



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO NASAZOVÁNÍ O-KROUŽKŮ NA PŘEPADOVÝ VENTIL VSTŘIKOVACÍHO ČERPADLA

DESIGN OF DEVICE FOR O-RINGS FITTING ON OVERFLOW VALVE OF INJECTION PUMP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Matula

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Ramík

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. David Matula
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Pavel Ramík
Akademický rok:	2021/22

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

Návrh zařízení pro nasazování o–kroužků na přepadový ventil vstřikovacího čerpadla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní diplomové práce je konstrukční návrh zařízení pro automatické nasazování o–kroužků na přepadový ventil (KUeV) pro vstřikovací čerpadla CP4 vznětových motorů.

Cíle diplomové práce:

1. Provést zhodnocení současného stavu řešení problematiky nasazování o–kroužků na pracovišti zadavatele.
2. Provést rešerši současných existujících konstrukčních řešení požadovaného zařízení.
3. Provést návrh možného řešení včetně konstrukčního návrhu zařízení.
4. Na vyrobeném prototypu provést požadované zkoušky a jejich vyhodnocení.
5. Provést zhodnocení navrženého zařízení z hlediska požadavků na něj kladených.

Seznam doporučené literatury:

HAMROCK, Bernard J., SCHMID, Steven R. a JACOBSON, Bo O. Fundamentals of fluid film lubrication. 2nd edition. New York: Marcel Dekker, 2004. 728 s. ISBN 0-8247-5371-2.

STACHOWIAK, Gwidon W. a BATCHELOR, Andrew W. Engineering Tribology. 3rd edition. Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. 832 s. ISBN 0-7506-7836-4

BUDYNAS, Richard G., NISBETT, J. Keith a SHIGLEY, Joseph Edward. Shigley's mechanical engineering design. 10th edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015. 1104 s. ISBN 0073398209.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problémem navlékání o-kroužků na přepadový ventil vstřikovacího čerpadla CP4. Práce byla zpracována pro firmu Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě. V práci je nejprve uvedeno představení firmy a jejich produktů. V další části práce je provedena analýza současného stavu pracoviště. Následuje průzkum trhu v oblasti automatizovaného navlékání o-kroužků. Tento průzkum posloužil jako inspirace při konstrukci navlékací hlavy. Zkonstruovaná hlava byla vyrobena a otestována na testovacím pracovišti. Po otestování hlavy bylo vypracováno několik variant výsledné stanice navlékání o-kroužků. K výběru nejvhodnější varianty bylo použito multikriteriální metody. K vítězné variantě je vypracován konstrukční koncept pracoviště. Výsledný koncept byl hodnocen z ekonomického i technického hlediska.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizace, instalace o-kroužku, pneumatika, vysokotlaké čerpadlo, robot, mechanická konstrukce

ABSTRACT

The thesis deals with the problem of threading o-rings on the overflow valve of the CP4 injection pump. The thesis was prepared for the company Bosch Diesel s.r.o. in Jihlava. In the thesis, first of all, an introduction of the company and their products is given. In the next part of the thesis, an analysis of the current state of the workplace is made. This is followed by market research in the field of automated o-ring threading. This research served as inspiration for the design of the threading head. The constructed head was manufactured and tested at the test site. After testing the head, several variations of the o-ring threading station were developed. A multi-criteria method was used to select the most suitable variant. A design concept of the workstation was developed for the winning variant. The resulting concept was evaluated from an economic and technical point of view.

KEYWORDS

Automation, o-ring installation, pneumatics, high pressure pump, robot, mechanical construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATULA, David. Návrh zařízení pro nasazování o-kroužků na přepadový ventil vstřikovacího čerpadla [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/141028>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Pavel Ramík.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Pavla Ramíka a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 19. května 2022

.....

Bc. David Matula

PODĚKOVÁNÍ

Ze začátku bych rád poděkoval panu Ing. Pavlu Petrovi, který ve firmě Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě zadání práce nevzniklo. Z řad zaměstnanců bych rád poděkoval i panu Bc. Milanu Brtnickému za asistenci při programování robota. Oběma pánům děkuji za ochotu a věnovaný čas.

Dále bych rád poděkoval panu Janu Řiháčkovi PhD. za cenné konzultace MKP analýz.

Rovněž bych rád vyjádřil díky panu Ing. Pavlu Ramíkovi za vedení mé diplomové práce.

Závěrem bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiích a za pochopení při vypracovávání práce.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Firma Bosch	12
1.1 O firmě obecně.....	12
1.2 Závod Jihlava.....	12
1.3 Produkty.....	13
1.3.1 Common rail systém.....	13
1.3.2 Vysokotlaké diesellové čerpadlo CP4.....	13
1.3.3 Vysokotlaké diesellové čerpadlo CPN6.....	15
1.3.4 Rail.....	15
1.3.5 Tlakový regulační ventil DRV.....	16
1.3.6 Hraniční tlakový ventil PLV.....	16
1.3.7 Vstříkovač CRI (Common Rail Injector).....	17
1.3.8 Hadička zpětného vedení paliva FRL (Fuel Return Line).....	17
2 Současný stav pracoviště.....	18
2.1 Lemování sítky (filtru) a sestava přepadového ventilu.....	18
2.2 Mazání o-kroužků.....	20
3 Přehled řešení vyskytujících se na trhu.....	21
3.1 Schunk – ORG hlava.....	21
3.1.1 O firmě.....	21
3.1.2 ORG hlava.....	21
3.1.3 Princip funkce org hlavy (instalace na hřídel).....	22
3.1.4 Princip funkce org hlavy (instalace do otvoru).....	22
3.2 Ohrmann.....	24
3.2.1 O firmě.....	24
3.2.2 Stanice montáže konektorů pro firmu Bosch.....	24
3.3 Bosch Feuerbach.....	26
3.3.1 Princip funkce.....	26
3.4 Primon Automazioni.....	28
3.4.1 O firmě.....	28
3.4.2 Primon Automazioni a navlékání o-kroužků.....	28
3.4.3 Princip funkce.....	28
3.5 Zhodnocení všech řešení.....	29
3.5.1 ORG hlava – Schunk.....	29
3.5.2 Ohrmann.....	30
3.5.3 Bosch Feuerbach.....	30
3.5.4 Primon Automazioni.....	30
4 Návrh prodloužených prstů hlavy Schunk.....	31
4.1 Požadavky na díl.....	31
4.2 Simulační analýza pomocí MKP.....	31
5 Návrh hlavy pro nasazování o-kroužků.....	34
5.1 Princip funkce.....	34
5.2 Použité pneumatické válce.....	34

5.3	Návrhy jednotlivých dílů	36
5.3.1	Spodní díly klece.....	37
5.3.2	Bočnice.....	38
5.3.3	Chapadlo	39
5.4	Testování hlavy	46
5.4.1	Návrh testovacích přípravků	46
5.4.2	Vyhodnocení testů.....	47
6	Návrh pracoviště	49
6.1	Varianta 1	49
6.2	Varianta 2	51
6.3	Varianta 3	51
7	Výběr nejvhodnější varianty	52
7.1	Metoda multikriteriálního hodnocení	52
7.2	Závěr a vyhodnocení	53
8	Návrh vybrané varianty	54
8.1	Základní koncepce.....	54
8.2	System podávání o-kroužků	56
8.3	System přesunu ventilu do otočného stolu	57
8.4	System montáže o-kroužků (malý i velký).....	58
8.5	System extrakce ventilů ze stolu a jejich třídění	59
8.6	Bezpečnostní opatření použitá při konstrukci stanice	60
8.6.1	Krytování stanice	60
8.6.2	Bezpečnostní zámky dveří	60
8.7	System pohonu otočného stolu.....	61
8.8	Kamera kontroly polohy o-kroužků	62
8.9	Automatická kontrola správné polohy ventilu v otočném stole	62
9	Zhodnocení navrženého řešení.....	64
9.1	Technické hledisko	64
9.2	Finanční hledisko	64
Závěr	65	
Použité informační zdroje	66	
Seznam použitých zkratk a symbolů	69	
Seznam příloh.....	70	

ÚVOD

Jak jde čas, život kolem nás nabírá stále vyšší tempo. Co stačilo firmě k uspokojení zákazníka minulý rok, nemusí už další rok stačit. To se týká jak množství vyprodukovaných dílů, tak i jejich ceny nebo kvality. Firmy jako Bosch přišli do České republiky i kvůli levnější pracovní síle. Cena práce však v České republice roste, a proto je nutností lidské pracovníky nahrazovat roboty.

Dalším důvodem je i nedostatek pracovní síly. Už teď lze pozorovat, že podstatnou část montážních dělníků tvoří agenturní zaměstnanci, většinou cizinci z východu. Ti přišli na západ za prací většinou z Rumunska nebo Ukrajiny. Automatizovaná výroba se proto implementuje hlavně na pozice, kde je práce monotónní, náročná a proto nepopulární.

Cestou automatizace se rozhodla jít i společnost Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě. Už od samého počátku implementuje automatizaci, jak v oblasti výroby, tak i v oblasti logistiky. Na oddělení TEF identifikuje pracovní pozice, kde je potřeba automatizace nejvyšší, ať už kvůli potřebě zvýšení produkce tak i kvůli neatraktivnosti dané pozice mezi zaměstnanci. Oddělení pak provádí konstrukci i instalaci automatizačních řešení.

Tato práce se zabývá návrhem zařízení pro automatické nasazování o-kroužků na přepadový ventil vstřikovacího čerpadla CP4. V současné době jsou o-kroužky nasazovány ručně. Na ventil jsou nasazovány 2 typy o-kroužků. Cílem práce je analýza současného pracoviště, vyhledání podobných řešení, která se již vyskytují, konstrukce navrženého řešení a jeho otestování.

1 FIRMA BOSCH

1.1 O FIRMĚ OBECNĚ

Firma Bosch Diesel situovaná v Jihlavě je součástí společnosti Robert Bosch GmbH. Firma jmenující se po svém zakladateli byla založena již v roce 1886 v Německu. Jádro společnosti tvoří okolo 440 vedlejších firem, které se zabývají výrobou nářadí, domácích spotřebičů, bezpečnostních systémů nebo tepelnou a průmyslovou technikou. V roce 2020 zaměstnává firma 395 000 lidí, což je méně než k roku 2018. Mírný pokles stavu zaměstnanců je dán automatizací ve výrobě. [1]

V České republice je Bosch zastoupen všemi čtyřmi obchodními oblastmi. Jsou jimi: Mobility solutions, Průmyslová technika, Spotřební zboží, a Energetika a technika budov. V osmi lokalitách jsou v české republice situovány 4 výrobní závody, 1 opravárenské centrum a 1 logistickým skladem. Pobočky se nachází v Jihlavě, Brně, Českých Budějovicích, Mikulově, Krnově a v Boru. [1]

1.2 ZÁVOD JIHLAVA

První závod v Jihlavě byl otevřen v roce 1993. Postupem času se jihlavská pobočka rozšiřovala až se stala největší pobočkou firmy na světě. V jihlavské pobočce se firma zaměřuje na výrobu a vývoj inovativních dieselových vstřikovacích systémů Common Rail. Systém Common Rail se skládá ze 4 hlavních komponent, kterými jsou vstřikovací čerpadlo, rail, regulační ventil a vstřikovače. [2]

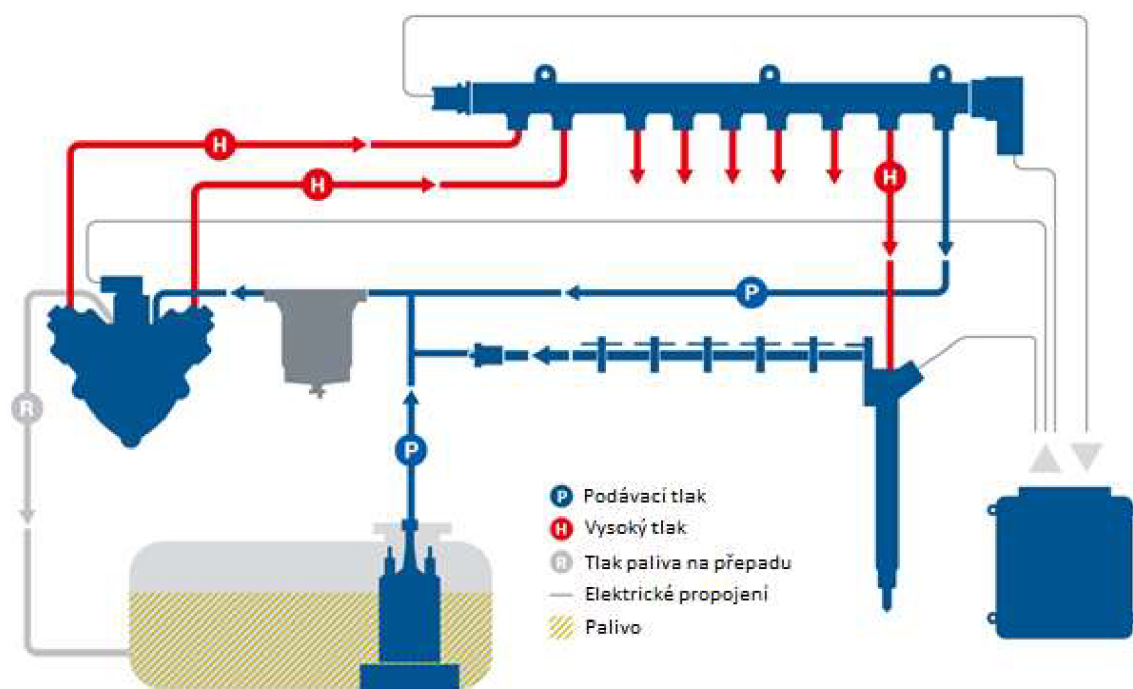


Obr. 1 Závod Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě [3]

1.3 PRODUKTY

1.3.1 COMMON RAIL SYSTÉM

Naprostá většina moderních dieselových motorů je dnes osazována systémem vstřikování Common Rail *Obr. 2*. Výhodou systému Common Rail, je nezávislost tvorby tlaku na otáčkách motoru a množství vstřikovacího paliva. Díky vysokému tlaku, který systém poskytuje je možné kvalitní rozprášení paliva do spalovacího prostoru. Dobré rozprášení paliva ve spalovacím prostoru je důležité pro kvalitní prohoření směsi. Díky těmto parametrům systém umožňuje navyšování výkonu motoru a snižování emisí. V současné době je jihlavská pobočka jediná, která vyrábí všechny prvky Common Rail systému. [4]



Obr. 2 Palivový systém Common Rail [4]

1.3.2 VYSOKOTLAKÉ DIESELOVÉ ČERPADLO CP4

Výroba čerpadel CP4 odstartovala v jihlavském závodě v roce 2008. Čerpadlo CP4 je modernizací čerpadla CP3. Čerpadlo CP3 se však stále vyrábí, avšak především pro asijský trh. Starší typy čerpadel umožňovaly pouze jeden podávací zdvih na jednu otáčku čerpadla. Čerpadlo CP4 může na jednu otáčku vykonat dva podávací zdvihy. Čerpadlo CP4 také umožňuje použití převodového poměru 1:1. Dřívější modely měly otáčky vždy menší než motor, a to buď poloviční nebo dvoutřetinové. [5]

Čerpadlo CP4 se vyrábí pro užitková i osobní vozidla s výkonem do 350kW. Čerpadlo je vyráběno ve dvou variantách, a to s jednou vysokotlakou hlavou (CP4.1) a dvěma vysokotlakými hlavami (CP4.2). Čerpadlo je poháněno pomocí vačkové hřídele. Maximální tlak, který je schopno vyvinout je až 2000 barů. [5]

PŘEPOUŠTĚCÍ VENTIL ÜV

Montáž těsnění na tento ventil je předmětem této práce. Jedná se o součást čerpadla CP4, sloužící k vypuštění přebytečného paliva. Ventil je ovládán tlakem. V jeho vnitřním otvoru se nachází pístek, který je tlakem paliva odtlačován. Z druhé strany je pístek podepřen tlačnou pružinou, která svou tuhostí určuje vypouštěcí tlak. Pokud je pístek tlakem paliva stlačen dostatečně otevřou se boční otvory, kterými palivo odeče. Část ventilu, zašroubovaného v čerpadle, je označena na *Obr. 3.* [5]



Obr. 3 Čerpadlo CP4.2 (označen ÜV ventil) [5]

1.3.3 VYSOKOTLAKÉ DIESELOVÉ ČERPADLO CPN6

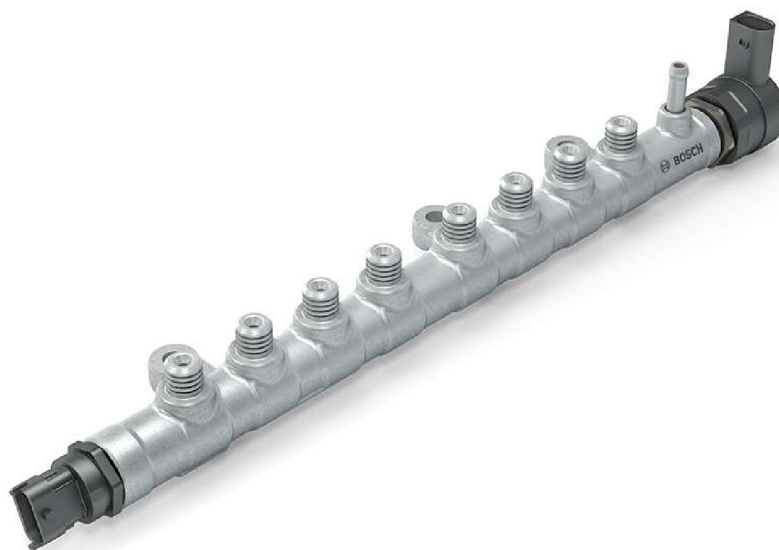
Jedním z nejnovějších produktů, které se v jihlavském závodě vyrábí je čerpadlo CPN6 *Obr. 4*. Jedná se o produkt, který vzniknul vylepšením čerpadla CPN5. Výroba tohoto čerpadla probíhá na plně automatizované lince, kterou dodala firma Chiron. Čerpadlo je určeno převážně pro užitková vozidla s maximálními výkony 850kW. Maximální tlak, který je čerpadlo schopno vytvořit je 2500 barů. [4]



Obr. 4 Čerpadlo CPN6 [4]

1.3.4 RAIL

Vysokotlaký zásobník neboli rail *Obr. 5* rozvádí palivo k jednotlivým vstřikovačům. Jeho výroba v Jihlavském závodě odstartovala v roce 2001. Vyráběno je až 200 různých typů dle požadavků zákazníka, ty se však řadí pouze do dvou kategorií. První z nich je svařovaný rail (LWR) a obráběný rail (HFR) [4]



Obr. 5 Vysokotlaký zásobník (Rail) [4]

1.3.5 TLAKOVÝ REGULAČNÍ VENTIL DRV

Tlakový regulační ventil DRV *Obr. 6* slouží k regulaci paliva mezi čerpadlem a motorem. V Jihlavě se ventil vyrábí od roku 2003. Od roku 2008 je pak jihlavský závod jediný, který ventil vyrábí. Asi 55 % ventilů, které se v Jihlavě vyrobí jsou ihned montovány do railů, zbytek pak míří k zákazníkům samostatně.

Výroba započala roku 2003 a od roku 2008 je jihlavský závod jediným, který DRV vyrábí. Denní produkce je v průměru 16 tisíc kusů a přibližně 55 % putuje dále na montážní linky railů v Jihlavě, zbytek se expeduje externím zákazníkům. [6]



Obr. 6 DRV Ventil [6]

1.3.6 HRANIČNÍ TLAKOVÝ VENTIL PLV

Hraniční tlakový ventil PLV *Obr. 7* se používá pouze u nákladních vozidel, a to jako pojistný ventil. Slouží k zajištění railu proti příliš vysokému tlaku nafty, v případě výpadku elektroniky. V takovém případě pak ventil umožní nouzové dojetí. [6]



Obr. 7 Hraniční ventil PLV [6]

1.3.7 VSTŘIKOVAČ CRI (COMMON RAIL INJECTOR)

Vstřikovače *Obr. 8* zajišťují rozptýlení paliva ve spalovacím prostoru. Vstřikovače se v jihlavském závodě nevyrábí, ale probíhají zde jejich repase. V motoru připadá na každý válec jeden vstřikovač, který je spojen s railem. [6]



Obr. 8 Vstřikovač CRI [6]

1.3.8 HADIČKA ZPĚTNÉHO VEDENÍ PALIVA FRL (FUEL RETURN LINE)

Posledním zde zmíněným výrobkem jsou hadičky zpětného vedení paliva FRL. Hadičky FRL slouží pro zpětné vedení paliva do nádrže. Výroba těchto hadiček neprobíhá pouze v Jihlavě, ale i v Mexiku. [6]

2 SOUČASNÝ STAV PRACOVIŠTĚ

K výrobě celého ventilu jsou potřeba následující komponenty:

- Tělo ventilu, dodávána v blistru po 48 kusech.
- Sítko (filtry), baleny v sáčcích po 500 kusech.
- Pístky ventilu, přepravovány v blisteru po 192 kusech.
- Pružiny, baleny v sáčcích po 500 kusech.
- Zátky, baleny v sáčcích po 500 kusech.
- Malé o-kroužky, v sáčcích po 500 kusech.
- Velké o-kroužky, v sáčcích po 500 kusech.

Pojmem „Blister“ rozumíme přepravku určenou v podstatě výhradně pro jeden typ produktu. V tomto případě se jedná o za tepla tvarované plastové výlisky.

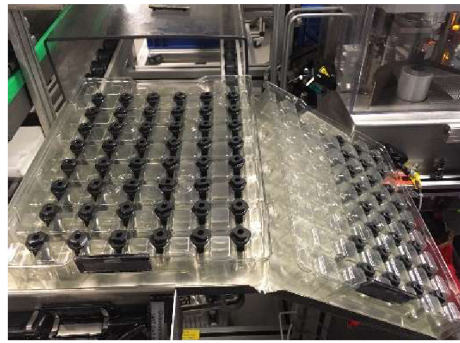
V současné době je montáž ventilu prováděna ručně s přispěním strojů například pro upevnění sítko. Doplnění materiálu na pracoviště zajišťuje MILKRUN. Sypané materiály potřebné k sestavení ventilu jsou dováženy v krabičkách. [7]

2.1 LEMOVÁNÍ SÍTKA (FILTRU) A SESTAVA PŘEPADOVÉHO VENTILU

Na této stanici obsluha vyjme tělo ventilu z blistru, otočí je o 180° (tak aby menší průměr směřoval vzhůru) a vloží je do přípravku pro lemování. Probíhá výroba 2 kusů zároveň (Obsluha používá obě ruce). Správný typ dílu je hlídán čtecím zařízením, které snímá čárový kód z blistru.



Obr. 9 Tělo ventilu



Obr. 10 Blister s těly ventilu

Dále obsluha odebere 2 sítko (filtry) ze sáčku a nasadí je na tělo ventilu, tak aby síťovaný část směřovala směrem vzhůru.



Obr.11 Sítko (filtr)



Obr. 12 Tělo ventilu se sítkem



Obr. 13 Přípravek lemování

Následně obsluha stiskne tlačítko pro spuštění lemování. Vysunutím přípravků a následným otáčením lemovacích rolen a přípravků dojde k zalemování filtru.

Dalším krokem je navlečení o-kroužků. Zautomatizování této operace je předmětem této práce.

Obsluha přesune tělo ventilu s již zalemovaným filtrem z přípravku na lemování do přípravku pro navlékání o-kroužků. Vše opět probíhá po 2 kusech zároveň.

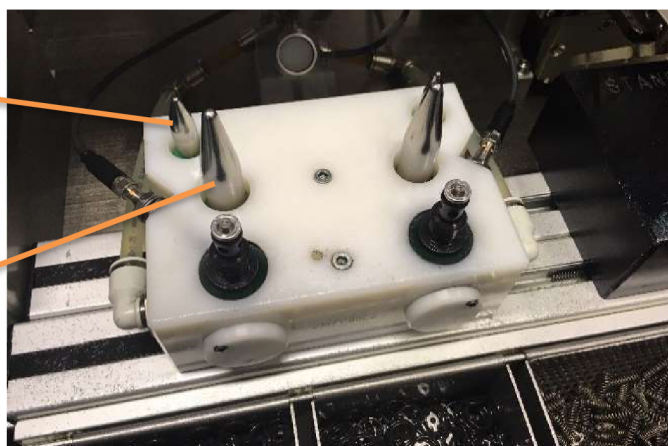


Obr. 14 Přípravek pro navlékání o-kroužků

Nejprve obsluha navlékne velký o-kroužek. Samotné navlečení probíhá přes navlékací trn, který obsluha nasadí na ventil. O-kroužek je pak přetažen přes trn až na správné místo na ventilu. Postup pro navlečení malého o-kroužku je pak totožný. (pouze je použit malý navlékací trn)



Obr. 15
Průběžné
sestavení



Obr. 16 Navlékací trny

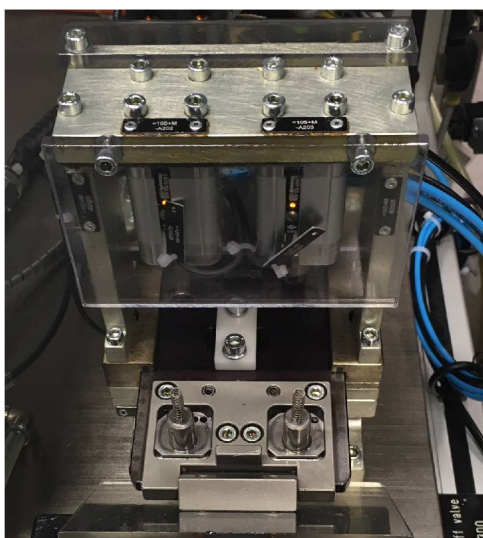
Po navlečení obou o-kroužků obsluha ventil vyjme z přípravku a vloží jej do přípravku pro sestavení. A to tak, že bude směřovat menším průměrem dolů.

Následně obsluha vyjme pístek z blistru a stejně orientovaný ho vloží do ventilu.

Dalším dílem je pružina, která je nejprve ustálena v přípravku pro ustalování pružin. Následně je vložena do ventilu.

Posledním dílem je pak zátka, kterou obsluha vyjme z krabičky a vloží do ventilu.

Na orientaci pružiny a ucpávky nezáleží. [7]



Obr. 17 Přípravek pro ustalování pružin



Obr. 18 Přípravek pro sestavení

2.2 MAZÁNÍ O-KROUŽKŮ

Pro správnou funkci a jednodušší instalaci o-kroužku je třeba jeho mazání. O-kroužky by se jistě daly mazat i ručně, nicméně bylo by to na nejvýš neefektivní. Množství oleje potřebné pro mazání je velmi malé. Dá se říci, že správně namazaný o-kroužek by se měl lesknout, ale neměly by na něm ulpívat prachové nečistoty.

Mazání samotné bývá řešeno za pomoci „míchačky“ do které jsou o-kroužky vsypány v množství např. 500 kusů. Dále je pak přidáno předepsané množství oleje a míchačka se zapne. Po uplynutí určité doby míchání jsou pak o-kroužky připraveny k použití.

Vzhledem k materiálu o-kroužků, je třeba použít šetrný olej, určený právě na pro toto použití. V našem případě je jím olej „ShellTonna S2 M220“. [7]

3 PŘEHLED ŘEŠENÍ VYSKYTUJÍCÍCH SE NA TRHU

3.1 SCHUNK – ORG HLAVA

3.1.1 O FIRMĚ

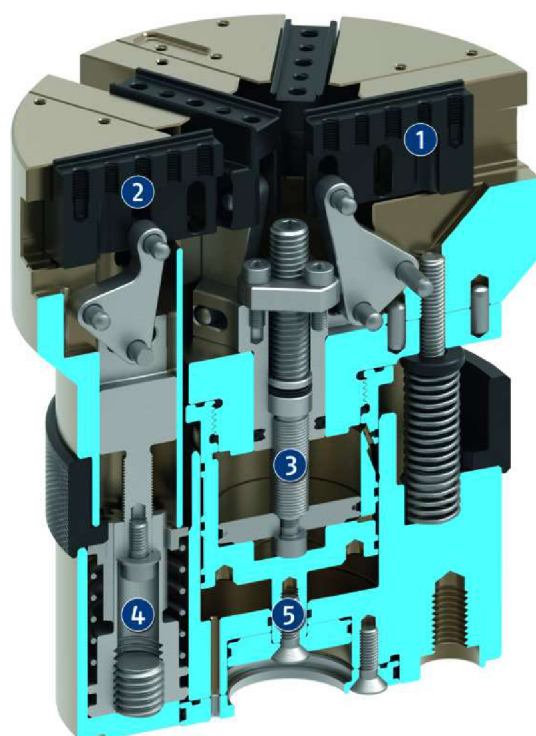
Firma Schunk byla založena již roku 1945 rodinou Fridricha Schunka a stále je v rodinném vlastnictví. Nyní je firma jedním ze světových lídrů v oblasti uchopovací techniky. [8]

3.1.2 ORG HLAVA

Hlava ORG od firmy Schunk *Obr. 20; 21* umožňuje nasazování o-kroužků různých průměrů, a dokonce i čtyřhranných kroužků. Hlava se dá použít pro umístování o-kroužků, jak na hřídel, tak i do otvorů. [9]



Obr. 20 Hlava Schunk [9]

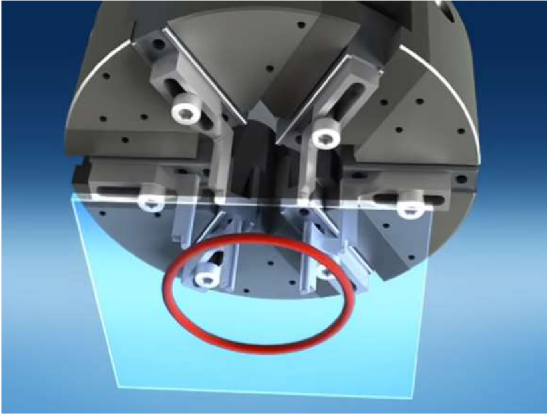


Obr. 21 Řez hlavou Schunk [9]

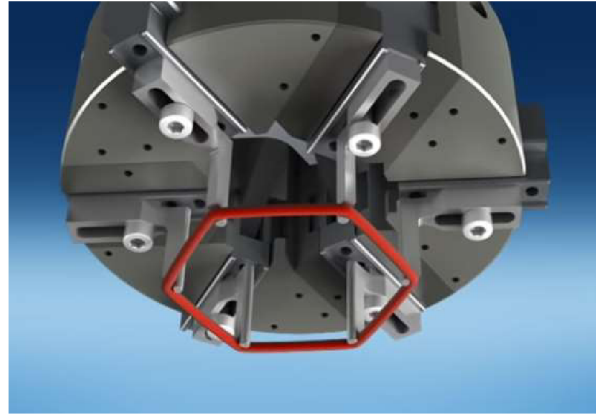
Samotná hlava pak disponuje vyměnitelnými prsty. Ty jsou univerzální pro kroužky nasazované na hřídel, pro vkládání o-kroužků do otvorů je zapotřebí speciálních prstů, které je zákazníkovi schopna firma Schunk vyrobit. Pokud se ale najde zákazník, který si dokáže vyrobit prsty sám, Schunk mu poskytne podrobný návod na jejich konstrukci. [9]

3.1.3 PRINCIP FUNKCE ORG HLAVY (INSTALACE NA HŘÍDEL)

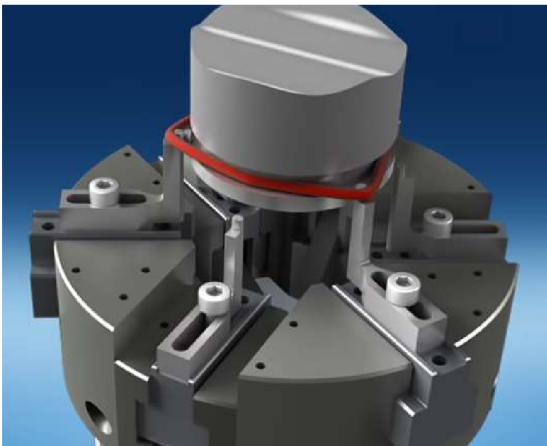
Při sbírání kroužku z výchozí pozice hlava roztahuje všech šest prstů zároveň. Když kroužek drží na prstech, přesune se hlava na místo, kam má o-kroužek umístit. Následně dojde k zatažení třech ze šesti prstů, což zapříčiní, že o-kroužek drží na zbývajících třech prstech a zároveň už je opřený i o zápich kam má být umístěn. Konečným krokem pro usazení o-kroužku je pak odjezd hlavy. O-kroužek který je opřený o bok zápichu z odjíždějících prstů sklouzne do zápichu. [10]



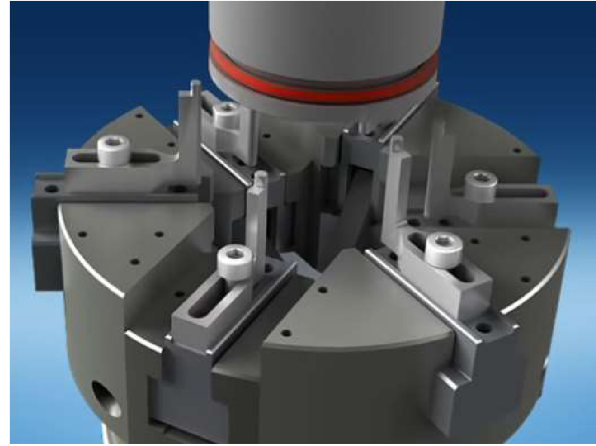
Obr. 22 1. Nájezd k o-kroužku pro uchopení [10]



Obr. 23 2. Uchopení o-kroužku roztažením chapadel [10]



Obr. 23 3. Zasunutí třech chapadel [10]



Obr. 24 4. Odjezd hlavy od hřídele [10]

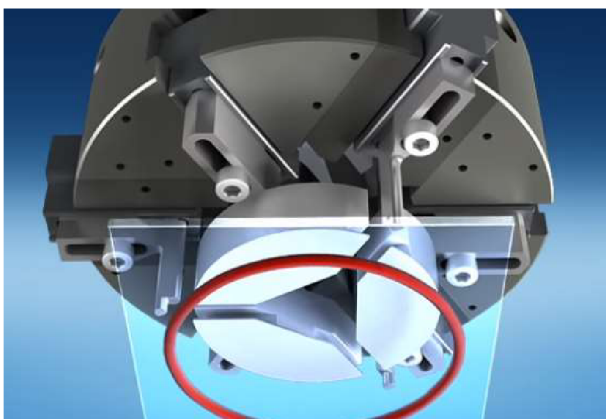
3.1.4 PRINCIP FUNKCE ORG HLAVY (INSTALACE DO OTVORU)

Při instalaci o-kroužku do otvoru je zapotřebí třech speciálních chapadel, které jsou vyráběny na míru dle průměru otvoru. Dosažení polohy pro nájezd k uchopovanému o-kroužku je zaručen stažením speciálních prstů a roztažením prstů zbývajících.

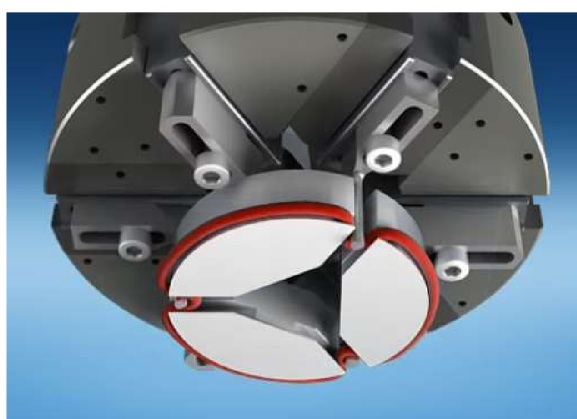
Následuje nájezd hlavy do polohy pro úchop o-kroužku. Když dojde hlava do pozice úchopu dojde ke stažení třech univerzálních chapadel. To pak vede ke zformování o-kroužku do tvaru trojlístku, což zaručí dostatečnou vůli, potřebnou k nájezdu do pozice pro umístění o-kroužku.

Po dosažení polohy pro umístění roztáhne hlava speciální čelisti, které se opřou o vnitřní průměr otvoru. Díky tomuto roztažení bude zajištěno přesné umístění o-kroužku do zápichu. Následně se zasunou univerzální chapadla. Po tomto kroku je o-kroužek už téměř přesně umístěn v zápichu. Následně je jeho poloha ještě vylepšena vysunutím a roztažením univerzálních chapadel.

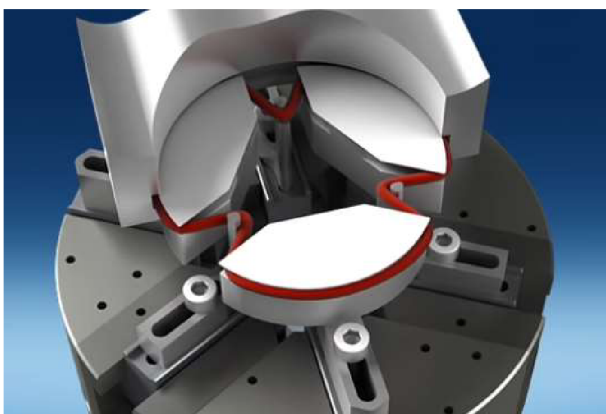
Odjezd hlavy je pak složen z několika pohybů. Nejprve dojde ke stažení univerzálních chapadel a jejich následným zasunutím. Po zasunutí jsou univerzální chapadla opět roztažena. Dále jsou stažena speciální chapadla, hlava vyjede z otvoru a následuje poslední krok, kterým je vysunutí univerzálních chapadel do základní polohy. [10]



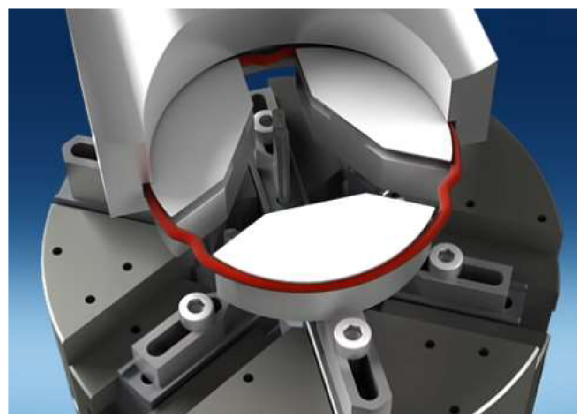
Obr. 25 1. Nájezd k o-kroužku pro uchopení [10]



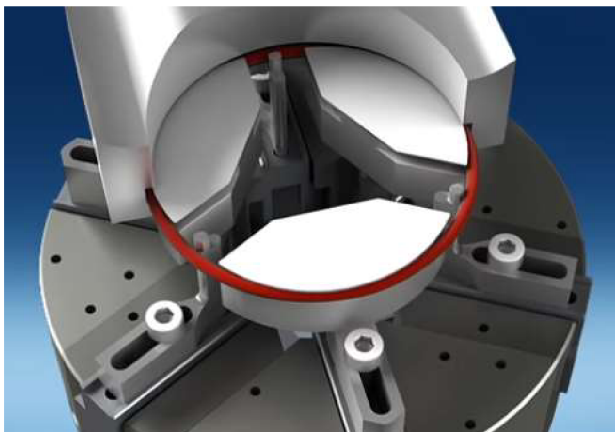
Obr. 26 2. Uchopení o-kroužku (trojlístek) [10]



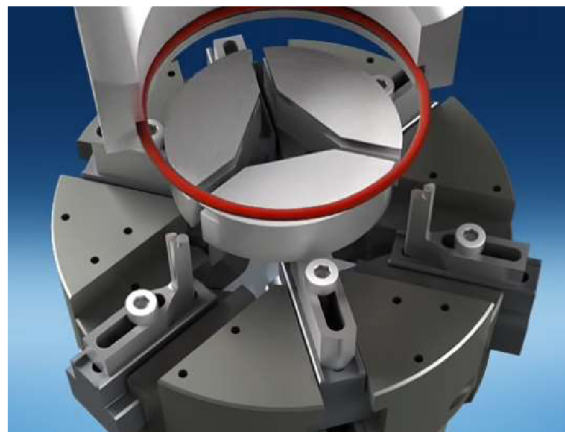
Obr. 27 3. Nájetí do polohy pro umístění a roztažení speciálních chapadel [10]



Obr. 28 4. Zasunutí univerzálních chapadel [10]



Obr. 29 5. Vylepšení polohy o-kroužku univerzálními chapadly [10]



Obr. 30 6. Poloha chapadel pro vyjetí hlavy [10]

3.2 OHRMANN

3.2.1 O FIRMĚ

Firma Ohrmann byla založena roku 1986 jako firma na automatickou montáž těsnění na součástky. V současnosti se dále věnuje montáži těsnění, ale přidala i jinou automatizaci. [11]

3.2.2 STANICE MONTÁŽE KONEKTORŮ PRO FIRMU BOSCH

Stanice je umístěna na jednom z jihlavských pracovišť firmy. Slouží k nasazování o-kroužků na konektory. Konektory mají 3 typy, které dokáže stanice s malými modifikacemi o-kroužkem osadit. Konektory se liší materiálem (kov a plast) a také geometrií. Samotné o-kroužky mají shodnou geometrii, ale různou povrchovou úpravu.

Tato stanice je plně automatická, což znamená, že konektory i o-kroužky si bere automaticky. Automatická doprava dílů je zaručena vibračními dopravníky. Dopravníky se skládají ze zásobníku, hrnce pro zajištění správné polohy dílů a vibrační lišty.

V zásobníku je uschováno množství dílů dostatečné pro přibližně čtyřhodinový provoz stanice. O doplnění zásobníku se pak stará obsluha. Ze zásobníku vede dopravník, který je spouštěn na základě informace čidla umístěného v hrnci. Čidlo zaznamenává množství dílů, které se aktuálně v hrnci pohybuje.

V hrnci dochází k polohování dílů. Hrncel může mít válcový nebo i kuželový tvar. Tvar hrnce určuje výrobce (v tomto případě firma Ohrmann), podle typu dílu, který má být polohován. Zpravidla je polohování řešeno pomocí dopravování dílů po stoupající šroubovici na vnitřní stěně hrnce. Při cestě po šroubovici jsou díly, u kterých je možno správnou polohu zajistit polohovány a ty, u kterých to možné není shoveny ze šroubovice na dno hrnce. Na konci šroubovice je pak zajištěna správná poloha dílů a ty vstupují do vibrační lišty. Díly jsou v hrnci dopravovány zpravidla vibracemi, občas se připojí i ofuk stlačeným vzduchem.

Po vstupu do vibrační lišty jsou díly poháněny vibracemi a stlačeným vzduchem. Lišta pak vede do samotné stanice. Na liště je umístěno čidlo polohy, které dá v případě zaplnění lišty pokyn pro vypnutí vibrací v hrnci, čím zamezí vzpříčení dílů na vstupu do lišty.

Díl na je na výstupu z lišty odebrán a přenesen do polohy pro montáž. Montáž na této konkrétní stanici probíhá tak, že je do otvoru v dílu (souosý se zápichem pro o-kroužek) vložen trn s o-kroužkem. Jakmile je trn v otvoru, přejde přes něj ve svislém směru trojce čelistí, které o-kroužek stlačí na správnou pozici. Před odjezdem čelistí dojde k jejich roztažení. Trn je přemístován pomocí chapadel. K nabrání o-kroužku dochází pohybem trnu.

Po dokončení montáže o-kroužku je díl zkontrolován kamerou, která vyhodnotí, zda je o-kroužek na správném místě, pokud není, je díl vhozen do krabice s NOK díly. [12]



Obr. 31 1. Díl upevněný v poloze pro nasazování



Obr. 32 2. Trn najíždí do o-kroužku



Obr. 33 3. Trn s o-kroužkem umístěn v dílu (čelisti trnu roztaženy)



Obr. 34 4. Čelisti pohybem dolů stahují o-kroužek na díl



Obr. 35 5. Roztažení a odjezd čelistí



Obr. 36 6. Uchopení a odjezd trnu

3.3 BOSCH FEUERBACH

Na pobočce firmy Bosch ve Feuerbachu si Bosch vyrobil vlastní linku pro navlékání o-kroužků. V tomto případě se jedná o navlékání na stejný typ ventilu, jako se chystá v Jihlavě (předmět této práce)

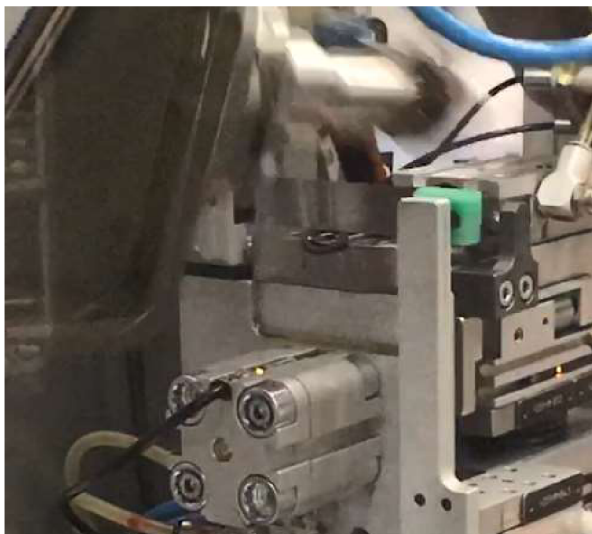
Jedná se o plně automatickou stanici, kde se automaticky provádí všechny operace montáže ventilu. Popsána zde bude však jen problematika navlékání o-kroužků.

Ventily jsou automaticky vybrány z blisteru a přemístěny na vozíky, na kterých se přesouvají mezi jednotlivými stanovišti montáže.

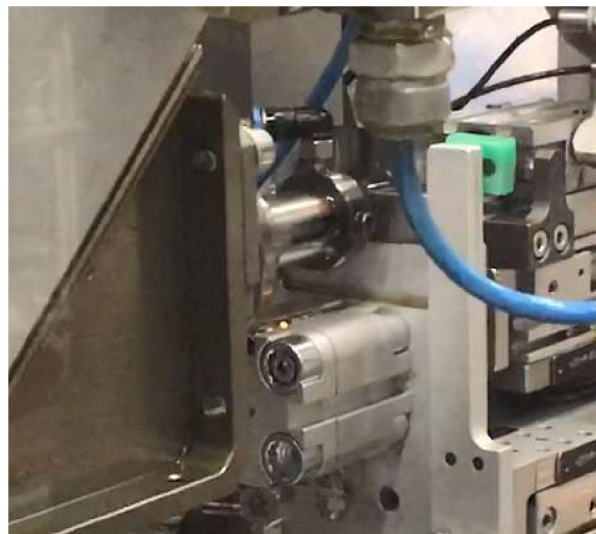
3.3.1 PRINCIP FUNKCE

Navlékání o-kroužku na převlečný kroužek je prováděno kyvným pohybem převlečného kroužku. O-kroužek vystupuje z vibračního dopravníku přibližně dvěma třetinami svého průměru. V této poloze je pak roztažen na do oválného tvaru dvěma jehlami. Následuje kyvný pohyb válečku, při kterém se na váleček nasadí o-kroužek, a to už v roztažení požadovaném pro dostatečnou vůli pro přetažení na ventil.

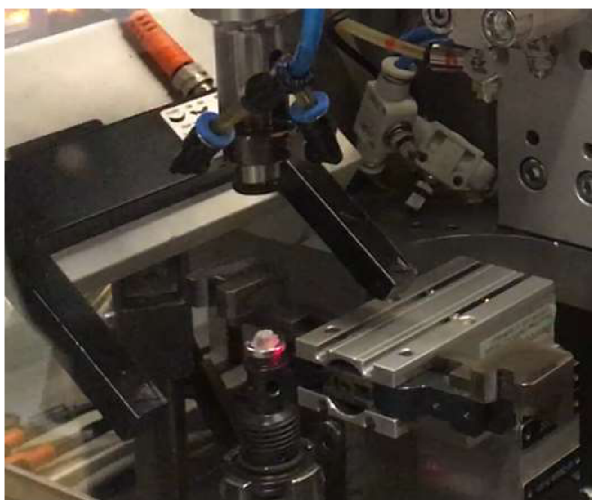
Váleček následně najíždí do polohy pro usazení o-kroužku. Stažení o-kroužku na ventil je zajištěno pomocí dalšího ocelového kroužku, který se posouvá po válečku. [13]



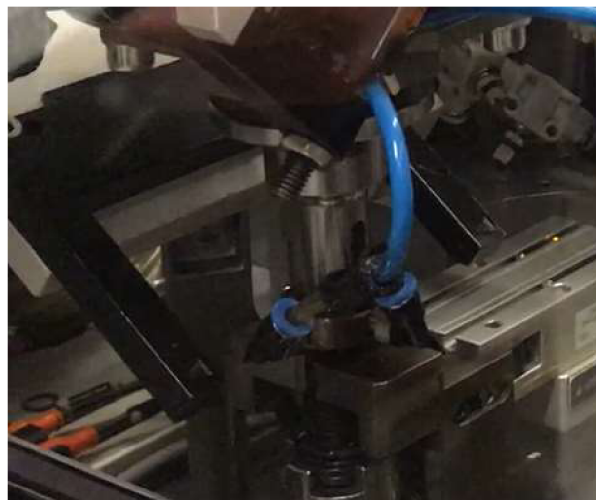
Obr. 37 1. O-kroužek připravený k nasazení na převlečný kroužek [13]



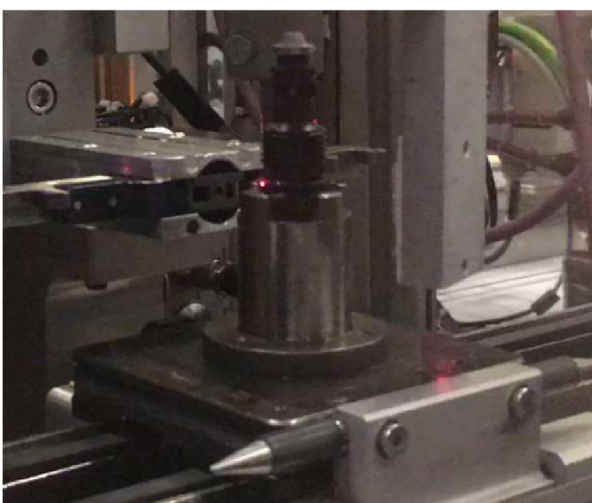
Obr. 38 2. Nasazení o-kroužku na převlečný kroužek [13]



Obr. 39 3. Výchozí pozice převlečného kroužku než dorazí vozík s ventilem [13]



Obr. 40 4. Převlečný kroužek v poloze pro aplikaci o-kroužku na ventil [13]



Obr. 41 5. Vozík s ventilem [13]



Obr. 42 6. Čelisti přidržující ventil před montáží o-kroužku [13]

3.4 PRIMON AUTOMAZIONI

3.4.1 O FIRMĚ

Primon Automazioni je Italská firma, zabývající se automatickou montáží a přemísťováním dílů. Za více než třicet let existence se firma stala nejen italským, ale i evropským lídrem. [14]

3.4.2 PRIMON AUTOMAZIONI A NAVLÉKÁNÍ O-KROUŽKŮ

Stanice, kterou firma produkuje používá k úchopu o-kroužku čtyř nebo i více chapadel (v závislosti na průměru o-kroužku). Díly pro montáž jsou dopravovány pomocí vibračních dopravníků. Systém je schopen pracovat jak se suchými o-kroužky, tak i s o-kroužky, které už prošly předmazáním. [14]

3.4.3 PRINCIP FUNKCE

O-kroužek je dopraven vibračním dopravníkem na místo, kam si pro něj přijede uchopovací hlava. Než dojde k příjezdu hlavy je z drážky dopravníku vyzvednut na válcovém výtahu. Tím je zamezeno kolizi chapadel se stěnami drážky dopravníku.

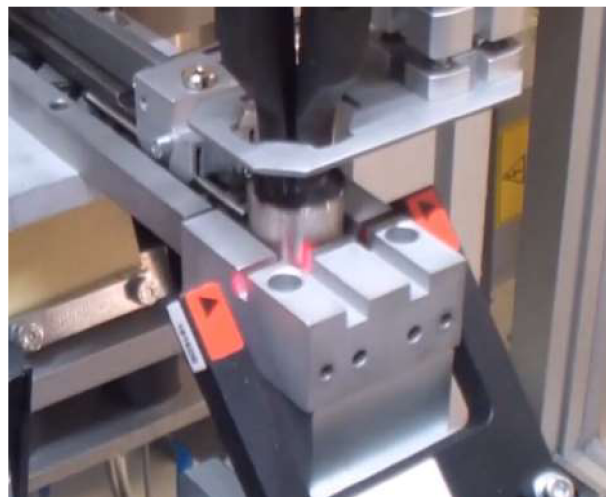
V okamžiku vyzvednutí o-kroužku výtahem přijíždí hlava se staženými chapadly chapadla jsou stažená dostatečně na to, aby se s vůlí vešla do neroztaženého o-kroužku. Jakmile jsou chapadla na pozici pro nabrání o-kroužku, jsou roztažena.

Na roztažených chapadlech se o-kroužek přenese až na pozici pro aplikaci na díl. Po dosažení této pozice, pohne píst stahovacím plechem a stáhne o-kroužek z chapadel na díl (chapadla stále v roztažené poloze).

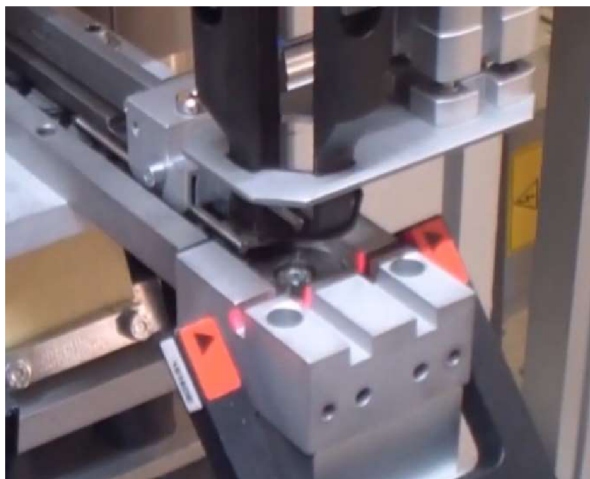
V poslední fázi najíždí hlava s roztaženými chapadly do výchozí pozice. Ve výchozí pozici jsou chapadla opět stažena a hlava míří pro další o-kroužek. [15]



Obr. 43 1. Hlava s chapadly čekající na příjezd výtahu s o-kroužkem [15]



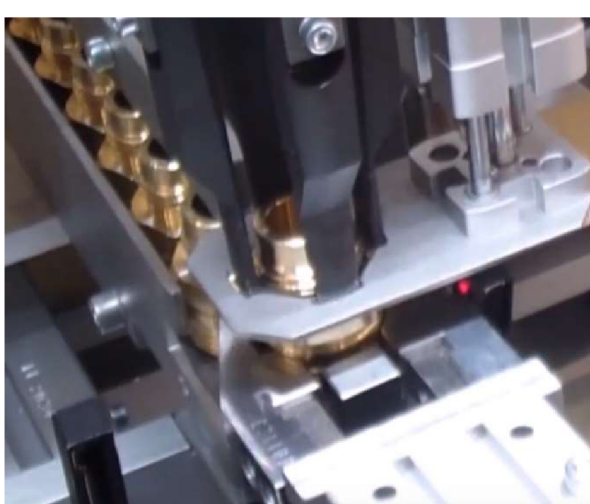
Obr. 44 2. Výtah vyjetý v pozici pro nabrání o-kroužku [15]



Obr. 45 3. Roztažení chapadel pro nabrání o-kroužku [15]



Obr. 46 4. Nájezd roztažených chapadel nad díl [15]



Obr. 47 5. Stažení o-kroužku stahovacím plechem [15]



Obr. 48 6. Odjezd hlavy (chapadla roztažena) [15]

3.5 ZHODNOCENÍ VŠECH ŘEŠENÍ

3.5.1 ORG HLAVA – SCHUNK

Hlava od firmy Schunk vyniká vysokou univerzálností. Lze totiž použít na velké množství různých průměrů. Firmou Bosch byla tato varianta preferována. V případě, že by bylo k nákupu hlavy přikročeno, byla provedena konstrukce prodloužených prstů, vhodných pro použití na ventil KUeV.

V pozdější fázi se však ukázalo, že použití tohoto řešení je nevhodné kvůli potřebě zápichu na dílu, bez kterého nelze správně o-kroužek umístit. Dalším problémem byla tloušťka prstu, která by za podmínky dostatečné vůle mezi závitem ventilu a prsty, znamenala nadlimitní roztažení o-kroužku. Takovéto roztažení by bylo spojeno s vysokým rizikem poškození o-kroužku. [10; 9]

3.5.2 OHRMANN

Řešení firmy Ohrmann se ukázalo být vhodnější pro kusy menší, než je ventil KUeV, zároveň je pro funkci tohoto řešení nutnost zasunutí trnu do otvoru ve ventilu. Ventil však nesmí mít na povrchu otvoru jakékoliv poškození, proto by bylo použití trnu rizikové. [12]

3.5.3 BOSCH FEUERBACH

Stanice pro kompletní montáž v německém Feuerbachu je jistě nejefektivnějším řešením, ale zároveň velmi komplexním a drahým. Největším problémem se pak zdá být navlečení o-kroužku na převlečný kroužek. Tento speciální pohyb by vyžadoval dlouhé testování, neboť němečtí kolegové svoje know-how nehodlali předat. [13]

3.5.4 PRIMON AUTOMAZIONI

Řešení firmy Primon Automazioni bylo shledáno jako vhodné pro svou jednoduchost a možnost použití pneumatických dílů, které mělo naše oddělení na skladě. Velkou výhodou také bylo, že může pracovat s minimálním nutným roztažením o-kroužku, díky speciálně zeslabeným a tvarovaným chapadlům. Pro byla následná konstrukční práce inspirována tímto řešením. [14; 15]

4 NÁVRH PRODLOUŽENÝCH PRSTŮ HLAVY SCHUNK

Původním řešením problému nasazování o-kroužků, mělo být použití ORG hlavy. Pro požadavky montáže o-kroužku na KUeV ventil, není však délka standartního prstu, který dodává firma Schunk, dostatečná.

4.1 POŽADAVKY NA DÍL

Požadavkem na nový prst je dostatečná délka pro nasazení o-kroužku na ventil. Požadované délky je však třeba dosáhnout za dostatečné tuhosti prstu. Spodní část prstu sloužící pro uchycení do ORG hlavy by měla zůstat stejná jako u standartního, nemodifikovaného prstu.

Délka modifikovaného prstu byla stanovena na 47 mm, což představuje prodloužení 25 mm. Při této délce byl zajištěn dosah a dostatečná vůle pro nasazení o-kroužku na ventil.

4.2 SIMULAČNÍ ANALÝZA POMOCÍ MKP

U první verze prodlouženého prstu byl změněn pouze rozměr délky (výšky). Na novém modelu byla provedena simulační analýza metodou konečných prvků.

Chapadlo bylo kontrolováno s ohledem na maximální napětí součásti a na průhyb v místě uchycení o-kroužku.

Materiál chapadla byl vybrán z knihovny Ansys Workbench a byla slitina hliníku. Materiál je definován následně:

$$\text{Hustota:} \quad \rho = 2770 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Youngův modul:} \quad E = 71 \text{ GPa}$$

$$\text{Poissonovo číslo:} \quad \mu = 0,33$$

$$\text{Mez kluzu:} \quad Re = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{Mez pevnosti:} \quad Rm = 310 \text{ MPa}$$

Nastavení materiálu o-kroužku bylo získáno od pracovníka VUT, specializujícího se na práci v programu Ansys a podobných. K nastavení bylo použito základu materiálu „Elastomer sample (Mooney-Rivlin)“, který byl rozšířen dvouparametrovým Mooney-Rivlin (konkrétní hodnoty vypsány dále).

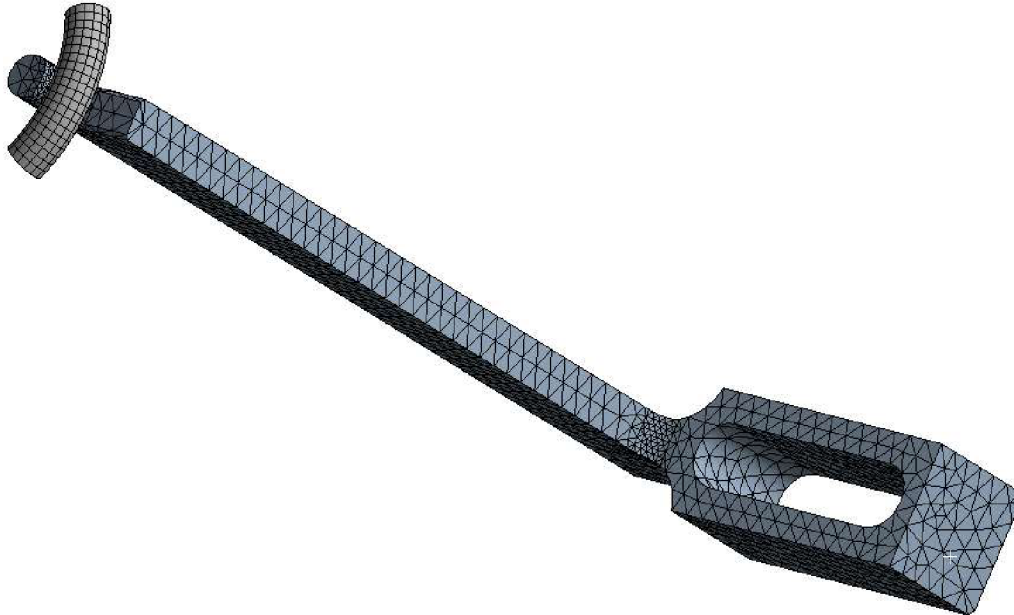
$$\text{Konstanta } C10: \quad C10 = 1,11 \text{ MPa}$$

$$\text{Konstanta } C01: \quad C01 = 0,27 \text{ MPa}$$

$$\text{Parametr nestlačitelnosti } D1: \quad D1 = 0,018 \text{ MPa}^{-1}$$

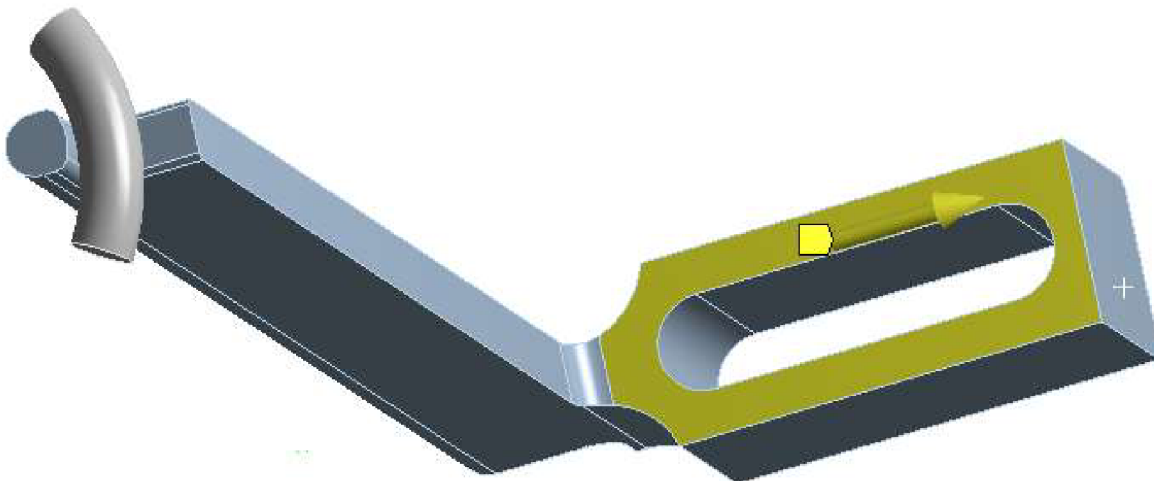
Pro první výpočet byl použit šestinový model s cyklickou symetrií.

Síť *Obr. 49* byla tvořena prvky o velikosti 1 mm. Na modelu se vyskytuje několik kritických míst. První z nich je samotný o-kroužek, u kterého dojde k velké deformaci. Druhou je místo kontaktu chapadla s o-kroužkem. Třetí místo je v zaoblení mezi vertikální částí chapadla a jeho držákem. V tomto místě je očekáváno nejvyšší napětí. Na kritických místech byla síť zjemněna. Velikost prvků na zjemněných místech je 0,3 – 0,4 mm. Síť o-kroužku byla generována za pomoci metody sweep.



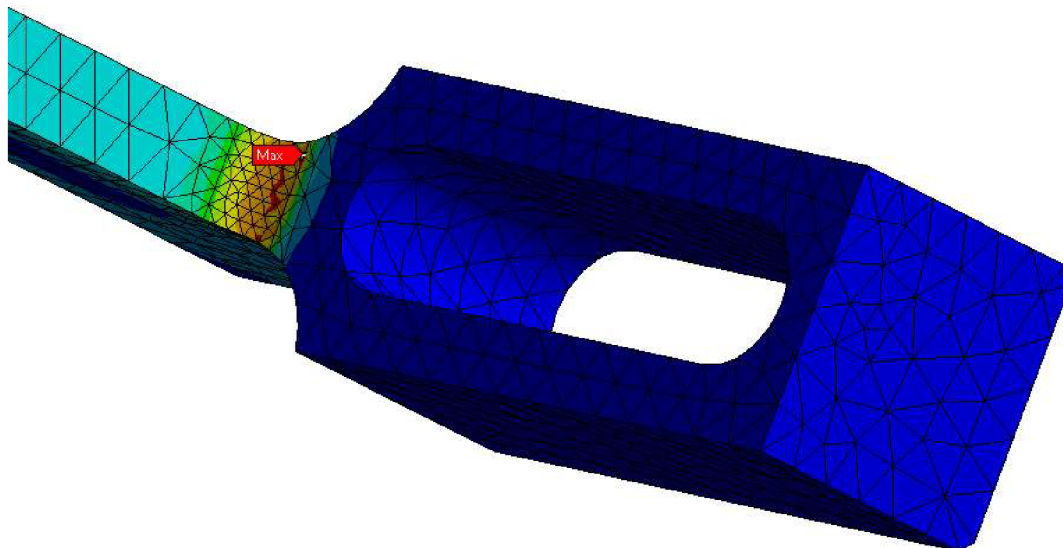
Obr. 49 Síťování chapadla

Z okrajových podmínek *Obr. 50* byla použita pouze jedna, a to roztažení chapadel. Chapadlo se hýbe dozadu, a to konkrétně o 4,2 mm. Mezi o-kroužkem a chapadlem byl definován kontakt se třením, kde koeficient tření dosahoval hodnoty 0,2.



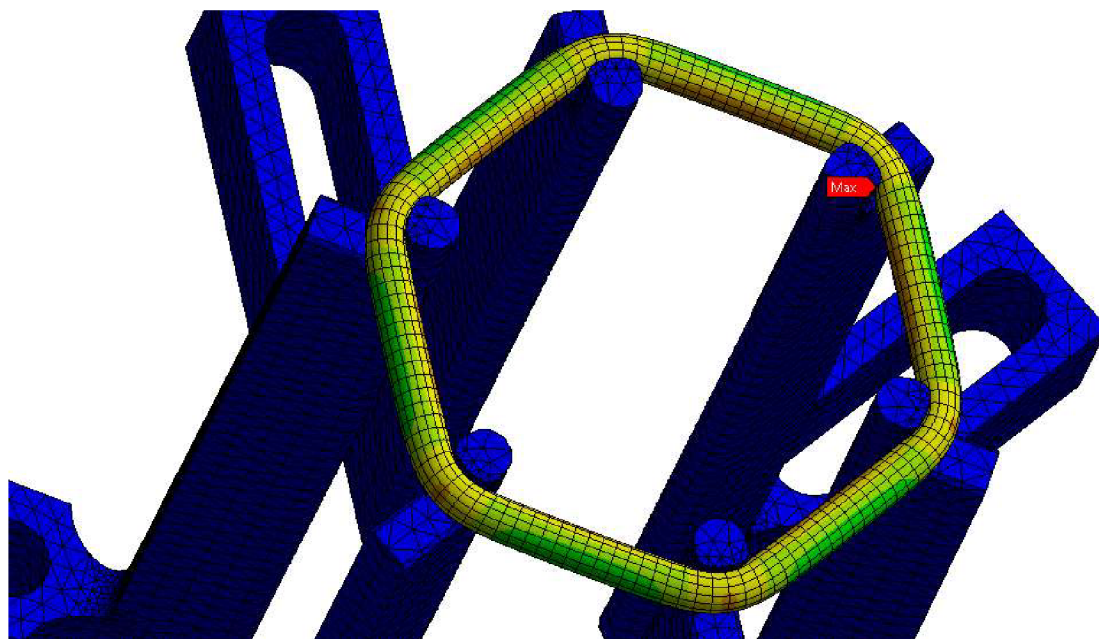
Obr. 50 Okrajové podmínky

Při simulaci bylo mimo deformace a napětí sledována i napjatost. Nejvyšší hodnoty napětí bylo dosaženo v očekávaném místě (zaobleném přechodu) *Obr. 51*, kde byla síť tvořena prvky o velikosti 0,4 mm. Nejvyšší hodnota napětí pak činila **109,83 MPa**. Prohnutí chapadla v místě uchycení o-kroužku pak dosáhlo hodnoty **0,17 mm**.



Obr. 51 Maximální napětí

Maximální napjatost *Obr. 52* se dle očekávání objevila na o-kroužku a měla hodnotu **0,57**.



Obr. 52 Napjatost

Protože napětí i deformace nejsou velké, není třeba dalších konstrukčních úprav chapadla. Pokud by bylo potřeba napětí nebo deformaci snížit, byl by zvětšen rádius v kritickém místě.

K výrobě chapadla však nakonec nedošlo, neboť způsob, jakým jsou o-kroužky ORG hlavou aplikovány je kvůli absenci hlubšího zápichu na ventilu nevyhovující. Proto nebyl proveden test na únavu materiálu.

5 NÁVRH HLAVY PRO NASAZOVÁNÍ O-KROUŽKŮ

Protože bylo rozhodnuto o nemožnosti použití ORG hlavy, byla navržena kompletní nová hlava. Jako inspirace posloužilo řešení firmy Primo Automazioni. Návrhy pro velký a malý o-kroužek se principiálně nebudou lišit.

5.1 PRINCIP FUNKCE

Samotná hlava je ovládána pomocí dvou pneumatických válců. První z válců má na starost roztahování čelistí. Stažení čelistí zajišťuje pryžový kroužek. Druhý válec pohybuje s plechem, který stahuje o-kroužky z roztažených čelistí na ventil. Čelisti jsou roztahovány pístkem, který je připevněn na píst prvního pneumatického válce. Dorazy jsou zajištěny plechem, který je připevněn na píst válce. Spodní doraz není nastavitelný a je jím kontakt mezi dorazovým plechem a klecí hlavy. Horní doraz se dá nastavovat pomocí šroubů.

5.2 POUŽITÉ PNEUMATICKÉ VÁLCE

Prvním pneumatickým válcem, který byl použit, je válec od firmy Aventics typu 0822392002. Jedná se o dvojčinný válec, jehož zdvih je 15 mm. Průměr pístu je 25 mm. Maximální tlak, se kterým může válec pracovat, je 10 bar. Maximální síla, kterou válec vyvine, je plochou válce a tlakem vzduchu (vnitřní odpory jsou zanedbány). V rozvodné síti tlakového vzduchu byl válec připojen na tlak 5 bar. [16]

$$F = p \cdot S = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 500000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} = 245,43 \text{ N} \quad (1)$$

$S \text{ [m}^2\text{]}$ – plocha pístu

$p \text{ [Pa]}$ – tlak vzduchu

$D \text{ [m]}$ – průměr pístu



Obr. 53 Pneumatický válec Aventics 0822392002 [16]

Druhým válcem, sloužícím k pohybu stahovacího plechu, byl válec firmy Aventics typu R412019211. Jedná se o speciální typ válce s integrovaným vedením, zajišťujícím přesnost chodu s minimem vůlí. Jeho zdvih je 20 mm. Průměr válce je 8 mm a při tlaku 5 bar vyvine sílu 25,1 N. Válec rovněž disponuje integrovanými, stavitelnými dorazy. [17]



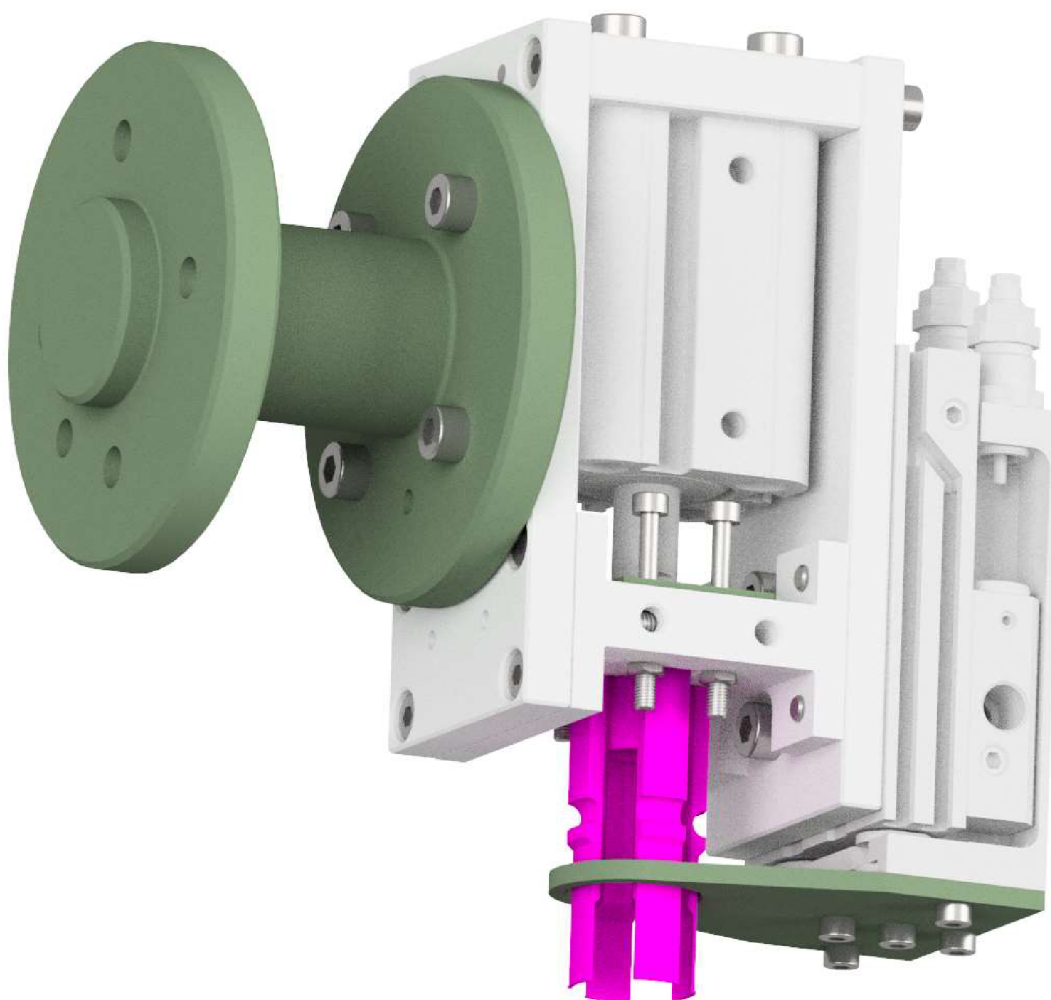
Obr. 54 Pneumatický válec Aventics R412019211 [17]

Válce byly vybrány z blíže nespecifikovaných zásob ve firmě. Důvodem byla snaha o co největší úsporu, a to hlavně pro testování. Oba válce se, ale ukázaly jako vhodné i pro případné nasazení do výroby. Vhodnost byla posuzována na základě rozměrů, přesnosti chodu a síly, kterou byly schopny vyvinout.

5.3 NÁVRHY JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ

Při konstrukci bylo postupováno od chapadel. Následovala konstrukce spodního dílu klece, ve kterém jsou chapadla uložena. Další kroky se odvíjely od typů pneumatických válců. Z jejich velikosti bylo určeno jejich umístění a z toho vyplývající tvar klece.

Při volbě materiálu bylo zohledněno, který materiál je ve firmě na skladě a jaké má vlastnosti. Klec byla vyrobena z duralu, protože je vhodné, aby byla hlava co nejlehčí. Pokud bude hlava lehčí, budou při pohybu s ní vznikat menší setrvačné síly. Čím menší bude setrvačnost tím rychlejší pohyb a takt stroje bude umožněn. Příruba byla vyrobena z nerezové oceli, protože bude použita i pro testování jiných zařízení, tudíž se předpokládá častá montáž.

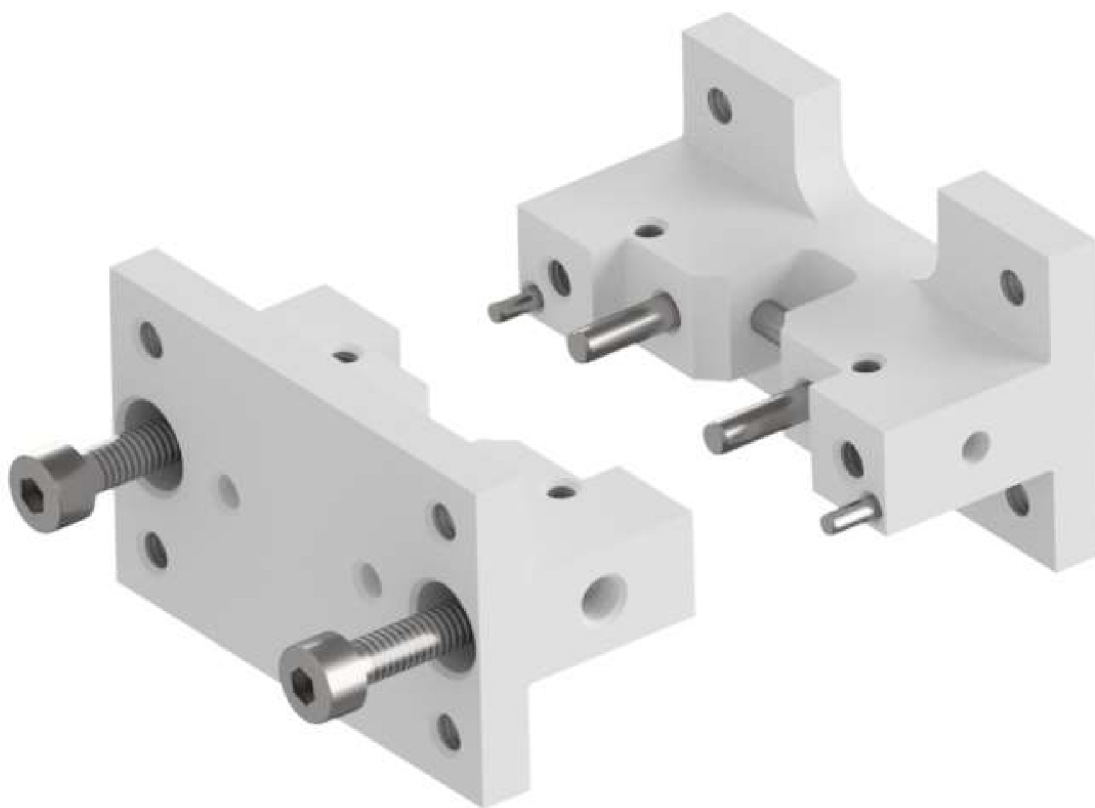


Obr. 55 Sestava hlavy [16]

5.3.1 SPODNÍ DÍLY KLECE

Chapadla byla uložena ve spodním dílu klece, který se kvůli složitější montáži skládá ze dvou dílů. Chapadla jsou uložena na kolících s vůlí 0,2 mm. Důvodem této složitější montáže byla úspora výrobních nákladů, především za obrábění. V případě, že by šla hlava do hlavní výroby, byla by klec tvořena menším počtem dílů. Výhodou by pak byla snadnější výměna čelistí a montáž hlavy samotné.

Na obrázku můžeme vidět několik spojovacích prvků. Chapadla jsou uložena na čtyřech kolících ISO 2338 3h8 x 12. Spodní díl je smontován pomocí dvou šroubů DIN 912 M4 x 20 a ustaven dvěma kolíky ISO 2338 2m6 x 8. Ve vertikálních otvorech se závitem M3 x 0,5 budou uloženy šrouby dorazu pneumatického válce.

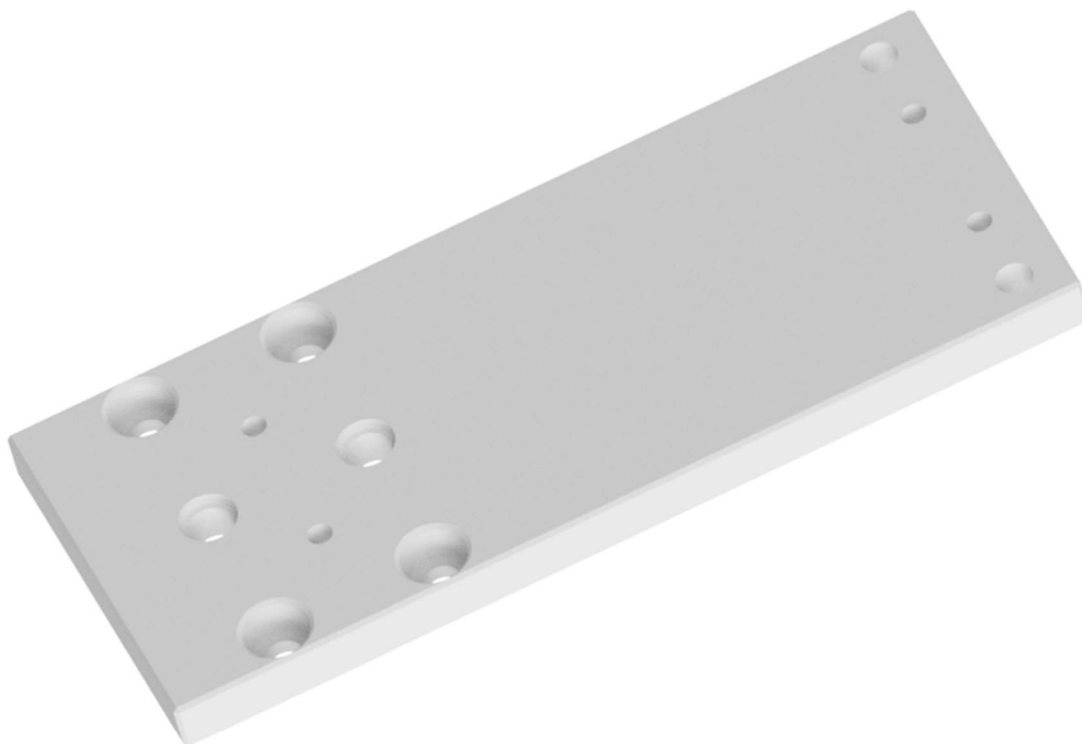


Obr. 56 Rozpad spodního dílu klece

5.3.2 BOČNICE

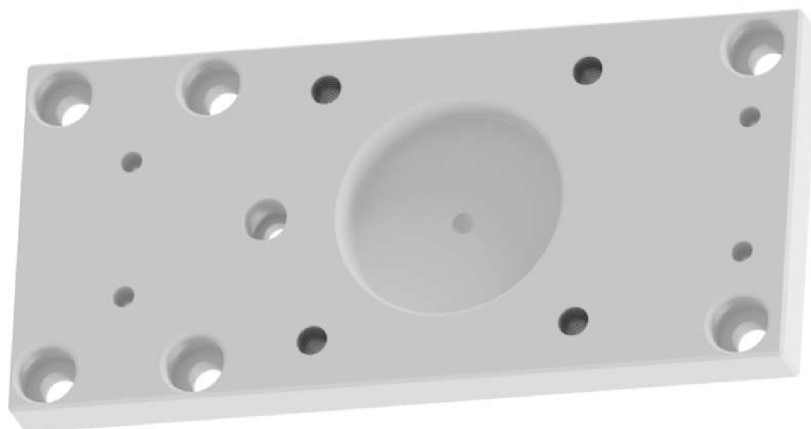
Bočnice spojují vrchní a spodní díl klece. Dále je na bočnice připevněn pneumatický válec s vedením a příruba robota, který byl použit k testování.

Do otvorů na pravé straně obrázku budou vsazeny šrouby DIN 912 M4 x 16 a proto mají průměr 4,5 mm. Kolíky ISO 2338 3h8 x 14 slouží k přesnému upevnění horního dílu klece. Otvory se zahloubením obsahují šrouby DIN 912 M4 x 8, a proto mají průměr 4,5 mm skrz a zahloubení průměru 8 mm do hloubky 5 mm. Těmito šrouby je bočnice přišroubována ke spodnímu dílu klece. Přesné smontování bočnice a spodního dílu klece zajišťují kolíky ISO 2338 3h8 x 8. Dva otvory průměru 5,5 mm se zahloubením průměru 7H7 hloubky 1,6 mm budou obsahovat šrouby DIN 912 M5 x 16 a centrovací kroužky. Centrovací kroužky umožní přesnou montáž pneumatického válce s vedením, který je připevněn právě dvěma šrouby M5.



Obr. 57 Bočnice pro připevnění válce

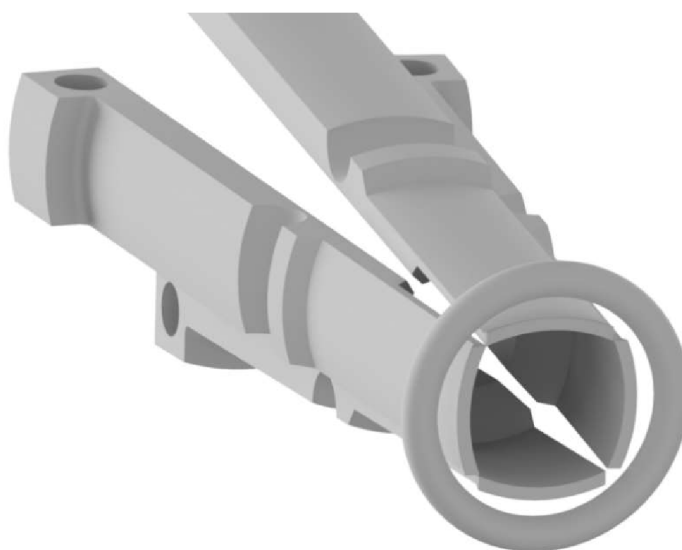
Druhá bočnice má stejné uspořádání jako první. Na pravé straně je připevněn horní díl klece, na levé spodní. Velký otvor průměru 30H7 hloubky 6 uprostřed bočnice vymezuje polohu příruby na robota. Sám o sobě by však nedokázal zamezit natočení kolem jeho osy. Proto je přidán ještě kolík ISO 2338 6h8 x 12 nalevo od něj. Kolík je uložen v zahloubení. Otvor skrz je kvůli snadnější demontáži (vyražení kolíku). Zbylé 4 otvory se závitem M5x0,8 slouží k přimontování příruby k bočnici.



Obr. 58 Bočnice pro připevnění příruby

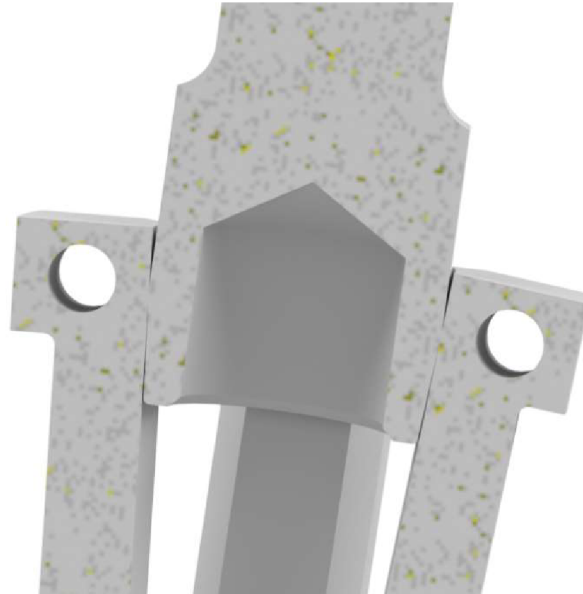
5.3.3 CHAPADLO

Chapadlo slouží k roztažení o-kroužku a jeho následnou montáž na ventil. Kvůli omezené možnosti roztažení o-kroužku musí být stěna chapadla co nejtenčí. Stěna má proto jen 5 desetin milimetru. Tloušťka se nad závitem ventilu zvětšuje. Nejlépe tvar definujeme popisem výroby. Nejprve se začne soustružením. Je vysoustružen otvor a vnější tvar. Následně putuje díl na drátovou řezačku, kde z jednoho soustruženého dílu vyřezeme 4 chapadla. Chapadla jsou vyrobena z oceli 19312 a následně tepelně upraveny. Šířka chapadla byla stanovena tak, aby po stažení chapadel k sobě zůstala dostatečná vůle mezi chapadly a o-kroužkem.



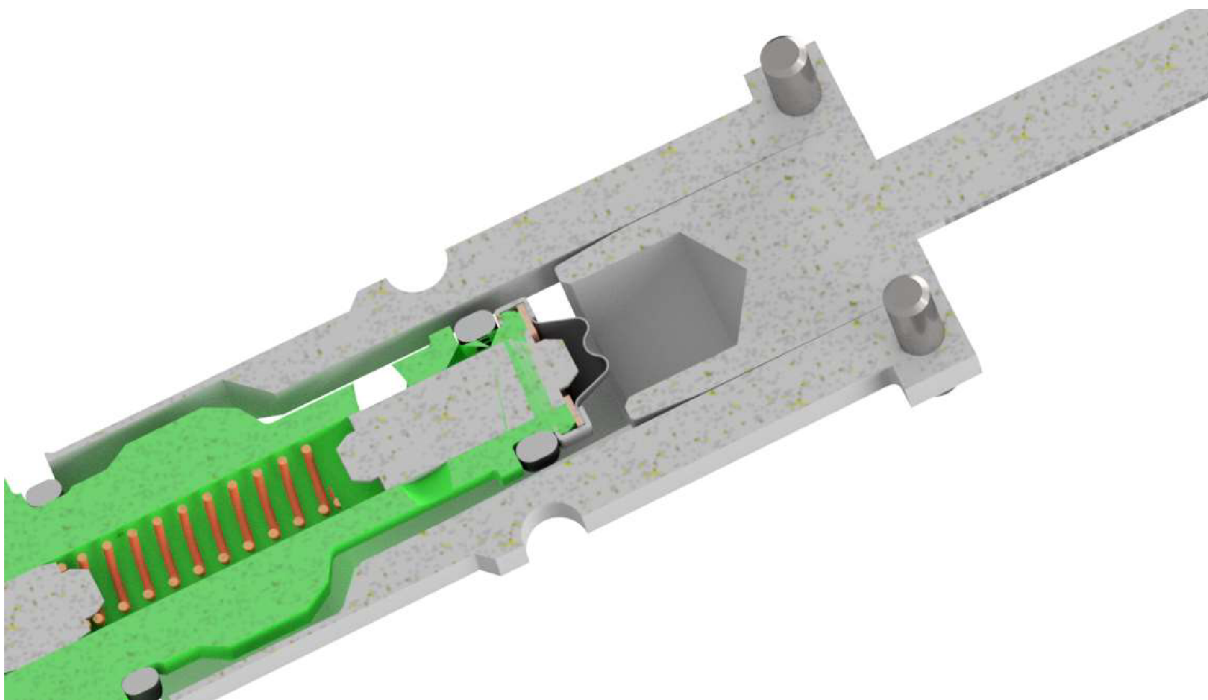
Obr. 59 Stažená chapadla před nabráním o-kroužku

Aby byla zajištěna maximální míra stažení, chapadla jsou opřena o kužel, který je součástí trnu roztahující chapadla. Kužel má stoupání 10° a je vyroben z oceli CSN 19312 a zušlechťen. Na roztahovacím trnu jsou dvě zploštění, které slouží pro umístění klíče, kterým je kužel utažen v pístu pneumatického válce. Detail opření chapadel o trn je vidět na obrázku *Obr. 60*.



Obr. 60 Stažená chapadla opřena o pístek

Při roztažení chapadel se čelisti opírají o válcovou část trnu. Na čele trnu je vyvrtán otvor průměru 9 mm a hloubky 8 mm. Díky otvoru je zajištěna dostatečná vůle mezi trnem a filtrem ventilu, který je už při montáži o-kroužků nasazený.



Obr. 61 Pístek vysunutý mezi roztaženými chapadly

Drážka o poloměru 2 mm na vnějším průměru chapadel slouží jako uložení pryžového kroužku, který přitlačuje chapadla na roztahovací pístek. Drážka je soustružena ještě, než jsou jednotlivá chapadla, rozřezána.

Po výrobě první sady chapadel nebylo roztažení o-kroužku dostatečné. Důvodem bylo sečtení vůlí v uložení chapadel a nedostatečné tvrdosti testovacích chapadel. Testovací chapadla byla totiž kvůli časové tísni vyrobena z předem zušlechtěného materiálu 15142, který byl momentálně na skladě. Ten však nevykazoval dostatečnou tvrdost. Pro testy byla vyrobena další chapadla opět z materiálu 15142, ale se zesílenou stěnou. Eliminace větší části propružení přinesla dostatečnou vůli mezi chapadly a ventilem. V případě nasazení do výroby by byla chapadla z materiálu 19312 a následovalo by zušlechtění.

KONTROLA CHAPADLA METODOU KONEČNÝCH PRVKŮ

Chapadlo bylo kontrolováno s ohledem na maximální napětí součásti a na průhyb v místě uchycení o-kroužku.

Materiál chapadla byl vybrán z knihovny Ansys Workbench a byla jím nástrojová ocel kalená za ponoření do vody. Materiál je definován následně:

Hustota: $\rho = 7840 \frac{kg}{m^3}$

Youngův modul: $E = 209 GPa$

Poissonovo číslo: $\mu = 0,29$

Mez kluzu: $Re = 1030 MPa$

Mez pevnosti: $Rm = 1470 MPa$

Nastavení materiálu o-kroužku bylo identické s nastavením, které bylo použito pro výpočet chapadla ze slitiny hliníku, určeného pro montáž na ORG hlavu. Pro zopakování následují parametry materiálu.

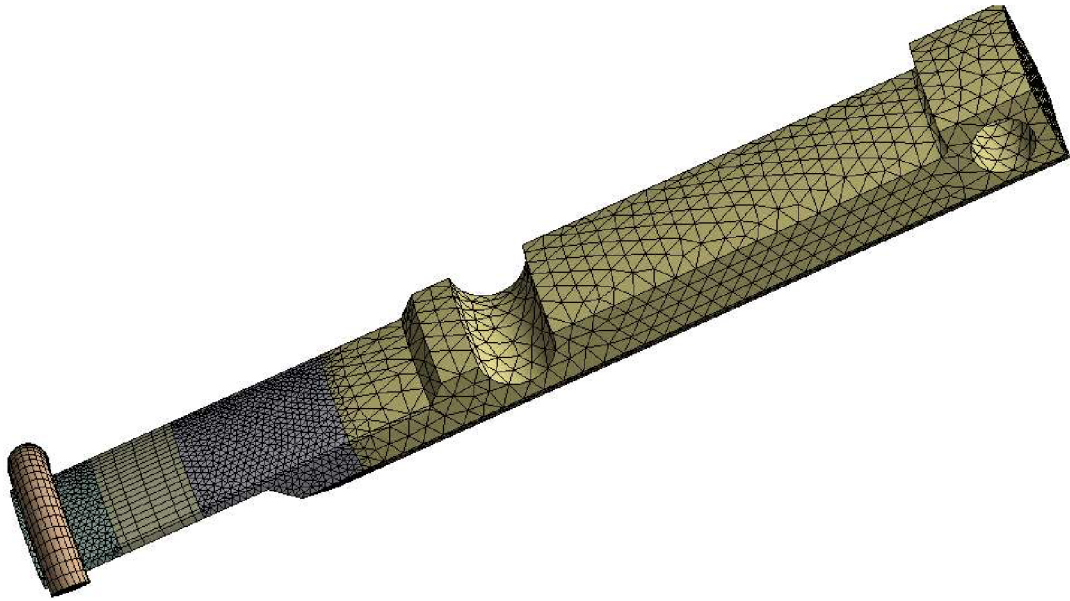
Konstanta C10: $C10 = 1,11 MPa$

Konstanta C01: $C01 = 0,27 MPa$

Parametr nestlačitelnosti D1: $D1 = 0,018 MPa^{-1}$

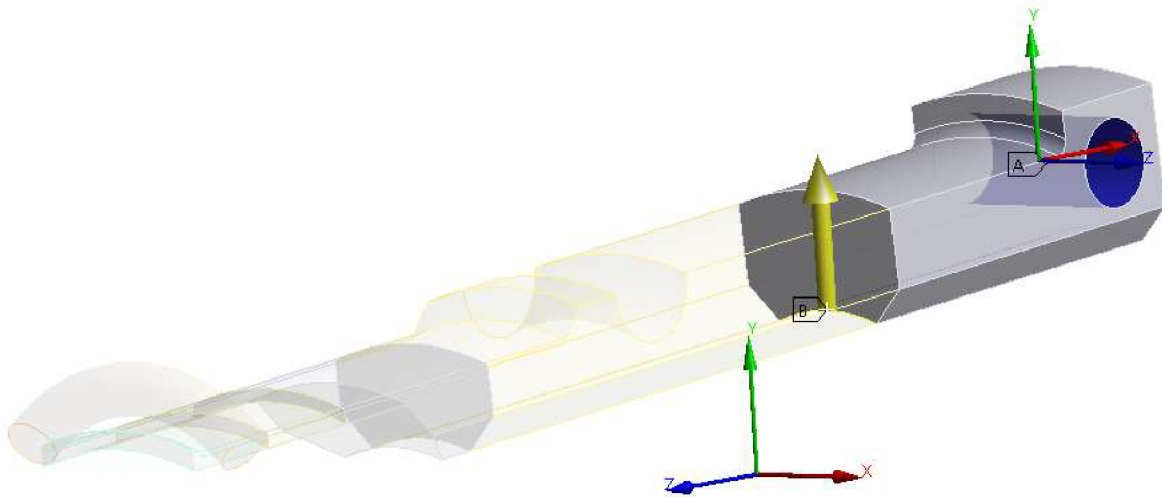
Pro první výpočet byl použit čtvrtinový model s cyklickou symetrií.

Síť *Obr. 62* byla tvořena prvky o velikosti 1,1 mm. Na modelu se vyskytuje několik kritických míst. První z nich je samotný o-kroužek, u kterého dojde k velké deformaci. Druhou je místo kontaktu chapadla s o-kroužkem. Třetí místo je na přechodu silné a tenké části chapadla, v tomto místě je očekáváno nejvyšší napětí. Na kritických místech byla síť zjemněna. Velikost prvků na zjemněných místech je 0,4 mm. Síť o-kroužku byla generována za pomoci metody sweep.



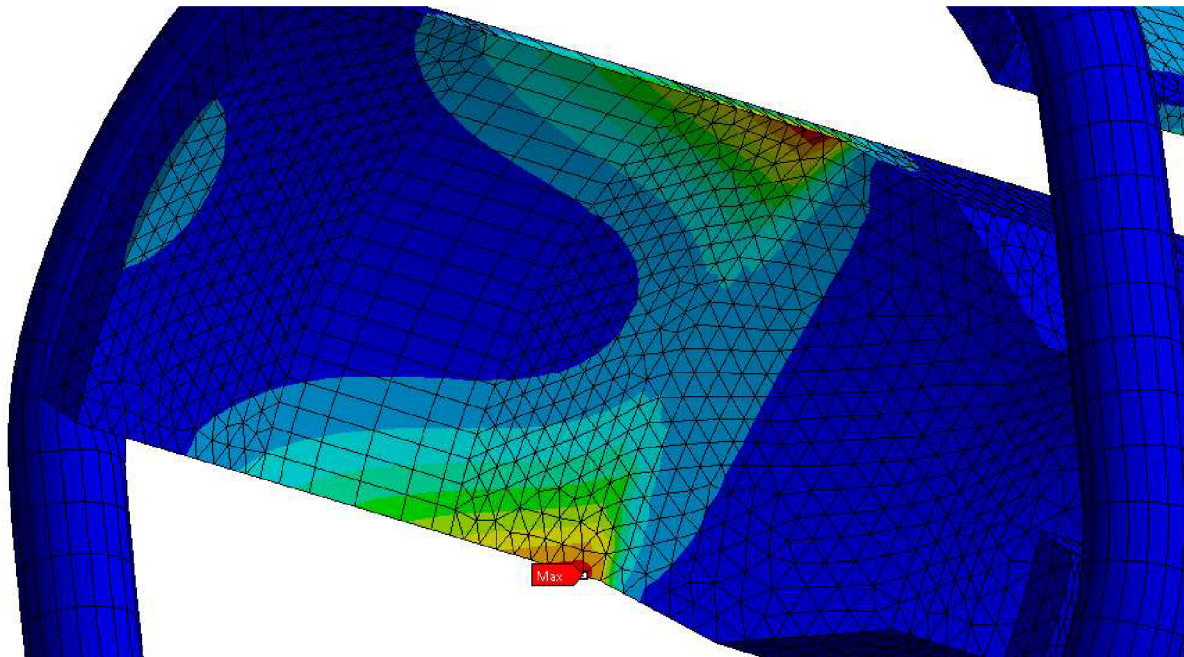
Obr. 62 Síťování chapadla

V otvoru pro čep bylo chapadlo uloženo pomocí „revolute joint“(A). Pohyb chapadla zajišťoval displacement v místě, kde se chapadlo opírá o roztahovací trn (B). Kontakt mezi chapadlem a o-kroužkem byl definován jako kontakt se třením. Hodnota koeficientu tření byla stanovena na 0,2.



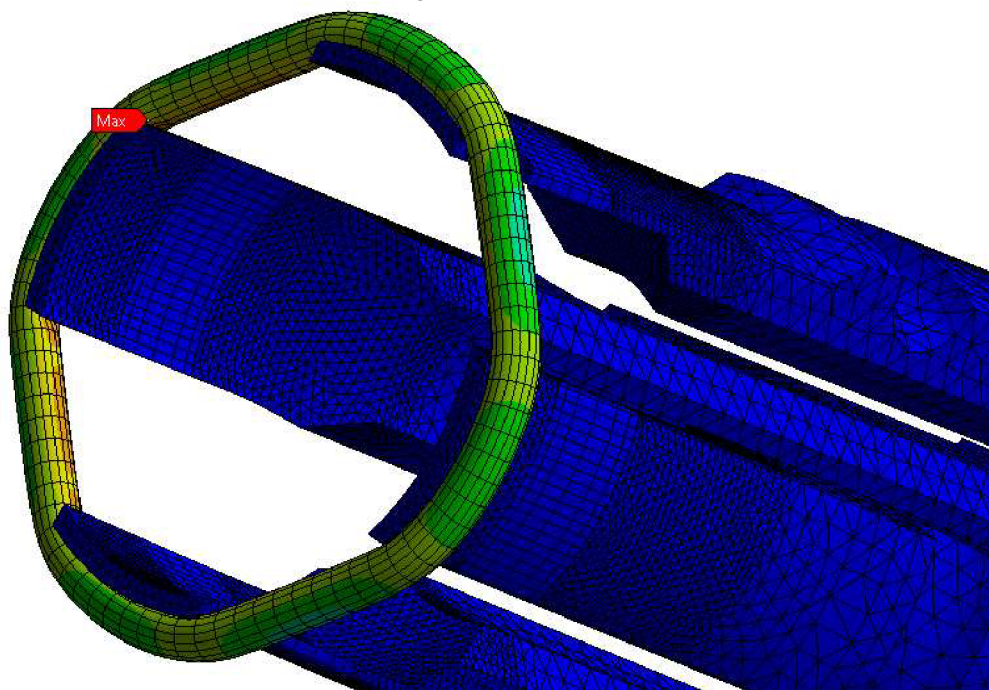
Obr. 63 Okrajové podmínky

Při simulaci bylo mimo deformace a napětí sledována i napjatost. Nejvyšší hodnoty napětí bylo dosaženo v očekávaném místě *Obr. 64*, kde byla síť tvořena prvky o velikosti 0,4 mm. Nejvyšší hodnota napětí pak činila **382,58 MPa**. Prohnutí chapadla v místě uchycení o-kroužku pak dosáhlo hodnoty 0,18 mm.



Obr. 64 Maximální napětí

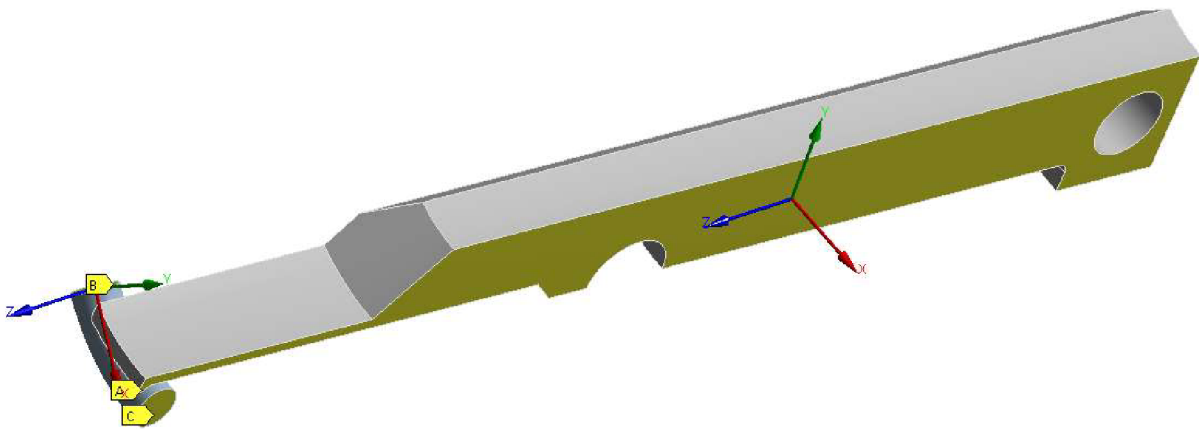
Maximální napjatost *Obr. 65* se dle očekávání objevila na o-kroužku a měla hodnotu **0,59**.



Obr. 65 Napjatost

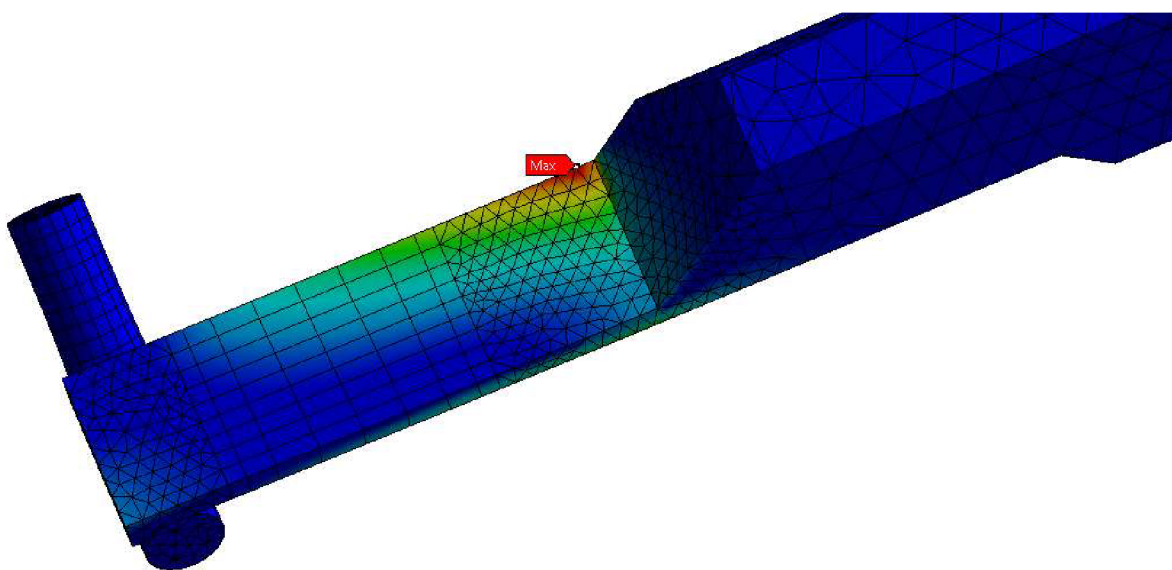
Pro druhý výpočet bylo použito jedné osminy kompletního modelu. To ve výsledku znamenalo rozpůlení modelu použitého pro první výpočet.

Materiály byly zadány stejně jako u výpočtu prvního. Symetrie však byla nahrazena vazbami *Obr. 66*, které roli symetrie zastoupily. Síť byla zjemněna na kritických místech, která byla stejná jako u prvního výpočtu. Nastavení pohybu chapadla bylo obdobné jako u prvního výpočtu.



Obr. 66 Okrajové podmínky

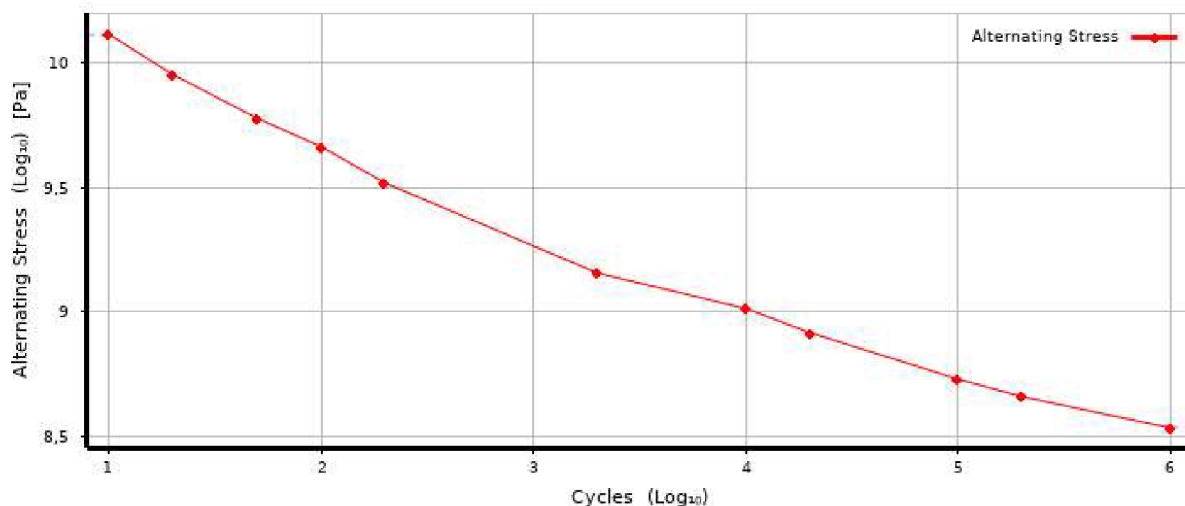
Výsledek deformace se od prvního výpočtu se čtvrtinovým modelem liší jen velmi málo. Na osminovém modelu dosahuje maximální napětí **393,1 MPa** *Obr. 67*, obdobnou podobnost vykazovala i deformace (0,18 mm) a napjatost (0,66). Došlo však ke zkrácení výpočtového času, daného snížením množství prvků.



Obr. 67 Napětí

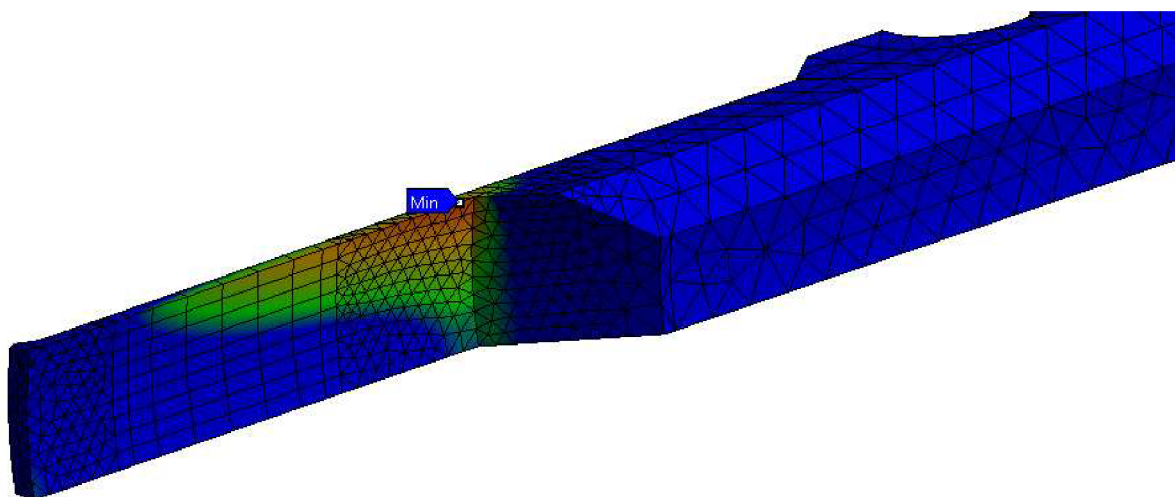
Protože se ukázalo, že výpočty čtvrtinového modelu se symetrií jsou obdobné jako výsledky osminového modelu bez symetrie byla simulace únavy materiálu provedena pouze na osminovém modelu, který byl méně výpočetně náročný.

Chapadlo je zatěžováno pouze roztahujícím se o-kroužkem. Síla od o-kroužku působí pouze v jednom směru, proto hovoříme o mívivém zatížení. K popisu materiálu bylo použito S-N křivky *Obr. 68*.



Obr. 68 S-N Křivka materiálu

Simulátor byl nastaven na zjištění bezpečnosti při 1 milionu mívivých cyklů. Výsledkem pak byla bezpečnost **1,74** *Obr. 69*.



Obr. 69 Bezpečnost pro 1 milion zátěžných cyklů

1 milion cyklů by měl vystačit na přinejmenším 3 měsíce provozu stanice (za předpokladu 2 směn denně).

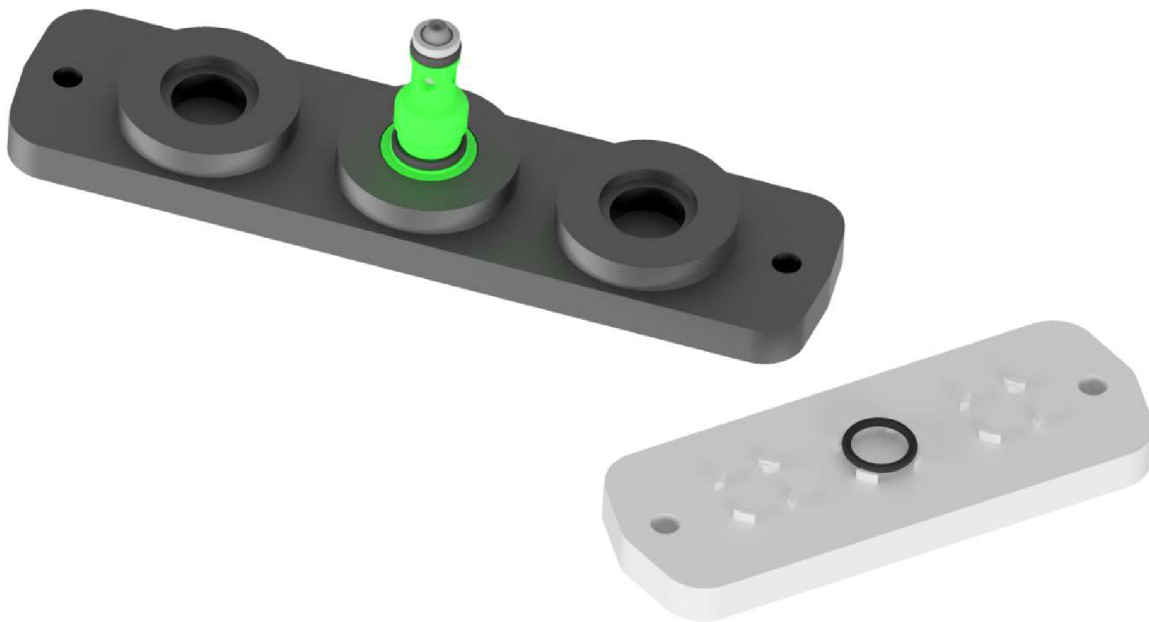
Dá se však předpokládat, že by chapadlo vydrželo i několikrát větší počet cyklů, neboť mez únavy materiálu je pro tento typ oceli přibližně 600 MPa, což je více než maximální napětí v chapadle. [18]

5.4 TESTOVÁNÍ HLAVY

Hlava byla pomocí příruby a několika šroubů připevněna na robota. Pro testy byl použit robot Stäubli TX2 series 90. Podle hlavy robota byla konstruována druhá strana příruby. Příruba je k hlavě robota přišroubována pomocí 4 šroubu DIN 912 M6 x 25. Její poloha je pak zajištěna stejným způsobem jako poloha příruby a bočnice (Souosé odsazení a kolíku). Robot má nosnost 5 kg (hmotnost hlavy pro nasazování o-kroužků je přibližně 2,3 kg). K ovládní 2 dvojčinných válců na nasazovací hlavě jsou potřeba 4 vstupy tlakového vzduchu. 4 výstupy tlakového vzduchu má robot na rameni.

5.4.1 NÁVRH TESTOVACÍCH PŘÍPRAVKŮ

Pro otestování funkčnosti hlavy bylo zapotřebí uložení pro o-kroužek a ventil *Obr. 70*. Přesnost těchto uložení není nijak přísná, proto byl k jejich výrobě použit 3D tisk. 3D tisk dosahuje přesnosti 0,1 mm. Obě uložení byla konstruována tak aby se dala uchytit do Bosch profilu, který je nepohyblivě připevněn k základní desce robota. Bylo stanoveno, že minimální počet kusů pro sledování reálného taktu, je 3.



Obr. 70 Uložení ventilů a o-kroužku (testování)

5.4.2 VYHODNOCENÍ TESTŮ

V první fázi bylo potřeba naprogramovat robota. Tato práce připadla na proškoleného kolegu s oprávněním k ovládání robota. Po naprogramování byla provedena zkouška na prázdko (bez o-kroužků a ventilů). Při této zkoušce byla prověřena funkčnost pneumatiky a posouzena tuhost sestavení hlavy. Obavy panovaly hlavně ohledně přesnosti stažených chapadel, která drží stažená na roztahovacím trnu pouze pryžový kroužek. Po dokončení testu ale nic nebránilo pokročení na druhou fázi testování.

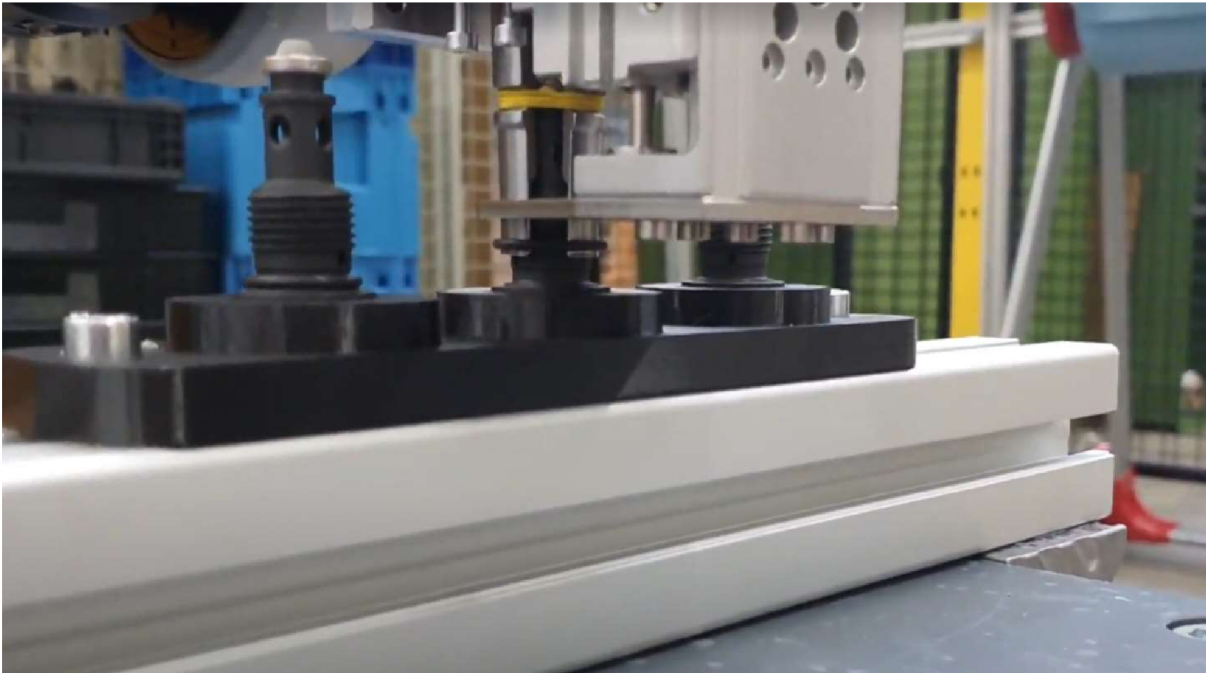
Ve druhé fázi byly do držáku umístěny ventily s o-kroužky. Kontrolovala se vůle mezi chapadly a ventilem. Tato fáze probíhala bez finálního umístění o-kroužku. V této fázi se zmenšila vůle mezi chapadly a ventilem, nicméně pořád byla dostatečná. Druhá fáze testování byla provedena pro 3 různá nastavení rychlosti posuvu robota (30, 50 a 80 %).

V následné třetí fázi testování *Obr. 71* už probíhala montáž o-kroužku, a proto už byla sbírána data taktu *Tab. 1*. Třetí fáze probíhala na 40, 70 a 100 % posuvu robota. Hlava díky dostatečné tuhosti zvládala pracovat i na 100 % posuvu.

Tab. 1 Takty při testování

Číslo testu	Procento posuvu [%]	Správné umístění o-kroužku	Čas přesunu z výchozí polohy [s]	Čas taktu [s]	Čas na kus [s]
1	70	Ano	0,35	14,956	4,869
2	70	Ano	0,35	14,953	4,868
3	70	Ano	0,35	14,956	4,869
4	70	Ano	0,35	14,957	4,869
5	70	Ano	0,35	14,954	4,868
6	70	Ano	0,35	14,956	4,869
7	70	Ano	0,35	14,952	4,867
8	70	Ano	0,35	14,955	4,868
9	70	Ano	0,35	14,899	4,850
10	70	Ano	0,35	14,952	4,867
11	100	Ano	0,25	12,208	3,986
12	100	Ano	0,25	12,199	3,983
13	100	Ano	0,25	12,206	3,985
14	100	Ano	0,25	12,205	3,985
15	100	Ano	0,25	12,201	3,984
16	100	Ano	0,25	12,209	3,986
17	100	Ano	0,25	12,205	3,985
18	100	Ano	0,25	12,206	3,985
19	100	Ano	0,25	12,204	3,985
20	100	Ano	0,25	12,206	3,985

V tabulce *Tab. 1* jsou viditelné časy nasazení pro jeden kus. Vzhledem k požadavku na takt 7 sekund pro kompletní osazení o-kroužky, může mít finální stanice buďto více stanovišť (v podstatě probíhá montáž obou o-kroužků naráz), nebo se budou osazovat ventily po dvou.

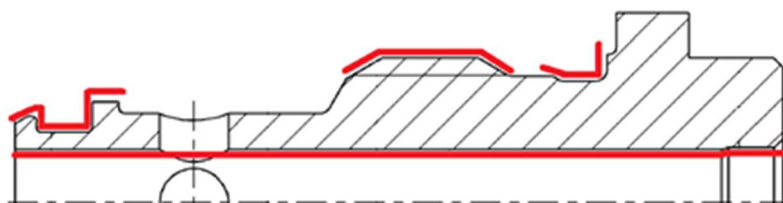


Obr. 71 Třetí fáze testování

6 NÁVRH PRACOVISTĚ

Vzhledem k požadavkům na takt by muselo dojít k významnému zrychlení montáže o-kroužku. To však vzhledem ke konstrukci a množství pohybů není možné. Druhým řešením by mohlo být použití více stanovišť. Větší množství stanovišť nám umožní současnou montáž obou o-kroužků. To v praxi znamená plné využití potenciálu hlav.

Dále bychom mohli uvážit, zda bude stanice fungovat samostatně bez obsluhy, nebo s obsluhou. V případě, že by se jednalo o plně automatickou stanici, bylo by nutné zkonstruovat, nebo zakoupit systém automatického podávání ventilů. Nejjednodušším a nejekonomičtějším systémem by byl vibrační podavač. Ve vibrační podavači však dochází k vzájemnému kontaktu dílů a je proto pravděpodobné, že dojde k jejich mechanickému poškození. Aby bylo zajištěno, že nebude ventil poškozen (poškození je nepřipustné na označených plochách *Obr. 72*, musí s ním manipulovat pracovník nebo robot.



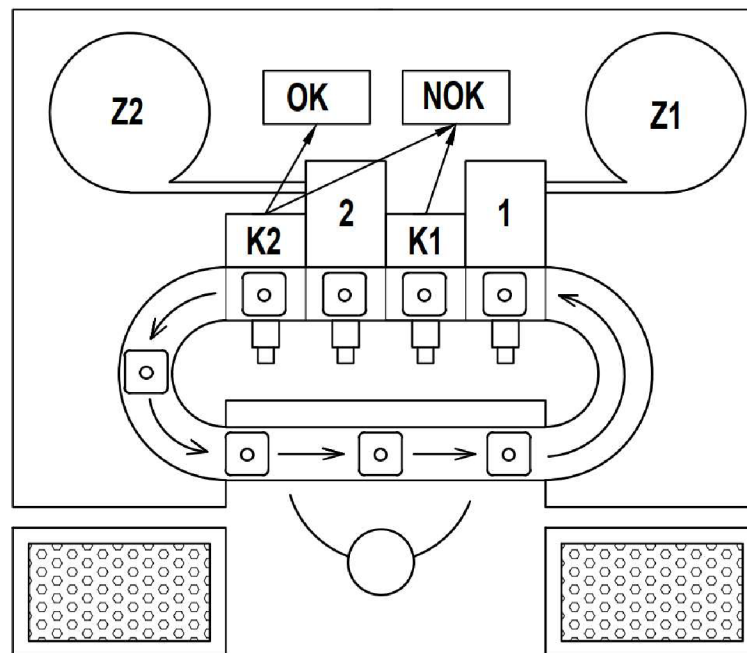
Obr. 72 Schéma ventilu (označeny plochy nedovolující poškození)

6.1 VARIANTA 1

První varianta používá pro přepravu mezi jednotlivými stanovišti vozíky. Vozíky se pohybují po oválné dráze a na jednotlivých stanovištích jsou zastavovány pomocí pneumatických zařízení. Vozík se ve dráze pohybuje se značnou vůlí, což znamená, že ve chvíli montáže o-kroužku musí být zajištěna jeho poloha. O to by se s největší pravděpodobností staral pneumatický válec s kuželem, který by vozík tlačil na přesnou stěnu dráhy.

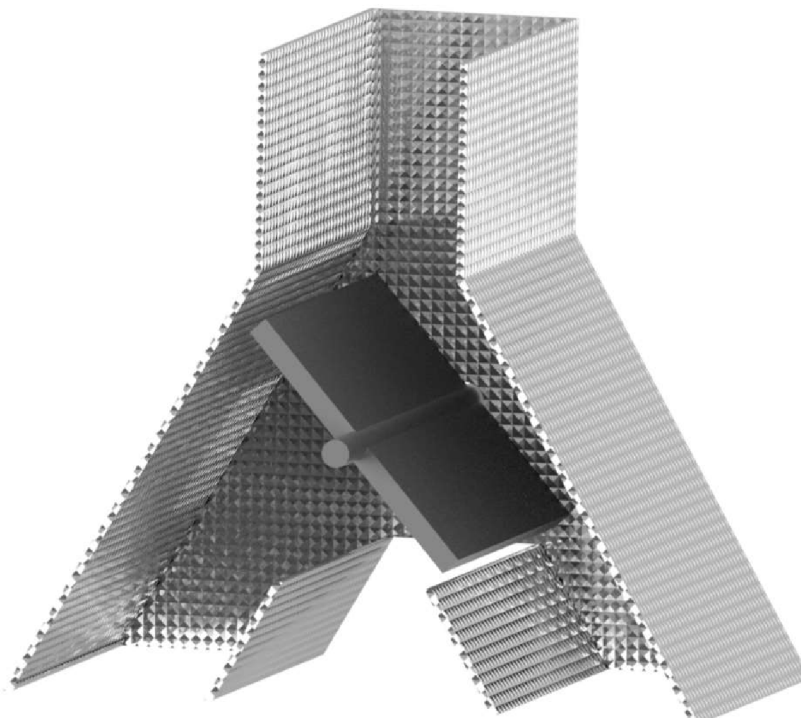
Toto řešení je prostorově náročnější a takt, nebo také rychlost vozíků by nemusela být dostatečná pro plné vytížení hlav.

Na následujícím layoutu *Obr. 73* můžeme vidět uspořádání stanice. Obsluha stojí z vnějšku dráhy, a to na její dlouhé straně. Vozíky nemusí být v případě plnění obsluhou nijak aretovány. Vzhledem k malé rychlosti pohybu jednotlivých vozíků není pohyb obsluhy okolo nich nijak nebezpečný. Na druhé dlouhé straně dráhy už probíhá montáž, kontrola a třídění OK a NOK dílů. Existují tedy 4 místa, kde se díly zastavují 2 montážní a 2 kontrolní. Na stanovištích kontroly probíhá i selekce dílů. Na místě kontroly kamera vyhodnotí, zda je o-kroužek nasazen a zda je nasazen na správném místě. Na prvním kontrolním stanovišti jsou selektovány pouze NOK díly. OK díly pokračují na montáž druhého o-kroužku. Po montáži druhého o-kroužku následuje druhá kontrola a třídění NOK a OK dílů systém třídění je popsán na *Obr. 74*.



Obr. 73 Schéma Varianty 1

Chapadlo selekce dílů je pohyblivé pouze ve dvou osách. Může se hýbat od pásu a zpět, nebo nahoru a dolů. To znamená, že díl, který uchopí, vždy upustí (odloží) do jednoho místa. Aby se tedy daly díly roztrždit, je v otvoru, kam je díl upuštěn záklopka, která je ovládána pneumatickým válcem. V základní poloze směřuje záklopka do krabice NOK dílů, a to z důvodu jistoty nepromíchání dílů. Pokud by došlo k její poruše, nedojde k promíchání OK s NOK díly. Systém je zobrazen na Obr. 74.



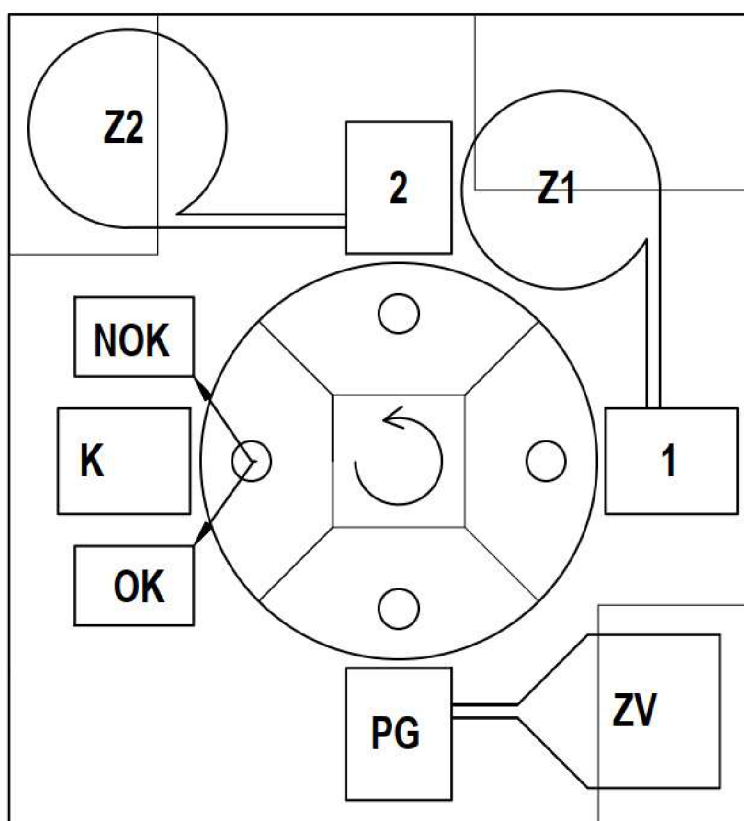
Obr. 74 Systém třídění NOK a OK dílů

6.2 VARIANTA 2

Ve druhé variantě se jedná o obdobný typ oválné dráhy s vozíky jako u první varianty *Obr. 73*. Lidskou obsluhu však nahrazuje robot. Protože u robota je vyloučena chyba z nepozornosti může robot vybírat a doplňovat kusy do vozíků na jedné pozici. Stanoviště kontroly je tedy už jen jedno a je společné i pro nakládání vozíků. Na tomto stanovišti kamery zkontrolují přítomnost a polohu o-kroužků, načech robot díl přesune do NOK nebo OK zásobníků. Pak rameno pokračuje pro nový ventil, který přesune do vozíku.

6.3 VARIANTA 3

Třetí varianta využívá k přepravě ventilů rotační stůl *Obr. 75*. Rotační stůl má 4 pozice. Přeprava dílů na rotačním stole má výhodu zajištění přesné polohy ventilu, které je nutné pro přesné usazení o-kroužků na ventil.



Obr. 75 Schéma varianty 3 (tenké čáry značí prostor s přístupem za chodu stanice)

Na první pozici jsou doplňovány ventily vibrační lištou. Na konci lišty uchopí ventil chapadlo a přesune ho do otočného talíře. Jakmile je ventil na místě a chapadlo v základní pozici nad ním, může se stůl pootočit o jednu pozici. Na pozici, kde se teď ventil nachází je nasazován první (spodní o-kroužek). Jakmile je úkon proveden, může se stůl opět pootočit. Na další pozici je nasazen malý (horní) o-kroužek. Po jeho montáži se pootočením stolu dostane ventil na stanoviště kontroly a selekce. Zde kamera ověří správnou polohu o-kroužků. Ventil je ze stolu vyjmut chapadlem a přesunut nad ústí potrubí k OK a NOK dílům. Zde je použit stejný systém jako u předchozích variant, jež je vyobrazen na *Obr. 74*

7 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY

Jednotlivé varianty byly hodnoceny pomocí multikriteriální metod. To by mělo zajistit objektivní výsledek dle hodnocených parametrů.

7.1 METODA MULTIKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ

Pokaždé když se má do provozu uvést nová stanice, stroj nebo jiné zařízení, vyvstávají otázky, jakou variantu z těch, co jsou dostupné na trhu zvolit. Tato metoda byla zvolena kvůli většímu množství kritérií hodnocení. Kritéria, podle kterých hodnotíme, však nemají stejnou váhu. Například vyšší takt stroje je pro nás důležitější než jednoduchost konstrukce. [19]

Posuzujeme následující vlastnosti:

- 1) Takt cyklu
- 2) Množství zabraného prostoru
- 3) Pořizovací náklady
- 4) Automatizace
- 5) Ergonomie
- 6) Univerzálnost
- 7) Konstrukční jednoduchost

N1 – Takt cyklu: Hodnotí čas (takt) na montáž obou o-kroužků a následnou kontrolu na jeden kus. Požadovaný takt je 7 sekund. Ideální je však uvažovat určitou rezervu. V taktu zohledňujeme například prodlevu softwaru kontrolní kamery. Takt však nezahrnuje například opožděný příchod obsluhy, co má doplnit materiál, nebo seřizovače co má stanici přenastavit. Koeficient pro výpočet je stanoven na 1,0.

N2 – Množství zabraného prostoru: V našem případě hodnotíme spíše celkový zabraný prostor než tvar stanice, protože současná stanice pro montáž ventilu zahrnuje nejen montáž o-kroužků. Koeficient pro výpočet je stanoven na 0,9.

N3 – Pořizovací náklady: Náklady na pořízení budou spíše odhadem, protože pro přesné stanovení by byla potřeba znát konkrétní částky za nakupované přístroje (roboty, pneumatické válce atd.), ty však lze alespoň odhadnout. Nejhůře se stanovuje cena výroby držáků, přípravků, a jiných součástí vyráběných přímo ve firmě. Koeficient pro výpočet je stanoven na 0,8.

N4 – Automatizace: Toto kritérium hodnotí stupeň automatizace. To znamená, do jaké míry je k funkci stanice potřeba obsluha. Jinak můžeme definovat také jako množství činností co jsou automatizované. Koeficient pro výpočet je stanoven na 0,7.

N5 – Ergonomie: Ergonomie je důležitější v případě, že je automatizace na nižší úrovni a stroj vyžaduje nepřetržitou přítomnost obsluhy. V ergonomii je zahrnuta dostupnost pracovních ploch pro obsluhu. Koeficient pro výpočet je stanoven 0,6.

N6 – Univerzálnost: Hodnotí univerzálnost jednotlivých variant stanic. Příkladem může být množství dílů, které je třeba vyměnit než stanici přenastavíme na jiný typ dílu. Koeficient pro výpočet je stanoven na 0,5.

N7 – Konstrukční jednoduchost: Znamená náročnost konstrukce jednotlivých typů Koeficient pro výpočet je stanoven na 0,4.

Kritéria budou hodnocena stupnicí 0–5.

- 0 – zcela nevyhovující
- 1 – velmi slabé
- 2 – dostatečné
- 3 – dobré
- 4 – chvalitebné
- 5 – výborné

TECHNICKÁ HODNOTA τ A JEJÍ VYJÁDŘENÍ

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j \cdot t_{max}} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_{max}} \leq 1 \quad (2)$$

Kde:

g_j – váha kritéria (koeficient pro výpočet)

t_j – hodnocení

n – pořadové číslo

Tab. 2 Tabulka kritériálního hodnocení

	kritéria	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	τ
varianta 1	hodnocení	2	4	3	3	4	4	4	0,47795918
	váha kritéria - koeficient pro výpočet	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	
varianta 2	hodnocení	2	3	2	4	5	4	3	0,44693878
	váha kritéria - koeficient pro výpočet	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	
varianta 3	hodnocení	3	5	2	5	5	3	3	0,56367347
	váha kritéria - koeficient pro výpočet	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	

7.2 ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ

Ze dříve představeného multikritériálního hodnocení Tab. 2 vyplývá, že nejlepší řešením je Varianta 3. Varianta 3 využívá otočného stolu a automatického vkládání ventilů. Druhého nejlepšího výsledku dosáhla Varianta 1, která se umístila před Variantou 3. Rozdílový bod variant 3 a 4 byl hlavně cena.

Varianty 1 a 2, by byly vhodnější, pokud by se do budoucna plánovala kompletní automatizace sestavení ventilu. V takovém případě by byly na strany připevněny další moduly a dopravník pouze prodloužen.

8 NÁVRH VYBRANÉ VARIANTY

8.1 ZÁKLADNÍ KONCEPCE

Základní koncepce se skládá z jednoho centrálního dílu a třech přípojných modulů.

V centrálním dílu *Obr. 76* je uložen otočný stůl. Stůl je přes převodové ústrojí poháněn krokovým motorem. Jak převodové ústrojí, tak motor pochází od firmy Festo. Na výstupní hřídeli převodovky je připevněn talíř, do kterého jsou namontovány přípravky na ventily. Přípravky jsou použity z důvodu vyšší univerzálnosti. V případě změny typu ventilu není nutná složitá výměna celého talíře, ale postačí výměna přípravků. Případné opotřebení prostoru pro uložení ventilu by bylo řešeno stejným způsobem. Díl je tvořen konstrukcí z profilů Bosch. Svislé rohové nosníky jsou rozměru 90 mm x 90 mm a dosahují do výšky 180 cm. V rohových nosnících jsou uloženy i výškově aretovatelné nohy, zajišťující stabilní kontakt s podložkou. Otočný stůl je rovněž uložen na profilech 90 mm x 90 mm. Tyto profily jsou uloženy vodorovně a upevněny ke svislým rohovým profilům. Na těchto vodorovných profilech je připevněna duralová deska o síle 30 mm, do které je připevněno další příslušenství pro manipulaci s ventily a o-kroužky.

Moduly, který zajišťují dopravu o-kroužků do centrálního dílu jsou výměnné a každý z nich je možno bez úprav přichytit k hlavnímu dílu stanice. Moduly tvoří rámová konstrukce a jejich hlavním prvkem je „dopravní hrnec“ s vibrační lištou. O-kroužky jsou z hrnce přesouvány do vibrační lišty otáčivým pohybem hrnce. Ve vibrační liště už jsou potom poháněny, jak nám název napovídá, vibracemi. Vibrační lišta je opatřena senzorem, který kontroluje přítomnost o-kroužků v liště. Informace ze senzoru pak říká, jestli má dojít k otočení hrnce. Pokud by se hrnec otáčel neustále, došlo by k přehlcení lišty a zaseknutí, které by musela uvolnit obsluha.

Posledním přípojným modulem je modul, kterým jsou do centrálního dílu dodávány ventily. Koncept, kterým budou ventily podávány musí být odlišný, od podávání o-kroužků, a to z již zmíněného důvodu poškození ventilů. Ventily jsou však uloženy v blistrech, což znamená, že mají zajištěnou polohu. Tím odpadá složitý systém polohování. Již správně polohované ventily mohou být za pomoci gravitace a vibrační lišty doručeny až na místo odkud je chapadlo přesune do přípravku na otočném stole.

Dá se však očekávat, že moduly pro o-kroužky i ventily dodá externí firma, neboť nastavení těchto komponent vyžaduje know-how, které v tuto chvíli Bosch nemá k dispozici. Proto bude na výsledném modelu stanice zobrazeno pouze ústí dopravních lišt. Zakázky tohoto typu jsou běžně zpracovávány firmou Ohrmann.

Kamera kontroly je umístěna v hlavním dílu společně s chapadlem přenášejícím ventil nad záklopku třídění OK a NOK dílů.



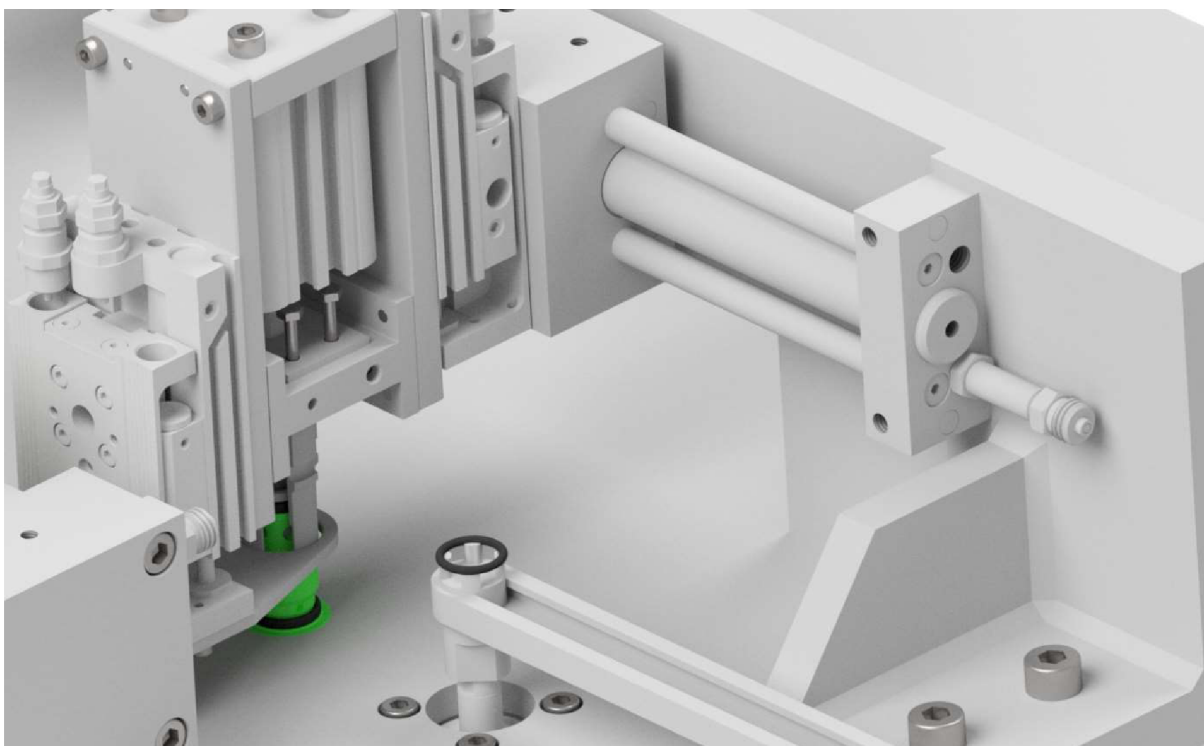
Obr. 76 Koncept stanice pro automatizované navlékání o-kroužků

8.2 SYSTÉM PODÁVÁNÍ O-KROUŽKŮ

Systém podávání o-kroužků do výchozí pozice pro uchopení navlékací hlavou, se zakládá na řešení firmy Primo Automazioni. O-kroužek je dopraven na konec vibrační lišty, kde jeho pozici ověří senzor. Poté dojde k vysunutí pístku ze dna lišty, který o-kroužek přizvedne o 20 mm. V této pozici si o-kroužek převezme navlékací hlava. Po odebrání o-kroužku sjede pístek do původní polohy na dno lišty.

Vše se děje v následujícím pořadí:

- 1) Příjezd navlékací hlavy se staženými chapadly.
- 2) Kontrola přítomnosti o-kroužku nad vysouvacím pístkem.
- 3) Vysunutí pístku (na pístku uložen o-kroužek)
- 4) Roztažení chapadel hlavy
- 5) Zasunutí pístku (už bez o-kroužku) zpět na dno lišty
- 6) Odjezd hlavy



Obr. 77 Podávání o-kroužku vysunutím [20]

Na levé straně obrázku *Obr. 77* můžeme vidět již mnohokrát zmíněnou navlékací hlavu. Ta je přimontována na pneumatickém válci s vedením, který zajišťuje vertikální pohyb hlavy. Válec zajišťující vertikální pohyb je dále připevněn na jezdec válce AFAG LM 16-90, zajišťující horizontální pohyb. [20]

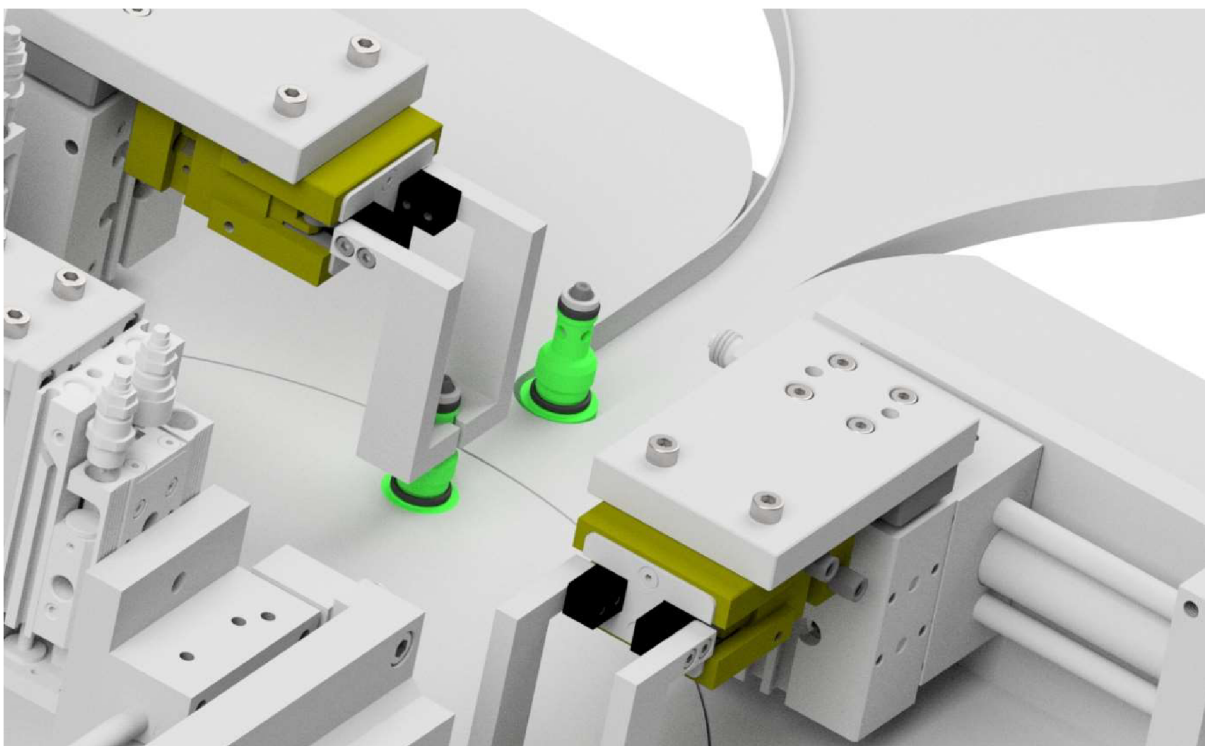
Na spodním okraji obrázku je viditelná vibrační lišta, sloužící k podávání o-kroužků ze zásobníku. Lišta je zakončena pístkem (v tuto chvíli pro lepší viditelnost ve vysunuté poloze) na kterém je o-kroužek vysunut do pozice pro uchopení hlavou.

8.3 SYSTÉM PŘESUNU VENTILU DO OTOČNÉHO STOLU

Systém přerovnávání ventilů z lišty do otočného stolu *Obr. 78* je založen na systému firmy Ohrmann, který firma dodala do jedné z jihlavských poboček firmy Bosch. Jádrem systému tvoří dvoučelistové chapadlo od firmy Schunk. Specifickou vlastností a zároveň výhodou chapadla firmy Schunk je otevření čelistí v úhlu až 180°. Chapadlo bude chytat ventil za malý průměr mezi závitem a malým o-kroužkem. Na této ploše je dovoleno manipulační poškození viz. *Obr. 72*.

Uchopení a přesunutí ventilu se děje v následujícím pořadí:

- 1) Roztažené chapadlo dojede nad místo uchopení ventilu.
- 2) Ventil dosáhne konce vibrační lišty, kde jeho polohu ověří senzor.
- 3) Chapadlo sjede dolů a uchopí ventil.
- 4) Chapadlo s ventilem vyjede nahoru.
- 5) Chapadlo s ventilem se přesune nad místo uložení v otočném talíři.
- 6) Chapadlo se přesune dolů a roztáhnou se čelisti (ventil je teď uložen v talíři).
- 7) Přejezd chapadla zpět nad místo uchopení ventilu.



Obr. 78 Přesun ventilu do otočného stolu [20; 21; 22]

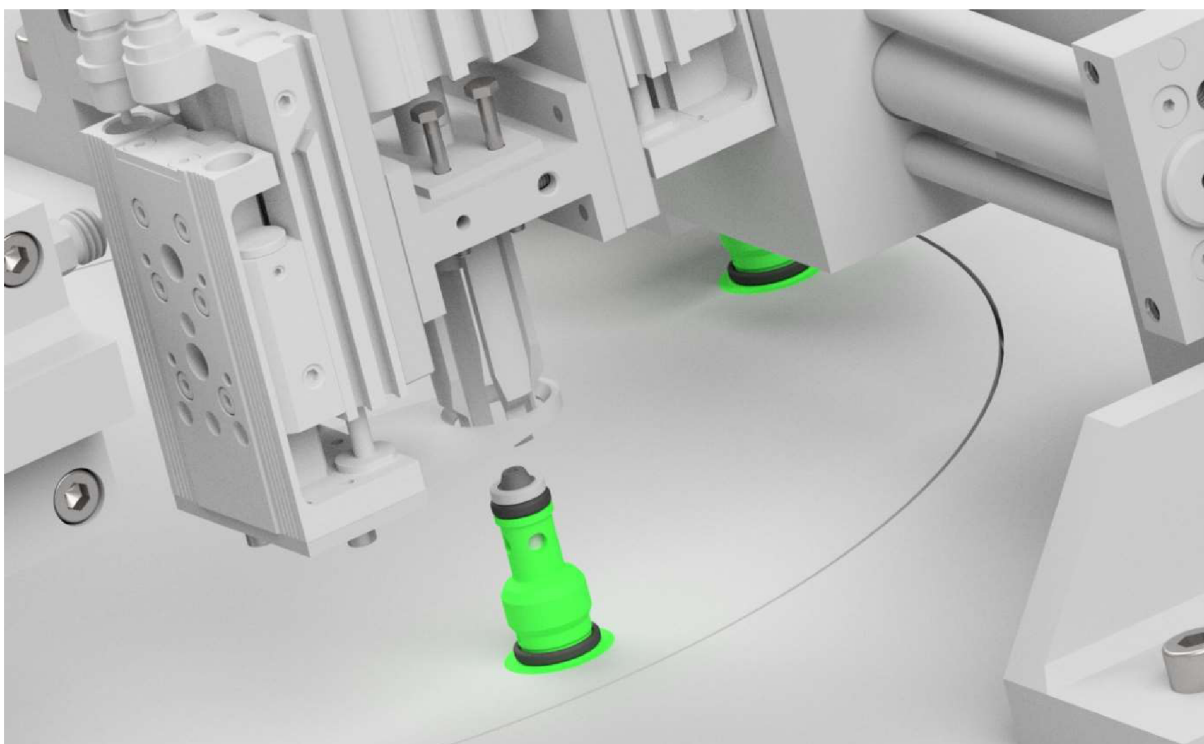
Na obrázku je vidět zužující se lišta (pouze odhad, finální verze by byla poptána u externí firmy), kterou jsou dopravovány ventily na místo uchopení chapadlem. Po uchopení chapadlo ventil zdvihne a přesune do otočného stolu. Důležité je, aby byl ventil uchopovaný a ventil ve stole ve stejné výšce. Vertikální pohyb pístu totiž umožňuje pouze jeden rozsah zdvihu, který musí posloužit pro úchop i odložení ventilu.

8.4 SYSTÉM MONTÁŽE O-KROUŽKŮ (MALÝ I VELKÝ)

Samotný princip funkce hlavy pro montáž o-kroužků byl v této práci již vícekrát zmíněn, proto zde bude popsán pouze princip pohybu hlavy. Hlava *Obr. 79* je umístěna na vedení vertikálním i horizontálním a její pohyb zajišťují 2 pneumatické válce.

Hlava pracuje v následujícím pořadí:

- 1) Hlava začíná nad místem uchopení ventilu.
- 2) Hlava nesjíždí dolů, protože o-kroužek je na místo uchopení vyzvednut.
- 3) Po uchopení o-kroužku se hlava přesune nad místo montáže o-kroužku na ventil.
- 4) Hlava sjede dolů do pozice montáže.
- 5) Po montáži hlava vyjede nahoru a poté se přesune do výchozí pozice.



Obr. 79 Hlava navlékání malého o-kroužku [20; 17; 16]

Na obrázku je nad ventilem hlava nasazování o-kroužků, jež je přichycena na lineárním válci s vedením zajišťujícím vertikální pohyb hlavy. Tento válec je dále připevněn na jezdcí lineárního válce, který pohybuje hlavou v horizontálním směru.

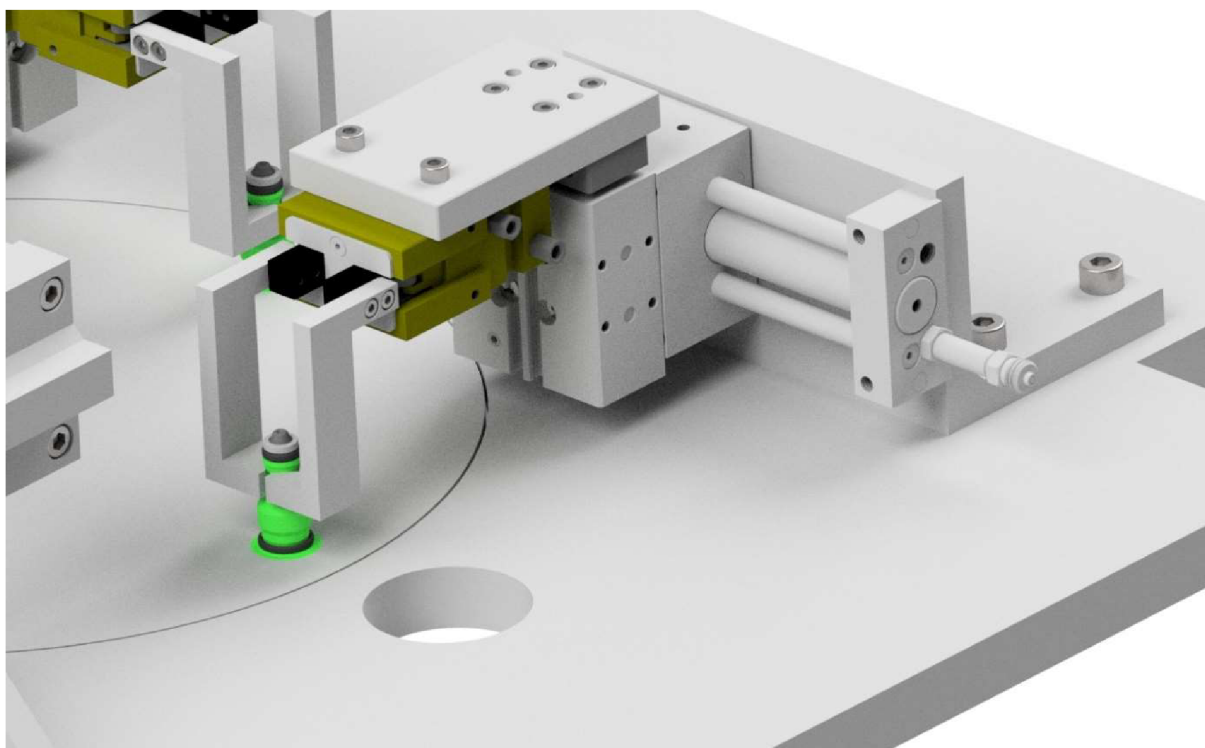
Pohyb hlavy směrem dolů je zpomalen za pomoci škrťacího ventilu z důvodu malé vůle mezi chapadly a ventilem. Z důvodu zpomalení při posuvu dolů byl tento pohyb při úchopu o-kroužku eliminován (vertikální pohyb koná o-kroužek ne hlava)

8.5 SYSTÉM EXTRAKCE VENTILŮ ZE STOLU A JEJICH TŘÍDĚNÍ

K extrakci ventilů ze stolu bude použito stejného systému *Obr. 80* jako pro přesun do otočného stolu. Do pohybů však musí být zahrnuta ještě kontrola správné pozice o-kroužků.

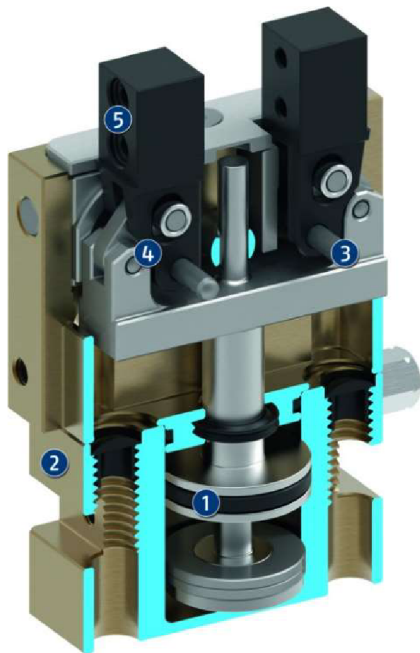
Proto hlava pracuje v následujícím pořadí:

- 1) Hlava začíná nad místem uchopení ventilu
- 2) Po signálu přítomnosti ventilu hlava sjede do místa úchopu a uchopí ventil
- 3) Po uchopení vyjede hlava zpět nahoru
- 4) Následuje přesun hlavy nad místo otvoru pro třídění
- 5) Dojde ke kontrole přítomnosti o-kroužků (horního i dolního) kamerou
- 6) Podle informací z kamer se natočí záklopka na OK, nebo NOK díl
- 7) Hlava upustí ventil
- 8) Návrat do počáteční polohy



Obr. 80 Systém přesunu ventilů ze stolu k otvoru třídění [20; 21; 22]

Ventil je uchopen chapadly z plastového materiálu Delrin. Ten je díky pružnosti a nízké tvrdosti vhodný právě jako chapadlo. Chapadla jsou připevněna na vzduchem ovládaném uchopovacím zařízení Schunk, s maximálním úhlem otevření 180° *Obr. 81*. Uchopovací zařízení Schunk je připevněno na lineárním válci s vedením, který zajišťuje vertikální pohyb *Obr 82*. To vše je připevněno na jezdcí dalšího lineárního válce zajišťujícího horizontální pohyb. [21; 22]



Obr. 81 Schunk GAP [22]



Obr. 82 Festo DFM [21]

Princip funkce třídění už byl dříve popsán, a proto jen ve zkratce.

V otvoru, kam je ventil odložen, se nachází záklopka. Ta je v defaultní poloze nastavena na NOK. Defaultní poloha je jako NOK nastavena, aby bylo zabráněno smíchání OK a NOK dílů v případě poruchy pohonu záklopky. Záklopka se nastavuje do polohy OK až po obdržení informace od kontrolních kamer. O naklápění záklopky se stará běžný pneumatický válec bez vedení Festo DSBG-32-100-PPSA-N3. [23]

8.6 BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ POUŽITÁ PŘI KONSTRUKCI STANICE

K zajištění bezpečnosti obsluhy je použito dvou základních bezpečnostních prvků. Prvním z nich je kompletní zakrytování stanice a druhým bezpečnostní zámky dveří.

8.6.1 KRYTOVÁNÍ STANICE

Stanice je kompletně zakrytována Makrolonem. Makrolon jsou plné polykarbonátové desky. Desky jsou stejně průhledné a čiré jako plexisklo nebo klasické sklo, ovšem na rozdíl od zmiňovaných materiálů je plný polykarbonát „nerozbitný“. Desky jsou opatřeny oboustranným UV ochranným filtrem, který zabraňuje zežloutnutí a stárnutí polykarbonátových desek. Plný polykarbonát je možno tepelně tvářet a ohýbat za studena. Desky jsou opatřeny silnou oboustrannou ochrannou fólií. [24]

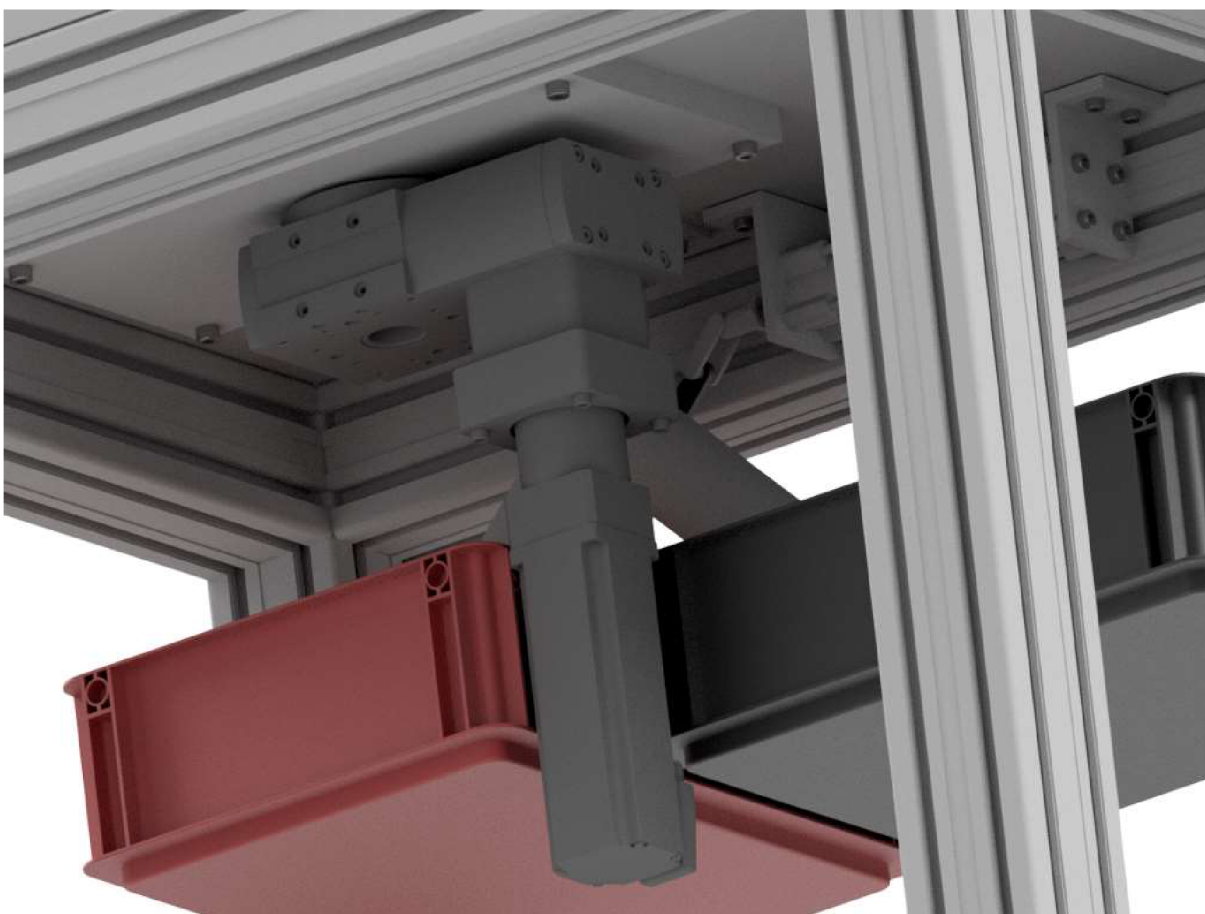
8.6.2 BEZPEČNOSTNÍ ZÁMKY DVEŘÍ

Pro zabezpečení obou dveří stanice byl použit zámek AZM40 od firmy Schmersal. Zámek zabraňuje otevření dveří stanice, pokud je stanice v chodu. Zároveň pak není možno stanici uvést do chodu, pokud jsou dveře otevřeny (ruční ovládání je umožněno při omezené rychlosti posuvu). [25]

8.7 SYSTÉM POHONU OTOČNÉHO STOLU

Na systému pohonu závisí nejen takt stanice, ale i její funkčnost. Kromě rychlosti je totiž nutná i přesnost natočení stolu, aby se hlava „trefila“ přesně na ventil, uložený ve stole.

System pohonu *Obr. 83* je na oddělení JhP/TEF2 už léty prověřenou stálící, proto nebyl důvod nevyužít ho i k pohonu této stanice. Pohon se skládá ze třech hlavních součástí: motoru, planetové převodovky a rotačního modulu. Jak již bylo řečeno v úvodu jedná se o komponenty firmy Festo.

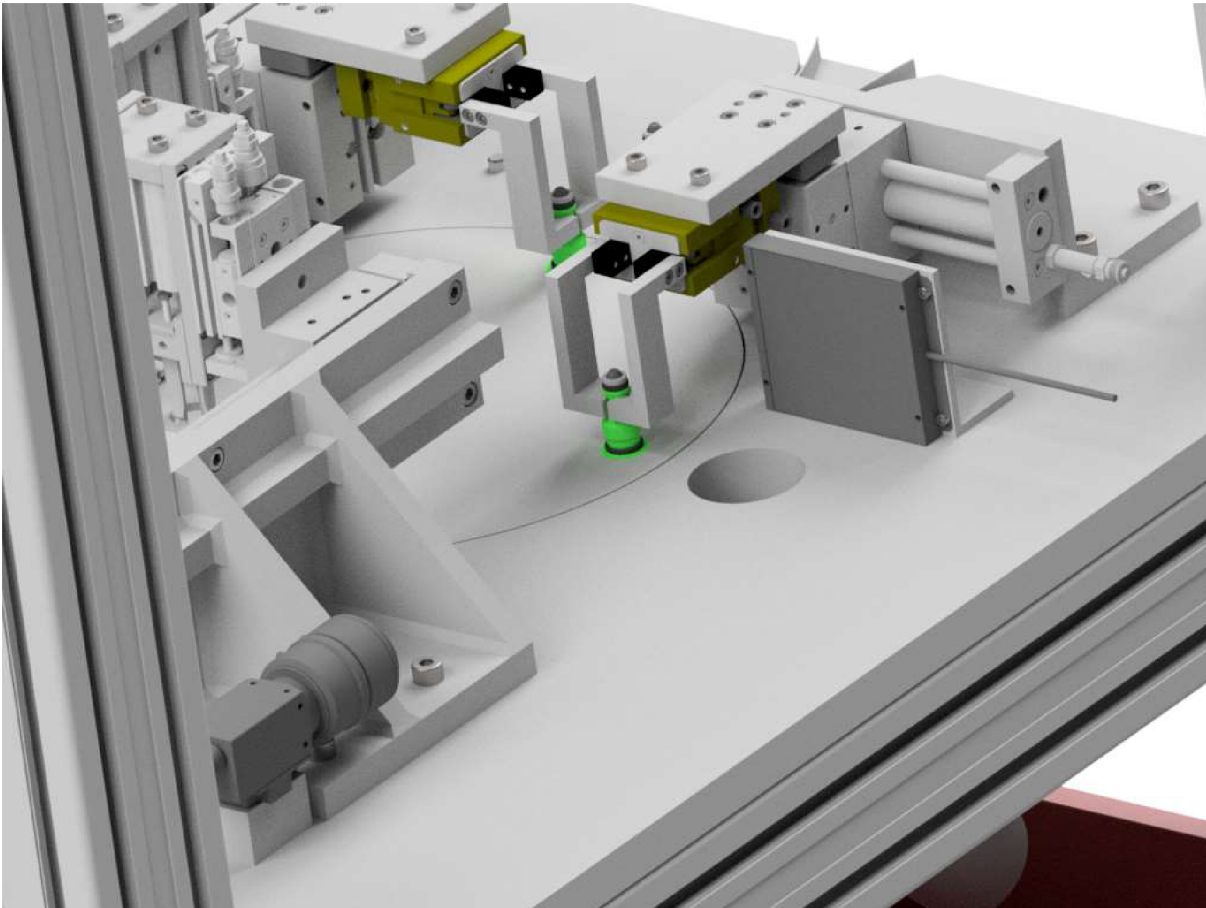


Obr. 83 Pohon otočného stolu [26; 27; 28]

EMME-AS-60-M-LS-AMB je střídavý motor, fungující při nízkém napětí. Navíc je vybaven brzdou. Převodovka EMGA-60-P-G5-EAS-60 je planetová převodovka s převodovým poměrem 5:1. Rotační modul ERMB umožňuje neomezený a přizpůsobitelný úhel otočení. Síla motoru je přenášena na výstupní pastorek pomocí oběžného ozubeného řemenu s odpovídajícím převodovým poměrem. [26; 27; 28]

8.8 KAMERA KONTROLY POLOHY O-KROUŽKŮ

Pro kontrolu polohy o-kroužků složí kamerový systém od firmy Keyence *Obr. 84*. Ve firmě Bosch je tento systém používán pro kontrolu polohy o-kroužků na DRW ventilu, a to je důvodem proč byl zvolen i pro toto použití. Kamera je tvořena senzorem CV-H200M, pracujícím s rozlišením 2 Mpx a objektivu CA-LHR35. Aby byl kontrast mezi ventilem s o-kroužky a pozadím dostatečně výrazný, nachází se za ventilem destička s bílým podsvícením CA-DSW7. [29; 30; 31]



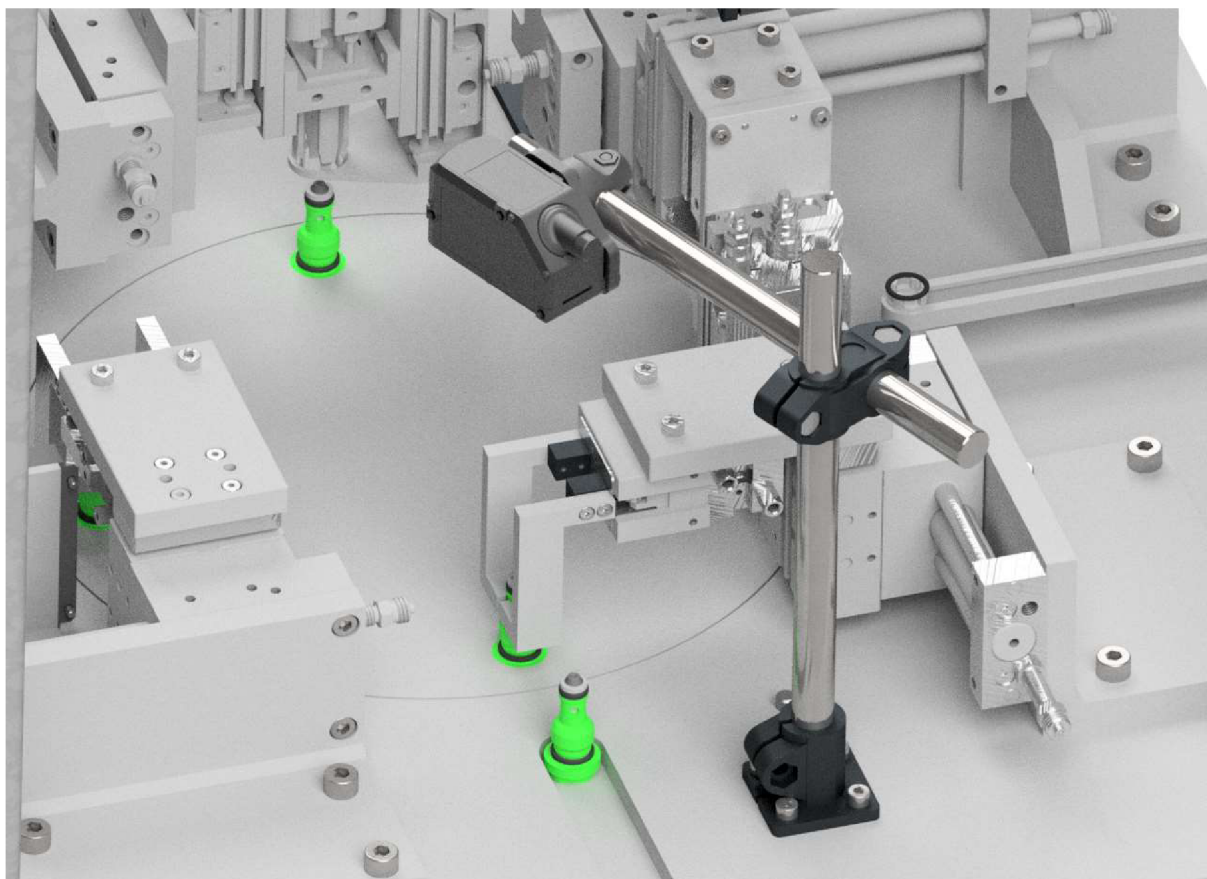
Obr. 84 Kamera kontroly polohy o-kroužků [31; 29; 30]

Kamera je od kontrolovaného ventilu vzdálena asi 180 mm. Kamera totiž není schopna zaznamenávat objekty bližší než 100 mm.

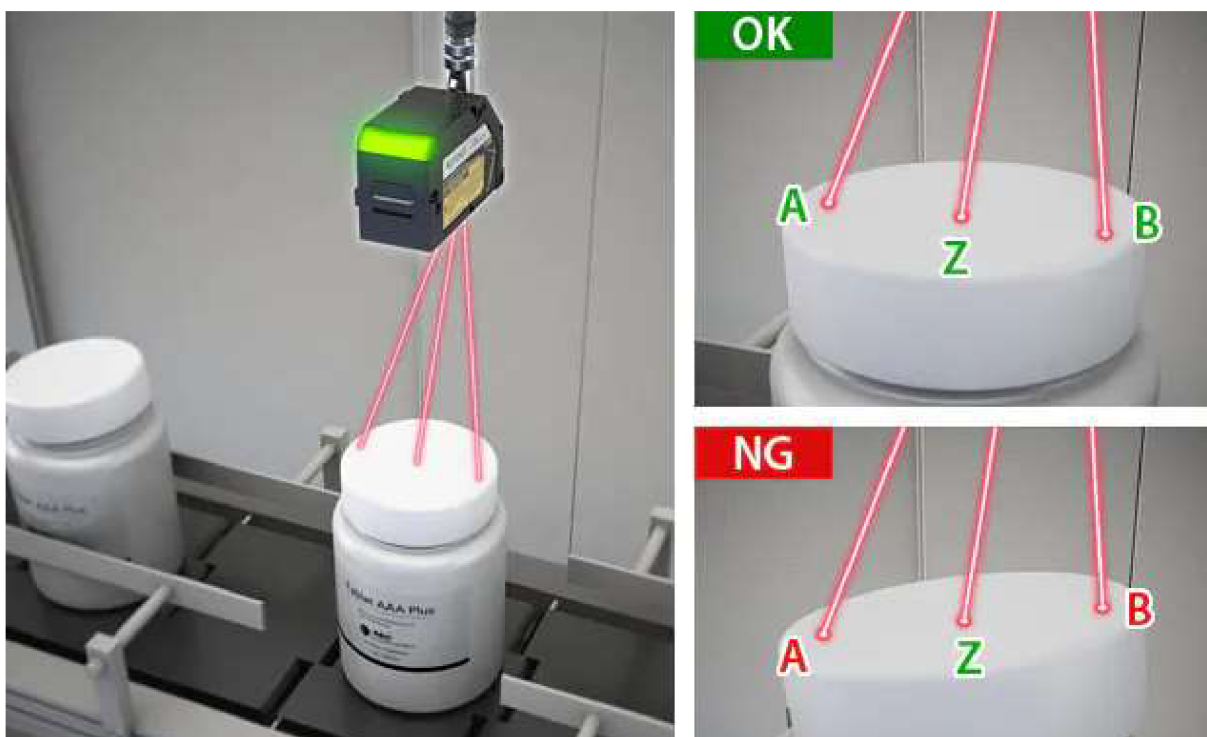
8.9 AUTOMATICKÁ KONTROLA SPRÁVNÉ POLOHY VENTILU V OTOČNÉM STOLE

Protože navlékání o-kroužků pracuje s malou vůlí vůči ventilu, je nutné, aby byl ve stole uložen přesně. Pokud by byl ventil nakloněn nebo jinak špatně umístěn, mohlo by dojít k poškození chapadel, nebo i celé navlékací hlavy.

Kvůli tomuto problému snímá ventil sensor, který je umístěn na stojanu přímo nad ním *Obr. 85*. Jedná se o laserový sensor řady IX, firmy Keyence. Sensor pracuje na principu rozdílné vzdálenosti mezi určitými body *Obr. 86*. Je proto schopen detekovat nakloněný nebo i chybějící ventil. [32]



Obr. 85 Senzor s držákem (kontrola správné polohy ventilu) [32]



Obr. 86 Princip funkce senzoru Keyence řady IX [33]

9 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ

9.1 TECHNICKÉ HLEDISKO

Z technického hlediska se dá říci, že se jedná o stanici výrazně složitější, než bylo původní stanoviště, kde navlékala o-kroužky obsluha. Došlo však k výraznému zrychlení taktu, který je nyní přibližně 5 sekund na kus. Přesný čas nelze přesně určit, neboť bude z velké části záviset na rychlosti, s jakou čidla vyhodnotí správnost montáže.

Další výhodou je, že navržená stanice nevyžaduje stálý dozor obsluhy. V ideálním případě by obsluha pouze vybírala kusy a doplňovala dopravníky. Jak často by musela obsluha kusy doplňovat a vybírat závisí na velikosti zásobníků, které by dodala externí firma.

Automatizovaná stanice z větší části úplně eliminuje lidskou chybu. Příkladem může být časté upuštění hylzny (používá se pro převlečení o-kroužku na ventil). Hylzna je leštěná a tenkostěnná, proto zpravidla dojde k jejímu poškození. Tento problém ještě zhoršuje obtížná výroba nové hylzny a nemožnost opravy hylzny poškozené.

V ohledu univerzálnosti je automatizované pracoviště obvykle horší než lidská obsluha. Na stanici totiž musí při změně typu dílu dojít k výměně množství komponent.

9.2 FINANČNÍ HLEDISKO

Protože k výrobě stanice se nakonec nepříkročilo, není možné přesně odhadnout cenu výroby. Celkovou cenu však můžeme přirovnat ke stanicím s podobnou funkcí a velikostí. V této práci však budou uvedeny pouze ceny za nakupované díly, u kterých bylo možné zjistit cenu. Oproti stanici s lidskou obsluhou bude automatizované pracoviště šetřit asi 700 000 Kč ročně (při stejném objemu výroby) a produkce může být až o polovinu vyšší. Následuje tabulka pořizovacích nákladů za využití komponenty *Tab. 3*.

Tab. 3 Ceny nakupovaných dílů [20; 21; 31; 16; 17; 30; 28; 32; 29; 26; 22]

Název dílu	Množství	Cena za kus	Cena celkem	Cena celkem
Senzor kamery CV-H200M	1	750,00 €	750,00 €	18 975,00 Kč
Objektiv kamery CA-LHR35	1	400,00 €	400,00 €	10 120,00 Kč
Podsvícená destička CA-DSW7	1	350,00 €	350,00 €	8 855,00 Kč
Festo DMF	2	510,00 €	1 020,00 €	25 806,00 Kč
AFAG LM 16-90	4	320,00 €	1 280,00 €	32 384,00 Kč
Senzor Keyence IX	1	1 000,00 €	1 000,00 €	25 300,00 Kč
Aventics 0822392002	2	69,00 €	138,00 €	3 491,40 Kč
Aventics s vedením (krátký zdvih) R412019211	2	685,00 €	1 370,00 €	34 661,00 Kč
Aventics s vedením (dlouhý zdvih) R412019186	2	700,00 €	1 400,00 €	35 420,00 Kč
Festo DSGB-32-100-PPSA-N3	1	170,00 €	170,00 €	4 301,00 Kč
Střídavý motor EMME-AS-60-M-LS-AMB	1	1 650,00 €	1 650,00 €	41 745,00 Kč
Převodovka EMGA-60-P-G5-EAS-60	1	650,00 €	650,00 €	16 445,00 Kč
Otočný modul ERMB	1	1 415,00 €	1 415,00 €	35 799,50 Kč
Schunk GAP	2	430,00 €	860,00 €	21 758,00 Kč
Cena celková			12 453,00 €	315 060,90 Kč

ZÁVĚR

Z výsledků práce je parné, že je vhodné lidskou obsluhu nahradit automatizovanou stanicí. Nová stanice automaticky zvládá činnost, u zaměstnanců neoblíbenou kvůli své monotónnosti, a navíc přináší zrychlení taktu. U nové stanici se však nedá říci, že uspoří místo, neboť i přes malé rozměry (960 mm x 700 mm), provádí na rozdíl od původní stanice pouze montáž o-kroužků. Stanice o-kroužky navléká a následně sama kontroluje, zda je pozice o-kroužků správná.

První konstrukční práce se týkala prodloužení chapadel Schunk. Z výpočtů vyplynulo, že tuhost chapadla je dostatečná i po prodloužení, a proto nebylo třeba dalších konstrukčních zásahů. Chapadla však nakonec nebyla ani vyráběna, neboť se ukázalo, že nejsou vhodná pro navlékání o-kroužků na přepadový ventil.

Základem stanice je navlékácí hlava, která byla po zkonstruování v jihlavském závodě Bosch vyrobena. Následně hlava prošla testy, kde se ověřovala funkčnost hlavy a kde se měřil takt se kterým je schopna navlékat o-kroužky. Konstrukce stanice byla započata až po úspěšném otestování hlavy.

Jelikož bylo ve firmě v průběhu práce rozhodnuto, že tato stanice nebude vyráběna firmou Bosch, ale bude objednána u jiné firmy, nebylo možné projekt více rozpracovat. Důvodem pro tento krok byla vysoká vytiženost oddělení JhP/TEF2, které by mělo výrobu na starost. Dalším důvodem bylo přenesení záruky na jinou firmu. Vytvořený koncept pracoviště však může být inspirací pro následující projekty firmy a samotná navlékácí hlava může být použita pouze s drobnými úpravami.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Bosch ČR - Lokality: Závody Bosch ČR. In: *Www.bosch.cz* [online]. ČR, 2020 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-v-ceske-republice/#lokalita>
- [2] Bosch ČR - Závod Jihlava: JhP Werk. In: *Www.bosch.cz* [online]. ČR, 2020 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-v-ceske-republice/jihlava/>
- [3] Exchange meeting Bosch diesel Jihlava. In: *HR Forum* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://hrforum.cz/akce/exchange-meeting-v-bosch-diesel-jihlava/>
- [4] Common Rail system - CRSN. In: *Bosch mobility solutions* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/commercial-vehicles/powertrain-systems/modular-common-rail-system/>
- [5] *Školení CP4 - Bosch: Pump CP4*. Jihlava, závod JhP, 2016.
- [6] Historie závodu JhP. In: *BoschDiesel25* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <http://www.boschdiesel25.cz/historie-zavodu.html>
- [7] *Technologický postup montáže ventilu ÚV: Logistika montáže ventilu ÚV*. Jihlava, závod JhP, 2016.
- [8] Historie firmy Schunk. In: *Schunk* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/o-firme/o-nas/profil/
- [9] Schunk - ORG hlava: Uchopovací systémy Schunk. In: *Schunk* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/org/
- [10] Schunk - ORG hlava - Princip funkce: Animace funkce. In: *Youtube* [online]. USA [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=_o8gn3c5Ya8
- [11] Historie firmy Ohrmann: Firma Ohrmann v datech. In: *Ohrmann* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.ohrmann.de/80-2-company-history>
- [12] *Předávací list - Stanice Ohrmann: Manuál ke stanici pro montáž o-kroužků*.
- [13] *Report ÚV ventil montage FeP: Bosch Feuerbach*. Jihlava, závod JhP.
- [14] Primo Automazioni - Experience. In: *Primo Automazioni* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.primoautomazioni.com/en/company/experience>

- [15] Primo Automazioni - O-ring assembly: Assembly machine O-rings on fittings. In: *Youtube* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=gafjVQAzeV8&t=1s>
- [16] Lanfeld - Pneumatický píst Aventics: 0822392002. In: *Lanfeld* [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.landefeld.de/artikel/de/0822392002-kpz-da-025-0015-00412241100002-aventics-kompaktzylinder-serie-kpz/OT-BRR004631>
- [17] Lanfeld - Pneumatický píst s vedením Aventics: R412019211. In: *Lanfeld* [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.landefeld.de/artikel/de/r412019211-msc-da-008-0020-hg-hm-hm-02-m-aventics-minischlitten-serie-msc-hg-hm/OT-BRR020857>
- [18] Endurance limit of materials. In: *Science Direct* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/endurance-limit>
- [19] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. Košice: Viena, 2000. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 80-889-2227-5.
- [20] AFAG LM 16-90. In: *AFAG* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.afag.com/en/products/detail/linear-modules-lm-16.html>
- [21] Festo DFM. In: *Festo CZ* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/valec-s-vedenim-metricky-id_DFM/
- [22] Shunk GAP. In: *Schunk CZ* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/gap/
- [23] Pneumatický válec Festo DSBG-32-100-PPSA-N3. In: *Festo CZ* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/1645464/?q=~:sortByFacetValues-asc>
- [24] Makrolon. In: *Plastum* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://plastum.cz/prumyslove-technicke-materialy/polykarbonat/>
- [25] Zámek AZM40. In: *Schmersal* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.schmersal.com/en/products/innovations/solenoid-interlock-azm40>
- [26] Servomotor Festo. In: *Festo* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.festo.com/us/en/a/2089733/?autoShowCad=true>
- [27] Převodovka Festo. In: *Festo* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/2297687/?siteUid=fox_cz&siteName=Festo+CZ
- [28] Otočný modul Festo. In: *Festo* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/otocne-moduly-id_ERMB/

- [29] Senzor kamery CV-H200M. In: *Keyence* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sys/cv-x100/models/cv-h200m/>
- [30] Objektiv CA-LHR35 Keyence. In: *Keyence* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sys/ca-l/models/ca-lhr35/>
- [31] Kontrastní destička CA-DSW7 Keyence. In: *Keyence* [online]. <https://www.keyence.eu/cscz> [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sys/ca-d/models/ca-dsw7/>
- [32] Senzor IX Keyence. In: *Keyence* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/sensor/positioning/ix/>
- [33] Aplikace senzoru Keyence řady IX. In: *Keyence* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/sensor/positioning/ix/applications/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C_{01}	[Pa]	Konstanta C_{01}
C_{10}	[Pa]	Konstanta C_{10}
D	[m]	Průměr pístu
DI	[Pa ⁻¹]	Parametr nestlačitelnosti
E	[Pa]	Youngův modul
g_j	[-]	Váha kritéria
n	[-]	Pořadové číslo
p	[Pa]	Tlak vzduchu v rozvodné síti
Re	[Pa]	Mez kluzu
Rm	[Pa]	Mez pevnosti
S	[m ²]	Plocha pístu
t_j	[-]	Hodnocení (1-5)
μ	[-]	Poissonovo číslo
ρ	[kg/m ³]	Hustota

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Výkres sestavy a výrobní výkresy navlékací hlavy