



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

# Ústav konstruování a částí strojů

Návrh poloautomatické montážní stanice konektoru s O-kroužkem

Design of semiautomatic assembly of connector with O-ring

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Marek NOHÁČ

<b>Studijní program:</b>	Strojní inženýrství
<b>Studijní obor:</b>	Dopravní, letadlová a transportní technika
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Jiří Mrázek Ph.D.

## Prohlášení

Tato práce byla vypracována na Ústavu konstruování a částí strojů Českého vysokého učení technického v Praze v období od července 2016 do června 2017.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh poloautomatické montážní stanice konektoru s O-kroužkem* pod vedením *Ing. Jiřího Mrázka Ph.D.* vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých autorských zákonů.

Souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne .....

.....

## **Poděkování**

Velké poděkování patří mé rodině za podporu v celém průběhu studia na vysoké škole. Rád bych jim touto cestou také poděkoval za připomínky k práci a čas strávený nad gramatickou úpravu práce. Vřelé poděkování pak patří především panu Ing. Martinu Zrůstkovi za obětavé a cílevědomé vedení práce nejen při častých konzultacích, ale i v průběhu letní praxe ve firmě, kde mi předal mnoho zkušeností a poznatků. V neposlední řadě patří poděkování panu Ing. Jiřímu Mrázkovi Ph.D. za vedení práce a věcným připomínkám k diplomové práci.

## Anotační list

Jméno autora:	<b>Marek NOHÁČ</b>
Název DP:	<i>Návrh poloautomatické montážní stanice konektoru s O-kroužkem</i>
Anglický název:	<i>Design of semiautomatic assembly of connector with O-ring</i>
Rok:	2017
Studijní program:	<i>Strojní inženýrství</i>
Ústav:	<i>Ústav konstruování a částí strojů</i>
Vedoucí DP:	<i>Ing. Jiří Mrázek Ph.D.</i>
Konzultant:	<i>Ing. Martin Zrůstek</i>
Bibliografické údaje:	počet stran 85
	počet obrázků 50
	počet tabulek 9
	počet příloh 5
Klíčová slova:	<i>Poloautomatická montážní stanice, lisování, O-kroužek, bezpečnost, automatizace, konektor, návrh konstrukce, metodika měření času MTM, MANN+HUMMEL</i>
Keywords:	<i>Semi-automatic assembly station, pressing, O-ring, safety, automatization, connector, design of the construction, method time measurement MTM, MANN+HUMMEL</i>

## **Anotace**

Lisování zaujímá ve strojírenství podstatnou část spojení součástí především z důvodu jeho nízké ceny a možností vysokých přenosů sil a výkonů.

Teoretická část této práce je zaměřena na souhrn informací ohledně lisování, jeho kvality a možnosti řízení při lisování, a to především se zaměřením na součásti typu náboj-hřídel, ale i instalace O-kroužků do drážek a způsoby jejich výpočtu.

Úkolem praktické části práce je na základě získaných informací z norem o lisování a ze zadání požadavků zákazníka vytvořit návrhový model zařízení, na kterém by bylo možné provádět lisování O-kroužků na konektor a následné zalisování konektoru do tělesa.

## **Abstract**

Pressing occupies a significant part of the joining of parts in mechanical engineering, mainly due to its low price and high power transmission capabilities.

The theoretical part of the thesis focused on the summary of information on pressing, its quality and the possibilities of stamping, especially with focus on hub-shaft components, as well as installation of O-rings in the grooves and ways of their calculation.

The task of the practical part of the thesis is based on the obtained information from the standards of pressing and the requirements of the customer to create a design model of the device on which it is possible to perform the O-ring pressing on the connector and the subsequent pressing of the connector into the body.

## Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Lisování.....	2
2.1.	Způsoby uchycení konektoru.....	2
2.2.	Princip lisování.....	3
2.3.	Rozdělení lisů.....	3
2.4.	Výhody a nevýhody lisování.....	4
2.5.	Výpočet lisovaného spojení pro přenos krouticího momentu.....	4
2.5.1.	Lisování za studena [6].....	5
2.5.2.	Lisování za tepla [6].....	7
2.5.3.	Vytrhávací síla.....	8
2.6.	Normy pro lisovací zařízení.....	8
2.6.1.	ČSN EN ISO 12 100 [8].....	9
2.6.1.1.	Strategie posouzení rizika.....	9
2.7.	Bezpečnost tvářecích strojů.....	12
2.8.	Ergonomie při lisování.....	13
2.9.	Kvalita [12].....	13
2.9.1.	Nastavení dráhy a polohy.....	14
2.9.2.	Nastavení síly.....	14
2.9.3.	NOK díly.....	17
2.10.	DMX.....	17
2.11.	Servis a opravy.....	17
2.11.1.	Opotřebitelné díly.....	17
2.11.2.	Doporučené náhradní díly.....	18
3.	O-kroužky.....	19
3.1.	Výpočet montáže O-kroužku.....	19
3.2.	Zařízení pro montáž O-kroužků.....	20
3.2.1.	Ruční montáž.....	20
3.2.2.	Poloautomatická montáž.....	21
3.2.3.	Automatická montáž.....	21
3.2.4.	Montáž univerzálními sklíčidly.....	22
3.3.	Kvalita .....	22

3.3.1.	Zaváděcí sražení.....	22
3.3.2.	Drsnost povrchu.....	23
3.4.	Výpočty instalace O-kroužků.....	24
3.4.1.	Výpočet uložení O-kroužku.....	24
4.	MTM (Measuring Time Method).....	27
4.1.	Historie [17].....	27
4.2.	Princip metody a její přínos [17].....	27
4.3.	Výpočet času.....	28
4.4.	Určení času obsluhy stanice.....	29
5.	Popis funkce stanice.....	30
5.1.	Charakteristika výrobku.....	30
5.2.	Charakteristika pracovní stanice.....	30
5.3.	Rozměr stanice.....	30
5.4.	Přípravek pro lisování O-kroužků.....	32
5.4.1.	Popis zařízení.....	33
5.5.	Přípravek pro lisování konektoru.....	35
5.5.1.	Uchycení tělesa.....	36
5.5.1.1.	Princip funkce.....	37
5.5.2.	Uchycení konektoru.....	37
5.5.3.	Lisování konektoru.....	37
5.6.	Mazání konektoru a děr v tělese pro konektor.....	39
5.6.1.	Popis zařízení.....	40
5.7.	Přidržování topných tělísek.....	40
5.7.1.	Princip funkce.....	41
5.8.	Šroubování konektoru.....	42
5.8.1.	Popis zařízení.....	42
5.9.	Rám stanice.....	46
5.10.	Bezpečnostní prvky stanice.....	47
5.10.1.	Lisování O-kroužků.....	47
5.10.2.	Lisování konektoru.....	47
5.10.3.	Tlačítko NOT AUS.....	47
6.	Výpočetní část.....	48

6.1.	Základní pojmy.....	48
6.1.1.	Nebezpečný pracovní prostor.....	48
6.1.2.	Pracovní prostor nástroje.....	48
6.1.3.	Tlačné místo.....	48
6.1.4.	Střížné místo.....	48
6.1.5.	Nebezpečné místo.....	48
6.2.	Stanovení potřebného času taktu stanice.....	49
6.3.	Velikost pohonu lisovacích jednotek.....	50
6.4.	Montáž O-kroužku na konektor.....	50
6.4.1.	Charakteristika O-kroužku.....	50
6.4.2.	Výpočet lisovací síly na O-kroužek [26].....	51
6.4.3.	Stanovení síly lisovacích kleštin.....	54
6.4.4.	Stanovení síly ve vedení.....	54
6.4.5.	Stanovení celkové síly pro nalisování O-kroužku.....	55
6.4.6.	Výpočet minimálního průměru lisovacího válce.....	55
6.5.	Volba potřebného pohonu pro přidržování topných tělísek.....	56
6.6.	Volba potřebného pohonu pro lisovací jednotku konektoru.....	57
6.6.1.	Charakteristika lisovaného spoje.....	57
6.6.1.1.	Materiál a rozměr konektoru.....	57
6.6.1.2.	Materiál a rozměr topného tělesa a nátrubku.....	57
6.6.2.	Výpočet lisovací síly na zalisování plechu [26].....	58
6.6.3.	Výpočet lisovací síly na zalisování O-kroužku [26].....	65
6.6.4.	Stanovení celkové síly.....	67
6.6.5.	Návrh lisovací jednotky.....	68
6.6.5.1.	Parametry ovlivňující lisovací sílu.....	68
6.7.	Analýza rámu lisovací jednotky.....	69
6.7.1.	Příprava modelu pro MKP analýzu.....	70
6.7.2.	MKP analýza.....	71
6.7.2.1.	Postup tvorby modelu.....	71
6.7.2.2.	Výsledky MKP analýzy.....	74
6.7.3.	Analytické ověření výsledku.....	77
6.7.3.1.	Výpočet průhybu prutu.....	77



6.7.3.2.	Výpočet hodnoty napětí v prutu.....	80
6.7.4.	Zhodnocení výsledků analytické metody a metody MKP.....	82
7.	Zhodnocení konstrukce.....	83
8.	Závěr.....	84
9.	Seznam použité literatury.....	86
10.	Seznam příloh.....	89
11.	Seznam obrázků.....	90
12.	Seznam tabulek.....	93
13.	Seznam použitých symbolů a značek.....	94

## 1. Úvod

Tato práce pojednává o lisování ve strojírenské praxi, normách a právních předpisech spojenými s lisováním ve strojírenství.

V práci je dále pojednáváno o aplikacích a lisování O-kroužků, jejich materiálech, normách či doporučeních, podle kterých se musí konstruktér řídit při řešení správného uložení O-kroužku pro specifické aplikace. Jsou zde také popsány způsoby jejich správného lisování.

Poslední částí teoretické části práce je souhrn informací o metodě časových studií, které jsou následně použity v praktické části pro určení pracovního času obsluhy vytvořené montážní stanice.

Na základě získaných poznatků je vytvořen návrh poloautomatické montážní stanice konektoru do tělesa filtru nafty, včetně zařízení pro předmontáž O-kroužků na konektor. V návrhu je popsán a vysvětlen princip, funkce a činnost jednotlivých částí stanice. Pro zvýšení názornosti jsou pro jednotlivé popisované části připojeny obrázky. Jako souhrnný výstup je vytvořen návrhový výkres pracoviště s důležitými připojovacími nebo pracovními rozměry s popisem jednotlivých prvků pracoviště. V neposlední řadě jsou v práci popsány místa a situace představující bezpečnostní rizika a způsob jejich zabezpečení, vyplývající z norem a právních předpisů z oblasti bezpečnosti práce při lisování. Tyto nezbytné bezpečnostní prvky jsou v práci stručně popsány, jsou uvedeny jejich funkce a činnost na zařízení.

Součástí praktické části diplomové práce jsou i výpočty strojních časů jednotlivých operací, výpočet velikosti pohonů elektrických a pneumatických lisovacích jednotek, výpočet lisovací síly na montáž O-kroužku a výpočet lisovací síly na montáž konektoru do tělesa.

Po zhotovení modelu stanice je určen uzel, který je podroben metodě konečných prvků. Zjištěné hodnoty jsou následně ověřeny analytickou metodou výpočtu a na závěr zhodnoceny obě varianty výpočtu a jejich správnost. Na základě zjištěných výsledků, je uzel podroben konstrukčním úpravám za účelem zlepšení vlastností a využitelnosti konstrukce.

## 2. Lisování

V této práci je pojednáváno především o lisování ve smyslu nalisování konektoru do jednoho celku za působení lisovacího stroje-lisu využívaného v automobilovém průmyslu.

Hlavním parametrem lisu je jeho maximální dosažitelná síla. Malé lisy pro laboratorní účely mají lisovací sílu v řádu kN, velké průmyslové lisy mohou mít lisovací síly i v řádech MN.

### 2.1. Způsoby uchycení konektoru

V automobilovém průmyslu se klade velký důraz na spojení různých typů konektorů, ať tvarově či silově. Veškeré konektory v osobních automobilech musí po celou dobu jeho provozu zajistit dokonalý kontakt, aniž by v průběhu fungování vypadl nebo tvořil špatný elektrický kontakt.

Většinou je konektor jištěn dvojím způsobem. Primární způsob jištění proti nechtěnému vypadnutí konektoru je nalisování pinů konektoru. Tím dojde k zajištění dokonalého elektrického přenosu po celou dobu životnosti dané součásti. Druhým pojistným prvkem je tvarové zajištění konektoru, nejčastěji pomocí šroubů, nebo tvarovým stykem, který pokud je třeba konektor demontovat, musí se stisknout pojistka, a tím se konektor může volně vysunout. Tvarový konektor se zpravidla dělá nesymetrický. To má za důsledek vždy správnou polohu pinů konektoru při jeho montáži, a tím nehrozí k poškození součásti v důsledku prepólování – viz. obr. č. 1.



Obrázek 1: Příklad konektoru umístěném na naftovém filtru s tvarovým zajištěním v horní části a nesymetrickým tvarem [3]

## 2.2. Princip lisování

Lisování je technologická operace, jejímž výsledkem je plastickým přetvořením (plastickou deformací) povrchů součástí docílení spojení dvou či více lisovaných dílů do jednoho celku za pomoci lisu.

Plastická deformace vzniká pohybem mřížkových poruch, nejčastěji jsou to dislokace typu čárové poruchy. Dislokace jsou čárové, šroubové nebo smíšené. Hustota těchto dislokací ovlivňuje pevnost kovu a i lisovaného spoje. Při tváření roste hustota těchto dislokací a jejich pohyb je postupně omezován, tím dochází k odporu proti dalším deformacím a materiál se takzvaně zpevňuje.

Zpevnění materiálu může mít do určité míry pozitivní vliv na celou konstrukci, případně oblast spoje, neboť takový spoj má v důsledku plastizace vyšší pevnost než před samotným přetvořením. [4]

Ve strojírenství se často využívá lisování pro přenos krouticího momentu  $M_k$  mezi hřídelem a nábojem nebo pro přenos axiální síly  $F_a$ . Lisovaný spoj lze však použít i pro nalisování objektů, a tím zajistit jejich soudržnost v průběhu užívání přístroje za působení vnějších sil, bez nutnosti použití dalšího spojovacího materiálu. Pro tento typ lisovaného spoje se na výkresech udává i vytrhávací síla  $F_v$ , která definuje minimální sílu pro demontáž lisovaného spoje.

Vytrhávací síla by měla být větší než síla lisovací a záleží na součiniteli tření mezi jednotlivými materiály. U lisování za tepla je vytrhávací síla mnohem vyšší než lisovací, která se může pohybovat v řádu jednotek až desítek N, zatímco vytrhávací síla může dosáhnout hodnot v řádu kN. [5]

## 2.3. Rozdělení lisů

Pro lisování dílů se používají lisovací stroje a zařízení, které lze dělit podle pohonu na:

- a) Mechanické
- b) Hydraulické
- c) Pneumatické
- d) Elektrické

Mechanické lisy jsou klikové nebo manuální. Za manuální lisy považujeme i nejrůznější přípravky, jako například nýtovací kleště řetězů nebo nejrůznější jednoúčelová zařízení.

Další skupinou jsou lisy hydraulické a pneumatické. K docílení lisovací síly slouží tlak vyvolaný tekutinou na plochu válce. Síla se vypočítá ze znalosti tlaku a průřezu válce podle vzorce (2.1).

$$p = \frac{F}{S} \quad (2.1)$$

Poslední skupinou jsou lisy elektrické. Lisovací síla je vyvolána vřetenem s kuličkovým ložiskem poháněným elektromotorem.

Výhodou elektrických lisů je, že na rozdíl od varianty s hydraulickým a pneumatickým pohonem, lze plynule regulovat rychlost posuvů i lisovací síly a všechny nezbytné parametry v průběhu lisování kontrolovat a řídit. Tím můžeme docílit takřka 100% kontroly a kvality lisovaných dílů. U mechanické, pneumatické či hydraulické cesty lze tyto veličiny také kontrolovat, ale jejich řízení není tak bezproblémové a bezchybné jako u lisů s elektricky ovládaným vřetenem.

#### 2.4. Výhody a nevýhody lisování

Výhodou lisování je především jeho jednoduchost, nízká cena lisovaného spojení, vysoké procento využití materiálu, většinou i zlepšení mechanických vlastností v oblasti spoje, a především zde není nutnost použití třetího členu (šroub a matice) ke spojení dílů. Další podstatnou výhodou je možnost zavedení automatizace a tím zvýšení produktivity, což kompenzuje vyšší pořizovací náklady stroje.

Nevýhodou však i nadále zůstává požadavek na poměrně vysokou kvalitu lisovaných povrchů dílů, a to především dodržení předepsaných drsností a tolerancí. V neposlední řadě je velkou nevýhodou cena stroje, především při 100% kontrole kvality, která je žádaná především v automobilovém průmyslu.

#### 2.5. Výpočet lisovaného spojení pro přenos krouticího momentu

Lisování se užívá nejčastěji pro přenos krouticího momentu. Pro výpočet slouží již odvozené výpočtové vztahy. Základní rozdělení výpočtu lisovaného spoje je na:

- a) Lisování za studena
- b) Lisování za tepla

### 2.5.1. Lisování za studena [6]

Též podélné lisování prováděné mechanicky násilím pod lisem pomocí přípravků. Při lisování za studena dochází k částečnému stržení (plastizaci) povrchu, a tím zmenšení původního rozměru. Pro výpočet přenosu krouticího momentu  $M_k$  pomocí lisování za studena je nutné navrhnout minimální průměr hřídele, který je schopen přenést požadovaný krouticí moment  $M_k$ , který se vypočítá podle vzorce (2.2).

$$d_{H\_min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k\_min}}{\pi \cdot \tau_{kD}}} \quad (2.2)$$

Je-li ze vzorce určen minimální průměr hřídele, je nutné určit ideální rozměry náboje. Náboj by měl mít určitou délku a minimální průměr prstence, aby při lisování prstence nedošlo k jeho prasknutí. K tomu se používají doporučené rozměry dle vzorce (2.3).

$$\begin{aligned} D_N &= 1,8 \cdot d_H \\ L_N &= 1,1 \cdot d_H \end{aligned} \quad (2.3)$$

Podle vzorce (2.4) se vypočítá minimální tlak v lisovaném spoji, který je schopen přenést požadovaný krouticí moment.

$$p_{min} = \frac{k \cdot M_{k\_min}}{\pi \cdot d_H \cdot L_N \cdot f \cdot \frac{d_H}{2}} \quad (2.4)$$

Jestliže jsou známy všechny tyto hodnoty, je nutné stanovit minimální lisovací přesah  $\Delta d_{min}$ , který je uveden ve vzorci 2.5.

$$\begin{aligned} \Delta d_{min} &= p_{min} \cdot d_H \cdot \left[ \frac{C_N + \mu_N}{E_N} + \frac{C_H + \mu_H}{E_H} \right] \\ C_N &= \frac{D_N^2 + D_H^2}{D_N^2 - D_H^2} \\ C_H &= \frac{d_H^2 + d_0^2}{d_H^2 - d_0^2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Vztah 2.5 platí obecně pro různé materiály náboje i hřídele. Jsou-li materiály hřídele i náboje shodné, rovnice je psána ve tvaru

$$\Delta d_{min} = p_{min} \cdot d_H \cdot \frac{1}{E} \cdot (C_N + 1) \quad (2.6)$$

K tomuto přesahu je nutné připočítat přesah  $w$  podle vzorce (2.7), což je přesah, který je při lisování stržen.

$$w = 1,2 \cdot (Rz^H + Rz^N) = 5,5 \cdot (Rz^H + Rz^N) \quad (2.7)$$

Výsledný přesah se zjistí výpočtem dle rovnice (2.8)

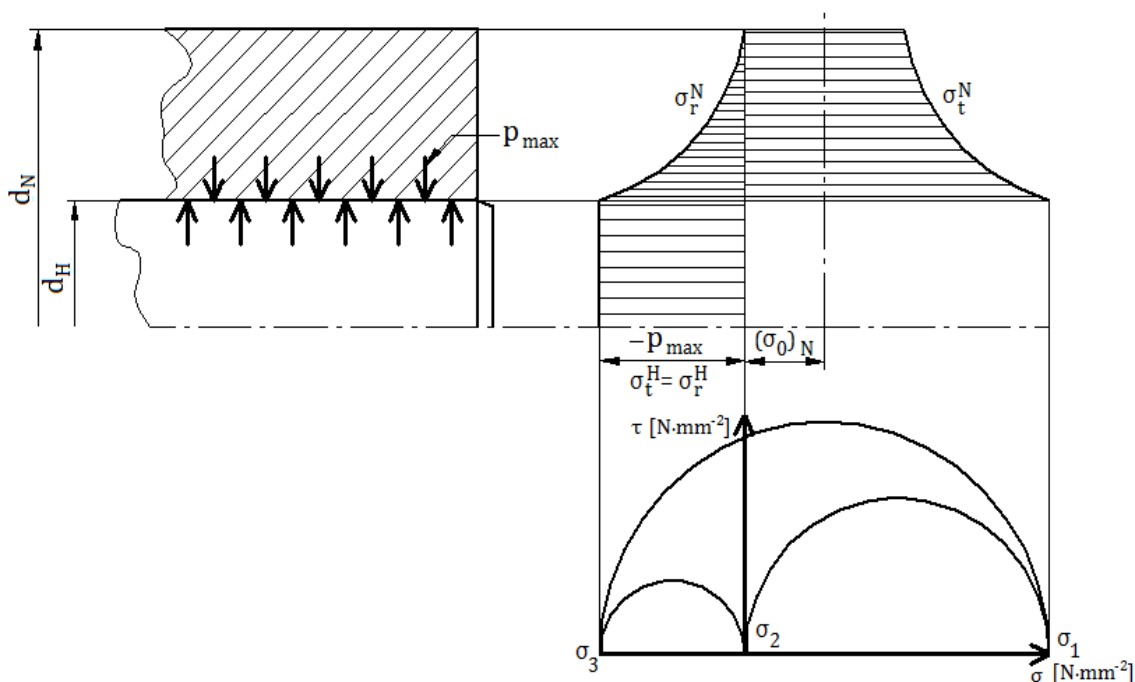
$$\Delta d_{w_{min}} = \Delta d_{min} + w \quad (2.8)$$

Na základě znalosti minimálního přesahu spoje z rovnice (2.8), lze vybrat ideální tolerance hřídele a díry, ideálně v soustavě jednotné díry.

Po určení tolerancí je třeba ještě provést kontrolu, zda maximální tolerance nejsou vyšší, než je dovolený tlak v náboji dle vzorce (2.9) – mohlo by dojít k jeho roztržení.

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{max}}{d_H \cdot \frac{1}{E} \cdot (C_N - 1)} \quad (2.9)$$

Výsledný tlak je nutné určit z výpočtu hlavních napětí v náboji pomocí Mohrových kružnic (viz. obr. č. 2) a následně vypočítat redukované napětí v náboji buďto metodou HMH pro houževnaté materiály nebo metodou  $\tau_{max}$  pro materiály křehké - viz. rovnice (2.10).



Obrázek 2: Silové rozložení v lisovaném spoji

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= \sigma_t = C_N \cdot p_{max} \\
 \sigma_2 &= 0 \\
 \sigma_3 &= -p_{max}
 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Pro houževnaté materiály HMH:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_3}$$

Pro křehké materiály  $\tau_{max}$ :

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 = p_{max}(C_N + 1)$$

Podmínka materiálu:

$$\sigma_{red} \leq \sigma_D = \frac{\sigma_{Kt}}{k_{\sigma_{min}}}$$

Po provedení kontroly na maximální přípustný tlak je dále nutné vypočítat lisovací sílu a z takto vypočtených hodnot vybrat lis s ideálními parametry. Lisovací síla se vypočítá podle vzorce 2.11.

$$Q = \pi \cdot d_H \cdot L_N \cdot p_{max} \cdot f \quad (2.11)$$

### 2.5.2. Lisování za tepla [6]

Lisování příčné, které je prováděné nenásilným zasunutím součástí po předchozím ohřevu (teplotní dilatace) náboje, možno i v kombinaci ochlazení (restrikci) hřídele. Po následném vyrovnání teplot je součást nerozebíratelně spojena bez použití násilí.

Návrh lisovaného spoje za tepla je shodný s postupem jako lisování za studena až do rovnice (2.6). Jelikož při lisování za tepla nedochází ke stržení přesahu  $w$ , neboť lisování probíhá při teplotní dilataci náboje, tudíž je náboj volně nasazen na hřídel. Výsledný minimální tlak je docílen až po vyrovnání teplot obou dílů - viz. rovnice (2.12).

$$\begin{aligned} w &= 0 \\ \Delta d_{w_{min}} &= \Delta d_{min} + w \end{aligned} \quad (2.12)$$

Stejně jako u nalisování za studena i u nalisování za tepla se musí provést kontrola na maximální dovolený tlak ve spoji – stejně jako při lisování za studena. Vyhovuje-li hodnota lisovaného spoje je nutné vypočítat minimální teplotu ohřátí náboje, popřípadě i zchlazení hřídele, aby bylo možné spoj zrealizovat - viz. vzorec (2.13).

$$\Delta T = \frac{\Delta d_{max} + v}{\alpha \cdot d_H}, \quad (2.13)$$

Přičemž  $v$  je hodnota minimální montážní vůle potřebná pro nasazení náboje na hřídel. Doporučená hodnota je uváděna  $d_H^{H7/g6}$ .



U lisování za tepla je nutno při ohřevu brát ohled na rekrystalizační teploty materiálu, aby při ohřevu materiálu nedošlo k poškození struktury nebo aby při ohřevu nedošlo k technologickému poškození materiálu, jako může být například kalení, žíhání, popouštění apod.

### 2.5.3. Vytrhávací síla

Vytrhávací síla je předepisována na výkresech jako kontrolní údaj pro měření výsledného lisovaného spoje. Testovaný dílec může být testován na libovolném laboratorním trhacím stroji s využitím vhodných přípravků. Výsledkem zkoušky je zjištění, zda vytrhávací síla je větší nebo rovna síle uvedené na výkrese.

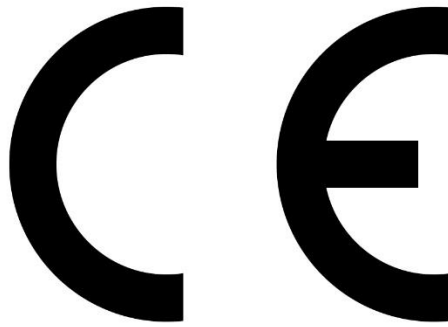
Velikost vytrhávací síly spojených dvou nalisovaných materiálů se zjišťuje povětšinou nedestruktivní zkouškou. V určitých případech může být předepsána i destruktivní zkouška, kupříkladu na plastových svařencích, kdy je třeba zjistit, zda je dosažená dostatečná pevnost svarového spoje.

Nedestruktivní metoda zjišťování vytrhávací síly úzce závisí především na součiniteli tření mezi nalisovanými materiály a na přesahu lisované vrstvy.

## 2.6. Normy pro lisovací zařízení

Z definice vyplývá, že za lis je považováno jakékoliv zařízení, jehož zdvih je vyšší než 3 mm bez ohledu na použitý pohon, vykonávající lisovací pohyb nebo sílu, jež je lis schopen vykonat.

Každé navrhované zařízení podléhá směrnicím Evropské unie, a aby bylo možné jeho používání, je nezbytné, aby splňovalo řadu přísných evropských norem. Pokud nově navržené zařízení, spadající pod legislativní ošetření, těmto normám a státním směrnicím vyhovuje, obdrží certifikát o shodě a je opatřeno nálepkou *CE* – potvrzení o evropské shodě a je možno používat ho v zemích Evropské unie - viz. obr. č. 3.



Obrázek 3: Značka shody CE [7]

### 2.6.1. ČSN EN ISO 12 100 [8]

Základní normou jednoúčelových strojů a zařízení, kterou by se měl při projektování řídit každý konstruktér, je norma ČSN EN ISO 12 100 - *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*.

Tato mezinárodní norma specifikuje základní terminologii a metodologii pro dosažení bezpečnosti konstrukce strojního zařízení. Norma specifikuje zásady posouzení a snižování rizika k dosažení požadované bezpečnosti konstrukce. Dále v normě jsou popsány postupy pro identifikaci nebezpečí a odhad hodnocení rizik pro jeho vyloučení.

#### 2.6.1.1. Strategie posouzení rizika

Vedle definice jednotlivých částí stroje a jeho provozních či poruchových stavů, norma definuje i strategii posouzení rizika, které hrozí obsluze při nezakrytované volně přístupné pracovní jednotce, např. zásah obsluhy do stroje za chodu (nebo pracovního cyklu).

Ke strategii posouzení rizika by měl konstruktér brát v úvahu činnost zařízení v uvedeném pořadí - viz. obr. č. 4.

- a) Určit mezní hodnoty strojního zařízení, které zahrnují správné i nesprávné užívání strojního zařízení
- b) Identifikovat nebezpečí a příslušné situace
- c) Odhadnout riziko pro každé identifikovatelné nebezpečí
- d) Zhodnotit riziko a rozhodnout o nutnosti snížení rizika

e) Vyloučit nebezpečí nebo snížit riziko spojené s nebezpečím

Posouzení rizika je řada logických kroků, které umožní systematickým způsobem analyzovat a zhodnotit rizika s užitím strojního zařízení.

Posouzení rizika je provedeno v kterékoliv fázi procesu a podstupeno kdykoliv je to nezbytné, za účelem jeho snížení. Opakování tohoto procesu může být nezbytné i za účelem eliminace nově vzniklých nebezpečí doprovázených po aplikaci navržených bezpečnostních opatření s navrženým bezpečnostním opatřením nebo nedostatečným krytím bezpečnosti navrženého bezpečnostního opatření, tj. posouzení, zda navržená bezpečnostní opatření nevyvolala vznik nových bezpečnostních rizik.

Pokud na daném stroji nebyla realizována žádná ochranná opatření, je předpokládáno, že nebezpečí, která na stroji existují, mohou vést dříve či později k úrazu.

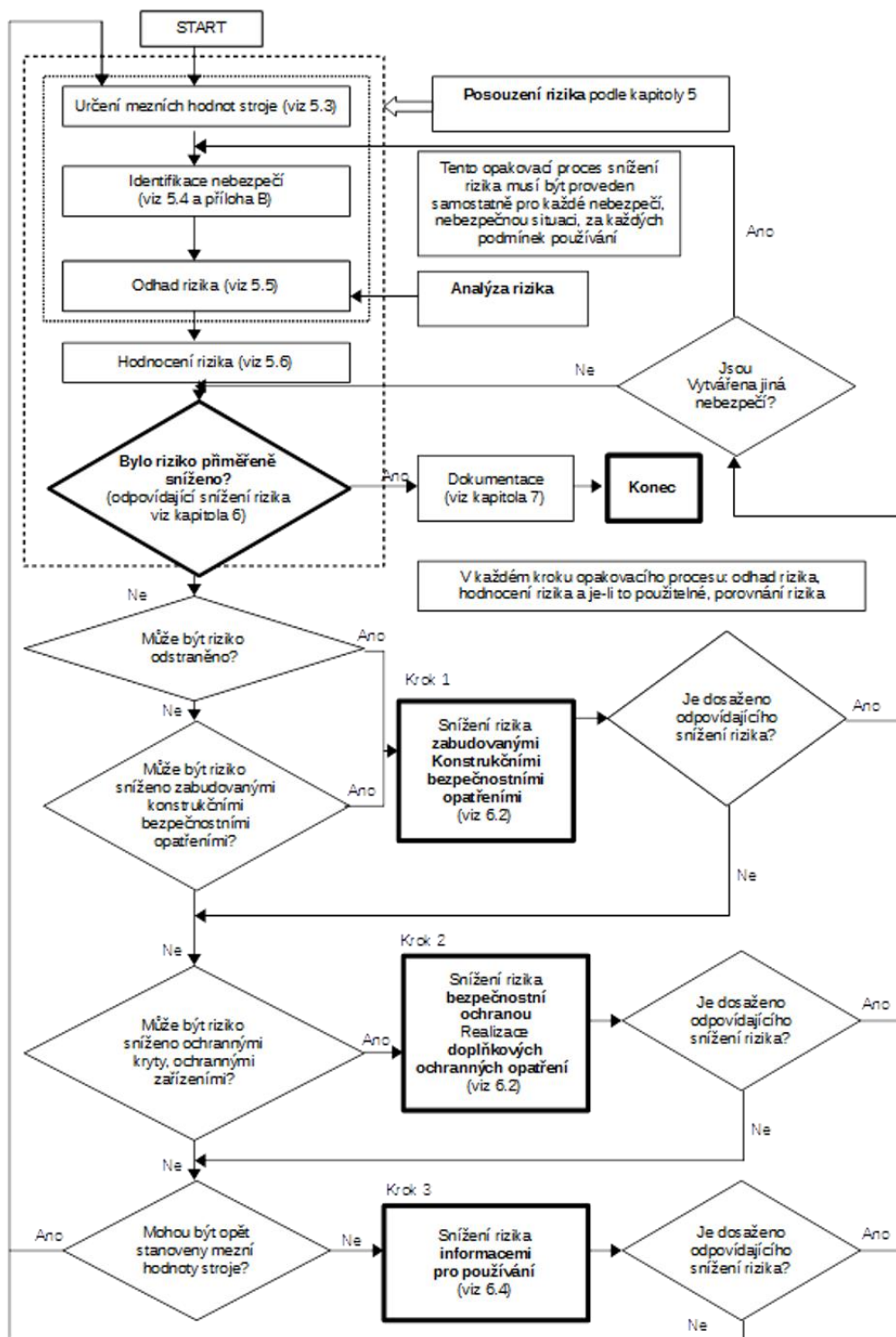
Ochranná opatření jsou kombinací opatření přijatých po komunikaci mezi konstruktérem v pozici hodnotitele možných rizik, navrhovatelem ochranných opatření a uživatelem v pozici zadavatele parametrů stroje, jeho umístěním, obsluhou apod. podle obrázku č. 4. V žádném případě by požadavky na snížení ekonomických nákladů neměly být určujícím parametrem ke snížení přijatelných ochranných opatření.

Opatření mohou být dvojího typu. Konstrukční opatření je takové opatření, které na základě vyhodnocení rizik provede konstruktér zásahem do konstrukce stroje – v praxi se jedná o různé závory nebo kryty, které chrání obsluhu, před zásahem do funkční části zařízení a chrání tak obsluhu před možným úrazem. Druhým opatřením je opatření přijaté nebo stanovené uživatelem či interním předpisem. Konstrukční opatření je vždy efektivnější.

Ke snížení rizika je třeba brát v úvahu 4 základní faktory a to:

- a) Zajištění bezpečnosti stroje ve všech fázích jeho životnosti
- b) Zajistit schopnost stroje vykonávat funkci, ke které byl navrhnut
- c) Použitelnost stroje
- d) Výrobní a provozní náklady stroje a náklady na jeho vyřazení

Posouzení rizika zahrnuje analýzu rizik včetně určení mezních hodnot strojního zařízení, identifikaci nebezpečí, odhad rizika, zhodnocení rizik a ekonomické vyhodnocení navržených přijatelných ochranných opatření.



Obrázek 4: Proces snižování rizika včetně opakování tříkrokové metody [8]

Lisováním se zabývá řada norem. Výchozími normami z hlediska bezpečnostních požadavků jsou pro tuto práci stěžejními normami ČSN EN 692+A1 *Obráběcí a tvářecí stroje – Mechanické lisy – Bezpečnost*, norma ČSN 21 0713 - *Tvářecí stroje. Vřetenové lisy. Bezpečnostní požadavky na konstrukci* a norma ČSN EN 21 0715 - *Tvářecí stroje. Tvářecí automaty. Bezpečnostní požadavky na konstrukci*.

Tyto normy určují v odkazu na obecnou normu ČSN EN 12 100 technické bezpečnostní požadavky a opatření na zařízení, které blíže specifikují rizika spojené s užíváním zařízení a obsahují i soupis bezpečnostních opatření, kterými se konstruktér může při návrhu řídit, aby zařízení bylo možné bezpečně užívat. Bezpečnostní požadavky musí stanovit osoby zabývající se projektováním a výrobou takových strojů, ale musí je implementovat do interních předpisů uživatel a následně přísně dodržovat i obsluha lisu, aby nedošlo k úrazu. Norma popisuje i nebezpečí, které může vzniknout nesprávnou manipulací a stanovuje potřebná opatření nejen pro obsluhu stroje, ale i pro osoby v blízkosti stroje, aby k takovému případu vůbec nedošlo. [9]

Norma zohledňuje nejen přístup ke stroji ze všech stran, ale zohledňuje přístup k nebezpečným místům a stanovuje bezpečnostní opatření pro obsluhu i jiné zúčastněné osoby v okolí stroje. Tato ustanovení jsou závazná nejen pro stroj samotný, ale i pro příslušenství a pomocná zařízení.

## 2.7. Bezpečnost tvářecích strojů

Jak vyplývá z normy ČSN EN 692 + A2 – *Obráběcí a tvářecí stroje – Mechanické lisy – Bezpečnost*, lis patří mezi tvářecí stroje a vedle platných norem, podléhá také legislativě České republiky. Nařízením vlády č. 378/2001 Sb. ze dne 12.9.2001, které vstoupilo v platnost dne 1.1.2003 byly stanoveny požadavky na bezpečný provoz a použití takovýchto strojů.

Z tohoto důvodu je nutné, aby každé navržené zařízení, bylo v souladu nejen s platnými normami, ale především se zákony České republiky, resp. nařízením Evropské unie pro bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí, které bylo do českého právního řádu implementováno. Proto je povinností projektantů a konstruktérů zabývat se

problematikou bezpečnosti provozu zařízení a splnit požadavky, které stanovuje zákon. [10]

S bezpečností úzce souvisí i řada dalších pasivních prvků, které ovlivňují nejen bezpečnost práce na pracovišti, ale i kvalitu produkovaných dílů, jako například ergonomie na pracovišti, nebo kontrola při lisování. [11]

## 2.8. Ergonomie při lisování

Velice důležitou součástí lisování je vedle bezpečnosti i ergonomie při lisování. Nejen z důvodu správného spojení součástí, ale i správnou ergonomií pracoviště lze docílit lepšího zalisování a snížit náročnost práce při vkládání polotovarů.

Docílením přijatelných bezpečnostních opatření nesmí být výrazným způsobem omezena ergonomie zařízení. To by vedlo ke snížení použitelnosti zařízení.

## 2.9. Kvalita [12]

Kvalita lisovaného spoje souvisí nejen s kvalitou povrchu obou součástí, ale i se seřízením lisovacího zařízení. Ke správnému seřízení lisovacího stroje se používají etalony, kterými lze zkontrolovat nebo nastavit správný chod stroje.

U veškerých lisů lze nastavit, kontrolovat a seřizovat dva parametry, a to sílu a dráhu. Tyto parametry lze i v průběhu samotného lisování zapisovat jako data programu a vytvořit z nich graf závislosti síly  $F$  na dráze  $s$  (viz obr. č. 5). Tuto závislost je možné zaznamenat do grafu v reálném čase. Díky této grafické kontrole lze také zjistit, zda se nejedná o zmetek způsobený neshodou dílů nedodržením předepsaných tolerancí, případně přítomnosti jako například šponou v lisovaném spoji.

Pro zamezení zmetkovitosti lze softwarově ohraničit oblasti v grafu, kde musí křivka závislosti lisovací síly na dráze protnout tuto oblast - „okno“. Dále lze softwarově nařídit, aby daná křivka byla spojitá v celé sekvenci lisovací síly – tímto omezením se dá kontrolovat kupříkladu přítomnost nežádoucí špony nebo jiného předmětu v lisovaném spoji.

### 2.9.1. Nastavení dráhy a polohy

Nastavením dráhy se rozumí nejen zdvih lisovacího vřetene, ale i jeho přesná poloha vůči výrobku.

Nastavení dráhy se provádí pomocí etalonů o známém rozměru (v tomto případě výšce). Dále je nutná kalibrace na základě znalosti polohy pomocí etalonů.

Nastavením polohy se rozumí nastavení souososti přístroje. Nastavuje se pomocí speciálního přípravku, který například může být nalakován barvou a kontroluje se poškození kontrolního laku. Doladěním se tak dá docílit velice dobré souososti.

Optimální seřizovací frekvenci by měl určit výrobce linky. Dále by měl sám provést seřízení ve smluveném termínu nebo dodat veškeré potřebné etalony a zaškolit obsluhu stroje.

### 2.9.2. Nastavení síly

Lisovací síla je daná požadavky na lisovaný spoj. Tlak lisu je závislý na velikosti lisovaných dílů a materiálech, které jsou do sebe lisovány (přímo ovlivněn součinitelem tření). Dalšími faktory přímo ovlivňující lisovací sílu jsou tolerance předepsané na výkresech a na přesnosti vyrobených dílů, které do sebe budou lisovány.

Nastavení maximální síly pro konkrétní spoj je tedy závislý na toleranci lisovaných dílů + nastavení maximální lisovací síly.

Mohou tedy nastat 3 možné případy:

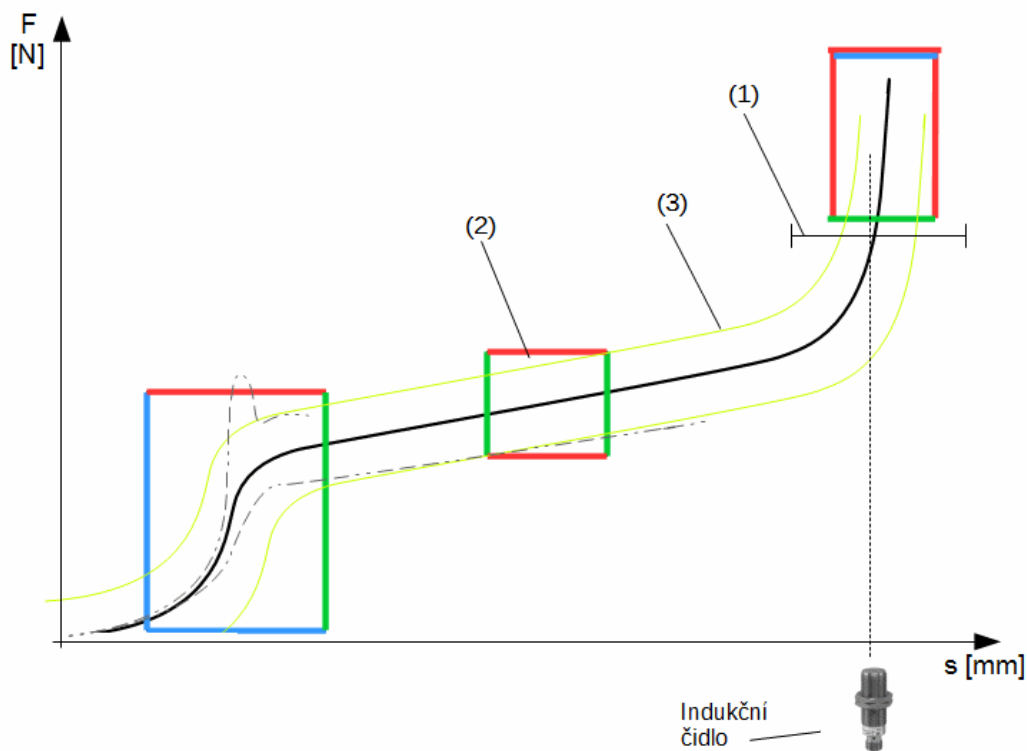
- a) Malá hřídel + velká díra
- b) Hřídel ve středu tolerančního pole + díra ve středu tolerančního pole
- c) Velká hřídel + malá díra

Stav 1 bude vyžadovat nejmenší nárok na sílu, následně stav 2 a nejhorší možný případ je stav 3, kdy je největší přesah lisovaných dílů. K této lisovací síle se přidává určité procento lisovací síly navíc z důvodu zajištění pohybu při lisování – cca +10 %  $F_{\max}$ .

Pro 100% kontrolu kvality je nezbytné, vedle správného nastavení síly a dráhy, tyto veličiny kontrolovat a vyhodnocovat pro každou součást individuálně. K tomu účelu jsou využívána zařízení pro kontrolu kvality.

Pro měření lisovací síly se používají tenzometry, nejčastěji můstkové odporové nebo piezoelektrické. V případě navrhované stanice se jedná o piezoelektrický tenzometrický snímač umístěný v ose lisovacího vřetene.

Pro nastavení lisovací síly se používají také etalony. Nejčastěji se jedná o etalon typu kalibrované pružiny, kde je známa její působící síla v závislosti na poloze (stlačení). Na základě znalosti stlačení pružiny, lze zkalibrovat daný tenzometr, a tak jej nastavit pro měření správné síly.



Obrázek 5: Příklad diagramu kontroly lisovací síly  $F=f(s)$

Na obrázku číslo 5 je diagram  $F$ - $s$ . Černá křivka znázorňuje závislost lisovací síly  $F$  na dosažené dráze  $s$ . Pro vyhodnocení správnosti lisovací síly  $F$  na dráze  $s$  slouží několik metod.

První popisovanou metodou (1) je metoda protnutých úseček. Princip metody je, že černá křivka musí protnout úsečku. Pokud křivka závislosti  $F$ - $s$



úsečku neprotne, výlisek je vyhodnocen jako vadný díl, neboť nesplňuje požadavek na polohu nebo sílu v určitém úseku.

Druhou popisovanou metodou (2) je metoda obdélníků. Stejně jako u metody protnutých úseček i zde je požadavek, aby černá křivka protínala oblast uvnitř obdélníku. Dá se naprogramovat i požadavek, že se daná křivka nesmí dotknout některé ze stran obdélníku.

Modrou barvou je znázorněna mezní poloha stroje. To je případ vůle stroje, v horní oblasti je to pak maximální síla, kterou je schopen lis vyvolat. Zelenou barvou je znázorněna oblast, kterou musí protnout černá lisovací křivka. Červenou křivkou je znázorněna oblast, kterou černá lisovací křivka nesmí protnout, ani se jí dotknout, jinak se bude jednat o vadný kus.

Třetí popisovanou metodou (3) je obálková metoda. V obálkové metodě se softwarově naprogramuje horní a dolní oblast křivky. Jestliže lisovací křivka protne tuto obálku, opět se bude jednat o vadný výrobek.

Pro zastavení lisovacího procesu je využívána buď maximální lisovací síla vřetene (tedy dotyk černé křivky s modrou stranou obdélníku v horní části grafu) nebo vhodně umístěné indukční čidlo (lisovací vřeteno skončí lisovací proces po dosažení určité vzdálenosti, bez ohledu na lisovací sílu). Třetí možností softwarového ošetření lisovacího cyklu je stav, kdy i při zvětšení lisovací síly již dráha dále neroste – podle vzorce (2.14), (jen v rámci určité pružnosti materiálu).

$$\frac{\Delta s}{\Delta F} \rightarrow 0 \quad (2.14)$$

Šedými křivkami je znázorněn vadný díl (cizí předmět, např. špona v lisovaném spoji). Horní šedá křivka přesáhne žlutou křivku i červenou stranu obdélníku. Dolní šedá křivka sice protнула obě zelené strany obdélníku, a tedy v obdélníkové metodě (2) by tato součást byla hodnocena jako OK díl. V obálkové metodě (3) by ovšem šedá křivka protнула žlutou stranu obálky (např. nedodržení výrobní tolerance, přítomnost oleje apod.) a tudíž by byla vyhodnocena jako NOK<sup>1</sup> díl.

---

<sup>1</sup> NOK (z angl. NOT OK) díly jsou označovány díly, které nepodléhají z důvodů nesplnění geometrických tolerancí nebo poškození součástí kontrole kvality. Jedná se tak o vadný díl, též nazýván slangově jako „zmetek“.

### 2.9.3. NOK díly

Takzvané NOK díly jsou díly, které na základě vyhodnocení sond, určí jako vadný díl. Tedy díly, které neodpovídají předepsaným požadavkům na kvalitu. Takové díly je nutno důsledně separovat od OK dílů, aby se takový díl nedostal do prodeje a k zákazníkovi.

### 2.10. DMX

Další pasivní ochranou pro docílení potřebné kvality dílů v průmyslu jsou DMX kódy<sup>2</sup> umístované na montovaný díl. Pomocí DMX kódu na výrobku je přiřazen identifikační kód každému dílu uloženému v databázi o dílech a je možné dohledat veškeré informace o použitých dílech v konkrétním produktu, případných opravách NOK kusů na OK kusy a v neposlední řadě na základě databáze dílů je možné dohledat vybranou sérii například vadných dílů a celou sérii svolat na výměnu<sup>3</sup>.

### 2.11. Servis a opravy

Každé zařízení je třeba servisovat v pravidelných servisních intervalech a díly, které přichází do kontaktu s lisovanými objekty v pravidelných intervalech měnit z důvodu jejich opotřebení a zhoršení kvality lisování.

Výrobce zařízení je povinen provozovateli zařízení poskytnout seznam opotřebitelných dílů, případně tyto díly i dodat a seznam doporučených náhradních dílů, což jsou díly, které v důsledku cyklického namáhání mohou vypovědět funkčnost a bude je nutné vyměnit.

#### 2.11.1. Opotřebitelné díly

Opotřebitelné díly jsou díly, které jsou v bezprostředním kontaktu s lisovanými díly. Na plochách dochází při lisování k vysokým tlakům a velkému tření, především při lisování bez přítomnosti oleje, a proto je třeba tyto součásti v pravidelných intervalech měnit, jelikož dochází k intenzivnímu otěru a opotřebení ve styčných plochách, což může mít za následek zvýšenou

---

<sup>2</sup> DMX neboli data matrix code slouží pro identifikaci dílu. Na díl je převážně nalepen nebo natisknut 2D kód, čitelný pomocí čtečky.

<sup>3</sup> Toto opatření je známé především v automobilovém průmyslu při svolávání aut z důvodu instalace vadných zařízení montovaných do aut.

produktivitu dílů nevyhovující předepsaným tolerancím nebo v krajních případech i poškození celého zařízení.

Tyto díly by měl zhotovitel zařízení jeho provozovateli dodat nebo poskytnout kompletní technickou dokumentaci k daným součástem.

### **2.11.2. Doporučené náhradní díly**

Doporučené náhradní díly jsou veškeré pneumatické, hydraulické, elektrické nebo mechanické díly vykonávající pracovní pohyb. U těchto zařízení je možnost, že se během provozu mohou poškodit v důsledku cyklického provozu stroje.

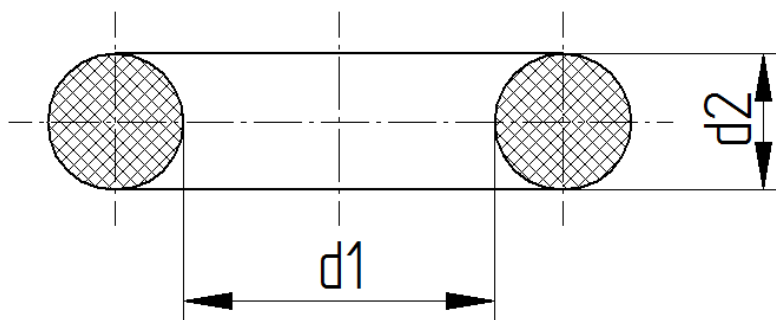
Seznam těchto dílů je nutno dát provozovateli stroje, aby bylo možné dle seznamu příslušných náhradních dílů poškozený díl vyměnit za díl nový.

Pro zamezení nebo snížení množství poruch těchto dílů je třeba provádět pravidelné servisní intervaly zařízení. Servisní intervaly jsou navrhovány ze znalosti doby práce stroje zhotovitelem zařízení.

### 3. O-kroužky

O-kroužek je strojní součást, která se používá na utěsnění dílů před nechtěným průsakem tekutiny<sup>4</sup>.

O-kroužky se vyrábí v různých normovaných i nenormovaných rozměrech, tvarech, tvrdostech a materiálech. Rozměr O-kroužku je udáván jako vnitřní průměr krát průřez kroužku –  $d1 \times d2$  - viz. obr. č. 6.



Obrázek 6: Udávaný katalogový rozměr O-kroužků

V současné době je možné vyrobit i jeden kus O-kroužku na zakázku, nicméně tento postup, výroby O-kroužků na zakázku, se provádí u větších sériových odběrů, kdy je nutné použít z důvodu konstrukce jiný rozměr O-kroužku, než odpovídá normě nebo v případech, kdy je požadována specifická tvrdost nebo chemická stálost O-kroužku pro splnění požadavků v provozu.

Základní rozdělení O-kroužků je podle materiálu, průměru kroužku a průřezu těsnící plochy, polohy montáže a pro jaké použití<sup>5</sup> je daný O-kroužek určen.

#### 3.1. Výpočet montáže O-kroužku

V dnešní době je nejčastějším a nejužívanějším způsobem výpočtu správného uložení O-kroužků pomocí tabulkových hodnot dodávaných k danému O-kroužku výrobcem v katalogových listech nebo pomocí online aplikace poskytované výrobcem, pokud jej na svých stránkách má výrobce k dispozici.

<sup>4</sup> Tekutinou se myslí nejen kapaliny, ale i plyny.

<sup>5</sup> Dělení, zda se jedná o stacionární případ nebo dynamické změny nebo pohyb. Dělení rotace/pohyb, rotace/statický nebo statický

Výrobců na trhu je velké množství. Mezi nejznámější tuzemské producenty patří Rubena, poskytující na svých stránkách online katalog produktů včetně pokynů pro konstrukci a správného zástavbového prostoru pro O-kroužek. [13]

Online katalog včetně speciální kalkulačky má na svých stránkách zahraniční výrobce ERIKS, který vedle všech parametrů potřebného pro správnou montáž O-kroužku zohledňuje například i vliv okolní a pracovní teploty, kontaktní materiál tělesa, do kterého je O-kroužek montován a další parametry důležité při výběru správného O-kroužku. Na základě uvedených hodnot, které konstruktér vyplní, kalkulačka vypočítá stlačení O-kroužku, jeho natažení a další informace potřebné pro správnou montáž a bezpečné užívání. [14]

### **3.2. Zařízení pro montáž O-kroužků**

Montáž O-kroužků se dá rozdělit na 4 základní typy.

- a) Ruční montáž
- b) Poloautomatická montáž
- c) Automatická montáž
- d) Montáž univerzálními sklíčovými

#### **3.2.1. Ruční montáž**

Ruční montáž O-kroužku je tou nejjednodušší možností montáže a je určena výhradně pro kusovou výrobu. Montážní dělník pomocí různých nástrojů a přípravků nasadí O-kroužek do drážky v tělese pro O-kroužek. Ačkoliv je tato metoda nejjednodušší, hrozí zde při nesprávné manipulaci s nářadím možnost poškození O-kroužku a tím i zhoršení těsnících vlastností na zařízení.

Nářadí pro ruční instalaci O-kroužku na trhu nabízí například společnost Hennlich. Jedná se o sadu nerezových přípravků (páky, háčky, pinzety, ...) pro instalaci a demontáž O-kroužků – viz obrázek č. 7. [15]



Obrázek 7: Ruční nářadí pro montáž a demontáž O-kroužků [15]

### 3.2.2. Poloautomatická montáž

Poloautomatický lis na montáž O-kroužků je výhodný pro menší série. Montážní dělník do přípravku umístí O-kroužek, uchytí do lisu, založí dílec a pomocí hydraulického, pneumatického nebo mechanického pohonu je O-kroužek zalisován do drážky.

Tato zařízení jsou vyráběna již na zakázku dle požadavků zákazníka. Zákazník určí velikost montovaného O-kroužku a případně i poskytne tvar dílu pro montáž O-kroužku, aby bylo možné vytvořit upínací přípravek pro díly. Výrobou takovýchto jednoúčelových zařízení pro montáž O-kroužků se zabývá například společnost Ohrmann.

### 3.2.3. Automatická montáž

Automatickým lisováním O-kroužku je eliminováno zvýšené riziko nesprávné montáže O-kroužku, avšak takovéto zařízení již musí splňovat mnohem větší požadavky na přesnost.

Obsluha pouze doplňuje O-kroužky do vibračního zásobníku, odkud jsou již pomocí vibračního dopravníku dodány na určené místo. Tímto způsobem, lze nejen dodávat potřebné množství O-kroužků, ale zároveň je možné docílit i požadované polohy O-kroužků potřebné pro montáž. Tato metoda je nejvýhodnější při velkosériové výrobě. Její předností je především vysoká produktivita, nízké riziko poškození O-kroužků, vysoká přesnost a kvalita.

Nevýhodou jsou především vysoké pořizovací náklady automatu a jeho jednoúčelové využití (např. možnost použití jen pro jeden daný díl, jeden rozměr O-kroužku apod.).

### 3.2.4. Montáž univerzálními sklíčovými

Při automatické i poloautomatické montáži O-kroužků lze také využít univerzální sklíčovadla od různých firem. Jedním z výrobců vyrábějící širokou škálu univerzálních sklíčovadel a přípravků pro průmyslové roboty a automaty, mimo jiné i pro uchycování a montáž O-kroužků, je firma SCHUNK. Příklad takového typu univerzálního sklíčovadla pro montáž O-kroužků je na obrázku č. 8.



Obrázek 8: Univerzální sklíčovadlo SCHUNK ORG 85 pro nasazování O-kroužků na hřídele [16]

## 3.3. Kvalita

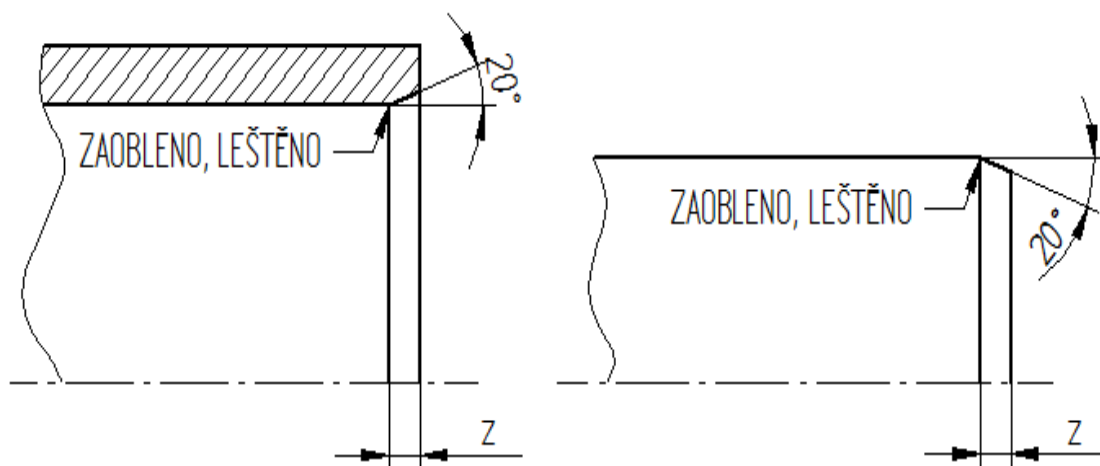
Pro docílení požadovaných těsnících vlastností při používání O-kroužků je nutno dbát na kvalitu dílů, do kterých je O-kroužek instalován. Jedná se především o dodržení rozměrové tolerance, která musí být v rozmezí přípustných stlačení O-kroužku, dále o dodržení drsnosti povrchu pro zamezení opotřebením funkčních těsnících ploch O-kroužku již při jeho instalaci.

### 3.3.1. Zaváděcí sražení

Zaváděcím sražením se rozumí zkosení rotačních elementů obou součástí (na hřídeli i díře), kam má být O-kroužek nainstalován. Jelikož při lisování

dochází ke stlačení O-kroužku, je nutné, aby povrchy byly bez ostrých hran, neboť by hrozilo poškození těsnění v důsledku jeho natržení. Doporučená technologická úprava tvaru a drsnosti sražení se pohybuje kolem  $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$  a  $Rz \leq 0,4 \mu\text{m}$ .

Správné úpravy čela povrchu k lisování O-kroužku jsou zřejmé z obr. č. 9.



Obrázek 9: Správné zaváděcí sražení, vlevo pro díru, vpravo pro hřídel

### 3.3.2. Drsnost povrchu

Pro zajištění co nejlepší těsnosti soustavy je třeba docílit požadované drsnosti povrchu obou součástí, v nichž je O-kroužek namontován. Doporučená stanovená hodnota drsnosti se uvádí podle aplikace (statického či dynamického namáhání O-kroužku), a podle tlaku (konstantní či proměnný). Doporučené hodnoty drsností povrchů jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Doporučení hodnoty drsnosti funkčních povrchů pro různé aplikace [13]

Povrch	Aplikace těsnění	Tlak	Drsnost $Ra$ [ $\mu\text{m}$ ]
funkční těsnící povrch	statická	konstantní	1,6
		proměnný	0,8
	dynamická	proměnný	0,4
ostatní plochy zástavbového prostoru	statická	konstantní	3,2
		proměnný	1,6
	dynamická	proměnný	1,6



Z tabulky 1 vyplývá, že při statických aplikacích hodnota povrchu může být vyšší než při dynamické aplikaci. To vychází především z předpokladu, že při statickém namáhání O-kroužek v drážce nevykonává žádný pohyb.

### 3.4. Výpočty instalace O-kroužků

Pro správnou funkčnost těsnosti O-kroužku je požadováno minimální možné stlačení O-kroužků. Zároveň nesmí dojít k překročení maximálního přípustného stlačení.

Pokud by O-kroužek nebyl dostatečně stlačený, mohlo by docházet v důsledku provozního tlaku k průsaku kapaliny.

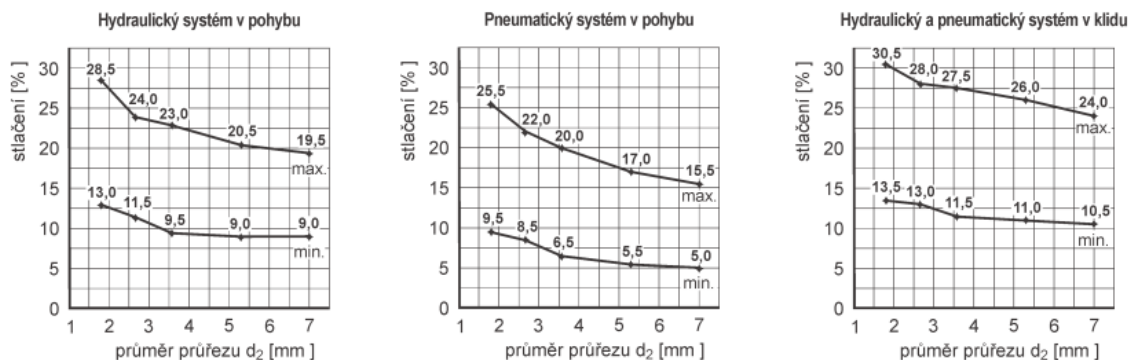
Pokud by O-kroužek byl stlačený příliš, mohlo by dojít k jeho nevratnému poškození, rozdrčení nebo natržení a tím opět k průsaku kapaliny.

#### 3.4.1. Výpočet uložení O-kroužku

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, lze k volbě vhodného O-kroužku použít online aplikaci O-kroužků, má-li ji výrobce k dispozici. Pokud ji nemá, udává výrobce pro různé typy aplikací tabulkové hodnoty (příklad viz tabulka 2), nebo grafy doporučeného stlačení O-kroužku – viz obr. č. 10. Podle vzorců je pak konstruktér schopen vypočítat vhodné toleranční uložení hřídele a náboje. Příklad uložení O-kroužků pro různé aplikace je v tabulce.

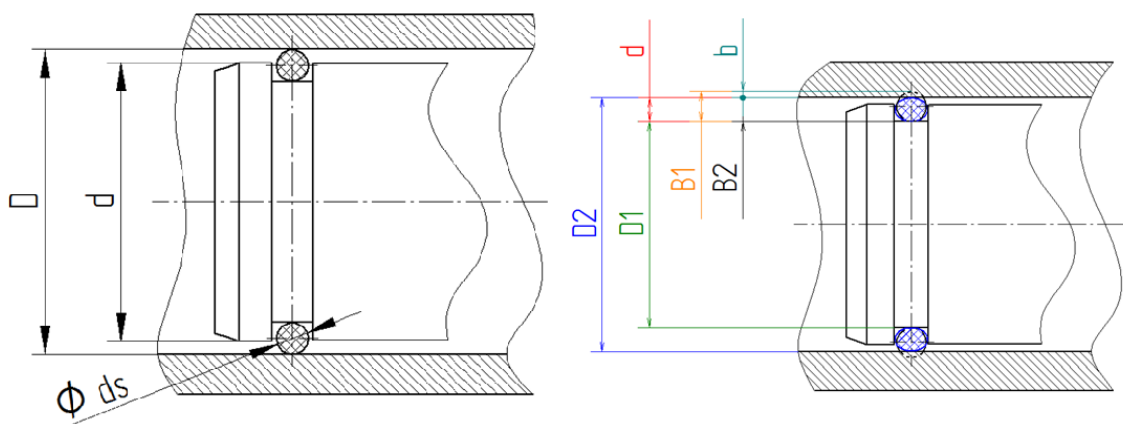
Tabulka 2: Příklad doporučení uložení O-kroužku pomocí tabulky [13]

Průřez O-kroužku [mm]	Statická aplikace stlačení kroužku [%]	Dynamická aplikace stlačení kroužku [%]	
		Pneumatická	Hydraulická
1,8	13,5 – 30,5	9,5 – 25,5	13,0 – 28,5
2,65	13,0 – 28,0	8,5 – 22,0	11,5 – 24,0
3,55	11,5 – 27,5	6,5 – 20,0	9,5 – 23,0
5,3	11,0 – 26,0	5,5 – 17,0	9,0 – 20,5
7	10,5 – 24,0	5,0 – 15,5	9,0 – 19,5



Obrázek 10: Příklad doporučení uložení O-kroužku pomocí grafu [13]

Na základě odečtených hodnot konstruktér nejprve provede rozměrovou rozvahu a vypočítá vhodné uložení a zjistí vhodnou toleranci pro spoj. Jelikož je znám průměr O-kroužku i jeho uložení na hřídeli, které vyplývají z doporučení výrobce, jedinou neznámou zůstává velikost průměru díry D, jak je uvedeno na obrázku č. 11 vlevo.



Obrázek 11: Výpočtové schéma včetně kót, vlevo zobrazení na výkresu, vpravo reálný stav

Jako první je uveden výpočet maximálního a minimálního přesahu dle vzorce (3.1).

$$b_{min} = \Delta_{min} \cdot d_{s_{min}} \quad (3.1)$$

$$b_{max} = \Delta_{max} \cdot d_{s_{min}}$$

Poté se provede rozměrový rozbor na základě, kterého vyjde hledaný průměr D.

Před samotným výpočtem rozměrového obvodu a zjištěním hledaného průměru D, je třeba určit rovnice pro uzavírací členy (3.2), ze kterých lze vyjádřit neznámou B2 dle rovnice (3.3).

$$b_{min} = B1_{min} - B2_{max} \quad (3.2)$$

$$b_{max} = B1_{max} - B2_{min}$$

Po vyjádření z rovnice 3.2.

$$\begin{aligned} B2_{min} &= B1_{max} - b_{max} \\ B2_{max} &= B1_{min} - b_{min} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Nyní lze z obrázku č. 11 vpravo a vztorce (3.3) určit obecný vzorec pro výpočet velkého průměru  $D$  podle vztorce (3.4).

Pro minimální  $D$

$$\begin{aligned} B2_{min} &= d_{min} = D2_{min} - D1_{max} \\ D_{min} &= D2_{min} = (D1_{max} + 2 \cdot B2_{min}) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Pro maximální  $D$

$$\begin{aligned} B2_{max} &= d_{max} = D2_{max} - D1_{min} \\ D_{max} &= D2_{max} = (D1_{min} + 2 \cdot B2_{max}) \end{aligned}$$

Na základě takto zjištěných rozměrů konstruktér vypočítá hodnotu obou extrémních rozměrů, určí optimální průměr ležící ve středním poli těchto extrémních hodnot a stanoví příslušnou toleranci. Uvedený zápis lze pak uvádět ve tvar *průměr ± tolerance*.

## 4. MTM (Measuring Time Method)

Normování práce, která byla poprvé založena na počátku 19. století. Od této doby bylo vytvořeno mnoho studií a nových metod, nicméně metodika měření času – MTM je v dnešní době jedna z nejpoužívanějších metod pro měření strojního času obsluhy a je využívána především v automotive průmyslu. [17]

### 4.1. Historie [17]

Normováním práce se začal zabývat Frederick Winslow Taylor na přelomu 19. století. Začal se stopkami v ruce počítat základní pracovní činnosti a tím položil základy normování práce.

Tuto metodu jako první transformoval a využil Henry Ford ve svém závodě pro sériovou výrobu automobilů. Metoda využívaná H. Fordem je známa pod názvem fordismus.

Do dnešní doby bylo vytvořeno mnoho odnoží a procesů, jakými lze normovat čas, z nich je v dnešní době nejpropracovanější a nejpoužívanější právě metoda MTM.

### 4.2. Princip metody a její přínos [17]

Principem metody MTM je rozbor člověka po fyziologické stránce. Pohyb člověka se dá rozdělit do 3 skupin:

- a) Pohyb horních končetin – 8 pohybů
- b) Pohyb očí – 2 pohyby
- c) Pohyb dolních končetin – 15 pohybů

Při analýze jsou zkoumány faktory ovlivňující čas pohybu potřebný na jeho provedení. Mezi základní faktory ovlivňující čas vykonání procesu patří:

- a) Vzdálenost měřená v cm<sup>6</sup>
- b) Hmotnost vyjádřená v kg
- c) Úhel měřený v šedesátkové soustavě
- d) Typ pohybu

---

<sup>6</sup> V Evropské unii, kde je zavedena základní soustava SI. Ve Velké Británii, USA a dalších zemích převládají stále míry v palcích a libách. Proto pokud čerpáme ze zahraničních zdrojů, je nutno provést přepočítání na míry soustavy SI.

Norma MTM definuje 11 základních pohybů, ke kterým jsou přiděleny základní symboly.

1. Sáhnout R
2. Přemístit M
3. Uchopit G
4. Přehmátnout G2
5. Tlačit AP
6. Spojit P
7. Pustit RL
8. Oddělit D
9. Otáčet T
10. Přemístit zrak ET
11. Zkoušet EF

Zkratky jsou odvozeny z anglických slov (např. přemístit = move – M, uchopit = grab – G).

Metoda časových studií má přínos především v sériové výrobě u produkčních linek, a udává jejímu tvůrci na základě zjištěných parametrů k jednotlivým činnostem, optimální strojní čas dle tabulkových hodnot. Pomocí této metody lze určit optimální čas linky, aniž by linka byla ještě postavena. Dále díky studii lze umístit jednotlivé části linky tak, aby navazovaly na následné operace. Lze tak maximálně využít čas a zvýšit ergonomii a účinnost pracovníka. Metoda zohledňuje i velikost předmětu a jeho hmotnost, tudíž optimální vytížení obsluhy stanice, aby pracovník nebyl nadměru přetěžován nebo naopak byl málo vytížen.

Mezi další přínosy patří i zajištění konkurenceschopnosti, zvláště v průmyslu, kde při dosažení potřebné kvality je stálý tlak na zvyšování produktivity. Nespornou výhodou je i minimalizace ztrát optimálním využitím pracovní síly.

### 4.3. Výpočet času

Jednotlivé základní úkony jsou popsány v tabulkách pro různé vzdálenosti, úhly a různé hmotnosti předmětu – viz. obr. č. 12.

**Table 6.2 (c). Turn**

Weight (lbs)	Time TMU for degreasturned										
	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
Small (0-2)	2.8	3.5	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4
Medium (2.1 to 10)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Large (3.1 to 35)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Obrázek 12: Příklad z normy MTM pro otočení předmětu pro různé úhly [18]

K jednotlivým úkonům jsou v tabulce připsány hodnoty času TMU. Čas TMU je normovaný čas a pro přepočítání platí pravidlo dle vzorce 4.1.

$$1 \text{ TMU} = 0,036 \text{ s}$$

$$1 \text{ s} = 27,7 \text{ TMU} \quad (4.1)$$

$$100\,000 \text{ TMU} = 3\,600 \text{ s} = 1 \text{ h}$$

Základní úkony jsou sepsány do tabulky a jsou k nim přiřazeny vzdálenosti, hmotnost předmětu a výsledný čas, nalezený v elementárních tabulkách.

Samotný výpočet není pouze o součtu operací a převodu času TMU na s, nicméně pro úvod do problematiky a výpočtu v práci je přepočítání času a součet elementárních operací postačující. Ve složitějším využití této metody také platí, že některé pohyby se dají sčítat dohromady a podle koeficientu obtížnosti se celkový čas opět znormuje.

*Např.: Pohyb ruky po dráze, a přitom její natočení jsou 2 různé pohyby, pro které jsou v tabulkách příslušné hodnoty, ovšem člověk tento pohyb dokáže vykonat souběžně, a tím se zkrátí celkový čas úkonu.*

Z elementárních úkonů lze skládáním jednotlivých operací tvořit základní pohyby a operace a skládáním těchto základních operací lze tvořit kompletní proces stanice, popřípadě celé linky.

#### 4.4. Určení času obsluhy stanice

Součástí návrhu stanice je nutno určit čas obsluhy a čas taktu samotné stanice. Detailnější popis a požadavky ze strany zadávající společnosti Mann+Hummel jsou popsány v kapitole 6.2.

## 5. Popis funkce stanice

Stanice je v následující kapitole rozdělena na jednotlivé menší celky, které budou popsány v přesném sledu operací ve stanici.

### 5.1. Charakteristika výrobku

Daná zařízení pro společnost Mann+Hummel, zabývající se vývojem a výrobou kabinových a palivových filtrů pro automobilový průmysl, má sloužit pro vybrané vozy jako filtr pevných částic obsažených v palivu a současně jeho přehřevu před samotným vstříknutím směsi do spalovacího prostoru.

### 5.2. Charakteristika pracovní stanice

Jedná se o poloautomatickou pracovní stanici. Zařazení do skupiny „poloautomatických stanic“ dostává z důvodu nutnosti založení předmontovaného konektoru s O-kroužky do držáku hlavy lisovacího zařízení. Tedy celý proces předmontáže a lisování se v průběhu neobejde bez přítomnosti lidského faktoru.

Montážní linka, kterou je třeba navrhnout, je pro montáž filtru nafty s ohřevem paliva pomocí topných plechů.

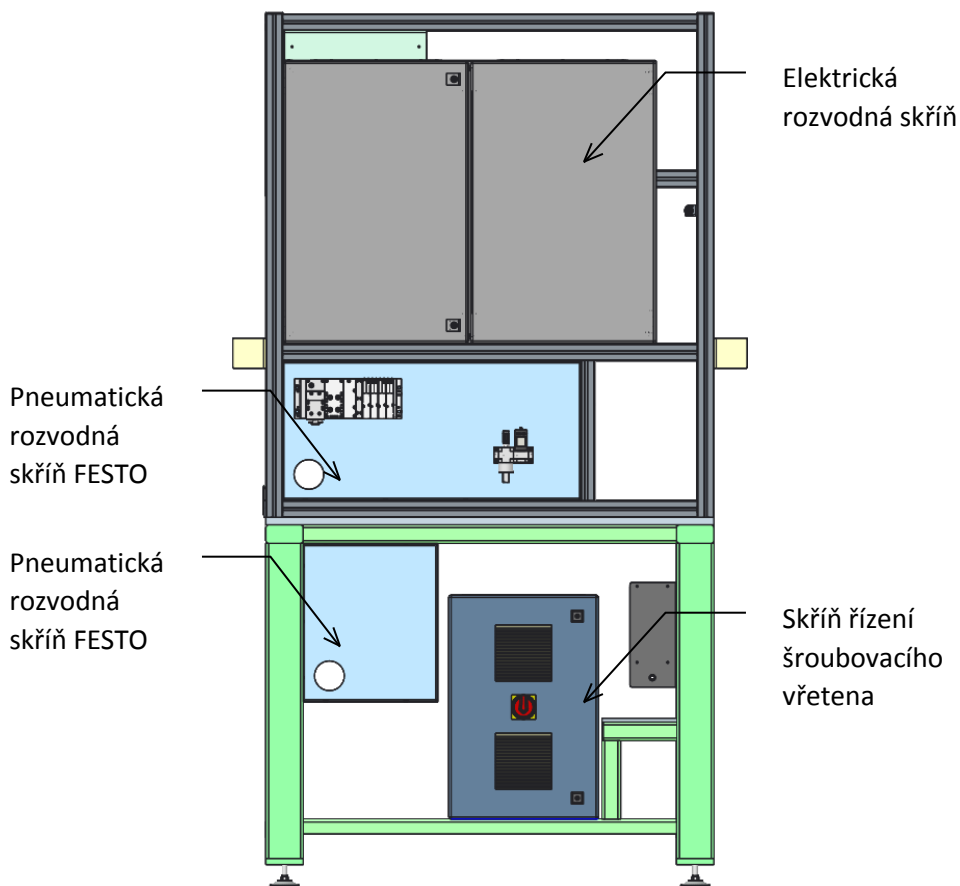
Zadání ze strany Mann+Hummel je, že daná stanice má být multifunkční, tedy že na jedné stanici bude možná výroba 2 různých typů palivových filtrů – typ MB 1179 a MB 1255 – musí být navrhnout přípravek na uchycení tělesa univerzální a použitelný pro obě zařízení, aniž by byla nutná demontáž přípravků.

Výroba bude probíhat ve 3 směnném provozu (15 směn/týden s dobou směny 7,5 hodiny, 50 týdnů za rok). Životnost zařízení je požadována na dobu 10 let, přičemž výkonnost linky činí >320 000 ks/rok typ MB 1255 a 50 000 ks/rok typ MB 1179.

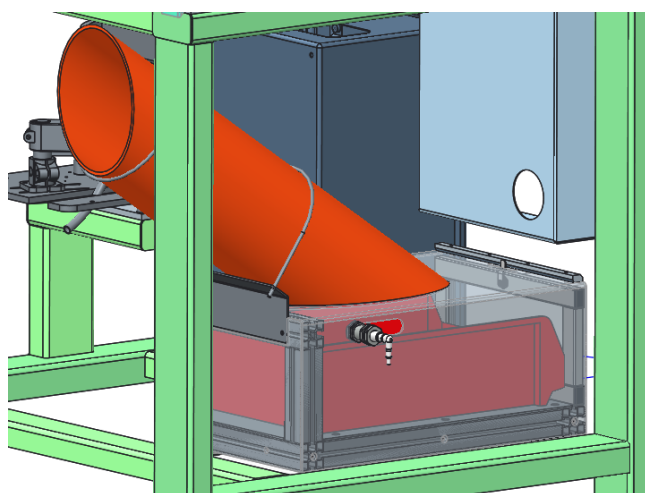
### 5.3. Rozměr stanice

Projektové zadání uvádí zástavnou plochu stanice 1200x1000 mm s podmínkou, že šířka 1200 mm je neměnná, zatímco u hloubky stanice je změna možná, avšak až po konzultaci se zadavatelem zakázky, tj. firmou

Mann+Hummel. Do stanice musí být umístěna veškerá elektro zástavba, řídicí skříň pneu pohonů, šroubovacího a lisovacího vřetene – viz. obrázek č. 13, krabice NOK dílů – viz obrázek č. 14, nádrž s mazivem pro mazání O-kroužků, dvojice vibračních zásobníků pro šrouby a O-kroužky a další nutné vybavení stanice pro její chod.



Obrázek 13: Pohled na zadní část stanice sloužící pro uložení řídicí techniky



Obrázek 14: Pohled na krabici pro umístění NOK dílů



Součástí stanice, která se však do šíře stanice nezapočítává, je rám s rolnami pro KLT boxy, v níž jsou umístěny konektory v blistrech<sup>7</sup> – viz. obrázek č. 15.



Obrázek 15: KLT boxy na díly různých velikostí [19]

Účelem co nejmenší zástavné plochy je snížení hmotnosti a robustnosti stanice, toto snížení však nesmí být na úkor tuhosti nebo stability konstrukce. Dále se zkrátí čas mezi přechody k jednotlivým pracovištím, což má pozitivní výsledek nejen na časových prodlevách a produktivitě, ale i na menším zatížení pracovníků.

#### **5.4. Přípravek pro lisování O-kroužků**

Před samotným lisováním konektoru do tělesa je třeba na předmontážní lince, která je součástí linky, namontovat na konektor 3 O-kroužky.

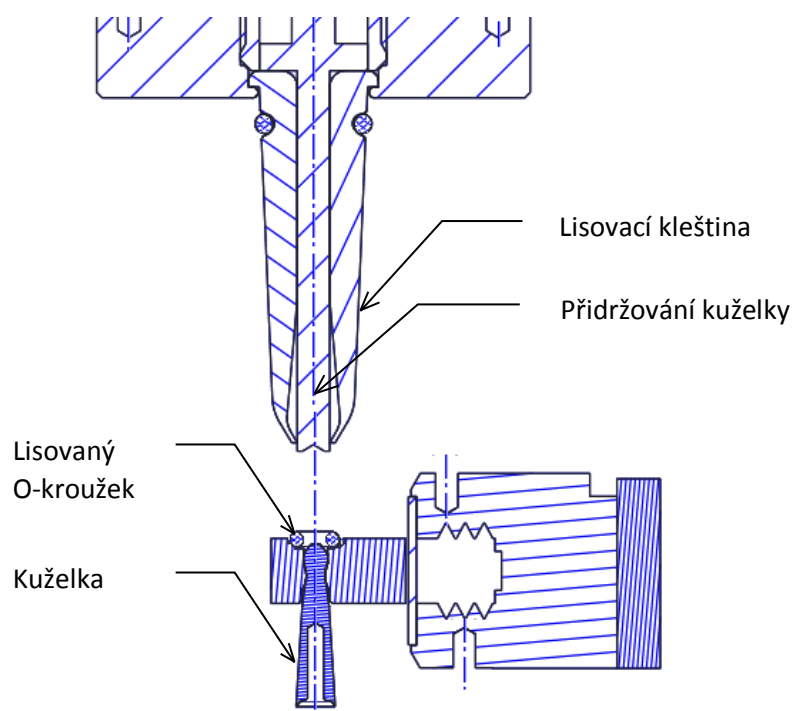
Vzhledem k tomu, že lisování O-kroužků je prováděno na tři piny konektoru ve vzdálenosti po 10 mm, je možné vybrat variantu s univerzálními sklíčovými, která byla popsána v kapitole 3.2.4, nicméně by se sklíčidlo muselo přizpůsobit dané aplikaci, a i přesto by jeho použití bylo velice obtížné. Lisování pomocí univerzálního sklíčidla v této stanici nebude provedeno. Proto bude zvolena varianta, kdy nalisování O-kroužku bude provedeno přetažením O-kroužku přes volně položenou kuželku na pinu konektoru.

<sup>7</sup> Blistr je výlisek z plastu, v níž má díl přesně vymezené místo. Slouží k ochraně citlivých částí před mechanickým poškozením a zároveň zkracuje strojní čas tím, že obsluha nemusí ztrácet čas vybíráním volně ležících dílů.

### 5.4.1. Popis zařízení

Toto zařízení bude umístěno v levé přední části stanice tak, aby obsluha nemusela přecházet pro konektor. Blistry s konektory budou umístěny taktéž v levé část stanice, tudíž je zajištěna nejvyšší možná ergonomie pracoviště. Totem lisovací hlavy bude upevněn na pracovní desce.

Konektor bude umístěn do lůžka v šuplíku, čímž se vytyčí jeho přesná pozice v zařízení. Konektor bude ustaven v lůžku pomocí čepů, které jsou ve stejných pozicích jako díry na šrouby. Tím se zajistí přesná pozice konektoru v přípravku. Pohyb šuplíku do stanice bude zajišťovat pneuválec FESTO ADN 20x200-a-p-a<sup>8</sup> [20], který konektor přesune do první lisovací pozice – pozice 1. V okamžiku, kdy konektor bude na pozici 1, bude provedena kontrola přítomnosti konektoru kamerou. Bude-li konektor správně usazen v lůžku, sjede lisovací kuželka, na které bude již připraven O-kroužek pro nalisování na konektor. Kuželka bude volně uchycená a držaná upínačem SCHUNK-PGN-PLUS-64 [21]. Jedná se o univerzální pneumatický upínač.



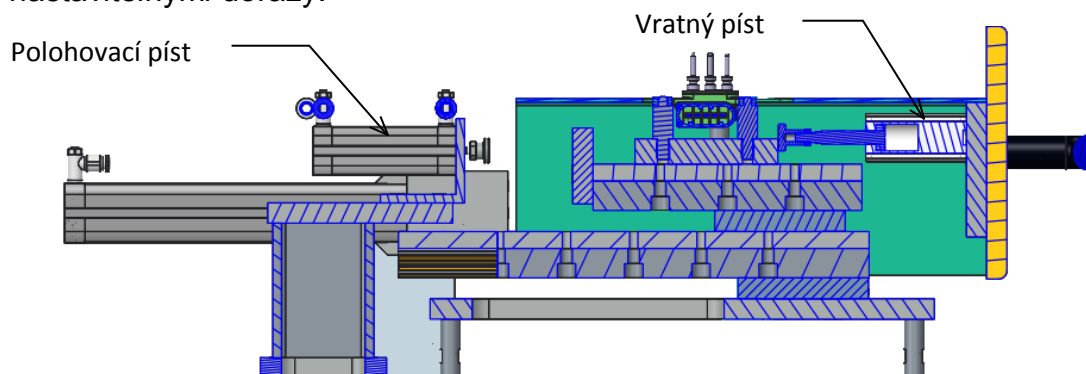
Obrázek 16: Průřez lisovací hlavou a umístění O-kroužku v kleštině

Nabitý O-kroužek v prostoru vybrání kleštin je usazen nad kuželkou – viz. obr. č.16. Kuželka se nasune na pin konektoru a v okamžiku rozevření kleštin,

<sup>8</sup> a-pístnice s vnějším závitem, p-pružné těsnící kroužky na obou stranách

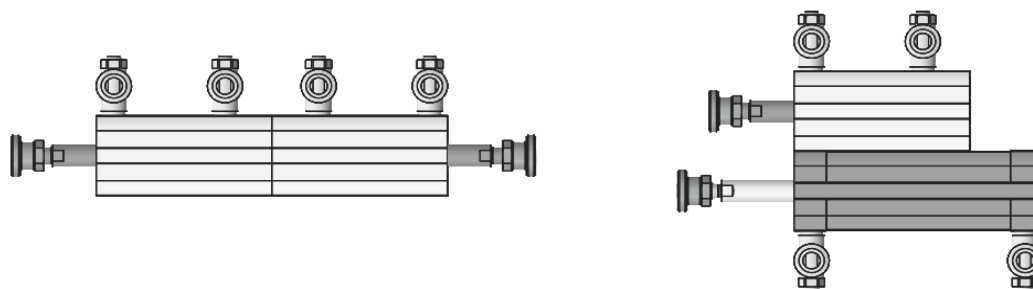
O-kroužek spadne volně na kuželku. Následně pomocí lisovacího pneuválce FESTO ADN 32x80-a-p-a [20] se na kuželku nasune kleština s přítlačným hrotem zabraňující vytáhnutí kuželky kleštinou při zpětném pohybu, která O-kroužek přetáhne přes kuželku až do drážky pro O-kroužek v pinu konektoru. Následně se kleština vrátí do horní polohy, upínač sevře kuželku a vyjede do horní úvrati.

Posuv mezi jednotlivým piny bude vykonávat pojezd držáku konektoru zabudovaný v šuplíku – viz. Obrázek č. 17. Zapotřebí budou 4 pozice. Nultá pozice – vysunuto – slouží pro založení konektoru do přípravku v šuplíku. 1., 2. a 3. pozice budou pozice jednotlivých hrotů konektoru pod kuželkou a lisovacím trnem, která sjede na hrot a bude následovat nalisování konektoru. Jednotlivé pozice budou řízeny pneuválci a přesné polohy bude docíleno pevnými nastavitelnými dorazy.



Obrázek 17: Pohled na pojezd šuplíku pro docílení lisovacích poloh

Možností řízení je více. Buď se použije dvou paralelně spojených pneuválců za sebou – viz obrázek č. 18 vlevo nebo dvou sériově spojených pneuválců vedle sebe – viz. obrázek č. 18 vpravo, kdy nejprve pneuválec s menším zdvihem přetlačí hlavní pneuválec do druhé požadované pozice a následně druhý pneuválec dotlačí konektor do třetí pozice.

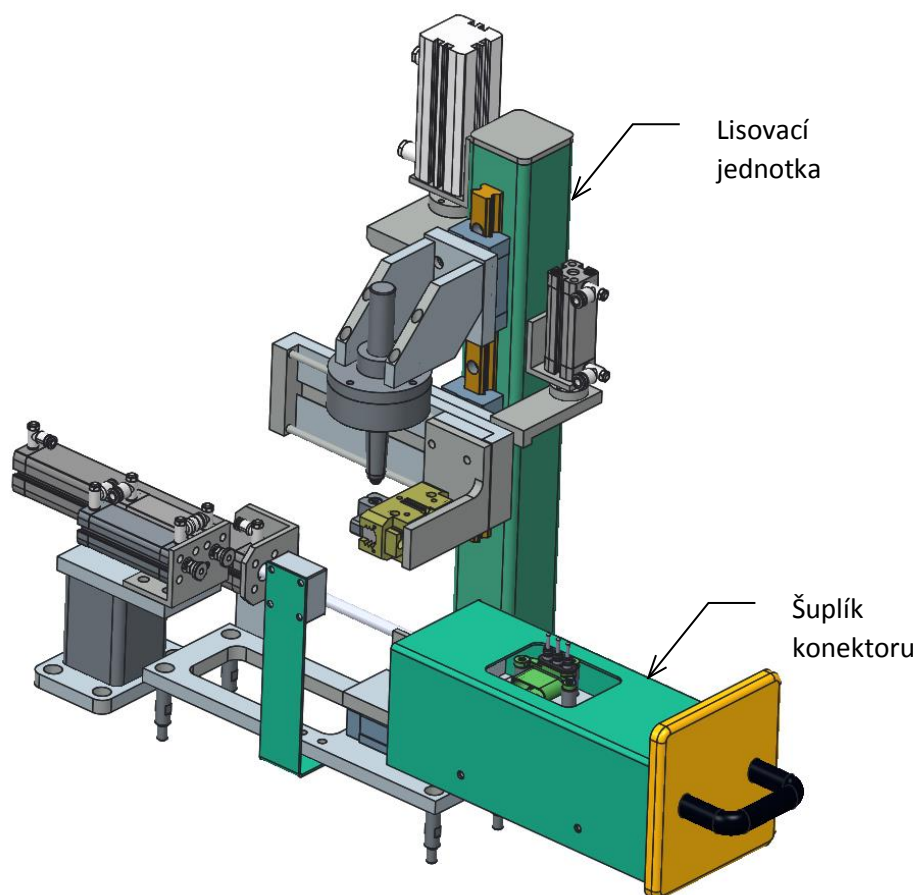


Obrázek 18: Schematické znázornění řízení poloh. Vlevo paralelní válce (tandemové), vpravo sériové válce (vedle sebe)

Na základě vhodnosti, především z důvodu snížení prostorových nároků, byla vybrána varianta číslo 2, tedy varianta se sériově spojenými pneuválci vedle sebe pro obsluhu jednotlivých pozic na přípravku.

Po nalisování všech 3 O-kroužků bude provedena kontrola správného nalisování O-kroužků pomocí černobílé kamery, která bude snímat obrys konektoru a na základě vzoru porovnávat správnost nebo přítomnost nalisovaných O-kroužků.

Celkový pohled na lisovací stanici je možné vidět na obrázku 19.



Obrázek 19: Pohled na lisovací přípravek O-kroužků s otevřeným šuplíkem

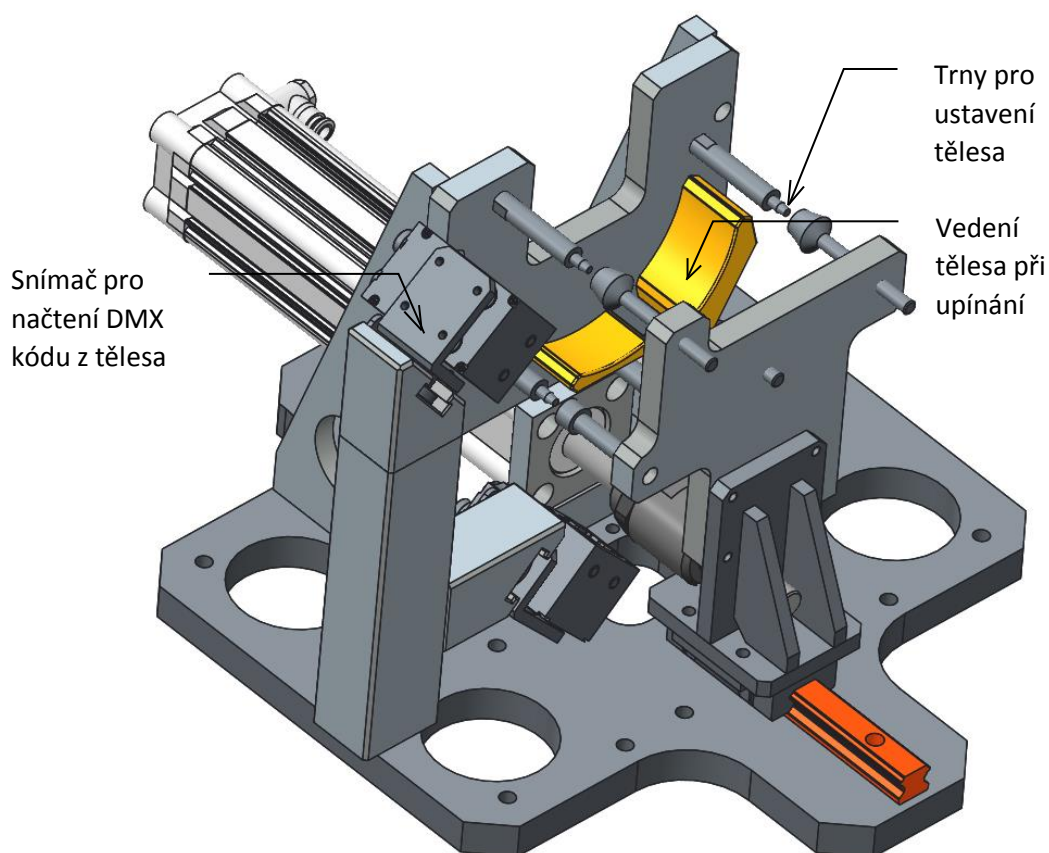
## 5.5. Přípravek pro lisování konektoru

Konektor s nalisovanými O-kroužky bude umístěn do přípravku ručně a držen podtlakem. Lisovací proces bude začínat načtením data matrixu umístěného na patkách housingu. Data matrix slouží k identifikaci typu filtru, tedy zda se jedná o typ se třemi patkami a upevňovacím plechem, na kterém je upevněno samotné těleso filtru (s bracketem) – MB 1255, nebo o typ se dvěma

patkami bez bracketu – MB 1179. To se dělá především z důvodu zjištění identifikace dílu v případě některé poruchy. Využití a výhody DMX kódu jsou popsány v kapitole 2.10 Před samotným lisováním bude provedeno namazání O-kroužků a děr v hausingu mazivem Shell Ondina 919.

### 5.5.1. Uchycení tělesa

Uchycení tělesa bude pomocí univerzálního upínače stejného pro obě varianty tělesa – viz obrázek. č. 20. Pro absolutně přesnou polohu, a především pro zajištění dostatečné ergonomie, je uchycen v trnech a podepřen v dosedacích plochách, pro snížení napětí v patkách a zvýšení tuhosti při lisování. Vysouvání a zasouvání tělesa v upínači do stanice je zajištěno pístem o síle 1 000 N. Takto vysoká síla je nutná z důvodu přítomnosti elektrické osy o maximální síle 500 N, která má tendenci vytlačovat hausing ze stanice. Tato síla zamezí vyosení plechů topení při samotném lisování a v případě, kdyby došlo k ohnutí plechů v důsledku působící lisovací síly nebo v důsledku nainstalování již ohnutého plechu, zabezpečí jeho narovnání.



Obrázek 20: Univerzální přípravek pro uchycení tělesa

### 5.5.1.1. Princip funkce

Obsluha založí těleso s namontovanými topnými deskami do přípravku na uchycení tělesa. Vedení v přípravku zajišťuje dostatečnou ergonomii při zakládání. Díky trnům v přípravku bude těleso usazeno v lisovacím přípravku vždy přesně a kolmo k lisovanému konektoru. Celé těleso je přidržováno malým pneuválcem za čelo. Toto uchycení je nutné především proto, aby při případné další manipulaci ve stanici nedošlo k posunutí nebo vyosení tělesa před samotným zajištěním přípravku do stanice a pevným uchycením tělesa v přípravku.

### 5.5.2. Uchycení konektoru

Konektor, jak již bylo zmíněno, je nasazen v lisovacím zařízení volně a přidržován podtlakem. Největším problémem bylo vhodné umístění podtlaku z důvodu tvarové složitosti konektoru. Horní část konektoru je sice hladká, ale má malou tloušťku stěny (0,8 mm). Proto není možné na tuto plochu vyvíjet zvýšenou sílu, aby nedošlo k poškození lisovaného konektoru. Dolní část je sice dostatečně tuhá pro lisování, avšak nedovoluje přidržování podtlakem z důvodu nátrubku pro pryžovou kuličku.

Je tedy nutné využít obou výhod konektoru, tj. hladká stěna na horní části a pevná spodní část. Vhodným řešením je pouhé držení konektoru podtlakem za jeho hladkou horní stěnu pomocí savky o průměru 10 mm a lisovací sílu vyvíjet přes tuhou spodní část konektoru.

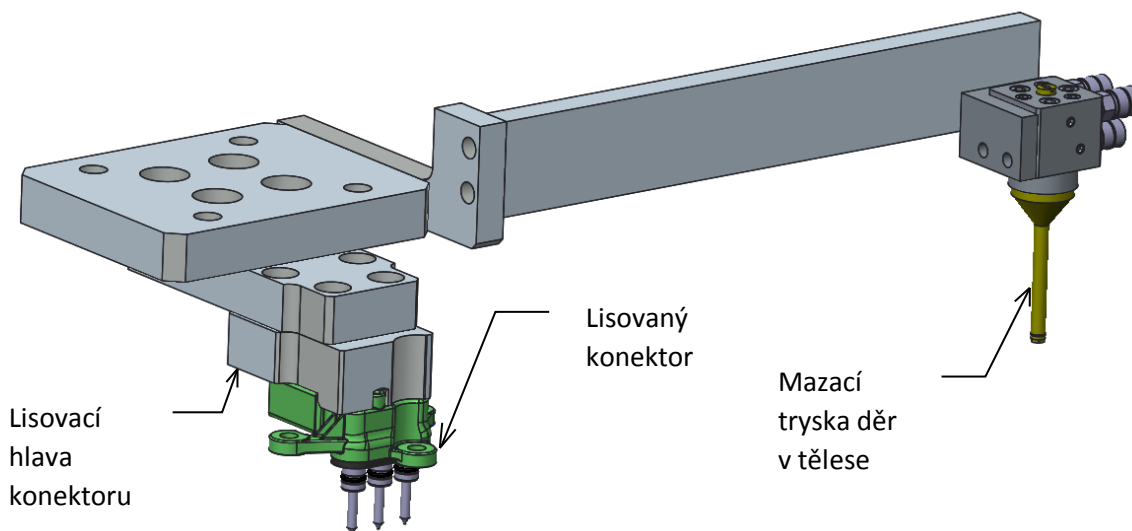
Při lisování a případném náhlém lehkém vyosení se gumová savka zdeformuje, a tak dojde ke správnému zalisování konektoru do tělesa, aniž by došlo k jeho zničení. Celkový pohled na lisovací hlavu je znázorněn na obrázku č. 21.

### 5.5.3. Lisování konektoru

Při lisování konektoru do tělesa bude po celou dobu procesu měřena lisovací síla v závislosti na dráze a graficky znázorněna na displeji v přední části stanice.

Pro řízení lisovacího procesu byla zvolena obdélníková metoda popisovaná v kapitole 2.9.2. Pro určení síly bude použit piezoelektrický

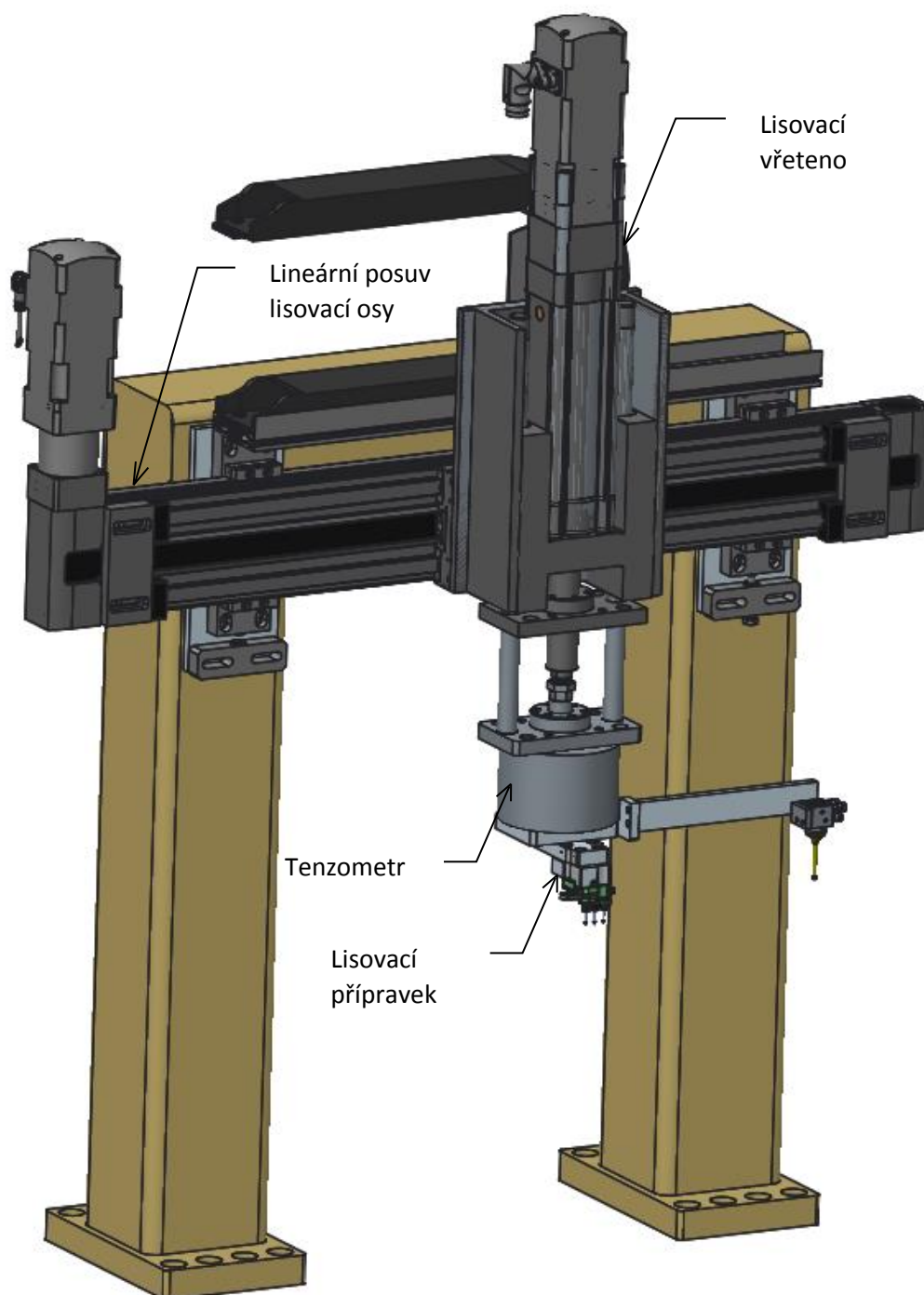
tenzometr umístěný na lisovacím vřetenu. Pro měření dráhy je použit snímač absolutního měření polohy.



Obrázek 21: Hlava lisovacího přípravku (vlevo) včetně přípravku pro mazání děr tělesa (vpravo)

Rám zařízení je svařen z jeklů o průřezu 140x140x5. Pojezd lisovací hlavy zajišťuje manipulátor FESTO EGC HD 125-350 tb-0h-gk [22]. O lisování konektoru se stará elektrické lisovací vřeteno FESTO ESBF 63-200-10P [23]. Lisovací síla je kontrolována tenzometrem umístěným mezi lisovací hlavou a lisovacím vřetenem – viz. obrázek č. 22.





Obrázek 22: Lisovací rám včetně lineárního pojezdu a lisovací hlavy

## 5.6. Mazání konektoru a děr v tělese pro konektor

Před samotným nalisováním konektoru je nezbytné namazat vnější plochu O-kroužků i díry v tělese mazivem Shell Ondina 919.



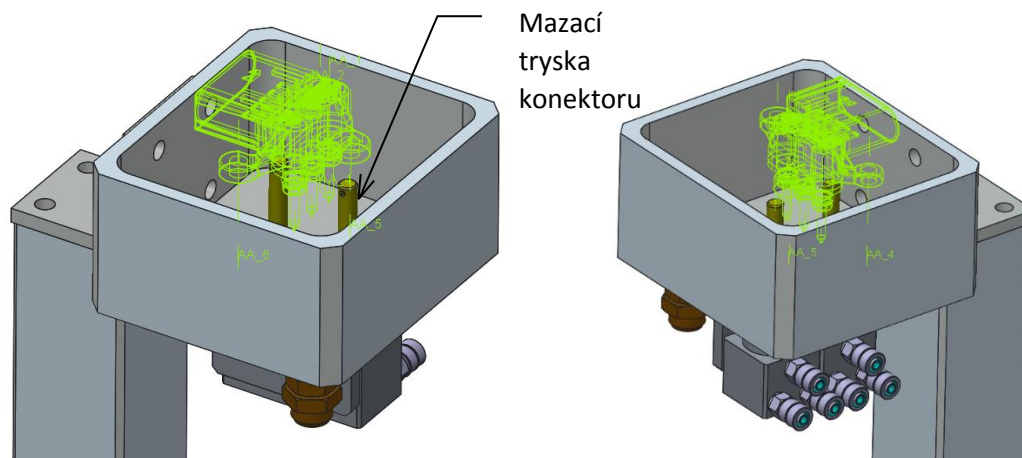
Požadavek ze strany Mann+Hummel je, aby samotné konektory zůstaly čisté. Je tedy třeba zvolit vhodnou trysku, která efektivně namaže O-kroužky ze všech stran a zároveň neznečistí konektory olejem. Firma Walther Lubricant v tomto ohledu dodává široký sortiment dávkovacích zařízení včetně trysek různých tvarů a průměrů.

### 5.6.1. Popis zařízení

Po založení tělesa i konektoru, před samotným zalisováním budou namazány O-kroužky a díry v tělese, aby došlo ke:

- a) snížení součinitele tření a tím snížení lisovací síly
- b) snížení pravděpodobnosti poškození O-kroužku při lisování.

Samotné mazání je prováděno posuvem lisovací hlavy a lineárního vedení, popsané v kapitole 5.5, na které je umístěn konektor a mazací tryska děr. Na pracovní desce je upevněn přípravek pro mazání konektoru – viz. obrázek č. 23 a obrázek č. 21.



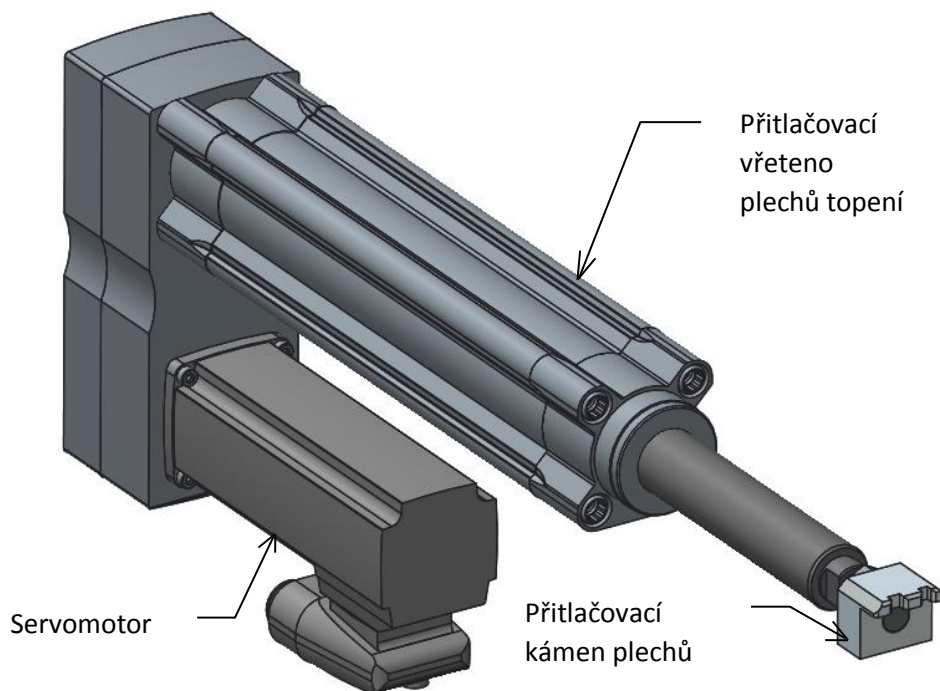
Obrázek 23: Pohled na mazací přípravek konektoru s dvojicí trysek

Lisovací hlava najede s mazací tryskou do díry a zároveň umístí jeden pin konektoru do lisovacího přípravku na stroji a aplikuje potřebné množství maziva. Lisovací hlava se vrátí zpět do výchozí pozice a stejná operace se aplikuje i na druhou a třetí díru a pin konektoru. Po namazání všech děr a pinů konektoru mazací lisovací hlava najede do lisovací polohy.

### 5.7. Přidržování topných tělísek

Samotná topná tělíska jsou v hausingu (tělese) již přišroubována, nicméně při lisování konektoru do plechů by se jednotlivá vyústění děr konektoru mohla

ohnout a konektor by nebyl s plechy spojen. Proto bude při lisování použit elektrický servoválec FESTO ESBF BS 32-100 [23] – viz. obrázek č. 24, který bude přidržovat plechy konektorů při samotném lisování. Válec bude nastaven pouze na lehký dotyk konektorů. Díky tvarové složitosti a malé tloušťce plechů je však při samotném lisování třeba zamezit jejich ohnutí, a tím docílit nízké zmetkovitosti součástí.



Obrázek 24: Servoválec FESTO ESBF BS 32-100 na konci s přitlačovacím kamenem

### 5.7.1. Princip funkce

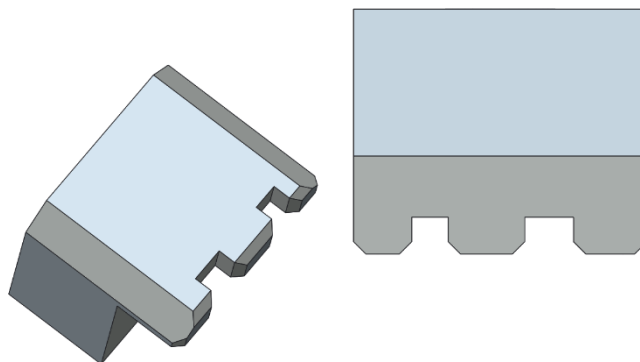
Po namazání O-kroužků na konektoru i děr v hausingu najede lisovací hlava na lisovací pozici.

V této chvíli válec najede na lehký dotyk plechů topných tělísek. Pokud budou topná tělíska přiohnutá, zajistí jejich narovnání do správné lisovací pozice.

Přidržovací válec bude tedy vedle funkce pojistné a vodící plnit i funkci korekční – narovnání ohnutých plechů topení. O to se stará speciálně vytvarovaný díl na konci válce, znázorněný na obrázku č. 24. Detail protlačovacího kamene je na obrázku č. 25.

Během samotného lisování nebude válec vykonávat žádný pohyb, pouze bude uzamčený v dané vysunutě poloze.

Po zalisování konektoru se servoválec vrátí do své základní pozice.



Obrázek 25: Detailní pohled na přitlačovací kámen topných plechů

## 5.8. Šroubování konektoru

Šroubování konektoru probíhá po zalisování konektoru a oddálení lisovací jednotky do počáteční polohy. Šroubovák je dodán firmou Weber. Jedná se o pneumatický šroubovák s automatickým „nabíjením“ šroubů pomocí podtlakové hadice – viz. obrázek č. 26. Doplnění šroubů a jejich správnou polohu zajišťuje vibrační zásobník umístěný pod deskou pracovní stanice, v zadní části linky. Šroubování šroubů do konektoru probíhá v předepsaném pořadí.



Obrázek 26: Detail na šroubovací vřeteno

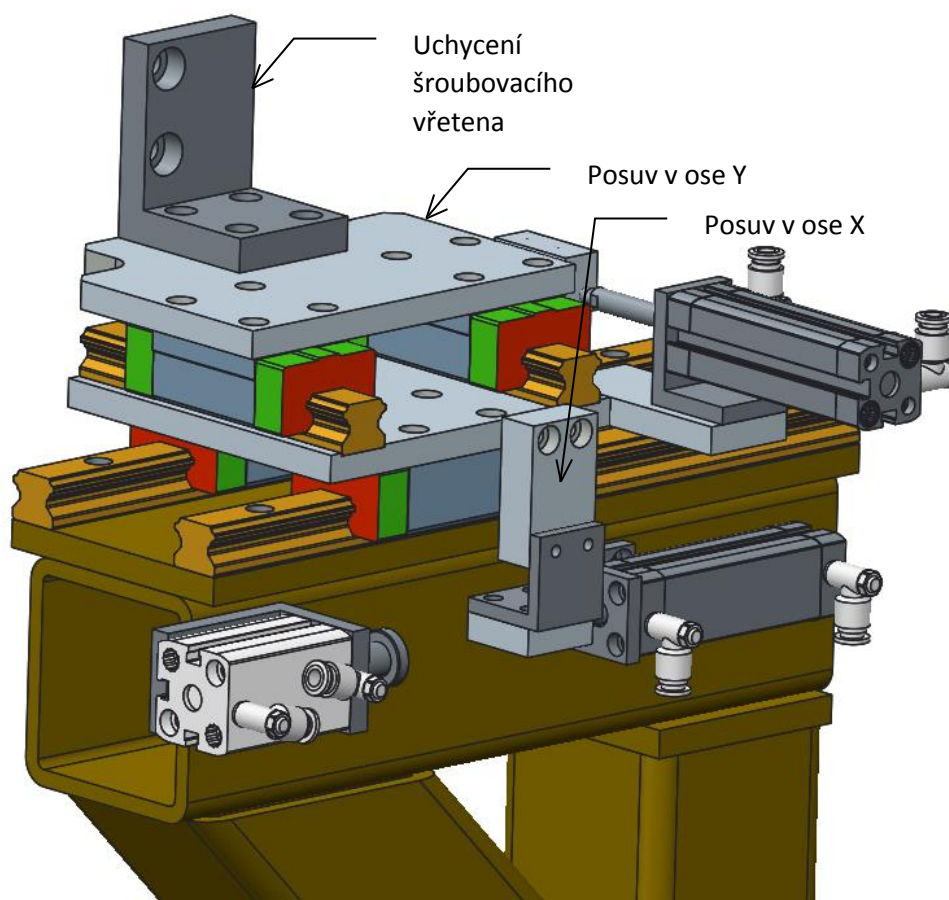
### 5.8.1. Popis zařízení

Po zalisování konektoru se lisovací hlava vrátí do nulové polohy. V okamžiku, kdy se lisovací hlava zastaví, šroubovák najede nad první polohu díry pro šroub v konektoru a spustí se sekvence šroubování.

Šroubování probíhá tak, že podtlakovou hadicí se nabije do hlavy šroubováku šroub z vibračního zásobníku, který se po speciálně navržené trati naorientuje tak, aby po nabití do šroubovacího vřetene byl hlavou nahoru. Po nabití šroubu je uvnitř šroubováku vrtací vřeteno, které se roztočí a zároveň se vysouvá. Tvar šroubovací hlavy je tzv. TORX, který po nastrčení šroubu do vřetene drží dobře souosost a je veden přesně do otvoru a utažen na nastavený krouticí moment.

Po našroubování šroubu se šroubovák přesune do polohy nad druhý otvor na šroub a šroubovací proces se opakuje.

Otvory v konektoru nejsou umístěny pravoúhle, čehož se dá při návrhu pneupohonů využít. Pro sestavení kosočtverce jsou třeba 3 body, neležící v jedné přímce, stejně jako je to v případě šroubů v konektoru. Čtvrtá poloha tvořící kosočtverec může být využita jako „parkovací“ poloha šroubováku. Další výhodou je, že odpadá nutnost dalšího přetlačovacího pneuválce pro získání potřebných počtů poloh - viz. obrázek č. 27.

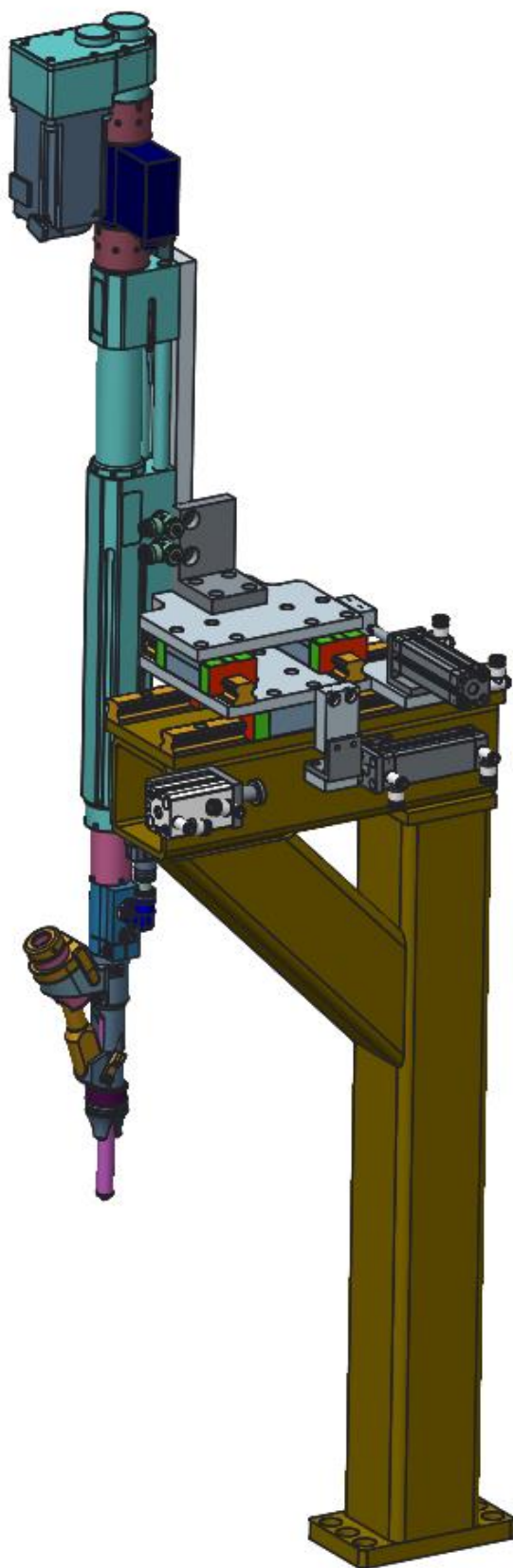


Obrázek 27: Pohled na pohon os šroubovacího vřetene

Během toho je do šroubováku opět nabit další šroub ze zásobníku, a tak vlastně může dojít ihned po najetí šroubováku do druhé polohy k okamžitému šroubování.

Stejný princip je i při šroubování třetího šroubu v konektoru. Po našroubování posledního šroubu se šroubovák opět vrátí do nulové polohy.

V případě, že by došlo ke ztrátě zdroje podtlaku, například z důvodu výpadku elektrické energie, je v pracovní desce umístěna díra a pod šroubovákem trychtýř ke zpětnému odvodu šroubu do vibračního zásobníku. Celkový pohled na šroubovací přípravek je možné vidět na obrázku č. 28.



Obrázek 28: Pohled na šroubovací přípravek

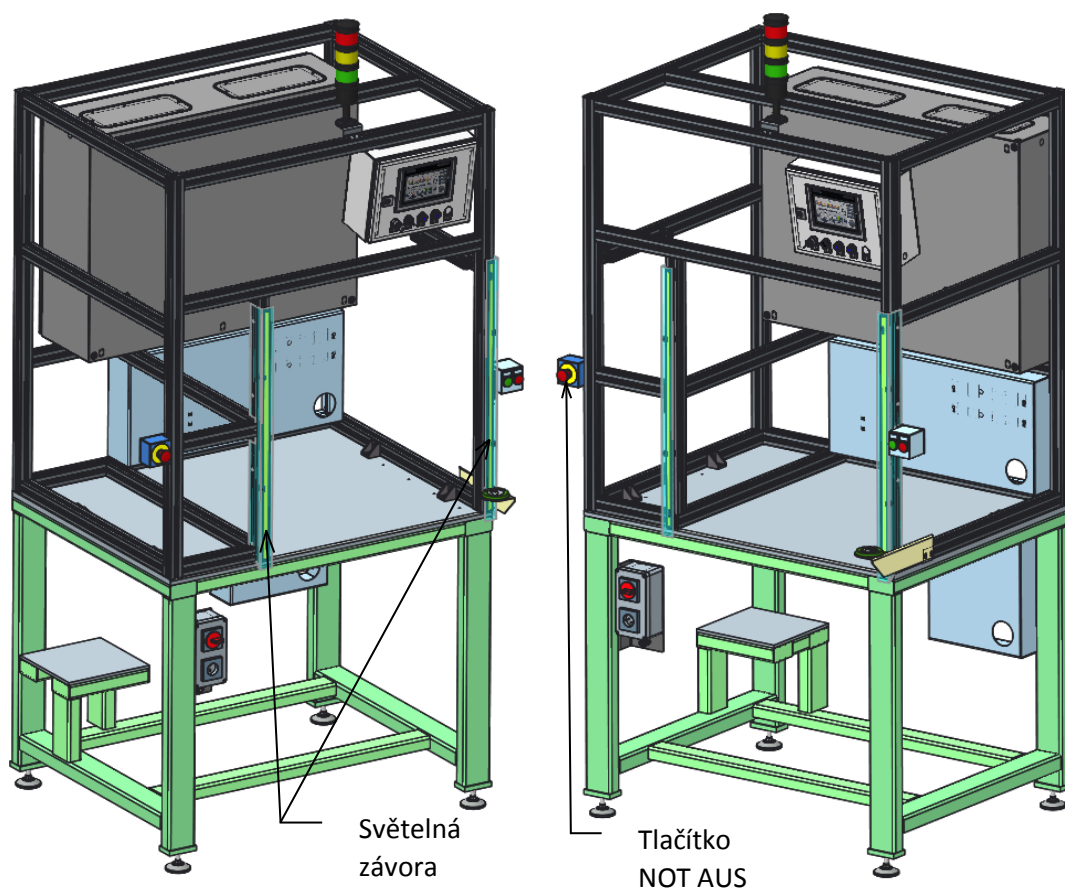


## 5.9. Rám stanice

Rám stanice je konstruován ze dvou základních celků.

Spodní rám stanice je svařenec z jeklů 80x40x5 pro zajištění co nejvyšší tuhosti celé konstrukce. Stanice je umístěna na čtyřech nastavitelných podpěrách.

Horní část stanice situovaná nad pracovní deskou je sestavena z hliníkových profilů o průřezu 45x45 dodávané firmou ALUTEC KK. Jejich výhodou je snížení celkové hmotnosti stanice, možnost využití různých profilů a jednoduchá montážní nastavitelnost. Díky různým doplňkům k profilům je velice jednoduché i samotné zakrytí stanice. V našem řešení je provedeno celkové zakrytí stanice až na místa, která jsou nutná pro přístup obsluhy při manipulaci. Pohled na rám stanice je uveden na obrázku č. 29.



Obrázek 29: Pohled na celkový rám stanice

## 5.10. Bezpečnostní prvky stanice

Nedílnou součástí pracovní stanice jsou i bezpečnostní prvky zajišťující bezpečnost obsluhy při práci stroje. Jelikož se jedná o lis, kde je značné riziko vzniku úrazů zvláště v nebezpečném pracovním prostoru, kde je velké množství tlačných a střízných míst.

### 5.10.1. Lisování O-kroužků

Jeden z hlavních prvků bezpečnosti vybraného pracoviště je právě šuplík na lisování O-kroužků. Vedle jeho samostatné pracovní funkce, umožňuje obsluze souběžně provádět předmontáž konektoru a tím zkrátit pracovní čas, především však zajišťuje bariérovou ochranu pracovníka při lisování O-kroužků na konektor.

### 5.10.2. Lisování konektoru

U lisování konektoru byl v návrhu zvolen bezpečnostní prvek – světelná závora, z důvodu plné elektrické automatizace lisovacího zařízení.

V okamžiku stisknutí startovacího tlačítka se spustí lisovací sekvence a zároveň se aktivuje i světelná závora umístěna na přední straně rámu – viz obrázek č. 29. Pokud by došlo k narušení světelné závory cizím předmětem (uklouznutí pracovníka, vsunutí ruky do stanice), veškeré aktivní prvky lisování konektoru se okamžitě vypnou, a tím je zajištěna ochrana obsluhy stanice.

### 5.10.3. Tlačítko NOT AUS

Pro případ selhání všech bezpečnostních prvků je stanice opatřena nouzovým tlačítkem, které odpojí celé zařízení od zdroje elektrického napájení, a tím k okamžitému ukončení všech posunů – probíhajících operací. Tlačítko je umístěno v levé části stanice v přímém dosahu obsluhujícího pracovníka.

Toto tlačítko neslouží pouze jako významná pojistka před vznikem úrazu, ale lze jej použít i v případech, kdy stroj začne vykazovat nestandardní pracovní postupy, například z důvodu špatného naprogramování, kdy nástroj narazí do dílu a mohlo by dojít k destrukci dílu nebo zařízení, přičemž takové anomálie nejsou ošetřeny jinými zabezpečovacími prvky.



## 6. Výpočetní část

Ve výpočetní části je hlavním cílem stanovení lisovací síly na nalisování O-kroužku na konektor a lisovací síly na nalisování konektoru do tělesa. Od těchto hodnot se dále odvíjí řada dalších konstrukčních návrhů.

### 6.1. Základní pojmy

K výše popsané základní charakteristice výrobku a samotné stanice je třeba uvést dále zmíněnou terminologii.

#### 6.1.1. Nebezpečný pracovní prostor

Jedná se o prostor ve strojním zařízení vymezený velikostí a pohybem nástrojů včetně přidržovačů nebo upínačů, nebo prostoru pro manipulaci s materiálem v blízkosti nástroje, ve kterém může dojít k úrazu.

V tomto prostoru hrozí riziko úrazu převážně v důsledku pohybujících se součástí vůči sobě nebo v důsledku rotace přípravku.

#### 6.1.2. Pracovní prostor nástroje

Jedná se o prostor ve strojním zařízení vymezený rozměry, pohybem nástroje a jeho vybavení.

#### 6.1.3. Tlačné místo

Místo, kde mezi součástmi vzniká tlak nebo kde se k sobě přibližují za chodu na nebezpečnou vzdálenost jednotlivé části stroje.

#### 6.1.4. Střížné místo

Místo, kde se vedle sebe pohybují součásti nástroje nebo stroje, nebo kde se v těsné blízkosti nepohyblivé součásti posouvá část pohyblivá, tak že hrany přejíždějí proti sobě.

#### 6.1.5. Nebezpečné místo

Jakékoliv tlačné nebo střížné místo u lisu nebo jakéhokoliv strojního zařízení, kde v pracovním prostoru může dojít k úrazu, zvláště není-li toto místo patřičně chráněno.

## 6.2. Stanovení potřebného času taktu stanice

Ze společnosti Mann+Hummel byl vznesen požadavek na takt každého stroje v lince maximálně 45 sekund. Celou montážní linku bude obsluhovat pouze 4-5 osob (v závislosti na produkci dílu MB 1255 nebo MB 1179). Proto je třeba každou stanici navrhnout tak, aby čas strávený u stanice byl co nejkratší, aby pracovníci stíhali obsluhovat i ostatní stroje.

V případě prostoje linky z důvodu chybného fázování jednotlivých úkonů stanice a následně dlouhé prodlevy obsluhy na jedné pozici by mohlo dojít ke „skluzu“ v plnění kvót celého výrobního zařízení.

Konstruktér montážní linky je schopen určit celkový čas práce stanice, především v jednodušších úlohách, a to:

- a) Ze znalosti doby operace
- b) Z časové studie – experimentální metodou zjištění doby operací (tabulky časů obsluhy)
- c) Ze simulací pomocí vhodného softwaru (vhodné především u robotických aplikací)
- d) Získanou praxí

V dané stanici probíhá současně mnoho operací. Z časového hlediska je proto nutné, aby i lisování předmontovaného konektoru s O-kroužky do tělesa mohlo probíhat souběžně s lisováním O-kroužků na konektor.

Pro zlepšení taktového času byl v návrhu přidán pro montáž O-kroužků šuplík. Tímto se zvýší automatizace, neboť bude možné vyměnit konektory bez narušení lisovacího procesu vstupem do stanice a tím jejího vypnutí.

Čas obsluhy stanice pro  $n + 1$  díl, kdy  $n$  označuje  $n$ -tý kus počínaje „nultým kusem“ byl stanoven metodou MTM 17,00 sekundy.

Čas lisování O-kroužků byl stanoven ze znalostí rychlostí posuvů válců a další mechaniky na 18,00 sekundy.

Čas lisování a šroubování konektoru do tělesa byl stanoven na čas 26 sekundy.

Kritickou cestu tedy lze odvodit jako součet času obsluhy a času lisování konektoru, který je delší než čas souběžně prováděného lisování O-kroužku. Výsledný čas stanice činí 43 sekundy. To odpovídá i požadavku společnosti

Mann+Hummel na maximální čas 45 sekundy. Zvolený odhad taktu stanice je tedy i s dostatečnou časovou rezervou vyhovující.

Detailně rozepsaný čas jednotlivých operací celé stanice je v přílohách I., II. a III.

### 6.3. Velikost pohonu lisovacích jednotek

Ve stanici jsou celkem tři okruhy lisovacích jednotek, u kterých je třeba navrhnout potřebný minimální rozměr. Jedná se o:

- a) Část montáže O-kroužku na konektor
- b) Část přidržování topných tělísek při lisování
- c) Část lisovací jednotky konektoru

### 6.4. Montáž O-kroužku na konektor

Pohon lisovací hlavy bude obstarávat pneuválec od firmy FESTO. Pro pohon posuvů není nutná velká síla, proto je volen pneuválec 16–200-a-p-a. Pro přetlačení tohoto válce a tím pro docílení potřebných poloh dva pneuválce o 16-40-a-p-a a 16-50-a-p-a řazeny vedle sebe – viz obrázek č. 18.

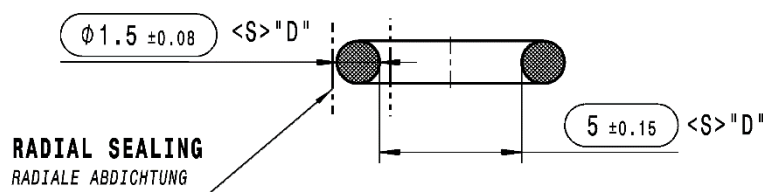
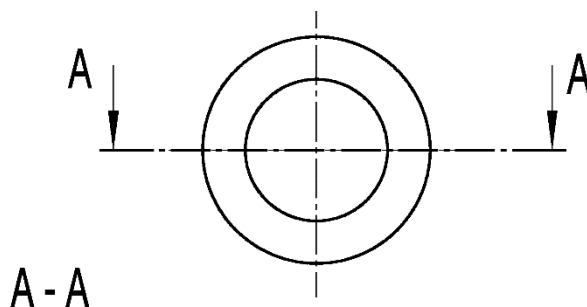
Pro pohon lisovací hlavy O-kroužku bude použit pneuválec od firmy Festo.

Síla působící pro bezpečné lisování musí být větší než odpor lisování s bezpečností alespoň  $k = 3$ .

Aby bylo možné zjistit průměr lisovacího válce, je nutné vypočítat lisovací sílu potřebnou pro nalisování O-kroužku včetně veškerých odporů vedení, aj.

#### 6.4.1. Charakteristika O-kroužku

Daný O-kroužek je z elastomeru FKM 7175. Jeho tvrdost je  $80 \pm 5$  Shore A. Jeho rozměry jsou uvedeny na obrázku č.30. Youngův modul pružnosti v tahu gumy  $E_G$  je 500 – 2 000 PSI, což odpovídá  $3,5 – 13,8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Jelikož se jedná o pryž, byla zvolena střední hodnota napětí, tj.  $8,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ . [25]



Obrázek 30: Výkres lisovaného O-Kroužku

#### 6.4.2. Výpočet lisovací síly na O-kroužek [26]

Aby bylo možné vypočítat lisovací sílu, je nutné stanovit některé podmínky, které platí v omezeném rozsahu, bez nichž by nebylo možné výpočet vůbec provést.

1. Materiál O-kroužku je izotropní.
2. Je zde předpoklad malé deformace – nejsou uvažovány hyperelastické vlastnosti materiálu – platí Hookův zákon.
3. Průřez se protažením O-kroužku nemění, tudíž nebude uvažována poměrná změna objemu  $\theta$ .

Pro zjednodušení výpočtu je O-kroužek uvažován jako rozvinutý, tj. bude počítán jako rovinný prvek. Tak bude zjištěno prodloužení O-kroužku přes nejširší místo lisování – tedy přes nejširší místo kuželky neboli konektoru. Délka O-kroužku v klidovém stavu bez roztažení podle rovnice (6.1) je 20,42 mm vztaženo ke střednímu průměru  $d_s$ .

$$\begin{aligned}
 l_0 &= \pi \cdot d_s \\
 d_s &= d + s
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

V nejširším místě bude délka prstence rovna, podle vzorce (6.2), 27,49 mm.

$$l = \pi \cdot D_s
 \tag{6.2}$$

Ovšem pro výpočet lisovací síly je třeba z uvedených vzorců vypočítat prodloužení  $\varepsilon$ , ze kterého po dosazení do Hookova zákona lze vypočítat napětí v O-kroužku.

Prodloužení O-kroužku  $\varepsilon_G$  je kombinací obou vzorců – viz (6.3):

$$\Delta l = \pi \cdot (D_s - d_s)$$

$$\varepsilon_G = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\pi \cdot (D_s - d_s)}{\pi \cdot d_s} = \frac{(D_s - d_s)}{d_s} \quad (6.3)$$

Nyní lze vypočítat sílu působící na O-kroužek, která je potřebná pro natažení O-kroužku podle vzorce (6.4):

$$\varepsilon_G = \frac{\sigma}{E_G}$$

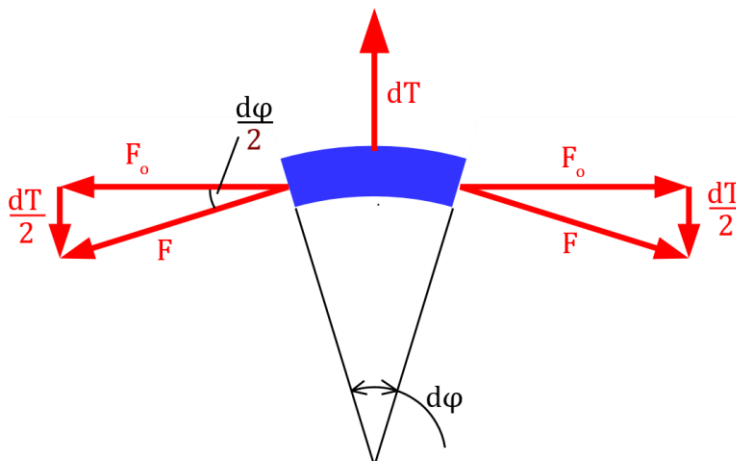
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$F = E_G A \cdot \varepsilon_G \quad (6.4)$$

Dosazením  $\varepsilon_G$  vyjádřeného v rovnici (6.3) do rovnice (6.4) je možno vypočítat potřebnou sílu na roztažení O-kroužku na požadovaný průměr.

Pro zohlednění celkové síly působící na O-kroužek je nutné z něj vytknout element a znázornit na něm síly působící při lisování – viz obrázek č. 31.



Obrázek 31: Vytknutý element a silový rozbor v O-kroužku

Síla  $F$  je síla působící v ose O-kroužku. Tato síla působí při natahování. Síla  $dT$  je síla působící v normálovém směru při jeho lisování.

Pro vypočtení lisovací síly  $Q$  je třeba znát sílu  $dT$ , která je integrací přes vytknutý element dle vzorce (6.5) a součinitel tření mezi materiálem O-kroužku

a kuželky. Pro materiál guma FKM a ocel je dynamický součinitel tření  $\mu = 0,3$ . [27]

Z obrázku č. 31 vyplývá, že síla  $dT$  je viditelná v pravoúhlém trojúhelníku. Z tohoto trojúhelníku je vyjádřena rovnice pro výpočet síly  $dT$ .

$$\sin \frac{d\varphi}{2} = \frac{dT}{2F}$$

Pro malé úhly platí

$$\sin \frac{d\varphi}{2} = \operatorname{tg} \frac{d\varphi}{2} = \frac{d\varphi}{2} \quad (6.5)$$

Je možno tedy psát

$$\frac{d\varphi}{2} = \frac{dT}{2F}$$

Separací proměnných a integrací za příslušné meze od 0 do  $2\pi$  z rovnice (6.5) je zjištěna síla  $T$ , která působí v normálovém směru O-kroužku.

$$T = \int_0^{2\pi} F d\varphi = \int_0^{2\pi} E_G A \cdot \frac{(D_s - d_s)}{d_s} d\varphi \quad (6.6)$$

Po integraci:

$$T = E_G A \cdot \frac{2\pi \cdot (D_s - d_s)}{d_s} \quad (6.7)$$

Získáním lisovací síly je nutno vzorec (6.7) ještě vynásobit dynamickým součinitelem smykového tření  $\mu_{FKM-Fe}$  specifickým pro FKM-ocel.

$$\begin{aligned} Q &= T \cdot \mu_{FKM-Fe} = E_G A \cdot \frac{2\pi \cdot (D_s - d_s)}{d_s} \cdot \mu_{FKM-Fe} = \\ &= E_G \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{2\pi \cdot (D_s - d_s)}{d_s} \cdot \mu_{FKM-Fe} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Z rovnice (6.8) vyšla potřebná lisovací síla pro nasazení O-kroužku 10,14 N. Tato síla je vztažena pouze ke střední hodnotě, ovšem při výpočtu bude brán v úvahu i rozměrový obvod celé soustavy, tedy velikost O-kroužku a velikost kuželky neboli pinu konektoru.

Protože kuželka je univerzální, musí odpovídat nejen průměru velkého, ale i malého pinu. V tabulce je uveden pouze případ kuželka (odpovídající velkému průměru pinu a kombinací velikostí O-kroužků).

Tabulka 3: Srovnání jednotlivých případů při lisování O-kroužku

	Min. síla	Střední hodnoty	Max. síla
Průměr O-kroužku [mm]	1,42	1,50	1,58
Rozteč O-kroužku [mm]	6,73	6,50	6,27
Průměr kuželky [mm]	7,30	7,30	7,30
Lisovací síla [N]	7,59	10,14	13,23

K této síle je nutno připočítat ztráty ve vedení a tření lisovacích kleštin po kuželce. Celkovou sílu poté vynásobit koeficientem bezpečnosti  $k$ , kde  $k = 3$ .

#### 6.4.3. Stanovení síly lisovacích kleštin

Stanovení této síly je velice obtížné, neboť kleštiny mají minimální kontaktní plochu, tudíž tření mezi kleštinami a kuželkou je zanedbatelné.

Tato síla z důvodu složitosti a bezvýznamnosti nebude počítána a její velikost bude stanovena jako 10 % lisovací síly O-kroužku  $Q_{max}$ .

Ovšem nezanedbatelná hodnota je přitlačovací trn v kleštině pro lisování O-kroužku. Tato pružina přitlačuje kuželku při zpětném pohybu nahoru, kdy kleštiny přejíždí přes kuželku a mohlo by dojít k jejímu vysvlečení ještě před uchopením kuželky.

Pružina je zvolena tak, aby síla byla 1,2 maximální dosažené lisovací síly  $Q_{max}$  - viz vzorec (6.9).

$$Q_{pružina} = 1,2 \cdot Q_{max} \quad (6.9)$$

#### 6.4.4. Stanovení síly ve vedení

Posuv lisovací hlavy bude obstarávat lineární vedení od firmy Bosch Rexroth. Jelikož se zařízení pohybuje v oblasti malého zatížení, ale s potřebou velké přesnosti, musí být lineárnímu vedení nastaveno předpětí. S klesajícími vůlemi bude růst odpor vznikající ve vedení při jeho pohybu.

Pro vybranou úlohu je zvoleno lineární vedení BOSCH Rexroth Ball Rail System FNS 20 R1651 823 20 [24].

Jedná se o lineární vedení s nastavitelným předpětím v pouzdře.

$Q_{vedení}$  je dle doporučení výrobce stanoveno na 8 % maximální zátěže vedení. V řešeném případě tedy bude tato hodnota počítána pro maximální lisovací sílu O-kroužku, tj. 13,23 N. K této hodnotě je nutno připočítat i ostatní odpory, jako ztrátu v lisovacích kleštinách, stanovenou na 50 % maximální

lisovací síly, která byla stanovena na základě zkušeností z tvorby podobných projektů.

$$Q_{vedení} = 0,08 \cdot (Q_{max} + 0,5 \cdot Q_{max} + Q_{pružina} + 0,1 \cdot Q_{max}) \quad (6.10)$$

$$Q_{vedení} = 0,08 \cdot 2,8 \cdot Q_{max} = 0,23 \cdot Q_{max}$$

Výsledná hodnota odporu vedení dle rovnice (6.10) je 3,05 N.

#### 6.4.5. Stanovení celkové síly pro nalisování O-kroužku

Celková síla je součet všech sil působících při lisování. Tedy síla lisování O-kroužku, síla v kleštinách, síla pružiny přitlačující kuželku na pin konektoru a odpor vedení.

$$F_{celk} = (Q_{max} + 0,5 \cdot Q_{max} + Q_{pružina} + 0,1 \cdot Q_{max} + Q_{vedení}) \quad (6.11)$$

$$F_{celk} = (3,03 \cdot Q_{max})$$

Celková síla potřebná pro nalisování O-kroužku je 40,15 N dle rovnice (6.11). Do lisovací síly zatím není uvažován koeficient bezpečnosti  $k$ , jelikož s ním bude počítáno až v následující kapitole, kde bude navrhován průměr lisovacího válce.

#### 6.4.6. Výpočet minimálního průměru lisovacího válce

Nyní, kdy je známa potřebná lisovací síla pro nasazení O-kroužku, je třeba navrhnout minimální průřez lisovacího válce. Průměr válce bude určen z rovnice (6.12). Za  $F_{celk}$  je dosazena maximální celková potřebná síla pro nalisování O-kroužku.

$$p = \frac{F_{celk} \cdot k}{S \cdot \eta_{valce}} \quad (6.12)$$

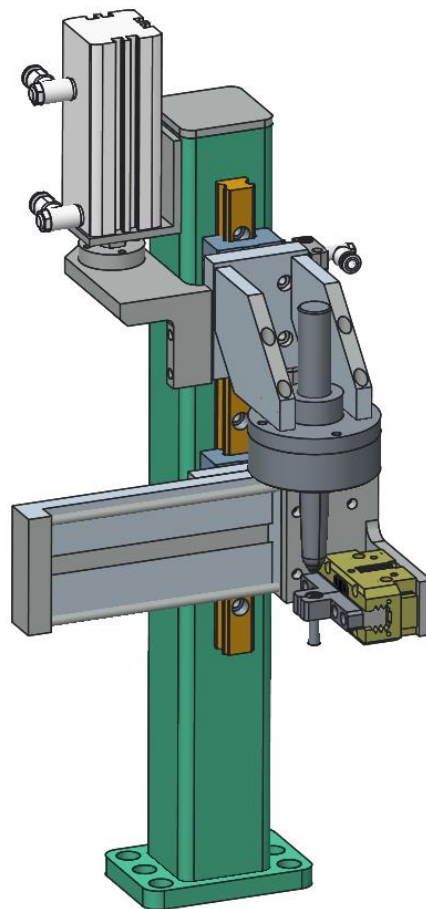
$$S = \frac{\pi \cdot d_{valec\_min}^2}{4}$$

Po vyjádření z rovnice (6.12)

$$d_{valec\_min} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{celk} \cdot k}{p \cdot \pi \cdot \eta_{valce}}} \quad (6.13)$$

Ze vzorce (6.13) byl zjištěn minimální průměr válce 18,9 mm. V rámci nejbližší vyšší hodnoty válců, které jsou k dispozici, je zvolen válec o průměru 32 mm – viz. obrázek č. 32.





Obrázek 32: Pohled na lisovací jednotku O-kroužků

## 6.5. Volba potřebného pohonu pro přidržování topných tělísek

V případě válce s elektrickým servopohonem je nutné válec navrhnout na dostatečnou sílu při případném vyosení tělísek při lisování, aby byla zajištěna dostatečná opora tělísek při vysunutí válce.

Doporučená síla přidržovače tělísek by se měla pohybovat kolem čtvrtiny lisovací síly, tj 500 N. Takto velká síla byla navržena především proto, že je zde pravděpodobnost namontování i ohnutých plechů topení. Na základě požadavků bylo vybráno, po konzultaci se zadavatelem, elektrické vřeteno FESTO ESBF BS 32-100-10P s dosažitelnou silou 1 kN. Tato síla je sice 2x větší než je navržená síla, avšak díky nepřítomnosti vedení válce je nutné počítat i s axiálními silovými složkami při narovnávání ohnutých plechů a s vysunutím válce, kdy se jeho maximální přidržovací síla v závislosti s vysunutím válce snižuje.

Výběr vřetena podléhá katalogovým hodnotám uvedeným v katalogu [23].

## 6.6. Volba potřebného pohonu pro lisovací jednotku konektoru

V případě válce pro lisování je zde podobný princip volby jako u válce pro přidržování topných tělísek. Je třeba zvolit válec a vedení o dostatečné tuhosti a dostatečné lisovací síle.

Pro vybrání správného lisovacího vřetene z katalogu včetně vedení dodávaného výrobcem od firmy FESTO je nutné vypočítat potřebnou lisovací sílu. Stejně jako v případě O-kroužku i zde mohou nastat tři případy.

1. Příklad: malá tloušťka plechu, velké  $r$  plechu, malé  $R$  konektoru
2. Příklad: tloušťky všech kusů jsou shodné s výkresy (leží v intervalu)
3. Příklad: velká tloušťka plechu, malé  $r$  plechu, velké  $R$  konektoru

Pro 1. případ bude výsledná síla minimální, pro 3. případ bude výsledná síla nejvyšší a v 2. případě bude výsledná síla v rozmezí mezi 1. a 3. případem. Pro volbu lisovacího vřetene bude stěžejní výpočet pro 3. případ.

### 6.6.1. Charakteristika lisovaného spoje

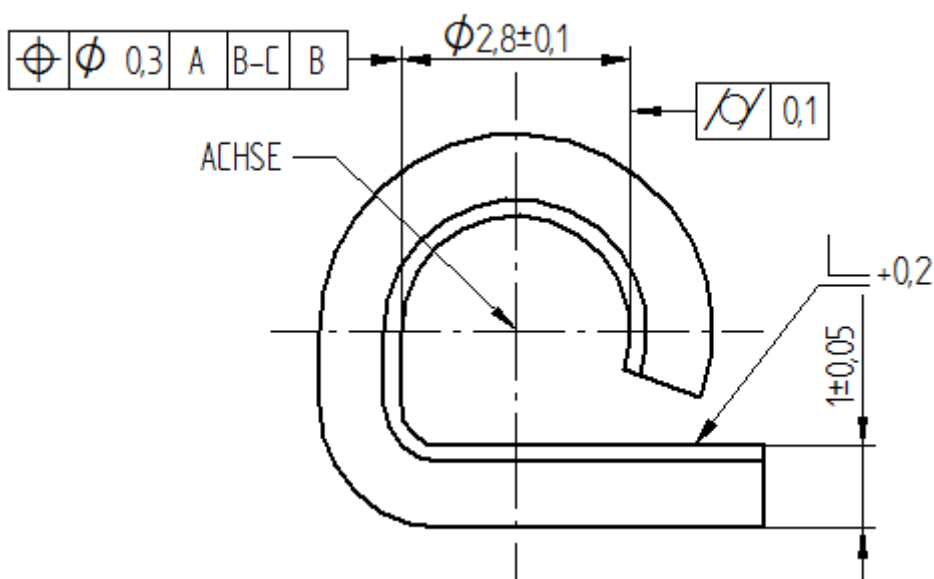
Oba lisované materiály jsou z hliníkové slitiny, které přísluší charakteristické vlastnosti modulu pružnosti v tahu a součinitel tření při lisování.

#### 6.6.1.1. Materiál a rozměr konektoru

Po nalisování O-kroužků na konektor je nutné konektor zalisovat do tělesa a ještě přišroubovat. Materiálem pinu konektoru je hliník. Tělo konektoru je z polyamidu vyplněno ze 30 % skelným vláknem (PA 30 GF). Průměr lisovaného konektoru do plechů je  $3\pm 0,05$  mm.

#### 6.6.1.2. Materiál a rozměr topného tělesa a nátrubku

Tělesa a nátrubek jsou umístěny a uchyceny v hausingu. Materiál těles je z hliníku, průměr lisovaného  $\pi$  je  $2,8\pm 0,1$  mm, tloušťka plechu je  $1\pm 0,05$  mm a délka lisované oblasti je  $10\pm 0,1$  mm. Nátrubek je z polyamidu (PA6.6+GF35), pin je z hliníku. Průměr lisované oblasti je  $2,9\pm 0,05$  mm, tloušťka plechu je  $0,5\pm 0,05$  mm a délka lisované oblasti je  $9,5\pm 0,1$  mm. Veškeré základní rozměry, potřebné pro výpočet jsou uvedeny na obrázku č. 33.



Obrázek 33: Výkres plechu topení pro nalisování konektoru se základními rozměry

### 6.6.2. Výpočet lisovací síly na zalisování plechu [26]

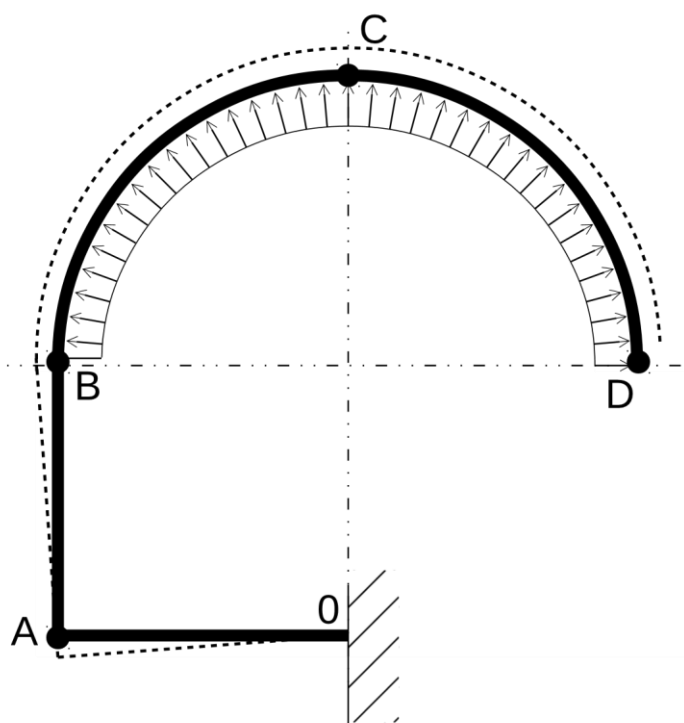
Z hodnot zjištěných z výkresové dokumentace poskytnuté výrobcem je patrné, že se jedná o lisování dílů s přesahem, přičemž pin se lisuje do trojice neuzavřených nábojů.

Jako zjednodušený model výpočtu bude uveden vzorec pro lisování jednoho pinu konektoru, který bude následně aplikován na zbylé konektory. Výpočet lisovací síly bude proveden jako křivý prut o velikosti úhlu  $180^\circ$  ( $\pi$ ), na který z vnitřní strany působí spojitě zatížení  $q$  o neznámé velikosti. Výsledkem výpočtu bude:

1. Zjištění neznámé hodnoty spojitěho zatížení  $q$
2. Určení součinitele tření mezi konektorem a topným tělesem
3. Určení celkové lisovací síly na jeden pin konektoru

Pro zjednodušení modelu výpočtu je nutné zavést obecné principy pružnosti a pevnosti:

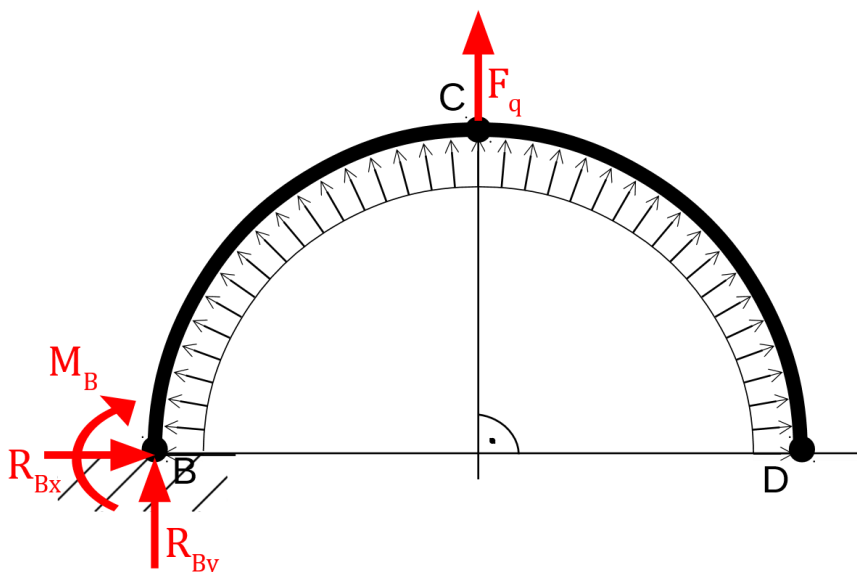
1. Materiál je homogenní a izotropní, tzn. v celém objemu má stejné vlastnosti
2. Platí Hookův zákon – malé deformace
3. Posuv volného konce ve směru  $y$  je zanedbatelný.
4. Síla působící na rozevření křivého prutu je stejná po celém obvodě.



Obrázek 34: Křivý prut po deformaci

Na obrázku č. 34 je zjednodušený model úlohy odpovídající však skutečnému zatížení v prutu. Prut je z vnitřní zaoblené strany namáhán spojitým zatížením  $q$ , odpovídajícím síle vyvolané nalisováním konektoru do tělesa. Při působení spojitého zatížení se prut roztáhne na velikost danou průměrem pinu konektoru a ve vetknutí se natočí. Tvar prutu po deformaci znázorňuje čárkovaná čára v obrázku č. 34.

Za účelem zjištění velikosti spojitého zatížení  $q$ , lze danou úlohu ještě dále zjednodušit, a to ubráním rovinné části mezi body A-B, přičemž vetknutí bude přesunuto do bodu B – viz. obrázek č. 35.



Obrázek 35: Silové uvolnění výpočtového modelu křivého prutu

Při výpočtu bude soustava nejprve uvolněna a vazby nahrazeny příslušnými silovými účinky ve vetknutí. Pomocí statických rovnic rovnováhy budou určeny velikosti příslušných reakcí  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $M$  ve vetknutí prutu – viz (6.14),

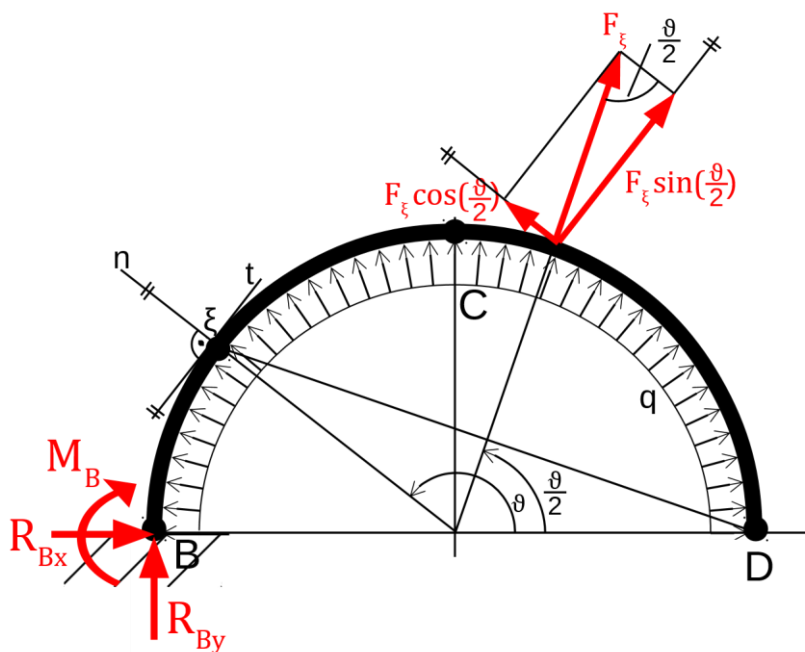
$$\begin{aligned}
 \sum_i F_{ix} = 0: \quad R_{Bx} - F_q \cdot \cos \frac{\pi}{2} &= 0 \\
 \sum_i F_{iy} = 0: \quad R_{By} + F_q \cdot \sin \frac{\pi}{2} &= 0 \\
 \sum_i M_i = 0: \quad M_B - F_q \cdot r \sin \frac{\pi}{2} &= 0,
 \end{aligned} \tag{6.14}$$

kde  $F_q$  je náhradní síla představující ekvivalentní náhradu spojitého zatížení  $q$  působícího v oblouku prutu. Jelikož spojitě zatížení  $q$  působí kolmo ke střednici prutu je možné velikost síly  $F_q$  vyjádřit jako součin velikosti průmětu oblouku do směru nositelky této síly – viz (6.15).

$$F_q = 2qr \sin \frac{\pi}{2} = 2qr \tag{6.15}$$

Po dosazení rovnice (6.15) do rovnic (6.14) a po úpravě jsou reakční rovnice ve tvaru dle rovnice (6.16).

$$\begin{aligned}
 R_{Bx} &= 0 \\
 R_{By} &= -2qr \\
 M_B &= 2qr^2
 \end{aligned} \tag{6.16}$$

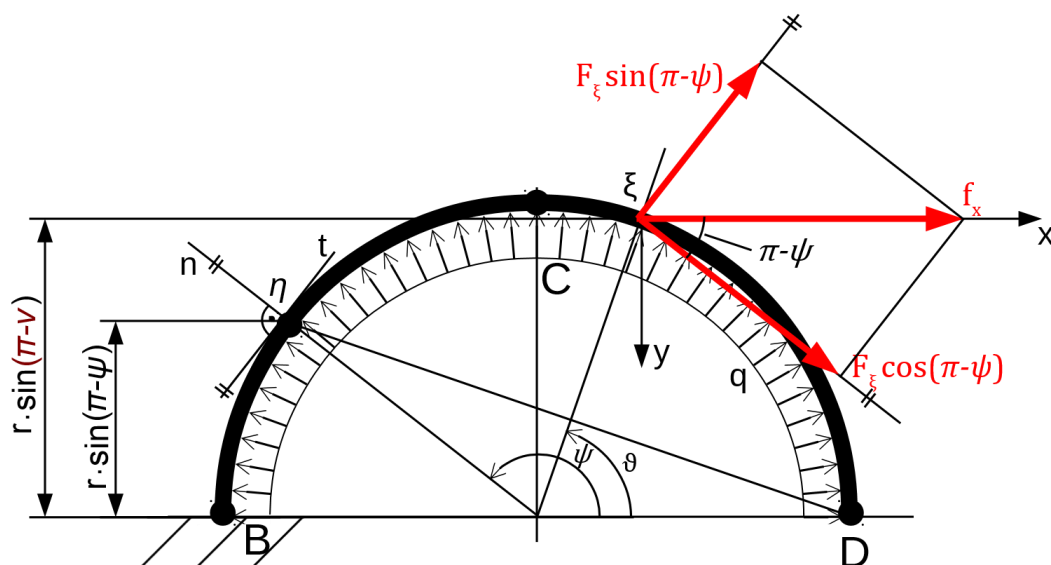


Obrázek 36: Silové rozložení v polárních souřadnicích

Dalším krokem je zjištění velikosti vnitřních statických účinků  $N$ ,  $T$ , a  $M_o$  v obecném místě  $\xi$  jako funkce polárních souřadnic  $r$  a  $\vartheta$ , viz obrázek č. 36. Za tímto účelem bude nahrazen účinek spojitého zatížení na oblouku B-D( $\xi$ ) silou  $F_\xi$  působící v bodě daném úhlem  $\frac{\vartheta}{2}$ , pro jejíž velikost analogicky platí odvozený vztah z rovnice (6.15)  $F_\xi = 2qr \cdot \sin \frac{\vartheta}{2}$ . Bude-li tato síla rozložena do tečny  $t$  a normály  $n$  prutu v místě  $\xi$ , tak jako na obrázku. č. 36, lze vnitřní účinky v bodě  $\xi$  vyjádřit v závislosti na úhlu  $\vartheta \in \langle 0; \pi \rangle$  jako

$$\begin{aligned}
 N(\vartheta) &= F_\xi \cdot \cos \frac{\vartheta}{2} = 2qr \cdot \sin \frac{\vartheta}{2} \cdot \cos \frac{\vartheta}{2} & (N(0) = 0, N(\pi) = 0) \\
 T(\vartheta) &= -F_\xi \cdot \sin \frac{\vartheta}{2} = -2qr \cdot \sin^2 \frac{\vartheta}{2} & (T(0) = 0, T(\pi) = -2qr) \\
 M_o(\vartheta) &= F_\xi r \cdot \sin \frac{\vartheta}{2} = 2qr^2 \cdot \sin^2 \frac{\vartheta}{2} & (M(0) = 0, M(\pi) = 2qr^2).
 \end{aligned} \tag{6.17}$$

Protože je v tomto případě velikost spojitého zatížení  $q$  stále neznámou neboli přetvárné síly  $F_q$ , je třeba vycházet ze znalostí geometrie. Tímto způsobem bude zjištěna velikost spojitého zatížení  $q$  na základě znalosti velikosti posuvu bodu D.



Obrázek 37: Zavedení virtuální síly do modelu

Pomocí Castiglianovy věty budou určeny vztahy pro velikosti deformací  $u_{\xi}^{\vartheta}$ , v obecném místě  $\xi$ , jehož poloha je dána úhlem  $\vartheta$  – viz obrázek č. 37. Z podmínek stanovených na začátku výpočtu vyplývá, že posuv bodu D v y složce je roven 0 a tedy pro výpočet velikosti spojitého zatížení  $q$  je pro nutné zjistit pouze posuv mezi body B a D. Takto bude stanovena deformace  $u_{\xi}$ , tj. posuv ve směru souřadnicové osy  $x$ .

$$N = \begin{cases} 2qr\psi \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\psi}{2}, & \text{pro } \psi \in \langle 0, \vartheta \rangle \\ 2qr\psi \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\psi}{2} + f_x \cos(\pi - \psi) = \\ 2qr\psi \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\psi}{2} - f_x \cos \psi, & \text{pro } \psi \in \langle \vartheta, \pi \rangle \end{cases}$$

$$T = \begin{cases} -2qr\psi \sin^2 \frac{\psi}{2}, & \text{pro } \psi \in \langle 0, \vartheta \rangle \\ -2qr\psi \sin^2 \frac{\psi}{2} + f_x \sin(\pi - \psi) = \\ -2qr\psi \sin^2 \frac{\psi}{2} + f_x \sin \psi, & \text{pro } \psi \in \langle \vartheta, \pi \rangle \end{cases} \quad (6.18)$$

$$M_o = \begin{cases} 2qr^2\psi \sin^2 \frac{\psi}{2}, & \text{pro } \psi \in \langle 0, \vartheta \rangle \\ 2qr^2\psi \sin^2 \frac{\psi}{2} + f_x r [\sin(\pi - \psi) - \sin(\pi - \vartheta)] = \\ 2qr^2\psi \sin^2 \frac{\psi}{2} + f_x r ((\sin \psi - \sin \vartheta)), & \text{pro } \psi \in \langle \vartheta, \pi \rangle \end{cases}$$

<sup>9</sup> Posuv  $v_{\xi}$  je zanedbatelný, protože ze zavedených okrajových podmínek je na volném konci roven nule.

Pro výpočet posuvu  $u_\xi$  bude dále zapotřebí provést derivace příslušných funkcí z rovnic (6.18) podle zavedené fiktivní síly  $f_x$ . Pro derivace v jednotlivých částech prutu platí

$$\frac{\partial N}{\partial f_x} = \begin{cases} 0 \\ -\cos \psi \end{cases} \quad \frac{\partial T}{\partial f_x} = \begin{cases} 0 \\ \sin \psi \end{cases} \quad \frac{\partial M_o}{\partial f_x} = \begin{cases} 0 \\ r(\sin \vartheta - \sin \psi) \end{cases} \quad (6.19)$$

Dosazením podmínek z (6.18) a (6.19) do vztahu pro deformaci  $u_\xi$ , která plyne z Castiglianovy věty – viz (6.20),

$$u_\xi = \frac{1}{EA} \int_{(l)} N \frac{\partial N}{\partial f_x} ds + \frac{\beta}{GA} \int_{(l)} T \frac{\partial T}{\partial f_x} ds + \frac{1}{EJ} \int_{(l)} M_o \frac{\partial M_o}{\partial f_x} ds - \frac{1}{EA r} \int_{(l)} \left( M_o \frac{\partial N}{\partial f_x} + N \frac{\partial M_o}{\partial f_x} \right) ds, \quad (6.20)$$

kde  $ds = r d\psi$ , a po zohlednění  $f_x \rightarrow 0$  a po úpravě je získána rovnice ve tvaru (6.21).

$$u_\xi = \frac{2qr^2}{EA} \int_{\vartheta}^{\pi} \sin \frac{\psi}{2} \left( -\cos \frac{\psi}{2} \right) \cos \psi d\psi - \frac{2qr^2\beta}{GA} \int_{\vartheta}^{\pi} \sin^3 \frac{\psi}{2} d\psi + \frac{2qr^4}{EJ} \int_{\vartheta}^{\pi} (\sin \vartheta - \sin \psi) \sin^2 \frac{\psi}{2} d\psi - \frac{2qr^2}{EA} \int_{\vartheta}^{\pi} \sin^2 \frac{\psi}{2} [(-\cos \psi) + (\sin \vartheta - \sin \psi)] d\psi \quad (6.21)$$

Po integraci a úpravách lze psát rovnici ve tvaru (6.22).

$$u_\xi = \frac{qr^2}{2EA} \cdot \sin^2 \vartheta - \frac{qr^2\beta}{3GA} \cdot \left( 9 \cos \frac{\vartheta}{2} - \cos \frac{3\vartheta}{2} \right) + \frac{qr^4}{4EJ} (4 \sin \vartheta \cdot (-\vartheta + \sin \vartheta + \pi) - 4 \cos \vartheta + \cos 2\vartheta - 5) - \frac{qr^2}{4EA} \cdot (-2\vartheta + 4(-\vartheta + \pi + 1) \sin \vartheta - \sin 2\vartheta - 4 \cos \vartheta - \cos 2\vartheta + 2\pi - 3) \quad (6.22)$$

Příčemž  $\beta$  je činitel smykových napětí, který lze vypočítat pro nosníky neproměnného průřezu podle vzorce (6.23).

$$\beta = \frac{A}{J_z^2} \cdot \int_{(A)} \frac{S^2}{b^2(y)} dA \quad (6.23)$$

Pro obdélníkový průřez je hodnota  $\beta$  přibližně rovna 1,2.



Rovnice (6.22) je odvozena pro posun v obecném bodě. Pro volené okrajové podmínky je znám posun v bodě D, tedy na volném kraji oblouku. Po dosažení za obecný bod  $\vartheta$  je zvolena okrajová podmínka v bodě B. Pro  $u_{\xi} = 0,2 \text{ mm}$  a pro  $\vartheta = 0$  tedy platí rovnice ve tvaru

$$u_{\pi} = -\frac{8qr^2\beta}{3GA} - \frac{2qr^4}{EJ} - \frac{qr^2}{2EA} \cdot (\pi - 4) \quad (6.24)$$

Je-li známa velikost posuvů v ose  $x$ , zůstává jedinou neznámou velikost spojitěho zatížení  $q$  namáhající daný prut. Po vyjádření z rovnice (6.24) lze vypočítat velikost spojitěho zatížení působící na jednom pinu konektoru.

$$q = \frac{u_{\pi}}{-\frac{8r^2\beta}{3GA} - \frac{2r^4}{EJ} - \frac{r^2}{2EA} \cdot (\pi - 4)} \quad (6.25)$$

Dosažením do rovnice (6.25) lze vypočítat velikost spojitěho zatížení působící na prstenek lisované oblasti.

Pro získání velikosti lisovací síly je třeba tuto hodnotu vynásobit délkou křivky a součinitelem tření pro dané typy materiálů.

$$F_{lis} = q \cdot o \cdot \mu_{Al-Al} \quad (6.26)$$

$$o = \pi \cdot r$$

Vypočtená síla je síla pro střední rozměrové pole topného plechu. Je ještě nutné zjistit krajní hodnoty lisovací síly. Opět jako u výpočtu O-kroužku je výchozí úvaha, kdy bude lisovací síla největší a kdy nejmenší. Srovnání jednotlivých kombinací a variant je v tabulce 4.

Tabulka 4: Srovnání jednotlivých případů při lisování jednoho pinu konektoru

	Minimální lisovací síla	Střední hodnota	Maximální lisovací síla
<b>Průměr pinu konektoru [mm]</b>	2,95	3,00	3,05
<b>Průměr pinu topného tělesa [mm]</b>	2,90/2,95 <sup>10</sup>	2,80/2,90	2,70/2,85
<b>Tloušťka plechu [mm]</b>	0,95/0,45	1,00/0,50	1,05/0,55
<b>Velikosti posuvů <math>\Delta u</math> [mm]</b>	0,05/0,00	0,20/0,10	0,35/0,20
<b>Průřez lisované části plechu [mm<sup>2</sup>]</b>	9,41/4,23	10,00/4,75	10,61/5,28

<sup>10</sup> První hodnota je vztažena k plechům topení, druhá hodnota k plechu nátrubku.

	Minimální lisovací síla	Střední hodnota	Maximální lisovací síla
<b>Moment setrvačnosti lisované části plechu [mm<sup>4</sup>]</b>	0,707/0,072	0,833/0,099	0,974/0,133
<b>Spojitě zatížení q [N·mm<sup>-1</sup>]</b>	-23,13/0 <sup>11</sup>	-106,90/-3,21	-215,71/-7,44
<b>Lisovací síla na 1 pin [N]</b>	126,4/0,0	564,2/5,1	1097,8/11,7
<b>Celková lisovací síla na konektor [N]</b>	250	1135	2200

Jak je patrné v řádku tabulky č. 4 *spojitě zatížení q*, spojitě zatížení  $q$  vyšlo záporné. Záporná hodnota je dána tím, že při statickém uvolnění bylo počítáno s momentem, který prut „uzavírá“. Reálně však spojitě zatížení vyvolává sílu na opačnou stranu a má tendenci prut „rozevírat“.

### 6.6.3. Výpočet lisovací síly na zalisování O-kroužku [26]

Další, ne tak zásadní složkou celkové lisovací síly bude síla potřebná na zalisování O-kroužku nalisovaného na konektoru.

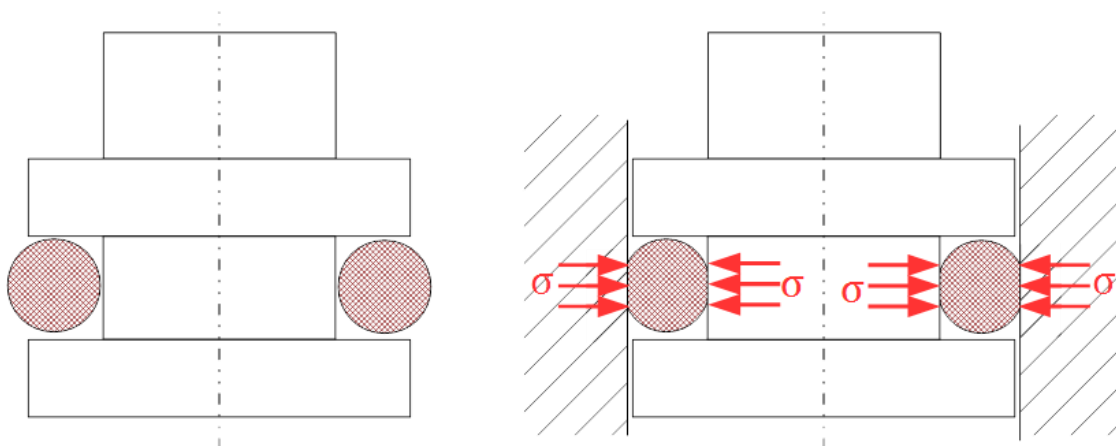
Před samotným zalisováním je O-kroužek i díra v tělese namazána mazivem Ondina P919.

I zde bude výpočet probíhat pro střední polohu tolerančního pole, poté bude dopočítán pro krajní stavy.

Stavy, které mohou nastat, a pro které bude výpočet probíhat, jsou:

1. Velká díra tělesa, malý průměr konektoru, malý O-kroužek
2. Všechny tolerance ve středním poli rozsahu
3. Malá díra tělesa, velký průměr konektoru, velký O-kroužek

<sup>11</sup> Toto je pouze teoretická hodnota lisované síly z důvodu rozsahu tolerančního pole. V reálném případě má daný předmět i určitou rovinnost či válcovitost, a tedy v reálnu lisovací síla s hodnotou rovnou nule nastat nemůže.



Obrázek 38: Vlevo - O-kroužek na konektoru před lisováním, vpravo - O-kroužek po nalisování

Jak je vidět na obrázku č. 38 vpravo, O-kroužek se po nalisování vlivem přesahů stlačí, tím je zajištěna funkce těsnění. Cílem výpočtu bude nejprve zjistit přesahy a sílu potřebnou na přetvoření a následně lisovací sílu. Ze vzorců odvozených v kapitole 3.4 (rovnice 3.4) lze vypočítat stlačení O-kroužku a dále i lisovací sílu.

Pro minimální D

$$\begin{aligned}
 B2_{min} &= d_{min} = D2_{min} - D1_{max} \\
 D_{min} &= D2_{min} = (D1_{max} + 2 \cdot B2_{min})
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Pro maximální D

$$\begin{aligned}
 B2_{max} &= d_{max} = D2_{max} - D1_{min} \\
 D_{min} &= D2_{max} = (D1_{min} + 2 \cdot B2_{max})
 \end{aligned}$$

Dle vzorců (3.4) byly stanoveny maximální a minimální přesahy a od toho je odvozeno stlačení O-kroužků pro různé stavy, které jsou popsány v tab. č. 5.

Pro zjištění lisovací síly je třeba určit součinitel tření  $\mu_{kr-PA_{lub}}$ , sílu  $F_{kr-PA}$  a plochu  $S_O$ .

Tabulka 5: Srovnání jednotlivých případů při lisování nasazeného O-kroužku do díry

	Min. lisovací síla	Střední pole	Max. lisovací síla
Průměr konektoru [mm]	5,20	5,25	5,30
Průměr O-kroužku [mm]	1,42	1,50	1,58
Průměr díry v tělese [mm]	7,45	7,40	7,35

	Min. lisovací síla	Střední pole	Max. lisovací síla
Stlačení O-kroužku [mm]	0,295	0,425	0,555
Lisovací síla [N]	7,2	11,2	15,8

Výpočet lisovací síly bude probíhat podobně jako u nalisování samotného O-kroužku na konektor.

Nejprve je nutné určit velikost stlačení O-kroužku dle rovnice (6.27)

$$\varepsilon_{G\_kroužek} = \frac{\sigma}{E_G}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6.27)$$

$$A = \pi \cdot D_s \cdot \frac{1}{3}d$$

$$F = E_G A \cdot \varepsilon_{G\_kroužek}$$

Dosazením prodloužení  $\varepsilon_{G\_kroužek}$  do rovnice (6.27) lze vypočítat potřebnou sílu na stlačení O-kroužku tak, aby bylo dosaženo nalisování O-kroužku do tělesa. Pro střední toleranční pole lisovací síla vychází 38,75 N.

Tuto sílu je nutné vynásobit příslušným součinitelem tření  $\mu_{kr-PA_{lub}}$  dle rovnice (6.28) který je 0,29. [28]

$$T_{lis} = F \cdot \mu_{kr-PA_{lub}} \quad (6.28)$$

Veškeré lisovací síly jsou uvedeny v tabulce č. 6. Z tabulky č. 6 pro lisovací sílu vyplývá, že lisovací síla na zalisování O-kroužku nasazeného na konektoru je v porovnání s lisovací silou na zalisování konektoru do tělesa zanedbatelná.

#### 6.6.4. Stanovení celkové síly

Celková lisovací síla se skládá z dílčích sil uvedených v předešlých kapitolách. K této hodnotě je třeba ještě připočíst ztráty v lineárním vedení, které jsou 2x8 % z celkové lisovací síly.

$$F_{celk\_lis} = F_{plech\_lis} + F_{O-kr\_lis} + 2 \cdot 0,08 \cdot (F_{plech} + F_{O-kr\_lis}) \quad (6.29)$$

$$F_{celk\_lis} = 1,16 \cdot (F_{plech\_lis} + F_{O-kr\_lis})$$

V rovnici (6.29) je také nutno zohlednit různé průměry plechů. Vzorec (6.29) je proto nutné rozšířit o podmínku dle rovnice (6.30).

$$F_{celk\_lis} = 1,16 \cdot (2 \cdot F_{plech_{topeni}} + F_{plech_{natrubek}} + 3 \cdot F_{O-kr_{lis}}) \quad (6.30)$$

Pro ucelení všech výsledků lisování jsou v tabulce 6 vypsány veškeré vypočtené hodnoty lisování z tabulek č. 5 a č. 4.

Tabulka 6: Souhrn všech vypočtených lisovacích sil včetně celkové síly při lisování

	Min. lisovací síla	Střední hodnota	Max. lisovací síla
Plech topení [N]	124,4	564,2	1097,8
Plech nátrubku [N]	0,0	5,1	11,7
O-kroužek [N]	7,2	11,2	15,8
Celková síla [N]	314	1354	2615

### 6.6.5. Návrh lisovací jednoty

Nyní, když je dána lisovací síla, je možné vybrat z katalogu lisovací vřeteno adekvátní lisovací síle tak, aby platila podmínka minimální bezpečnosti.

Lisovací jednotka bude dodána od firmy FESTO. Jedná se o elektricky ovládané vřeteno, jehož rychlost posuvu je možné regulovat.

V reálním případě se lisovací síla pohybuje mezi 1200-1600 N, které bylo naměřeno ve zkušebním provozu. Lze tedy konstatovat, že vypočtená hodnota spojitého zatížení a výsledný rozsah sil 314-2615 N odpovídá skutečným hodnotám lisování. Z toho je odvozen závěr, že výsledné vzorce jsou správné.

Z katalogového listu bylo vybráno lisovací vřeteno o maximální lisovací síle 7 kN. Protože se lisovací síla pohybuje v rozmezí hodnot 1 200 – 1 600 N, nebude vřeteno využito naplno. Jelikož maximální lisovací síla vyšla 2615 N, bylo zvoleno vřeteno pro maximální lisovací sílu vynásobenou koeficientem bezpečnosti  $k$  menší než 3. Ovšem tato maximální síla je již na hranici lisovací bezpečnosti daného dílu, a proto je softwarově, jak bylo již popsáno v kapitole 2.9.2, ošetřena tak, aby takto vysoká lisovací síla nemohla nikdy nastat. Předimenzování vřetene má pozitivní dopad na lineární vedení osy a snížení opotřebení kuličkového šroubu vřetene, čímž se prodlouží životnost lisovacího stroje.

#### 6.6.5.1. Parametry ovlivňující lisovací sílu

Bez zajímavosti není ani vypsání a zhodnocení parametrů ovlivňujících lisovací sílu.

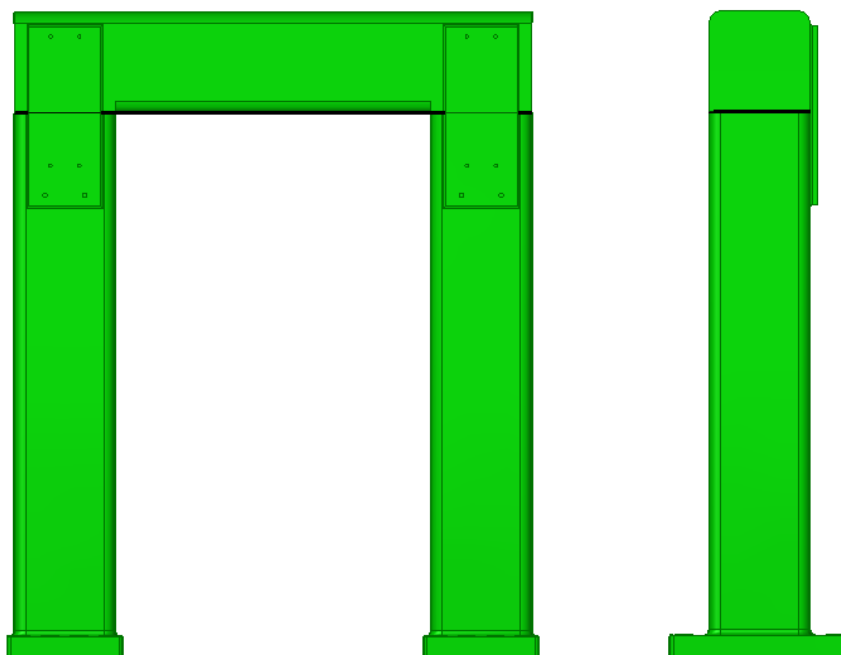
Z tabulky č. 6 vyplývá, že lisovací sílu nejvíce ovlivňuje kombinace a přesnost vyrobených dílů, konkrétně vykružených plechů topení.

Dalším parametrem, který není tak zásadní jako předešlé dva parametry, mohou být špatně mazané plochy pod O-kroužky, kdy vlivem nepřítomnosti, resp. nedostatečnosti oleje stoupne součinitel tření.

Dalším parametrem je vytrhávací síla, tj. síla, která je potřebná na demontáž konektoru. Pokud by došlo ke špatnému nalisování či nasazení konektoru, jednalo by se o vadný kus (zmetek). Tento zmetek je buď opravitelný, tedy vadná část se vymění za novou část bez závady nebo se jedná o neopravitelný kus. Jestliže by se jednalo o opravitelný kus, vadný konektor by byl vyměněn. K provedení opravy by bylo provedeno na lisu nastaveného na vytrhávací sílu. Vytrhávací síla je vždy vyšší než lisovací síla, zvláště u hliníkových součástí, jako v tomto případě, kdy dochází k relaxaci materiálu. Při opravě konektoru po delší době dochází i k tečení hliníku, což by vyžadovalo ještě další zvýšení vytrhávací síly.

## 6.7. Analýza rámu lisovací jednotky

Pro analýzu MKP byl vybrán rám lisovací jednotky – viz. obrázek č. 39, jako jeden z kritických dílů, u kterého je nutná detailnější kontrola, z důvodu jeho poměrně velkých rozměrů a velké zatěžovací síly.



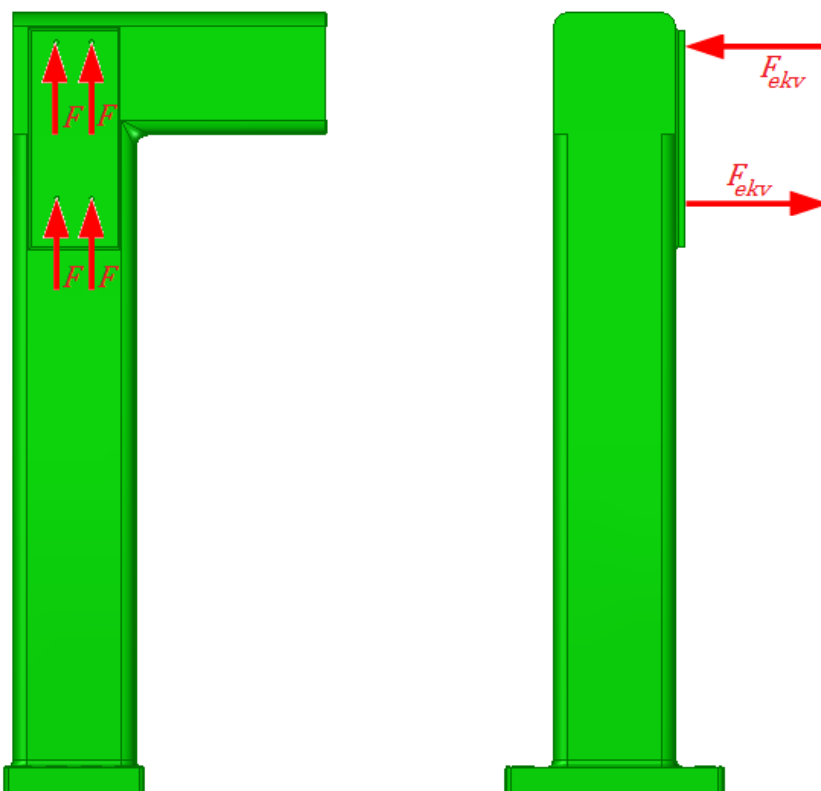
Obrázek 39: Rám pro ověření analýzou MKP

Rám lisovací jednotky je svařen z desek tloušťky 15-30 mm a jeklů o průřezu 140x140x5. Pro to, aby bylo možné provést analýzu MKP, je nutné daný model v některých případech upravit nebo zjednodušit.

### 6.7.1. Příprava modelu pro MKP analýzu

Jelikož lisovací síla  $F$  je při lisování umístěna přímo ve středu rámu, jedná se o symetrickou úlohu. Proto bude v rámci MKP řešena pouze jedna polovina rámové konstrukce – viz. obrázek č. 40. Toto zjednodušení má za následek nejen snížení počtu uzlů, ale i možnost zjemnění sítě, a tím i dosažení přesnějších výsledků.

Pro MKP analýzu nebude na konstrukci umístěn lisovací modul FESTO HD 125-350 tb-0h-gk [22]. Je to především z důvodu tvarové složitosti modelu a pro výpočet průhybu rámu bez podstatného vlivu. Lisovací síla bude nahrazena na přírubě ekvivalentní silovou dvojicí  $F_{ekv}$  a silou  $F$  – viz. obr. č. 40.



Obrázek 40: Model pro MKP analýzu po úpravách s naznačením silového rozboru, rovinou symetrie a vetknutím v přírubě

Další úpravou modelu je umístění rádiusů v rozích, kde je konstrukce svařena. Rádus je volen jako  $R = 8$  mm, kdy jeho funkční výška odpovídá

4,5 mm. To by odpovídalo přibližně i výšce svaru pro tloušťku materiálu  $t = 5$  mm. Umístěním rádiusu je eliminována koncentrace napětí ve vrubech a zároveň je zajištěn hladší průběh napětí a deformace.

Rozměry sestavy pro výpočet analytickou metodou jsou  $h = 685$  mm,  $l = 180$  mm,  $e = 80$  mm.

### 6.7.2. MKP analýza

MKP analýza bude provedena pro dva stavy zatížení. První stav zatížení bude zjišťován pro sílu  $F_{lis} = 7$  kN, tedy maximální možnou sílu vyvolanou elektrickým lisovaným vřetenem. Druhý případ bude počítán pro reálný stav, zmiňovaný v kapitole 0, pro lisovací sílu  $F_{lis} = 1,6$  kN.

#### 6.7.2.1. Postup tvorby modelu

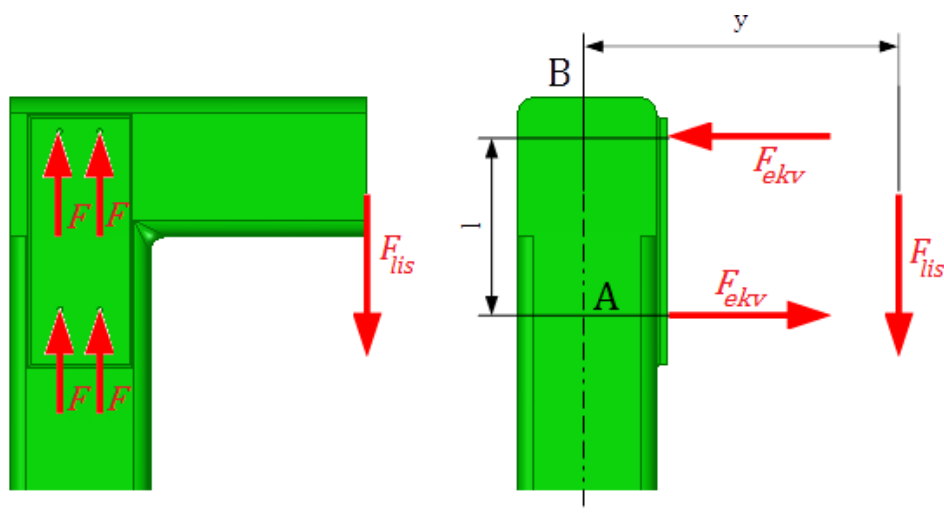
Model pro výpočetní systém Abaqus 6.10. je vygenerován jako poloviční model svařence – viz. obrázek č. 40, kdy se vychází ze symetrie úlohy.

Pro nastavení zatížení je postupováno dle kapitoly 6.7.1. Silový účinek lisovací síly  $F_{lis}$  byl nahrazen ekvivalentní silovou dvojicí  $F_{ekv}$  a vytrhávací silou  $F$ . Výpočet silové dvojice – viz. obrázek č. 41 je zjištěn dle rovnic (6.31).

$$\begin{aligned} \sum_i F_y &= 0 \\ \frac{-F_{lis}}{2} + 4 \cdot F &= 0 \\ \sum_i M_A &= 0 \\ \frac{-F_{lis}}{2} \cdot y - F_{ekv} \cdot r &= 0 \end{aligned} \tag{6.31}$$

Výpočtem rovnic (6.31) vyjde výsledný ekvivalentní účinek  $F = 875$  N a  $F_{ekv} = 2\,440$  N.



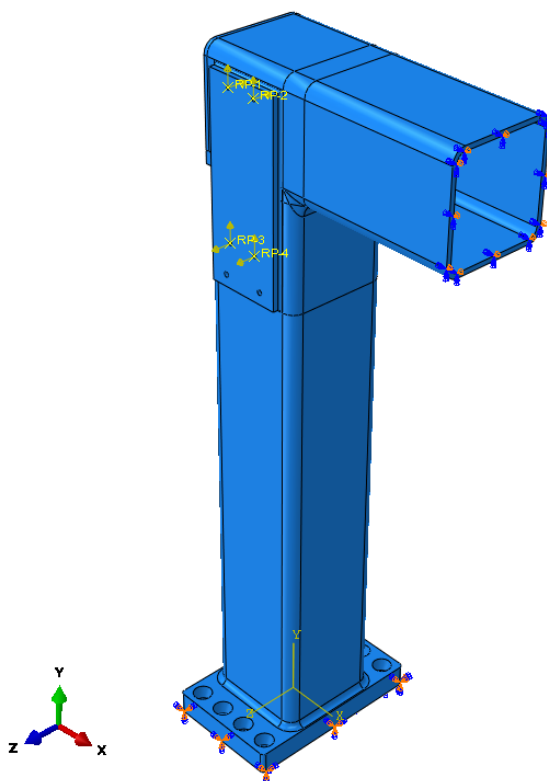


Obrázek 41: Ekvivalentní lisovací síla

Určením ekvivalentních silových účinků se lze vyhnout umístování síly  $F_{lis}$  do prostoru, ale tuto sílu lze umístit přímo do místa, ve kterém na rám působí – viz. obrázek č. 41.

Síly jsou pomocí čtyř RP bodů umístěny vazbou coupling do ploch děr pro závit, kde bude umístěno lineární vedení lisovací hlavy stroje. Tedy v místě, kde bude docházet k přenosu lisovací síly  $F_{lis}$  do celého rámu.

Spodní příruba je ze spodní strany zavazbena jako vetknutí. Protože je celý rám upevněn na pracovní desce osmi šrouby M16 z každé strany (celkově tedy šestnáct šroubů) a tloušťka desky je 30 mm, je možné přírubu i spojení s pracovní deskou považovat za absolutně tuhé oproti celému rámu. Další okrajovou podmínkou je zákaz posuvu a natočení horního jeklu v jiné rovině než ZY, což vyplývá ze symetrie součásti. Celkové zatížení a okrajové podmínky konstrukce jsou zřejmé z obrázku č. 42.



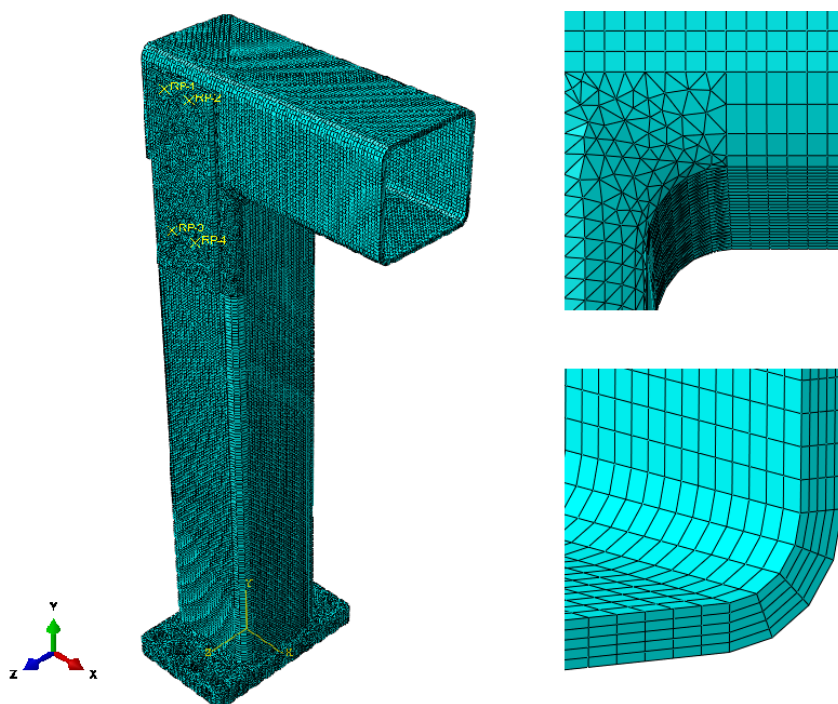
Obrázek 42: Zatížení konstrukce rámu

Nejsložitější částí metody konečných prvků bylo nastavení sítě. Cílem bylo získání co nejhomogennější sítě v celé součásti – viz. obrázek č 43, s převažujícím typem sítě  $HEX^{12}$ . Pouze v místech jako jsou rádiusy a přechody, tedy takových, kde nebylo možné použít hexagonální prvky, byla použita síť typu  $TET^{13}$  – viz. obrázek č. 43b.

Pro získání spolehlivých výsledků bylo nutné, z důvodu hustoty sítě a tloušťky jeklu, nastavit po tloušťce jeklu více elementů, než by bylo dostačující při normální hustotě. Minimálním počtem elementů po tloušťce pro zajištění spolehlivých výsledků jsou tři elementy. Pro model bylo nastaveno pět elementů po tloušťce jeklu – viz. obrázek č. 43c.

<sup>12</sup> Hexagonální prvek

<sup>13</sup> Tetragonální prvek

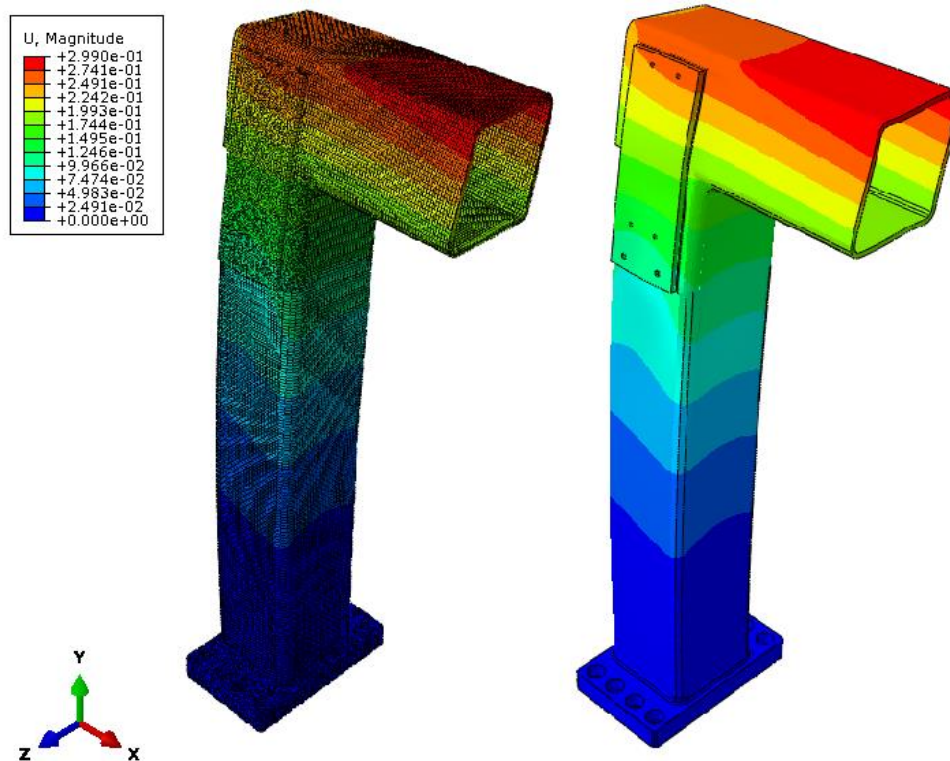


Obrázek 43: a) celkový pohled na síť – vlevo, b) detail HEX a TET prvky v okolí rádiusu – vpravo nahoře, c) detail sítě po tloušťce elementu – vpravo dole

### 6.7.2.2. Výsledky MKP analýzy

Cílem analýzy MKP bylo zjištění průhyb nosníku působením lisovací síly  $F_{lis} = 7 \text{ kN}$  a ideálně docílit přijatelné hodnoty průhybu v ose  $z$ . Maximálně však do  $0,5 \text{ mm}$  pro zachování geometrie. Vedle posuvu bodů je nutno vzít v úvahu i skutečnost, že na lisovacím rameni dlouhém  $300 \text{ mm}$  může mít značný vliv natočení lisovacího přípravku. Lisovací síla na konektor by pak nepůsobila v ploše, ale v čárovém styku. Následkem by bylo optické poškození (otlačení) konektoru. Takový kus by mohl být na výstupní kontrole označen jako vadný z elastických důvodů dílu.

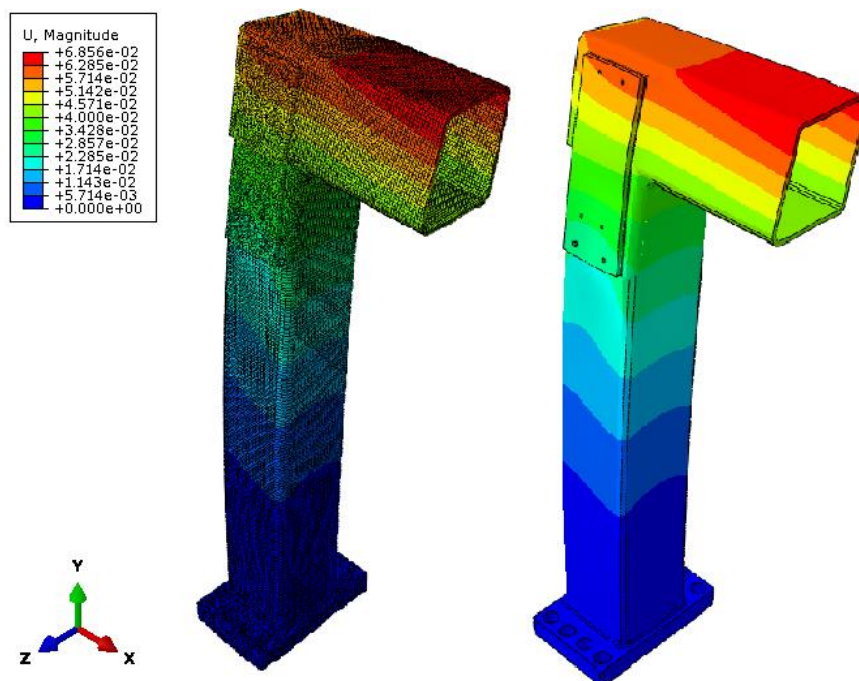
Maximální posuv rámu je, jak bylo očekáváno, v horní části jeklu a jeho hodnota je pouhých  $0,299 \text{ mm}$  – viz. obrázek č. 44, což splňuje požadavek, který byl vytyčen v předchozí kapitole. Je tedy třeba zvážit, zda konstrukci rámu nevytvořit například z jeků o rozměrech  $120 \times 120 \times 5$ , což by ještě podmínce maximálního průhybu vyhovovalo, ale bylo by také větší natočení lisovacího vřetena a tím by mohlo docházet k deformacím konektoru. Proto bylo potvrzeno, že konstrukce bude svařená z profilů  $140 \times 140 \times 5$ .



Obrázek 44: Průhyb rámu lisovacího stroje při působící síle 7 kN

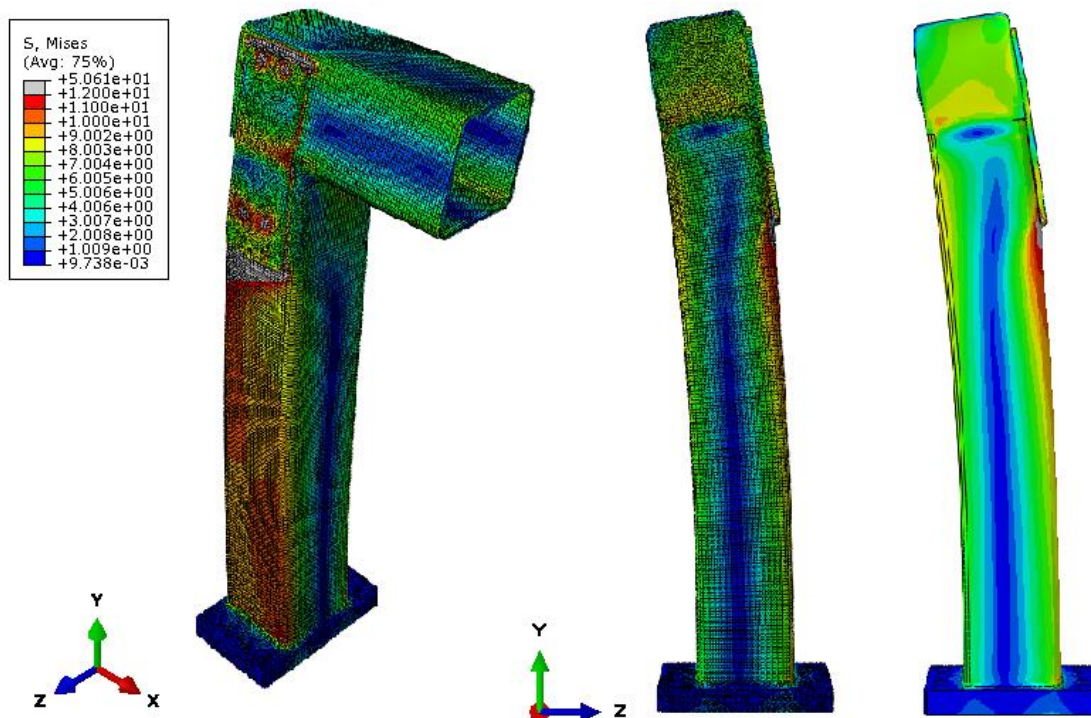
Na obrázku č. 44 je pohled na deformovaný rám. Průhyb v nejvíce pohnutém místě je pouhých 0,299 mm. Scale factor deformace na obrázku č. 44 je  $K = 250$ . Tedy průhyby v reálu nebudou pouhým okem takřka postřehnutelné. Z obrázku je dobře viditelné, že uzavřením profilu došlo ke zvýšení tuhosti. Pokud by nedošlo k uzavření čela profilu, průhyb horní části jeklu by byl mnohem vyšší.

V kapitole 6.7.2 bylo popsáno, že lisovací síla se pohybuje v rozsahu 1 200 – 1 600 N. Proto byla provedena i analýza průhybu pro lisovací sílu 1 600 N. Výsledný průhyb byl 0,07 mm – viz. obrázek č. 45.



Obrázek 45: Průhyb rámu lisovacího stroje při působící síle 1,6 kN

Vedle analýzy průhybu bylo zjištěno i rozložení napětí v celém rámu – viz obrázek č. 46. Maximální hodnota napětí vyšla  $50,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Tato hodnota byla zjištěna v místě svaru připojovací desky lineárního vedení. Její zjištění je popsáno v kapitole 6.7.4. Přesné výpočty a technologické ovlivnění konstrukce však není cílem jeho zkoumání, alespoň pro tuto analýzu, jelikož stěžejním cílem je ověření a zjištění průhybu. Ověření hodnot MKP bude zjištěno analytickou metodou výpočtu hodnoty napětí v prutu. V tomto případě se jedná o kombinované namáhání – EXCENTRICKÝ TAH+OHYB.



Obrázek 46: Rozložení napětí v prutu

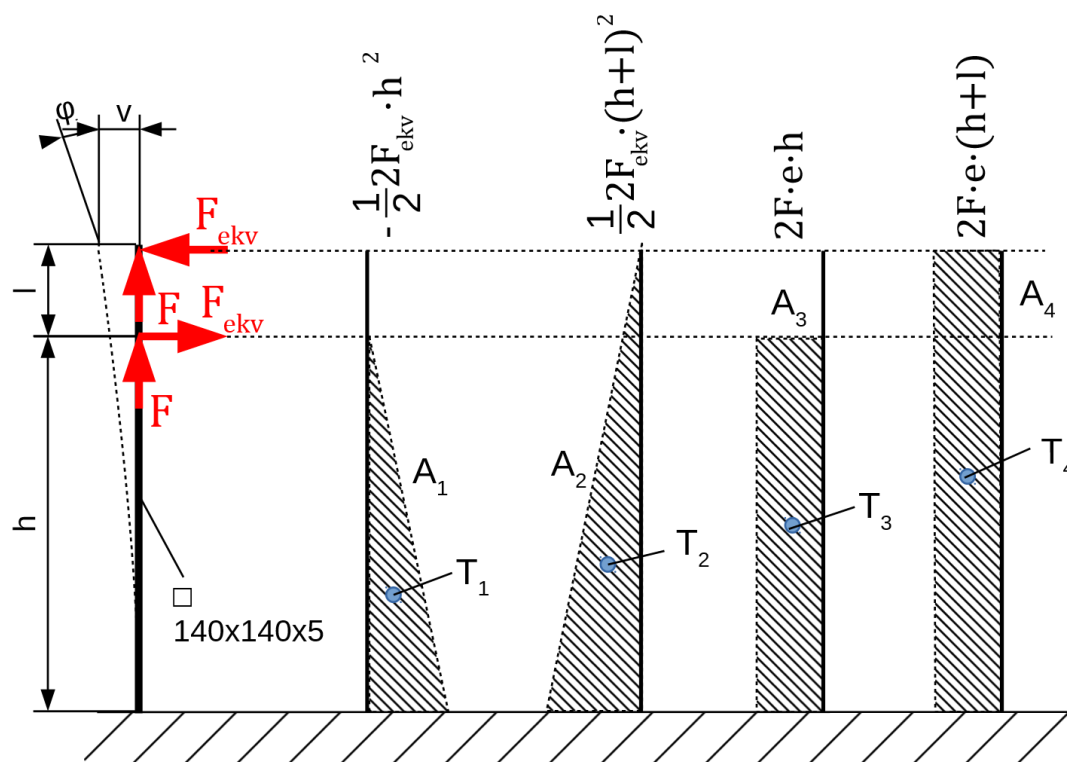
### 6.7.3. Analytické ověření výsledku

V následující kapitole je uveden analytický výpočet deformace a napjatosti v konstrukci. Výpočet je proveden kvůli ověření správnosti výsledků získaných metodou konečných prvků.

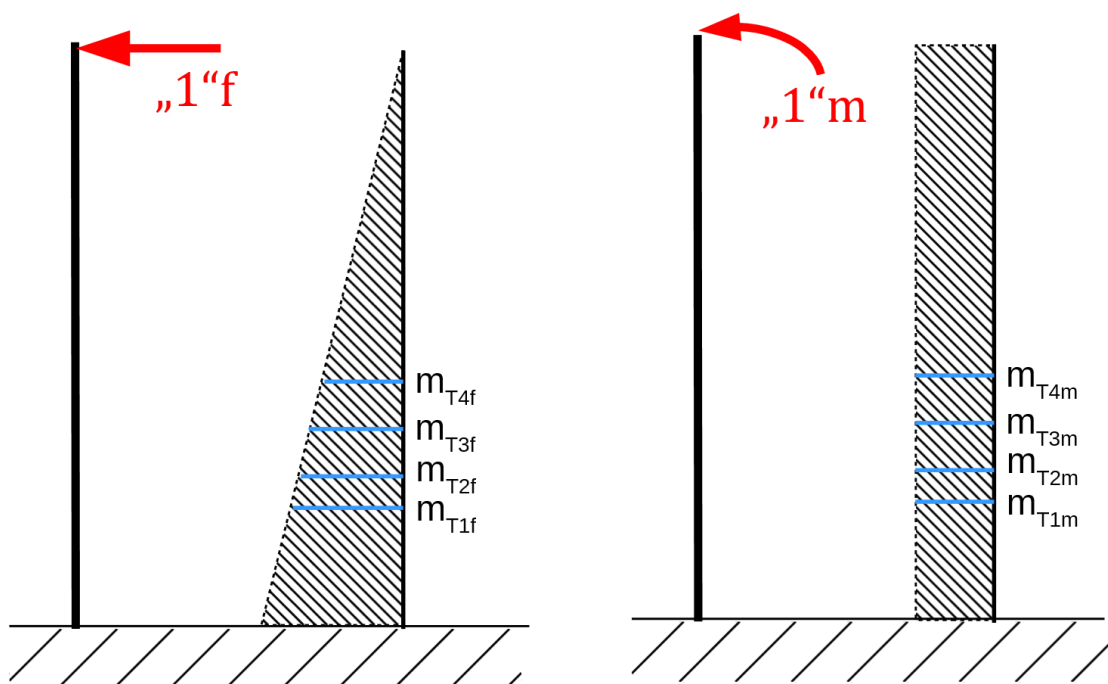
#### 6.7.3.1. Výpočet průhybu prutu

Pro ověření výsledků získaných pomocí MKP bude výsledný prut řešen i analytickou metodou. Pro výpočet metody bude využita Vereščaginova metoda, kdy síly budou definovány stejně, jako pro výpočet MKP. Pro snížení pracnosti bude model z obrázku č. 40 nahrazen pouze prutovou konstrukcí dle obrázku č. 47. Tímto zjednodušením dojde jen k minimálnímu ovlivnění výsledku od hodnoty zjištěné dle MKP, přesto určitá nepřesnost výsledku nastane. Důvod této nepřesnosti bude popsán v kapitole 6.7.4.





Obrázek 47: Silové působení od silové dvojice na prut



Obrázek 48: Silové účinky od jednotkových sil vlevo od jednotkové síly, vpravo od jednotkového momentu

Pro zvýšení přehlednosti jsou veškeré silové účinky shrnuty v následující tabulce č. 7. V tabulce je uveden  $A_i$  odpovídajícím z obrázku č. 47 a  $m_{Tif}$

odpovídající jednotkové síle z obrázku č. 48 vlevo a  $m_{Tim}$  odpovídající jednotkovému momentu. Pro výpočet průhybu bude použit pouze  $m_{Tif}$  od jednotkové síly. Pokud by bylo třeba vypočítat i natočení nosníku bude použit  $m_{Tim}$ .

Pro výpočet Vereščaginovou metodou je vedle sil, uvedených v kapitole 6.7.2.1 a rozměrů rámu uvedených v kapitole 6.7.1, třeba ještě určit modul pružnosti v tahu  $E$ , který je pro ocel roven  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$  a ohybový modul k příslušné ose  $J_z$ , kterou lze vypočítat dle rovnice (6.31), nebo odečíst jako tabulkovou hodnotu.

$$\frac{A^4 - a^4}{12} = \frac{140^4 - 130^4}{12} = 8\,212\,500 \text{ mm}^4 \quad (6.31)$$

Tabulka 7: Souhrnné síly v jednotlivých uzlech

Číslo zatížení	Působící silový účinek – $A_i$	Působící silový účinek od jednotkové síly – $m_{Tif}$	Působící silový účinek od jednotkového momentu – $m_{Tim}$
1	$-\frac{1}{2} \cdot 2F_{ekv} \cdot h^2$	"1" $\cdot \frac{2}{3} h + l$	"1"
2	$\frac{1}{2} \cdot 2F_{ekv} \cdot (h + l)^2$	"1" $\cdot \frac{2}{3} (h + l)$	"1"
3	$2F \cdot e \cdot h$	"1" $\cdot \frac{1}{2} h + l$	"1"
4	$2F \cdot e \cdot (h + l)$	"1" $\cdot \frac{1}{2} \cdot (h + l)$	"1"

Vereščaginovou metodou nyní bude vypočítán celkový posuv a celkové natočení vetknutého nosníku podle obecného vzorce (6.32).

$$u(B) = \frac{1}{EJ} \sum_i A_i \cdot m_{Tif} \quad (6.32)$$

Dosazením hodnot z tabulky č. 7, modulu pružnosti a polárního momentu v ohybu do rovnice (6.32) lze vypočítat průhyb i natočení v místě B, tedy na konci vetknutého sloupu – viz. rovnice (6.33).

$$u(B) = \frac{1}{EJ} \cdot [(A_1 \cdot m_{T1f}) + (A_2 \cdot m_{T2f}) + (A_3 \cdot m_{T3f}) + (A_4 \cdot m_{T4f})] \quad (6.33)$$

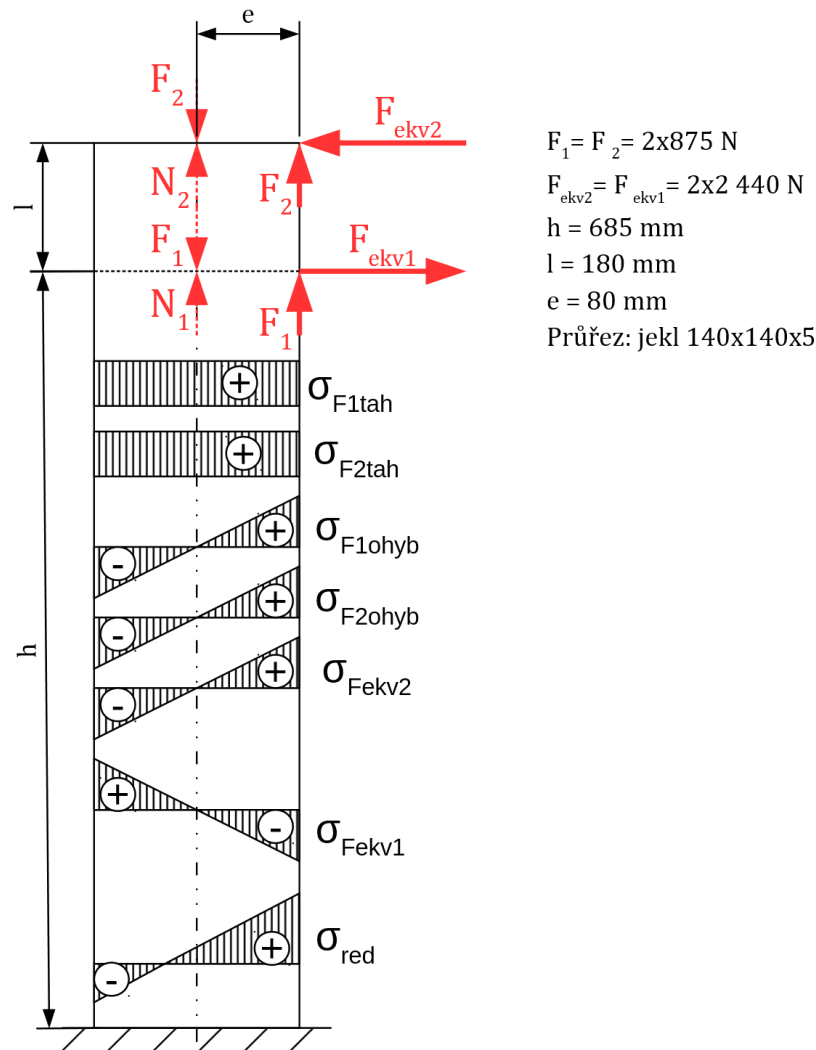
Ze vzorce (6.33) byla zjištěna hodnota průhybu v prutu 0,248 mm.



### 6.7.3.2. Výpočet hodnoty napětí v prutu

Pro výpočet napětí v prutu bude použit silový rozklad z obrázku č. 40. Napětí v nosníku je znázorněno v obrázku č. 31.

Jelikož na prutu působí více sil, je třeba vypočítat napětí v prutu pro jednotlivé síly. Složkové napětí se následně přepočte na redukované napětí  $\sigma_{red}$ . Napětí v prutu od jednotlivých sil je znázorněno na obrázku č. 49.



Obrázek 49: Složkové napětí v prutu

Pro zvýšení přehlednosti jsou v obrázku č. 49 veškeré potřebné údaje pro výpočet hodnoty napětí uvedeny v kapitolách 6.7.16.7.2 a 6.7.2.1.

Jako první bude vypočteno napětí v rámu od tahové síly dle rovnice (6.34)

$$\sigma_{Fitah} = \frac{F}{S} = \frac{F_i}{A^2 - a^2} \quad i = 1,2 \quad (6.34)$$

Dle rovnice (6.34) bylo celkové napětí  $\sigma_{F1tah} = \sigma_{F2tah} = 0,65 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ .

Dále bude vypočítán ohybový účinek od síly  $F_i$  dle vzorce (6.35).

$$\sigma_{Fiohyb} = \frac{M_{oi}}{W_o} \quad (6.35)$$

Modul průřezu v ohybu pro uzavřený jekl je počítán dle vzorce (6.36).

$$W_o = \frac{A^4 - a^4}{6A} = 117\,321 \text{ mm}^3 \quad (6.36)$$

Výpočet jednotlivých napětí ohybu je proveden dle rovnic (6.35) a (6.36). Pro názornost je v rovnici (6.37) uveden postup výpočtu napětí. Zbylé výpočty včetně hodnot napětí jsou uvedeny v přehledné tabulce č. 8.

$$\sigma_{F1ohyb} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_1 \cdot e}{\frac{A^4 - a^4}{6A}} = \frac{2 \cdot 875 \cdot 80}{117\,321} = 1,19 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (6.37)$$

Tabulka 8: Souhrnné napětí od jednotlivých sil

uzel	Síla [N], Ohybový moment [N·mm]	Průřez [mm <sup>2</sup> ] / kvadratický moment [mm <sup>3</sup> ]	Napětí	Hodnota [N·mm <sup>-2</sup> ]
$\sigma_{F1tah}$	1 750 [N]	2700 [mm <sup>2</sup> ]	Tahové	+ 0,65
$\sigma_{F2tah}$	1 750 [N]	2700 [mm <sup>2</sup> ]	Tahové	+ 0,65
$\sigma_{F1ohyb}$	± 140 000 [N·mm]	117 321 [mm <sup>3</sup> ]	Ohybové	± 1,19
$\sigma_{F2ohyb}$	± 140 000 [N·mm]	117 321 [mm <sup>3</sup> ]	Ohybové	± 1,19
$\sigma_{Fekv1ohyb}$	± 3 342 800 [N·mm]	117 321 [mm <sup>3</sup> ]	Ohybové	± 28,49
$\sigma_{Fekv2ohyb}$	± 4 221 200 [N·mm]	117 321 [mm <sup>3</sup> ]	Ohybové	± 35,98
$\sigma_{red}$	-	-	Redukované	+11,17/-8,57

Jsou-li známá všechna dílčí napětí, je možné vypočítat redukované napětí znázorněných na obrázku č. 49. Jelikož hodnoty napětí jsou symetrické vůči ose, je třeba důsledně rozlišovat napětí v kladné a záporné ose.

$$\begin{aligned} \sigma_{red\_tlak} &= |\sigma_t + \sigma_o| = |\sigma_{F1tah} + \sigma_{F2tah} - \sigma_{F1ohyb} - \sigma_{F2ohyb} - \\ &\quad - \sigma_{Fekv2ohyb} + -\sigma_{Fekv1ohyb}| \\ \sigma_{red\_tah} &= \sigma_{F1tah} + \sigma_{F2tah} - (\sigma_{F1ohyb}) - (\sigma_{F2ohyb}) - \\ &\quad - (-\sigma_{Fekv1ohyb}) - (\sigma_{Fekv2ohyb}) \end{aligned} \quad (6.38)$$

#### 6.7.4. Zhodnocení výsledků analytické metody a metody MKP

Byla provedena analýza MKP vybraného celku – rámu lisovacího vřetene. Stanoveno podmínkou byl maximální přípustný průhyb 0,5 mm. Výsledný průhyb metodou MKP vyšel 0,299 mm, analytickou Vereščaginovou metodou byl zjištěn průhyb 0,248 mm. Odchylka činí 17 % a je dána zjednodušením analytického modelu výpočtu. Jelikož se odchylka projevila až na druhém desetinném místě, lze považovat model výpočtu MKP za ověřený.

Zároveň v MKP byla určena kritická místa konstrukce a zjištěno maximální napětí, které bylo  $50,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Byl předpoklad, že největší napětí bude v kořeni svaru u příruby, což se však nepotvrdilo. V tomto místě bylo metodou MKP zjištěno napětí pouhých  $10,75 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ .

Naproti tomu největší napětí bylo zjištěno ve spodní části svaru připojovací desky pro lisovací osu. V tomto místě by tedy bylo vhodné vůbec nevařit a vytvořit svar pouze podélně a horní a dolní kouty desky nechat bez svaru. Protože napětí od lisovací síly je pouhých  $50,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ , tak je zřejmé, že v tomto místě defekt konstrukce nehrozí. Možnost provedení svaru je však na úvaze technologů a výpočtářů zabývajících se svařováním.

Analytickou metodou bylo zjištěno redukované napětí v prutu  $\sigma_{red}$  11,17  $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ , metodou konečných prvků napětí  $10,75 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ , to je odchylka 3,8 %. Protože je odchylka do 5 %, lze považovat dané výpočty napětí za korektní. Největší vliv na odchylku mělo použití samotného analytického modelu, který byl oproti metodě MKP nahrazen pouze prutem bez připojovací desky (zvyšující tuhost konstrukce) a vodorovného jeklu (naopak snižující tuhost konstrukce). Toto zjednodušení se zásadně projevilo při výpočtu průhybu. Odhlédnutím od těchto bodů došlo ke zmíněné odchylce, ovšem z celkového hlediska konstrukce lze v obou případech průhyb i napětí považovat za minimální. Veškeré hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce č. 9.

Tabulka 9: Souhrn výsledků a zhodnocení odchylky analytické a MKP metody

Zjišťovaná veličina	Analytická metoda	MKP	Odchylka
<b>Průhyb</b>	0,248 [mm]	0,299 [mm]	17,0 %
<b>Napětí</b>	11,17/8,57 [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ]	10,75/8,25 [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ]	3,8 %/3,9 %

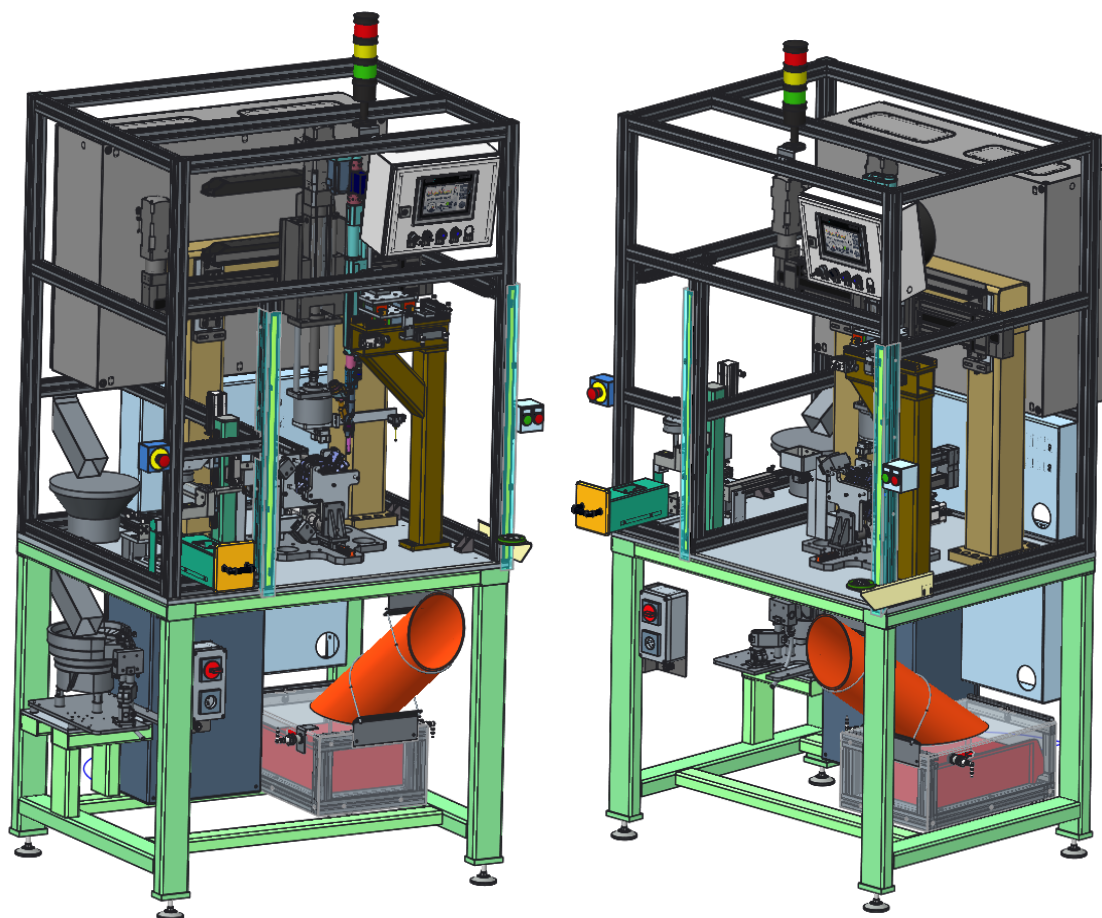
## 7. Zhodnocení konstrukce

Zadáním práce bylo navrhnout konstrukční celky stanice a vytvořit uspořádání celé stanice. Cílem návrhu bylo uspořádání zařízení tak, aby bylo umístěno do co nejmenší zástavbové plochy. Pracovní plocha stanice činí 1200x1000 mm – (šířka x hloubka).

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že požadavek byl splněn.

Na rozdíl od návrhu došlo u výsledné stanice ke zvětšení její hloubky, a to z důvodu umístění otočného stolu pro lisování konektoru do tělesa. Provedení tohoto opatření bylo nutné za účelem snížení taktu stanice, především pro časovou náročnost lisování konektoru, tj. dosažení větší časové rezervy. Umístění otočného stolu umožňuje obsluze založit nový hausing do stanice ještě v době, kdy probíhá na druhé straně stolu lisování konektoru.

Pohled na celý návrh stanice je znázorněn na obrázku č. 50.



Obrázek 50: Pohled na montážní lisovací stanici konektoru s předmontáží O-kroužků

## 8. Závěr

Cílem této práce bylo v praktické části sepsat informace o lisování ve strojírenské praxi, normách a právních předpisech spojenými s lisováním ve strojírenství. Dále byl popsán návrh lisovaného výpočtu pro přenos krouticího momentu  $M_k$  nebo přenos axiálních sil  $F_a$ , doplněný postupem kontrolních výpočtů. Podstatný oddíl tvořil i popis bezpečnostních opatření, ergonomie pracoviště a popis kontrolních mechanismů řízení při lisování pro docílení 100% kvality.

Práce dále pojednává o aplikacích a použití O-kroužků, jejich materiálech, normách či doporučeních. Následně byly popsány varianty způsobu instalace O-kroužků, srovnání jednotlivých výhod či nevýhod všech variant. V části instalace O-kroužků bylo popsán i způsob, jakým probíhá výpočet, podle kterého se musí konstruktér řídit při správném uložení O-kroužku pro specifické aplikace.

V poslední části teoretické části práce byly sepsány souhrnné informace o metodě časových studií – v této práci byla detailně zpracována metoda MTM (Method time measurement), která byla následně použita v praktické části pro určení času obsluhy vytvořené montážní stanice a která je součástí příloh.

Na základě získaných poznatků z teoretické části práce byl vytvořen návrh stanice pro poloautomatickou montáž konektoru do tělesa filtru nafty, včetně zařízení pro předmontáž O-kroužků na konektor. Zhotovený návrh stanice byl popsán a byl vysvětlen princip její činnosti. Jako výstup byl vytvořen návrhový výkres celého pracoviště s důležitými přípojovacími nebo pracovními rozměry s popsanými jednotlivými prvky pracoviště.

Součástí praktické části diplomové práce byly i výpočty strojních časů jednotlivých operací, výpočet velikosti pohonů elektrických a pneumatických lisovacích jednotek, výpočet lisovací síly na montáž O-kroužku a výpočet lisovací síly na montáž konektoru do tělesa. Výpočty strojních časů byly čerpány především ze znalosti doby činnosti konkrétních operací. Výpočty velikosti os byly u pneumatických aplikací počítány na základě znalosti lisovacích sil a znalosti tlaku média. Elektrická vřetena byla po určení lisovacích

sil vybrána z katalogů výrobce a po poradě s výrobcí bylo vybráno nejvhodnější řešení pro konkrétní aplikaci.

Pro výpočet nebo určení vhodných os a válců bylo nutné vypočítat lisovací sílu potřebnou k nalisování O-kroužku na konektor a v případě lisování konektoru bylo nutné vypočítat lisovací sílu potřebnou pro nalisování konektoru do plechů topení, která byla nezbytnou podmínkou zjištění pro výběr lisovací osy.

Po zhotovení modelu stanice byl určen rám lisovací jednotky namáhané na excentrický tah a ohyb a byl podroben analýze metodě konečných prvků. V případě rámu byl stěžejní výpočet jeho průhyb, tj. zda vyhovuje zadaným podmínkám a zároveň byla zjištěno i napětí v rámu, zda nebyla překročena hodnota únavy materiálu. Tyto hodnoty byly následně ověřeny analytickou metodou výpočtu a na závěr zhodnoceny obě varianty výpočtu a jejich správnost. Jelikož odchylky jsou malé, byla shledána analýza výpočtu MKP za ověřenou. Na základě zjištěných informací, byl shledán rám stroje za konstrukčně správně navrhnutý. Na základě výsledků MKP byl vznesen návrh na technologické úpravy konstrukce z důvodu eliminace napěťových špiček.

Vytvořený návrh stanice byl softwarově modifikován a následně konstrukčně upraven, například o otočný stůl, zvětšení pracovní plochy apod. I přes tyto úpravy byl návrh stanice, jehož návrhový výkres je součástí přílohy, výchozím podkladem pro zkonstruování plně funkční stanice, která je součástí linky pro montáž palivového filtru pevných částic pro naftové vozy Mercedes. Kompletní linka byla vyrobena společností Aktivit, spol. s r.o. v Novém Boru pro společnost MANN+HUMMEL v.o.s. se závodem sídlícím v Okříškách. Nyní již je navržené zařízení v plném provozu a nevykazuje provozní, funkční ani jiné konstrukční nedostatky. Ověření funkčnosti provozem dokládá vhodnost navrženého řešení a správnost konstrukce.

## 9. Seznam použité literatury

- [1] LEINVEBER, Jan. 2005. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [2] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. 2010. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vik. Brno: VUTIUM, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] Mercedes Benz 6420904852 Fuel Filter. *EVERYTHINGBENZ* [online]. 2016 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://www.everythingbenz.com/z/part/6420904852-mercedes-fuel-filter>
- [4] PETRUTELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. Úvod do tváření I. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2001. ISBN 80-707-8877-1.
- [5] BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUTELKA. Úvod do tváření II. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
- [6] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. Části strojů. Vyd. 5., přeprac. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989. Technický průvodce. ISBN 80-0300046-7.
- [7] CE marking. *CE marking – European Commission* [online]. 2017 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/growth/sites/growth/files/ce-mark.jpg>
- [8] ČSN EN ISO 12 100. *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*. 2011. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [9] ČSN EN 692 + A1. *Obráběcí a tvářecí stroje – Mechanické lisy – Bezpečnost*. 2009. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [10] Zákon č. 22/1997 Sb. *Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů*. In č. 6/1997, Sbírka zákonů, 0128 strana. ISSN 1801-4399.
- [11] Zákon č. 378/2001 Sb., *Nařízení vlády, kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí*. In: č. 144/2001, *Sbírka zákonů*, 7982 strana. ISSN 1801-4399

- [12] Monitorovací systémy lisovací síly. *Gechter* [online]. 2017 [cit. 2017-01-19]  
Dostupné z: [http://www.gechter.cz/html/pneumatische\\_2\\_12\\_2.html](http://www.gechter.cz/html/pneumatische_2_12_2.html)
- [13] Těsnící prvky. *RUBENA a. s. Part of Trelleborg Group* [online]. 2015 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: [http://eshop.rubena.cz/Files/flash/rubena-old/Tesnici-prvky\\_2015\\_CZ.pdf](http://eshop.rubena.cz/Files/flash/rubena-old/Tesnici-prvky_2015_CZ.pdf)
- [14] ERIKS O-Ring Calculator. *ERIKS | know-how makes the difference.* [online]. 2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://oringcalculator.eriksgroup.com/#>
- [15] Náradí na montáž a demontáž O-kroužků. *HENNLICH* [online]. 2017 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: [https://www.hennlich.cz/typo3temp/pics/besteck\\_01\\_f83dff6eed.png](https://www.hennlich.cz/typo3temp/pics/besteck_01_f83dff6eed.png)
- [16] New-oring-gripper-org-85. *Local automation* [online]. 2017 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://localautomation.com/pressreleaseimages/new-oring-gripper-org-85.jpg>
- [17] Metoda MTM. *Sdružení MTM pro Českou a Slovenskou republiku* [online]. 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.czechmtm.cz/sluzby.php>
- [18] Motion Elements of Method Time Measurement (MTM). *Article library* [online]. 2016/08 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: [http://cdn.yourarticlelibrary.com/wp-content/uploads/2016/08/clip\\_image005-9.jpg](http://cdn.yourarticlelibrary.com/wp-content/uploads/2016/08/clip_image005-9.jpg)
- [19] KLT boxes. *Direct industry* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/9309-4080135.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/9309-4080135.jpg)
- [20] Válce FESTO ADN. FESTO [online]. 2013/01 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_CS/PDF/CZ/ADN\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/ADN_CZ.PDF)
- [21] SCHUNK Grippers pneumatic | 2-Finger Parallel Grippers | Universal Gripper. *SCHUNK Superior Clamping and gripping* [online]. 2017 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <https://us.schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0007069.PDF>
- [22] Electric cylinder FESTO EGC-HD-BS. FESTO [online]. 2017/04 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_ENGB/PDF/EN/EGC-HD-BS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/EGC-HD-BS_EN.PDF)
- [23] Electric cylinder FESTO ESBF. *FESTO* [online]. 2017/03 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_ENGB/PDF/EN/ESBF\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/ESBF_EN.PDF)



- [24] Bosch Rexroth Corp. | *Linear motion and assembly Technologies* [online]. 2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: [http://www.womackautomation.com/media/13919/ballrail\\_1651.pdf](http://www.womackautomation.com/media/13919/ballrail_1651.pdf)
- [25] Rubber Material Selection Guide, 2005. *Robinson Rubber Products Company, Inc.* [online]. 2017 <http://robinsonrubber.com> [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://robinsonrubber.com/pdfs/FKMRubber.pdf>
- [26] MICHALEC, Jiří. *Pružnost a pevnost I.* 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04224-3.
- [27] Coefficient of friction, Rolling resistance and Aerodynamics. *TRIBOLOGY-ABC* [online]. 2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm>
- [28] Frictional behaviour of some sealing elastomers in lubricated sliding conditions. [online] 2016. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1010616/FULLTEXT01.pdf>

## 10. Seznam příloh

### Svázané

- I. Popis funkce stanice – část lisování O-kroužku
- II. Popis funkce stanice – část lisování konektoru

### Vložené

- III. Popis funkce stanice – část pracovníka (metoda MTM)
- IV. Návrhový výkres sestavy montážní lisovací stanice s předmontáží O-kroužků
- V. Návrhový výkres sestavy přípravku montáže O-kroužku na konektor

## 11. Seznam obrázků

- Obrázek 1: Příklad konektoru umístěném na naftovém filtru s tvarovým zajištěním v horní části a nesymetrickým tvarem (strana 2)
- Obrázek 2: Silové rozložení v lisovaném spoji (strana 6)
- Obrázek 3: Značka shody CE (strana 9)
- Obrázek 4: Proces snižování rizika včetně opakování tříkrokové metody (strana 11)
- Obrázek 5: Příklad diagramu kontroly lisovací síly  $F=f(s)$  (strana 15)
- Obrázek 6: Udávaný katalogový rozměr O-kroužků (strana 19)
- Obrázek 7: Ruční nářadí pro montáž a demontáž O-kroužků (strana 21)
- Obrázek 8: Univerzální sklíčidlo SCHUNK ORG 85 pro nasazování O-kroužků na hřídele (strana 22)
- Obrázek 9: Správné zaváděcí sražení, vlevo pro díru, vpravo pro hřídel (strana 23)
- Obrázek 10: Příklad doporučení uložení O-kroužku pomocí grafu (strana 25)
- Obrázek 11: Výpočtové schéma včetně kót, vlevo zobrazení na výkresu, vpravo reálný stav (strana 25)
- Obrázek 12: Příklad z normy MTM pro otočení předmětu pro různé úhly (strana 29)
- Obrázek 13: Pohled na zadní část stanice sloužící pro uložení řídicí techniky (strana 31)
- Obrázek 14: Pohled na krabici pro umístění NOK dílů (strana 31)
- Obrázek 15: KLT boxy na díly různých velikostí (strana 32)
- Obrázek 16: Průřez lisovací hlavou a umístění O-kroužku v kleštině (strana 33)
- Obrázek 17: Pohled na pojezd šuplíku pro docílení lisovacích poloh (strana 34)
- Obrázek 18: Schematické znázornění řízení poloh. Vlevo paralelní válce (tandemové), vpravo sériové válce (vedle sebe) (strana 34)
- Obrázek 19: Pohled na lisovací přípravek O-kroužků s otevřeným šuplíkem (strana 35)
- Obrázek 20: Univerzální přípravek pro uchycení tělesa (strana 36)
- Obrázek 21: Hlava lisovacího přípravku (vlevo) včetně přípravku pro mazání děr tělesa (vpravo) (strana 38)

- Obrázek 22: Lisovací rám včetně lineárního pojezdu a lisovací hlavy (strana 39)
- Obrázek 23: Pohled na mazací přípravek konektoru s dvojicí trysek (strana 40)
- Obrázek 24: Servoválec FESTO ESBF BS 32-100 na konci s přitlačovacím kamenem (strana 41)
- Obrázek 25: Detailní pohled na přitlačovací kámen topných plechů (strana 42)
- Obrázek 26: Detail na šroubovací vřeteno (strana 42)
- Obrázek 27: Pohled na pohon os šroubovacího vřetene (strana 43)
- Obrázek 28: Pohled na šroubovací přípravek (strana 45)
- Obrázek 29: Pohled na celkový rám stanice (strana 46)
- Obrázek 30: Výkres lisovaného O-kroužku (strana 51)
- Obrázek 31: Vytknutý element a silový rozbor v O-kroužku (strana 52)
- Obrázek 32: Pohled na lisovací jednotku O-kroužků (strana 56)
- Obrázek 33: Výkres plechu topení pro nalisování konektoru se základními rozměry (strana 58)
- Obrázek 34: Křivý prut po deformaci (strana 59)
- Obrázek 35: Silové uvolnění výpočtového modelu křivého prutu (strana 60)
- Obrázek 36: Silové rozložení v polárních souřadnicích (strana 61)
- Obrázek 37: Zavedení virtuální síly do modelu (strana 62)
- Obrázek 38: Vlevo - O-kroužek na konektoru před lisováním, vpravo - O-kroužek po nalisování (strana 66)
- Obrázek 39: Rám pro ověření analýzou MKP (strana 69)
- Obrázek 40: Model pro MKP analýzu po úpravách s naznačením silového rozboru, rovinou symetrie a vetknutím v přírubě (strana 70)
- Obrázek 41: Ekvivalentní lisovací síla (strana 72)
- Obrázek 42: Zatížení konstrukce rámu (strana 73)
- Obrázek 43: a) celkový pohled na síť – vlevo, b) detail HEX a TET prvky v okolí rádiusu – vpravo nahoře, c) detail sítě po tloušťce elementu – vpravo dole (strana 74)
- Obrázek 44: Průhyb rámu lisovacího stroje při působící síle 7 kN (strana 75)
- Obrázek 45: Průhyb rámu lisovacího stroje při působící síle 1,6 kN (strana 76)
- Obrázek 46: Rozložení napětí v prutu (strana 77)
- Obrázek 47: Silové působení od silové dvojice na prut (strana 78)

- Obrázek 48: Silové účinky od jednotkových sil vlevo od jednotkové síly, vpravo od jednotkového momentu (strana 78)
- Obrázek 49: Složkové napětí v prutu (strana 80)
- Obrázek 50: Pohled na montážní lisovací stanici konektoru s předmontáží O-kroužků (strana 83)

## 12. Seznam tabulek

- Tabulka 1: Doporučení hodnoty drsnosti funkčních povrchů pro různé aplikace (strana 23)
- Tabulka 2: Příklad doporučení uložení O-kroužku pomocí tabulky (strana 24)
- Tabulka 3: Srovnání jednotlivých případů při lisování O-kroužku (strana 54)
- Tabulka 4: Srovnání jednotlivých případů při lisování jednoho pinu konektoru (strana 64, 65)
- Tabulka 5: Srovnání jednotlivých případů při lisování nasazeného O-kroužku do díry (strana 66, 67)
- Tabulka 6: Souhrn všech vypočtených lisovacích sil včetně celkové síly při lisování (strana 68)
- Tabulka 7: Souhrnné síly v jednotlivých uzlech (strana 79)
- Tabulka 8: Souhrnné napětí od jednotlivých sil (strana 81)
- Tabulka 9: Souhrn výsledků a zhodnocení odchylky analytické a MKP metody (strana 82)

### 13. Seznam použitých symbolů a značek

A	[mm <sup>2</sup> ]	Průřez O-kroužku
b	[mm]	Stlačený průměr O-kroužku
C <sub>N</sub>	[1]	Geometrická konstanta náboje
d	[mm]	Průměr O-kroužku
D	[mm]	Průměr tělesa, v němž je O-kroužek umístěn
d <sub>H</sub>	[mm]	Průměr hřídele
D <sub>N</sub>	[mm]	Průměr náboje
d <sub>s</sub>	[mm]	Průměr nezatíženého O-kroužku vztažen ke střednímu poloměru
D <sub>s</sub>	[mm]	Průměr zatíženého O-kroužku vztažen ke střednímu poloměru
d <sub>válec</sub>	[mm]	Průměr válce
E	[N·mm <sup>-2</sup> ]	Obecný modul pružnosti materiálu
E <sub>G</sub>	[N·mm <sup>-2</sup> ]	Modul pružnosti gumy v tahu
E <sub>H</sub>	[N·mm <sup>-2</sup> ]	Modul pružnosti hřídele
E <sub>N</sub>	[N·mm <sup>-2</sup> ]	Modul pružnosti náboje
f	[1]	Součinitel tření
F	[N]	Síla
F <sub>a</sub>	[N]	Axiální síla
F <sub>v</sub>	[N]	Vytrhávací síla
C <sub>H</sub>	[1]	Geometrická konstanta hřídele
k	[1]	Součinitel bezpečnosti
l	[mm]	Rozvinutá délka zatíženého O-kroužku
l <sub>0</sub>	[mm]	Rozvinutá délka nezatíženého O-kroužku
L <sub>N</sub>	[mm]	Délka náboje
M	[N·mm]	Moment
M <sub>k</sub>	[N·mm]	Krouticí moment
n	[1]	Označení počtu kusů konektoru
p	[MPa]	Tlak
Q	[N]	Lisovací síla



q	[N·mm <sup>-1</sup> ]	Spojité zatížení
R	[mm]	Označení poloměru
R <sub>x</sub>	[N]	Reakce ve směru osy x
R <sub>y</sub>	[N]	Reakce ve směru osy y
R <sub>z</sub>	[mm]	Drsnost povrchu
s	[mm]	Dráha
S	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha
t	[mm]	Tloušťka desky
T	[N]	Normálová síla
w	[mm]	Konstrukční lisovací přesah
W <sub>o</sub>	[mm <sup>3</sup> ]	Modul průřezu v ohybu
x	[-]	Kartézský souřadnicový systém – osa x
y	[-]	Kartézský souřadnicový systém – osa y
z	[-]	Kartézský souřadnicový systém – osa z
α	[°K <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné roztažnosti
Δd	[mm]	Lisovací přesah
Δl	[mm]	Protažení O-kroužku
ε <sub>G</sub>	[1]	Poměrné prodloužení O-kroužku
θ	[1]	Poměrná změna objemu
μ <sub>Al-Al</sub>	[1]	Součinitel tření pro hliník-hliník
μ <sub>kr-PAlub</sub>	[1]	Součinitel tření mezi O-kroužkem a polyamidem mazané
μ <sub>FKM-Fe</sub>	[1]	Součinitel tření mezi O-kroužkem a ocelí
σ	[N·mm <sup>-2</sup> ]	Napětí
σ <sub>o</sub>	[N·mm <sup>-2</sup> ]	Napětí v ohybu
σ <sub>t</sub>	[N·mm <sup>-2</sup> ]	Napětí v tahu
σ <sub>red</sub>	[N·mm <sup>-2</sup> ]	Redukované napětí
φ	[rad]	Úhel
ČSN		Česká státní norma
DMX		Data matrix code – 2D čárový kód
EN		Evropská norma



---

F-s	Diagram závislosti síly F na dráze s
HEX	Hexagonální prvek sítě MKP
ISO	International Organization for Standardization
MKP	Metoda konečných prvků
NOK	Označení pro vadný díl – NOT OK
TET	Tetragonální prvek sítě MKP

## Příloha I – Popis funkce stanice – část lisování O-kroužku

### Popis funkce stanice – část lisování O-kroužku

<i>pořadí</i>	<i>činnost</i>	<i>čas [s]</i>	<i>popis</i>
1	Kontrola přítomnosti konektoru	0,1	TECHNOLOGIE
2	Nabití O-kroužku na kuželku	1,2	PIN 1
3	Sjetí kuželky na pin konektoru 1	0,5	
4	Puštění kuželky	0,2	
5	Lisování O-kroužku	2	
6	Vyjetí lisovacího přípravku do horní úvratě	0,5	
7	Chycení kuželky	0,2	
8	Vyjetí lisovací kuželky do horní úvratě	1	
9	Přejetí přípravku do polohy 2	0,2	
10	Nabití O-kroužku na kuželku	1,2	
11	Sjetí kuželky na pin konektoru 2	0,5	
12	Puštění kuželky	0,2	
13	Lisování O-kroužku	2	
14	Vyjetí lisovacího přípravku do horní úvratě	0,5	
15	Chycení kuželky	0,2	
16	Vyjetí lisovací kuželky do horní úvratě	1	
17	Přejetí přípravku do polohy 3	0,2	PIN 3
18	Nabití O-kroužku na kuželku	1,2	
19	Sjetí kuželky na pin konektoru 3	0,5	
20	Puštění kuželky	0,2	
21	Lisování O-kroužku	2	
22	Vyjetí lisovacího přípravku do horní úvratě	0,5	
23	Chycení kuželky	0,2	
24	Vyjetí lisovací kuželky do horní úvratě	1	
25	Provedení kontroly přítomnosti O-kroužků	0,2	TECH
26	Vyjetí přípravku ze stanice	0,5	
<b>čas celkem</b>		<b>18</b>	

## Příloha II – Popis funkce stanice – část lisování konektoru

### Popis funkce stanice – část lisování konektoru

<i>pořadí</i>	<i>činnost</i>	<i>čas [s]</i>	<i>popis</i>
1	Načtení DMX kódu	0,1	TECHNOLOGIE
2	Provedení kontroly přítomnosti O-kroužků	0,1	
3	Zajištění HAUSINGU upínkou	0,1	
4	Vysunutí přitlačovacího válce plechů	1,5	
5	Přejetí mazací hlavy na pozici 1 (posuv v ose x)	0,5	MAZÁNÍ
6	Posuv v ose y	0,5	
7	Mazání díry v HAUSINGU a O-kroužku na KONEKTORU	0,8	
8	Vyjetí v ose y	0,2	
9	Přejetí mazací hlavy na pozici 2 (posuv v ose x)	0,1	
10	Posuv v ose y	0,2	
11	Mazání díry v HAUSINGU a O-kroužku na KONEKTORU	0,8	
12	Vyjetí v ose y	0,2	
13	Přejetí mazací hlavy na pozici 3 (posuv v ose x)	0,1	
14	Posuv v ose y	0,2	
15	Mazání díry v HAUSINGU a O-kroužku na KONEKTORU	0,8	LIS
16	Vyjetí v ose y	0,2	
17	Přejetí konektoru na lisovací pozici (osa x)	0,5	LIS
18	Rychloposuv (osa y) na lisovací pozici	0,3	
19	Lisování KONEKTORU do HAUSINGU	5	ŠROUBOVÁNÍ
20	Přejetí šroubováku na pozici šroubu A (osa x-z)	0,5	
21	paralelně nabití šroubu do hlavy	0,2	
22	Posuv šroubováku v ose y	0,1	
23	Šroubování vrutu A	3	LIS
24	Rychloposuv (osa y) nad lisovací pozici	0,2	
25	Rychloposuv (osa x) do 0 pozice	0,5	ŠROUBOVÁNÍ
26	Přejetí šroubováku na pozici šroubu B (osa x-z)	0,5	
27	paralelně nabití šroubu do hlavy	0,2	
28	Posuv šroubováku v ose y	0,2	
29	Šroubování vrutu B	3	
30	Přejetí šroubováku na pozici šroubu C (osa x-z)	0,5	
31	paralelně nabití šroubu do hlavy	0,2	
32	Posuv šroubováku v ose y	0,2	
33	Šroubování vrutu C	3	TECH
34	Přejetí šroubováku na pozici šroubu 0 - VÝCHOZÍ POZICE	0,5	
35	Zasunutí přitlačovacího válce plechů	1,5	TECH
36	Povolení upínek HAUSINGU v držáku	0,1	
<b>čas celkem</b>		<b>26</b>	