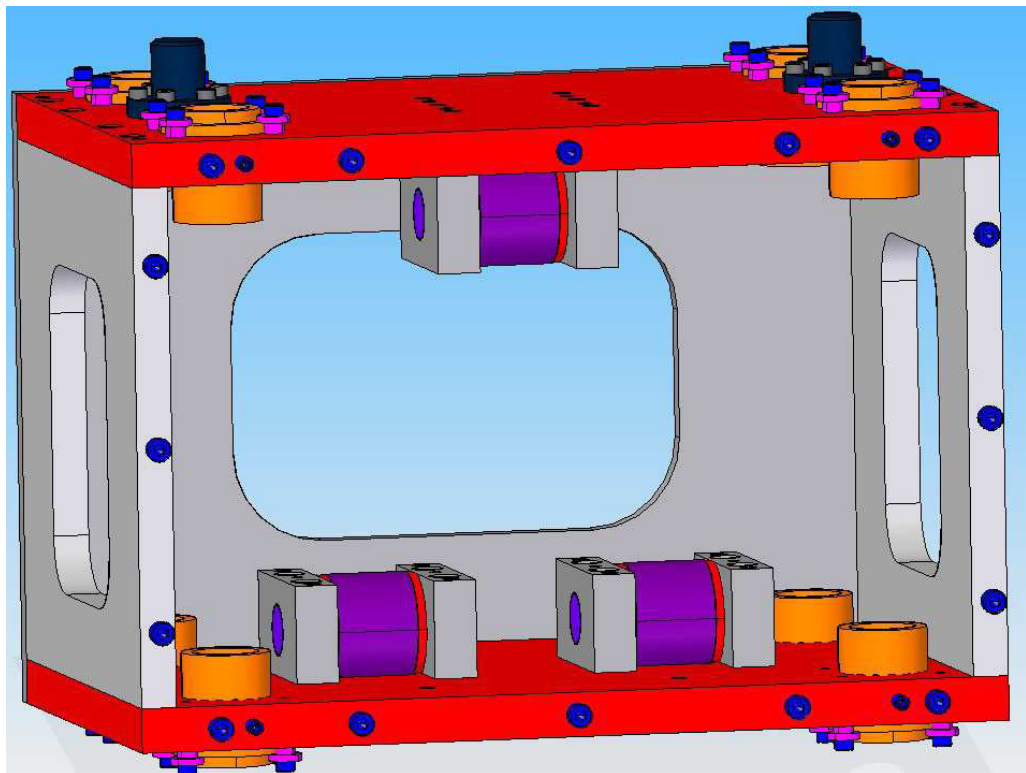
## 8.9 SKŘÍŇ

Tato konstrukční skupina se také nazývá beran. Jedná se o sestavu, která je unášena vačkami a přenáší tvářecí sílu na nástroj. Tato sestava musí být dostatečně tuhá a přesně vedená, aby nedocházelo k nepřesnostem při tažení.

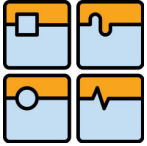
Toto je řešeno tak, že beran je opatřen vodícími kluznými pouzdry, které umožňují axiální pohyb beranu po vodících sloupcích. Ve vodících sloupcích je ukotvena samotná hřídel na ložiskách, která vykonává rotační pohyb. Tento pohyb je dále přenášen pomocí vaček na beran ve stykových místech. Tyto místa jsou nazývána opěrnými domky. Opěrné domky mají v sobě na ložiscích umístěné rolny, po kterých se odvalují vačky.



Obr. 35: Uchycení a znázornění beranu (skříně) stroje.



Obr. 36: 3D model skříně (beranu) bez přední desky.

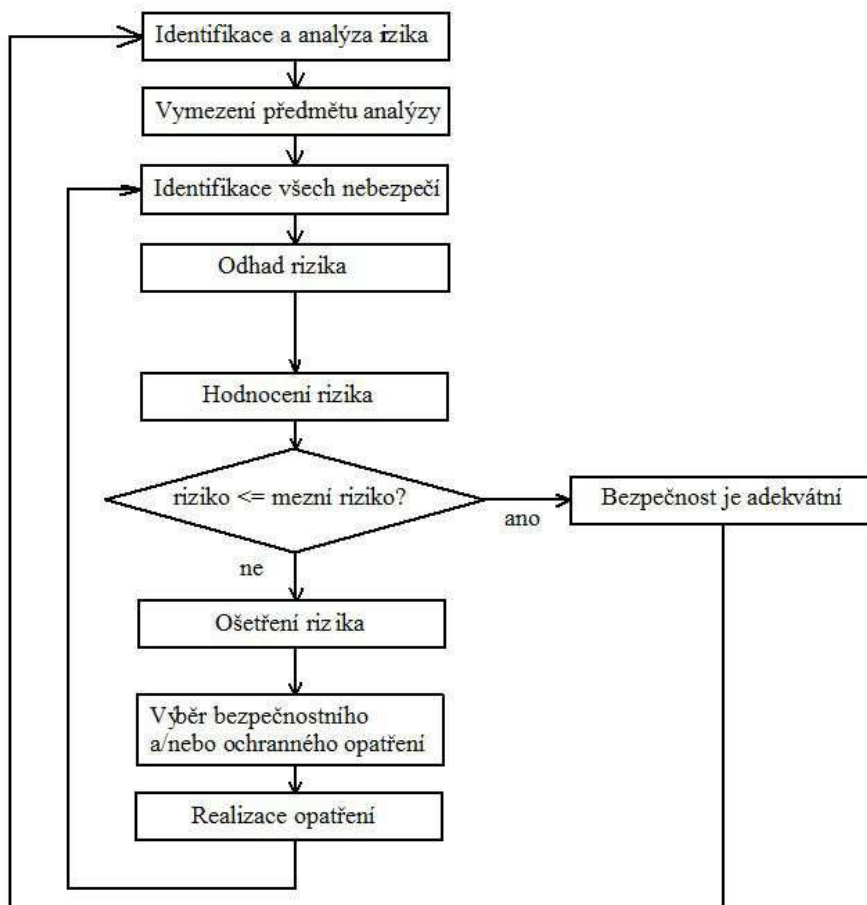


## 9 ANALÝZA RIZIK

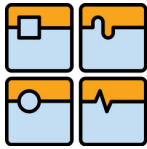
„Management rizik je relativně nová vědecká disciplína v oboru konstrukčního a procesního inženýrství, které začíná v současné době stále více nabývat na významu.“ [11]. Při konstrukci strojního zařízení je nutno dbát už na začátku na bezpečnost uživatele.

Tato bezpečnost by měla zahrnovat jakoukoliv předvídatelnou manipulaci. Dnešní vědomosti nám dokazují, že ve všech oblastech našeho života se vyskytují určitá rizika. Při konstrukci je nutno tyto rizika hodnotit, a pokud je to možno, tak snižovat nebo úplně eliminovat. Analýza rizik je systematické vyhledávání rizik a nebezpečných souvislostí za tímto účelem. Po jeho vyhodnocení a splnění kritérií může být zařízení certifikováno. Stroj, který tímto dostal Prohlášení o shodě (CE) se považuje za bezpečné a je možno ho nabízet na území Evropské unie a i v ostatních státech, kde jsou tyto kritéria vyžadována.

Při analýze nového strojního zařízení je vždy nutné toto zařízení dostatečně popsat, vytvořit schéma důležitých komponent a interakcí, identifikovat nebezpečí, odhadnout jejich velikost, zhodnotit a uvést určitou nápravu pro snížení. Výsledkem musí být písemná zpráva, která se přikládá spolu s ostatní dokumentací k danému stroji [11] [12].

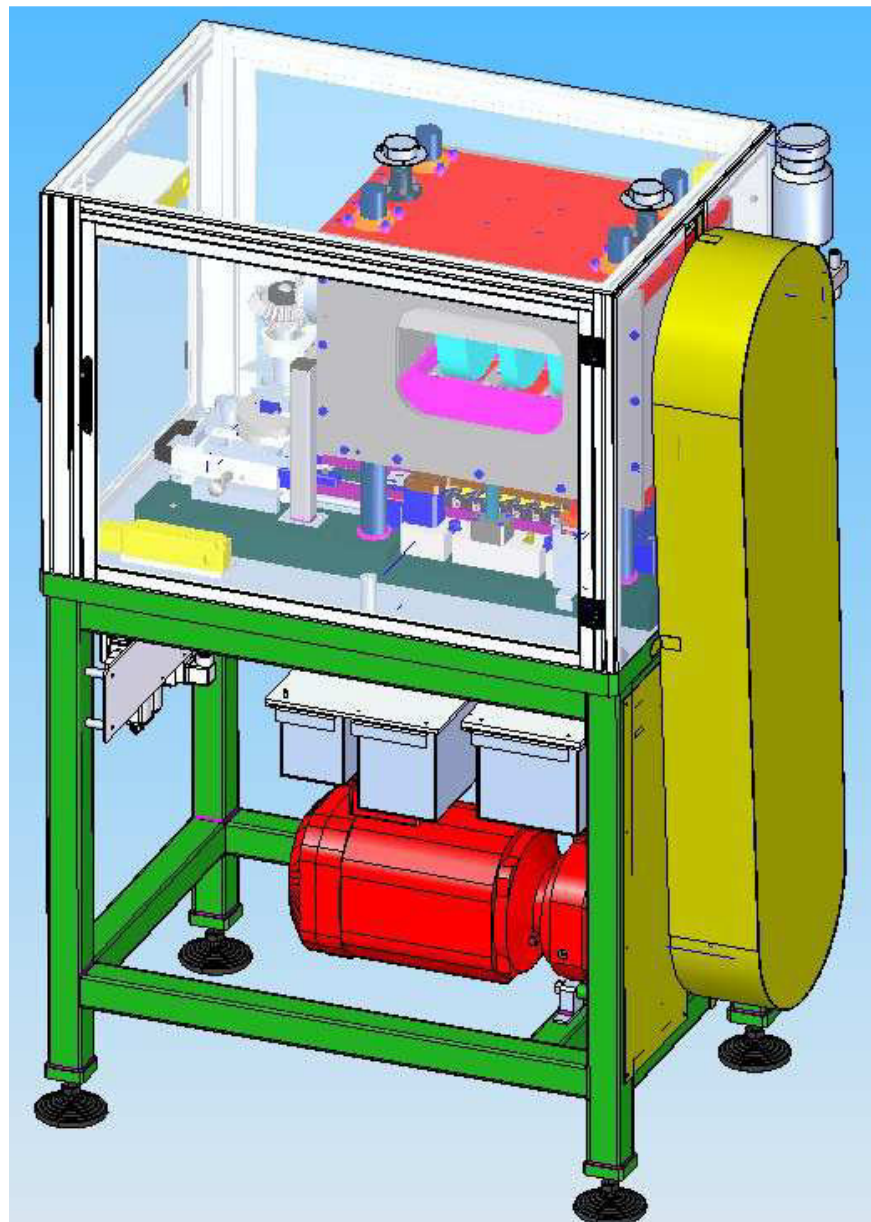


Obr. 37: Systém managementu rizik. [11]



## 9.1 ZÁKLADNÍ POPIS

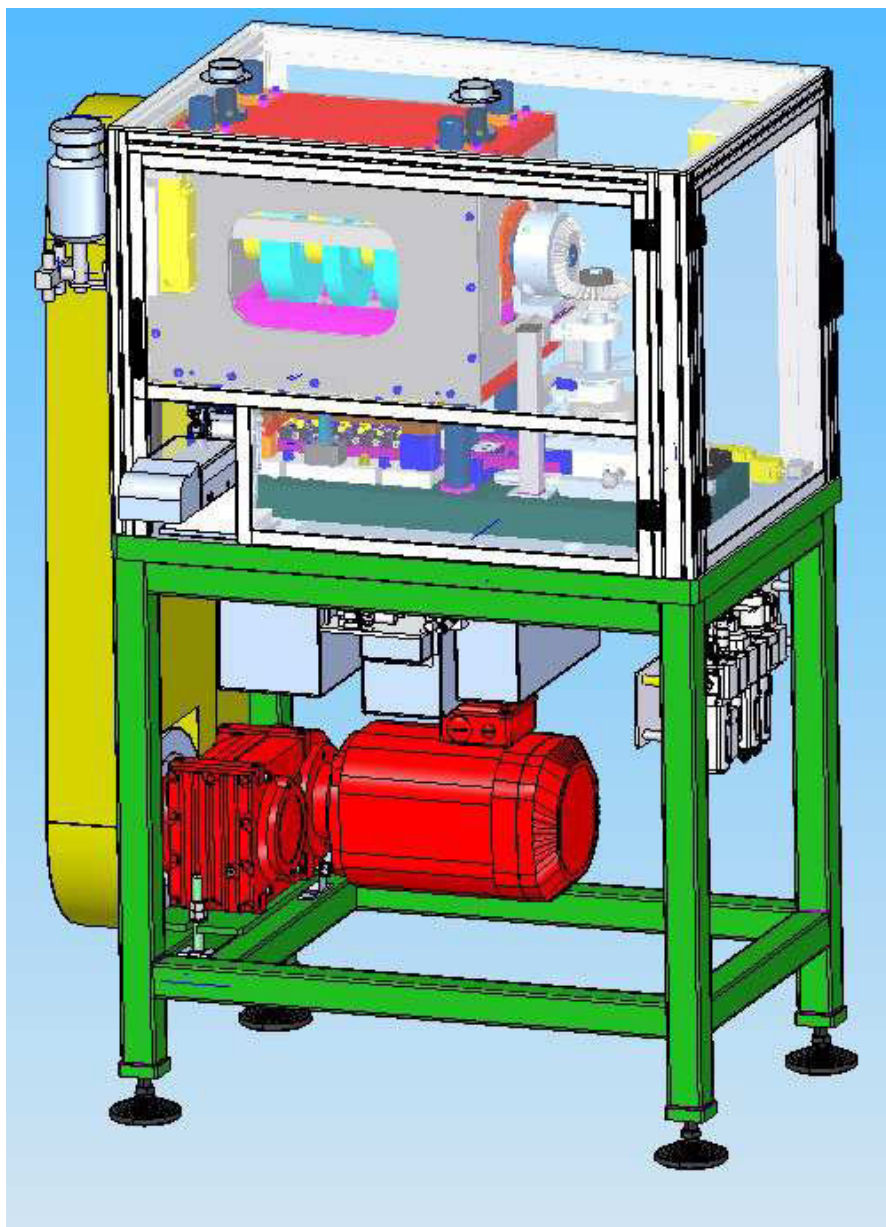
Jednouúčelový stroj na tažení nerezové dutinky je určen k výrobě nerezových dutinek postupovým tvářecím nástrojem z nerezového pásu. Stroj se skládá z několika hlavních částí. Základem je motor, který je hlavní hnací a tvářecí silou. Ten je spojen pomocí řemenic (řemenový převod) s vačkovou hřídelí. Vačková hřídel se nachází ve skříni, která je pevně uchycena k základnímu rámu stroje na čtyřech sloupech. Vačková hřídel je uložena ve skříni na ložiskových domcích, která se při chodu pohybuje ve vertikálním směru a na ní je uchycena pracovní a dvě zpětné vačky. Pracovní vačka vytváří hlavní tvářecí sílu, zpětné vačky vytahují skříň zpět nahoru. Do prostoru mezi skříň a rám stroje (pracovní prostor) je vložen postupový tvářecí nástroj.



Obr. 38: Pohled na stroj.



Vačková hřídel je dále vyvedena a pomocí ozubeného převodu je využit krouticí moment na pohyb transferu. Transfer přesouvá jednotlivé rozpracované dutinky do následných poloh. Transfer je ovládán také vačkou pro přesný chod, aby se zamezilo nesprávnému pohybu.



Obr. 39: Pohled na stroj.

Nerezový pásek je zaveden do nástroje pomocí podavače a následně i také mazán pro lepší tvářecí podmínky. Je zde využit samospádový mazací systém. Pod pracovním prostorem, ve spodu rámu, jsou umístěné boxy, kde dochází ke sběru odpadu a hotových výrobků – dutinek.



## 9.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY

Označení stroje	LTK
Délka	1033 mm
Šířka	833 mm
Výška	1454 mm
Váha	900 kg
Maximální pracovní takt	60 ks/min
Napájecí napětí	3x400 V 50Hz TNS
Ovládací napětí	24 V DC
Maximální odběr	16 A
Instalovaný výkon	8 kVA
Pneumatický tlak na vstupu	6 bar

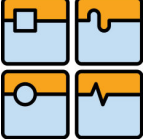
Tab. 7: Základní parametry jednoúčelového stroje.

- Vymezení používání:** JÚS smí používat pouze řádně vyškolená osoba.
- Vymezení prostoru:** V prostoru JÚS se smí vyskytovat pouze osoby řádně proškolené nebo jiné osoby, které jsou pod dozorem a zároveň seznámeny s vnitřními předpisy podniku.
- Vymezení doby:** JÚS je určen pro použití dle dané technologie tažení. Doba provozu není nijak omezena. Údržba musí být prováděna vždy na začátku a konci směny dle zadaných pokynů výrobcem.
- Ostatní vymezení:** JÚS je určen do vnitřních prostorů (např. hal). Pokud jsou nádoby na odběr dutinek, odstřížků a odpadu plné, je nutné tyto nádoby vysypat do sběrných boxů. Udržujte čistotu a bezpečnost na pracovišti. Není dovoleno jakkoliv manipulovat s bezpečnostními prvky.

## 9.3 BLOKOVÝ DIAGRAM STROJE

Blokový diagram strojního zařízení je znázorňující schéma celého zařízení po stránce logické stavby zobrazující všech nejdůležitějších skupin a prvků.



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 83
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 9.4 IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ

Harmonizované normy nám ukládají povinnost vyvíjet a konstruovat stroje dle pravidel a doporučení, které eliminují rizika a následně i případné nehody. Identifikace nebezpečí je rozpoznání a definování jednotlivých nebezpečí, které jsou vytvářeny v konkrétním systému konkrétním zdrojem nebezpečí. Jedná se o systematickou identifikaci nebezpečí, které lze předpokládat na základě funkce stroje (systému) ve všech jeho fázích života. Mezi jednotlivé životní fáze jsou považovány: Nakládka, doprava, vykládka, instalace, uvedení do provozu, provoz, vyřazení, likvidace. Je nutné v každé fázi identifikovat dané nebezpečí, které se dají předpovídat správným, ale i nesprávným použitím stroje. K tomuto nám slouží blokový diagram a dané normy: ČSN EN ISO 14121-1, ČSN EN ISO 12100-1 a ČSN EN ISO 12100-2.

## 9.5 ODHAD RIZIKA

Po identifikaci jednotlivých nebezpečí, je nutné provést jejich odhad rizika. K tomuto nám dle normy slouží tzv. Prvky rizika. Při odhadu jednotlivých rizik by měl být brán zřetel i na hlediska týkající se lidské činnosti spojené se zařízením: nevhodné ustrojení, ochranné pomůcky, nedodržení příkazů, atd.

## 9.6 ZHODNOCENÍ RIZIKA

Zhodnocení rizika vychází z předešlých dvou bodů. Provádí se pomocí metody tří kroků. Pokud je výsledkem tohoto zhodnocení fakt, že bezpečnost je nedostatečná, pak se musí dané riziko dále snižovat na vhodnou míru. Jestli se při další analýze objeví nové nebezpečí, je nutné toto nebezpečí zapsat a dále ho zařadit do seznamu s následným jeho odhadem a zhodnocením.



## 10 ZHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ JÚS

### 10.1 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

Jednoučelový stroj po technické stránce odpovídá zadání. Je možno ho přepínat mezi jednotlivými režimy a umožňuje výrobu výtažku dle zvoleného technologického postupu. Při provozu je nutno ho připojit na elektrickou síť a zdroj stlačeného vzduchu. Je nutno ho opatřit o odvíječ vstupního nerezového pásku.



Obr. 41: Foto sestavený prototypový stroj.



Při montáži jednotlivých skupin bylo nutno zodpovědně slícovat vodící sloupy se základní deskou tak, aby skříň (beran stroje) se nikde nepřičil a jeho chod byl klidný. Toto bylo na výkresech poznačeno hodným tolerováním. Všechny důležité díly byly opatřeny kolíky, aby bylo docíleno co nejpřesnější montážní polohy. Při dokončení této konstrukce a zabudování vyrobených vaček proběhla zabíhací zkouška. Při této zkoušce se zapojil motor a pomocí řemenového převodu se uvedla do provozu vačková hřídel. Vačky pohybovaly skříň a kontrolovalo se, jestli nedochází někde k zadírání a zároveň zde docházelo ke kontrole celého mechanismu. Tato zkouška trvala několik hodin a výsledkem byla praktická zkouška mechanismu pohonu nástroje.

Při dokončení montáže bylo nutno přesně nastavit pohyb transferu vůči pohybu beranu. K tomuto byl transferový systém opatřen stavěcími šrouby, které umožňovali doladění přesnosti dojíždění do jednotlivých poloh nástroje. Samotné tempo pohybu zde udávala další vačka a to transferová. Jako při ustavení hlavních vaček, tak i zde se pak provedla zabíhací zkouška (bez nástroje).

Při prvním zkušebním provozu bylo nutno ručně dobrousit rozměry a tvary čelistí, aby docházelo k přesnému a jistému přenesení částečných dutinek. Toto samotné se týkalo zároveň i nástroje, kde se broušením dokončovaly rozměry tak, abychom se výsledně dostaly na požadované rozměry. Z tohoto důvodu, a zároveň i ekonomického, se materiál tažníků a tažnic volil z klasické nástrojové oceli (19573). Po konečném tvaru a zkouškách životnosti se materiál změnil pro dosažení lepších parametrů (viz. kapitola 5.4.)



Obr. 42: Foto vyrobených zkušebních výtažku na stroji.

Stroj je konstruován a splňuje bezpečnostní požadavky kladené na danou technologii a způsob práce. Stroj se jeví jako plně schopný trvalého provozu. Jedná se však o vývojovou konstrukci jednoúčelového stroje v podmínkách firmy, kterou je nutno prověřit déle trvajícím zkušebním provozem, při kterém budou v budoucnu odstraněny další nedostatky, které možno vznikly v různé fázi jeho vývoje a výroby. S přibývajícím časem a zkušenostmi je možno stroj obohatit o další prvky, pro zlepšení určitých parametrů stroje.

Celkově se dá stroj hodnotit jako konkurence schopný.

## 10.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při ekonomickém zhodnocení je nutno zahrnout co nejvíce informací, které jsou dostupné a pokud některé nejsou, je důležité, je vhodně předpokládat. Cena vyvíjeného jednoúčelového stroje je cca 3 600 000kč včetně jednoho nástroje. Jak již bylo zmíněno, pro správnou funkci stroje je nutno zakoupit ještě přídavné zařízení k odvíjení nerezové pásky jako vstupního polotovaru. Vstupní polotovar je dodáván ve formě kruhového návinu, který stojí přibližně 5 000kč a je možno z něj vystříhnout maximálně 50 000ks přístřihů.

Je nutno zahrnout do výpočtů obsluhu, která se bude starat o chod stroje a udržovat nástroj v takovém stavu, aby finální výrobky odpovídaly požadavkům (tj. ostřit, leštit, výměna opotřebovaných dílů). Budeme předpokládat dvousměnný provoz.

Cena elektrické energie a spotřeba vzduchu nebude v tomto rozboru počítána. Jedná se pouze o rámcový nástin ekonomického zhodnocení.

V tomto ekonomické zhodnocení budeme porovnávat, jestli je výhodné tento stroj kupovat a vyrábět si dané výtažky nebo je nakupovat od dodavatele. Pokud ano, za jak dlouho se nám investice do technologie vrátí. Dále určíme, jestli je vhodné při výrobě využít dvojice nástrojů nebo postačí pouze jeden.

Pro toto zhodnocení vycházíme z těchto údajů a předpokladů:

Cena stroje	3 600 000 Kč
Cena odvíječe	900 000 Kč
Cena nástroje	400 000 Kč
Měsíční plat obsluhy	20 000 Kč
Cena nakupovaného výtažku od dodavatele	2,5 Kč/ks

Abychom mohli porovnávat výsledky, je nutno si zavést určitou společnou hodnotu. Jelikož budeme porovnávat s cenou, za jakou lze výtažek nakoupit, je nutno naše náklady také vyčíslit v ceně za jeden výtažek.

### Přepočet vstupního materiálu na přístřih:

$$m_p = \frac{5000}{50000} \qquad m_p = 0,1 \text{ Kč} / \text{ks}$$

Mezi pravidelné měsíční náklady patří samozřejmě plat obsluhy, která na stroji pracuje. Tato osoba zodpovídá za doplňování materiálu, ostří nástroje, provádí údržbu a kontroluje rozměry tažených dutinek. Jelikož při údržbě nástrojů dochází k jejich opotřebování a nutností je měnit za nové, zavedeme zde i další



pravidelnou měsíční položku a to je  $n_o$ . Tato položka nám udává předběžné náklady na nákup nových nástrojů, atd.

Pro tento přepoččet je také nutno zjistit maximální počet dutinek, které je možno vyrobit za jeden měsíc, abychom ho mohly dokončit. Předpokládáme, že měsíc má 20 pracovních dnů. Směna trvá 7,5 hodiny. Pracovní takt stroje je znám, 60 ot/min.

#### Počet dutinek vyrobených za jeden měsíc (dvousměnný provoz):

$$x_{mesic} = 20dnu \cdot (2 \cdot 7,5hod \cdot 60 \cdot 60ot / min)$$

$$x_{mesic} = 20dnu \cdot (2 \cdot 450 min \cdot 60ot / min)$$

$$x_{mesic} = 1080000 ks$$

#### Přepoččet pravidelných měsíčních nákladů na přístřih:

$$n_o = 100000 kč, n_{obsluha} = 20000 kč$$

$$m_v = \frac{n_o + 2 \cdot n_{obsluha}}{x_{mesic}} \quad m_v = \frac{100000 + 2 \cdot 20000}{1080000}$$

$$m_v = 0,13kč / ks$$

Je pravděpodobné, že při navádění nového polotovaru a nastavování nové výroby budou nastávat nejen prostoje, ale i vznikat nedokonalé výtažky, tj. zmetky. Tyto zmetky budou zároveň i vznikat při snižování životnosti nástroje na minimum (toto bude impulsem pro údržbu nástroje). Proto bude zaveden koeficient zmetkovitosti, který umožní simulovat nepřesnosti ve výrobě.

$$q_z = 0,1 \quad \dots \text{koeficient zmetkovitosti při výrobě}$$

$$x_v \quad \dots \text{počet výtažků (dutinek)}$$

#### Vzorec nákladů při výrobě jedním nástrojem:

$$n_{1n} = (n_{stroj} + n_{odvijec}) + (1 + q_z) \cdot (m_p + m_v) \cdot x_v$$

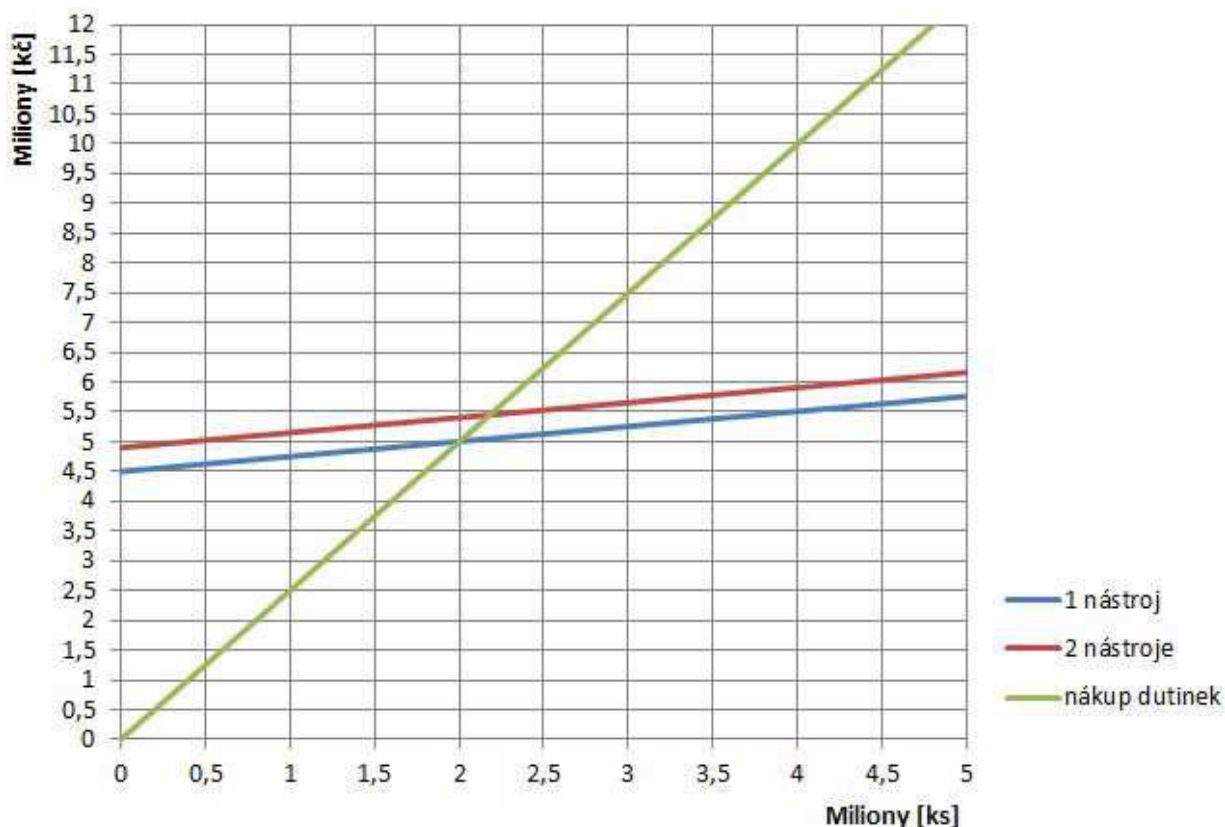
#### Vzorec nákladů při výrobě dvěma nástroji:

$$n_{2n} = (n_{stroj} + n_{odvijec} + n_{nastroje}) + (1 + q_z) \cdot (m_p + m_v) \cdot x_v$$

Z výše uvedených vzorců se vytvoří graf hodnot, závislosti ceny výtažků na jejich počtu. Z tohoto grafu je patrné, že nákup výtažků od dodavatele se vyplatí pouze v případě, pokud hodláme tyto výtažky dále zpracovávat v maximálním množství okolo 2 000 000 kusů. Po překročení tohoto počtu se vyplácí varianta nákupu



navrženého jednoúčelového stroje. Z tohoto grafu nevyplývá, jestli je vhodnější varianta s jedním nástrojem nebo dvěma.



Obr. 43: Porovnání nákladů.

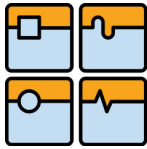
Pro naše další výpočty si zavedeme koeficienty vytíženosti směny.

Koeficient vytíženosti směny je opravný koeficient, který je zaveden pro učení přímého času při kterém stroj vyrábí. Tento koeficient se odvíjí nepřímo úměrně od vedlejších výrobních a nevýrobních časů (např. nastavování a zavádění polotovaru, broušení nástroje, údržba, atd.). Je logické, že tento koeficient bude záviset na nástroji. Pokud bude výroba vlastnit dva a více nástrojů, je možné snížit vedlejší časy na minimum a zvýšit tak koeficient na maximum. To znamená, že pokud je nutná údržba na nástroji, je vyjmut ze stroje. Nahrazen druhý nástroj, který začne vyrábět a obsluha může v tomto čase provést na původním nástroji údržbu.

Jednotlivé hodnoty vytíženosti lze získat při samotné výrobě. Zde jsou voleny:

$q_I = 0,7$  .. koeficient vytíženosti při použití jednoho nástroje

$q_{II} = 0,9$  .. koeficient vytíženosti při použití dvou nástrojů



**Vzorec pro výpočet počtu vyrobených výtažku jedním nástrojem:**

$$x_v = t_{\min} \cdot 60 \text{ot} / \text{min} \cdot q_I \cdot (1 - q_z)$$

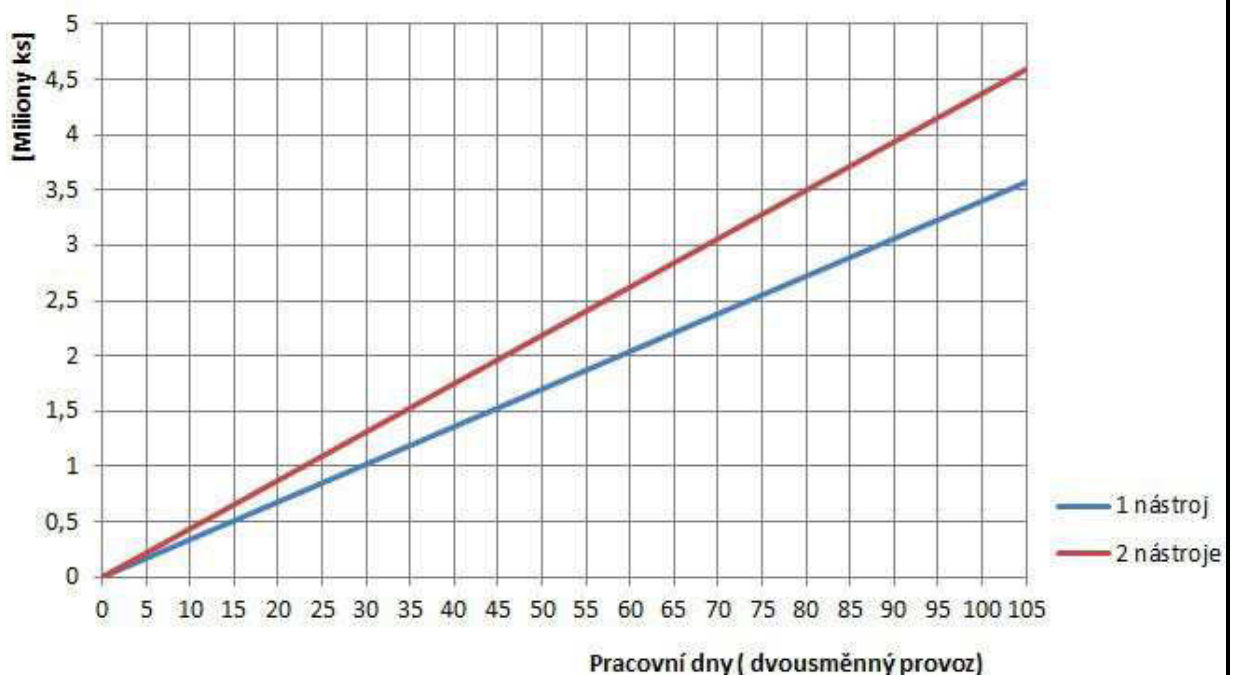
$t_{\min}$  .. čas v minutách

**Vzorec pro výpočet počtu vyrobených výtažku dvěma nástroji:**

$$x_v = t_{\min} \cdot 60 \text{ot} / \text{min} \cdot q_{II} \cdot (1 - q_z)$$

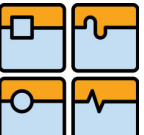
Při vytvoření dalším použití těchto dvou vzorců, je možno vytvořit graf počtu vyrobených výtažků v závislosti na čase. Níže je ukázán takovýto graf. Vodorovná osa, je zde pro lepší přehlednost uvedena v jednotkách dnů místo minut.

Tento graf nám ukazuje, že při použití dvou nástrojů je výroba výtažků více efektivní.



Obr. 44: Počet vyrobených kalíšků (výtažků) v závislosti na pracovních dnech.

Celkově lze říci, že nákup jednoúčelového stroje pro tažení výtažku z nerezového pásku má smysl pouze tehdy, pokud je plánována výroba v řádech milionů kusů (více jak 2 200 000 kusů). Je vhodné pak volit variantu minimálně dvou nástrojů pro zlepšení efektivity výroby. Sloučením těchto dvou grafů lze i vyhodnotit návratnost nákupu celé této technologie. Ta bude přibližně za 100 dní, tj. do 4 měsíců.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 90
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 11 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout v podmínkách ČR zcela nové řešení jednoúčelového stroje dle zadání, určeného pro výrobu technologické součástky „kalíšek“, která je zadána výkresem. Práce se skládá ze dvou částí. Rešeršní a praktické.

Rešeršní část pojednává o vzniku dané technologie ve světě a následně i na území dnešní ČR. Je zde vidět, že technologie obecného tváření, a především tažení, má budoucnost a je hojně v dnešním světě využívána, jelikož jsou součásti, které nelze nijak jinak vyrobit než použitím právě této technologie (např. zmiňovaná nábojnice).

Tato technologie má i vysoké procento využitelnosti materiálu, což je velice žádáno, protože dnešní nároky na ekonomické zhodnocení výrobků a celých technologií jsou vysoké. Poukazuje se zde i na jednotlivé požadavky, které je nutno zohlednit a brát v úvahu při použití tažení v praxi.

Praktická část obsahuje seznámení se zadáním a jeho rozbohem dle poznatků, které byly zmíněny v rešeršní části a byly dosaženy studiem a praxí.

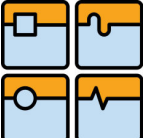
Je navržen technologický postup výroby a s tím spojený nástroj. Nástroj je postupového charakteru, který lze vyjmout z celého stroje. Následně zde byly provedeny technologické výpočty pro určení jednotlivých tažných operací, výpočet sil, výpočet rozměrů, atd. Tyto výpočty a zjištění jsou nedílnou součástí každé konstrukce nového nástroje.

Dále byl proveden rozbor možného použití stroje, na kterém bude daná součástka vyráběna. Z rozboru vyplynulo, že bude provedena konstrukce nového jednoúčelového stroje, který pracuje na vačkovém principu. Byly provedeny základní výpočty, pro splnění technický požadavků. Jelikož se jedná o velký projekt a nebylo zde mnoho prostoru pro detailní rozebrání, je zde ukázán alespoň daný postup při volbě jednotlivých komponent a skupin.

Stroj je konstruován jako automatický a plně vyhovuje zadání. Je vybaven bezpečnostními prvky tak, aby bylo sníženo co nejvíce riziko zranění. V závěru byla provedena analýza rizik, která je v dnešní době nedílnou součástí každého návrhu stroje a lze ji najít v příloze.

Tato práce se stala podkladem pro samotnou výrobu daného jednoúčelového stroje. Projekt byl technicky zpracován ve společnosti TES Vsetín s.r.o., divize Electric drives. Je zde uvedena i fotodokumentace vyhotovených kusů výrobku, která potvrzuje, že daný problém byl řešen komplexně a byl realizovatelný.

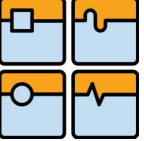
Výsledkem je vznik prototypového jednoúčelového stroje, který je schopen technologicky vyrobit součást dle zadání a umožňuje i jeho další použití. Jeho maximální pracovní takt je 60 ks/min, který je možno při přepnutí snížit na 30 ks/min

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 91
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

nebo 10 ks/min. Návratnost zařízení při 2 směnném zatížení se pohybuje cca do 4 měsíců, což ukazuje na velice produktivní výrobu.

Jak již je zmíněno, jedná se o prototyp, který je nutno nadále dostatečně odzkoušet, vyhodnotit a po případě upravit během provozu. Toto však nebylo v této fázi bodem řešení.



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 92
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 12 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] KAMELANDER, I.: *Tvářecí stroje I*, Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1989, 206 s., ISBN 80-214-1037-X
- [2] KAMELANDER, I.: *Tvářecí stroje II*, Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1989, 341 s., ISBN 80-214-1038-8
- [3] TIŠNOVSKÝ, M. MÁDLE, L.: *Hluboké tažení plechu na lisech*, Praha: SNTL, 1990, 200 s., ISBN 80-03-00221-4
- [4] DRASTÍK, F. ELFMARK, J. a kol.: *Plastometry a tvařitelnost kovů*, Praha: SNTL, 1977, 392 s.
- [5] KOVÁČ, A. JENKUT, M.: *Tvárníace stroje*, Alfa, 1978, 816 s.
- [6] RUDOLF, B. KOPECKÝ, M. a kol.: *Tvářecí stroje Základy stavby a využití*, Praha: SNTL, 1985, 612 s., ISBN 04-231-85
- [7] MARCINIÁK, Z.: *Teorie tváření plechů*, Praha: SNTL, 1964, 260 s., ISBN 04-275-64
- [8] RUDOLF, B. KOPECKÝ, M.: *Tvářecí stroje*, Praha: SNTL, 1982, 408 s., ISBN 04-229-82
- [9] ČSN 21 200, NÁZVOSLOVÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ, Československá norma
- [10] *Lisování*, Praha: SNTL, 1971, 544 s., ISBN 04-234-71
- [11] MAREK, J.; BLECHA, P.; MAREČEK, J.; KRČÁLOVÁ, E.: *Management rizik v konstrukci výrobních strojů*, Speciální vydání, MM Publishing, s.r.o., Praha, 2009, 90 s., ISSN 1212-2575
- [12] Firemní materiály, TES Vsetín s.r.o.
- [13] <http://www.tyma.cz/>
- [14] FOREJT, M.: *Teorie tváření*, Brno: CERM, 2004, 167 s., ISBN 80-214-2764-7
- [15] SHIGLEY E., J. MISCHKE R., Ch. BUDYNAS, G., R.: *Konstruování strojních součástí*, Brno: VUTIUM, 2010, ISBN 978-80-214-2629-0



### 13 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$d_v$	vnitřní průměr dutinky	[mm]
$d_{v1}$	vnější průměr dutinky	[mm]
$d_{v2}$	vnější průměr dutinky s lemem	[mm]
$tl_1$	tloušťka dna dutinky	[mm]
$tl_2$	tloušťka stěny dutinky	[mm]
$tl$	tloušťka nerezového pásku	[mm]
$v_1$	výška lemu	[mm]
$v_2$	výška dutinky bez lemu	[mm]
$v_c$	celková výška kalíšku	[mm]
$V_{v\_t}$	přibližný výpočet objemu dutinky	[mm <sup>3</sup> ]
$V_p$	objem polotovaru	[mm <sup>3</sup> ]
$D_{p\_t}$	přibližný výpočtový průměr přístřihu	[mm]
$V_V$	objem dutinky za použití 3D softwaru	[mm <sup>3</sup> ]
$D_p$	průměr přístřihu	[mm]
$D$	průměr přístřihu s přídavkem	[mm]
$D_v$	skutečný průměr přístřihu	[mm]
$a_p$	šířka vstupního pásku	[mm]
$V_{sk}$	skutečný objem přístřihu	[mm <sup>3</sup> ]
$M_1$	koeficient tažení 1. tahu	[-]
$M_2$	koeficient tažení 2. tahu	[-]
$M_3$	koeficient tažení 3. tahu	[-]
$M_C$	celkový koeficient tažení	[-]
$d_1$	průměr výtažku po 1. tahu	[mm]
$d_2$	průměr výtažku po 2. tahu	[mm]
$d_3$	průměr výtažku po 3. tahu	[mm]
$l_1$	výška výtažku po 1. tahu	[mm]
$l_2$	výška výtažku po 2. tahu	[mm]
$l_3$	výška výtažku po 3. tahu	[mm]
$\sigma_{pt}$	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$F_{t1}$	tažná síla na 1. tahu	[N]
$F_{t2}$	tažná síla na 2. tahu	[N]
$F_{t3}$	tažná síla na 3. tahu	[N]
$F_t$	celková tažná síla	[N]
$R_{max}$	redukce průměru při tažení	[%]
$a$	přídavek pro odstřížení nerovných krajů	[%]
$k_o$	koeficient otupení nástroje	[-]

$k_n$	koeficient zaplnění diagramu	[-]
$F_{s1}$	střížná síla pro vystřížení výstřížku	[N]
$F_{s2}$	střížná síla pro odstřížení přebytečného materiálu	[N]
$F_{s3}$	střížná síla pro stříh zbylého pásku	[N]
$F_s$	celková střížná síla	[N]
$k_n$	koeficient zaplnění diagramu	[-]
$A_{t1}$	potřebná práce na 1. tah	[J]
$A_{t2}$	potřebná práce na 2. tah	[J]
$A_{t3}$	potřebná práce na 3. tah	[J]
$A_t$	potřebná práce na všechny tahy	[J]
$A_{s1}$	střížná práce při vystříhnutí přístříhu	[J]
$A_{s2}$	střížná práce při odstříhnutí přebyt. materiálu	[J]
$A_{s3}$	střížná práce při odstříhnutí zbytku	[J]
$A$	celková potřebná práce	[J]
$r_{kl}$	délka ramene kliky	[mm]
$l_{kl}$	délka ojnice	[mm]
$\omega_1$	úhlová tvářecí rychlost	[rad · s <sup>-1</sup> ]
$n_1$	pracovní otáčky stroje	[min <sup>-1</sup> ]
$x_{kl}$	okamžitá dráha v závislosti na natočení kliky	[mm]
$v_{kl}$	okamžitá rychlost v závislosti na natočení kliky	[m · min <sup>-1</sup> ]
$a_{kl}$	okamžité zrychlení v závislosti na natočení kliky	[m · s <sup>-2</sup> ]
$h_{\%}$	využitelnost materiálu	[%]
$S_o$	celková plocha výstřížků	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	plocha pásu plechu	[mm <sup>2</sup> ]
$L_{pd}$	délka podání	[mm]
$m_p$	vstupní materiál přepočtený na 1 přístřih	[kč · ks <sup>-1</sup> ]
$m_v$	měsíční náklady přepočtené na 1 přístřih	[kč · ks <sup>-1</sup> ]
$x_v$	počet výtažků	[ks]
$x_{mesic}$	počet výtažků za měsíc	[ks]
$n_o$	měsíční náklady na opotřebení	[kč]
$n_{obsluha}$	měsíční náklady na obsluhu	[kč]
$n_{1n}$	náklady při výrobě 1 nástrojem	[kč]
$n_{2n}$	náklady při výrobě 2 nástroji	[kč]
$t_{min}$	čas	[min]
$q_z$	koeficient zmetkovitosti	[-]
$q_I$	koeficient vytíženosti směny s jedním nástrojem	[-]
$q_{II}$	koeficient vytíženosti směny s dvěma nástroji	[-]
$\eta_{rp}$	účinnost řemenového převodu	[-]



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$P_{\max}$	maximální potřebný výkon pro vačky	[W]
$P_2$	požadovaný výkon motoru	[W]
$k_o$	koeficient bezpečnosti motoru	[-]
$P_1$	vypočtený výkon motoru	[W]
$P$	zvolený výkon	[W]
$Mk$	kroučící výstupní moment motoru	[Nm]
$n_1$	otáčky vačkové hřídele	[min <sup>-1</sup> ]
$n_2$	výstupní otáčky z převodového motoru	[min <sup>-1</sup> ]
$\omega_1$	úhlová rychlost vačkové hřídele	[rad · sec <sup>-1</sup> ]
$\omega_2$	úhlová rychlost z převodového motoru	[rad · sec <sup>-1</sup> ]
$D_1$	průměr hnané řemenice	[mm]
$D_2$	průměr hnací řemenice	[mm]
$i$	převodový poměr řemenového převodu	[-]
$v_o$	obvodová rychlost řemene	[m · sec <sup>-1</sup> ]
$A_{wp}$	předběžná osová vzdálenost	[mm]
$L_w$	výpočtová délka řemene	[mm]
$L_p$	zvolená délka řemene	[mm]
$L_i$	vnitřní délka řemene	[mm]
$A_w$	skutečná osová vzdálenost	[mm]
$A_{\min}$	osová vzdálenost pro nasazení řemenů	[mm]
$\beta$	úhel opásání hnací řemenice	[°]
$c_1$	součinitel úhlu opásání	[-]
$c_2$	součinitel provozního zatížení	[-]
$c_3$	součinitel délky klínového řemene	[-]
$P_r$	hodnota výkonu na jeden řemen	[W]
$z_p$	potřebný počet řemenů	[ks]
$z$	skutečný počet řemenů	[ks]
$f$	ohybová frekvence	[Hz]
$\Delta F$	rozdíl sil v napjaté a ochablé části řemene	[N]
$F_1$	síla v napjaté části řemene	[N]
$F_2$	síla v ochablé části řemene	[N]
$F_u$	počáteční předpětí řemene	[N]
$F_{uc}$	celkové předpětí řemenového převodu	[N]
$k$	součinitel bezpečnosti řemenového převodu	[-]
$d_r$	průměr hřídele pro uchycení hnané řemenice	[mm]
$p_D$	dovolený tlak v drážce pera	[MPa]
$p$	vypočtený tlak v drážce pera	[MPa]
$l_p$	délka pera	[mm]
$h_p$	výška pera	[mm]

$b_p$	šířka pera	[mm]
$t_1$	výška části pera v řemenici	[mm]
$\tau_K$	vypočtené napětí v krutu hřídele	[MPa]
$\tau_{DK}$	dovolené napětí v krutu hřídele	[MPa]
$W_K$	kvadratický průřez hřídele	[mm <sup>3</sup> ]
$F_{t\max}$	uvažovaná maximální síla	[N]
$F_{r\max}$	uvažovaná max. síla při zvedání beranu	[N]
$F_{RA1}$	radiální reakce v podpoře A	[N]
$F_{RA2}$	radiální reakce v podpoře A	[N]
$F_{RB1}$	radiální reakce v podpoře B	[N]
$F_{RB2}$	radiální reakce v podpoře B	[N]
$M_{oA}$	ohybový moment v podpoře A	[Nm]
$M_{oA}$	ohybový moment v podpoře A	[Nm]
$M_{oB}$	ohybový moment v podpoře B	[Nm]
$M_{oFt1}$	ohybový moment v místě působení $\frac{F_{t\max}}{2}$	[Nm]
$M_{oFt2}$	ohybový moment v místě působení $\frac{F_{t\max}}{2}$	[Nm]
$M_{oFr\max}$	ohybový moment v místě působení $F_{r\max}$	[Nm]
$M_{o\max}$	maximální ohybový moment	[Nm]
$M_{o\min}$	minimální ohybový moment	[Nm]
$M_{k\max}$	maximální krouticí moment	[Nm]
$M_{k\min}$	minimální krouticí moment	[Nm]
$d_k$	kontrolovaný průměr hřídele	[mm]
$D_k$	kontrolovaný průměr hřídele	[mm]
$r_k$	kontrolovaný rádius přechodu	[mm]
$\beta_\sigma$	součinitel vrubu při ohybu	[-]
$\alpha_\sigma$	součinitel tvaru při ohybu	[-]
$\beta_\tau$	součinitel vrubu při krutu	[-]
$\alpha_\tau$	součinitel tvaru při krutu	[-]
$\sigma_{Co}$	mez únavy v ohybu za rotace	[MPa]
$\sigma'_{Co}$	korigovaná mez únavy	[MPa]
$k_a$	součinitel vlivu jakosti povrchu	[-]
$k_b$	součinitel vlivu velikosti tělesa	[-]
$k_c$	součinitel vlivu způsobu zatěžování	[-]
$k_d$	součinitel vlivu teploty	[-]
$k_e$	součinitel spolehlivosti	[-]
$k_f$	součinitel zahrnující další vlivy	[-]

$k_u$	součinitel bezpečnosti k meznímu stavu únavy	[-]
$C_r$	základní dynamická radiální únosnost	[N]
$C_{0r}$	základní statická radiální únosnost	[N]

## 14 SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres: Výrobek
2. Výkres: DP12-00-00-D01 Hnaná řemenice
3. Výkres: DP12-30-01-D215 Matrice II. tah
4. Výkres: DP12-30-01-D324 Tažník II. tah
5. Výkres: DP12-54-09-A01 Transferové lišty
6. Výkres: DP12-54-09-D386 Čelist 1. Poloha
7. Výkres: DP12-30-00-A01 Nástroj
8. Protokol o stanovení a omezení rizik DP\_LTK
9. Formuláře pro odhad určitých rizik DP\_LTK
10. Výpočet životnosti ložisek TDS-TECHNIK
11. Jednotlivé pohledy na celkový stroj LTK