



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

MODIFIKACE MONTÁŽNÍ LINKY PRO VÝROBU ELEKTROMAGNETICKY OVLÁDANÝCH PNEUMATICKÝCH VENTILŮ

MODIFICATION OF ASSEMBLY LINE FOR PRODUCTION OF ELECTROMAGNETICALLY
CONTROLLED PNEUMATIC VALVES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN PALACKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ KREJSA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Palacka

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

obor: **Mechatronika (3906T001)**

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:

Modifikace montážní linky pro výrobu elektromagneticky ovládaných pneumatických ventilů

v anglickém jazyce:

Modification of assembly line for production of electromagnetically controlled pneumatic valves

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro existující montážní linku určenou na výrobu elektro-magneticky ovládaných ventilů, která je z hlediska montážního procesu nevyvážená, navrhnete její modifikaci z hlediska optimalizace a ergonomie výrobního procesu s implementací Poka-Yoke systému za účelem zefektivnění výroby a snížení míry rizika vzniku chyby při montáži produktu. Návrh modifikace musí umožňovat výrobu nového typu pneumatického ventilu. Při řešení problému zohledněte požadavky zákazníka a lean principy výrobní firmy. Analyzujte vypracované řešení vzhledem k nárokům na dostupné prostředky pro realizaci. Na závěr komplexně vyhodnoťte navrhované řešení a další možnosti optimalizace.

Tato práce je zadána a bude řešena ve spolupráci se společností IMI International - Norgren CZ , Modřice, Czech Republic.

Cíle diplomové práce:

- 1) Základní rešerše o systému Poka – Yoke ve výrobním procesu
- 2) Popis produktu, definice funkce
- 3) Komplexní návrh modifikace montážní linky pro výrobu pneumatických ventilů
- 4) Návrh aplikování systému Poka – Yoke na výrobní proces pneumatických ventilů, jeho řídicí algoritmus, samotné provedení a volba vhodných typů snímačů
- 5) Vypracování dokumentace montážní linky tak, aby podléhala normě pro automobilový průmysl ISO/TS 16949
- 6) Vypracování základního rozpočtu projektu a jeho návratnosti

Seznam odborné literatury:

- Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995
- Tarcisio Abreu Saurin, José Luis Duarte Ribeiro, Gabriel Vidor: A framework for assessing poka-yoke devices
- Toni L. Doolen, Marla E. Hacker: A review of lean assessment in organizations: An exploratory study of lean practices by electronics manufacturers
- Andrea Chiarini: Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office
- produktové listy k ventilům společnosti IMI International - Norgren CZ
- stávající dokumentace výrobní linky

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

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

V Brně, dne 12.11.2012

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

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

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá návrhom modifikácie montážnej linky pre výrobu elektromagneticky ovládaných pneumatických ventilov.

Začiatok tejto práce je venovaný teoretickému popisu najčastejšie používaných systémov Poka-Yoke slúžiacich na zabránenie vzniku chyby v montážnom procese. Ďalej je v práci popísaný analytický nástroj FMEA, ktorý sa používa na detekciu slabého miesta v procese. Ďalšia kapitola sa venuje popisu ventilov vyrábaných na montážnej linke. Hlavná časť je zameraná na návrh modifikácie procesu a konštrukčné riešenie s voľbou vhodných snímačov na úpravu vybraných operácií. V poslednej časti práce je vytvorený vývojový diagram pre riadiaci algoritmus, dokumenty FMEA a procesná mapa modifikovaného procesu podľa normy pre automobilový priemysel a odhadovaný rozpočet projektu s vypočítanou dobou návratnosti tohto projektu.

Kľúčové slová

Poka-Yoke, FMEA, pneumatický ventil, štíhla výroba, automatizácia

Abstract

This thesis deals with proposal of assembly line modification for production of electromagnetically controlled pneumatic valves.

The beginning of this thesis is dedicated to the theoretical study the most common Poka-Yoke systems, which are used for mistake avoiding in assembly process. There is described analytical analysis FMEA, which is used for detection of weak place in process. The next chapter is focused on description of valves manufactured on this assembly line. Main part of thesis is dedicated to proposal for process modification and design solution with choosing of appropriate sensors for some operations. There are created documents as a flow-chart for control algorithm, FMEA and process flow-chart for proposal according to automotive standard and estimated budget with counted payback period for whole project in last part.

Keywords

Poka-Yoke, FMEA, pneumatic valve, lean manufacturing, automation

Bibliografická citácia mojej práce:

PALACKA, M. *Modifikace montážní linky pro výrobu elektromagneticky ovládaných pneumatických ventilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 74 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D..

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne na základe pokynov a rád vedúceho práce, a že som všetky literárne zdroje uviedol v zozname použitej literatúry.

V Brne dňa: 20.5.2013

.....
Bc. Martin Palacka

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som sa chcel poďakovať všetkým, ktorí mi pomáhali pri vypracovaní tejto diplomovej práce. Predovšetkým by som sa rád poďakoval vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Jiřímu Krejsovi, Ph.D. za cenné rady. Ďalej by som sa rád poďakoval Ing. Jiřímu Filipčíkovi za umožnenie práce na tomto projekte a odbornú pomoc. V neposlednom rade takisto ďakujem všetkým členom oddelenia pre úžitkové vozidlá v spoločnosti IMI Norgren CZ, Modřice, ktorí mi pri písaní akoukoľvek formou pomohli.

OBSAH

1.	ÚVOD.....	9
2.	DEFINÍCIA PROBLÉMU A VYMEDZENIE CIEĽOV	10
2.1	Definícia problému	10
2.2	Vymedzenie cieľov	10
3.	POKA-YOKE VO VÝROBNOM SYSTÉME.....	12
3.1	Vznik a história	12
3.2	Princíp systému Poka-Yoke	12
3.3	Použitie systému na zamedzenie chýb.....	13
3.3.1	FMEA a jej typy.....	14
3.4	Rozdelenie Poka-Yoke systémov	20
3.4.1	Mechanické Poka-Yoke	21
3.4.2	Senzorické Poka - Yoke.....	24
4.	POPIS PRODUKTU, DEFINÍCIA FUNKCIE.....	32
4.1	Ventil s nízkym telom	32
4.2	Ventil s vysokým telom	33
5.	NÁVRH MODIFIKÁCIE MONTÁŽNEJ LINKY.....	35
5.1	Rozdelenie linky	35
5.2	Časová rovnováha a výstup pôvodnej linky	36
5.3	Modifikácia procesu, jej časová rovnováha a výstup.....	39
5.4	Konštrukčné riešenie modifikácie montážnych operácií s využitím Poka-Yoke.....	41
5.4.1	Operácia lisovanie guľôčky.....	41
5.4.2	Vysoko-napäťový a hlavný test	45
6.	INTERNÝ VÝVOJOVÝ DIAGRAM PRE RIADIACI ALGORITMUS	66
7.	DOKUMENTÁCIA PODĽA ISO/TS 16949.....	67
8.	ODHADOVANÉ NÁKLADY A ÚSPORY PROJEKTU.....	69
9.	ZÁVER	71
10.	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV.....	72
11.	POUŽITÁ LITERATÚRA	73

1. ÚVOD

Aktuálním trendem z hlediska výroby akéhokoliv produktu u mnohých firem ako i u firmy, ktorou je táto práca zadaná je využívanie princípov štihlej výroby, čo v podstate znamená efektívnu výrobu s minimálnymi nákladmi, požadovanou kvalitou a obmedzením rôznych druhov plytvania, napr. zamedzením možnosti vzniku chýb pri výrobe alebo montáži.

Táto práca sa zaoberá návrhom modifikácie existujúcej montážnej linky slúžiacej na výrobu elektromagneticky ovládaných ventilov. Samotná linka je z hľadiska montážneho procesu nevyvážená (plytvanie spôsobené prestojmi výrobných operátorov) a zastaraná (neimplementovaný systém na zabránenie vzniku chýb v dôležitých miestach montáže, nemožnosť úpravy testovacích programov pre nové typy ventilov z dôvodu zastaranej riadiacej jednotky). Z dôvodu významnosti zákazníka vyžaduje firemná politika úpravu tejto linky z hľadiska optimalizácie, ergonómie a konkurencieschopnosti.

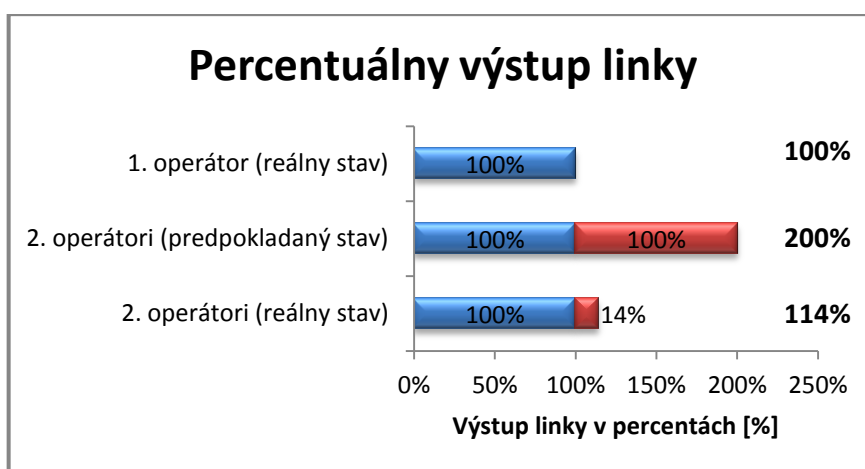
Prvá časť práce je zameraná na najčastejšie používané Poka-Yoke systémy v danej výrobnej firme, rozdelenie do hlavných skupín a popis princípu ich fungovania. Ďalšia časť je venovaná produktom vyrábaným na montážnej linke, teda pneumatickým ventilom, popisu ich funkcie a hlavných častí, z ktorých je následne na linke zhotovený finálny produkt.

Hlavná časť tejto práce je venovaná samotnému návrhu modifikácie montážnej linky a výrobného procesu. V prvom rade je analyzovaný súčasný stav z hľadiska efektivity a maximálneho výstupu. V ďalšej časti je navrhnutá úprava procesu, vyhodnotenie dosiahnuteľných výsledkov po vykonaní navrhovanej modifikácie a samotné konštrukčné riešenie určitých operácií s implementáciou Poka-Yoke systémov. Práca sa ďalej venuje návrhu vývojového diagramu pre riadenie procesu pomocou programovateľného logického automatu, vypracovaniu časti dokumentov, ktoré sú vyžadované normou umožňujúcou výrobu pre automobilový priemysel a na záver je zhrnutý odhad nákladov na realizáciu, predpokladané úspory a vyhodnotenie finančnej návratnosti projektu.

2. DEFINÍCIA PROBLÉMU A VYMEDZENIE CIEĽOV

2.1 Definícia problému

Súčasný stav montážnej linky je z procesného hľadiska optimalizácie, ergonómie a efektivity nevyhovujúci. Momentálny stav je taký, že pri jednej výrobnej zmene na linke pracujú dvaja operátori, pričom je pre výrobu ešte potrebný čas polovice pracovnej zmeny tretieho operátora, ktorý vykonáva výstupnú kontrolu hotových produktov. V prípade výroby s jedným operátorom dosahuje linka výstup 100%. Po pridaní druhého pracovníka do výroby je predpokladaný výstup dvojnásobný a teda 200%. Reálny výstup sa však pohybuje len na hodnote 114%, čo je obrovská neefektivita.



Obr. 1 – Percentuálny výstup pri výrobe s jedným a dvomi operátormi

Ďalším hlavným problémom linky je nedostatočná implementácia Poka-Yoke systémov. Tým pádom je na linke vysoká náchylnosť na vznik chyby, prípadne je vzniknutá chyba na začiatku procesu odhalená až na konci, čím vzniká plytvanie ako času operátora, stroja tak i materiálom, kedy už NOK ventil nie je možné rozobrať a opraviť ho.

2.2 Vymedzenie cieľov

Z predchádzajúcej definície problému sú stanovené nasledujúce ciele:

- vytvoriť prehľad najčastejšie používaných Poka-Yoke systémov a popísať spôsob identifikácie slabého miesta v procese pre aplikáciu tohto systému
- popísať produkty a ich hlavné časti, z ktorých sa na linke montuje finálny výrobok
- analyzovať časovú rovnováhu súčasnej linky
- navrhnúť spôsob modifikácie linky za účelom zrušenia jedného operátora so zachovaním približne rovnakého výstupu linky a analyzovať časovú rovnováhu modifikácie metódou nepriameho merania času
- vytvoriť konštrukčný návrh modifikovaných operácií s implementovaným systémom Poka-Yoke prostredníctvom softwaru SolidWorks

- u konštrukčného návrhu použiť automatizačné prvky za účelom zrušenia výstupnej kontroly tretieho operátora
- navrhnuť jednotlivé typy snímačov a kontrolné mechanizmy pre modifikované operácie
- vytvoriť vývojový diagram podľa interných štandardov firmy pre riadiaci algoritmus procesu
- vytvoriť dokumentáciu, ktorú je možné vypracovať pred samotnou realizáciou linky podľa normy pre automobilový priemysel
- odhadnúť náklady i úspory a z ich vzájomného pomeru určiť návratnosť projektu

3. POKA-YOKE VO VÝROBNOM SYSTÉME

Jedným z hlavných pilierov štíhlej výroby súčasných firiem je snaha o čo najefektívnejšiu výrobu. V praxi to znamená, že podnik sa snaží vyrábať len to, o čo má zákazník v skutočnosti záujem, s minimálnymi nákladmi a obmedzením plytvania. Metodika štíhlej výroby vychádza zo zabehnutých koľají rovnice zisku, kde nahradzuje zaužívaný spôsob tvorby ceny za produkt podľa [1]:

$$\text{Náklady} + \text{Zisk} = \text{Cena} \quad (3.1)$$

A nahradzuje ho nasledujúcou rovnicou podľa [1]:

$$\text{Cena} - \text{Náklady} = \text{Zisk} \quad (3.2)$$

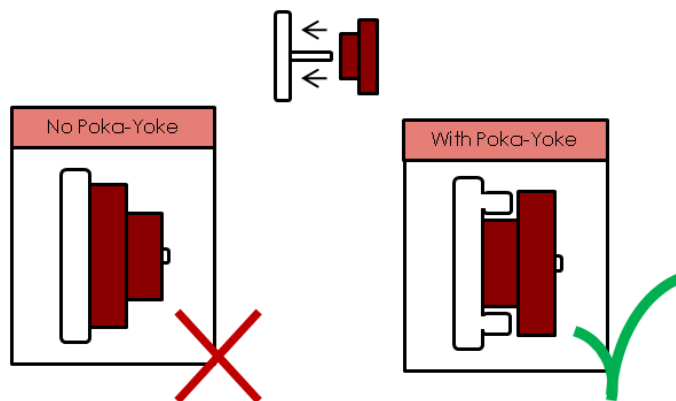
Druhá rovnica mení vzťah zákazníka a to takým spôsobom, že neplatí za prípadné chyby vzniknuté vo výrobnom procese. Z toho vyplýva, že ak dodávateľ chce maximalizovať zisk, musí minimalizovať náklady, vyhnúť sa plytvaniu, neefektívnosti, zabezpečiť čo najjednoduchší spôsob výroby, produkovať len to, za čo je zákazník ochotný zaplatiť a v neposlednom rade zamedziť tvorbe chýb vo výrobnom procese. Systém, ktorý sa využíva na zamedzenie vzniku chýb počas výrobného procesu sa nazýva Poka-Yoke.

3.1 Vznik a história

Slovné spojenie Poka-Yoke podľa [2] pochádza z japonského výrazu BakaYoke, čo v doslovnom preklade znamená „odolné voči hlupákovi“. Neskôr však bolo pomenovanie zmenené na formálnejší názov Poka (chyba) Yoke (predchádzať, vzdorovať, odolávať). Týmto slovným spojením teda označujeme nástroj na zamedzenie vzniku chýb. Tento systém bol formulovaný ako súčasť výrobnéj stratégie spoločnosti Toyota a konkrétne systému Toyota Production System, ktorý vytvoril základy pre štíhlu výrobu ako je chápaná dnes.

3.2 Princíp systému Poka-Yoke

Systém Poka-Yoke nám pri montáži neumožňuje urobiť chybu, prípadne chyba nie je akceptovaná na ďalšej operácii. Jednoduché porovnanie a vysvetlenie, aké výhody nám systém Poka-Yoke prináša môžeme vidieť na obr. 2. Montážnou úlohou, na ktorú je príklad zameraný je nasunutie červenej súčiastky na hriadeľ bielej súčiastky tak, ako to je vyobrazené v hornej časti obr. 2. Na ľavej strane môžeme vidieť, že danú operáciu je možné pri troche nepozornosti vykonať nesprávnym spôsobom, čím nám vznikne chyba počas výrobného procesu. Ak však na danú úlohu aplikujeme systém Poka-Yoke, spôsob montáže nám nedovolí nasunúť bielu súčiastku opačne. V tejto konkrétnej úlohe je systém Poka-Yoke realizovaný pomocou konštrukčného riešenia, kde na bielej súčiastke sú vytvorené drážky, ktoré nám neumožnia súčiastku nasunúť v opačnom smere. Tým sa zamedzí vznik chyby pri tejto konkrétnej montážnej operácii. Z tohto tvrdenia vyplýva, že ak v montážnom procese dokážeme aplikovať tento systém na každú jednu operáciu, môžeme dosiahnuť ideálneho stavu, ktorý úplne zamedzí možnosť vzniku montážnych chýb, čo je cieľom štíhlej výroby.



Obr. 2 – Montáž súčiastky bez systému Poka-Yoke a zo systémom Poka-Yoke [3]

3.3 Použitie systému na zamedzenie chýb

Hlavným dôvodom, prečo sa systém Poka-Yoke používa v sériovej výrobe je ten, aby sa zamedzilo vzniku chýb. Z toho nám vyplýva kolobeh, že ak dosiahneme technickými opatreniami zamedzenie vzniku chýb, znížime tým plytvanie materiálom. V praxi to znamená, že v ideálnom prípade nebudeme mať žiadne zmätky a tým pádom žiadne produkty, za ktoré nie je zákazník ochotný zaplatiť a to z dôvodu, že výrobok neodpovedá presným požiadavkám, ktoré žiadal. Týmto spôsobom zamedzíme plytvaniu, ktoré vzniklo pri samotnej výrobe NOK kusu (náklady na materiál, na mzdu výrobného operátora a prípadne ďalších ľudí, ktorí sú nepodmienečne potrebný pre výrobný proces). V prípade dosiahnutia tohto cieľa je okamžite možné znížiť koncovú cenu pre zákazníka. Nasledujúca vec, ktorá nám vyplýva zo zníženia ceny je spokojnosť zákazníka. Týmto je možné dosiahnuť konkurenčnej výhody voči ostatným predajcom a následne sa kolobeh dôsledkov aplikovania systému Poka-Yoke uzatvára, kedy sa opäť vraciame k prvému kroku, ktorý zahŕňa zamedzenie chýb na ďalšej montážnej operácii. Celý tento kolobeh môžeme vidieť graficky zobrazený na obr. 3.



Obr. 3 – Dôsledky vyplývajúce z aplikovania systému Poka-Yoke na výrobný proces [4]

Implementácia systému Poka-Yoke do sériovej výroby prebieha nasledovnými krokmi:

- identifikácia rizikového miesta vo výrobnom procese, kde vznikajú chyby
- stanovenie koreňovej príčiny spôsobujúcej chyby v procese (napríklad pomocou metódy 5whys)
- výber najvhodnejšieho technického riešenia pre daný typ úlohy
- skúšobná prevádzka mimo sériovej výroby
- vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov, priestor pre optimalizáciu navrhovaného riešenia
- implementácia do sériovej výroby prostredníctvom inžinierskej zmeny alebo pomocou implementácie nového produktu
- bilancia dosiahnutého výkonu výroby v sériových podmienkach, porovnanie voči pôvodnému stavu

Systém Poka-Yoke sa teda v prvom rade aplikuje na montážne operácie vo výrobnom procese, ktoré sú najproblémovjšie. Analýza výrobného procesu z hľadiska problémových miest sa vykonáva pomocou nástroja štíhlej výroby, ktorý sa nazýva FMEA (Failure mode and effect analysis), ktorý skúma vznik všetkých možných chýb, ktoré môžu vzniknúť počas výrobného procesu.

3.3.1 FMEA a jej typy

Analytická metóda P-FMEA patrí do skupiny nevyhnutných dokumentov potrebných pre certifikovanú výrobu komponentov pre automobilový priemysel podľa normy ISO TS/16949. V súčasnosti existuje viacero typov tejto metódy:

- D-FMEA (Design FMEA) – analyzuje vznik chýb z hľadiska konštrukcie, návrhu daného výrobku a následného ovplyvnenia samotnej funkcie produktu
- P-FMEA (Process FMEA) – analyzuje vznik chýb počas montážneho procesu daného výrobku a následného ovplyvnenia samotnej funkcie produktu
- C-FMEA (Concept FMEA) – analyzuje chyby na základe konceptu daného produktu v prvej fáze návrhu produktu
- S-FMEA (System FMEA) – analyzuje vznik chýb systému alebo podsystémov a sústreďuje sa na ich vzájomné ovplyvňovanie

Z dôvodu zamerania sa na Poka – Yoke systémy v montážnom procese koncového produktu je v ďalšej kapitole popísaná procesná analýza P-FMEA, podľa ktorej sa odvíja aplikovanie systému Poka – Yoke na výrobný proces. V prvom rade je však dôležité mať v rámci možností optimalizovanú konštrukciu a samotný návrh výrobku pomocou D-FMEA, pretože vzniku mnohých chýb je možné predísť už pomocou konštrukčného návrhu. Z hľadiska štíhlej výroby sa odporúča až po vykonaní tohto kroku sústrediť sa na procesnú analýzu vzniku chýb.

3.3.1.1 Procesná FMEA (P-FMEA)

Táto analýza sa zaoberá rozkladom výrobného procesu na jednotlivé montážne operácie a následne klasifikuje potenciálne možné chyby pri výrobe, ich dôsledky na funkciu vyrábaného produktu a vyhodnocuje riziká z hľadiska potenciálnych chýb. Veľmi dôležité je, aby analýza nebola vypracovávaná len jedným

človekom. Ak tomu tak v skutočnosti je, hrozí riziko, že vo FMEA nebudú zahrnuté všetky možné potenciálne poruchy. V takomto prípade hrozí, že samotná analýza nebude efektívna. Z tohto dôvodu je potrebné tento dokument vypracovávať v tíme, v ktorom by mal byť taký počet ľudí, aby boli zahrnuté všetky oblasti súvisiace s výrobou produktu. V ideálnom prípade by mal tím obsahovať tieto pozície:

- konštruktér (dizajnér produktu)
- procesný inžinier
- inžinier kvality
- majster výroby
- technik kvality
- výrobný operátor

V takomto zložení je možné dosiahnuť najlepších výsledkov z hľadiska analýzy potenciálnych porúch.

Príklad, na ktorom je analýza popísaná v nasledujúcich tabuľkách sa zaoberá montážnou operáciou sériovej výroby lisovania tesniacej guľôčky do otvoru tela pneumatického ventilu pomocou ručného lisu. Požiadavka na túto operáciu je, aby guľôčka utesnila technologický otvor na tele ventilu a tým nedochádzalo k nežiaducim únikom pracovného média, ktoré by spôsobili nefunkčnosť ventilu. V ďalšej časti výrobného procesu je ventil testovaný pomocou manuálneho testeru. Postup pri analyzovaní výrobného procesu pomocou metódy FMEA je nasledovný:

V prvom rade je montážny proces rozdelený na jednotlivé montážne operácie. Toto rozdelenie musí byť totožné s procesnou mapou (flow-chart) a to z dôvodu, že tieto dva dokumenty sú navzájom prepojené. Následne sa postupne analyzujú všetky montážne operácie. Príklad, na ktorom je analýza popísaná sa týka len jednej operácie. V prvom rade sa u operácie určí, aké sú kladené požiadavky na daný krok procesu – tab. 1.

Krok procesu / Funkcia	Požiadavka (-vky)
1. Zalisovanie tesniacej guľôčky	Utesnenie otvoru

Tab. 1 – Krok procesu a naňho kladená požiadavka

V ďalšom kroku sa k montážnej operácii priradia všetky potenciálne možné poruchy, ktoré pri vykonávaní daného kroku môžu vzniknúť a ich dôsledky ako ovplyvnia funkciu, akosť a kvalitu produktu vzhľadom na požiadavky zákazníka. U lisovania guľôčky môže nastať chyba, že operátor vykonávajúci túto operáciu zabudne guľôčku zalisovať. V takomto prípade ventil nebude tesniť a to spôsobí jeho nefunkčnosť.

Nasleduje ohodnotenie „Závažnosti“ tejto poruchy podľa klasifikačnej tabuľky FMEA na stupnici od jedna do desať. Najvyššie hodnoty 10 a 9 reprezentujú taký stav, kde v prípade vzniku poruchy dochádza k životu nebezpečnému riziku a daný produkt môže ohroziť zdravie človeka. Hodnotu 8 dosahuje taký stav, kedy je výrobok nefunkčný ale v žiadnom prípade nepredstavuje žiadne riziko z hľadiska zdravia človeka, ktorý daný produkt používa. Ohodnotenie závažnosti klasifikáciou 7 až 5 sa použije vtedy, ak daný produkt je funkčný, ale zákazník pociťuje určitý druh

nespokojnosti, nepohodlia a produkt nepodlieha niektorým špecifickým požiadavkám zákazníka. Z hľadiska nespokojnosti sa hodnota určí v tomto rozmedzí. Ohodnotenie závažnosti hodnotami 4 až 2 sa používa v takom prípade, keď výrobok je funkčný ale jeho časti majú defekt ozdobných, prípadne dizajnových prvkov. Najnižšia možná hodnota 1 sa klasifikuje vtedy, ak porucha nijako neovplyvní akosť produktu, ktorý sa dostane ku koncovému zákazníkovi.

V popísanom príklade bez zalisovania guľôčky nebude ventil tesniť a tým pádom bude nefunkčný. Podľa predchádzajúceho postupu je táto porucha podľa klasifikácie závažnosti ohodnotená číslom osem - nefunkčnosť. Pri každej poruche sa vždy uvažuje najhorší možný stav, ktorý v dôsledku poruchy môže na koncovom výrobku nastať. Tento postup sa následne vykoná pre všetky možné potenciálne poruchy – tab. 2.

Možný spôsob poruchy	Možné dôsledky poruchy	Závažnosť Severítý
Absencia guľôčky	Netesnosť	8
Nedolisovaná guľôčka	Netesnosť	8
Zámena za väčšiu guľôčku	Deformácia tela – estetická chyba	6
Zalisovanie dvoch guľôčok do diery	Deformácia tela – estetická chyba	6
	Netesnosť	8
Nečistota na guľôčke	Netesnosť	8

Tab. 2 – Potenciálna porucha, jej dôsledok a závažnosť

Ďalšia časť analýzy – tab. 3 sa zaoberá príčinami, ktoré môžu spôsobiť potenciálnu poruchu a prostriedkami, ktoré sú vynaložené na preventívne opatrenia voči vzniku analyzovanej poruchy. Následne klasifikujeme tzv. „Výskyt“ podľa klasifikačnej tabuľky podľa toho, ako často sa daná porucha v sériovej výrobe vyskytuje.

Vyhodnotenie možnej príčiny vzniku potenciálne možnej poruchy absencie guľôčky prebieha nasledovne. Väčšina chýb, ktoré vzniknú v montážnom procese sú zapríčinené chybou operátora. Robiť chyby je priamo ľudská vlastnosť a preto nie je možné sa spoliehať na bezchybnosť človeka. Ten sa môže počas výrobného procesu zamyslieť, stratiť pozornosť alebo môžu nastať iné nežiaduce javy, ktoré vplyvajú na kvalitu ľudskej práce. Z tohto dôvodu je nutné celý výrobný proces smerovať na cestu plne automatickej výroby s implementovanou Poka-Yoke metódou za účelom dosiahnutia v ideálnom prípade výroby s nulovými chybami. V prípade, ak je proces vykonávaný pomocou automatizačných strojov, možnými príčinami vzniku chýb je porucha stroja. Ak však v danej montážnej operácii nie sú žiadne automatizačné prvky, žiadne mechanické Poka-Yoke a je nám dovolené vykonať danú operáciu chybným spôsobom, vyhodnotíme možnú príčinu vzniku poruchy tak, že operátor nepostupoval podľa postupu v pracovnej inštrukcii, prípadne vykonal inú chybu.

Ďalej nasleduje zhrnutie všetkých procesov, ktoré slúžia na prevenciu vzniku chyby. Druhy prevencie môžu byť rôzne: pravidelné nastavovanie a údržba stroja, kalibrácia nástrojov a kľúčov, používanie montážnych prípravkov a podobne. V analyzovanej operácii lisovania guľôčky je však celý proces vykonávaný ručne a preto jediným nástrojom prevencie je pracovná inštrukcia, čo je v podstate návod opísaný krok po kroku s presnými pokynmi, podľa ktorého sa má operátor pri výrobe riadiť. Podľa tejto inštrukcie sa takisto vykonáva školenie operátorov nadriadeným pracovníkom, čo je takisto možné zaradiť do preventívnych opatrení.

Ďalej sa analyzuje „Výskyt“. Klasifikuje sa podľa klasifikačnej tabuľky hodnotami na stupnici 1÷10, ktoré reprezentujú pravdepodobnosť počtu kusov, u ktorých sa analyzovaná chyba vyskytla. Najvyššie hodnoty 10 a 9 znamenajú veľmi vysokú pravdepodobnosť výskytu vady (1 z 2 ks, 1 z 3 ks), hodnoty 8 a 7 reprezentujú stav, kedy je pravdepodobnosť vysoká a k poruchám dochádza často (1 z 8 ks, 1 z 20 ks), hodnoty 6 až 4 predstavujú miernu pravdepodobnosť výskytu chyby (1 z 80 ks, 1 z 400 ks, 1 z 2000 ks), hodnoty 3 a 2 znamenajú nízku pravdepodobnosť kedy sa vo výrobnom procese analyzovaná porucha vyskytuje pomerne málokedy (1 z 15000 ks, 1 zo 150000 ks). Najnižšia hodnota 1 sa použije vtedy, keď je konštrukčným riešením zabezpečené, že daná chyba nemôže vzniknúť a tým pádom je výskyt chyby nepravdepodobný (menej ako 1 zo 150000 ks).

V montážnej operácii lisovania guľôčky potenciálna chyba absencie elementu na skúmanej vzorke nenastala, ale konštrukčne problém nie je vyriešený tak, aby nemohol nastať a z toho dôvodu je výskyt ohodnotený hodnotou dva. Následne je postup analýzy možných príčin porúch, nástrojov riadenia prevencie ako aj ohodnotenie výskytu vykonaný pre všetky potenciálne možné poruchy.

Možný spôsob poruchy	Možné príčiny / mechanizmy poruchy	Nástroje riadenia pre súčasný proces prevencie	Výskyt Occurence
Absencia guľôčky	Operátor nepostupoval podľa pracovnej inštrukcie	Pracovné inštrukcie, školenie pracovníkov	2
Nedolisovaná guľôčka	Operátor nevykonával dostatočný posuv ručného lisu	Pracovné inštrukcie, školenie pracovníkov	2
Zámena za väčšiu guľôčku	Operátor nevychystal materiál podľa výkresu	Pracovné inštrukcie, školenie pracovníkov	3
Zalisovanie dvoch guľôčok do diery	Operátor nepostupoval podľa pracovnej inštrukcie a výkresu	Pracovné inštrukcie, školenie pracovníkov	2
	Operátor nepostupoval podľa pracovnej inštrukcie a výkresu	Pracovné inštrukcie, školenie pracovníkov	2
Nečistota na guľôčke	Operátor nepostupoval podľa predpisu údržby a poriadku	Vstupná kontrola, pravidelné čistenie zásobníkov	2

Tab. 3 – Možné príčiny poruchy, nástroje riadenia prevencie, výskyt poruchy

Jedným z posledných krokov analýzy pred záverečným vyhodnotením je skúmanie nástrojov riadenia pre súčasný proces detekcie, čo znamená súhrn prostriedkov a metód, ktoré sa používajú na odhalenie vzniknutej poruchy a ich

ohodnotenie podľa klasifikačných stupňov. Stupnica ohodnotenia sa takisto pohybuje v rozmedzí hodnôt 1÷10. Najväčšie riziko (hodnotu 10 a 9 na stupnici) predstavuje taký proces, v ktorom sa nepoužívajú žiadne nástroje ani prostriedky na odhalenie chyby. Takýto prípad nastáva vtedy, ak nie je možné poruchu na danej operácii a ani v priebehu výrobného procesu odhaliť. Hodnota 8 sa kvalifikuje vtedy, ak sa na odhalenie využíva len vizuálna kontrola operátora. Na hodnotu 7 sa dostaneme v takom prípade, ak sa špecifická vec kontroluje dva razy, pričom každý krát skúmanú vec kontroluje iná osoba. Pri klasifikácii detekcie hodnotou 6 je nástrojom na odhalenie manuálny test alebo kaliber, kde odčítanie hodnoty závisí na človekovi, hodnotu 5 predstavuje takisto manuálny test alebo kaliber, s tým rozdielom, že sa vykonáva zápis do záznamovej karty. Hodnoty od čísla 4 a nižšie predstavujú rôzne typy implementovaných systémov Poka-Yoke od mechanických prevedení až po plne automatické systémy. Hodnotou 1 môžeme kvalifikovať taký systém, u ktorého je na 100% isté, že bude porucha na danej operácii odhalená.

Pri konkrétnom prípade poruchy, kedy operátor zabudne zalisovať guľôčku do tela ventilu klasifikujeme „Odhalenie“ číslom 6 a to z dôvodu, že v ďalšej časti montážneho procesu prebehne test na únik vzduchu z ventilu (podľa popisu úlohy), ktorý nám v prípade absentujúcej guľôčky odhalí unikanie, kde následne kontrolujeme tesniace časti na produkte a nakoniec dospejeme k odhaleniu poruchy. Následne analyzujeme nástroje detekcie pre všetky ostatné potenciálne poruchy.

Možný spôsob poruchy	Nástroje riadenie pre súčasný proces <u>detekcie</u>	Odhalenie Detection
Absencia guľôčky	Testovacie zariadenie	6
Nedolisovaná guľôčka	Testovacie zariadenie	6
Zámena za väčšiu guľôčku	Dvojité vizuálna kontrola	7
Zalisovanie dvoch guľôčok do diery	Dvojité vizuálna kontrola	7
	Testovacie zariadenie	6
Nečistota na guľôčke	Testovacie zariadenie	6

Tab. 4 – Nástroje riadenia pre detekciu poruchy, odhalenie poruchy

Po analýze všetkých predošlých krokov sa dostávame k finálnemu ohodnoteniu rizika vzniku chyby, ktoré sa označuje skratkou RPN (Risk priority number). Výpočet tejto hodnoty prebieha podľa nasledovného vzorca:

$$\text{Závažnosť} * \text{Výskyt} * \text{Odhalenie} = \text{RPN} \quad (3.3)$$

Výsledkom tohto výpočtu je číselná hodnota v intervale:

$$< 1,1000 > \quad (3.4)$$

a to z dôvodu, že všetky premenné v rovnici môžu dosahovať číselných hodnôt v intervale:

$$< 1,10 > \quad (3.5)$$

Následně prebehne analýza výsledku, kedy sa hodnotí spôsobilosť montážnej operácie, pričom výsledky delíme do troch kategórií:

- **RPN<100**, v tomto prípade je proces spôsobilý a nie je potrebné vykonať žiadny zásah
- **100<RPN<200**, ak dosiahne výpočet RPN tejto hodnoty je nevyhnutné upraviť montážny proces tak, aby sa dosiahla taká hodnota, ktorá bude menšia ako 100. V tomto prípade majú nápravné opatrenia prioritu číslo dva a tento stav sa v dokumente označuje žltým podfarbením hodnoty.
- **RPN>200**, v prípade ak je hodnota RPN väčšia ako 200, znamená to, že montážny proces nie je spôsobilý a z tohto dôvodu je nevyhnutné okamžite vykonať nápravné opatrenia, aby sme dosiahli stavu, kedy bude proces spôsobilý. Tieto opatrenia majú prioritu číslo jedna a v dokumente sa označujú červeným podfarbením výslednej hodnoty.

Možný spôsob poruchy	Možné dôsledky poruchy	Závažnosť Severity	Výskyt Occurrence	Odhalenie Detection	RPN
Absencia guľôčky	Netesnosť	8	2	6	96
Nedolisovaná guľôčka	Netesnosť	8	2	6	96
Zámena za väčšiu guľôčku	Deformácia tela – estetická chyba	6	3	7	126
Zalisovanie dvoch guľôčok do diery	Deformácia tela – estetická chyba	6	2	7	84
	Netesnosť	8	2	6	96
Nečistota na guľôčke	Netesnosť	8	2	6	96

Tab. 5 – Výpočet RPN – rizika vzniku chyby

V ďalšom postupe je nevyhnutné navrhnúť nápravné opatrenia pre montážne operácie, ktoré sú z hľadiska montážneho procesu nevyhovujúce. Vysokú hodnotu RPN faktoru môžeme znížiť len v tom prípade, ak znížime výskyt alebo odhalenie. Závažnosť poruchy hocíjakými nápravnými opatreniami nie je možné ovplyvniť, pretože ak daná porucha v skutočnosti nastane, jej dôsledky zostanú stále rovnaké a nezáleží na tom ako bol produkt vyrábaný. Jedinou možnou cestou je zamerať sa na prostriedky umožňujúce efektívnejší spôsob odhalenia, prípadne prostriedky na zníženie výskytu chyby. Väčšinou sú však tieto dve zložky vo výpočte navzájom ovplyvnené. Po identifikovaní rizikových miest v procese prichádzajú na radu nápravné opatrenia.

V prvom kroku opatrení sa zameriavame na potenciálne poruchy s prioritou č. 1 (RPN>200), následne prioritami č. 2 (200>RPN>100). Potom sa navrhne doporučené opatrenie, ktorého cieľom je znížiť RPN na prijateľnú hodnotu. Určí sa osoba, ktorá bude zodpovedná za opatrenia (meno prípadne pozícia), určí sa termín plnenia a po jeho ukončení sa aktualizuje dokument s uvedením dátumu, kedy bol zásah do procesu realizovaný. Následne sa vykoná výpočet RPN s aktualizovanými hodnotami závažnosti, výskytu a odhalenia s uvažovanými nápravnými opatreniami.

V ukázkovom príklade lisovania guľôčky, kedy môže vzniknúť chyba použitia guľôčky s väčšími rozmermi (RPN=126) je navrhovaným opatrením mechanický kaliber s otvorom, ktorého priemer má rovnakú veľkosť ako je priemer používanej guľôčky. Úlohou operátora pred zalisovaním bude vložiť guľôčku cez tento kaliber do nádoby pod ním. Na spodnej strane kalibru by bola svetelná závara, čo je optický snímač, ktorý by signalizoval priechod guľôčky cez kaliber a tým pádom jej správny priemer. V tom prípade by pomocou riadiacej jednotky (PLC) bol odblokovaný posuv ručného lisu. V prípade, ak by rozmer guľôčky nebol vyhovujúci, nedošlo by k prerušeniu svetelného lúču na optickom snímači a riadiaca jednotka by neodblokovala posuv ručného lisu. Tým pádom by nebolo možné guľôčku zalisovať a zamedzilo by sa vzniku chyby – princíp Poka-Yoke. Dôležitou súčasťou tohto nápravného opatrenia by bol snímač polohy, ktorý by signalizoval vykonanie jedného kroku zalisovania, po ktorom by riadiaca jednotka posuv opäť zablokovala až do doby, kedy by bol opäť prerušený optický signál v svetelnej závore. Hodnotenie RPN s uvažovanými nápravnými opatreniami (tab. 6) by bolo nasledovné: závažnosť sa nemení, výskyt sa zníži na hodnotu 2 a použitím systému Poka-Yoke dosiahneme takisto zmenšenie zložky odhalenie na hodnotu 3 podľa klasifikačnej tabuľky. Ďalej nasleduje návrh doporučených opatrení pre všetky ostatné rizikové miesta v procese.

Možný spôsob poruchy	RPN	Doporučené opatrenia	Zodpovednosť	Termín plnenia	Splnené	Závažnosť Severity	Výskyt Occurrence	Odhalenie Detection	RPN
Zámena za väčšiu guľôčku	126	Mechanický kaliber so svetelnou závorou – Poka Yoke	Martin Palacka	7/2013		6	2	3	36

Tab. 6 – Nápravné opatrenia

Analýza P-FMEA sa používa na hľadanie najslabších miest vo výrobnom procese a tým pádom je to i vhodný spôsob na identifikáciu miest vhodných pre použitie systému Poka-Yoke. RPN číslo však nie je jediný faktor na vyhodnotenie danej operácie, ale môžu sa vyhodnocovať i jednotlivé zložky RPN čísla samostatne. V prípade, kedy je identifikované slabé miesto a vykonané rozhodnutie o použití systému Poka-Yoke, zostáva len určiť najvhodnejšie technické riešenie, podľa ktorého rozhodujeme o použití konkrétneho typu, ktorých v súčasnosti existuje veľké množstvo.

3.4 Rozdelenie Poka-Yoke systémov

Druhy Poka-Yoke systémov môžeme rozdeliť do dvoch hlavných skupín:

- **Mechanické Poka-Yoke**
- **Senzorické Poka-Yoke**

Ich vhodný výber a použitie závisí na špecifických požiadavkách a náročnosti úlohy, na ktorú chceme systém na zamedzenie vzniku chýb aplikovať.

3.4.1 Mechanické Poka-Yoke

Prvú skupinu hlavných typov systémov slúžiacich na zabránenie vzniku chyby vo výrobnom procese tvoria tzv. Mechanické Poka-Yoke. Tieto systémy sú voči druhej skupine senzorických systémov podstatne jednoduchšie z hľadiska realizácie a lacnejšie z pohľadu nevyhnutných nákladov. Ich hlavnou nevýhodou však je nemožnosť prepojenia s inými montážnymi operáciami a to z dôvodu, že neobsahujú prepojenie na riadiacu jednotku (výnimku tvoria mechanické spínače uvedené v kapitole 3.4.1.3). Ich použitie sa tým pádom väčšinou vzťahuje len na jednu montážnu operáciu, kedy je potrebné overiť rozmery montovanej súčiastky, zabezpečiť správnu orientáciu komponentu alebo bezpečnostnú vzdialenosť pracovníka obsluhujúceho výrobné zariadenie.

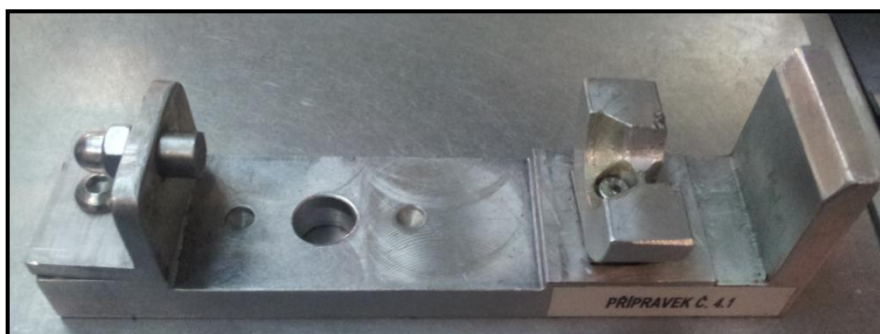
Môžeme ich rozdeliť podľa funkčného princípu do viacerých skupín:

- a) Tvarové aretačné prípravky
- b) Montážne pomôcky
- c) Mechanické spínače

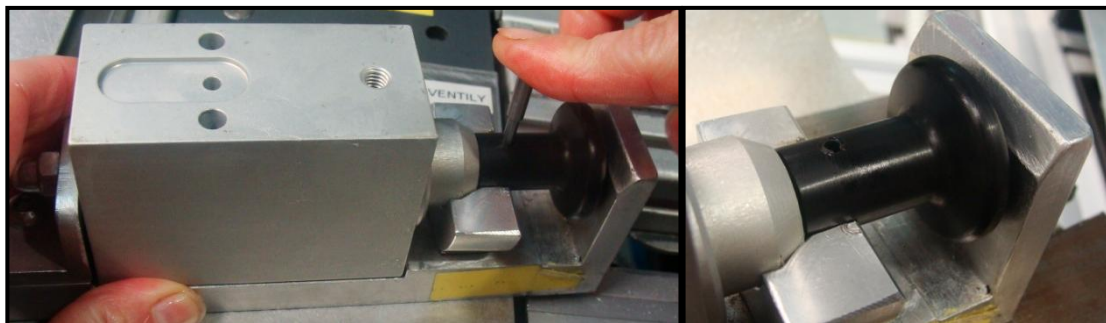
3.4.1.1 Tvarové aretačné prípravky

Tvarové aretačné prípravky sa najčastejšie používajú v prípade, ak hrozí riziko, že komponent bude namontovaný na výrobok nesprávne – napr. v nesprávnom poradí, nesprávne orientovaný alebo namontovaný na iné miesto ako požaduje špecifikácia zákazníka. Pri riešení tohto problému sa využíva jedinečný tvar produktu, ktorému je prispôsobený tvar prípravku a to takým spôsobom, že doňho rozpracovaný kus, prípadne montovaný komponent nejde vložiť inak ako v správnej polohe a tým pádom nie je možné pri montáži urobiť chybu. Nevýhodou tohto mechanického Poka-Yoke spočíva v tom, že chyba môže vzniknúť, ak operátor prípravok nepoužije a danú montážnu operáciu vykoná bez neho.

Na obr. 4 je možné vidieť tvarový aretačný prípravok, do ktorého sa vloží rozpracovaný kus výrobku s nasadeným prepínačom. Z hľadiska špecifikácie produktu je potrebné zaistiť polohu prepínača poistným kolíkom v presne stanovenej vzdialenosti. Z tohto dôvodu je prípravok konštruovaný tak, že komponent i s vloženým prepínačom je možné doňho vložiť len jedným a to správnym smerom (obr. 5). V prípade akejkolvek nezrovnalosti (chýbajúci komponent, zámena typu prepínača a tým pádom nesprávny rozmer vysunutia) nie je možné kus do prípravku vložiť, čo dáva signál operátorovi, že v procese vznikla chyba a priestor na jej nápravu.



Obr. 4 – Tvarový aretačný prípravok



Obr. 5 – Zalisovanie poistného kolíka pre aretáciu prepínača

3.4.1.2 Montážne pomôcky

Montážne pomôcky na rozdiel od tvarových prípravkov neslúžia pre uloženie alebo aretáciu vyrábaného produktu. Ich hlavnou funkciou je uľahčenie výrobného procesu, pričom tiež využívajú špecifický tvar produktu na zabezpečenie správnej montáže. Takisto neumožňujú iný spôsob montáže ako ten správny.

Na obr. 6 je uvedený príklad, kde je zobrazená montáž skrutky s tesniacim krúžkom do tela produktu. Požiadavkou na túto úlohu je utesnenie otvoru, čo by mala zabezpečovať sústredná poloha tesniaceho krúžku s otvorom. Riešením tohto problému je použitie montážnej pomôcky s výrezom pre tesniaci krúžok na zaistenie jeho správnej polohy. V prvom rade sa pomôcka nasunie na produkt a následne sa do výrezu umiestni tesnenie, ktoré má tým pádom zamedzený pohyb. Následne sa do otvoru vloží skrutka a dotiahne sa momentovým kľúčom tak, aby bol zamedzený pohyb tesniaceho krúžku pod skrutkou. Nie však na doraz, lebo musí byť možné pomôcku vytiahnuť. Pomôcka sa následne vytiahne a skrutka sa dotiahne kľúčom na predpísaný moment.

Nevýhodou takýchto systémov na zamedzenie chyby je takisto skutočnosť, že danú montážnu operáciu je možné vykonať bez použitia montážnej pomôcky.



Obr. 6 – Montáž skrutky s tesniacim krúžkom pomocou montážnej pomôcky

3.4.1.3 Mechanické spínače

Mechanické spínače sú jedinou kategóriou mechanických Poka-Yoke, ktoré môžeme pripojiť k radiacej jednotke procesu. Používajú sa pre také typy úloh, kedy je potrebné vykonať akciu vtedy, keď produkt, jeho súčiastka, človek alebo časť stroja dosiahne určitej polohy. V tomto stave dôjde k zopnutiu spínača, ktorý zabezpečí spustenie požadovanej akcie. Zabráni sa tým predčasnému spusteniu následnej operácie a tým pádom zamedzeniu potenciálnej chyby.

Ďalšou kategóriou mechanických spínačov sú tlačidlové spínače. Tie nie sú spúšťané automaticky, ale obsluhujúcim pracovníkom, ktorý sám vyhodnotí, kedy je potrebné požadovanú akciu vykonať. Jeho hlavnou úlohou je teda detekcia polohy obsluhujúceho pracovníka, prípadne pozície jeho končatín za účelom zabránenia vzniku úrazu. Mechanické spínače môžu byť vyhotovené vo viacerých prevedeniach, kde zopnutie obvodu je realizované rôznym spôsobom a môžeme ich teda rozdeliť:

- 1) Automatické spúšťanie
 - a) Kladkové spínače
 - b) Nášľapné dlaždice
 - c) Spínače s narážkou
- 2) Manuálne spúšťanie
 - d) Tlačidlové obojručné spínače

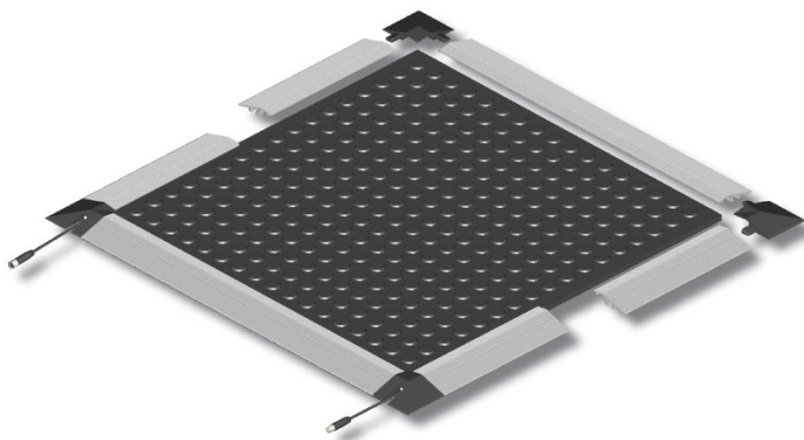
Kladkové spínače sa najčastejšie používajú ako koncové spínače. Princíp ich funkcie je taký, že kladka je umiestnená v polohe, ktorú chceme snímať. Vhodný príklad použitia môže byť kontrola polohy pojazdu poháňaného priamočiarym pneumotorom, ktorý zabezpečuje dopravu obrobku do miesta, z ktorého sa následne transportuje robotickou rukou na pásový dopravník. Kladka je umiestnená v dráhe piestnice pneumotora. V momente, kedy sa piestnica dostáva do koncovej polohy, naráža do kladky, ktorá je nútená sa zaklapnúť a tým pádom sa jej spínač zopne. V prípade prepojenia spínača kladky so spúšťacím obvodom robotickej ruky dosiahneme implementáciu Poka-Yoke, kedy zabránime spusteniu manipulátoru v prípade, ak produkt nie je v správnej koncovej polohe a tým pádom možné riziko poškodenia výrobku.



Obr. 7 – Mechanický kladkový spínač [8]

Nášľapné dlaždice vo výrobnom procese používame vtedy, ak chceme zabrániť novej manipulácii s komponentmi vyrábaného kusu alebo časťami zariadenia počas pracovného cyklu stroja a tým pádom vzniku chyby. Takisto ich je možné chápať ako užitočný nástroj z hľadiska bezpečnosti. Prostredníctvom tohto zariadenia môžeme jednoducho kontrolovať pozíciu obsluhy a dovoliť chod stroja len v takom prípade, kedy operátor stojí na mieste preňho vyhradenom. Princíp dlaždice je jednoduchý. V jej vnútri sú dve vodivé dosky, medzi ktorými sa nachádza množstvo pružných nevodivých podper. Po zaťažení dosky, kedy operátor stúpi na dosku, dôjde k stlačeniu pružných elementov a dve vodivé dosky sa navzájom spoja,

čím uzavřú elektrický obvod, ktorý je spojený s napájaním stroja a umožnia tak jeho samotné spustenie. Po odľahčení váhy z dlaždice je obvod pomocou pružných elementov opäť rozpojený.



Obr. 8 – Nášľapná dlaždica [7]

Tlačidlové spínače majú široké uplatnenie v otázke bezpečnosti práce a to najmä pri realizácii obojručného spínacieho mechanizmu, kedy sa zabezpečí bezpečná poloha rúk pracovníka mimo nebezpečný priestor počas pracovného procesu stroja, kedy by mohlo dôjsť k zraneniu. Princíp ich fungovania je jednoduchý a spočíva v tom, že na spustenie mechanizmu musia byť súčasne stlačené obe tlačidlá po celú dobu pracovnej činnosti stroja (logická funkcia AND).



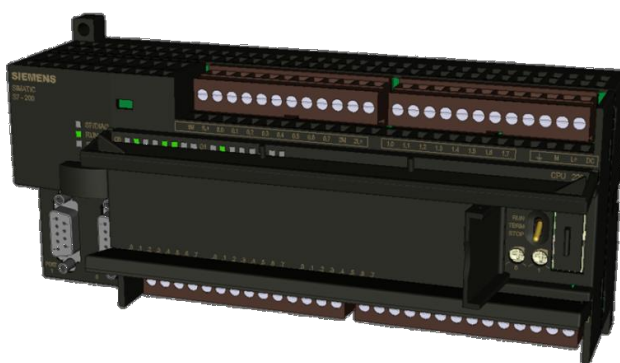
Obr. 9 – Obojručný bezpečnostný spínač s centrálnym vypínačom [6]

3.4.2 Senzorické Poka - Yoke

Druhú skupinu systémov na zabránenie vzniku chýb tvoria tzv. Senzorické Poka-Yoke. Tieto systémy sú oproti mechanickým značne zložitejšie a takisto nákladnejšie. Pomocou nich však môžeme zabrániť vzniku chyby aj pri náročnejších úlohách, u ktorých by použitím mechanických systémov úloha nebola realizovateľná. Hlavný rozdiel pri porovnaní s prvou skupinou typov Poka-Yoke je v tom, že obsahujú rôzne druhy snímačov, ktorých signály sú následne vyhodnocované pomocou riadiacej jednotky. Pre tieto aplikácie sa najčastejšie ako mozog celého systému používa programovateľný logický automat (PLC).

Programovateľný logický automat je zariadenie, ktoré sa používa na riadenie procesov v automatizačnej technike. Jeho hlavnými časťami sú vstupy a výstupy, ktoré je možné vo vzájomnej interakcii programovať pomocou rôznych typov

programovacích prostředí v závislosti od výrobcu daného typu jednotky. PLC pracuje na takom princípe, že v jednom okamžiku dostáva signály zo vstupných portov, ktoré následne spracuje pomocou softwarového programu a následne vyhodnotí príslušný akčný zásah pre danú situáciu a odošle signál na výstupy. Chod programu beží v reálnom čase a je treba poznamenať, že prebieha cyklicky. Na vstupy sa najčastejšie privádzajú signály od senzorických prvkov systému. Pomocou nich monitorujeme aktuálny stav v riadenom procese. Tieto prvky môžu byť rôzne typy snímačov meraných veličín. Na výstupy sa zasa pripájajú akčné členy, pomocou ktorých je vykonávaný zásah do procesu. Najčastejšie to sú rôzne typy elektromotorov, pneumotorov, cievky na elektromagneticky ovládaných rozvadzačoch, LED diódy, relé, svetelné signalizácie a pod.



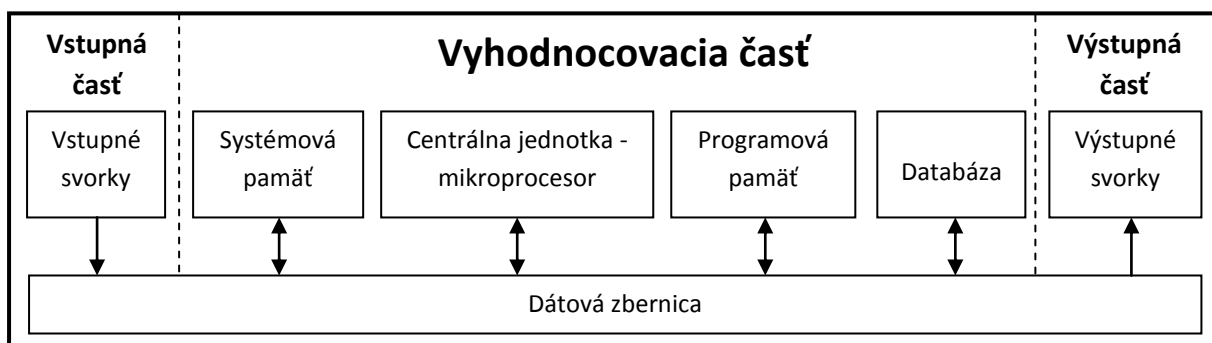
Obr. 10 – Programovateľný logický automat Siemens Simatic S7-200 [9]

Použitie programovateľných logických automatov v automatizačnej technike má množstvo výhod:

- jednoduchá zmena riadiaceho programu (prebieha len na softwarovej úrovni)
- vysoká odolnosť zariadenia voči nepriaznivým podmienkam (prašnosť, vibrácie a pod.)
- flexibilita použitia pre rôzne technické odvetvia
- malé rozmery voči klasickým reléovým obvodom
- vysoká spoľahlivosť z dôvodu použitia polovodičových prvkov
- možnosť prispôbovania počtu vstupov a výstupov vzhľadom k stavebnicovej štruktúre – k dispozícii dostatočné množstvo (desiatky až stovky)
- pomerne nízka cena

Medzi nevýhody môžeme zaradiť nasledujúce veci:

- menší programátorský komfort z hľadiska tvorby riadiaceho algoritmu
- chýba možnosť priameho pripojenia externého displeju



Obr. 11 – Blokové schéma PLC

PLC ako časť Poka-Yoke systému vyhodnocuje situácie, ktoré vo výrobnom procese nastali a v prípade odhalenia chyby zablokuje montážnu operáciu, ktorá práve prebieha, prípadne niektorú z nasledujúcich operácií, čo donúti zastaviť výrobu a tým pádom dosiahneme zamedzenie priechodnosti chybného produktu linkou. Z toho vyplýva, že pri použití tohto systému dokážeme zabezpečiť prepojenie jednotlivých operácií a interaktívne ich v závislosti na sebe v reálnom čase ovplyvňovať, čo je obrovská výhoda.

Najčastejšie používané senzorické Poka-Yoke využívajúce prepojenie s PLC môžeme rozdeliť do viacerých podskupín, podľa princípu a typu zariadenia, ktoré využívajú na vyhodnotenie OK / NOK stavu:

- a) Detekcia kapacitnými snímačmi
- b) Detekcia optickými snímačmi
- c) Detekcia indukčnými snímačmi
- d) Detekcia kamerovými systémami
- e) Značenie čiarovými kódmi
- f) Detekcia farieb
- g) Váženie hmotností
- h) Silomery
- i) Časovače
- j) Mechanické označovanie kusov
- k) Tlač štítkov a následné označovanie výrobkov
- l) Automatická separácia OK / NOK kusov

3.4.2.1 Detekcia kapacitnými snímačmi

Kapacitné snímače pracujú na princípe snímania kapacity kondenzátoru senzora, ktorú môžeme vypočítať podľa [10] nasledovne:

$$C = \varepsilon_0 * \varepsilon_R * \frac{S}{d}, \quad (3.6)$$

kde C – výsledná kapacita, ε_R – permitivita materiálu, ε_0 – permitivita vzduchu, S – plocha elektród, d – vzdialenosť elektród

Z tohto nám vyplýva, že zmenu kapacity môžeme dosiahnuť tromi spôsobmi:

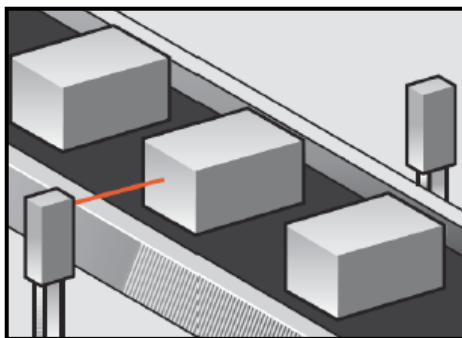
- zmenou vzdialenosti elektród
- zmenou plochy elektród
- zmenou permitivity materiálu, ktorá závisí na druhu dielektrika (jav využívaný u bezkontaktných snímačov)

Dielektrickým materiálom sú väčšinou nevodivé materiály, ale nie je to podmienka. Tým pádom je možné kapacitnými snímačmi snímať nevodivé ako aj vodivé materiály. Z tohto dôvodu kapacitné snímače z hľadiska použitia zaraďujeme do kategórie najuniverzálnejších. V praxi ich môžeme použiť na detekciu vzdialenosti, prítomnosti, rozmerov súčiastok, ďalej na separáciu kusov, snímanie hrán pracovného priestoru, rozpoznanie hrúbky fólií a pod.

3.4.2.2 Detekcia optickými snímačmi

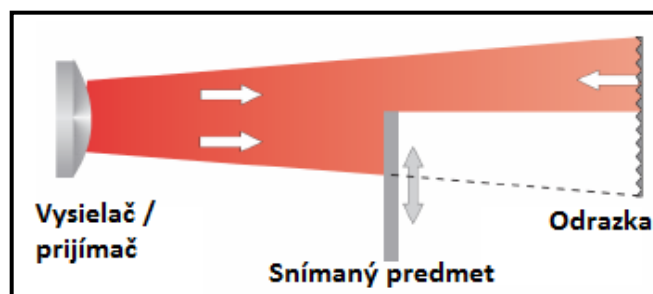
Optické snímače sa používajú najmä na detekciu prítomnosti predmetov alebo ako bezpečnostné prvky. Ich hlavnými časťami sú vysielateľ a prijímač. Princíp funkcie spočíva v tom, že vysielateľ vyšle optický lúč (podľa vlnovej dĺžky môže byť rôzny - infračervený, ultrazvukový, laserový alebo iného typu) a jeho cieľom je sa dostať do prijímača. Podľa rôznych parametrov sa vyhodnocuje prítomnosť predmetu (analyzuje sa, či vysielaný optický lúč sa dostal do prijímača, ďalej čas, za ktorý dorazil, prípadne intenzita samotného lúča). Môžeme ich rozdeliť do troch hlavných skupín:

- a) Jednocestná optická závora – charakteristickým znakom tohto snímača je jeho konštrukčné usporiadanie. Vysielateľ s prijímačom nie je uložený v jednom puzdre. Oblasť vyskytujúca sa medzi nimi je aktívna oblasť snímača. V prípade, ak sa optický lúč nedostane z vysielateľa do prijímača, znamená to detekciu predmetu v aktívnej oblasti.



Obr. 12 – Jednocestná optická závora [11]

- b) Reflexná závora – na rozdiel od predchádzajúceho typu sa vysielateľ i prijímač nachádza v jednom puzdre a vyhotovenie obsahuje odrazku, prostredníctvom ktorej sa lúč s vysielateľa dostane naspäť do prijímača za presne stanovený čas. V prípade, ak je do aktívnej oblasti vložený predmet, optický lúč sa vráti naspäť do prijímača za kratšiu dobu a tým pádom je predmet detekovaný.



Obr. 13 – Reflexná závora

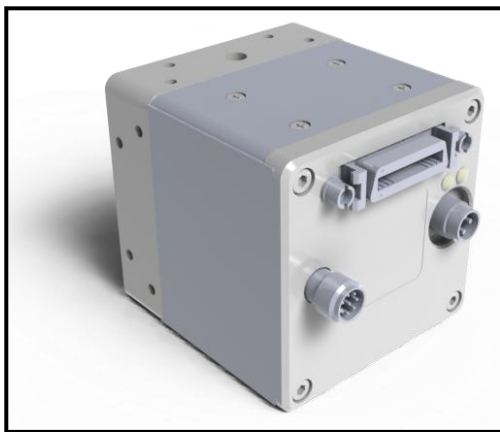
- c) Difúzny snímač – má podobné konštrukčné usporiadanie ako reflexná závora s tým rozdielom, že neobsahuje odrazku. Ako odrazová plocha umožňujúca návrat optického lúča naspäť do prijímača slúži samotný snímaný predmet. Z toho vyplýva, že ak sa lúč po odrazení dostane do prijímača v požadovanom čase, predmet je zosnímaný.

3.4.2.3 Detekcia indukčnými snímačmi

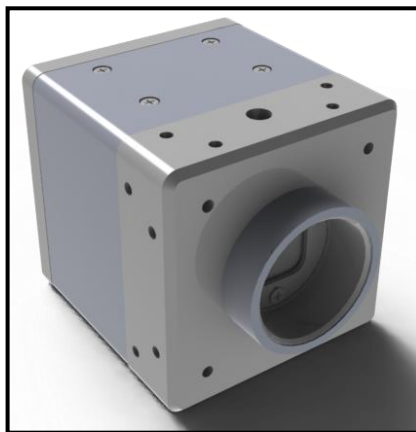
Indukčný snímač je schopný detekovať len také predmety, ktoré sú z feromagnetického materiálu. Táto skutočnosť značne ovplyvňuje oblasť použitia snímača, ktorá je napriek tomu veľmi široká. Samotný snímač je podľa [12] zložený z cievky a jej feromagnetického alebo neferomagnetického jadra, prípadne neferomagnetického jadra z elektricky vodivého materiálu. Pôsobením neelektrickej veličiny (napr. priblíženie sa feromagnetického materiálu do aktívnej oblasti snímača) dôjde k ich vzájomnému posuvu, prípadne zmene ich elektrických vlastností. Tento jav vyvolá zmenu indukčnosti cievky a tým pádom aj zmenu elektrického prúdu, ktorý preteká daným obvodom, čo nám detekuje prítomnosť predmetu v aktívnej oblasti snímača. Hlavnou výhodou týchto snímačov je jednoduchosť, cena, spoľahlivosť a medzi nevýhody patrí krátky dosah a možnosť rozpoznať len feromagnetické materiály.

3.4.2.4 Detekcia kamerovými systémami

Snímanie a následná detekcia pomocou kamerových systémov je založená na princípe zosnímania obrazu a jeho následnom spracovaní a vyhodnotení. V priemyselných aplikáciách je veľmi často kladená požiadavka na vykonávanie celého procesu spracovania obrazu v reálnom čase. Priemyselné kamery najčastejšie používajú CCD alebo CMOS snímače, pričom pre technické aplikácie snímania prítomnosti súčiastok a ich tvaru je dostačujúce rozlíšenie 2 megapixely, ktorého veľkosť značnou mierou ovplyvňuje dĺžku samotného spracovania. Dôležitou časťou kamerových systémov je software pre spracovanie obrazu, ktorý vo väčšine prípadov býva poskytnutý od dodávateľa. Najväčší problém pri samotnej realizácii býva negatívny vplyv osvetlenia na mieste aplikácie, ktorý je nutné v prvom rade eliminovať. Najväčší problém tvorí priame slnečné osvetlenie, kde jeho zamedzenie je dobrý predpoklad pre úspešné riešenie. Lepšia viditeľnosť kamier sa dosahuje pomocou externých prídavných osvetlení (napr. použitím difúzneho osvetlenia).



Obr. 14 – Priemyslová kamera - pohľad zozadu



Obr. 15 – Priemyslová kamera - pohľad spredu

3.4.2.5 Značenie čiarovými kódmi

Čiarové kódy sa v priemysle používajú na uchovanie dôležitých informácií o produkte za účelom možného načítania strojovým spôsobom – čítačkami čiarových

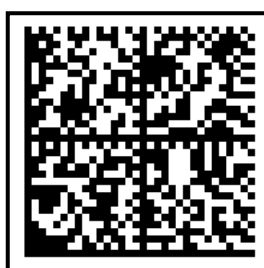
kódov. Klasické označenie produktu, ktoré je možné vidieť v supermarketoch je značenie pomocou 1D kódu. Z dôvodu uchovania väčšieho množstva informácií na menšej ploche sa však v priemysle používa tzv. 2D matrix (2D matica, 2D kód).

Vhodný príklad použitia je implementácia 2D kódu do pracovného príkazu s požiadavkou na výrobu presne stanoveného výrobku. Pracovník pomocou čítačky zosníma 2D kód, ktorý predá informáciu riadiacej jednotke, ktorá automaticky nastaví jednotlivé časti a parametre linky tak, aby zodpovedala výrobe daného typu produktu.

Ďalšia možnosť využitia 2D kódov je taká, že pred určitou časťou výrobného procesu je na produkt tento kód vytlačený alebo nalepený. Následne po naskenovaní kódu sú všetky výrobné informácie ukladané do databáze (číslo pracovníka, dátum výroby, číslo pracovnej zmeny, výsledky jednotlivých testov, ktorými produkt prešiel a pod.), pričom je zabezpečená možnosť spätného dohľadania za akých podmienok bol produkt vyrobený (užitočná vlastnosť v prípade reklamácie od zákazníka).



Obr. 16 – 1D čiarový kód



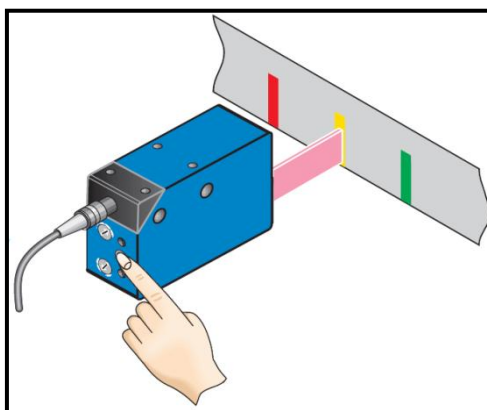
Obr. 17 – 2D matrix



Obr. 18 – QR kód

3.4.2.6 Detekcia farieb

Snímače na detekciu farby patria takisto do skupiny optických snímačov, s tým rozdielom, že sú špecializované na rozpoznávanie farieb v aktívnej oblasti snímača. Tento proces rozhodovania a následného určenia o akú farbu sa jedná takisto prebieha pomocou spracovania obrazu. Dôležitým parametrom, na ktorý je potreba brať ohľad pri použití je zachovanie minimálnej vzdialenosti snímaného predmetu od snímača. Na kvalitu výsledkov takisto vplyvajú majoritným charakterom svetelné podmienky. V súčasnosti sú na trhu dostupné snímače s vlastnosťou True colour, čo znamená že citlivosť snímania dosahuje hodnoty ekvivalentné ľudskému oku. Použitie v praxi má veľmi široký záber, či už sa jedná o triedenie výrobkov podľa farby, detekciu etikiet na produktoch, kontrolu kvality povrchových náterov, rozpoznávanie správnej orientácie výrobkov a podobne.



Obr. 19 – Snímač farieb [13]

3.4.2.7 Váženie hmotnosti

Váženie hmotnosti ako systém Poka-Yoke má široké uplatnenie v oblasti výstupnej kontroly a expedície. Používa sa najmä na kontrolu množstva produktov pre stanovené balenie. Funguje na takom princípe, že na základe požadovaného množstva (ktoré má určitú hmotnosť) vyhodnocuje, či sa v aktívnej oblasti váhy nachádza žiadané množstvo. V priemyselnej výrobe je častý príklad kontroly, že pokiaľ box neobsahuje správne množstvo výrobkov, nie je prostredníctvom tlačiarne vytlačená etiketa pre dané balenie, čím sa zabráni expedícii s nesprávnym množstvom kusov. Použitie tohto systému je možné vidieť aj v supermarketoch u samoobslužných pokladní, v ktorých je takisto implementovaná kontrola množstva zboží prostredníctvom váženia hmotnosti.

3.4.2.8 Silomery

Pomocou silomerov meriame silové zaťaženie a podľa tolerancií danej aplikácie následne vyhodnocujeme OK, prípadne NOK stav s následným prepojením na ďalšiu montážnu operáciu v prípade snahy uplatnenia Poka-Yoke systému. U väčšiny silomerov meriame silu prostredníctvom elastickej deformácie pružného elementu. Príklad použitia je meranie tuhosti pružiny (obr. 20), kde pre aplikáciu je nutné použitie pružiny s presnými parametrami, ktoré majú len malú toleranciu.

Do kategórie silomerov takisto môžeme zaradiť tenzometre, ktoré slúžia na meranie mechanického napätia, ktoré sa vyhodnocuje z deformácie telesa.

V prípade aplikácie pre Poka-Yoke systémy sa najčastejšie vyhodnocuje sila v závislosti na dráhe alebo opačne.



Obr. 20 – Zariadenie na meranie tuhosti pružiny

3.4.2.9 Časovače

Časovače sa používajú na dodržanie potrebného času pre vykonávanú operáciu. Pracujú na takom princípe, že až po vypršaní času je krok procesu ukončený, prípadne možné spustenie ďalšej operácie. Najčastejšie bývajú spojené s takými montážnymi krokmi, ktoré sú automatizované, napr. sušenie výrobku v sušičke, doba nanášania lepidla, laku, náteru, ďalej dĺžka zvárania, spájkovania a podobne.

3.4.2.10 Mechanické označovanie kusov

Mechanické označovanie kusov sa používa vtedy, ak chceme daný výrobok označiť bodkou, písmenom, znakom, prípadne slovom, pričom tieto znaky symbolizujú, že na danom produkte bola vykonaná určitá požadovaná operácia.

Príklad použitia môže byť u testovania výrobku, kedy je po úspešnom vykonaní testovacej sekvencie automaticky mechanickým razidlom vyrazený symbol, čo si následne zákazník môže na výrobku kedykoľvek skontrolovať. Využitie tohto systému takisto uľahčuje výstupnú kontrolu. Výhodou tohto spôsobu je, že vyrazený symbol nemôže byť zmazaný na rozdiel od označovania pomocou laku, farieb alebo sprejov. Nevýhodou však je malá mechanická deformácia produktu.

3.4.2.11 Tlač štítkov a následné označovanie výrobkov

Pri značení výrobkov štítkami alebo finálnymi etiketami je takisto možné implementovať spôsob Poka-Yoke. Vykonáva sa to takým spôsobom, že tlačiareň etikiet má prepojenie cez PLC na všetky alebo určitú časť vykonávaných montážnych operácií. To znamená, že etiketa pre finálny produkt je vytlačená až v takom prípade, kedy všetky sledované kroky prebehnú správne a testovacie sekvencie sú vyhodnotené OK stavom. Tým pádom nie je možné NOK výrobok označiť etiketou alebo štítkom.

3.4.2.12 Automatická separácia OK/NOK kusov

Zavedenie rôznych typov testovacích zariadení počas montážneho procesu značne obmedzilo prípady, kedy sa nefunkčný výrobok dostal k zákazníkovi. V prípade, ak testovacie zariadenie vykoná svoj proces a následne len pomocou zelenej a červenej LED diódy informuje pracovníka o výsledkoch testu, môže sa stať, že pracovník z dôvodu nepozornosti použije NOK kus ako OK kus ďalej v procese. Aby sa tomuto stavu zabránilo používa sa tzv. automatická operácia. Typov prevedenia v priemysle je nespočetne veľa ale vo všeobecnosti pracujú na takom princípe, že ak je kus vyhodnotený ako NOK, je robotickou rukou, manipulátorom, dopravníkom alebo i iným spôsobom premiestnený do separovaného boxu pre NOK kusy a v prípade OK stavu premiestnený na ďalšie montážne pracovisko.

4. POPIS PRODUKTU, DEFINÍCIA FUNKCIE

Na danej linke sa vyrábajú dve hlavné skupiny elektromagneticky ovládaných ventilov. Jedná sa o tieto typy:

- ventily s tzv. nízkymi telami
- ventily s tzv. vysokými telami

Každá táto podskupina ešte obsahuje rôzne typové modifikácie (iný typ tela, použitie rôznych komponentov, tvarové odlišnosti a pod.), pričom obrysové tvary sú pre každú podskupinu dva (dôležitý poznatok z hľadiska návrhu výrobných prípravkov pre montáž).



Obr. 21 – Všetky druhy tvarov ventilov vyrábaných na linke

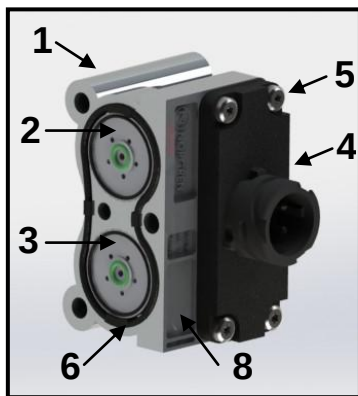
Dané ventily sa používajú u nákladných automobilov pre riadenie pneumatických rozvodov pomocných pohonov, prípadne pre aktiváciu systémov nadstavieb týchto vozidiel. Ich umiestnenie je prevažne v bloku prevodovky. Ďalšie veľmi časté použitie je u tzv. PTO systémov (Power take-off), ktoré slúžia na využitie výkonu motora vozidla, ktorý prenáša krútiaci moment na nápravu, na poháňanie iných adaptívnych zariadení na vozidle (príklad využitia môže byť použitie u požiarnického vozidla, kedy sa motor využije na pohon vodného dela). Pomocou týchto ventilov teda ovládame pripojenie motora na žiadanú sústavu. Pneumatickým systémom je ovládané len riadenie, samotný prevod už vykonávajú hydraulické systémy.

4.1 Ventil s nízkym telom

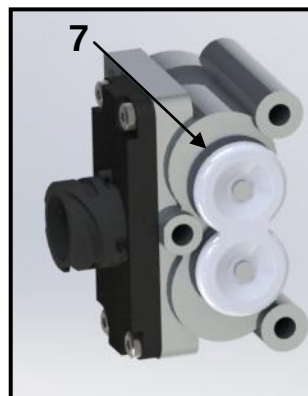
Vzhľadom na to, že jednotlivých produktov existuje viac, v nasledujúcej časti bude popísaný len jeden typ ventilu, ktorý obsahuje dve ventilové patróny. Samotný ventil sa teda skladá z nasledovných častí:

- telo ventilu (obr. 22 - 1)

- dve ventilové patróny (obr. 22 – 2,3)
- plastový konektor s tromi pinami (obr. 22 - 4)
- štyri skrutky (obr. 22 - 5)
- tvarové tesnenie (obr. 22 - 6)
- krytka (obr. 23 - 7)
- gumová membrána (pod krytkou)
- štítok s označením ventilu (miesto pre jeho umiestnenie je na obr. 22 - 8)



Obr. 22 – Ventil s nízkym telom – pohľad spredu



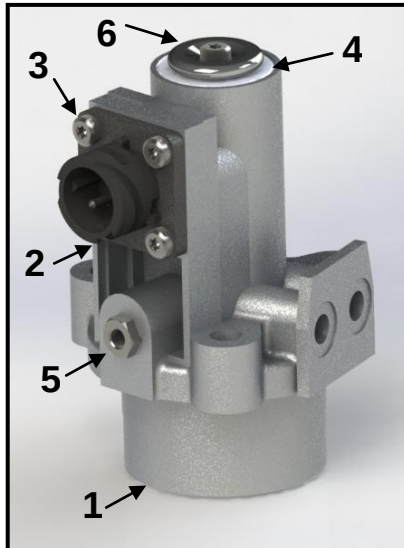
Obr. 23 – Ventil s nízkym telom – pohľad zozadu

Každá ventil patróna teda tvorí pneumatický rozvádzač 3/2 (3-cestný, 2-polohový), prostredníctvom ktorých sa riadi smer prietoku vzduchu. Obidva rozvádzače sú ovládané elektromagneticky pomocou cievky. Po privedení riadiaceho impulzu z napájacieho zdroja sa rozvádzač prepne do druhej polohy, kedy nastáva tzv. zopnutý stav. Po ukončení riadiaceho impulzu sa presunie opäť do pôvodnej polohy – jedná sa o monostabilný rozvádzač. Fyzicky sa prívod vzduchu na ventil patróna nachádza v strede a je ohraničený zeleným tesniacim krúžkom. Výstup tvorí medzikružie medzi zeleným a čiernym tesniacim krúžkom na ventil patróna do ktorého ústi 5 otvorov. Samotný R-port sa nachádza na druhej strane ventil patróny.

4.2 Ventil s vysokým telom

U ventilov s vysokými telami sa takisto vyskytuje viacej typov modifikácií a preto je v nasledujúcej časti popísaný len jeden typ. Na rozdiel od ventilov s nízkymi telami tieto ventily obsahujú len jednu ventilovú patrónu a tým pádom len jeden pneumatický monostabilný rozvádzač ovládaný elektromagneticky pomocou cievky a pružiny. Ventil s vysokým telom sa teda skladá z nasledovných hlavných častí:

- telo ventilu (obr. 24 - 1)
- ventil – patróna (vo vnútri tela)
- plastový konektor s dvomi pinami (obr. 24 - 2)
- štyri skrutky (obr. 24 - 3)
- závitová matica s aktivačným lepidlom (obr. 24 - 4)
- tesniaca guľôčka (zalisovaná v závitovej matici)
- matica s tesniacim krúžkom (obr. 24 - 5), plastová svorka, pružinová podložka
- gumová membrána (vložená do závitovej matice)
- krytka, upevňovacia skrutka (obr. 24 - 6)
- distančný krúžok (pod krytkou)



Obr. 24 – Ventil s vysokým telom

Pracovné médium – vzduch je privádzaný do ventilu cez závitovú maticu s otvorom (obr. 24 - 5). Cez dutinu v tele ventilu vedie do pneumatického rozvádzača ventil patróny. Pri zopnutom stave vzduch s ventil patróny pokračuje na výstup ventilu. Ten je umiestnený v spodnej časti kompletu, vo vnútri diery odkiaľ následne pokračuje do riadenej sústavy.

5. NÁVRH MODIFIKÁCIE MONTÁŽNEJ LINKY

5.1 Rozdelenie linky

Pôvodná montážna linka umožňuje výrobu elektromagneticky ovládaných pneumatických ventilov, ktoré sa delia na dve hlavné podskupiny ako bolo spomínané v predchádzajúcej kapitole. Podľa tohto rozdelenia sa samotná linka delí na dve časti. Prvá časť, ktorú pre každý podskupinu ventilu tvorí iný typ montážneho stola s rozdielnymi operáciami a druhá časť s pracoviskami, ktoré sú spoločné pre oba typy a tým pádom umiestnené len na jednom pracovisku. Prvú časť teda tvorí pre každú podskupinu vymeniteľný stôl, ktorý je možné v určitom časovom slede vymeniť za ten, ktorý je potrebný pre aktuálnu výrobu. Dôležité je poznamenať, že nie je možné vyrábať obe podskupiny ventilov naraz z dôvodu, že majú spoločné montážne pracoviská nachádzajúce sa v druhej časti linky.



Obr. 25 – Vymeniteľný montážny stôl pre nízke ventily



Obr. 26 – Vymeniteľný montážny stôl pre vysoké ventily



Obr. 27 – Druhá časť montážnej linky spoločná pre obe podskupiny vyrábaných ventilov

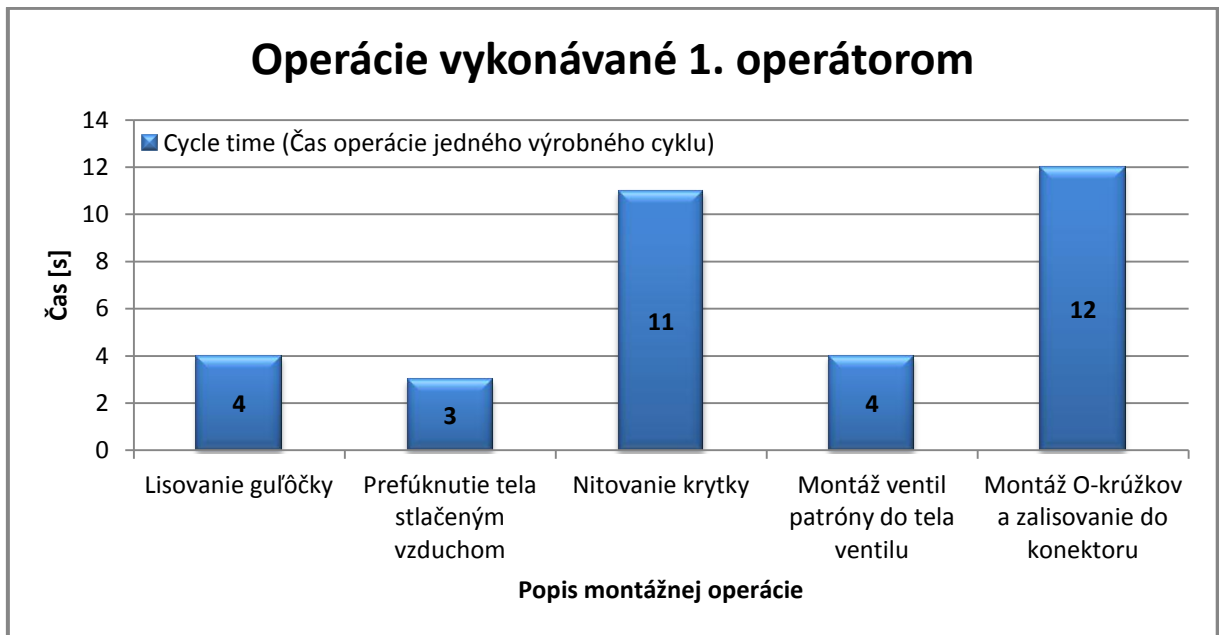
5.2 Časová rovnováha a výstup pôvodnej linky

Pôvodná výrobná linka je z hľadiska optimalizácie montážneho procesu a ergonomie výroby značne nevyvážená. V súčasnej dobe pracujú na linke dvaja operátori. Každý operátor má svoje vyhradené montážne operácie, ktoré vykonáva. Toto rozdelenie je zobrazené v tab. 7.

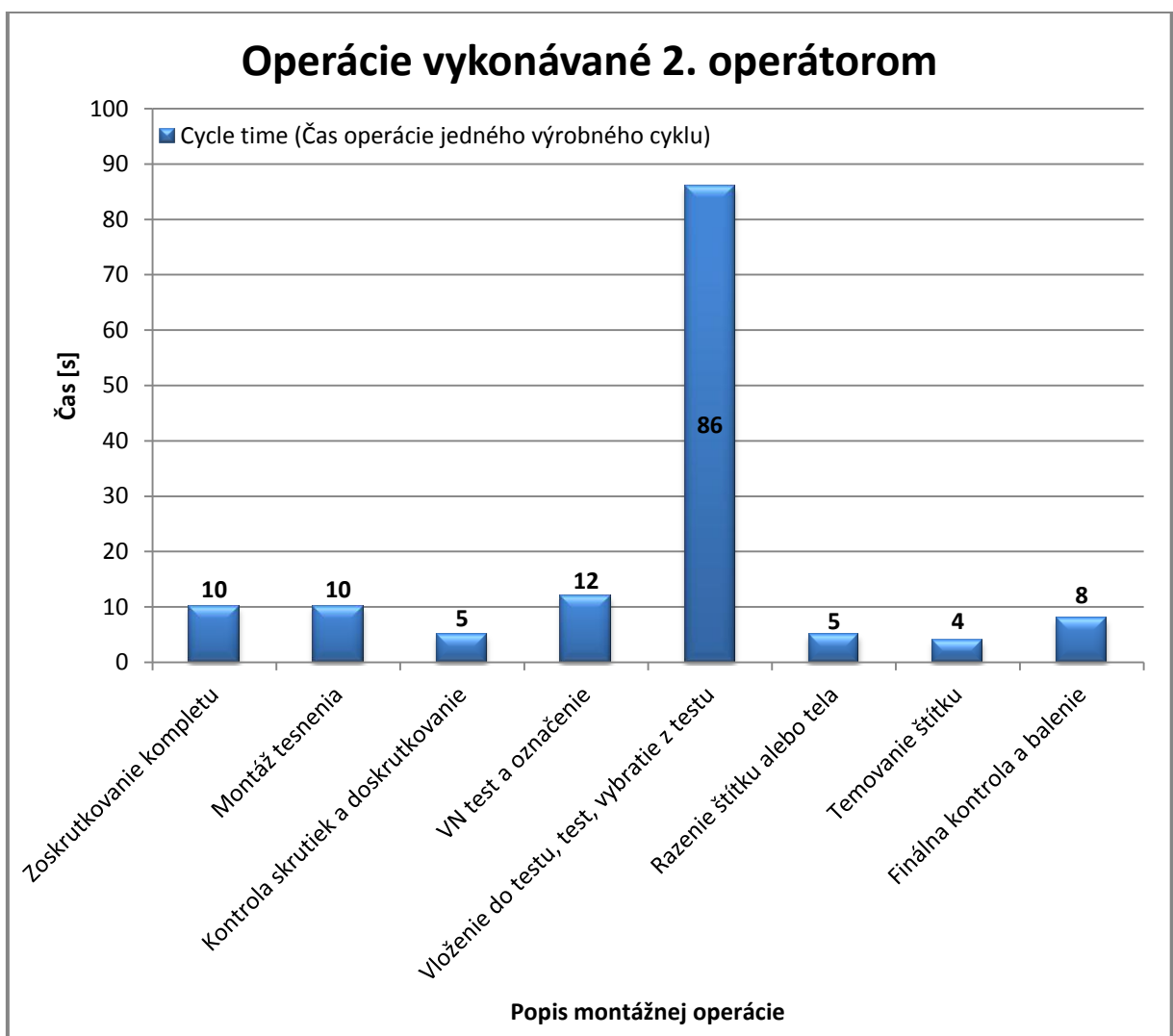
Rozdelenie montážnych operácií pre výrobu ventilov s nízkymi telami:	
1. operátor	2. operátor
1. Lisovanie guľôčky	8. Zoskrutkovanie kompletu konektoru a tela
2. Prefúknutie tela stlačeným vzduchom	9. Montáž tesnenia
3. Vloženie podložky na telo	10. Kontrola prítomnosti skrutiek
4. Nitovanie krytky	11. VN test a označenie
5. Montáž ventil patróny do tela ventilu	12. Test funkčnosti, úniku
6. Montáž tesniacich krúžkov na konektor	13. Razenie štítku alebo tela
7. Zalisovanie konektoru do tela	14. Temovanie štítku
	15. Finálna kontrola a balenie

Tab. 7 – Rozdelenie operácií medzi dvoch operátorov

Časový priebeh pôvodného procesu bol získaný pomocou metódy MOST (Maynard Operation Sequence Technique), ktorá priamo slúži na výpočet časovej náročnosti procesu. Tento spôsob je založený na rozložení procesu na jednotlivé montážne operácie, ktoré sú zložené z jednoduchých pohybov pri ktorých dochádza k premiestňovaniu komponentov. Následne sa z hľadiska zložitosti danej operácie k nej priradujú koeficienty. Potom sa všetky sčítajú a vynásobia desiatimi. Tým pádom sa dostane hodnota časovej náročnosti, ktorá je v TMU (time measurement unit) jednotkách. Prevod na sekundy dosiahneme pomocou vynásobenia výslednej hodnoty TMU koeficientom 0,036. Grafické znázornenie časovej náročnosti jednotlivých operácií je zobrazené na obr. 28 pre 1. operátora a na obr. 29 pre 2. operátora.

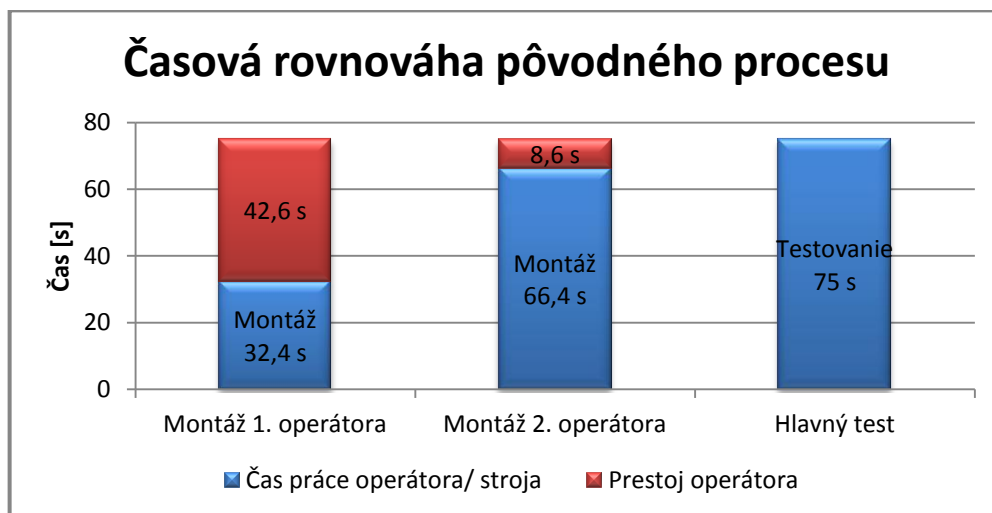


Obr. 28 – Operácie vykonávané 1. operátorom a ich časová náročnosť



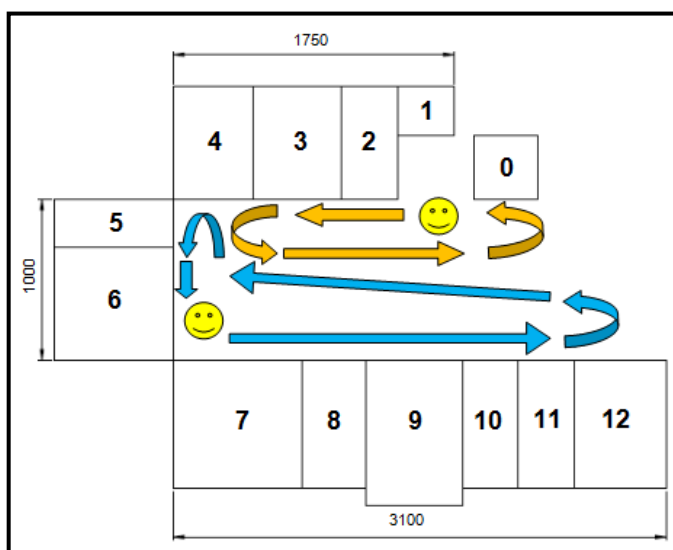
Obr. 29 – Operácie vykonávané 2. operátorom a ich časová náročnosť

Súčasný stav je časovo nevyvážený (obr. 30) a to z dôvodu, že operátor č.1 vykoná svoje montážne operácie skorej ako operátor č. 2 a tým pádom nastávajú uňho pomerne vysoké prestoje. Ďalší nedostatok na súčasnej linke z hľadiska časovej rovnováhy procesu je, že prestoje nastávajú i u druhého operátora, ktorého všetky montážne operácie trvajú kratšie ako hlavný test. Časová nevyváženosť procesu a z toho plynúce prestoje výrobných operátorov sú jednými z hlavných druhov plytvania, ktorým sa v štíhlej výrobe snažíme vyhnúť.



Obr. 30 – Časová rovnováha pôvodného procesu

Na nasledujúcom obrázku (obr. 31) je zobrazený layout linky, teda usporiadanie jednotlivých pracovísk, základné rozmery montážnej linky a takisto znázornený pohyb operátorov počas výroby. V schéme sú jednotlivé stanoviska znázornené číslami (0 – vozík s telami ventilov uložených v KLT, 1 – lisovanie guľôčky, 2 – prefukovanie tela, montáž podložíek, krytky a nitovacia stanica, 3 – montáž ventil patrón a tesniacich krúžkov, 4 – zalisovanie, zoskrutkovanie tela a konektoru, 5 – kontrola prítomnosti skrutiek, 6 – VN test, 7 – hlavný test, 8 – odkladací priestor, 9 - test R-portu, 10 – razenie štítku, 11 – temovanie štítku, 12- KLT s hotovými ventilmi).



Obr. 31 – Layout pôvodnej linky a smer toku montážnych operácií jednotlivých operátorov

Pri výpočte maximálneho hodinového výstupu linky sa vychádzalo z časového priebehu výroby určeného pomocou spomínanej metódy MOST. Úzke miesto v procese pri výrobe s jedným operátorom tvorí čas nevyhnutný na vykonanie všetkých montážnych operácií (98,8 s) a pri výrobe s dvomi operátormi je úzke miesto testovanie (75 s testovacej sekvencie plus čas nevyhnutný na vloženie a vybratie ventilu z testovacej stanice, celkovo teda 86,88 s). Výsledky boli dosiahnuté tak, že sa jedna hodina vydela časom nevyhnutným pre vykonanie úzkeho miesta a tým pádom sa získal maximálny možný hodinový výstup linky.

$$\text{Max. výstup linky} = \frac{3600 \text{ s (1 hodina)}}{\text{Čas úzkeho miesta v procese}} [\text{ks/hod}] \quad (5.1)$$

Výsledky tohto výpočtu sú zobrazené v tab. 8.

Výstup za hodinu (1. operátor):	36 ks	Výstup za hodinu (2. operátori):	41 ks
---------------------------------	--------------	----------------------------------	--------------

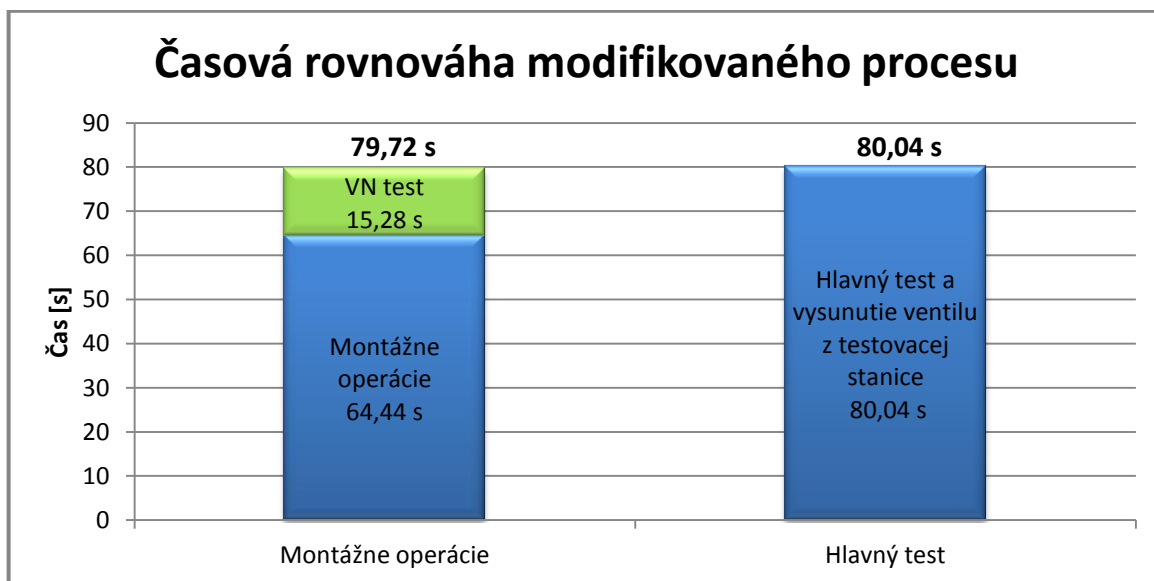
Tab. 8 – Hodinový výstup súčasnej linky

5.3 Modifikácia procesu, jej časová rovnováha a výstup

Vzhľadom na neustále stúpajúci trend zavádzania automatizácie do výrobného procesu je návrh modifikácie smerovaný touto cestou. Prvoradým cieľom je odstránenie jedného operátora z procesu s dosiahnutím približne rovnakého alebo vyššieho výstupu a na daných operáciách implementovanie metódy Poka-Yoke. V tomto prípade je nevyhnutné nahradiť ručnú obsluhu určitých operácií na obsluhu vykonávanú automaticky strojom. Návrh modifikácie uvažuje úpravu týchto operácií:

- lisovanie guľôčky do tela ventilu: zavedenie kontroly prítomnosti guľôčky v prípravku a kontrola vykonania posuvu barana lisu
- kontrola prítomnosti skrutiek na konektore ventilu: zrušenie samostatnej operácie a presunutie do testovacej stanice s automatickou manipuláciou do stanoviska VN testu
- VN test: zrušenie samostatnej operácie a presunutie do testovacej stanice s automatickou manipuláciou na stanovisko č. 1
- hlavný test (funkčnosti, tesnosti): zrušenie samostatnej operácie a presunutie do testovacej stanice s automatickou manipuláciou na stanovisko č. 2
- R-port test (u jedného typu ventilu): zrušenie samostatnej operácie s manuálnym vkladáním a presunutie do testovacej stanice s automatickou manipuláciou na stanovisko č. 2 a vykonávaný po sekvencii hlavného testu
- razenie štítku: zrušenie operácie, nahradenie samolepiacim štítkom s data kódom, ktorý sa na ventil lepí pred vstupom do testovacej stanice
- temovanie štítku: zrušenie operácie, nahradenie samolepiacim štítkom s data kódom, ktorý sa na ventil lepí pred vstupom do testovacej stanice
- výstupná kontrola: zrušenie operácie, nepotrebná vzhľadom na zavedenie automatizačných prvkov v testovacej stanici, pridanie skenovania štítku na výstupe slúžiace na overenie výsledkov testu a na počítanie kusov pre balenie, kde sa po správnom počte naskenovaných kusov rozsvieti signalizačný semafor

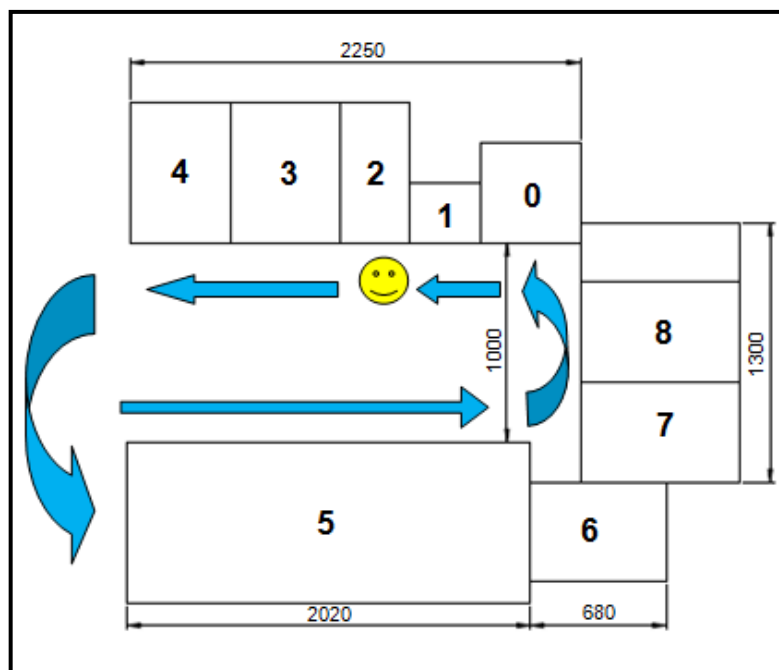
Modifikovaný proces je navrhnutý tak, že operátor vykoná všetky ručné montážne operácie za dobu necelých 65 sekúnd. Po uplynutí tohto času vloží ventil do testovacej stanice, kde začne prebiehať sekvencia VN testu. Tá trvá so zahrnutím všetkých manipulačných časov približne 15 sekúnd a tým pádom vykonanie všetkých operácií trvá 80 sekúnd. Túto istú dobu trvá i úzke miesto v procese, čo je hlavný test. Znamená to, že je dosiahnutá časová rovnováha, keďže súčet všetkých operácií trvá rovnako dlho ako najdlhší test. Vždy v jednom pracovnom cykle sa teda nachádzajú dva kusy, kde jeden je v hlavnom teste a druhý prechádza jednotlivými montážnymi operáciami. V tomto prípade je takisto dosiahnutý žiadaný nulový prestoj stroja u hlavnej testovacej sekvencie.



Obr. 32 – Modifikovaný proces - časová rovnováha

Modifikovaný layout linky, ktorý vznikne po úprave jednotlivých operácií (kapitola 5.4) je zobrazený na obr. 33. V porovnaní s pôvodným stavom došlo k niekoľkým úpravám. V prvom rade posun stolu s lisom (1) smerom dovnútra linky. Vedľa neho bude pôvodný pojazdový vozík s KLT, v ktorom sú uložené telá ventilu. Stôl s pracoviskami (2,3,4) zostáva nezmenený vzhľadom k pôvodnému stavu. Operácie kontrola skrutiek, VN test, hlavný test a test R-portu sú zlúčené do testovacej stanice (5). Z nej ventil vyjde na pásovom dopravníku (6) odkiaľ je operátorom odobraný a presunutý na ďalšie stanovisko (7), kde sa pomocou ručnej čítačky data kódu naskenuje štítok a vloží sa do KLT s hotovými ventilmi (8). Tieto 2 stanoviská budú na stole, na ktorom v pôvodnom rozložení boli operácie temovanie a razeň štítku.

Samotný časový priebeh a hodinový výstup modifikovaného procesu bol takisto vypočítaný prostredníctvom metódy MOST pre ten istý typ ventilu ako u pôvodného procesu. Pomocou tejto modifikácie sa dosiahlo zníženie úzkeho miesta o necelých 7 sekúnd, ktoré tvorí testovanie (75 sekúnd testovacia sekvencia a 5 sekúnd na manipuláciu – vybratie testovaného ventilu a vloženie ďalšieho kusu, celkovo teda 80 sekúnd) a ktoré ovplyvňuje maximálny výstup. Takisto bolo dosiahnuté zníženie času nevyhnutného na vykonanie všetkých montážnych operácií jedným operátorom tak, aby montáž netvorila úzke miesto, čo bolo úspešne dosiahnuté. Samotný výstup bol vypočítaný pomocou rovnice (5.1) ako u pôvodnej linky a výsledok je zobrazený v tabuľke 9.



Obr. 33 – Layout modifikovanej linky a smer montáže operátora

Výstup za hodinu (1. operátor)	45 ks
--------------------------------	-------

Tab. 9 – Hodinový výstup modifikovanej linky

5.4 Konštrukčné riešenie modifikácie montážnych operácií s využitím Poka-Yoke

Nasledujúce podkapitoly obsahujú konštrukčné návrhy na realizáciu modifikácie jednotlivých montážnych operácií za účelom aplikovania Poka-Yoke systému.

5.4.1 Operácia lisovanie guľôčky

Na pôvodnej linke sa v operácii lisovania guľôčky nenachádza žiadne Poka-Yoke. To znamená, že v pôvodnom procese je umožnené nevykonať tento krok alebo zabudnúť vložiť do prípravku guľôčku a tým pádom vykonať zalisovanie naprázdno. Nasledujúce dva konštrukčné návrhy odstraňujú tieto potenciálne možné chyby v procese. V oboch návrhoch sa kontroluje prítomnosť guľôčky v prípravku, vykonanie posuvu barana lisu, teda vykonanie tejto operácie a mechanicky sa zabraňuje zalisovaniu guľôčky do nesprávneho otvoru.

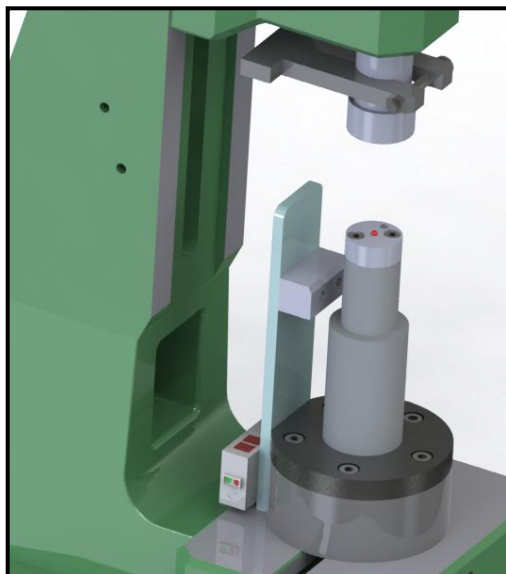
5.4.1.1 Detekcia laserovým a infračerveným snímačom

Prvý konštrukčný návrh je realizovaný detekciou prítomnosti guľôčky laserovým difúznym snímačom BOS 18M-PSV-LH22-S4 a snímaním koncovej polohy barana lisu infračerveným difúznym snímačom BOS 15K-R-C50-02. Princíp spočíva v tom, že aby bola operácia vyhodnotená ako správne prevedená, musí laserový snímač detekovať prítomnosť guľôčky v prípravku a baran lisu musí

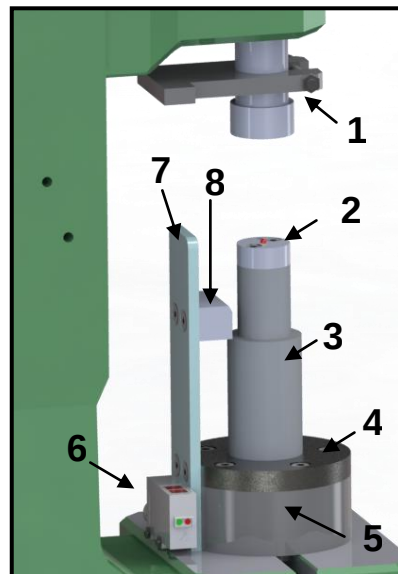
dosiahnuť koncovú polohu, čo je následne PLC automatom vyhodnotené ako stav, kedy montážna operácia bola úspešne vykonaná.



Obr. 34 – Ručný lis s Poka-Yoke



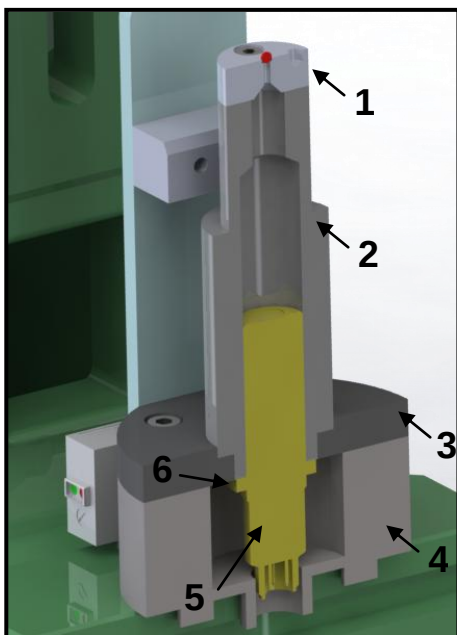
Obr. 35 – Lisovací prípravok



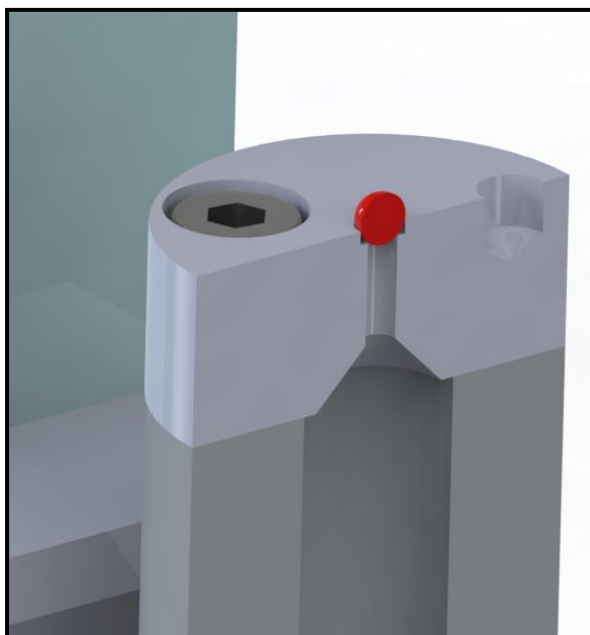
Obr. 36 – Umiestnenie infračerveného snímača

Návrh lisovacieho prípravku sa skladá z ôsmich častí (sedem zobrazených na obr. 36 plus optický laserový snímač). Infračervený snímač (obr. 36 - 6) je spojený dvomi skrutkami M3x30 cez pásovinu hrúbky 5 mm (obr. 36 - 7) k priečne zrezanému valcovému podstavcu (obr. 36 - 5). Pásovina je ďalej priskrutkovaná k veku (obr. 36 - 4) skrutkami M5x13 z dôvodu obmedzenia možného vychýlenia. Toto veko zakrýva priestor laserového snímača. Na pásovinu je ďalej priskrutkovaný plastový doraz (obr. 36 - 8) pomocou skrutiek M8x13 s vnútorným šesťhranom, ktoré sú zapustené v pásovine, aby neprerušovali optický lúč snímača. Plastový doraz slúži ako vedenie na zarovnanie správnej polohy tela ventilu po vložení na prípravok. Tým pádom telo nie je možné vložiť inak ako kolmo na pásovinu. Na baran lisu je pomocou zverného spoja upevnená pásovina hrúbky 8 mm (obr. 36 - 1), ktorá slúži ako odrazová plocha pre infračervený snímač. Dôležitou časťou je nastavenie spínacej polohy nastavovacou skrutkou tak, aby snímač spínal v dolnej polohe barana lisu (v momente, kedy dochádza k zalisovaniu guľôčky).

Poloha laserového difúzneho snímača bola zvolená vo vnútri lisovacieho prípravku (obr. 37). V prípade, ak by snímač bol umiestnený z vonkajšej časti, hrozilo by riziko zopnutia v nežiaducom prípade, napr. keď operátor manipuluje rukami v tomto priestore. Pri montáži prípravku sa v prvom rade vloží dutý hriadeľ (obr. 37 - 2) do veka podstavca (obr. 37 - 3). Následne sa laserový snímač (obr. 37 - 5) naskrutkuje do hriadeľa (obr. 37 - 2) zo spodnej strany na vzdialenosť 60 mm. Jeho poloha sa poistí kontra maticou (obr. 37 - 6). Celý tento komplet sa vloží na podstavec (obr. 37 - 4) a priskrutkuje sa k nemu pomocou zápusných skrutiek M5x16. Poslednou montážnou operáciou je priskrutkovanie kalenej (z dôvodu zvýšenia tvrdosti materiálu) vrchnej časti (obr. 37 - 1) pre umiestnenie guľôčky pomocou dvoch skrutiek M4x12.



Obr. 37 – Umiestnenie laserového snímača



Obr. 38 – Vrchná časť lisovacieho prípravku

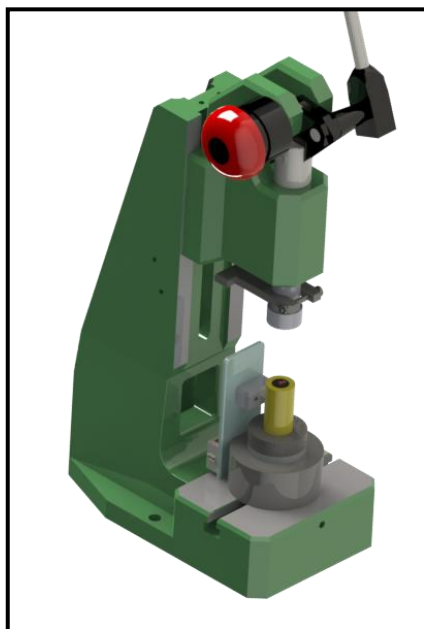
Daný typ infračerveného snímača bol zvolený pre túto aplikáciu z hľadiska spínacieho rozsahu a vhodnosti pre danú aplikáciu. Vzďialenosť odrazky na barane lisu od snímača je okolo 135 mm a preto bol zvolený typ z najbližším väčším spínacím rozsahom, čo je 500 mm. V tomto prípade je snímač značne predimenzovaný.

Voľba laserového snímača bola založená na základe jeho hlavných parametrov. Podľa produktového listu [14] dokáže zvolený snímač rozpoznať predmety s priemerom menším ako 0,1 mm a priemer jeho optického lúča zo vzdialenosťou odrazovej plochy klesá. Z tohto dôvodu, aby sa dosiahol čo najmenší priemer optického lúča je dôležité dodržanie vzdialenosti snímača minimálne 65 mm od zúženého miesta vo vrchnej časti lisovacieho prípravku (obr. 38), kedy priemer lúča dosahuje hodnoty zhruba 1,5 mm podľa [14]. Aby guľôčka s priemerom 3,175 mm neprepadla, priemer otvoru pre optický lúč bol zvolený 2 mm. V prípade vychýlenia lúča však nastáva riziko, že snímač môže spínať už na dolnej hrane otvoru pre lúč a tým pádom sa nedostane k snímanému objektu, na čo upozornil aj samotný výrobca snímača, ktorý odporučil funkčný test. Z dôvodu, že dané komponenty nie sú vyrobené a nie je teda možné realizovať funkčný test som navrhol druhý konštrukčný návrh, ktorý tento problém eliminuje.

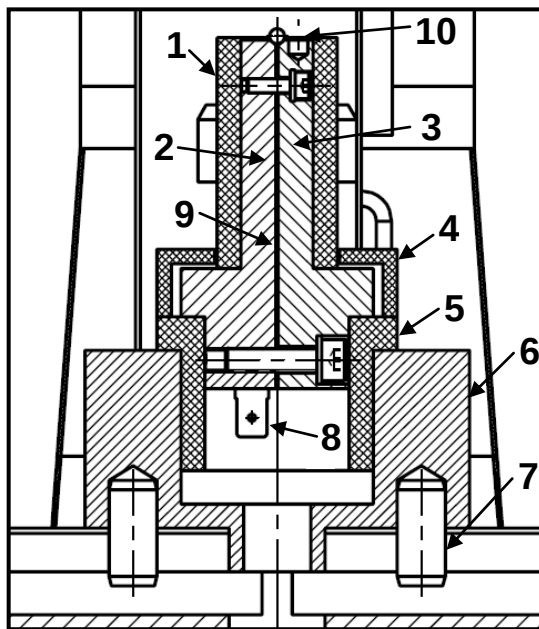
5.4.1.2 Detekcia uzavretím elektrického obvodu a infračerveným snímačom

Vzhľadom na predchádzajúci konštrukčný návrh, ktorý zo sebou nesie určité riziká ohľadom funkčnosti bolo nutné sa zamyslieť nad inými možnosťami snímania prítomnosti guľôčky. Iná poloha optického snímača ako zo spodnej časti nepripadá v úvahu a to z dôvodu, že sa v oblasti nad prípravkom manipuluje, či už rukami alebo samotným telom ventilu. Preto je nutné použiť iný princíp snímania. Princíp druhého návrhu je založený na tom, že guľôčka určená na zalisovanie je z vodivého materiálu. Základnou myšlienkou návrhu je rozdeliť podstavec pre guľôčku na dve vodivé časti, ktoré sú vzájomne izolačne oddelené. Následne vyviesť obidve vodivé

části na PLC automat, kde sa bude vyhodnocovať, či je obvod v zopnutom alebo rozopnutom stave. V prípade, ak sa guľôčka vloží do stredu prípravku na oba delené hriadele, nastane uzavretie elektrického obvodu – jeho zopnutie a prostredníctvom PLC sa vyhodnotí prítomnosť guľôčky. Z bezpečnostného hľadiska musí byť obvod napájaný menším napätím ako je bezpečné napätie. Snímanie polohy barana lisu je realizované rovnako ako v predchádzajúcom návrhu s jediným rozdielom uchytenia krytu infračerveného snímača k podstavcu prípravku.



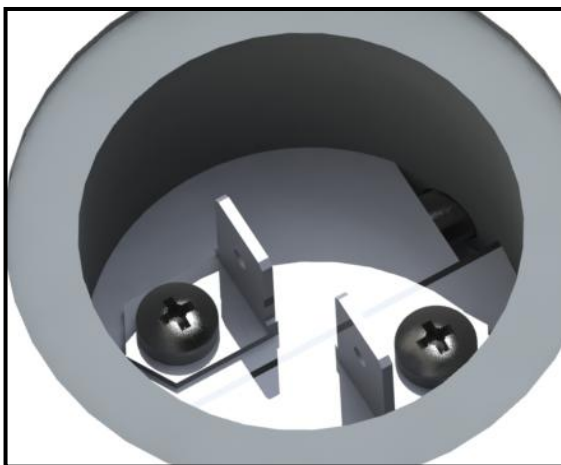
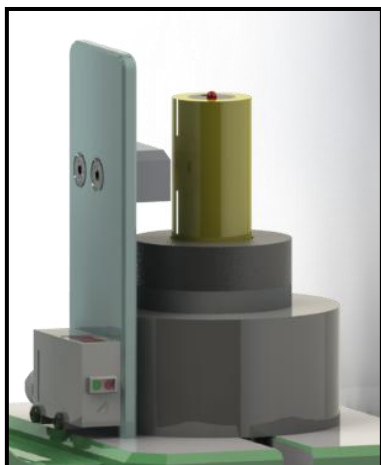
Obr. 39 – Lisovací prípravok s deleným hriadeľom



Obr. 40 – Rez deleným hriadeľom na výkrese zostavy

Na obr. 40 je zobrazený rez prípravku z výkresu zostavy. Hlavnú časť prípravku tvorí delený hriadeľ naprieč rozrezaný, kde medzi jeho dvomi polovicami (obr. 40 - 2,3) je vložená izolačná vložka (obr. 40 - 9). Tieto tri časti sú spojené dvomi zápusťnými skrutkami M3 a M5 s izolačnými podložkami umiestnenými pod hlavou každej skrutky. Delený hriadeľ napravo (obr. 40 – 3) obsahuje dieru pre aretačný pin, ktorý obsahuje telo ventilu. Prípravok musí túto dieru mať, inak by nebolo možné guľôčku bez poškodenia tela ventilu zalisovať. Na vrchnú časť delených hriadeľov je nutné nalepiť pomocou lepidla (navrhnutý Loctite 401) izolačnú vrstvu (obr. 40 - 10) z pevného materiálu, aby nedošlo k zopnutiu obvodu v takom prípade, kedy by guľôčka nebola na prípravku, ale elektrický obvod by uzavrelo telo ventilu vložené do prípravku, ktoré je takisto z vodivého materiálu. Pre všetky súčasti, ktoré musia byť izolanty bol navrhnutý materiál textit z dôvodu jeho dobrých mechanických a elektroizolačných vlastností. Takisto je z neho navrhnutá izolačná trubka (obr. 40 - 1), ktorej funkcia je izolovať delený hriadeľ od tela ventilu pri jeho vložení. Ďalšou časťou prípravku je izolačná vložka (obr. 40 - 5), na ktorú dosadá delený hriadeľ a izoluje ho od podstavca prípravku (obr. 40 - 6). Ten slúži na aretáciu celého kompletu prípravku na pracovnom stole lisu a obsahuje dva kolíky (obr. 40 - 7), ktoré zaisťujú správnu polohu zrezanej hrany podstavca, na ktorú sa pomocou skrutkového spoja umiestni infračervený snímač a jeho kryt, ktorého funkciou je zamedziť prístupu pohybu nežiaducich predmetov v aktívnej oblasti snímača. Upevnenie infračerveného snímača, jeho krytu, odrazky a plastového dorazu je zhodné s návrhom v predchádzajúcej kapitole s jediným rozdielom, že upevnenie krytu snímača je vyvedené na podstavec, keďže toto riešenie už neobsahuje žiadne

veko podstavca. Pripojenie deleného hriadeľa na elektrický obvod je realizované pomocou Faston konektorov (obr. 40 - 8), ktoré sú na ňom upevnené pomocou skrutiek M3. Na tieto konektory je následne možné vodič s PLC priamo prispájať alebo použiť niektorý z dostupných Faston konektorov za účelom vytvorenia rozoberateľného spoja. Na izolačnú trubku sa ešte navlečie kryt vodivých častí deleného hriadeľa a to z dôvodu, aby nebolo možné uzavrieť elektrický obvod na inom mieste ako je určené. Posledným nezmieneným prvkom je aretačná skrutka, ktorá vedie z podstavca prípravku, cez izolačnú vložku až do jednej polovice deleného hriadeľa, ktorá zaisťuje správnu polohu deleného hriadeľa.



Obr. 41 – Lisovací prípravok Obr. 42 – Faston konektory pre pripojenie kabeláže z PLC – pohľad zdola

Týmto riešením dosiahneme i ušetrenie finančných prostriedkov a to z dôvodu, že je potrebný pre daný typ riešenia len jeden snímač. Na snímanie vzdialenosti barana lisu bol zvolený infračervený difúzny snímač BOS 15K-R-C10-02, ktorého spínacia vzdialenosť je od 1 mm do 100mm. Vzdialenosť odrazky umiestnenej na barane lisu v dolnej polohe pri zalisovaní je od snímača 93 mm (72 mm od snímača po vrchný okraj prípravku, 6mm stena tela ventilu a 15 mm odrazka od konca barana lisu), čo znamená, že rozsah snímača je využitý takmer na maximum. V prípade porovnania s predchádzajúcim konštrukčným návrhom sa finančné prostriedky ušetria i na snímači a to z dôvodu, že na toto konštrukčné riešenie postačí menší pracovný rozsah. Difúzny je zvolený preto, aby nebolo potrebné umiestňovať ešte jednu odrazovú plochu na lis, ako by to bolo nutné v prípade použitia optického reflexného odrazového snímača. Z ekonomického hľadiska navrhujem použitie pôvodného ručného lisu Schmidt (v tomto prevedení ho v súčasnosti už výrobca nevyrába), ktorý má rovnaké rozmery pracovného stolu ako aj menovitú silu ako lis použitý na výkrese, preto je možná zameniteľnosť pri realizácii tohto lisovacieho prípravku pre danú aplikáciu.

5.4.2 Vysoko-napäťový a hlavný test

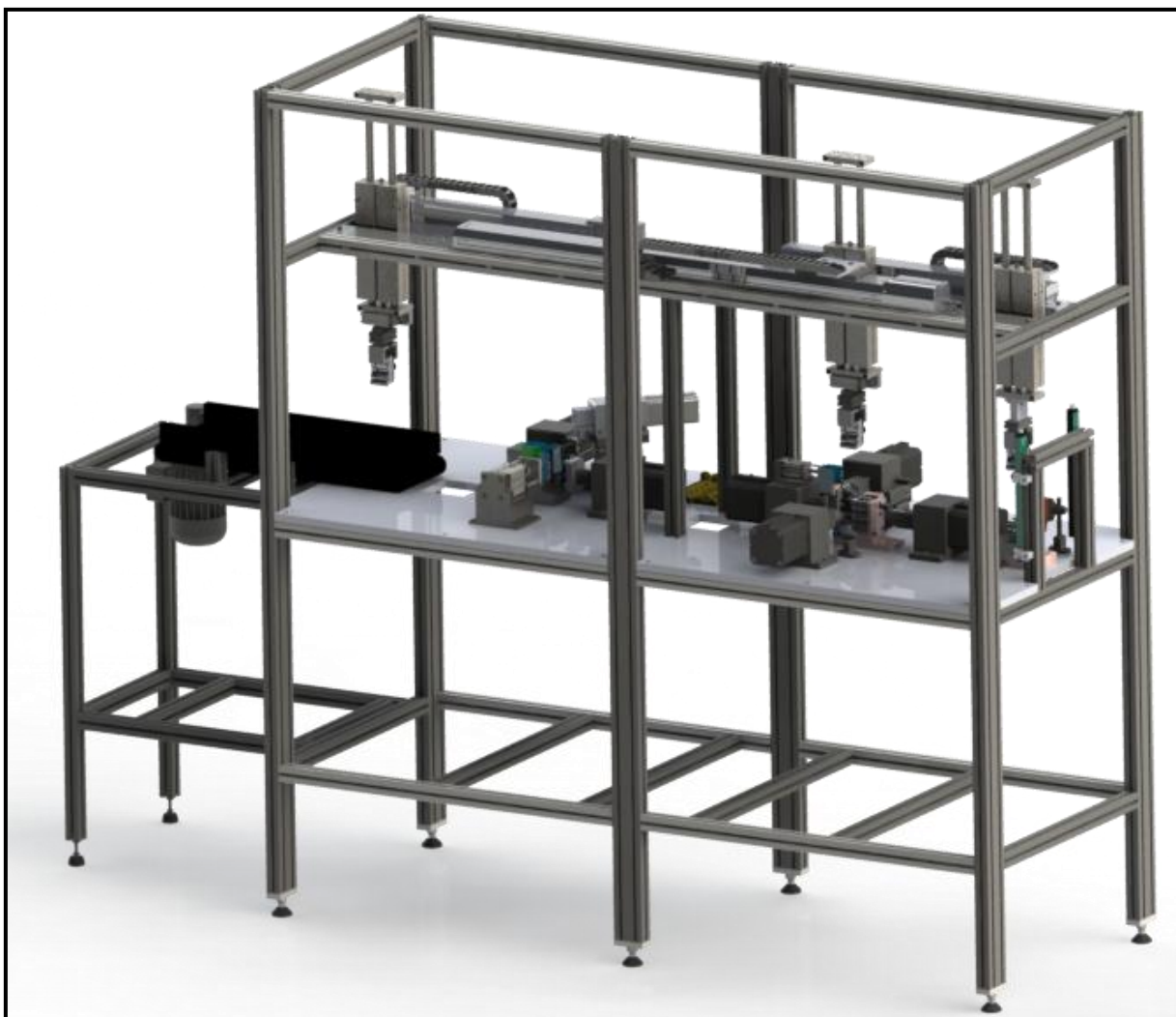
Na pôvodnej linke má VN test a hlavný test (skúška funkčnosti, tesnosti) svoje vlastné stanovisko, pričom operátor všetko vykonáva manuálne a medzi jednotlivými operáciami nie je žiadne Poka-Yoke prepojenie. Ďalšou nevýhodou pôvodného návrhu linky je zdĺhavá výmena prípravkov v prípade prechodu výroby s nízkymi telami na vysoké alebo opačne a nevyhnutná prítomnosť mechanika - nastavovača. Tým pádom sa vyskytuje v procese plytvanie v podobe prestojov linky. V ďalšej časti

težto kapitoly je popísaný návrh modifikácie montážnej linky, ktorý som navrhol so snahou tieto negatívne dôsledky eliminovať so zameraním sa na nasledujúce priority:

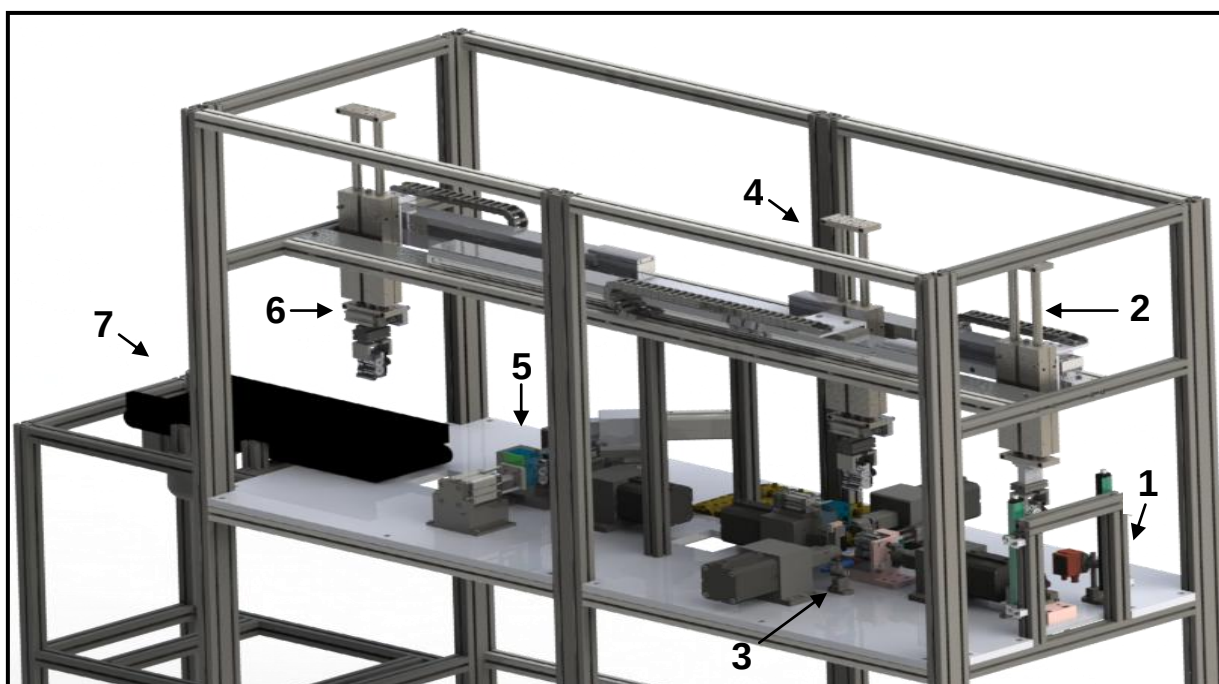
- zníženie úzkeho miesta (bottle-neck) v procese
- implementácia automatizačných prvkov
- zníženie času, počas ktorého je ventil prenášaný z jedného testu do druhého
- minimalizovanie času potrebného na výmenu prípravkov pri zmene typu vyrábaného ventilu
- zrušenie nevyhnutnej prítomnosti mechanika – nastavovača pri výmene prípravkov

Na nasledujúcom obrázku (obr. 43) je zobrazená kompletná zostava návrhu spojenia jednotlivých testovacích operácií do jedného funkčného celku. Celé testovacie zariadenie sa skladá zo šiestich hlavných častí:

- nosná konštrukcia
- vstupná časť pre vloženie ventilu
- vysoko-napäťový test
- test funkčnosti a úniku pracovného média z ventilu
- manipulátor skladajúci sa z troch ramien
- dopravník pre OK kusy



Obr. 43 – Testovacia stanica



Obr. 44 – Detail stola testovacej stanice s označením hlavných častí

Navrhovaná testovacia stanica funguje na nasledovnom princípe. V prvom kroku operátor manuálne vloží ventil na otestovanie do vstupného prípravku cez bránu (obr. 44 - 1) na ktorej je umiestnená bezpečnostná optická závera. Pomocou kamerovej čítačky je prečítaný 2D kód zo štítku ventilu a tým pádom jeho jedinečné číslo, pod ktoré sa následne budú ukladať výsledky testu do databáze a tým pádom bude umožnená spätná sledovateľnosť v prípade reklamácie. Následne, keď je vyhodnotený PLC algoritmom pomocou signálu z optickej závore, že sa v oblasti vstupného prípravku nenachádzajú ruky operátora, je uvedené do činnosti prvé rameno manipulátora (obr. 44 - 2), ktoré daný ventil na testovanie pomocou čelustí uchopí, ventil vyzdvihne do požadovanej výšky (aby pri presune zo vstupného prípravku do druhého stanoviska VN testu) nedošlo ku kolízii a následne sa vykoná presun ventilu. Po dosiahnutí žiadanej polohy prvého ramena manipulátora je ventil usadený do prípravku VN testu (obr. 44 - 3). V tomto momente sa opäť prvé rameno vysunie do maximálnej výšky a vracia sa naspäť k vstupnému prípravku. Súčasne s týmto procesom dochádza k aretácii polohy ventilu v prípravku VN testu, ktorá je uskutočnená pomocou valca s krátkym zdvihom (lineárneho pneumotoru). Z dôvodu odlišných typov tiel ventilov s nízkymi a vysokými telami je pre každú podskupinu použitý zvlášť valec s iným umiestnením na stole testovacieho zariadenia. Po aretácii polohy ventilu vo VN teste prebehne napojenie ventilu na elektrickú sieť. Táto operácia je vykonávaná pomocou kompaktného valca s vedením (takisto lineárny pneumotor), ktorý má na konci svojej piestnice umiestnený konektor pre napájanie ventilu a kontakty pre otestovanie prítomnosti skrutiiek na konektore ventilu. Takisto sú použité dva valce a to z dôvodu rozdielnej polohy konektora u jednotlivých typov ventilov. Následne je do ventilu pustené vysoké napätie a prebehne VN test. V prípade kladného výsledku tejto skúšky je na telo ventilu vyrazená mechanická bodka, ktorá symbolizuje úspešnosť tohto testu. Razenie je uskutočnené pomocou hrotu, ktorý je upevnený takisto na lineárnom pneumotore s krátkym zdvihom. Pre každý typ je však nevyhnutný zvlášť valec a to opäť z dôvodu rozdielnej polohy mechanickej bodky na tele ventilu. Po vykonaní tejto operácie je ventil uvoľnený zo zafixovanej polohy a na radu prichádza rameno manipulátora č. 2 (obr. 44 - 4), ktoré už čaká v polohe nad VN testom a po jeho ukončení je vysunuté do dolnej polohy tak, aby mohlo uchopiť ventil čelustami. Po uchopení ventilu je zasunutý do takej výšky, v ktorej bude vylúčená akákoľvek kolízia s prípadnými prekážkami počas presunu. V prípade, ak VN test nedopadol kladným výsledkom, je rameno č.2 manipulátora zastavené v pozícii nad otvorom v doske stola, kde dochádza k separácii NOK kusov. V prípade, ak predchádzajúci test dopadol kladne, rameno pokračuje až do polohy nad prípravok hlavného testu (obr. 44 - 5). Ak sa jedná o ventil s vysokým telom, dochádza ešte k rotácii ventilu o 90° počas presunu z prvého stanoviska k druhému. V pozícii nad hlavným testom je rameno vysunuté do spodnej polohy a ventil je vložený do prípravku. Po otvorení čelustí sa rameno zasunie a vracia sa naspäť k prípravku pre VN test. Po operácii vloženia ventilu do prípravku nastáva proces aretácie ventilu. Pre nízky typ ventilu je použitý lineárny pneumotor s krátkym zdvihom a tvarovým prípravkom pripevneným na koniec piestnice. Pomocou neho sa ventil pritlačí na doraz, čím je zabezpečená pozícia v ktorej sa ventil používa v danej aplikácii. Vzduch je následne privádzaný do ventilu cez doraz, v ktorom sú vyvŕtané diery pre vzduchové médium. Tie majú na konci závitové diery, na ktoré budú naskrutkované pneumatické hadice pre privod i odvod (cez tlakový spínač) vzduchu do meracieho zariadenia. Aretácia vysokých tiel je realizovaná s rozdielnym prevedením. U tohto typu je potrebné vyvinúť pritlačnú silu pre pritlačenie ventilu k prípravku zhora. Vzhľadom na to, že v priestore nad

prípravkom jazdí rameno manipulátoru, nie je možné umiestniť prítlačný pneumotor do tejto pozície. Preto bola táto aretácia navrhnutá pomocou dvoch valcov s krátkym zdvihom pomocou ktorých dosiahneme voľný priestor pre dráhu manipulátoru. Následne po aretácii u oboch typov ventilov prebehne kontaktovanie, kedy sa pomocou konektoru umiestneného na konci piestnice kompaktného valca privedie na ventil elektrické napätie. Kontaktovanie je založené na rovnakom princípe ako u VN testu. Po vykonaní týchto operácií je spustené testovanie (funkčnosti ventilu a úniku vzduchu, prípadne R-port test). U nízkych tel sa po úspešnom teste vykoná vyrazenie OK značky na telo ventilu. Princíp je opäť rovnaký ako u VN testu, kedy je použité razidlo s označením OK. Značenie na vysokých telách o úspešnom teste vykoná až operátor po vyjdení ventilu z testovacej stanice pomocou permanentnej fixi malou bodkou na bočnej strane tela ventilu, teda nie je realizovaný automaticky. Po ukončení hlavného testu, uchopí ventil rameno č. 3 manipulátora (obr. 44 - 6), vyzdvihne ho do žiadanej výšky, presunie nad pás dopravníku (obr. 44 - 7), vysunie sa do dolnej polohy, uvoľní ventil, zasunie sa a ide naspäť. Po uvoľnení čelustí ramena č. 3 dostáva signál dopravník, ktorý s miernym časovým zdržaním posunie pás o určitú vzdialenosť tak, aby sa otestovaný ventil nachádzal mimo vnútorného priestoru testovacieho zariadenia a operátor následne mohol ventil vziať na ďalšiu, takmer poslednú operáciu celého výrobného procesu.

5.4.2.1 Přípravky pre jednotlivé typy ventilov

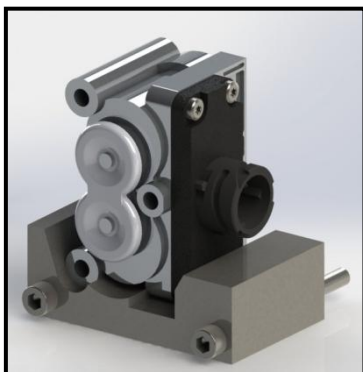
Navrhovaná testovacia stanica je dimenzovaná tak, aby na nej bolo umožnené testovanie oboch hlavných podskupín ventilov, teda s nízkymi i vysokými telami. Tieto hlavné druhy sa ešte rozdeľujú na dve podskupiny podľa tvarového rozdelenia. Celkovo je teda výrobná linka určená pre štyri druhy tvarovo rozdielnych ventilov (obr. 45) pre ktoré bolo potrebné navrhnuť tvarové prípravky. Vždy pre každý typ ventilu sú navrhnuté tri prípravky (pre vstupnú časť, VN test a hlavný test), ktoré sa navzájom líšia len minimálne ale základný tvar je rovnaký.



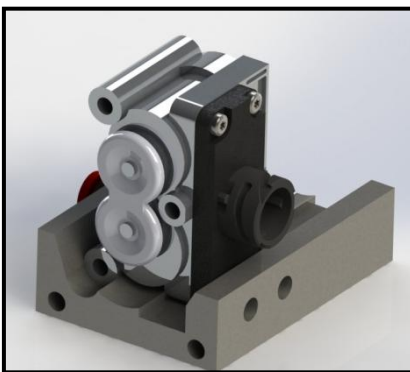
Obr. 45 – Všetky druhy ventilov vyrábaných na linke

Ako prvý som navrhol prípravky pre najviac vyrábané ventily, teda ventily s nízkymi tvarovými telami. Vstupný prípravok (obr. 46) má obdĺžnikovú základňu

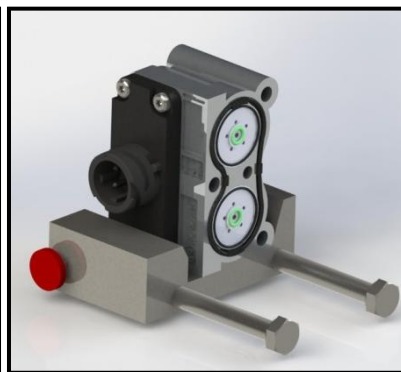
a tvar steny, na ktorú dosadá ventil kopíruje jeho tvar. Uchytenie k dorazu vstupného prípravku je realizované pomocou dvoch skrutiek M6, ktoré zabezpečujú rýchlu a jednoduchú vymeniteľnosť. Prípravok pre VN test (obr. 47) má rovnaký profil ako vstupný prípravok s drobnými rozdielmi. Jeho základňa má väčšiu dĺžku (z dôvodu posuvov pri aretácii a vyberaní ventilu pomocou druhého ramena manipulátora). Ďalšie rozdiely tvoria dve diery $\varnothing 8$ mm slúžiace pre možnosť pripojenia kontaktov na skrutky ventilu u VN testu, ktoré slúžia na upevnenie konektoru k telu ventilu. Pripevnenie prípravku je takisto realizované cez skrutky M8, ktoré sú pri upevňovaní naskrutkované cez doraz prípravku. Ďalej na ľavej strane prípravku je plastová skrutka na ktorej je pripevnený tanier s tagom, ktorý nesie informačnú hodnotu pre RFID senzor, pomocou ktorého sa identifikuje správny prípravok pre daný typ ventilu. U posledného prípravku (obr. 48) je jediný rozdiel oproti predchádzajúcemu v polohe umiestnenia taniera pre RFID senzor a v dĺžke prípravku vzhľadom na to, že u hlavného testu nie je nevyhnutný spätný posun ventilu pri jeho vyberaní. U vstupného prípravku z úsporných príčin nie je použitý RFID senzor a to z dôvodu, že v prípade použitia nesprávneho prípravku ventil doňho nebude pasovať.



Obr. 46 – Vstupný prípravok

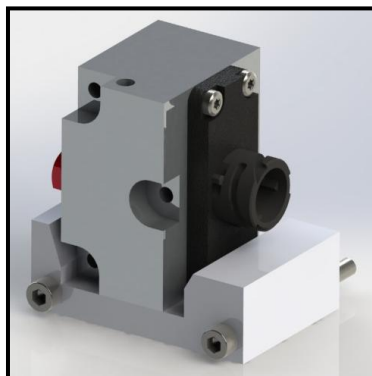


Obr. 47 – Prípravok VN testu

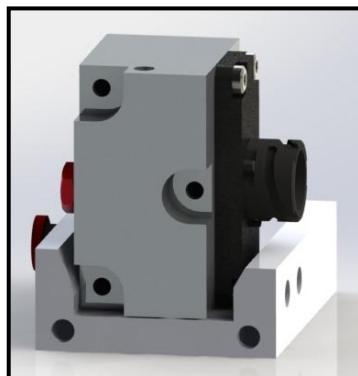


Obr. 48 – Prípravok hlavného testu

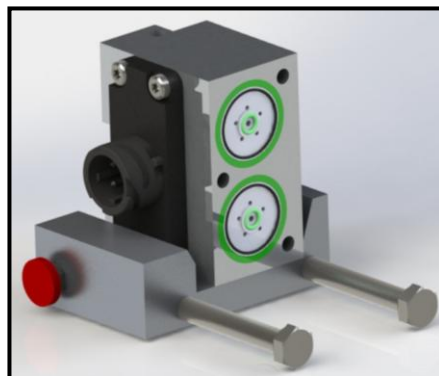
Ďalšie prípravky boli navrhnuté pre ventily s hranatými nízkymi telami (obr. 49 až 51). Oproti predchádzajúcim typom pre nízke telá sú tvarovo jednoduchšie, keďže telo ventilu má tvar kvádra. To je jediný rozdiel oproti predchádzajúcemu ventilu. Upevnenie je teda rovnako realizované skrutkami M8, prípravok pre VN test má diery pre privedenie kontaktov na skrutky ventilu a takisto je zabudovaný tanier s tagami pre RFID senzor u prípravku pre VN a hlavný test.



Obr. 49 – Vstupný prípravok

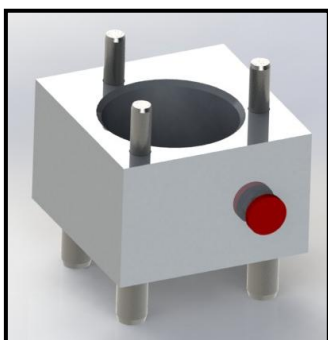


Obr. 50 – Prípravok VN testu

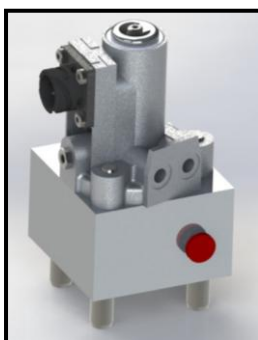


Obr. 51 – Prípravok hlavného testu

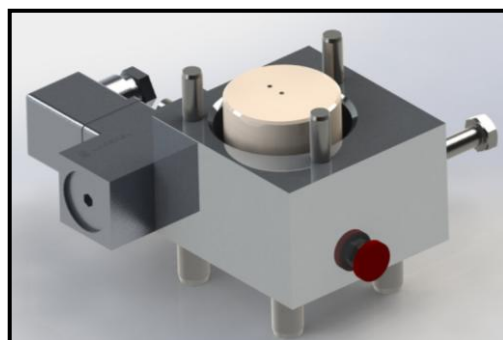
Prípravky pre ventily s vysokými telami a väčšou prírubou sa tvarovo líšia od predchádzajúcich typov. Jedná sa o kváder s dierou pre vkladanie ventilu. Vymedzenie jeho presnej polohy je realizované pomocou kolíkov, ktoré sú umiestnené na rozstupovej kružnici tak, aby zapadli priamo do dier na ventile po jeho vložení. Upevnenie prípravku k stolu je uskutočnené takisto cez kolíky do podstavca prípravku, ktorý je priskrutkovaný k samotnej doske stola. Uloženie kolíku v diere podstavca však nie je s presahom, aby bola zabezpečená vymeniteľnosť. Rozdiely u vstupného prípravku, VN a hlavného testu sú nasledovné. U prvého menovaného sa nenachádza tanier pre RFID senzor, u VN prípravku už áno (obr. 52) – chronológia s nízkymi telami. Najväčší rozdiel je u prípravku pre hlavný test (obr. 54). Má v podstate rovnaký základ ako u prípravku VN testu, teda kvádrový tvar s dierou na ventil a kolíkmi pre aretáciu polohy ventilu a polohu prípravku na podstavci. Poloha prípravku na podstavci je ešte poistená skrutkou M8. Vo vnútri prípravku je zalisovaný gumový podstavec, ktorý má priemer rovnaký ako diera v spodnej časti ventilu. Poloha gumového podstavca je i poistená malým kolíkom – pre sústrednosť dier v podstavci a tele prípravku. Na tento podstavec dosadne po vložení do prípravku vrchná stena spodnej diery ventilu, ktorá je v tele. V gumovom podstavci sú diery, ktoré majú vývod cez telo prípravku až na vstup do elektromechanického tlakového spínača Norgren s prírubovým pripojením pracovného média. Spínač slúži na rozpoznávanie zmeny tlaku v testovacej sekvencii. Prípravok takisto obsahuje tanier pre RFID senzor.



Obr. 52 – Prípravok VN testu

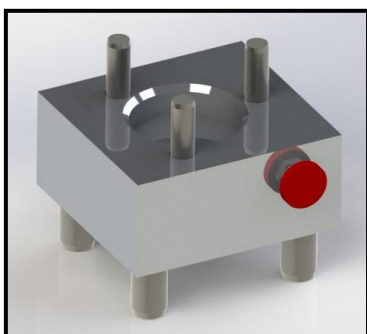


Obr. 53 – Prípravok VN testu s vloženým ventilom

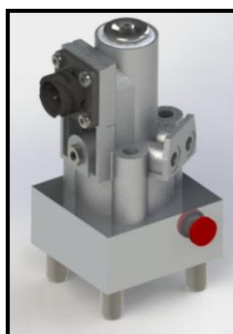


Obr. 54 – Prípravok hlavného testu

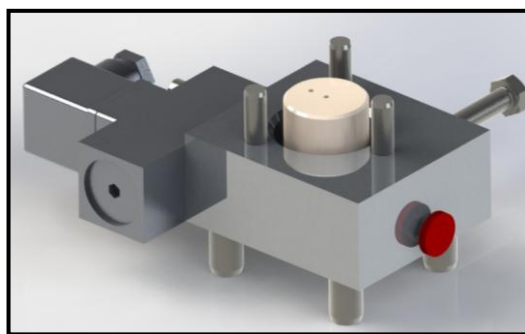
Chronologicky boli navrhnuté prípravky pre ventily s vysokými telami a menšou prírubou. Jediný konštrukčný rozdiel je v tom, že prípravky majú menšiu výšku a to z dôvodu, aby po vložení ventilu bol konektor ventilu v rovnakej výške ako u druhého typu ventilu. Prípravky s menšou výškou sú zobrazené na obr. 55 až 57.



Obr. 55 – Prípravok VN testu



Obr. 56 – Prípravok VN testu s vloženým ventilom

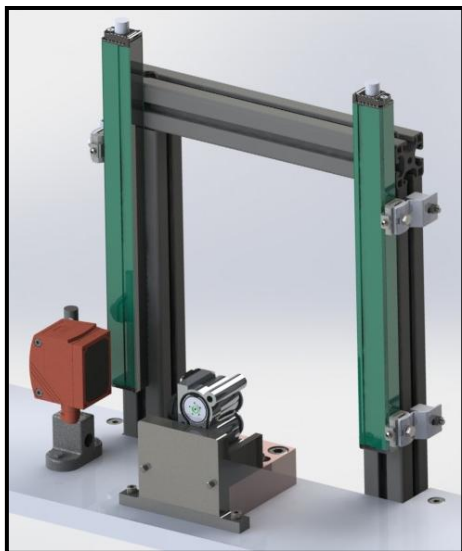


Obr. 57 – Prípravok hlavného testu

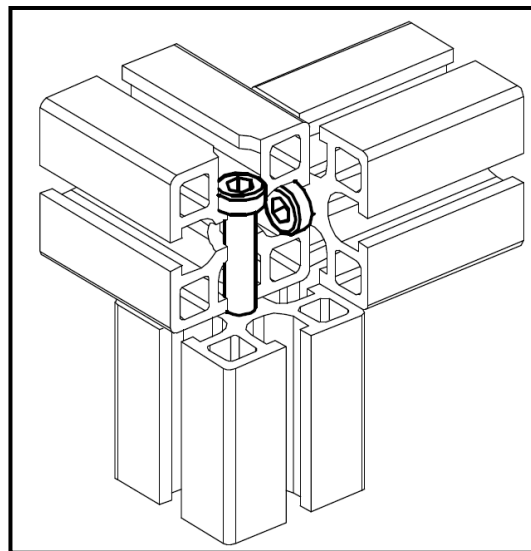
5.4.2.2 Vstupná časť pre vloženie ventilu

Na obr. 58 je zobrazená vstupná časť testovacej stanice. Skladá sa zo štyroch hlavných častí:

- vstupná brána
- bezpečnostná optická závora
- zostava prípravku s podstavcom a dorazom
- čítačka 1D / 2D kódu – štítku ventilu



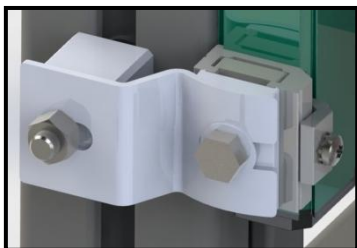
Obr. 58 – Vstupná časť testovacej stanice



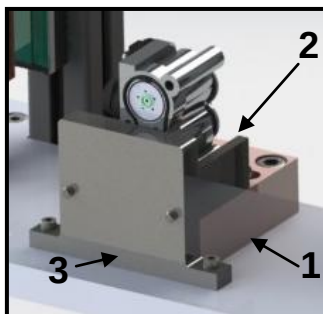
Obr. 59 – Spojenie krížom profilov Alutec [5]

Vstupnú bránu, cez ktorú sa ventil vkladá do testovacej stanice tvoria profily, ktoré sú odľahčené. Šírka samotnej brány je 200 mm a to z dôvodu, aby bolo zabezpečené komfortné vloženie ventilu operátorom do testovacej stanice. Spojenie jednotlivých profilov je uskutočnené spôsobom odporúčaným výrobcom a to spojením do kríža pomocou skrutiek M8 s normou DIN (obr. 59). Na týchto profiloch je umiestnená bezpečnostná optická závora. Závora nekryje celú oblasť vstupnej brány, ale ventil nie je možné cez ňu vložiť tak, aby priechod nebol touto závorou zosnímaný. Závora je na profily brány upevnená pomocou originálneho príslušenstva, ktoré tvorí nastaviteľný držiak (obr. 60). Medzi úchytkou držiaka je však ešte umiestnená vymedzovacia kocka, ktorá umožňuje upevnenie optickej závory tak, aby jej krajná stena dosadala na stenu profilu brány. Je to realizované z toho dôvodu, aby v aktívnej oblasti snímača nebol nežiadaný rušivý predmet (v tomto prípade vstupný prípravok pre vysoké tela). Tesne za vstupnou bránou je umiestnený podstavec (obr. 61 - 1) na ktorý sa upevňujú prípravky (obr. 61 - 2) podľa typu ventilu. Za podstavcom je ešte priskrutkovaný doraz (obr. 61 - 3) k hlavnej doske stola, ktorý zabezpečuje správnu polohu ventilu po vložení. V prípade výroby vysokých tiel je vstupný prípravok upevnený len pomocou kolíkov. Posledný prvok vstupnej časti tvorí kamerová čítačka 2D kódu. Slúži na načítanie jedinečného čísla daného ventilu, ku ktorému sa následne budú do databáze ukladať výsledky testov, čo v prípade reklamácií zabezpečuje plnú spätnú sledovateľnosť. Tento typ má pracovnú vzdialenosť maximálne 200 mm, čo je pre túto aplikáciu plne dostačujúce. Ďalším dôležitým parametrom bola veľkosť snímaného objektu. Keďže vo firme sa čítačka používa u druhej linky, bolo experimentálne overené, či dokáže načítať

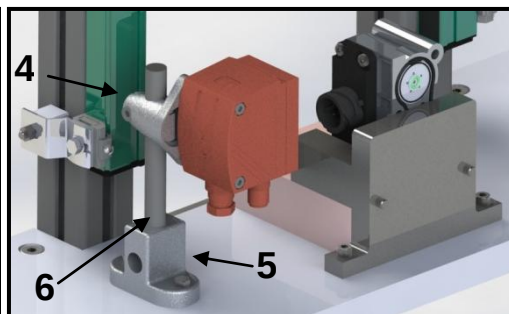
navrhovanú veľkosť 2D kódu zo štítku. Test mal kladné výsledky a z tohto záveru vyplýva, že daná čítačka je pre túto aplikáciu vhodná. Uchytenie je realizované pomocou montážneho setu (obr. 62 - 4), podstavcom (obr. 62 - 5) a montážnou tyčou (obr. 62 - 6).



Obr. 60 – Držiak optickej závery



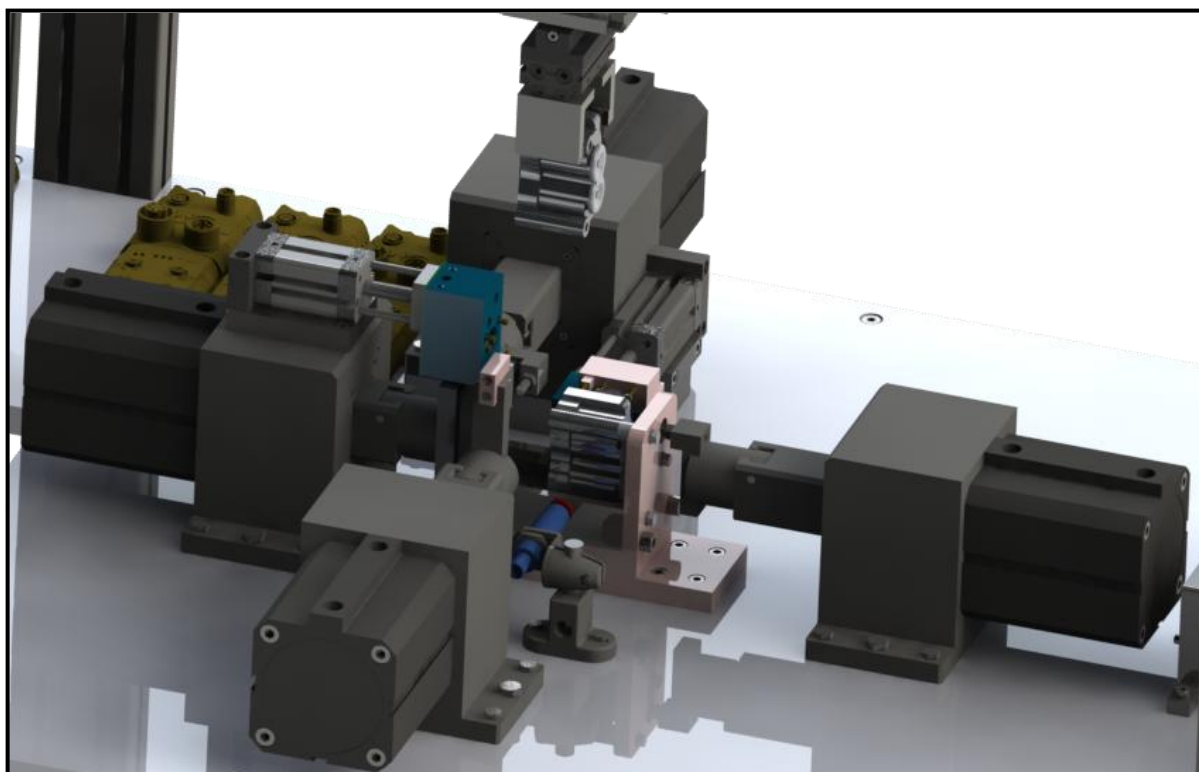
Obr. 61 – Vstupný prípravok



Obr. 62 – Kamerová čítačka 2D kódu

5.4.2.3 Vysoko-napäťový test

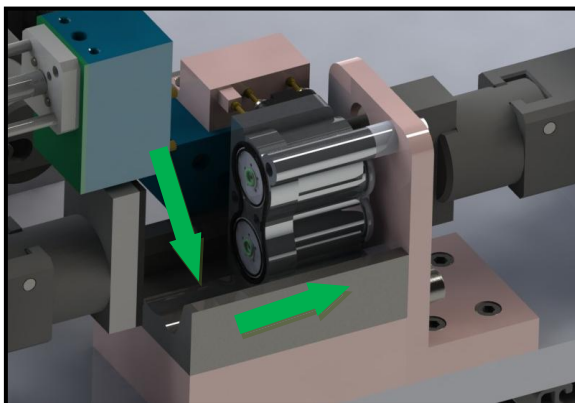
Vysoko-napäťový test je zložený z niekoľkých častí. Základ tvorí podstavec prípravku, samotný prípravok a doraz posuvu nízkeho ventilu. Ďalej sú to pneumatické lineárne pneumatory pre aretáciu polohy ventilu, kompaktné valce pre privedenie napájania na ventil, valce s krátkym zdvihom pre razenie bodky označujúcej úspešný test a RFID senzor pre identifikáciu správneho prípravku.



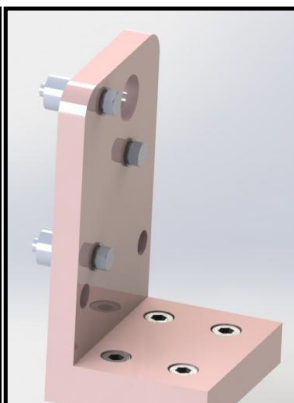
Obr. 63 – Vysoko-napäťový test

V prípade výroby ventilov s nízkymi telami je ventil manipulátorom vložený na koniec prípravku. Pomocou valca s krátkym zdvihom je následne ventil posunutý smerom k dorazu až do koncovej polohy (obr. 64). Doraz (obr. 65) má v sebe

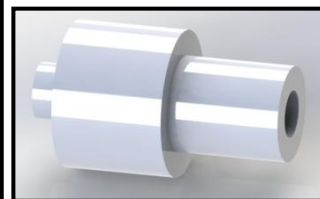
vložené a skrutkou poistené 3 piny (obr. 66), na ktoré ventil po zasunutí do krajnej polohy dosadá. Ďalej obsahuje diery pre raziaci trň a diery, cez ktoré sa skrutkami prípravok upevňuje k dorazu. Vzhľadom na to, že sa počas testovania privádza vysoké napätie aj na samotné telo ventilu, je dôležité izolovať telo od dosky testovacej stanice z bezpečnostných dôvodov. Preto podstavec a doraz musia byť vyhotovené z nevodivého materiálu (plastu).



Obr. 64 – Rez VN testom

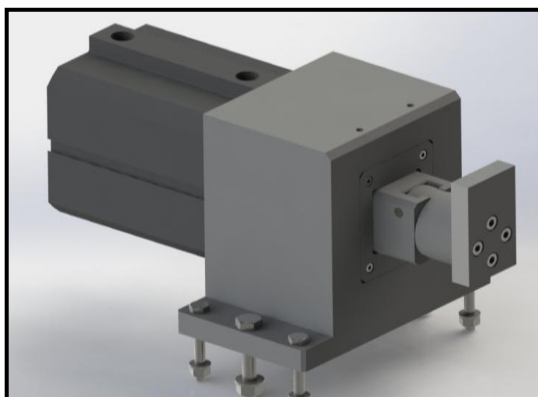


Obr. 65 – Doraz pre nízke telá



Obr. 66 – Tvar pinu pre aretáciu

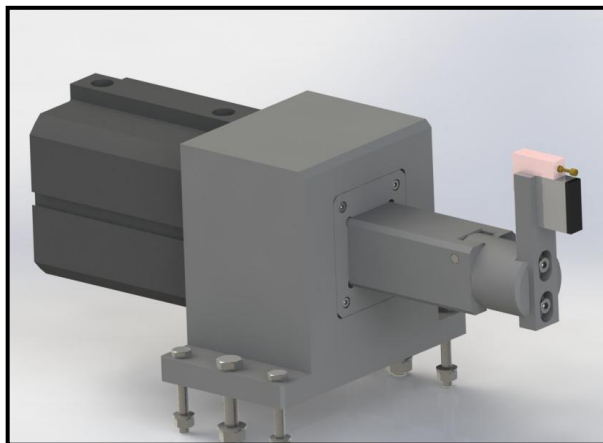
Posuv ventilu po prípravku a dotlačenie na doraz pre nízke telá je realizované pomocou valca s krátkym zdvihom. Jeho dve krajné pozície sú snímané indukčnými snímačmi uchytené pomocou držiaku z originálneho príslušenstva. Vkladajú sa z ktorejkoľvek strany do drážky na boku pneumatiku a ich poloha sa poistí pomocou dvoch nastavovacích skrutiek. Samotný valec je upevnený k hlavnému domčeku pomocou skrutiek M8. Do diery v piestnici je naskrutkovaný tvarový adaptér tvoriaci prechod zo závitú M16 na M10. Tento adaptér je vložený do vedenia posuvu valca, ktoré má štvorcový profil. Z druhej strany vedenia je vložená skrutka, ktorá zabezpečuje spojenie vedenia a piestnice cez adaptér. Vedenie piestnice ešte prechádza cez štvorcovú prírubu, ktorá zabezpečuje vedený pohyb a je priskrutkovaná k hlavnému domčeku. Ďalšiu časť tvorí valcový adaptér spojený kolíkom s vedením štvorcového profilu. Na tento adaptér následne dosadá len doska upevnená štyrmi skrutkami M5 a na nej nalepená ochranná guma a to z dôvodu, aby sa pri posuve ventil nepoškodil.



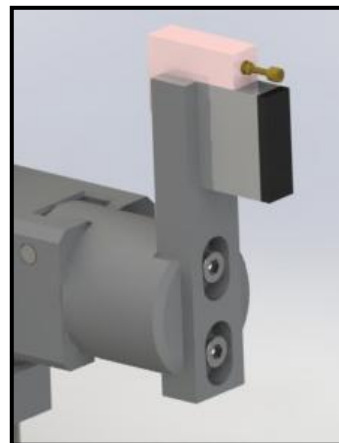
Obr. 67 – Zostava valca s krátkym zdvihom pre aretáciu ventilov s nízkymi telami

Areťácia polohy ventilu s vysokými telami je realizovaná takisto pomocou valca s krátkym zdvihom s rovnakým uložením, len s jediným rozdielom a to

konštrukciou pritláčacej dosky. Tá je v tvare prevráteného písmena „L“, ktorá je upevnená na valcový adaptér pomocou dvoch skrutkových spojov. Na ploche, ktorá je pritláčaná na ventil je ešte nalepená guma opäť z dôvodu, aby sa zabránilo poškodeniu testovaného ventilu. Posledný prvok zostavy tohto valca tvorí puzdro z nevodivého materiálu. V ňom je nasunutý mosadzný kontakt pomocou ktorého sa nakontaktuje telo ventilu pred zahájením VN testu. Upevnenie na pritláčaciu dosku je takisto realizované pomocou skrutky M3 so zápusťou hlavou. Samotnú aretáciu ventilu zabezpečujú hlavne kolíky v prípravku pre vysoké ventily, upevnenie pomocou tohto valca slúži najmä ako podpera pôsobiaca opačným smerom voči sile raziaceho trňa počas označovania ventilu o úspešnom teste.



Obr. 68 – Zostava valca s krátkym zdvihom pre aretáciu ventilov s vysokými telami

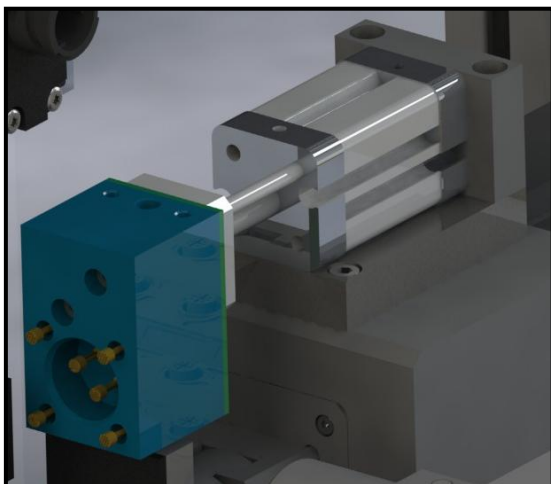


Obr. 69 – Pritláčacia doska

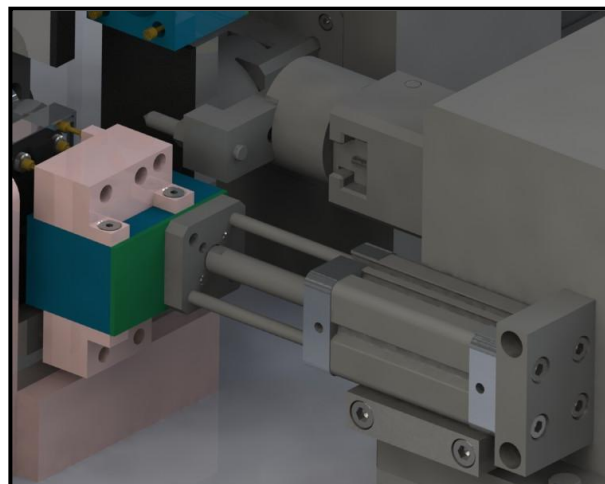
Po ukončení procesu aretácie ventilu v prípravku je ďalším krokom v procese overenie prítomnosti skrutiek na ventile, ktoré upevňujú konektor k telu. Tento druh Poka-Youke je realizovaný podobne ako v jednej z modifikovaných operácií (lisovanie guľôčky) pomocou uzavretia elektrického obvodu. Pomocou kompaktného valcapre nízke ventily a kompaktného valca pre vysoké ventily (obidva s vedením) sú vysunuté mosadzné kontakty umiestnené v plastovom kryte (vysoké telá) alebo v dvoch plastových nadstavbách (nízke telá), ktoré dosadajú na skrutky ventilu. V prípade, že skrutka nie je prítomná, kontakt dosadá na plastový konektor a tým pádom nie je uzavretý elektrický obvod cez tento kontakt a pomocou PLC algoritmu následne bude kus vyhodnotený ako NOK kus. Dve krajné pozície pohybu piestnice každého valca sú snímané indukčnými snímačmi, ktoré patria do originálneho príslušenstva. V plastovom kryte sa takisto nachádzajú i mosadzné kontakty pomocou ktorých sa privádza na ventil napätie. V zostave pre nízke tela je ešte o jeden kontakt viac, ktorý dosadá na telo ventilu (u vysokých tel je tento kontakt umiestnený na pritláčacej doske, ktorá zabezpečuje aretáciu polohy ventilu). Po otestovaní prítomnosti skrutiek prebieha samotný vysoko-napäťový test.

Umiestnenie kompaktného valca pre vysoké telá (obr. 70) je na domčeku valca s krátkym zdvihom. Na dosiahnutie správnej výšky je ešte podložený podstavcom. Samotné upevnenie valca je realizované skrutkami v spojení valec – zadná stena a ďalšími skrutkami cez túto stenu do podstavca.

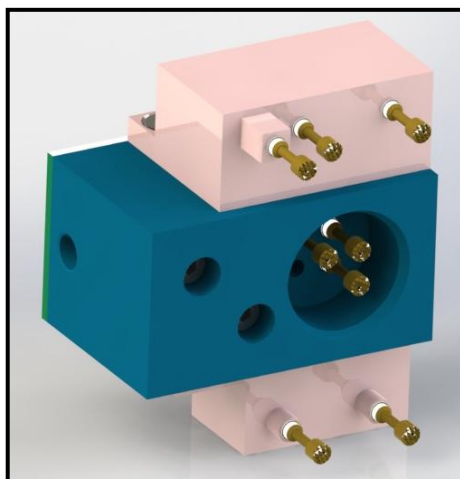
Umiestnenie kompaktného valca pre nízke telá (obr. 71) je situované na bok valca raziaceho trňa pre vysoké ventily. Spojenie je realizované pomocou dvoch stien cez skrutkové spoje, pričom prvá stena valec podopiera zo spodnej strany a druhá zabezpečuje spojenie s domčekom pre valec ovládajúci raziaci trň. Na obr. 72 je zobrazený plastový kryt so všetkými kontaktmi.



Obr. 70 – Kontaktovanie vysokého ventilu

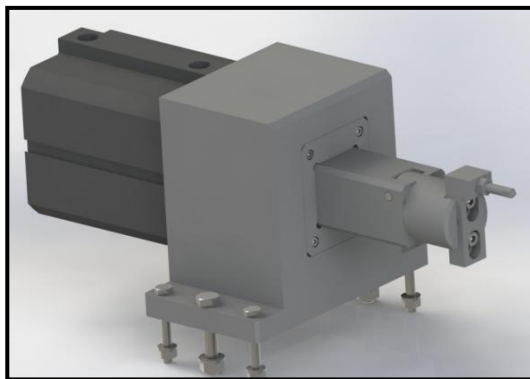


Obr. 71 – Kontaktovanie nízkeho ventilu

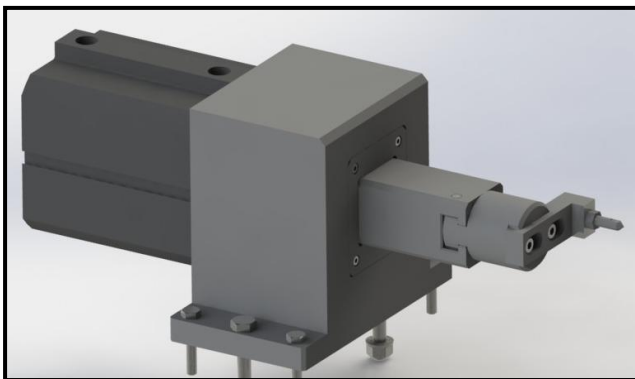


Obr. 72 – Plastový kryt s kontaktmi pre nízke telá

Ďalšiu časť VN testu tvoria valce s krátkym zdvihom slúžiace na razenie značky po úspešnom teste. Konštrukčný základ je rovnaký ako u valcov s krátkym zdvihom pre aretáciu polohy ventilov a teda sa skladá s pneumatikou, rovnakých indukčných snímačov pohybu piestnice, hlavného domčeku, vedenia štvorcového profilu, závitového adaptéru, vymedzovacej príruby a valcového adaptéru. Jedinú zmenu tvorí úchyt pre raziaci trň, ktorý je na valcový adaptér upevnený pomocou skrutiek M5 s možnosťou malej korekcie polohy. Doňho je vložený raziaci trň upevnený M6 maticou. Jednotlivé razidlá pre vysoké a nízke ventily majú len malé odlišnosti. V prvom prípade je uchytenie prípravku pre trň pootočené o 90° z priestorových dôvodov a snahy o najvhodnejšie umiestnenie celej zostavy na doske stanice. Ďalší rozdiel je v dĺžke úchyty raziaceho trňa. U razidla pre vysoké ventily je takisto nutný podstavec pod hlavný domček a to z dôvodu dosiahnutia požadovanej výšky mechanickej bodky na tele ventilu. Takisto je rozdiel aj v uchytení celej zostavy k hlavnej doske testovacej stanice, kde časť skrutiek je zaskrutkovaná do podstavca a len dve stredné vedú i cez hlavnú dosku.



Obr. 73 – Razidlo pre nízke telá

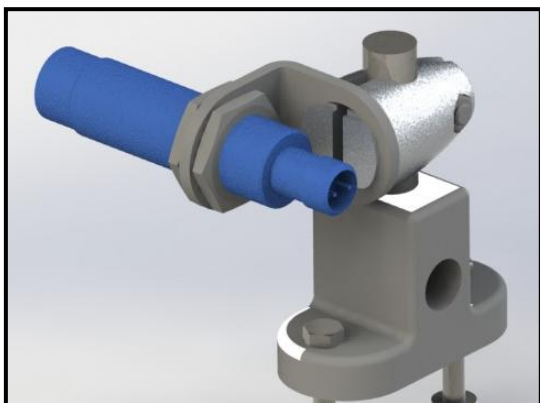


Obr. 74 – Razidlo pre vysoké telá

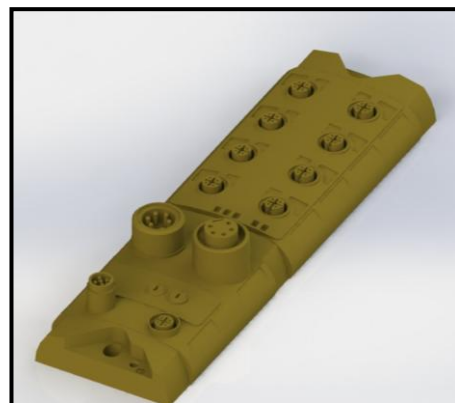
Jednu z posledných častí VN testu tvorí RFID senzor. Je to čítacia / zapisovacia hlava, ktorá umožňuje získať informácie z dátového nosiča (malý kruhový tanier) prostredníctvom rádiových frekvencií. V tomto prípade je potrebné rozpoznávať správny prípravok pre daný typ ventilu. Ako dátové nosiče boli vybrané taniere, kde každý prípravok pre ventil obsahuje jeden nosič s rozdielnou informačnou hodnotou a pomocou senzoru RFID sa identifikuje prítomnosť správneho prípravku. Presná poloha samotného RFID senzoru je realizovaná pomocou nasledovného montážneho príslušenstva (obr. 75):

- podstavec
- montážna tyč
- úchyt senzoru
- upínacia svorka

Poslednú časť tvoria dve svorkovnice (obr. 76) slúžiace na pripojenie signálových vodičov z jednotlivých snímačov.



Obr. 75 – RFID senzor s montážnym systémom

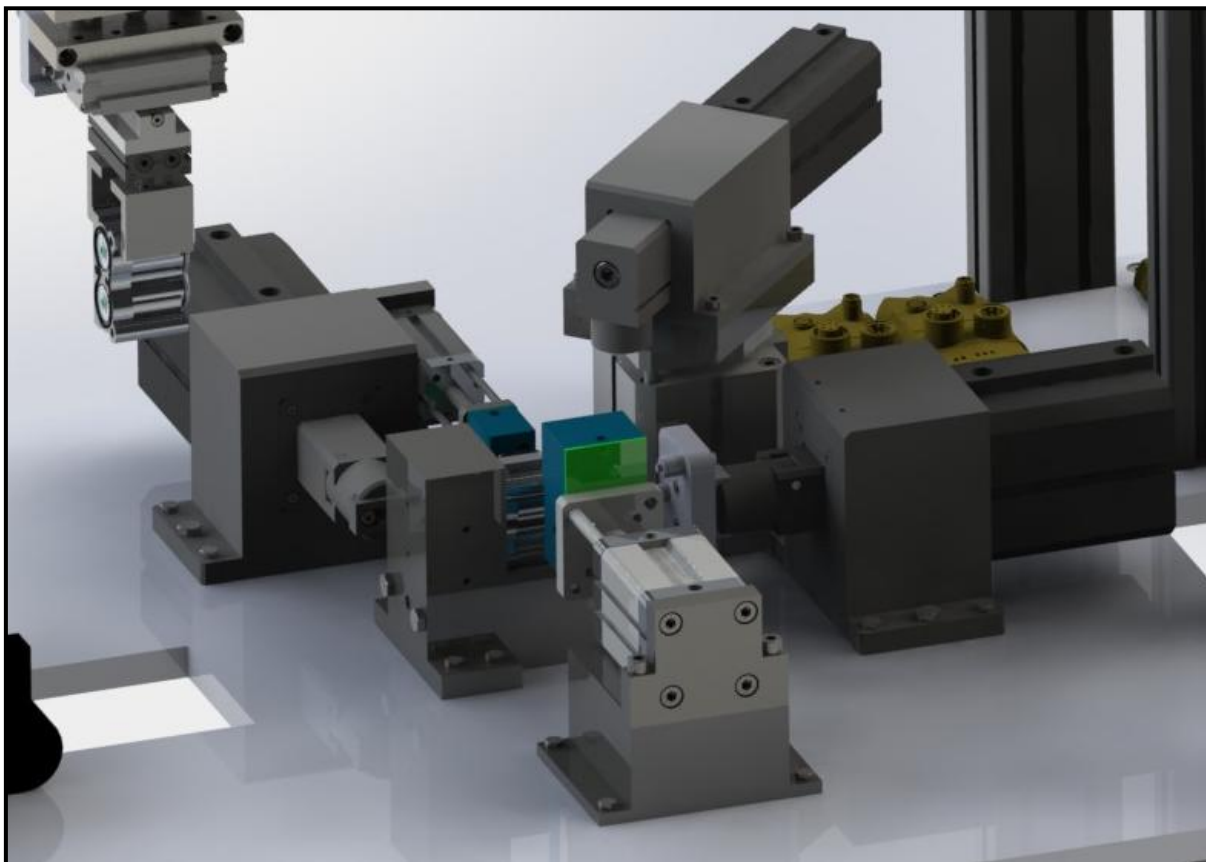


Obr. 76 – Svorkovnica

5.4.2.4 Hlavný test (funkčnosti a úniku)

Stanovisko hlavného testu slúžiaceho na odskúšanie funkčnosti a tesnosti ventilu, prípadne testovania R-portu (pre jeden typ ventilu) sa skladá z nasledovných častí. Základ tvorí podstavec, na ktorý sa umiestňujú vymeniteľné prípravky (pre všetky typy ventilov) a stena dorazu, na ktorú je ventil pritláčaný. Takisto sa tu vyskytujú valce s krátkym zdvihom pre aretáciu polohy jednotlivých typov ventilov,

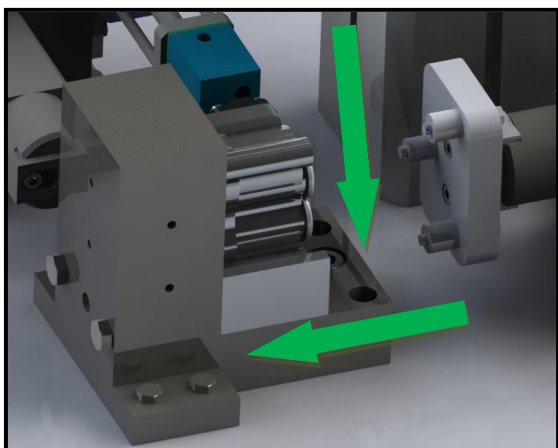
kompaktné valce pre privedenie elektrického napätia na ventil, zostava razidla pre nízke telá a RFID senzor pre identifikáciu správneho prípravku.



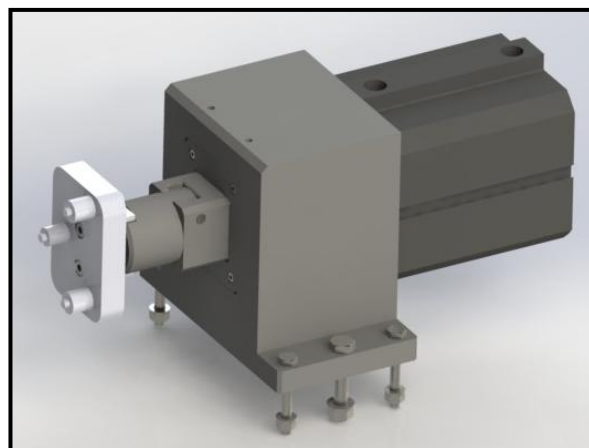
Obr. 77 – Stanovisko hlavného testu

V prípade výroby ventilu s nízkym telom je ventil manipulátorom usadený do prípravku a pomocou valca pre aretáciu je pritláčaný na stenu dorazu (obr. 78). Táto stena má v sebe navŕtané diery, ktoré vedú z boku na zadnú stranu dorazu. Vždy na výstupe obsahujú závitové diery, do ktorých sa naskrutkujú hadice v ktorých prúdi pracovné médium. Bočné diery vedú na prívodný port ventilu a zadné sú po pritlačení ventilu na doraz spojené s výstupnými portami jednotlivých ventilových patrón. Vo vetve prívodných hadíc musí byť ešte umiestnený tlakový spínač nevyhnutný pre správnu funkciu testovania.

Ventil je na stenu dorazu pritláčaný prostredníctvom valca s krátkym zdvihom (obr. 79), kde jeho uloženie, upevnenie a komponenty celej zostavy sú rovnaké ako u zostáv použitých u VN testu. Jediný rozdiel je v koncovej doske, v ktorej sú vložené a skrutkou poistené piny, ktoré zapadajú do troch dier v tele ventilu pri aretácii, teda pritlačná sila pôsobí len na rovný povrch tela ventilu.

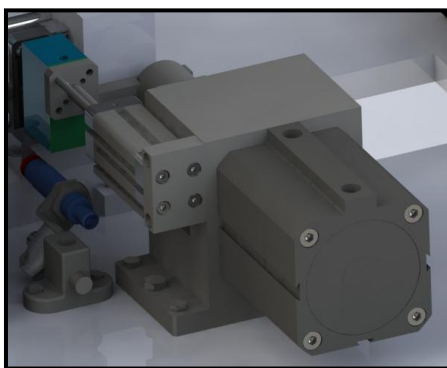


Obr. 78 – Vloženie nízkeho tela do prípravku

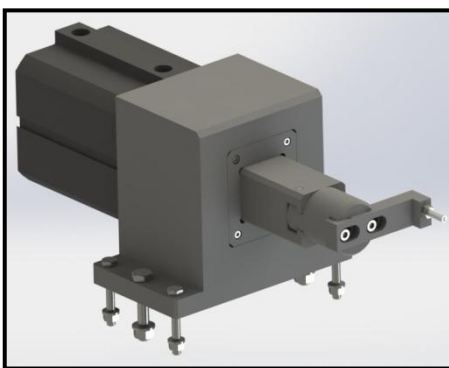


Obr. 79 – Zostava valca pre aretáciu nízkeho tela

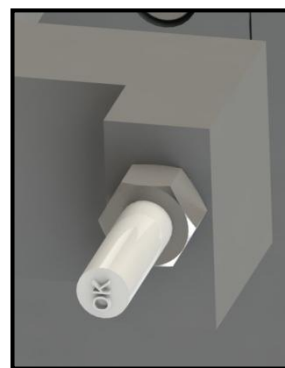
Po aretácii ventilu v prípravku je nutné priviesť na ventil elektrické napätie, aby bolo možné ventil ovládať. Realizované je to opäť podobným spôsobom ako u VN testu prostredníctvom vysunutia piestnice kompaktného valca s vedením, kde kontrola krajných pozícií je takisto vyhodnocovaná pomocou indukčných snímačov nasunutých do drážok tela valca. Na piestnicu je pomocou skrutiek M4 upevnený plastový kryt s mosadznými kontaktmi, ktoré po vysunutí pneumotoru dosadnú na konektor ventilu a tým pádom je zabezpečené napájanie. Samotný kompaktný valec je upevnený na domček razidla pomocou podpery, na ktorej leží a presná poloha je zaistená doskou priskrutkovanou na valec zo zadnej strany. Po kroku kontaktovania následne prebehne testovacia sekvencia (otestovanie funkčnosti ventilu, kedy sa 3x po sebe zopne a rozopne ventil, následné testovanie tesnosti pre každú ventilovú patrónu v zopnutom i rozopnutom stave, pri nízkom i vysokom tlaku podľa testovacej špecifikácie pre daný produkt. Po úspešnom teste sa následne vykoná mechanické označenie ventilu pomocou razidla s OK značkou. Zostava razidla je rovnaká ako u VN testu opäť s jediným rozdielom iného rozmeru úchytu pre raziaci nástavec vzhľadom na odlišné umiestnenie zostavy razidla voči prípravku pre ventil.



Obr. 80 – Razenie a kontaktovanie



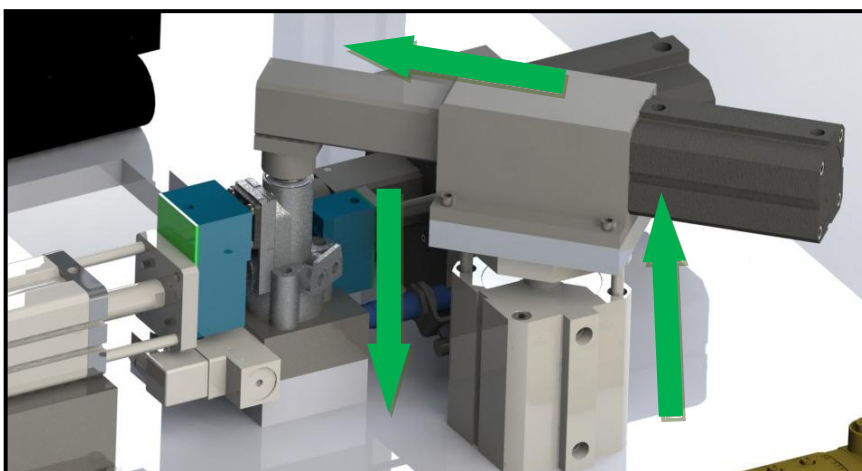
Obr. 81 – Zostava razidla pre nízke ventily



Obr. 82 – OK razidlo

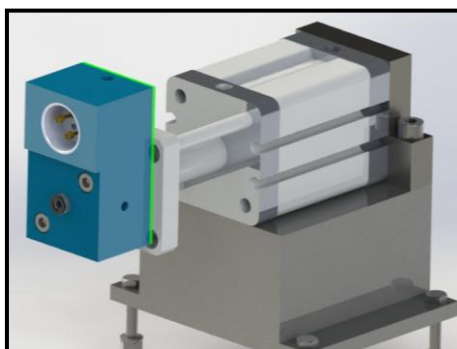
V prípade výroby ventilu s vysokým telom je ventil manipulátorom usadený do prípravku na kolíky. U tohto typu ventilu je však potrebné vytvoriť prítlačnú silu smerom zvrchu. V tomto prípade však nie je možné umiestniť pneumatický valec priamo nad prípravok a to z dôvodu, že by nebol možný prejazd manipulátoru cez túto oblasť. Riešenie je teda realizované pomocou dvoch valcov s krátkym zdvihom s vedením pre pohyb v zvislej ose a pre pohyb vo vodorovnej ose a umožňujú

zasunutie do takej polohy, v ktorej neprekážajú v dráhe manipulátoru. Snímače sú zhodné s tými, ktoré sú navrhnuté pre predchádzajúce aplikácie. Na dosku vedenia spodného valca je priskrutkovaný podstavec pre domček horného valca. V tomto domčeku je vedenie štvorcového profilu, ktoré je cez skrutku M10 spojené s piestnicou valca. Na konci vedenia je priskrutkovaná príruha, cez ktorú je ventil pritláčaný na spodný prípravok. Pri použití týchto väčších valcov je možné prostredníctvom voľby tlaku pracovného média nastaviť ideálny kompromis pritlačacia sila verzus ráz vytvorený pri aretácii.



Obr. 83 – Stanovisko hlavného testu

Po aretácii polohy ventilu v prípravku prichádza na radu kontaktovanie ventilu. Realizované je pomocou kompaktného valca s vedením. Na koniec prípojnej dosky valca je priskrutkovaný element pre kontakty, ktorý však je navrhnutý nie z plastu ako v predchádzajúcich aplikáciách ale z ocele preto, že je potrebná väčšia odolnosť materiálu voči poškodeniu a to z dôvodu, že daným prvkom bude prúdiť pracovné médium. V jeho hornej časti je vložené puzdro z plastu, v ktorom budú nasadené mosadzné kontakty pre napájanie. V dolnej časti je vyvŕtaná cesta pre pracovné médium. Vede z bočnej steny (na začiatku diery je závit pre prírodnú hadicu) a zatáča pod 90° uhlom do prednej časti, kde vývod ide cez dutý hriadeľ s vonkajším závitom, ktorého poloha je zaistená z vonkajšej strany maticou, na ktorej je nalepené gumové tesnenie, ktoré po vysunutí piestnice dosadá na prívod testovaného ventilu. Vysunutím tohto valca sú teda vykonané 2 veci: pripojenie ventilu na elektrické napätie a na prívod pracovného média.



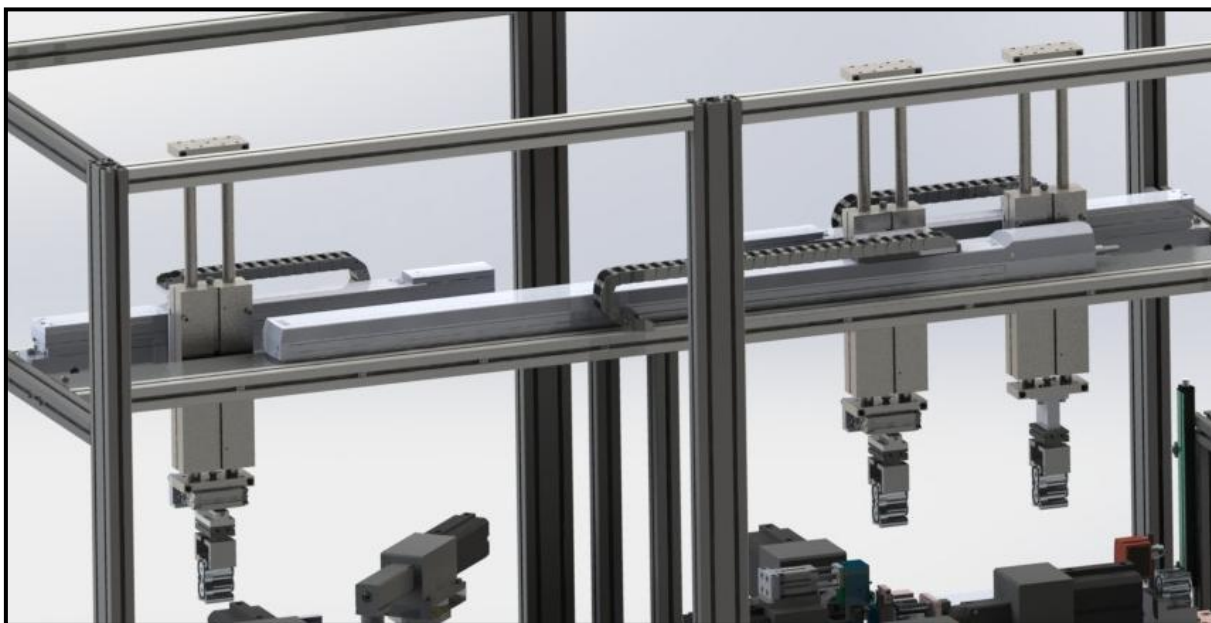
Obr. 84 – Kontaktovanie a prívod vzduchu pre ventil s vysokým telom

Razenie mechanickej značky o úspešnom prebehnutí hlavného testu sa u vysokých tiel nevykonáva automaticky.

Stanovisko hlavného testu takisto obsahuje RFID senzor s montážnym držiakom pre identifikáciu správneho prípravku a dve zbernice na pripojenie jednotlivých snímačov. Tieto komponenty sú rovnaké ako u VN testu.

5.4.2.5 Manipulátor

Presun testovaného ventilu medzi jednotlivými stanoviskami testovacej stanice je zabezpečený pomocou manipulátora (obr. 85), ktorý sa skladá z troch ramien. Rameno s najdlhším pojazdom je usadené na dutom profile obdĺžnikového prierezu a dve ramená s kratším pojazdom na druhom profile. Tieto profile sú upevnené k hlavnej konštrukcii pomocou dvoch skrutiek M8 z oboch koncov cez spájaciu kocku, ktorá je k profilom priskrutkovaná skrutkou M8 (poistenie polohy kocky v axiálnom smere). Ďalej je každý profil, na ktorom ležia ramená manipulátoru priskrutkovaný desiatimi skrutkami z vnútornej strany cez profil ku konštrukcii a poistené hranatou maticou tohto výrobcu z vonkajšej strany. Horizontálne profile sú ešte v strede podporené ďalšími profilmi a to z dôvodu minimalizácie priehybu.



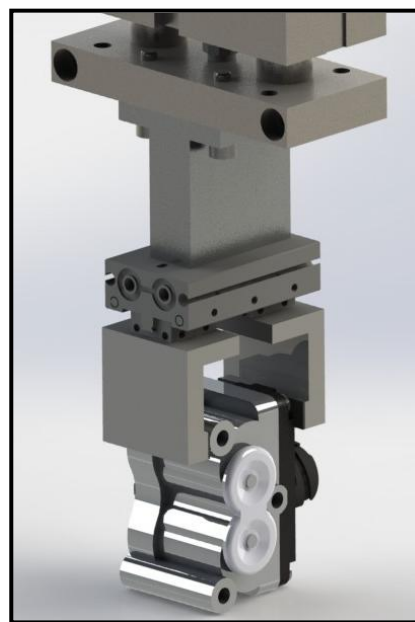
Obr. 85 – Manipulátor testovacej stanice

Rameno manipulátoru č. 1 slúži na prenos ventilu zo vstupného prípravku do prípravku pre VN test. Základnú časť tvorí pohon, ktorý zabezpečuje horizontálny pohyb ventilu. U prvého ramena je tento pohyb zabezpečený pomocou elektrickej osy s jazdcom poháňanej servomotorom, ktorý pri maximálnom možnom zaťažení (10 kg) dosahuje rýchlosť pojazdu 300 mm/s. Hmotnosť ramena, ktoré zaťažuje daný pojazd so všetkými komponentmi bez uchyteného ventilu je 6,61 kg (pri nakupovaných dieloch určené z dátových listov a u obrábaných dielov pomocou softwaru SolidWorks). Najťažší ventil (vysoké telo s veľkou prírubou) dosahuje hmotnosť max. 2 kg, teda maximálna hmotnosť zaťaženia pojazdu elektrickej osi je 8,61 kg, čo je vyhovujúce. Výhodou daného pohonu je takisto vysoká presnosť polohy (schopnosť opakovateľne dosiahnuť polohu s toleranciou $\pm 0,02$ mm). Na

jazdec elektrickej osi je pomocou dosky tvaru „L“ uchytená klzná jednotka, ktorá zabezpečuje pohyb vo vertikálnom smere a jej maximálny zdvih je 200 mm. Jeho snímanie je realizované pomocou dvoch indukčných snímačov uchytených v drážke klznej jednotky pomocou úchytu, ktorý patrí do originálneho príslušenstva. Na spodnú dosku klznej jednotky je priskrutkovaný obrábaný diel, ktorý vymedzuje rovnakú výšku vzhľadom k ostatným ramenám manipulátoru a zabezpečuje spojenie klzná jednotka – gripper. Gripper je v podstate paralelný upínač, pomocou ktorého sa ovláda pohyb upínacích čelustí. Kontrola polohy týchto čelustí je realizovaná pomocou štyroch indukčných snímačov (pre otvorené čeluste, zatvorené čeluste pre nízke ventily, zatvorené čeluste pre vysoké ventily, zatvorené čeluste na doraz – v prípade pádu ventilu), ktoré sú priamo nasunuté do drážok upínača. Na jazdce upínača sú potom priamo priskrutkované čeluste s ochrannou gumou, pomocou ktorých sa ventil uchytáva. Poslednú časť 1. ramena tvorí energetická reťaz, ktorá slúži na správne vedenie a odvalovanie kabeláže a pneumatických hadíc, ktorá je upevnená o dosku zabezpečujúcu spojenie klznej jednotky a elektrickej osi. Druhý koniec je upevnený na konštrukcii.



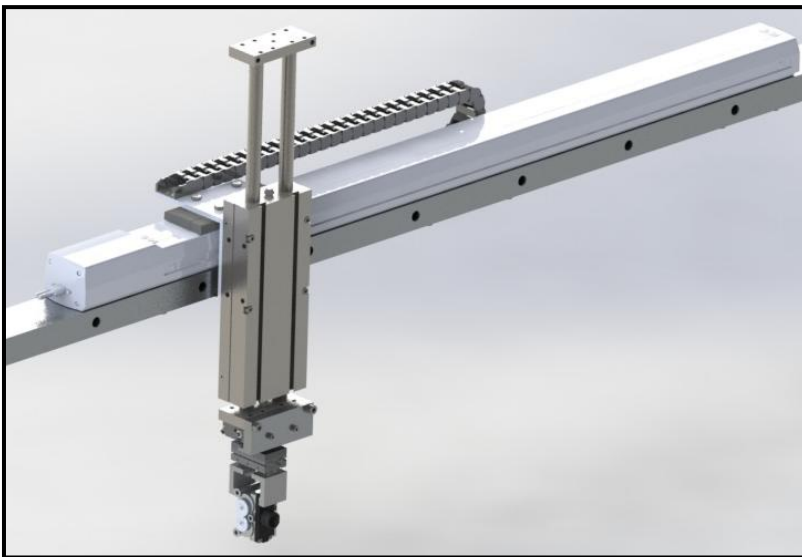
Obr. 86 – Rameno č. 1 manipulátora testovacej stanice



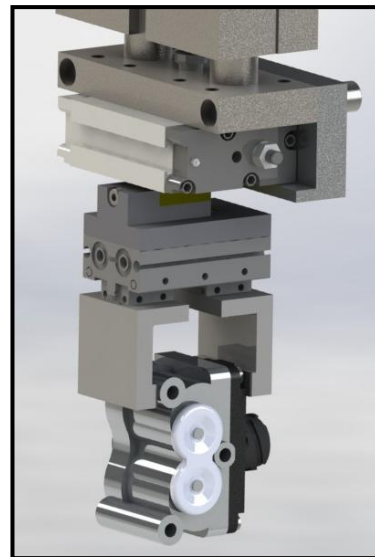
Obr. 87 – Uchytenie ventilu

Rameno manipulátoru č. 2 slúži na prenos ventilu z prípravku VN testu do prípravku hlavného testu. V tomto prípade musí ventil prekonávať vzdialenosť približne 950 mm a preto nemohla byť použitá rovnaká elektrická osa s pojazdom ako v prvom prípade, pretože v takejto veľkosti ju dodávateľ nevyrába. Preto bol zvolený iný typ pohonu. Maximálna hmotnosť záťaže pri tomto type je 40 kg, kde v tomto prípade z hľadiska nosnosti je pohon predimenzovaný. Pri maximálnom zdvihu pojazdu dosahuje rýchlosť 255 mm/s a takisto aj tento pohon má schopnosť opakovateľne dosiahnuť polohu s toleranciou $\pm 0,02$ mm. Konštrukcia tohto ramena je podobná prvému s niekoľkými rozdielmi. Prvým z nich sú odlišné rozmery dosky tvaru „L“ zabezpečujúcej spojenie klzná jednotka – jazdec. Ďalej je použitá dlhšia energetická reťaz vzhľadom na väčší zdvih. Hlavný rozdiel spočíva v tom, že vymedzovací obrábaný diel je nahradený kompaktnou otočnou jednotkou, ktorá umožňuje natáčanie polohy ventilu o 90°. Jej aktuálna poloha je určená snímačom. Spojenie s klznou jednotkou je realizované tvarovou doskou. Rotačný hriadeľ otočnej

jednotky s tvarovou drážkou je zalisovaný do podstavca, na ktorý je prenášaný krútiaci moment. Ten je spojený s paralelným upínačom a tým pádom ho je možné pootočiť o 90°. Ostatné komponenty sú totožné s prvým ramenom.



Obr. 88 – Rameno č. 2 manipulátora testovacej stanice



Obr. 89 – Uchytenie ventilu

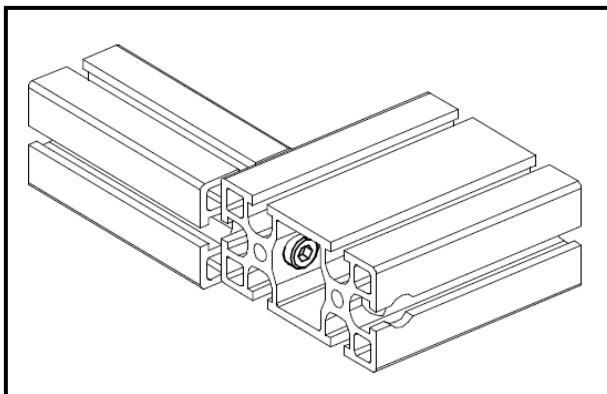
Rameno manipulátoru č. 3 slúži na prenos ventilu z prípravku hlavného testu na pásový dopravník. Toto rameno je v podstate zhodné s ramenom č. 1, kde jediný rozdiel je v tom, že obsahuje i kompaktnú otočnú jednotku ako rameno č. 2, s totožným konštrukčným riešením montáže. Z toho vyplýva, že hmotnosť ramena narastie na hodnotu 7,01 kg a treba skontrolovať, či neprekročí maximálnu možnú zaťažiteľnosť jazdca pohonu. Keďže najťažší ventil má hmotnosť 2 kg, do hranice 10 kg (podľa dátového listu k danému pohonu) zostáva ešte 1 kg rezerva, preto i toto rameno je vyhovujúce.

5.4.2.6 Nosná konštrukcia

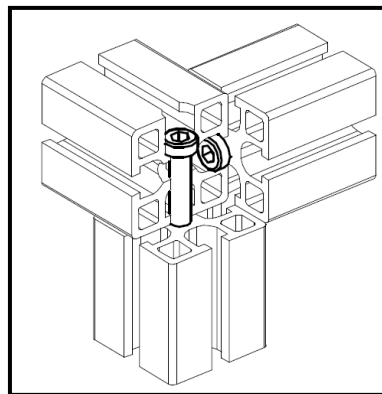
Základ celej testovacej stanice tvorí nosná konštrukcia, ktorá je zložená stavebnicovým systémom a všetky komponenty sú nakupovanými dielmi od spoločnosti Alutec. V navrhutej konštrukcii sa nachádzajú dva typy profilov:

- odľahčený profil 40x40 mm
- odľahčený profil 40x80 mm

Väčší profil je použitý u každej zo šiestich hlavných nôh konštrukcie a všetky ostatné ramená sú zložené z menších profilov. Ako bolo spomenuté, jedná sa o stavebnicový systém a spojenie jednotlivých prvkov je realizované spojením cez profil (obr. 90), prípadne spojením do kríža (obr. 91) pomocou spojovacieho materiálu s normou DIN, ktorý priamo dodáva výrobca. Nohy u väčších profilov sú vytvorené pomocou dielu vedeného cez upínaciu prírubu. U menších profilov je ako noha použitý iný komplet.



Obr. 90 – Spojenie profilov spôsobom cez profil [5]



Obr. 91 – Spojenie profilov spôsobom do kríža [5]

Poslednú časť nosnej konštrukcie tvorí hliníková doska, na ktorej budú priskrutkované hlavné prvky testovacej stanice. Obsahuje teda diery pre spojovací materiál jednotlivých komponentov, diery pre separáciu NOK kusov a takisto diery cez ktoré je doska pomocou skrutiek a štvorcových matic uchytená k nosnej konštrukcii.

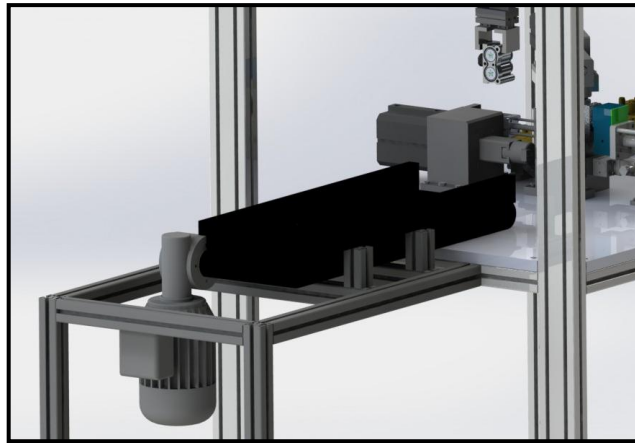


Obr. 92 – Nosná konštrukcia

5.4.2.7 Dopravník pre OK kusy

Výstup z testovacej stanice je realizovaný pomocou pásového dopravníka. Navrhnutá dĺžka osovej vzdialenosti bubnov je 650 mm a to z dôvodu, aby sa na páse mohlo nachádzať viacero kusov ventilov v prípade prípadných úprav procesu v budúcnosti. Šírka dopravníku s držiakmi je 234 mm, čo je pre vyrábané typy ventilov dostačujúce. Pohon tvorí trojfázový asynchrónny motor so závitovkovou prevodovkou. Na rýchlosť pohybu pásu nie sú kladené náročné požiadavky a ani nie je potrebný frekvenčný menič pre reguláciu rýchlosti. Všetky presné parametre sú následne poskytnuté predajcom po vystavení ponuky. Samotné upevnenie je

realizované na konštrukciu stola pre OK kusy spojením hliníkových profilov dopravníka na profily samotnej konštrukcie linky. Výrobca poskytuje daný dopravník v komplexnom prevedení pripravenom pre montáž.



Obr. 93 – Pásový dopravník testovacej stanice

6. INTERNÝ VÝVOJOVÝ DIAGRAM PRE RIADIACI ALGORITMUS

Pre riadiaci algoritmus celého pracovného postupu bol vytvorený interný vývojový diagram podľa štandardov firmy, ktorý slúži ako podklad pre programátora, ktorý ho bude implementovať. Samotný vývojový diagram obsahuje súhrn všetkých operácií, ktoré sú v priebehu pracovného procesu postupne (proces však v jednom okamžiku súčasne prebieha vo viacerých miestach vývojového diagramu) vykonávané a u rozhodovacích členov kontrolované, na základe ktorých vyhodnotenia sú vykonávané žiadané akcie. Samotný riadiaci algoritmus začína zvolením daného typu vyrábaného ventilu na monitore počítača. Následne sú vykonávané operácie podľa danej sekvencie programu – na diagrame sú znázornené v obdĺžnikovom rámečku s čiernou farbou textu. V prípade, kedy sa narazí na rozhodovací člen, algoritmus pokračuje tou cestou, v ktorej je splnená rozhodovacia podmienka. V diagrame je ďalej označenie operácií, v ktorých je aplikovaný systém Poka-Yoke (názov operácie má zelenú farbu textu), operácií, u ktorých prebieha kontrola, prípadne testovanie (oranžová farba textu) a operácií, u ktorých prebieha mechanické značenie ventilu (modrá farba textu). Vývojový diagram je ďalej rozdelený do jednotlivých častí podľa toho, pre akú montážnu, prípadne testovaciu operáciu daný prvok platí. Ďalej každá operácia obsahuje popis snímačov, zariadení prípadne princíp, pomocou ktorého je uskutočnené riadenie danej operácie. Príkladom môže byť operácia, kedy sa vysúva pneumatický valec. Poloha piestnice valca je snímaná indukčným spínač, pomocou ktorého sa zistí vykonanie danej operácie. Signál z indukčného snímača je spracovaný programovateľným logickým automatom a tým pádom sa vyhodnotí daná operácia ako vykonaná a algoritmus môže v štruktúre pokračovať ďalej. V samotnom procese je teda nutné zabezpečiť sledovanie priebehu každej operácie vývojového diagramu, aby bolo možné proces úspešne riadiť. Pri návrhu vývojového diagramu bol tento cieľ splnený.

7. DOKUMENTÁCIA PODĽA ISO/TS 16949

V prípade zavádzania výroby nového druhu výrobku, prípadne akejkolvek zmeny vyrábaného produktu alebo procesu podľa normy ISO/TS 16949 pre automobilový priemysel a firemných štandardov je nevyhnutná tvorba, prípadne aktualizácia nasledujúcich dokumentov, ktorých vypracovávanie sa rozdeľuje medzi oddelenia (dizajn, kvalita, proces) podľa zodpovednosti za daný dokument. Daná firma však nenapĺňa všetky hlavy spomínanej normy a v prípade procesu zavádzania nového výrobku alebo inžinierskej zmeny sa postupuje podľa nasledujúcich dokumentov:

- **D - FMEA:** dizajnová FMEA návrhu výrobku
- **Flow – chart:** procesná mapa
- **WI** (Work instruction): pracovná inštrukcia
- **P – FMEA:** procesná FMEA
- **CP** (Control plan): kontrolný plán
- **PPAP** (Production part approval process): schválenie vhodnosti použitia komponentov vo výrobe - vzorovanie
- **MSA** (Measurement system analysis): spôsobilosť systému merania
- **ECO/NPI** (Engineering change order / New product introduction): inžinierska zmena / implementácia nového typu produktu do výroby
- **SOP** (Standart operating procedure): zahájenie štandardnej výroby

D-FMEA analyzuje vznik chýb z hľadiska konštrukcie, návrhu daného výrobku a následného ovplyvnenia samotnej funkcie produktu. Zodpovednosť za tento dokument spadá pod tým návrhu dizajnu.

Flow-chart alebo procesná mapa zobrazuje sekvenciu jednotlivých montážnych operácií, ktoré je potrebné vykonať pre zhotovenie produktu. Štandardne sa do nej uvádzajú všetky typy produktov patriacich do jednej skupiny, pričom každý produkt musí byť možné vyrobiť podľa tejto procesnej mapy. Zodpovednosť za tento dokument spadá do procesného tímu.

WI alebo pracovná inštrukcia je dokument, ktorý popisuje presný montážny postup podľa ktorého sa výrobný operátor riadi počas výroby a je podľa neho preškolený. Súčasťou tohto dokumentu sú fotografie, ktoré presne znázorňujú jednotlivé operácie.

P-FMEA alebo analýza možných porúch a z nich plynúcich dôsledkov je detailne popísaná v kapitole 2.3.1.1 a takisto spadá pod procesný tím.

CP alebo kontrolný plán vychádza z dokumentu P-FMEA, kde je u jednotlivých operácií popísaný spôsob kontroly daných parametrov, meracie zariadenia alebo nástroje, špecifikácia a tolerancia. Za tento dokument zodpovedá tím kvality.

PPAP je dokument pomocou ktorého sa overuje a schvaľuje vhodnosť použitia daného komponentu do procesu. Prebehne tzv. vzorovanie, kedy sa overujú funkčné rozmery, prípadne iné parametre produktu. Zodpovednosť za tento dokument takisto patrí pod tím kvality.

Pomocou dokumentu MSA overujeme spôsobilosť merania a samotnej meracej metódy. Pomocou tejto metódy zisťujeme nepresnosti a analyzujeme možnosti zlepšenia. Do kategórie MSA takisto spadá dokument CpK (Process capability analysis), prípadne iné druhy spôsobilostí. Za dokument zodpovedá tím kvality.

ECO alebo inžinierska zmena slúži na zavedenie hocijakej zmeny v procese, či už sa jedná o komponent produktu, ovplyvnenie procesu, zmenu testovacej špecifikácie a pod. V prípade NPI zavádzame úplne nový produkt do systému. Obidva druhy spadajú pod tým kvality.

SOP je posledný dokument, ktorý je nevyhnutný pre dokončenie dokumentácie potrebnej pre výrobu podľa ISO/TS 16949. Jedná sa v podstate o schválenie štandardnej výroby podľa postupov APQP (Advanced product quality planning). Zodpovednosť takisto spadá pod tým kvality.

Keďže návrh modifikácie linky je uvažovaný z procesného hľadiska, zameranie je na tvorbu dokumentácie, ktorá spadá pod procesný tím. Z tohto hľadiska je teda nevyhnutná aktualizácia procesnej mapy, pracovnej inštrukcie a dokumentu P-FMEA (aktualizácia ostatných dokumentov spadá pod oddelenie dizajnu a kvality). Tieto dokumenty (okrem WI) boli aktualizované podľa navrhovanej zmeny procesu. Pracovná inštrukcia nie je aktualizovaná a to z dôvodu, že pre jej tvorbu sú nevyhnutné fotografie skutočnej modifikovanej linky pre reálny opis pracovného postupu, ktoré budú vytvorené až po samotnej realizácii vybudovania linky. Význam dokumentu bez týchto fotografií by bol kontraproduktívny.

Z hľadiska sériovej výroby musia byť k výrobnéj linke takisto vytvorené, prípadne aktualizované nasledujúce riadené dokumenty (uvedené s ich skratkami):

- **ZPM:** Inštrukcia pre uvoľnenie linky
- **LOG:** Uvoľňovací formulár
- **RVN:** Riadenie výrobných nástrojov
- **TPM:** Predpis údržby a upratovania (1x pre výrobu a 1x pre údržbu)
- **TPM – LOG:** Záznamový formulár pre TPM (1x pre výrobu a 1x pre údržbu)

Ich tvorba, prípadne aktualizácia je takisto ako u pracovnej inštrukcie možná až po realizácii samotnej linky v dobe ladenia samotného procesu pred začatím sériovej výroby.

8. ODHADOVANÉ NÁKLADY A ÚSPORY PROJEKTU

Pri výpočte návratnosti sa porovnávajú celkové náklady nevyhnutné na projekt modifikácie s dosiahnutými úsporami, ktoré vzniknú touto úpravou procesu. V prvom rade sa teda odhadli ceny jednotlivých komponentov. Tento odhad bol vykonaný na základe vystavených cenových ponúk od výrobcu, prípadne bola cena zistená z faktúr u výrobkov, ktoré spoločnosť Norgren zakúpila v minulosti. V prípade určovania ceny obrábaných dielov záleží na samotnej zložitosti daného dielu a ceny boli odhadnuté za pomoci skúseností pracovníkov firmy. V prípade Norgren výrobkov bola cena dohľadaná v dostupnom internom cenníku.

Jednotlivé komponenty sú rozdelené podľa stanoviska, v ktorom sa v navrhovanej modifikácii linky nachádzajú. Zoznam teda obsahuje nasledujúce položky:

- nosná konštrukcia
- vstupná časť testovacej stanice
- VN test
- hlavný test
- dopravník
- manipulátor
- lisovanie guľôčky
- elektronika a elektrická časť, ostatné

Zoznam obsahuje i položky, u ktorých je nulová cena. Znamená to, že sa použijú tie isté komponenty, ktoré sú pre danú linku dostupné alebo na nej v súčasnosti sú. Celkový cenový odhad na realizáciu modifikácie linky je:

736 998 CZK bez DPH (8.1)

V prípade výpočtu rozpočtu projektu sa však táto suma ešte navýši o 10 %, čím by sa mali pokryť všetky neočakávané náklady (zmena ceny výrobcu, nepredpokladané komplikácie pri montáži a pod.). Po navýšení touto hodnotou sa dostávame na konečnú sumu odhadu:

810 698 CZK bez DPH (8.2)

V ďalšom kroku, aby bolo možné vypočítať návratnosť sa určia celkové úspory, ktoré sa dosiahnu po zrealizovaní tejto úpravy linky. Samotný výpočet je aplikovaný na výrobu v predchádzajúcom roku, kde sa porovná reálny výstup, ktorý linka dosiahla s teoretickým výstupom pri navrhovanej modifikácii. V tab. 10 je v prvých stĺpcoch vypísaný každý typ ventilu, ktorý sa vyrábal za predchádzajúci rok a jeho cena. U ventilu typu 1020321 bol výstup u pôvodnej i modifikovanej linky vypočítaný pomocou metódy MOST. U ostatných typov bol výstup určený pomocou úzkeho miesta procesu a tým pádom jeho maximálna priechodnosť za 1 hodinu. U pôvodnej linky tvorí úzke miesto test. U modifikovanej verzie takisto test, až na výnimku ventilov s krátkou testovacou sekvenciou, kde je úzke miesto montáž. Ďalšie stĺpce tabuľky obsahujú porovnanie výstupu za jednu hodinu pred a po modifikácii. Ďalej čas potrebný na výrobu objemu kusov vyprodukovaných za predchádzajúci rok pred a po modifikácii. Rozdielom týchto hodnôt následne dostávame časovú úsporu

(případně nárůst) v hodinách. Z této hodnoty následně vynásobením mzdou za hodinu práce člověka a práce stroje dostáváme hodnoty úspory (nárůstu) za celkovou cenu práce (člověka, stroje).

Z dosažených výsledků je možné zjistit, že u dvou typů ventilů není dosažená úspora a to z důvodu, že u nich trvá testovací sekvence nejkratší ze všech a úzce místo tvoří montáž operátora. Tím pádem se sníží hodinový výstup. U ostatních typů úspora nastává a celkově se pohybuje v kladných číslech. Přesné výsledky je možné vidět v další tabulce (tab. 10).

K této sumě se následně připočítá suma za cenu práce 2. operátora, který se po modifikaci zruší. Další položka v seznamu je zrušení výstupní kontroly, kterou na původní lince vykonával jeden operátor polovicu pracovní změny a to z důvodu zavedení částečné automatizace na výrobní lince. Následně dostáváme celkovou sumu úspor (tab. 10).

Výpočet celkových úspor		
Celkové úspory	[CZK]	[€]
Celkové úspory za 1 rok	410 668	16 361
Celkové úspory za 2 roky	821 336	32 722

Tab. 10 – Celkové úspory

9. ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť návrh modifikácie montážnej linky pre výrobu elektromagneticky ovládaných ventilov spoločnosti IMI International – Norgren CZ, čo sa úspešne podarilo.

V prvej časti práce je popísaný systém Poka-Yoke, ktorý sa používa na zabránenie vzniku chýb pri výrobnom alebo montážnom procese. V tejto časti je takisto rozobraný analytický nástroj FMEA, ktorý sa používa na identifikáciu slabých miest v procese a pomocou neho môžeme určiť vhodné miesta pre použitie Poka-Yoke. Časť práce je venovaná rozdeleniu a popisu typov, ktoré sa najčastejšie používajú v danej firme. Jedna kapitola je venovaná popisu pneumatických ventilov, ktoré sa na danej linke vyrábajú.

V hlavnej časti práce je vypracovaný návrh modifikácie linky, ktorý zahŕňa časovú analýzu a rovnováhu ako pôvodného, tak i modifikovaného procesu (kde bola dosiahnutá časová rovnováha), ďalej pôvodný stav a návrh modifikovaného rozloženia pôdorysu linky a v neposlednom rade konštrukčný návrh so zavedením automatizačných prvkov a implementáciou Poka-Yoke systémov, ktoré umožňujú elimináciu jedného operátora, pričom výstup linky u 80% vyrábaných typov ventilov dosahuje vyššiu hodnotu ako u pôvodného procesu. So zavedením automatizačných prvkov je takisto možné zrušiť výstupnú kontrolu. V práci je ďalej popísaný kompletný konštrukčný návrh s výberom snímačov použitých pre danú aplikáciu.

Ďalej bol ku konštrukčnej časti vypracovaný vývojový diagram pre riadenie výrobného procesu pomocou PLC podľa interných pravidiel danej firmy.

V predposlednej časti je popísaná dokumentácia nevyhnutná pre akúkoľvek zmenu v procese alebo výrobku (v úvahu sú brané interné pravidlá, ktoré však nenapĺňujú všetky hlavy normy ISO/TS 16949) v prípade výroby pre automobilový priemysel. Z toho boli vypracované dva dokumenty (FMEA a procesná mapa) podliehajúce tejto norme a spadajúce pod procesný tím, ktoré bolo možné vypracovať ešte pred samotnou realizáciou linky.

V poslednej časti sú odhadnuté náklady na navrhnutú modifikáciu linky a takisto i úspory, kde sa pri ich výpočte vychádzalo z objemu výroby dosiahnutej v roku 2012. Pri porovnaní celkových nákladov s úsporami je dosiahnuteľná návratnosť projektu za približne 2 roky (1,97 roku).

Z uvedeného je teda zrejmé, že všetky ciele stanovené na začiatku práce boli splnené. Z hľadiska ďalšej optimalizácie by bolo možné zaviesť plnú automatizáciu u testovacej stanice. Jednalo by sa o automatické vkladanie do testu, kedy by sa ventily pripravené pre testovanie hromadili v zásobníku s prípadným automatickým výberom vstupných prípravkov, ktoré by boli usadené na lineárnom pojazde a nebola by nutná výmena pri zmene vyrábaného typu ventilov. V tomto prípade by však náklady narástli na takú hodnotu, v ktorej by nemohlo byť dodržané všeobecné pravidlo dodržania intervalu návratnosti do dvoch rokov a tým pádom neschválenie projektu vedením danej firmy.

10. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

PLC	- Programmable logic controller (programovateľný logický automat)
FMEA	- Failure mode and effect analysis (analýza možných porúch a ich dôsledkov)
RPN	- Risk priority number (výsledná spôsobilosť operácie)
ISO TS	- technická špecifikácia normy vytvorenej Medzinárodnou organizáciou pre štandardizáciu
LEAN	- štíhly, vo zmysle štíhla výroba
CCD	- Charged-coupled device (snímač obrazu)
CMOS	- Complementary Metal Oxide Semiconductor (snímač obrazu)
LED	- Light - emitting diode (polovodičový svetelný zdroj)
OK	- okay (termín označujúci správnosť, funkčnosť)
NOK	- not okay (termín označujúci nesprávnosť, nefunkčnosť)
AND	- logická funkcia
KLT	- plastová priemyselná prepravka
C	- kapacita
ϵ_0	- permitivita vzduchu
ϵ_R	- permitivita materiálu
S	- plocha elektród
d	- vzdialenosť elektród
1D, 2D	- jednorozmerný, dvojrozmerný
PTO	- Power take-off (systém pomocného pohonu)
MOST	- Maynard Operation Sequence Technique (metóda na meranie času procesu nepriamym spôsobom)
TMU	- Time measurement unit (jednotka času, 1TMU=0,036 s)
VN	- vysoké napätie
R-port	- Exhaust port (vývod pre odľuk)
RFID	- Radio frequency identification (identifikácia na rádiové frekvencii)
CZK	- Česká koruna
€	- Euro
WI	- Work instruction (pracovná inštrukcia)
CP	- Control plan (kontrolný plán)
PPAP	- Production part approval process (schválenie komponentov)
MSA	- Measurement system analysis (spôsobilosť systému merania)
CPK	- Process capability analysis (spôsobilosť procesu)
SOP	- Standart operating procedure (zahájenie štandardnej výroby)
ECO	- Engineering change order (inžinierska zmena)
NPI	- New product introduction (implementácia nového produktu)
ZPM	- inštrukcia pre uvoľnenie linky
LOG	- ručne vyplňovaný formulár
RVN	- riadenie výrobných nástrojov
TPM	- Total Productive Maintenance (predpis údržby a poriadku)

11. POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Wikipedia: The Free Encyclopedia [online]. 2001. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Štíhlá_výroba>.
- [2] Wikipedia: The Free Encyclopedia [online]. 2001. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Poka-yoke>>.
- [3] 4Lean tools Poka-Yoke [online]. 2011. Dostupné z WWW: <http://www.4lean.net/cms/images/stories/demo/4_lean_tools_poka_yoke_en.png>.
- [4] Filipčík, Jiří, Ing.: *Poka-Yoke solutions*. 2012. Interný školiaci materiál společnosti IMI Norgren CZ.
- [5] Katalog Alutec K&K – hliníkový konstrukční systém [online]. 2013. Dostupné z WWW: <<http://www.aluteckk.cz/Katalog/>>.
- [6] Accessories for Safety Control Devices [online]. 2013. Dostupné z WWW: <[http://www02.abb.com/global/deabb/deabb207.nsf/0/06b8b2b9685bb806c12579b5004187c7/\\$file/SafeballZweihandsteuerung.jpg](http://www02.abb.com/global/deabb/deabb207.nsf/0/06b8b2b9685bb806c12579b5004187c7/$file/SafeballZweihandsteuerung.jpg)>.
- [7] Bezpečnostní nášlapné rohože [online]. 2010. Dostupné z WWW: <http://www.contra-brno.cz/images/produkty/48_Datenblatt_ASK_DE_16.DB.00.001_Rev_08.pdf>.
- [8] Siemens sirius position switch [online]. 2010. Dostupné z WWW: <<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1061/0900766b810617c3.pdf>>.
- [9] GrabCAD, Open Engineering platform [online]. 2010. Dostupné z WWW: <<http://grabcad.com/library/siemens-s7-200-cpu226>>.
- [10] SYMERŠKÝ, T. *Kapacitní senzor v nízkoteplotní keramice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kosina. [online]. Dostupné z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17474>.
- [11] Optoelektornické snímače – použití [online]. 2011. Dostupné z WWW: <http://www.senzory.cz/bos_pouziti.asp>.
- [12] KOŘISTKA, P. *Měření polohy indukčními snímači*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Huták, Ph.D. [online]. Dostupné z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28360>.
- [13] Color sensors for detecting up to three colors [online]. 2013. Dostupné z WWW: <<https://mysick.com/sagqara/im0009671.pdf>>.

[14] Balluff Laser diffuse sensor - datasheet [online]. 2013. Dostupné z WWW: <<http://www.s-d-a.sk/balluff/pdf/opticke/bos-18m-laser-difpp-en.pdf>>.