VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NOVÁ KONCEPCE TESTOVACÍCH PŘÍPRAVKŮ PRO PŘEDNÍ SVĚTLOMETY OSOBNÍCH VOZIDEL

NEW CONCEPT OF CAR HEADLIGHTS TEST FIXTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Petr Melničuk
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
SUPERVISOR

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Bc. Petr Melničuk**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok:	2020/21

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:

Nová koncepce testovacích přípravků pro přední světlomety osobních vozidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době jsou v naprosté většině konstrukčních řešení testovacích přípravků využívány pneumatické aktuátory. Předpokládá se tedy, že výrobní prostory jsou vybaveny rozvody stlačeného vzduchu napojené na EOL testery. Cílem řešené problematiky je provést analýzu možných řešení, kompletně nahrazujících pneumatické aktuátory elektrickými a zhodnotit ekonomické aspekty této náhrady nejen z pohledu prostého srovnání ceny konstrukčních komponent, ale také celkových provozních nákladů EOL testeru a nákladů jeho provozního technického zabezpečení. Toto bude provedeno na konkrétních praktických řešeních využívaných ve výrobě.Zadání závěrečné práce je řešeno ve spolupráci s ELCOM, a. s. se sídlem v Praze, pracoviště Ostrava.

Cíle diplomové práce:

Rešerše současného stavu a stávajících řešení v oblasti řešení testovacích a výrobních přípravků v poloautomatických a automatických výrobních systémech výroby komponent pro automobily.
Technické a ekonomické zhodnocení konstrukčních řešení stávajících testovacích přípravků společnosti ELCOM, využívajících pneumatické aktuátory.
Systémový rozbor existujících elektrických aktuátorů nahrazující pneumatické prvky, technické a ekonomické vyhodnocení současného stavu.
Návrh nejméně dvou variant řešení v návaznosti na bod 3 výše a jejich vyhodnocení multikriteriální metodou.
Propracování dvou technicko–ekonomicky nadějných a realizovatelných variant náhrady pneumatických aktuátorů elektrickými na skutečném testovacím přípravku firmy ELCOM v jeho 3D modelu, porovnání technických a ekonomických parametrů obou řešení. Projektová a výkresová dokumentace s příslušným komentářem
Kritické zhodnocení dosažených výsledků (klady, zápory, popis funkce), porovnáním provozních (se zahrnutím životnosti) a ekonomických parametrů obou řešení.
Závěr a doporučení pro další rozvoj (zpětná vazba) pro výrobce přípravků dle výsledků provedených analýz a konstrukčních řešení.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je vytvořit návrhy náhrady pneumatických pohonů elektrickými aktuátory pro zajištění mechanických pohybů testeru světlometů. Součástí práce je v její první části také teoretický úvod do dané problematiky. Varianty nahrazení jsou posuzovány dle zvolených parametrů a vyhodnoceny metodou mutikritériálního hodnocení. Na základě výsledků hodnocení jsou sestaveny dva finální návrhy, které jsou zapracovány do 3D modelu testeru. Pro tato řešení je vytvořena výkresová dokumentace, která je součástí práce. Ze zjištěných výsledků v průběhu zpracování je na závěr provedeno doporučení pro výrobce testerů, firmu ELCOM a. s.

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is designing a way of substituting pneumatic drives with electrical actuators for mechanical movements in a headlights tester. The thesis also contains a theoretical introduction to the issue in the first part. Substitution variants are assessed considering chosen parameters and evaluated using multi-criteria evaluation method. Two final designs are compiled based on the evaluation results and processed into the 3D model of the tester. Drawings are produced for these solutions. In conclusion, a recommendation derived from achieved results is given to the tester manufacturer, ELCOM a.s.

KLÍČOVÁ SLOVA

Testování světlometů, elektrické aktuátory, pneumatické válce, nahrazení pohonů

KEYWORDS

Headlights testing, electric actuators, pneumatic drives, drives substituting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MELNIČUK, Petr. *Nová koncepce testovacích přípravků pro přední světlomety osobních vozidel* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132052. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za cenné konzultace a zpětnou vazbu v průběhu zpracování práce, pracovníkům firmy ELCOM, a.s., především Ing. Petru Kotkovi a panu Leszekovi Wawrzyczekovi. Speciální poděkování patří panu Františkovi Koudelákovi za pomoc a odborné rady. Dále chci poděkovat své přítelkyni Báře a rodičům za podporu během náročného období zpracování diplomové práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21.5.2021 ……

Bc. Melničuk Petr

OBSAH

1 ÚVOD 15

2 MOTIVACE 17

3 REŠERŠE SOUČASTNÉHO STAVU A STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ V OBLASTI TESTOVACÍCH A VÝROBNÍCH PŘÍPRAVKŮ 18

3.1 Konstrukce hlavních světlometů 19

3.1.1 Druhy osvětlovacích jednotek 23

3.2 Testování 24

3.2.1 Prováděné testy 25

3.2.2 Seřizování světlometů 27

3.3 Porovnání elektrických a pneumatických pohonů 28

4 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ STÁVAJÍCÍCH PŘÍPRAVKŮ SPOLEČNOSTI ELCOM, VYUŽÍVAJÍCÍ PNEUMATICKÉ AKTUÁTORY 32

4.1 Provedení řešeného testeru 33

4.2 Použité pohony a jejich funkce 34

4.2.1 Upínací mechanismy 34

4.3 Připojovací mechanismy 35

4.4 Verifikační razítko 37

4.5 Technicko – ekonomické zhodnocení 38

4.5.1 Ekonomické zhodnocení 39

5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR EXISTUJÍCÍCH ELEKTRICKÝCH AKTUÁTORŮ NAHRAZUJÍCÍ PNEUMATICKÉ PRVKY, TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU 41

5.1 Popis systému 42

6 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ V NÁVAZNOSTI NA KAPITOLU 5 A JEJICH VYHODNOCENÍ MULTIKRITÉRIÁLNÍ METODOU 46

6.1 Pracovní cyklus a požadavky na pohony 46

6.2 Metoda multikriteriálního hodnocení 46

6.2.1 Bazická bodovací metoda 47

6.3 Varianty nahrazení jednotlivých pohonů 48

6.3.1 Přední upnutí 48

6.3.2 Horní upnutí 50

6.3.3 Přední kontaktování 51

6.3.4 Spodní kontaktování 52

6.3.5 Výsuv razítka 53

6.4 Výběr uvažovaných kombinací variant 54

7 PROPRACOVÁNÍ DVOU TECHNICKO – EKONOMICKY NADĚJNÝCH VARIAN 55

7.1 Výběr aktuátorů 55

7.2 Výběr konkrétních pohonů varianty A 57

7.2.1 Elektrické aktuátory LEPY 57

7.2.2 Elektrické aktuátory LEPS 59

7.2.3 Elektrické aktuátory LEYG 61

7.3 Výběr konkrétních pohonů varianty B 62

7.3.1 Elektrické aktuátory LEFS 62

7.3.2 Elektrické aktuátory LES 63

7.4 Volba řízení zvolených pohonů 64
7.5 Porovnání technických a ekonomických parametrů obou řešení 64

8 PROJEKTOVÁ A VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE S PŘÍSLUŠNÝM KOMENTÁŘEM 65
8.1 Přední upínání 65
8.2 Horní upnutí 66
8.3 Spodní kontaktování 66
8.4 Přední kontaktování 66
8.5 Razítkování 66

9 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ 67

10 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ROZVOJ 68

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 69

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK 72
12.1 Seznam symbolů použitých v rovnicích 72
12.2 Seznam tabulek 72
12.3 Seznam obrázků 73

13 SEZNAM PŘÍLOH 75

1 ÚVOD

V současnosti je ve většině konstrukčních řešeních pro mechanické pohyby testovacích přípravků používáno pneumatických aktuátorů. Cílem této diplomové práce je navržení možnosti nahrazení pneumatických válců elektrickými aktuátory k zajištění mechanického pohybu pro konkrétní tester světlometů. Toto zadání bylo vytvořeno ve spolupráci se společností ELCOM a.s.

Jelikož je tento tester v praxi již používaný, jsou na novou variantu kladeny požadavky zachování funkce a co nejmenší zásah do samotné konstrukce testeru. Elektrické aktuátory jsou rozměrnější než pneumatické válce, tudíž je umístění složitější a je potřeba brát ohled i na ostatní součásti sestavy.

Součástí diplomové práce je zahrnuta i rešerše o světlometech, a to od konstrukce a typů po způsoby testování. Následně je popsán způsob, jakým bude k výběru pohonů přistupováno a je představeno aktuální provedení stávajícího přípravku. Jednotlivé mechanické funkce testeru jsou popsány zvlášť použité pohony a jejich funkce.

Další část se již zabývá vlastním návrhem náhrady pneumatických válců elektrickými aktuátory. Pro výběr nejvhodnějšího řešení je využita metoda multikriteriálního hodnocení. Jsou navrženy varianty nahrazení jednotlivých pohonů a proveden výběr konkrétních pohonů.

Vyhodnocení výsledků s doporučením k dalšímu rozvoji pro společnost ELCOM je sepsáno v závěru práce.

.

2 MOTIVACE

Téma diplomové práce jsem zvolil s ohledem na příležitost, která se vyskytla během hledání vhodného tématu, a tou byla možnost spolupráce s pracovníky firmy ELCOM a. s., která je poskytovatelem vysoce specializovaných komplexních služeb špičkové kvality v oblasti silnoproudé elektrotechniky, měřící techniky a průmyslové automatizace s mezinárodním přesahem. Vzhledem k tomu, že jsem byl rámcově informovaný, na jaký druh podnikání se orientují, projevil jsem zájem o možnost případného tématu práce z okruhu aktivit firmy. Během osobní schůzky, která se uskutečnila v loňském roce, kdy byla ještě pandemická situace stabilní, mi byl představen podrobněji rozsah činností firmy a výsledky jejich práce. Z aktivit, kterými se firma zabývá, mě nejvíce zaujalo testování automobilových komponent, proto jsem byl velmi potěšen, že jsme společně našli téma pro moji diplomovou práci, které má pro firmu smysl, a mě současně poskytne příležitost nahlédnout do této problematiky hlouběji.

Velmi jsem si vážil nabídky zpracování práce ve firmě ELCOM a.s., což by mi umožnilo získat cenné zkušenosti a čerpat znalosti přímo v praxi. Bohužel pandemická opatření v plánovaném období zpracování diplomové práce tuto možnost vyloučila, proto musela být práce vytvořena na dálku konzultacemi s velmi vstřícnými a nápomocnými odbornými pracovníky, čehož si velice cením.

3 REŠERŠE SOUČASTNÉHO STAVU A STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ V OBLASTI TESTOVACÍCH A VÝROBNÍCH PŘÍPRAVKŮ

Světlomety jsou velmi důležitou výbavou všech automobilů a neustále u nich dochází k inovacím nejen jejich designu, ale především výkonu. Díky velmi rychlému vývoji v posledních dvaceti letech mohou novodobí výrobci automobilů nabízet sofistikované a vzhledově atraktivní řešení. Nejde však jen o to nabídnout zákazníkovi lepší design, který hraje taktéž roli při výběru produktu, ale hlavně o zvýšení bezpečnosti řidiče a také všech ostatních účastníků silničního provozu. [1, 2]

Vývoj světlometů je úzce spjatý s poznatky fotometrie, což je věda zabývající se působením světla na lidský zrak. Používají se zde následující fotometrické veličiny, které jsou důležité pro posuzování vlastností světlometů. [3, 4, 5]

- Světelný tok Φ – vyjadřuje intenzitu zrakového vjemu normálního oka, vyvolaného energií světelného záření, které projde za jednotku času určitou plochou v prostoru, kterým se světlo šíří. Jednotkou je lumen (lm). [3, 4]
- Svítivost I – je část světelného toku, který září určitým směrem. Jednotkou je kandela (cd). Kandela patří mezi základní jednotky soustavy SI. [3, 4]
- Intenzita osvětlení E – udává podíl světelného toku osvětlované plochy. Jednotkou této veličiny je lux (lx). [3, 4]

Dále jsou pro toto odvětví důležité zákony geometrické optiky, které studují šíření světla v prostředí. [3, 4]

- Zákon o přímočarém šíření světla: Ve stejnorodém izotropním prostředí se světlo šíří přímočaře ve tvaru světelných paprsků.
- Zákon o nezávislosti světelných paprsků: Jednotlivé paprsky jsou na sobě nezávislé a šíří se tak, jako by ostatních paprsků nebylo.
- Zákon odrazu: Paprsek dopadající na rozhraní dvou optických prostředí se odráží, přičemž úhel odrazu a' (měřený od kolmice k rovině rozhraní) se rovná úhlu dopadu a. Odražený paprsek leží v rovině dopadu.
- Zákon lomu: Na rozhraní dvou prostředí se světelný paprsek láme tak, že podíl sinů úhlu dopadu a úhlu lomu ß se rovná konstantě nazvané relativní index lomu n_{21}

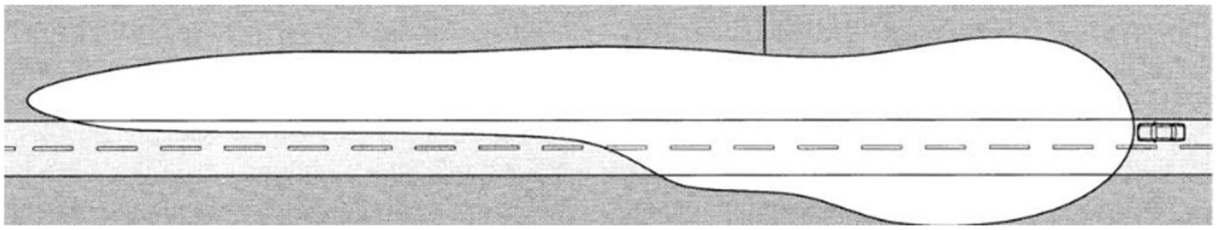
$$\frac{sin\alpha}{sin\beta} = n_{21} \tag{1}$$

Relativní index lomu dvou prostředí se rovná podílu rychlostí šíření světla v prvém a druhém prostředí, resp. podílu absolutních indexů lomu n_2/n_1 definovaných podílem rychlosti světla ve vakuu a v daném prostředí. [3, 4]

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{n_2}{n_1} \tag{2}$$

3.1 Konstrukce hlavních světlometů

Již v roce 1957 se ustoupilo od takzvaného symetrického rozdělení světla a bylo zavedeno rozdělení asymetrické, které je vidět na obrázku 1. Smyslem asymetrického rozdělení je, aby pravá strana silnice (u států s pravostranným řízením) byla osvětlena co nejvíce, ale zároveň nedocházelo k oslnění protijedoucích řidičů. [6]



Obr. 1) Asymetrické rozdělení světla [5]

Pro značení osvětlení automobilu se používají dva základní pojmy, a to [7, 8]:

- Světlomet – zařízení pro osvětlení vozovky produkující:
  - tlumené světlo – užívané k osvětlení vozovky před vozidlem, nesmí však oslňovat protijedoucí řidiče, popřípadě ostatní účastníky silničního provozu,
  - dálkové světlo – produkované za účelem osvětlení vozovky na velkou vzdálenost,
  - světlomet do mlhy – zlepšující osvětlení vozovky za nepříznivých podmínek jako je mlha, sněžení, bouřka nebo mračna prachu.
- Svítilna – zařízení k vysílání signálů ostatním uživatelům silničního provozu, mezi které patří:
  - směrová svítilna – slouží jako informace pro ostatní řidiče o zamýšleném odbočení,
  - denní svítilna – jejíž úkolem je, aby bylo vozidlo za jízdy lépe viditelné během dne,
  - přední obrysová svítilna – používaná k označení přítomnosti vozidla a rozeznání jeho šířky při pohledu zepředu.

Přední světlo automobilu obsahuje světlomety i svítilny a bývá také označováno jako hlavní světlomet.

Jednotlivé modely se od sebe liší v mnoha ohledech, jako je například design, tvar, barvy nebo materiál. Většina z nich se však skládá ze stejných základních částí, a to pouzdro, světelný zdroj, reflektor a difuzor. [2, 3]

Pouzdro je základna vyrobena obvykle z termoplastu a slouží pro umístění a upevnění ostatních prvků světlometu a kabeláže. Pouzdro je upevněno ke karoserii vozidla a chrání světlomet proti vnějším vlivům. [2, 3]

Účelem reflektoru je vytvořit paprsek světla zachycením a usměrněním co největší části světelného toku vyzařovaným světelným zdrojem. Původně byly reflektory vyráběny

z ocelového plechu, jelikož však jsou dnešní světlomety sofistikovanější a jsou na ně kladeny vyšší požadavky, což má například za následek, že reflektory mají složitější tvary nebo je za potřebí vyšší kvality povrchu. Z tohoto důvodu jsou moderní reflektory vyráběny z termoplastu a následně lakovány. Pokud dochází v systému k velkému tepelnému namáhání, mohou být použity reflektory z hliníku či hořčíku. Následně je napařovaná vrstva hliníku, která slouží k odrážení světla a na závěr ochranná vrstva křemíku. [2, 3]

Projekční moduly jsou využívány v moderních světlometech pro přesné vymezení dráhy paprsků a vysokému světelnému toku. Výhodou je možnost jejich využití ve velice individuálních pojetích světlometů, a to díky velmi rozmanitému výběru čoček, světelných funkcí a možnostem montáže. [2, 3]

Krycí skla jsou dělena na krycí skla s rozptylovou optikou, jejichž úkolem je směřovat nebo svazkovat světelný tok vytvořený v reflektoru za účelem dosažení požadovaného rozložení svítivosti. Tento koncept je však již překonaný a nahradily jej krycí skla bez rozptylové optiky neboli s optikou čirou, jejichž funkce je pouze ochrana proti povětrnostním vlivům a znečištění. Krycí skla bývají skleněná, ale stále častěji se vyrábějí z plastů jako je polykarbonát. [2, 3]

Dělení dle světelného zdroje

Halogenové světlomety.

Halogenový světlomet patří k nejjednoduššímu provedení světlometů. Žárovka se skládá z vlákna mezi elektrodami a baňky z křemičitého skla, která je naplněná halogenem, jodem nebo bromem. Tuto žárovku je možno vidět na obrázku číslo 2. Při rozžhavení vlákna dochází ke vzniku světla. Tyto žárovky jsou sice již technologicky překonané, ovšem díky své jednoduchosti a nízké ceně se stále používají. Mezi jejich výhody a nevýhody patří především následující [9, 10, 2, 8]:

- Výhody:
  - Jednoduchý princip a nízké výrobní náklady
  - Možnost snadné výměny
  - Levné a dostupné jako náhradní díl
- Nevýhody:
  - Vysoká spotřeba energie
  - Nižší životnost žárovek
  - Slabý dosah a nerovnoměrné osvětlení plochy před autem
  - Vytváří horší viditelnost než alternativy

Obr. 2) Halogenová žárovka [9]

Xenonové světlomety

Principiálně se xenonové světlomety příliš neliší od halogenových. Výbojky jsou plněny xenonem a světlo je tvořeno obloukem mezi elektrodami (Obr. 3). U těchto světlometů existují dva hlavní typy, a to s přídavným halogenovým zdrojem světla pro dálková světla nebo bi-xenon, kdy se pro přepnutí mezi dálkovými a potkávacími světly využívá clona a čočka. [9, 10, 2, 8]

- Výhody:
  - Mnohem větší životnost než žárovky
  - Nižší spotřeba energie
  - Osvětlení větší plochy a větší dosah než halogenové
- Nevýhody:
  - Složitější provedení a vyšší cena
  - Vyžadují ostřikovače a automatické nastavování sklonu

Obr. 3) Xenonová výbojka [23]

Diodové světlomety

Světlomety s LED diodami mají asi desetinásobnou účinnost než žárovka a mnohem větší životnost, která většinou vystačí po dobu užívání vozidla. Ukázku LED diody je možné vidět na obrázku číslo 4. Tyto světlomety se vyrábí v několika provedeních. Mezi ta nejjednodušší patří LED světlomet projektového typu, kdy výkonná dioda svítí vzhůru a pomocí půlparaboly jsou vytvořené paprsky usměrněny do horizontální roviny. Následně paprsky prochází čočkou a osvětlují prostor před vozidlem. Jelikož však tato dioda neprodukuje pouze světlo, ale také značné množství odpadního tepla, je potřeba tuto diodu zpravidla upevněnou na měděné destičce doplnit o pasivní chladič. Další možností je použití většího počtu menších a méně výkonných diod s nalisovanou plastovou čočkou nasměrovanou dopředu vozidla. Díky možnostem aktivování určitých kombinací těchto diod je možné měnit režim osvětlení. U některých aut je nainstalovaná elektronika, která automaticky obstarává odstínění paprsků oslňujících protijedoucí automobily. [9, 10]

- Výhody:
  - Potřeba malého prostoru
  - Obrovské adaptivní funkce
- Nevýhody:
  - Nelze je měnit, tudíž je při poruše potřeba vyměnit celý světlomet
  - Vlastnosti jsou velmi úzce spjaty s konstrukčním řešením
  - Velmi výkonné světlomety vyžadují aktivní chlazení

Obr. 4) LED dioda [24]

Laserové světlomety

Laserové světlomety jsou nejnovější technologií, se kterou přišla na trh automobilka BMW. Tyto světlomety poskytují nejen nejdelší dosvit z uvedených možností, ale také nejpřirozenější bílé světlo pro lidské oko. Ukázka těchto světlometů je na obrázku 5. Jejich životnost odpovídá životnímu cyklu automobilu a mají velmi malý zástavbový prostor, což je atraktivní z designového pohledu. V každém světlometu je laserový modul, který obsahuje vysokovýkonné laserové diody. Tento modul soustředí svazky intenzivního modrého světla a fosforový konvertor přeměňuje tyto modré paprsky na výsledné čistě bílé. Největším

problémem je ovšem bezpečnost. Jelikož mají laserové diody výkon, který může poškodit lidský zrak, je nutné zajistit, aby i v případě poškození světlometu nevycházelo nerozptýlené laserové světlo. [9, 10]

- Výhody:
  - Vysoká světelná účinnost
  - Obrovský dosah světel
- Nevýhody:
  - Rizika spjatá s nehodou
  - Nutnost vyššího napětí

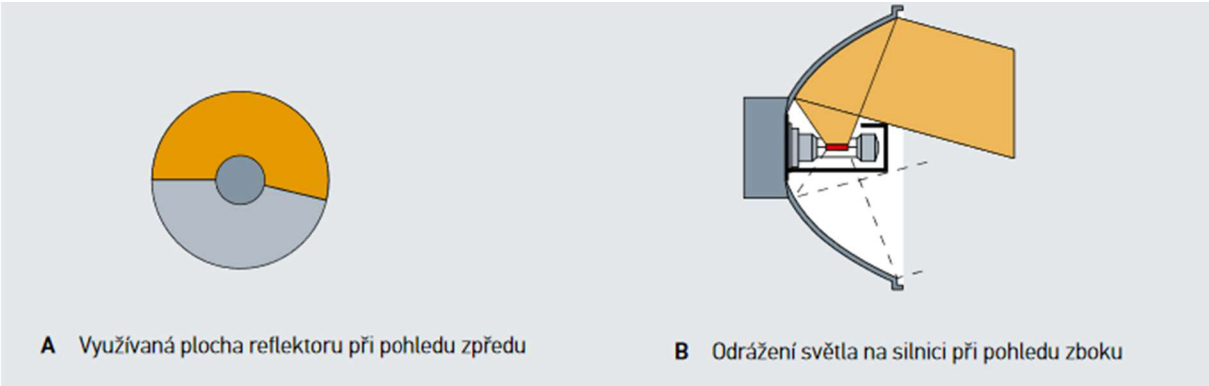
Obr. 5) Laserový světlomet [10]

3.1.1 Druhy osvětlovacích jednotek

Jednotlivé typy osvětlovacích jednotek se od sebe liší podle toho, jakým způsobem je proveden reflektor. V automobilech se využívají následující provedení.

Parabolický světlomet

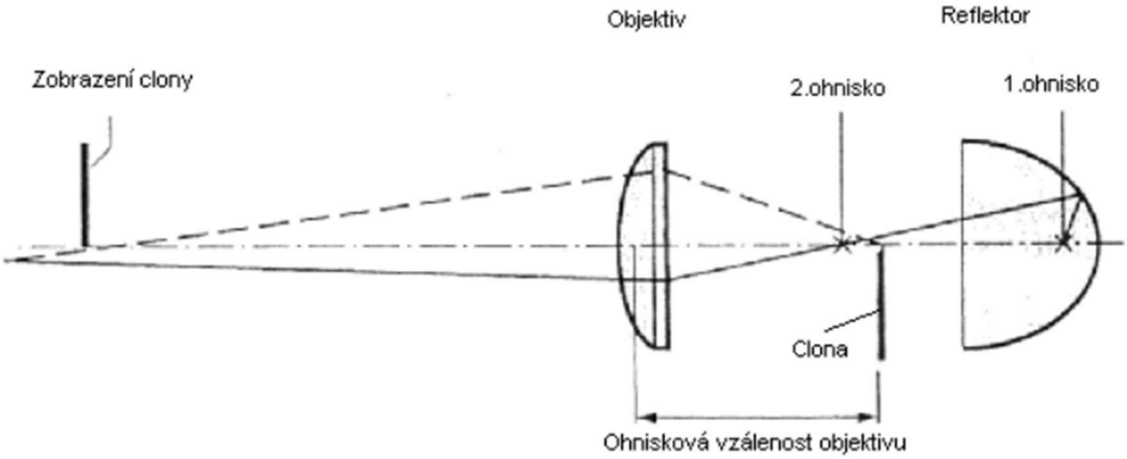
U těchto světlometů má plocha reflektoru tvar paraboloidu a patří k nejstarší technologii pro rozklad světla produkovaného světlomety. Při pohledu zepředu se pro potkávací světlo využívá pouze horní část reflektoru, jak je možné vidět na obrázku 6A. Zdroj světla je umístěn tak, aby vyzařované světlo mířilo na vozovku, toto je možné vidět na obrázku 6B. Asymetrické rozdělení světla na vozovku je dosaženo pomocí optických forem na krycím skle. [6, 8, 3, 11]



Obr. 6) Parabolický světlomet [3]

Elipsoidní světlomet

Tvar plochy reflektoru je v tomto případě elipsoidní. Mezi jejich výhody se řadí možnost konstruovat světlomety o velmi malých rozměrech, ale s velkým světelným výkonem. Princip jejich fungování je podobný jako mají projekční zařízení, proto jsou označovány taktéž jako projekční světlomety, ukázka tohoto principu je na obrázku číslo 7. Paprsky světla putující ze světelného zdroje jsou soustředěny do druhého ohniska a clona brání průchodu části těchto paprsků, čímž dochází k jasně dané hranici mezi světlem a tmou. Dále umístěná čočka funguje jako objektiv a promítá vytvořené rozdělení světa na vozovku. Díky této jasné hranici mezi světlem a tmou mají tyto světlomety uplatnění především u mlhových, a také u tlumených světel. [6, 8, 3]



Obr. 7) Elipsoidní světlomet [6]

Světlomet s volnou plochou

Světlomet s volnou plochou má plochu reflektoru vytvořenou volně v prostoru. Jednotlivé segmenty osvětlují různé části vozovky. Díky tomuto principu je možné pro tlumené světlo využít celou plochu reflektoru. Návrh odrazové plochy je realizován pomocí výpočetní techniky. Ohyb světelných paprsků a rozptyl světla je vytvářen přímo pomocí ploch reflektoru, a proto jsou zde používány čirá krycí skla bez optických elementů. [6, 3, 11]

Kombinovaný světlomet

Tyto světlomety vznikly kombinací elipsoidu a volné plochy. Reflektor navržený technologií volných ploch zachycuje co nejvíce světla produkovaného zdrojem a směřuje jej přes clonu na objektiv, ale nevytváří velmi ostrou hranici světla a tmy jako u elipsoidních světlometů, čímž vzniká podíl rozptýleného světla, které slouží k osvětlení například dopravního značení. [6]

3.2 Testování

Všeobecně platí, že se v automobilovém průmyslu provádí u celých vozidel, jejich součástí a systémů mnoho jak laboratorních a virtuálních hodnocení, tak hodnocení v běžném provozu. Účelem těchto hodnocení je zajistit bezpečnost, spolehlivost a shodu s bezpečnostními předpisy. Výrobci musí při vstupu na světový trh prokázat, že svůj produkt podrobili pečlivému posouzení. Testuje se široká škála funkcí vozidel, a to od analýz jednotlivých součástí a

testování emisí, až po testy pískání a chrastění, simulace nárazů a rozsáhlé testování elektroniky. [12]

K výsledkům testování patří například [12]:

- Dodržování předpisů
- Včasné odhalení poruch
- Podpora bezpečného vývoje technologii
- Zajištění bezpečnosti produktu
- Zlepšení pověsti značky

Konstrukce a funkčnost světlometů podléhají předpisům Evropské hospodářské komise, kdy příslušenství automobilů jsou dělena podle předpisu do tří skupin a to [7]:

- Součásti aktivní bezpečnosti
- Součásti pasivní bezpečnosti
- Součásti pro ochranu životního prostředí

Většina předpisů Evropské hospodářské komise patří do součástí aktivní bezpečnosti. Prvky aktivní bezpečnosti jsou systémy, technická zařízení a vlastnosti vozu, které pomáhají zabránit nebo předejít dopravním nehodám. [7, 8]

Z tohoto důvodu je potřeba světlomety testovat a kontrolovat, aby byla zajištěna jejich správná funkce. Testery bývají součástí výrobních linek v různých fázích výroby, a to již od žárovek až po zkompletovaný multifunkční světlomet. Tyto testery jsou navrhovány a konstruovány dle požadavků zákazníkovi na míru. Funkcí testovacích systémů je kontrolovat velkou řadu nesourodých parametrů, mezi které patří například elektrické testy, kamerové testy a testy komunikace. [17]

Systémy pro testování automobilových světel mohou provádět kontrolní měření na jednom, ale také více kusech výrobku najednou. Zároveň mohou být navrženy tak, aby na nich mohlo být prováděno měření více variant produktu. Jednoúčelové testovací systémy mohou být v návaznosti na umístění v rámci kontextu výrobního závodu a organizace výroby na [17]:

- Testovací systémy, které jsou součástí výrobních linek
- Samostatně stojící testovací systémy

Tester je obvykle složený z mechanické konstrukce, kamery s objektivy, optické soustavy pro zkrácení svazku paprsků, projekční plochy a elektroniky. Vše je typicky ovládáno řídícím počítačem. Ovládání záleží na typu testeru uvedeném výše. Při provedení jako samostatně stojící testovací zařízení zakládá obsluha výrobek do testeru ručně a ovládá jej pomocí dotykové obrazovky nebo klávesnice. Pokud se jedná o testovací systém, který je součástí výrobní linky, jsou jejich konstrukce řešeny tak, že výrobek testerem automaticky projíždí na dopravníkovém systému a tento proces může být bezobslužný a plně automatický. [17]

3.2.1 Prováděné testy

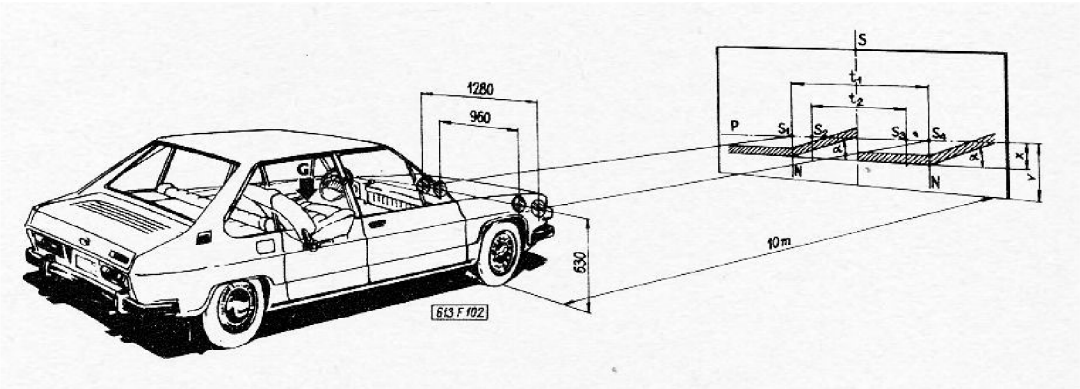
Jelikož jsou novodobé světlomety složité jednotky, je na nich během výroby, před expedicí zákazníkovi nebo seřizováním prováděna celá řada testů. Z tohoto důvodu jsou testery konstruovány tak, aby c

- Světelných zdrojů
  - Měření proudu
    - Ustálený proud světelným zdrojem
    - Detekce korektního zážehu oblouku při náběhu Xenonové výbojky
    - Měření proudu u cívky přepínající clonu dálkových světel
  - Polohování a měření pozice LED zdrojů
    - Umísťování LED zdrojů na základnu robotem naváděným kamerou
    - Měření polohy LED zdroje s přesností polohy
    - Měření svítivosti LED zdrojů
- Rohová a mlhová světla
  - Měření intenzity svícení
    - Snímání promítaného svazku kamerou a porovnání s referenčním vzorkem.
    - Zjištění intenzity homogenity osvětlení ve vybraných bodech nebo oblastech
  - Měření a adjustace svazku ve svislé poloze
    - Snímání promítaného svazku kamerou a porovnání s referenčním vzorkem.
    - Zjištění úhlu středu svazku i s jeho nastavení pomocí polohovacích mechanismů ve světlometu
- Hlavní světlomet
  - Dálková světla
    - Ostrost hranic svazku jako gradient intenzity mezi osvětlenou a neosvětlenou plochou, na kterou je promítán svazek
    - Intenzita středové části svazku snímáním promítaného svazku kamerou a porovnáním s referenčním vzorkem.
    - Poloha středové části promítaného svazku jako těžiště plochy, na níž je intenzita vyšší než nastavená hodnota.
  - Tlumená světla
    - Poloha bodu zlomu rozhraní mezi světlou a tmavou částí promítaného svazku, včetně možnosti automaticky adjustovat polohu svazku podél vodorovné i svislé osy.
    - Měření úhlu přímek rozhraní mezi světlou a tmavou částí promítaného svazku.
    - Měření intenzity svazku ve vybraných bodech a oblastech, porovnání s referenčním vzorkem.
    - Měření a adjustace ostrosti a barvy rozhraní mezi světlou a tmavou částí promítaného svazku.
  - Denní, parkovací a designová světla
    - Kamerový test přímým pohledem kamery na zdroje světla. Zjištění přítomnosti všech světelných zdrojů, vlnovodů, homogenity vydávaného světla

- Ochranné vrstvy
  - Detekce ochranné vrstvy laku a jejích vlastností na krycím skle kompletu automobilového hlavního světlometu.
- Test kvality ostatních dílů světel
  - Chyby montáže pomocí kamer
    - Přítomnost dílů, šroubků, nálepky, těsnění

3.2.2 Seřizování světlometů

Již od vzniku asymetrického rozložení svítivosti byly zavedeny zákonné předpisy pro nastavení světlometů. Nastavování bylo prováděno podle takzvané desetimetrové zdi, kdy vozidlo bylo umístěno do vzdálenosti 10 m od světelné zdi se značkami, jak je možné vidět na obrázku 8. Podle těchto značek se posuzovala správnost nastavení, popřípadě byly provedeny úpravy. Tato metoda se stále využívá při kontrole zemědělských nebo speciálních vozidel. [13]



Obr. 8) Nastavování světlometů pomocí desetimetrové zdi [25]

V dnešní době se pro nastavení světlometů osobních automobilů využívají seřizovací přístroje, které simulují vzdálenost deseti metrů. Tento přístroj je ukázán na obrázku číslo 9. Pomocí čočky nainstalované v optické skříni dochází ke zkrácení této měřící dráhy na 50 cm. Tímto odpadá problém s potřebou velkého prostoru, ale zároveň je potřeba klást velký důraz na kvalitu a stav podlahy, jelikož i malé odchylky jsou kvůli použití čočky znásobeny a mají velký vliv na rozložení svítivosti. Z tohoto důvodu existuje norma DIN ISO 10604, ve které je přesně specifikovaná zkušební plocha a příslušné tolerance. [13]

Obr. 9) Přístroj na seřizování světlometů

Kvalita podlahy však není jediný důležitý faktor, který musí být při nastavení dodržen. Mezi další body, které musí být splněny patří například zatížení sedadla řidiče osobou nebo zátěží 75 kg a pneumatiky musí mít předepsaný tlak vzduchu. Sklo či kryt světlometu nesmí být poškrábané nebo zakalené. [13]

3.3 Porovnání elektrických a pneumatických pohonů

Pro ovládání pohyblivých částí testerů se používají zejména elektrické nebo pneumatické pohony, pro specifické případy je možné využít také pohony hydraulické. V rámci porovnání se budu zabývat pouze pneumatickými a elektrickými pohony, jelikož hydraulické pohony nejsou pro tuto konkrétní aplikaci vhodné.

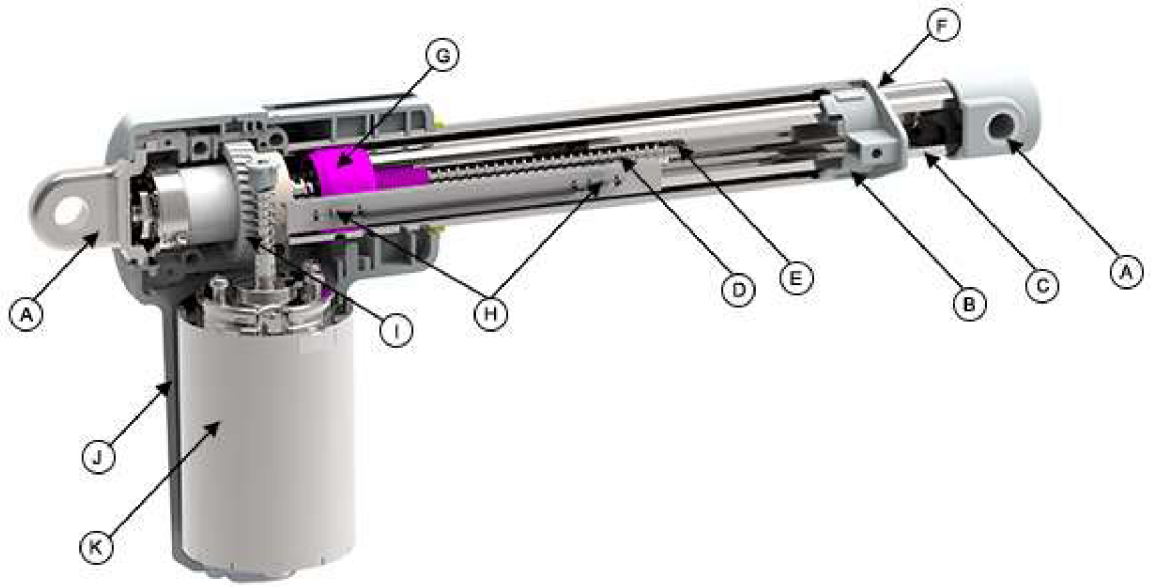
Elektrické aktuátory

Lineární aktuátor je aktivní člen vytvářející tlačnou nebo tažnou sílu vůči vztažnému bodu. Funguje na principu převodu rotačního pohybu elektrického pohonu na lineární pomocí reduktoru a šroubu. Použity mohou být různé typy pohonů, které se od sebe odlišují použitým motorem a mechanismem pro přeměnu pohybu. Využívány bývají zejména střídavé nebo stejnosměrné motory, servomotory a krokové motory. Servomotory bývají obvykle střídavé motory postavené speciálně pro aplikace servořízením. Oproti nim krokové motory mohou pracovat v typu řízení s otevřenou smyčkou, bez potřeby enkodéru, a proto vycházejí levněji, ovšem mají horší dynamické výkonové vlastnosti. Mezi jejich přednosti patří vynikající dynamické výkonové vlastnosti, ale nevýhodou je jejich cena, která je velmi vysoká. Elektrické aktuátory jsou snadno připojitelné do automatizovaného procesu. Jejich provoz je jednoduchý, tichý a nevyžadují skoro žádnou údržbu. [14, 15, 21, 28]

Tyto pohony mají v těchto odvětvích základní provedení a to:

- S pístnicí
- S jezdcem

Provedení s pístnicí se vyrábí buď jako tyčové aktuátory nebo teleskopické sloupy. Typické složení těchto aktuátorů je možné vidět na obrázku 10 a následně jsou uvedené jednotlivé části a popsány jejich funkce. [16]



Obr. 10) Průřez elektrického pohonu s pístnicí [16]

A: Přední a zadní uchycení – slouží k montáži lineárního pohonu. Provedení se může lišit dle konkrétní aplikace.

B: Venkovní tubus – kryje vnitřní komponenty pohonu.

C: Vnitřní tubus – nebo také vysouvací trubice či píst je připojen k závitové hnací matici a vysouvá se a zasouvá dle pohybu matice po trapézovém, popřípadě kuličkovém šroubu.

D: Šroub – také označován jako vodící šroub, rotující šroub nebo zvedací šroub je část pohonu, která vysouvá či zasouvá matici s vnitřní trubicí. Typ šroubu je volen podle zatížení nebo rychlosti.

E: Bezpečnostní doraz – je umístěn na konci šroubu pro zamezení úplného vysunutí vnitřní trubice přes povolenou mez.

T: Těsnění – je část pohonu zajišťující ochranu proti vniknutí nečistot dovnitř pohonu. Zároveň také zajištuje utěsnění mezi vnitřním a venkovním tubusem, což má vliv na IP ochranu lineárního pohonu.

G: Hnací matice – je připojena k vnitřnímu tubusu. Pohybuje se po šroubu, čímž umožňuje vysunutí a zasunutí pístu.

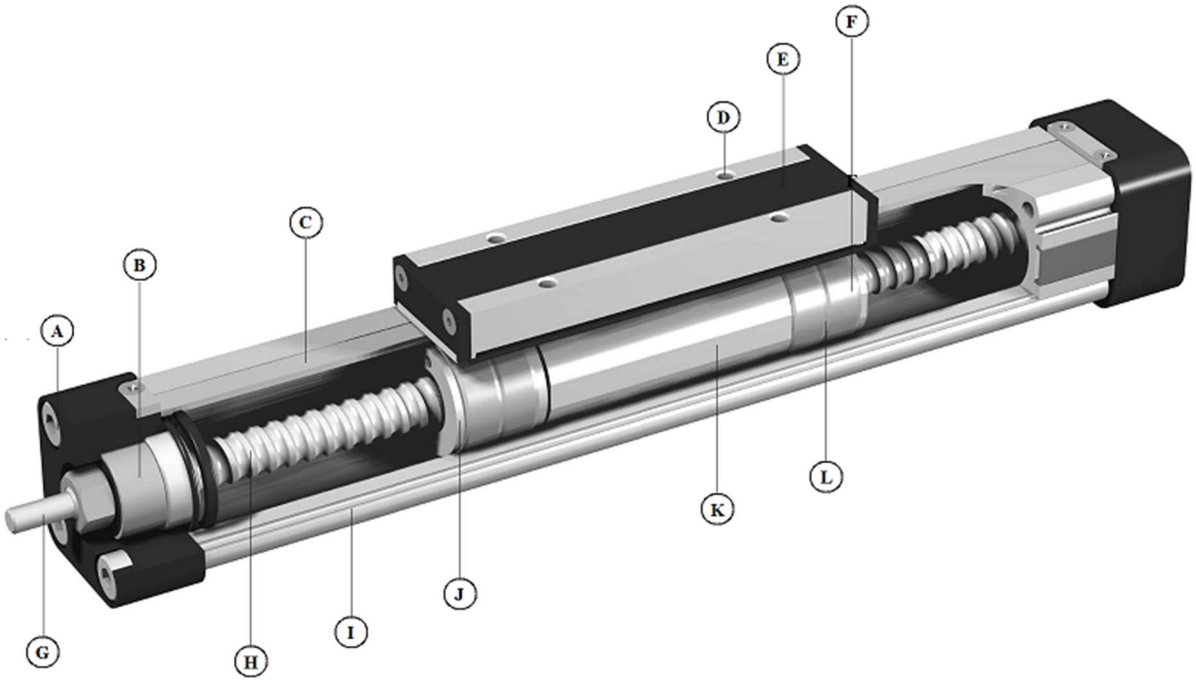
H: Koncové snímače – kontrolují plné vysunutí nebo zasunutí pístu a chrání aktuátor proti překročení povolené meze.

I: Převodovka – je ozubené soukolí převádějící rotační pohyb na lineární nejčastěji pomocí šnekového nebo čelního převodu.

J: Kryt motoru – chrání všechny vnitřní části motoru před poškozením. Velmi často jsou vyrobeny z vysoce kvalitního plastu.

K: Motor – je jedna z nejdůležitějších částí celého aktuátoru, jelikož obstarává hnací sílu pro pohyb. Pro tuto funkci se používají DC motory, AC motory, servomotory nebo krokové motory.

Pohony s jezdcem se dělí dle zajištění pohybu. Využívané způsoby jsou pomocí řemenového nebo šroubového pohonu. Na obrázku 11 je možné vidět průřez a následně je rozepsaný popis jednotlivých částí možného způsobu provedení pohonu se šroubovým pohonem.



Obr. 11) Průřez elektrického pohonu s jezdcem [18]

A: Šrouby ve víku s vnitřním upevněním

B: Klučkové ložisko

C: Krycí pás z nerezové oceli

D: Závitové otvory

E: Unašeč

F: Opěrný prstenec

G: Hnací hřídel

H: Závitové vřeteno

I: Drážkový profil

J: Matice ke kuličkovému šroubu

K: Nosič břemene

L: Permanentní magnet pro polohování

Pneumatické pohony

Pneumatické pohony využívají ke svému pohybu energii stlačeného vzduchu. Vzduch o atmosférickém tlaku je pomocí kompresoru nasáván a stlačen na požadovaný tlak. Na výstupu je obvykle umístěn regulační člen, který zajišťuje požadované nastavení tlaku v rozvodu. Pomocí potrubních rozvodů je stlačený vzduch distribuován na místa odběru, kde je dále

regulován. Pneumatické pohony jsou využívány především pro lineární, rotační nebo kyvný pohyb. [29]

Výhody a nevýhody

Každá z těchto možností má své výhody a nevýhody, tudíž volba není vždy jednoduchá a záleží na konkrétní aplikaci. Obecně však platí že [14, 15, 28]:

- Pneumatické pohony jsou velmi jednoduché a nabízí vysoké síly a rychlosti při nízkých jednotkových nákladech a malých rozměrech. Rychlost a síla se dají jednoduše upravovat a jsou na sobě závislé.
- Elektrické aktuátory mají větší flexibilitu řízení pohybu, a to jak rychlosti, tak polohy.

4 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ STÁVAJÍCÍCH PŘÍPRAVKŮ SPOLEČNOSTI ELCOM, VYUŽÍVAJÍCÍ PNEUMATICKÉ AKTUÁTORY

Firma ELCOM je dlouholetým výrobcem funkčních testerů na míru pro zákazníky nejen v České republice, ale i v zahraničí. Mezi hlavní odběratele se se řadí výrobci automobilových dílů, spotřební elektroniky a elektrických součástek.

Testery jsou vyráběny na míru podle zadání a zvyklostí zákazníka. Testovací systémy testují celou řadu nesourodých parametrů, ke kterým patří například elektrické testy, kamerové testy, ale také měření hluku nebo vibrací.

I přesto že se od sebe testery velmi liší, je možné pracovní cykly ve většině případů rozepsat do těchto základních částí:

- Přípravné činnosti na test – mezi které patří uchopení a orientování výrobku, jeho kontaktování a vytvoření testovacích podmínek. Testovací podmínky se liší pro každý výrobek, příkladem je přivedení napětí výrobku, nahřátí nebo nutná čekací doba po přivedení napájecího napětí.
- Vlastní test – se může skládat z několika dílčích kroků, jako například uvedení výrobku do testovacího režimu, vytvoření akčního podnětu, následné změření odezvy tento podnět a závěrečné vyhodnocení změřené odezvy.
- Dokončovací činnosti – nastávají po skončení testování. V této části je potřeba ukončit testovací režim výrobku a také působení testovacích podmínek. Výsledky testování jsou zapsány do výrobku nebo databáze a je možné provést označení popisem, štítkem nebo jinak, což záleží na požadavcích a zvyklostech zákazníka. Jakmile jsou všechny procesy hotovy, dochází k odložení výrobku.

Testery však mohou mít i doplňkové funkce, což jsou operace, které přímo nesouvisí s testováním výrobku. K těm se řadí například:

- Drobnější výrobní operace
- Zápis informací
- Uzamčení výrobku
- Označování výrobku
- Iniciace výrobku
- Sledování změn
- Servisní funkce

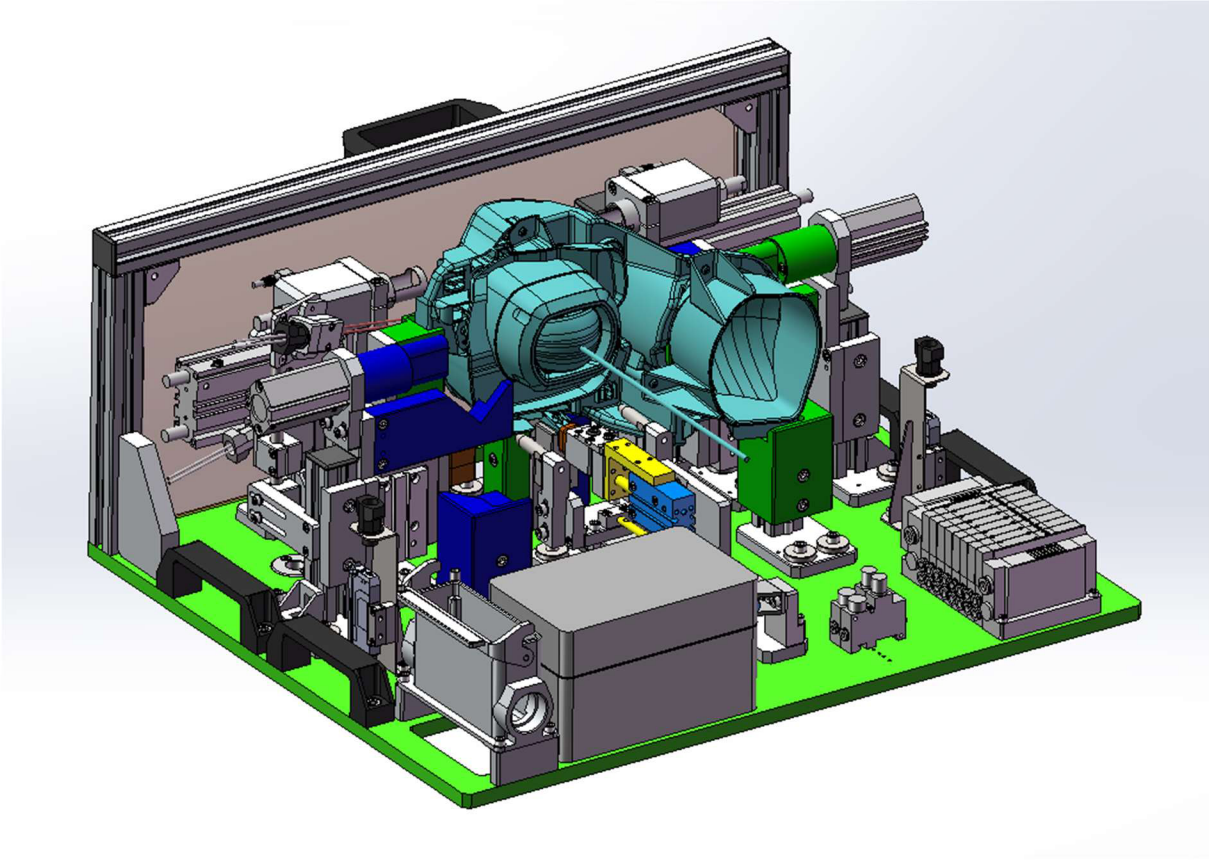
Většina přípravků k mechanickému pohybu využívá pneumatické pohony, a to především z důvodu jejich jednoduchosti a malých zástavbových prostor. Výhodou je také nižší pořizovací cena pohonů oproti alternativám. Nízká cena však není nejdůležitější parametr a firma ELCOM odebírá součástky od renomovaných výrobců, které sice nejsou nejlevnější, ale mají větší spolehlivost, zajištěný servis a náhradu v případě poruchy.

Stlačený vzduch pro pohyb těchto pohonů však patří v podnicích k nejdražším energiím z důvodů nákladů na preventivní prohlídky, výměny olejů a filtrů a generální opravy. V rámci celého systému firmy využívající stlačený vzduch dochází k únikům vzduchu přes netěsnosti

ve vedení. Z těchto důvodů může být provoz nákladnější než při použití elektrických nebo hydraulických pohonů. Jestliže však zákazník má pneumatické obvody v rámci svého podnikání zavedené, mohou testery využívající pneumatické pohony tvořit zanedbatelnou část jeho celkové spotřeby stlačeného vzduchu. [19]

4.1 Provedení řešeného testeru

Zvolený přípravek pro testování je určen k testování krajních a dálkových světlometů. Tento přípravek je konstruován tak, aby bylo možné provádět kontrolu jak levého, tak pravého světlometu bez potřeby přenastavení. Model se zavedeným výrobkem je možné vidět na obrázku 12.



Obr. 12) Model aktuálního testeru

Světlomet je do testeru umístěný pracovníkem, který po vložení stiskne tlačítko, čímž spustí testovací proces. Před zahájením měření je zajištěno několik operací, které slouží k uchycení a zajištění správné polohy světlometu a připojení k řídící jednotce. K těmto účelům jsou použity pneumatické lineární pohony.

Tyto pneumatické pohony obstarávají tři důležité operace. První z nich je zajištění správné pozice výrobku. Tato operace je důležitá pro zajištění správného připojení světlometu k řídící jednotce. Po provedení testu je na zadní stranu světlometu oraženo razítko potvrzující jeho správnou činnost. Jakmile je tento proces ukončen, dochází uvolnění sevření a vyměnění otestovaného výrobku za nový.

K ovládání pneumatických aktuátorů je na testeru umístěn ventilový terminál zajišťující tok stlačeného vzduchu pro vysouvání a zasouvání pístů v určitý čas dle nastaveného programu.

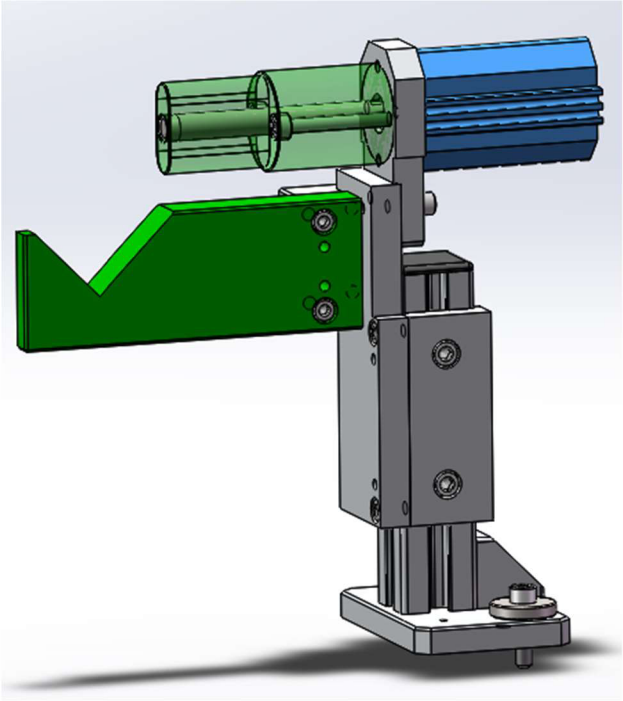
Dále jsou součástí testeru senzory, snímající správné uložení výrobku.

4.2 Použité pohony a jejich funkce

V konstrukci bylo použito 5 různých pneumatických pohonů, z nichž některé jsou použity dvakrát v zrcadlové pozici pro možnost testování jak levého, tak pravého světlometu. V následujících kapitolách budou pohony rozděleny do skupin dle jejich funkce v testeru.

4.2.1 Upínací mechanismy

V testeru jsou použity podpěry a mechanismy využívající kompaktní válce, které mají za úkol přidržet světlomet na požadovaném místě. Výrobek je po vložení do testeru zajištěn vysunutím přípravku pomocí pneumatických aktuátorů. Jedním z nich je pneumatický válec CDQ2B20-40DZ. Tento aktuátor je součástí mechanismu, který je možné vidět na obrázku 13 odpovídající za uchycení světlometu shora. V rámci testeru jsou tyto mechanismy použity dva pro možnost testování jak levého, tak pravého světlometu.



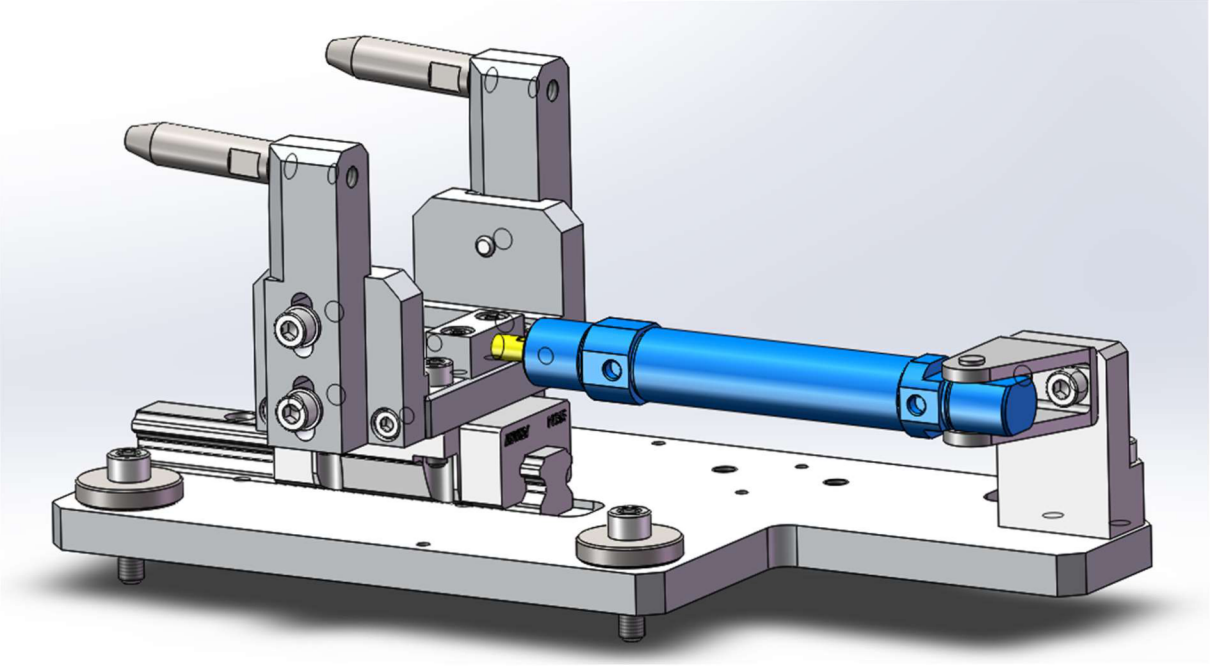
Obr. 13) Přípravek pro horní upnutí

Specifikace:

- Provedení dvojčinné
- Průměr pístu 20 mm
- Zdvih 40 mm
- Montáž průchozími otvory
- Připojování pomocí připojovacího závitu
- Pracovní tlak 0,05 – 1 MPa
- Teoretická síla při pracovním tlaku:
    - 0,3 MPa = IN 71 N OUT 94 N
    - 0,5 MPa = IN 118 N OUT 157 N
    - 0,7 MPa = IN 165 N OUT 220 N

- Rychlost pístů 50-500 mm/s
- Hmotnost 333 g

Druhým pneumatickým válcem je CD85N16-40-B, který je připojen k přípravku na lineárním vedení. Vysouváním a zasouváním je ovládáno zajištění světlometu pomocí hrotu na přípravku (obr. 14). Tyto hroty jsou zde dva, ovšem při testování je vždy využit použit jen jeden v závislosti na testovaném světlometu.



Obr. 14) Přípravek pro přední upnutí

Specifikace:

- Provedení dvojčinné
- Průměr pístu 16 mm
- Zdvih 40 mm
- Montáž intergrovanou vidlicí
- Připojování pomocí připojovacího vnějšího závitu
- Pracovní tlak 0,05 – 1,0 MPa
- Síla při pracovním: tlaku není v katalogu uvedena
- Rychlost pístů 50-1500 mm/s
- Hmotnost 129 g

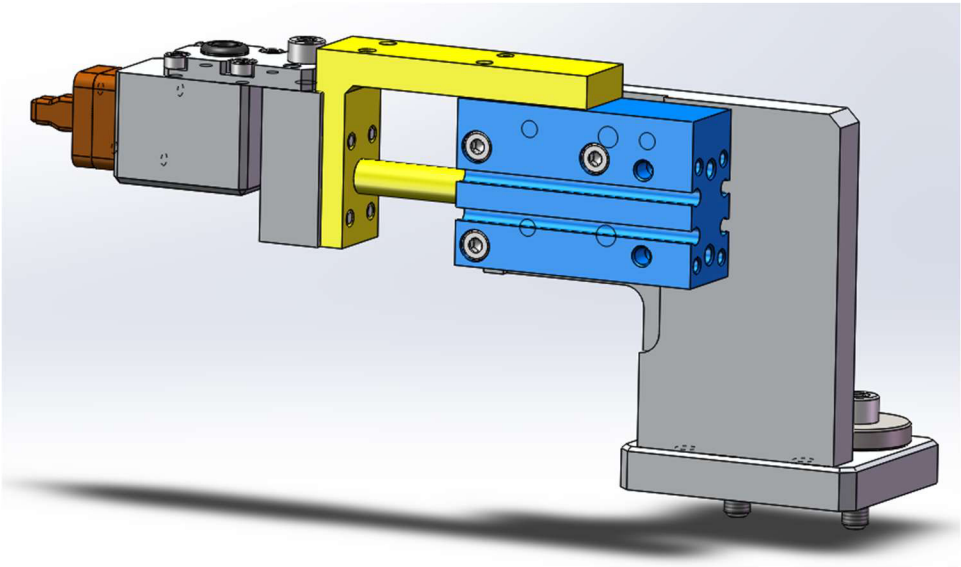
4.3 Připojovací mechanismy

Aby bylo možné výrobek testovat, musí se po upnutí provést připojení k řídící jednotce, která rozsvěcuje světlomet v závislosti na testovaném typu osvětlení. Světlomet, pro který je tento tester určen musí být připojen na dvou místech, a to zepředu a zespodu. K připojování a odpojování světlometu jsou využity mechanismy ovládané pneumatickými aktuátory řady MXH-Z od firmy SMC.

Přední kontaktování je zabezpečeno díky aktuátoru MXH10-25. Jelikož je toto připojení ve středu testeru, tak napojení jak levých, tak pravých světlometů je prováděno jedním

mechanismem, který je možno vidět na obrázku 15. Specifikace tohoto aktuátoru jsou následující:

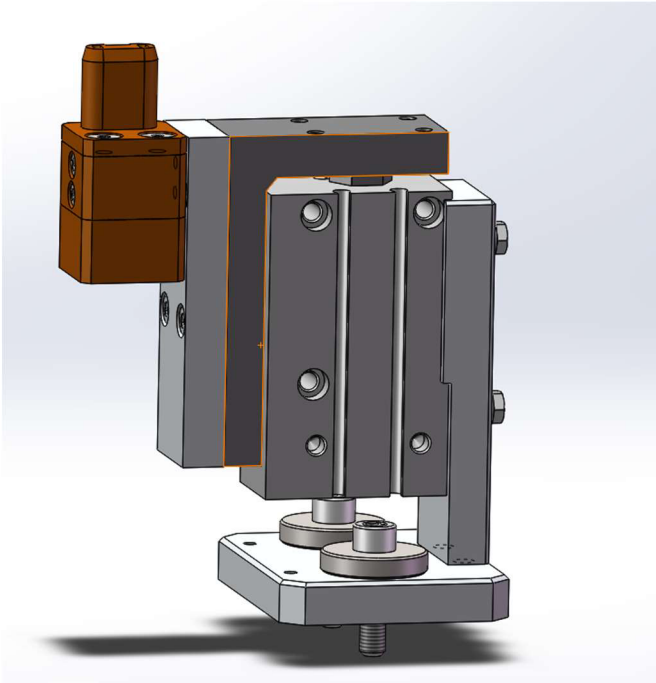
- Průměr pístu 10 mm
- Zdvih 25 mm
- Suport s valivým vedením
- Pracovní tlak 0,06 – 0,7 MPa
- Teoretická síla při pracovním tlaku:
  - 0,3 MPa = IN 19 N OUT 23 N
  - 0,5 MPa = IN 33 N OUT 39 N
  - 0,7 MPa = IN 46 N OUT 55 N
- Rychlost pístů 50-500 mm/s
- Hmotnost 146 g



Obr. 15) Přípravek pro přední kontaktování

Spodní připojení je provedeno obdobně, ovšem jelikož je pohyb pístu na rozdíl od předchozího případu horizontální, byla použita jiná konstrukce, kterou je možné vidět na obrázku 16. Připojovací konektor je také větší, z tohoto důvodu je nutné vyššího zdvihu pístu, což umožňuje aktuátor ze stejné řady MXH16-30 s následujícími specifikacemi:

- Průměr pístu 16 mm
- Zdvih 30 mm
- Suport s valivým vedením
- Pracovní tlak 0,06 – 0,7 MPa
- Teoretická síla při pracovním tlaku:
  - 0,3 MPa = IN 51 N OUT 60 N
  - 0,5 MPa = IN 86 N OUT 101 N
  - 0,7 MPa = IN 121 N OUT 141 N
- Rychlost pístů 50-500 mm/s
- Hmotnost 260 g



Obr. 16) Přípravek pro spodní kontaktování

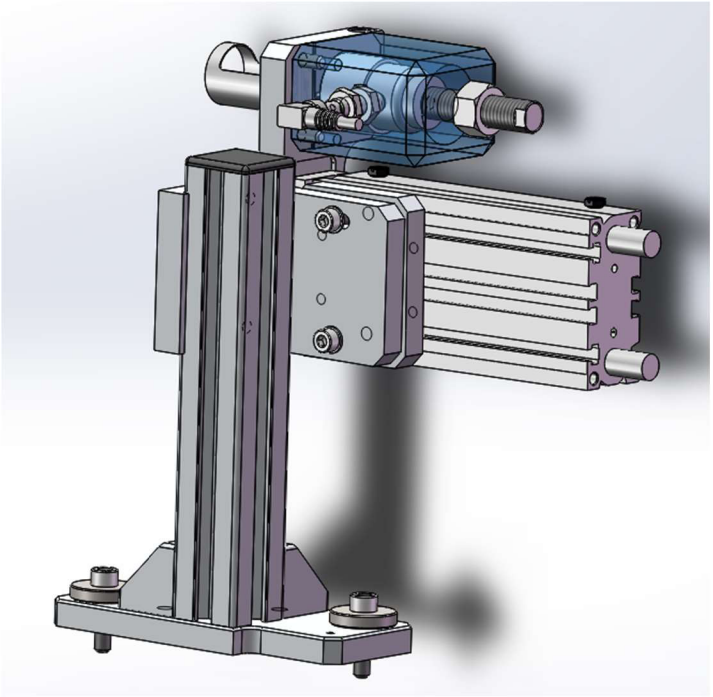
4.4 Verifikační razítko

Jako poslední krok v pracovním cyklu zkoumaného testeru je označení světlometu o prošlé zkoušce. K tomuto účelu jsou potřeba opět dva totožné aktuátory pro označení levého či pravého světlometu, na které je připojeno razítko. Toto razítko obsahuje otočný mechanismus, který se po prvotním kontaktu s povrchem světlometu a následném přítlaku otočí a orazí jej. Po uvolnění tlaku je mechanismus otočen zpět do výchozí pozice. Pohyb razítka je obstaráván pomocí aktuátoru MGPM16-100Z, jehož specifikace jsou uvedeny níže. Výhoda tohoto válce je přítomnost vedení, které zajišťuje odolnost proti boční zátěži, čímž dochází k minimalizaci úhlové odchylky. Tímto je zajištěno správného nanesení a čitelnosti naneseného značení.

Specifikace:

- Průměr pístu 16 mm
- Zdvih 100 mm
- Montáž možná ze 4 stran: shora, zdola, za T-drážku nebo zadní čelo
- Připojování pomocí připojovacího závitu
- Typ vedení: kluzné
- Pracovní tlak 0,12 – 1 MPa
- Teoretická síla při pracovním tlaku:
    - 0,3 MPa = IN 45 N OUT 60 N
    - 0,5 MPa = IN 75 N OUT 101 N
    - 0,7 MPa = IN 106 N OUT 220 N
- Rychlost pístů 50–500 mm/s
- Hmotnost 780 g

Část modelu obstarávající tuto funkci je možné vidět na obrázku 17.



Obr. 17) Přípravek pro výsuv razítka

4.5 Technicko – ekonomické zhodnocení

Celý tester je upnutý na jedné základové desce, která nese jednotlivé funkční celky (podsestavy) a komponenty testeru, kterými jsou:

- Připojovací konektor (harting)
- Sběrnice
- Ventilový terminál
- Tři pevné opěrné body pro uložení světlometu
- Upínací mechanismy
- Připojovací mechanismy
- Mechanismus pro pohyb razítka
- Snímače polohy světlometu

Koncepce konstrukce testeru je postavená na snadné modifikaci díky použití hliníkových bosch profilů, které jsou přišroubovány pomocí frézovaných úhelníků do nosných patek. Toto uchycení pomáhá zaručit kolmost a tuhost zejména u vysokých bosh profilů. Samotné patky jsou následně připevněné k základní desce pomocí šroubů a kolíkových spojů. Kolíkové spoje zaručující správnou polohu jednotlivých podsestav jsou provedeny až v okamžiku odsouhlasení správnosti jejich seřízení vůči světlometu a základové desce, ke které jsou upevněny.

Testovaný světlomet je vložený na tři pevně nastavené body (příložky), které jsou pomocí bosch profilů a frézovaných hliníkových patek ukotvené k základní desce.

Rozdílná koncepce ukotvení pohonů je zvolena pro přední upínání a kontaktování, kde bosch profily nejsou použity. Místo nich jsou použité hliníkové frézované příložky. Tato podsestava je použita jako nosný prvek pro oba pohony.

Aktuální provedení využívající pneumatické pohony umožňuje ovládání jednotlivých válců pomocí PLC a ventilového terminálu, kde je možné upravovat rychlost a sílu jednotlivých pístů.

Klady stávajícího provedení testeru je použití pohybových prvků, které jsou standardně vyráběné a dodávané součástky, vyjma základové desky, frézovaných patek a příložek. Tímto je umožněna snadná a rychlá náhrada opotřebovatelných elektrických, mechanických či pneumatických součástí.

Díky nízkým požadavkům pneumatických válců na zástavbový prostor je možný snazší přístup k jednotlivým komponentám v případě nutnosti seřizování, nebo opravy.

Kolíkové spoje zajišťují aretaci komponent ve správné poloze a zároveň umožňují v případě nutnosti demontáž a následnou zpětnou montáž bez potřeby opětovného seřizování. Nevýhodou tohoto řešení, je však potřeba provádět kolíkování jednotlivých částí podsestavy postupně z důvodu demontáže ze základové desky a ustavení do vyvrtávacího stroje, což je časově náročné a náchylné na chybu.

Připojovací konektor testeru, umístěný vedle sběrnice, je orientovaný směrem nahoru, což umožňuje padání nečistot do prostoru konektoru (pinů) v případě, kdy tester není připojen. Tomuto negativnímu vlivu je možné zabránit jinou orientací konektoru nebo záměnou pláště konektoru, který obsahuje prachotěsné víčko.

4.5.1 Ekonomické zhodnocení

Při konstruování nezáleží pouze na technické optimalizaci, ale také je potřeba zvážit ekonomické hledisko. V ideálním případě je voleno řešení, které je z technickoekonomického hlediska nejpřijatelnějším pro výrobní firmu a zároveň se přihlíží ke kritériím požadovaným zákazníkem. [22]

Ekonomické hodnocení je možné rozdělit na dvě části, a to pořizovací náklady a náklady provozní.

Pořizovací náklady jsou jednorázové výdaje spojené s výrobou a zavedením testeru u zákazníka. V tomto případě se sem řadí ceny vlastních komponent – nákup a úprava bosch profilů, základní deska, výroba patek, cena pneumatických pohonů, spojovací materiál, montáž a programování testeru.

Provozní náklady, jak už název napovídá jsou výdaje spojené s provozem testeru. K těmto výdajům se řadí energie dodávané testeru, tedy stlačený vzduch pro pneumatické válce a elektrická energie pro snímače a světlomet, následně údržba a servis.

V této práci budou důležité především ceny pneumatických prvků, které budou nahrazeny elektrickými, jelikož rozdíl v konstrukci nebude natolik zásadní, bude cena úprav konstrukce zanedbána při porovnávání cen s novou variantou. Ceny použitých pneumatických prvků je uvedeno v tabulce 1.

Tab 1) Ceny použitých pneumatických prvků

KS	Objednací číslo	Popis	Cena
2	CDQ2B20-40DZ	Kompaktní válec, pr.20, zdvih40	845 Kč
1	CD85N16-40-B	Válec dle ISO 6432, pr.16, zdvih40	798 Kč
1	MXH10-25	Kompaktní válec, pr.10, zdvih25	5 223 Kč
2	MXH16-30	Kompaktní válec, pr.16, zdvih30	6 211 Kč
2	MGPM16-100Z	Kompaktní válec, pr.16, zdvih100	4 230 Kč
1	SS5Y3-10F2-08BS-C6	Vícenásobná připojovací deska SY3000	4 362 Kč
8	SY3300-5U1	5/3 ventil, střední pol. uzavřena, 24VDC	1 797 Kč
1	ARM5SA-06-A	kompaktní regulátor tlaku, 0.05-0.7MPa	710 Kč
		SUMA	**48 036 Kč**

5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR EXISTUJÍCÍCH ELEKTRICKÝCH AKTUÁTORŮ NAHRAZUJÍCÍ PNEUMATICKÉ PRVKY, TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

V této kapitole byla zpracována na základě materiálů poskytnutých vedoucím práce s názvem Systémový přístup, jehož autorem je Bronislav Lacko. Pro řešení práce byly využity principy systémového přístupu k dosažení požadovaného výsledku. Tento přístup je vhodné volit tam, kde je úspěšnost řešení závislá na řešení mnoha dílčích problémů. Tímto je možné negativním následkům předejít nebo alespoň minimalizovat budoucí problémy.

Jelikož se práce zabývá náhradou pneumatických válců elektrickými aktuátory, je nutné zvážit celou řadu prolínajících se dílčích problémů, jako jsou:

Možnost navýšit elektrický příkon zařízení

Původní zařízení používající pneumatické pohony má určitou spotřebu elektrické energie. Použitím elektrických aktuátorů je tato celková spotřeba navýšena a je nutné zvážit, zda je stávající elektrické připojení dostatečné.

Bezpečnost zařízení

Je nutné zvážit, jestli se při vlastním vkládání testovaného světlometu zvýší bezpečnostní rizika.

- Bezpečnost elektrického zařízení – Při zařazení nových elektrických zařízení je nutné porovnat, jak se změní bezpečnost celé soustavy. V řešeném případě mají uvažované aktuátory napájení bezpečným napětím 24 V, což výslednou bezpečnost nezmění.
- Bezpečnosti při vkládání a vyjímání testovaného světlometu – Jestliže budou nahrazeny pneumatické pohony elektrickými může dojít k neočekávanému pohybu upínacích, kontaktovacích a razítkových mechanismů, což by mohlo ohrozit zdraví operátora. Vlastní testovací zařízení a testovací procedura je spuštěna až po zasunutí testeru do pracovní polohy a zavření bezpečnostních dvířek. Do tohoto okamžiku je tester od elektrické energie odpojen.

Jestliže budou nahrazeny pneumatické pohony elektrickými může dojít k neočekávanému pohybu upínacích, kontaktovacích a razítkových mechanismů, což by mohlo ohrozit zdraví operátora. Vlastní testovací zařízení a testovací procedura je spuštěna až po zasunutí testeru do pracovní polohy a zavření bezpečnostních dvířek. Do tohoto okamžiku je tester od elektrické energie odpojen.

Použitelnost stávajícího PLC

Při změně pneumatického pohonu elektrickým se mění taktéž požadavky na PLC, a to z důvodu změny řízení pohonů. Původní pneumatické pohony byly ovládány přes ventilový terminál pouze dvěma signály – otevřít/zavřít. Nahrazením elektrickými aktuátory je nutné jejich komplexnější řízení.

Kvalifikace stávajících pracovníků

Přestože se pro vlastní obsluhu zařízení změnou typu pohonu nic nemění je třeba, aby byla obsluha zařízení s touto změnou seznámena. Jinak je tomu v oblasti programování, seřizování a údržby, kde tito pracovníci musí být řádně seznámeni, proškoleni a zaučeni.

Prostředí

Při nahrazení pneumatického pohonu elektrickým, je potřeba brát v potaz prostředí, ve kterém je pohon provozován, poněvadž prostředí pro pneumatický pohon nemusí být vhodné pro pohon elektrický.

Vzhledem k tomu, že tester je nutné provozovat v čistém a bezpečném prostředí (jelikož se jedná o testování optického zařízení) lze vyloučit vliv negativního prostředí pro elektrické pohony.

Zástavbový prostor

Všeobecně platí, že elektrické pohony jsou zpravidla vůči pohonů pneumatickým rozměrnější. Z toho plyne, že prostor kolem vlastního pohonu je menší, což má za následek složitější montáž, seřizování a údržbu. Také se může stát, že nahrazující pohon se svými rozměry nevejde do stávajícího zástavbového prostoru.

Správnost polohy vysunutí upínacích prvků

Správnost polohy vysunutí upínacích prvků je dána buď počtem kroků krokového motoru anebo resolverem či enkodérem namontovaném na krokovém motoru.

Síla přítlaku jednotlivých pohonů

Síla přítlaku může být vyhodnocována na základě proudového zatížení motoru pohonu nebo pomocí instalace samostatných snímačů, jako jsou na příklad snímače tenzometrické.

Nastaveni rychlosti dojezdu

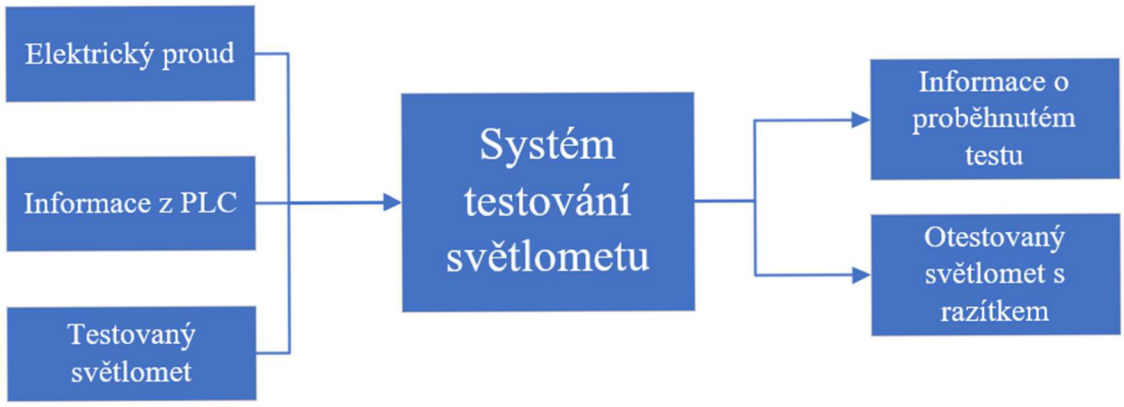
U pohonů je nutné nastavit rychlost dojezdu pro bezpečné upnutí a kontaktování vlastního světlometu, aby nedošlo k jeho poškození z důvodu značné rychlosti při pohybu. U elektrických aktuátorů je možné nastavit dojezdovou rychlost pomocí PLC

Pořizovací cena pohonů

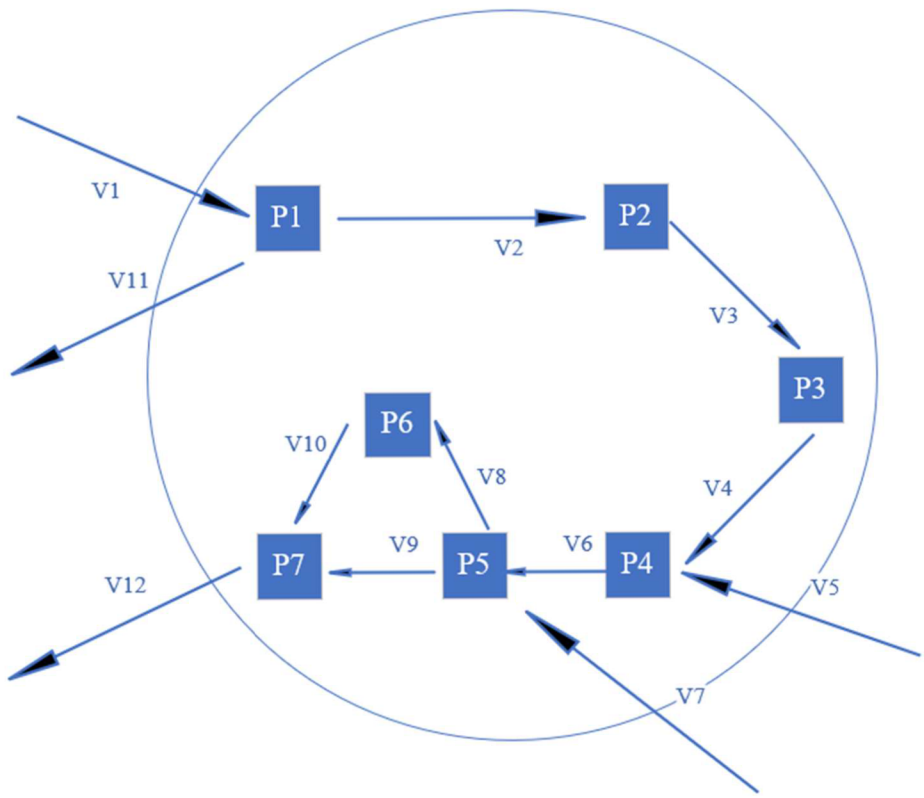
Pořizovací cena elektrického pohonu s obdobnými parametry jako má pohon pneumatický bývá výrazně vyšší.

5.1 Popis systému

Většinou není zkoumán izolovaný systém, ale takzvané relativně uzavřené systémy, které mají styk se svým okolím. V těchto případech je potřeba definovat vstupní a výstupní prvky systému, které zajišťují styk systému s okolním prostředím (obr. 18), a také procesy a vazby systému jako takového (obr. 19). Pro zkoumaný tester jsou vazby a procesy popsány pod uvedeným obrázkem.



Obr. 18) Vstupy a výstupy ze systému



Obr. 19) Schématické znázornění systému

- Vstupní vazby
  - V1 – Vložení výrobku a spuštění testeru
  - V5 – Informace o správnosti nakontaktování
  - V7 – Výsledek testu
- Vnitřní vazby
  - V2 – Pokyn k zahájení upínání
  - V3 – Informace o správném upnutí
  - V4 – Informace o ukončení kontaktování
  - V6 – Průběh testu
  - V8 – Pokyn k označení razítkem
  - V9 a V10 – Pokyn k odpojení a odepnutí světlometu

- Výstupní vazby:
  - V11 – Chyba při vkládání světlometu
  - V12 – Otestovaný světlomet
- Procesy:
  - P1 – Zkontrolování přítomnosti a správné polohy světlometu senzory
  - P2 – Aretace
  - P3 – Kontaktování
  - P4 – Zahájení testování
  - P5 – Konce testování
  - P6 – Označení verifikačním razítkem
  - P7 – Odpojení kontaktovacích jehel a následné odaretování

Na systém však není pohlíženo staticky, tedy pouze z hlediska systému, nýbrž je pro nás důležité chování systému neboli jak systém mění svoje stavy na základě podnětů z okolí a působí na své okolí.

Při systémovém přístupu jsou uplatňovány principy jako jsou:

Princip abstrakce

Tímto je myšleno odhlížení od nepodstatných jevů a vlastností a všímání si především podstatných vlastností systému.

Jelikož je cílem práce navrhnout řešení nahrazení pneumatických pohonů elektrickými aktuátory, jedná se především o zjištění proveditelnosti a porovnání s předchozí variantou. Z tohoto je při porovnávání ceny jednotlivých variant brán ohled především na cenu obou typů pohonů a rozdíly ve výrobě konstrukčních, jsou zanedbány.

Princip postupu od jednoduchých vlastností systému ke složitějším projevům chování a k prohlubování struktury systému

Tento princip byl využit pro nastínění možných variant nahrazení, ze kterých pouze vybrané byly dále rozepsány a studovány.

Princip systematického zkoumání systému, který opíráme o propracované metody zkoumání systému podložené teoretickými znalostmi o systémech, a kdy systém i naše poznatky o něm se snažíme jednoznačně popsat

Při řešení konstrukce jsem využil ověřených technologických řešení, které firma ELCOM využívá pro řadu různých přípravků.

Princip týmové práce, kdy se snažíme složit tým z různých specialistů, kteří mohou přispět ke zkoumání systému z různých hledisek své odbornosti

Práce zaměřená především vybrání možných variant nahrazení pohonů, jejich výběr a konstrukci, je řízení spíše navrhnuto řízení elektrických aktuátorů. Při realizaci jednoho z řešení, by však záleželo na programátorech a specifických požadavcích zákazníka, zda by se rozhodli navrhnuté řízení použít.

Princip postupu zkoumání shora dolů, kdy postupujeme od nejvyšší rozlišovací úrovně struktury i chování systému k detailnější struktuře systému

Tohoto principu je využito například u výběru konkrétních pohonů, kdy se nejdříve řeší, aby specifikace pohonu splňovaly požadované parametry a až následně možnosti upnutí a řízení.

Princip rozdělení systému na jednodušší prvky, které jsou pro nás snadněji popsatelné a pochopitelné

Na základě tohoto principu nebude řešeno nahrazení všech pohonů naráz, nýbrž bude provedeno řešení pro každý pohon zvlášť, což umožní snazší hledání vhodného pohonu pro konkrétní aplikaci.

6 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ V NÁVAZNOSTI NA KAPITOLU 5 A JEJICH VYHODNOCENÍ MULTIKRITÉRIÁLNÍ METODOU

Zvolený tester je již zkonstruovaný a vyzkoušený v praxi. Z tohoto důvodu je cílem, aby i po nahrazení pneumatických aktuátorů elektrickými disponoval obdobnými, či lepšími vlastnostmi. Dále je důležité zvážit, jak velký zásah do konstrukce bude potřeba udělat po zvolení konkrétních pohonů. Může se totiž stát, že kdyby bylo nutné k zachování funkce použít, a tudíž nakoupit nebo vyrobit nové přípravky k uchycení aktuátorů, mohla by cena tohoto řešení převážit jeho výhody.

6.1 Pracovní cyklus a požadavky na pohony

Aby bylo možné provést nahrazení pohonů je potřeba znát nezbytné požadavky pro konkrétní operace. Po vložení světlometu do testeru je provedeno zaaretování upínacími hroty silou maximálně 15 N. Upnutí trvá 20 sekund, po kterých se pohon vrátí do výchozí pozice, ve které setrvává do dalšího testování přibližně 10 sekund. Jakmile je provedeno upnutí, přichází na řadu kontaktování, to je zajištěno pomocí dvou kontaktovacích jehel se silou pružiny 1,5 N. Jehly jsou připojeny po celou dobu testování, tedy 20 sekund, po kterých se provede odpojení najetím zpět do výchozí polohy, kde stejně jako upínací prvky setrvávají do dalšího testu. Pro správné oražení razítka je potřeba zajistit kontakt silou alespoň 10 N jednou za pracovní cyklus. Jelikož je vkládání a vyndávání světlometu z testeru zajišťováno obsluhou, budou se od sebe jednotlivé celkové pracovní cykly lišit, ovšem průměrná hodnota je odhadována na 30 sekund. Na všechny pohony je kladen požadavek na rychlost minimálně 150 mm/s.

Jelikož jsou na každý pohon v testeru kladeny jiné požadavky, budou jednotlivé varianty nahrazení pneumatických válců elektrickými aktuátory řešeny zvlášť a na základě zvoleného multikriteriálního hodnocení vybrána kombinace nejlepšího řešení.

6.2 Metoda multikriteriálního hodnocení

V této kapitole je rozpracována metoda multikriteriálního hodnocení na základě poskytnutých podkladů vedoucím práce.

Výběr toho nejvhodnějšího řešení se v praxi často provádí pomocí právě této metody. Cílem je posouzení variant na základě hodnocení dle stanovených kritérií. Tato kritéria jsou zapsána do tabulky a je jim přiřazena váha v závislosti na důležitosti v rámci celého výrobního systému nebo procesu.

Nejpoužívanějšími metodami multikriteriálního hodnocení jsou:

- Bazická bodovací metoda
- Metoda pořadí
- Metoda PETTERN

Pro hodnocení byla zvolena bazická bodovací metoda, která je dále popsána.

6.2.1 Bazická bodovací metoda

V rámci této metody jsou stanovena kritéria, dle kterých jsou varianty bodově hodnoceny, v porovnání se vzorovým řešením, taktéž nazývaném vzorový etalon, čí báze. Postup výběru nejvhodnější varianty dle bazické bodovací metody je následující:

- Výběr reprezentativních parametrů a vlastností. Zde je potřeba vyloučit parametry, které jsou na sobě závislé.
- Těmto parametrům je následně přiřazena bodovací stupnice.
- Dále je těmto parametrům přiřazena významnost v rámci celého projektu.
- Provede se hodnocení

Technická hodnota τ

- Hodnocené faktory, parametry a vlastnosti jsou značené jako T_1, T_2, …, T_n, kde n je maximální počet zvolených kritérií.
- Vybraným parametrům je přiřazená hodnota dle vytvořené stupnice t_1, t_2, …, t_n, kde t_j je maximálně možná dosažená hodnota. Rozsah této stupnice je volitelný. Této stupnici je přiřazeno slovní hodnocení:
  - $t_1 = 0$ = nevyhovující
  - $t_2 = 1$ = velmi slabé
  - $t_3 = 2$ = vyhovující
  - $t_4 = 3$ = dobré
  - $t_5 = 4$ = velmi dobré
  - $t_6 = 5$ = výborné

  Hodnocení faktorů je subjektivní, ovšem musí být podloženo reálnými skutečnostmi.

- Hodnocený faktor, parametr, vlastnost je možné vyjádřit i procentuálně, a to dle vztahu:

$$p_\tau = \frac{100}{t_j} \tag{3}$$

- Relativní technická hodnota n-tého faktoru, parametru, vlastnosti je získána následovně:

$$T_n \cdot t_j \tag{4}$$

- Význam (váha) faktorů, parametrů, vlastností jsou rozlišovány koeficienty g_n kdy:

$$0 \leq g_n \leq 1 \tag{5}$$

- Technický stav hodnocené varianty v závislosti na jednotlivých kritérií je získán následovně:

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) = (g_1 \cdot t_1, g_2 \cdot t_2, \dots, g_n \cdot t_n) \tag{6}$$

-

- Výsledná technická hodnota konkrétní varianty je dosažena jako:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^{n}(g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^{n}(g_j \cdot t_{max})} \leq 1 \tag{7}$$

Zvolená kritéria pro hodnocení variant nahrazení pneumatických válců elektrickými aktuátory jsou následující:

- T_1 – splnění funkce testeru
- T_2 – náklady
- T_3 – poruchovost
- T_4 – rychlost
- T_5 – zástavbový prostor
- T_6 – jednoduchost řešení

6.3 Varianty nahrazení jednotlivých pohonů

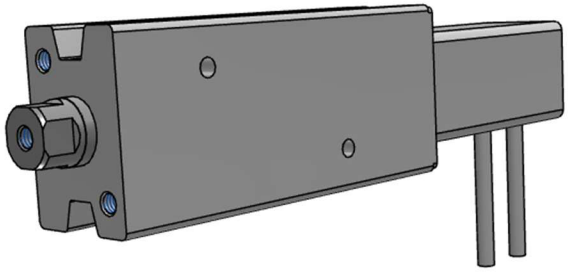
Jelikož jsou na každý pohon a aplikace kladeny jiné požadavky, budou v následujících podkapitolách navrhnuty varianty pro nahrazení pneumatických válců elektrickými aktuátory a jejich zhodnocení z hlediska MMH zvlášť. Finální návrh bude následně sestaven z jednotlivých nejlepších možností.

6.3.1 Přední upnutí

U tohoto přípravku je potřeba zajistit dostatečně velký výsuv, aby ve výchozí pozici upínací hroty nebránily vložení světlometu do testeru, ale zároveň umožnil požadované uchycení. Za tímto účelem je v původním provedení testeru použit pneumatický píst se zdvihem 40 mm.

Přední upnutí – varianta A

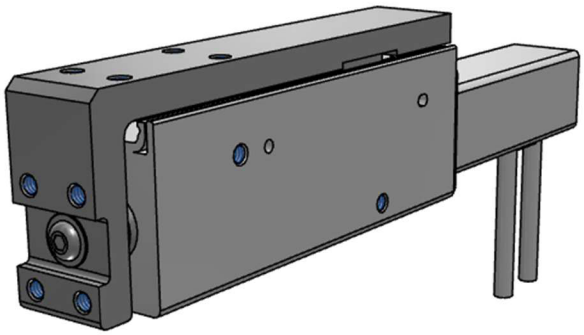
Jako první variantou se nabízí nahrazení pneumatických pohonů elektrickými aktuátory s pístnicí s velmi podobnými zdvihy a rozměry. Díky tomuto řešení by bylo teoreticky možné použít již navržený a používaný přípravek pro pohyb obou aretačních hrotů sloužících k zajištění levého i pravého světlometu najednou. Problémem je, že elektrické aktuátory jsou zpravidla rozměrnější pro stejné zdvihy než ty pneumatické. Důvodem je přítomnost motoru, popřípadě i brzdy. Jelikož byl tento tester navržen tak, aby byly jeho rozměry co nejlépe využity, může se stát, že se do něj tyto větší elektrické pohony nevejdou. Pro tuto variantu je možné použít miniaturní elektrický pohon s pístnicí řady LEPY. Ukázka 3D modelu tohoto aktuátoru je na obrázku 20.



Obr. 20) 3D model pohonu řady LEPY [26]

Přední upnutí – varianta B

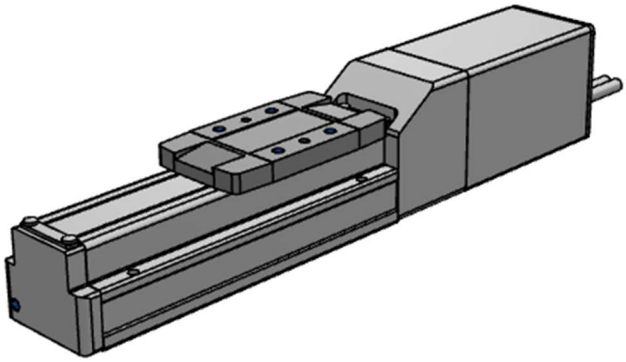
Druhou variantou je nahrazení pomocí dvou samostatných elektrických pohonů s kompaktním suportem řady LEPS (obr. 21) pro výsuv příslušného aretačního hrotu dle testovaného světlometu. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost navržení nového způsobu uchycení pohonů.



Obr. 21) 3D model pohonu řady LEPS [26]

Přední upnutí – varianta C

Další variantou je uložení přípravku s oběma hroty na elektrický aktuátor s jezdcem. Při tomto řešení by však mohl nastat problém s jeho rozměry, jelikož v blízkém okolí je potřeba povést také kontaktování světlometu. Výhodou řady LEFS (obr. 22) je však možnost výběru pozice motoru, což by mohlo tento problém zmírnit.



Obr. 22) 3D model pohonu řady LEFS [26]

MMH pro přední upnutí

Uvedené varianty byly posouzeny dle bazické bodovací metody, jejich určené hodnoty je možné vidět v tabulce 2.

Tab 2) Hodnoty MMH pro přední upnutí

n	OZN.	Varianta A				Varianta B				Varianta C			
		tj	g_n	p_T	t_n	tj	g_n	p_T	t_n	tj	g_n	p_T	t_n
1	T1	4	1	25	4	3	1	33,33	3	4	1	25	4
2	T2	4	0,6	25	2,4	2	0,6	50	1,2	3	0,6	33,33	1,8
3	T3	3	0,7	33,33	2,1	3	0,7	33,33	2,1	3	0,7	33,33	2,1
4	T4	3	0,5	33,33	1,5	2	0,5	50	1	4	0,5	25	2
5	T5	4	0,8	25	3,2	2	0,8	50	1,6	3	0,8	33,33	2,4
6	T6	5	0,8	20	4	3	0,8	33,33	2,4	4	0,8	25	3,2

Konečné technické hodnocení je vidět v tabulce 3.

Tab 3) Výsledky MMH pro přední upnutí

Varianta	τ
Var A	**0,610**
Var B	0,404
Var C	0,547

Z těchto výsledků vychází jako nejlepší možnost varianta A a následně varianta C.

6.3.2 Horní upnutí

V tomto případě je potřeba zajistit vysunutí zajišťovacího hrotu. Potřebný výsuv je 40 mm. Původní pneumatický pohon je v tomto případě umístěn v blízkosti hranice základní desky. Z tohoto důvodu použití větších pohonů, než jsou pohony LEPY není zvažována, jelikož i tyto pohony jsou pro tento prostor velké a bude potřeba provést úpravu konstrukce.

Horní upnutí – varianta A

Jelikož zde není kladen vysoký požadavek na tlačnou sílu, nabízí se zachování původního konceptu a provést pouze nahrazení pneumatických válců pomocí miniaturních tyčových aktuátorů LEPY uvedených v předchozí aplikaci.

Horní upnutí – varianta B

Jelikož velmi malý zástavbový prostor neumožňuje použití jiného typu lineárního pohonu, nabízí se jako další možnost změnění způsobu zajištění, a to místo vysunovacího hrotu použít zajištění rotací. Tyto pohony však mají jiné ovládání, což by znamenalo komplikace pro tester jako celek.

MMH pro horní upnutí

Varianty byly opět posouzeny dle bazické bodovací metody, jejich určené hodnoty je možné vidět v tabulce 4.

Tab 4) Hodnoty MMH pro horní upnutí

n	OZN.	Varianta A				Varianta B			
		tj	g_n	p_T	t_n	tj	g_n	p_T	t_n
1	T1	4	1	25	4	2	1	50	2
2	T2	4	0,6	25	2,4	3	0,6	33,33	1,8
3	T3	4	0,7	25	2,8	2	0,7	50	1,4
4	T4	3	0,5	33,33	1,5	3	0,5	33,33	1,5
5	T5	4	0,8	25	3,2	3	0,8	33,33	2,4
6	T6	5	0,8	20	4	1	0,8	100	0,8

Konečné technické hodnocení je vidět v tabulce 5.

Tab 5) Výsledky MMH pro horní upnutí

Varianta	τ
Var A	**0,603**
Var B	0,335

Z těchto výsledků je možné vidět, že použití pohonu LEPY se jeví jako nejlogičtější možnost, jelikož druhá varianta zaostává téměř ve všech posuzovaných kritériích.

6.3.3 Přední kontaktování

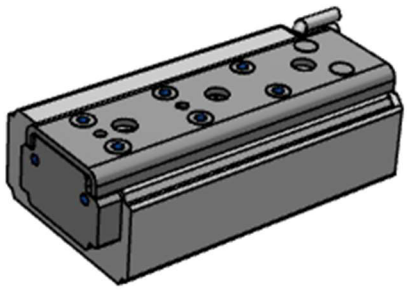
V rámci kontaktování je nutné připojit světlomet pomocí kontaktovací jehly. V rámci návrhu variant je zde potřeba brát v potaz zástavbový prostor, jelikož se v blízkosti nachází přípravek pro přední upnutí.

Přední kontaktování – varianta A

V rámci této varianty je využito zachování původního konceptu a provedení nahrazení pomocí miniaturního aktuátoru se šroubovým suportem LEPS. Výhodou je možnost využití původního přípravku s pouze malými úpravami.

Přední kontaktování – varianta B

Další možností je umístění kontaktovací jehly na kompaktní suport řady LES, jehož model je vidět na obrázku 23. Tato možnost nabízí větší rychlost než předchozí varianta, ovšem je zde nutnost provést větší zásah do konstrukce.



Obr. 23) 3D model pohonu řady LES [26]

MMH pro přední kontaktování

Uvedené varianty byly posouzeny dle bazické bodovací metody, jejich určené hodnoty je možné vidět v tabulce 6.

Tab 6) Hodnoty MMH pro přední kontaktování

n	OZN.	Varianta A				Varianta B			
		tj	g_n	p_T	t_n	tj	g_n	p_T	t_n
1	T1	4	1	25	4	4	1	25	4
2	T2	4	0,6	25	2,4	3	0,6	33,33	1,8
3	T3	3	0,7	33,33	2,1	4	0,7	25	2,8
4	T4	3	0,5	33,33	1,5	4	0,5	25	2
5	T5	4	0,8	25	3,2	4	0,8	25	3,2
6	T6	5	0,8	20	4	4	0,8	25	3,2

Konečné technické hodnocení je vidět v tabulce 7.

Tab 7) Výsledky MMH pro přední kontaktování

Varianta	τ
Var A	**0,610**
Var B	0,598

Nejlépe vyšla varianta A. Rozdíl mezi navrženými způsoby je však v tomto případě velmi malý, tudíž i mírné přehodnocení váhy některého z kritérií, by mohlo mít za následek to, že by se stala nejvýhodnější variantou možnost B.

6.3.4 Spodní kontaktování

Stejně jako v předchozím případě, je zde prováděno připojení pomocí kontaktovací jehly s rozdílem pohybu přípravku vertikálním směrem, což je potřeba brát při výběru pohonu v potaz, jelikož při těchto umístění mají aktuátory jiné vlastnosti než u umístění horizontálního. Největším problém je malý zástavbový prostor, z důvodu přítomnosti dalších součástí testeru.

Spodní kontaktování – varianta A

Jako první varianta se opět nabízí nahrazení pomocí miniaturního elektrického pohonu se šroubovým suportem LEPS umístěný na obdobný přípravek jako aktuální pneumatický válec. Jelikož se jedná, jak už bylo výše uvedeno, o vertikální pohyb, je nutné znát zatížení, které bude na tento pohon působit. Tento typ totiž není určen pro velké pracovní zátěže.

Spodní kontaktování – varianta B

Stejně jako v předchozím výběru je zde možné zvážit použití elektrického pohonu s kompaktním suportem LES. Tento pohon vyhovuje pohybovými parametry, pro jeho umístění by však, z důvodu jeho rozměrů, muselo být upraveno několik další prvků testeru.

Spodní kontaktování – varianta C

Další možností je využití elektrického pohonu s jezdcem. Stejně jak již bylo uvedeno ve variantě C pro přední upnutí je možné využít elektrický aktuátor typu LEFS. V tomto případě by kontaktovací jehla byla umístěna na jezdce, který umožňuje pohyb rychlostí až 500 mm/s.

MMH pro spodní kontaktování

Posouzení variant dle bazické bodovací metody, jejich určené hodnoty je možné vidět v tabulce 8.

Tab 8) Hodnoty MMH pro spodní kontaktování

n	OZN.	Varianta A				Varianta B				Varianta C			
		tj	g_n	p_T	t_n	tj	g_n	p_T	t_n	tj	g_n	p_T	t_n
1	T1	4	1	25	4	4	1	25	4	4	1	25	4
2	T2	4	0,6	25	2,4	3	0,6	33,33	1,8	3	0,6	33,33	1,8
3	T3	3	0,7	33,33	2,1	4	0,7	25	2,8	5	0,7	20	3,5
4	T4	4	0,5	25	2	4	0,5	25	2	5	0,5	20	2,5
5	T5	4	0,8	25	3,2	3	0,8	33,33	2,4	2	0,8	50	1,6
6	T6	4	0,8	25	3,2	2	0,8	50	1,6	2	0,8	50	1,6

Konečné technické hodnocení je vidět v tabulce 9.

Tab 9) Výsledky MMH pro spodní kontaktování

Varianta	τ
Var A	**0,592**
Var B	0,511
Var C	0,515

Stejně jako v předchozím případě, je ve výsledné tabulce možné vidět velmi malý výsledný rozdíl mezi variantou A a B.

6.3.5 Výsuv razítka

U razítka je důležité zajistit zdvih 100 m pro možnost jeho oražení jednou za pracovní cyklus silou 10 N.

Výsuv razítka – varianta A

Jako první možnost se nabízí nahrazení pomocí výše uvedených pohonů LEPS. Tato řada se však se zdvihem 100 mm nevyrábí. Mohlo by však být použité spojení pohybů 2 pohonů se zdvihy 25 mm + 75 mm nebo 50 mm + 50 mm.

Výsuv razítka – varianta B

Druhou navrženou možností je použití aktuátoru s jezdcem. Pro toto řešení by v zadní části testeru byly uchyceny dva sloupky, mezi kterými by byl pohon uchycen. Při zvolení dostatečně velkého posuvu by mohl být místo dvou pohonů pro každé razítko zvlášť pouze jeden pohon s dvojnásobným zdvihem, který by byl umístěn ve středu testeru a otištění razítek by bylo provedeno dojezdem na jednu z jeho krajních poloh.

Výsuv razítka – varianta C

V této variantě je uvažováno použití šroubový elektrický pohon řady LEYG, který umožňuje dosáhnout požadovaného zdvihu. Další jeho výhodou je možnost využití stávajícího uchycení pneumatického válce v testeru.

MMH pro výsuv razítka

Uvedené varianty byly posouzeny dle bazické bodovací metody, jejich určené hodnoty je možné vidět v tabulce 10.

Tab 10) Hodnoty MMH pro výsuv razítka

n	OZN.	Varianta A				Varianta B				Varianta C			
		tj	g_n	p_T	t_n	tj	g_n	p_T	t_n	tj	g_n	p_T	t_n
1	T1	3	1	33,33	3	4	1	25	4	4	1	25	4
2	T2	2	0,6	50	1,2	2	0,6	50	1,2	3	0,6	33,33	1,8
3	T3	2	0,7	50	1,4	4	0,7	25	2,8	4	0,7	25	2,8
4	T4	3	0,5	33,33	1,5	4	0,5	25	2	4	0,5	25	2
5	T5	3	0,8	33,33	2,4	4	0,8	25	3,2	4	0,8	25	3,2
6	T6	2	0,8	50	1,6	4	0,8	25	3,2	5	0,8	20	4

Konečné technické hodnocení je vidět v tabulce 11.

Tab 11) Výsledky MMH pro výsuv razítka

Varianta	τ
Var A	0,393
Var B	0,582
Var C	**0,627**

Z těchto výsledků vychází jako nejlepší možnost varianta C.

6.4 Výběr uvažovaných kombinací variant

K detailnějšímu prostudování finálního řešení, je potřeba zvolit kombinaci jednotlivých navrhnutých variant náhrad pneumatických válců, elektrickými aktuátory. Jako první nejlogičtější varianta se nabízí použít pohony, které vyšly v rámci MMH nejvýhodněji. Tedy celková variant A bude složena z:

- Přední upnutí – pohon řady LEPY
- Boční upnutí – pohon řady LEPY
- Přední kontaktování – pohon řady LEPS
- Spodní kontaktování – pohon řady LEPS
- Pohyb razítka – pohon řady LEYG

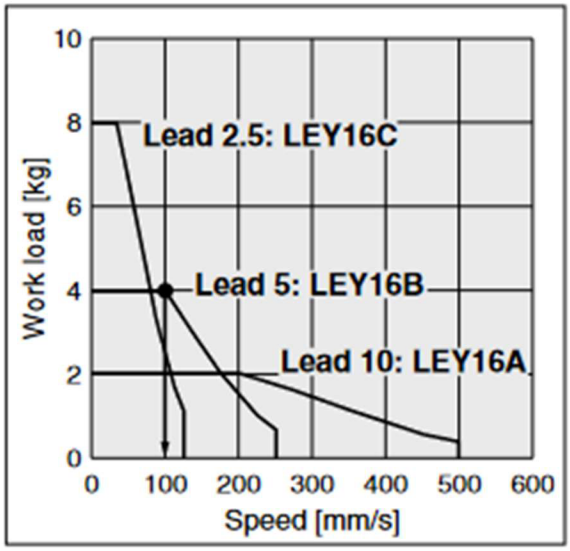
Pro volbu varianty B jsem zvolil použití pohonů, které byly výsledky v rámci MMH velmi blízko zvoleným ve variantě A. V případech, kdy vyšly ostatní možnosti výrazně hůře, bylo jejich uvažování pro finální řešení bezpředmětné a místo nich byly použity pohony stejné, jako v předchozím případě. Takto tedy byla zvolena varianta B složená z:

- Přední upnutí – pohon řady LEFS
- Boční upnutí – pohon řady LEPY
- Přední kontaktování – pohon řady LES
- Spodní kontaktování – pohon řady LEPS
- Pohyb razítka – pohon řady LEL

7 PROPRACOVÁNÍ DVOU TECHNICKO – EKONOMICKY NADĚJNÝCH VARIAN

7.1 Výběr aktuátorů

Výběr všech elektrických aktuátorů pro tuto aplikaci bude probíhat obdobně. Jako první je třeba znát, jakou funkci bude pohon vykonávat. První možností je pouze ovládání polohy přípravku a druhou zajištění tlačné síly. Pro zajištění vysunutí a zasunutí přípravku je potřeba vědět, jak velkou zátěž a jakou rychlostí bude potřeba přemisťovat. Další důležitý faktor je, zda tento pohyb bude horizontální, či vertikální. Z těchto údajů za pomoci grafů jako je například na obrázku 24 je vybrán typ pohonu a stoupání šroubu. Větší stoupání šroubu poskytuje vyšší rychlosti přesunu, ovšem za cenu nižší přepravované zátěže.



Obr. 24) Graf závislosti zátěže a rychlosti [26]

Následně je třeba zjistit, jak dlouhý bude pracovní cyklus od spuštění ve výchozí pozici, do dojetí na požadovanou hodnotu. Tento čas se získá sečtením čtyř časů, kdy prvním je doba zrychlování na danou rychlost, druhým je setrvávání na maximální rychlosti, dále zpomalování a poslední je doba ustálení. Výpočty těchto časů jsou popsány následujícími vztahy:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \tag{8}$$

Kde:

T = čas cyklu [s]

T_1 = čas zrychlování [s]

T_2 = čas setrvání na maximální rychlosti [s]

T_3 = čas zpomalování [s]

T_4 = čas ustálení [s]

Zrychlování a zpomalování je závislé na vlastnostech pohonu a tato vlastnost je uváděna výrobcem. Výpočet je následující:

$$T_1 = V/a_1 \tag{9}$$

$$T_3 = V/a_2 \tag{10}$$

Kde:

V = nastavená rychlost pohonu [mm/s]

a_1 = zrychlení [mm/s^2]

a_2 = zpomalování [mm/s^2]

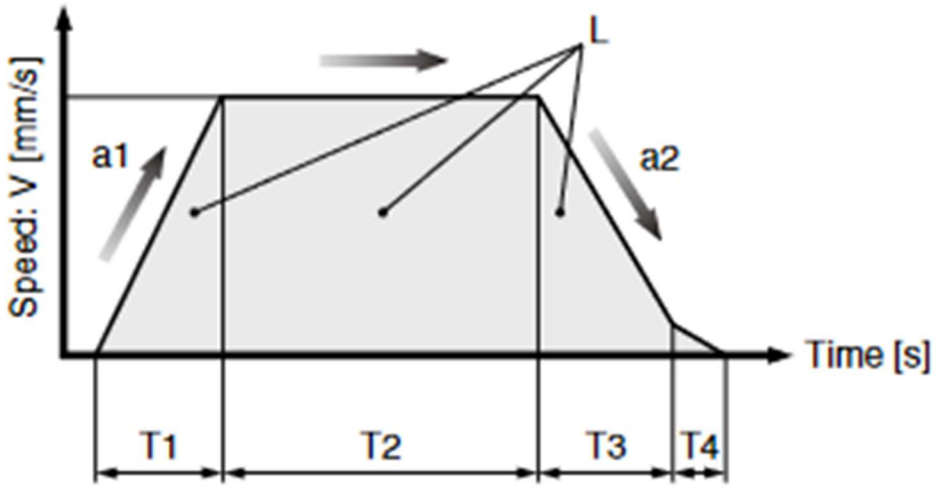
Doba setrvání na maximální rychlosti je následně dopočítána dle následujícího vztahu s využitím již spočítaných hodnot:

$$T_2 = \frac{L - 0{,}5 \cdot V(T_1 + T_3)}{V} \tag{11}$$

Kde:

L = celkový zdvih [mm]

Hodnota T_4 je závislá na mnoha faktorech, jako je například typu motoru a zátěži. Průběh závislosti času a rychlosti je možné vidět na obrázku 25.



Obr. 25) Průběh rychlosti aktuátoru v čase [26]

Při výběru pohonu pro zajištění tlačné síly je důležitým faktorem poměr zatíženého stavu v jednom pracovním cyklu. Tento údaj je důležitý, jelikož motory pohonů nemohou pracovat nepřetržitě v maximálním možném zatížení, jelikož by docházelo k přehřívání a poškození motorů. Tento poměr je vypočítán dle jednoduchého vzorce:

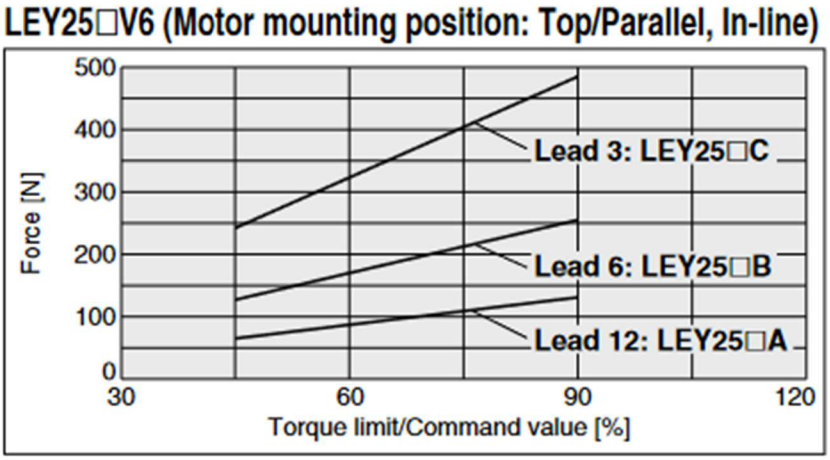
$$D = \frac{A}{B} \cdot 100 \tag{12}$$

Kde:

A = zatížený stav [s]

B = nezatížený stav [s]

S vyšší hodnotou tohoto poměru je potřeba omezovat výkon motoru a dobu zatížení. Ke správnému nastavení a výběru pohonu jsou výrobcem dodávány tabulky a grafy, jako například od firmy SMC Corporation, které je možno vidět na obrázku 26.



Torque limit/Command value [%]	Duty ratio [%]	Continuous pushing time [minute]
75 or less	100	—
90	60	1.5

Obr. 26) Závislost výkonu na pracovním cyklu [26]

Elektrické pohony musí být pro jejich ovládání, jako je například spouštění, nastavování rychlosti nebo dojíždění na konkrétní pozice připojeny na řídící jednotku. Pro zajištění správného fungování aktuátoru, je potřeba zkontrolovat kompatibilitu mezi pohonem a řídící jednotkou.

Jakmile je vybrán konkrétní aktuátor s řídící jednotkou, je nutné vymyslet zapracování do konstrukce. Umístění motoru bývá obvykle po stranách, nahoře nebo v ose elektrického aktuátoru. Zvolení jeho pozice je potřeba zvážit na základě ostatních prvků soustavy tak, aby nekolidoval s ostatními.

Jelikož jsou na všechny pohony v testeru kladeny jiné požadavky, budou jednotlivé varianty nahrazení pneumatických válců elektrickými aktuátory řešeny zvlášť a na základě zvoleného multikriteriálního hodnocení vybrána kombinace nejlepšího řešení.

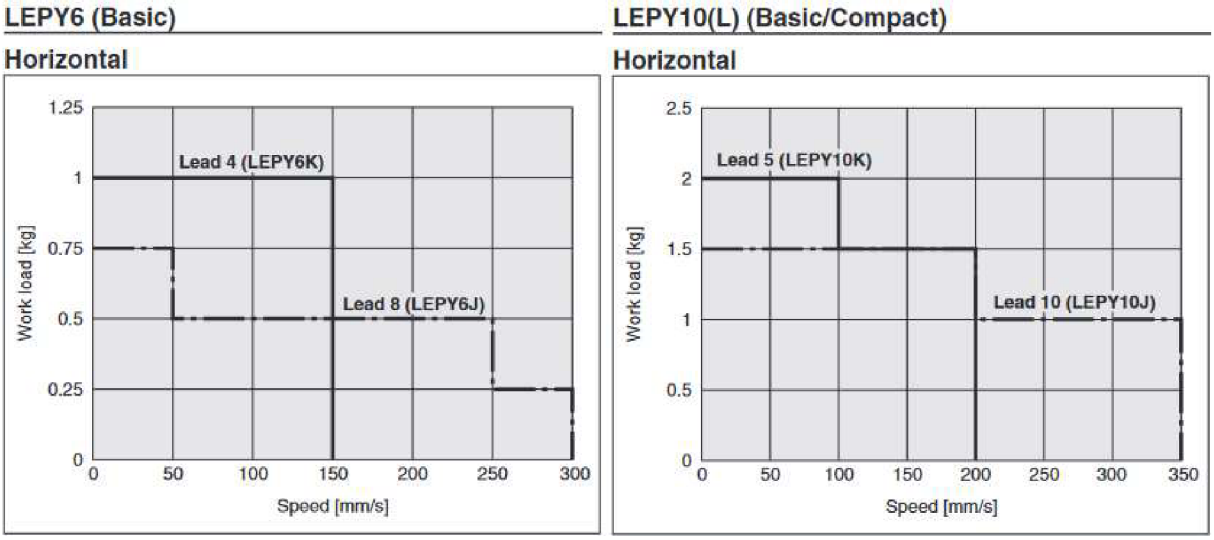
7.2 Výběr konkrétních pohonů varianty A

Jelikož byly pro některé funkce určeny jako vhodné stejné typy pohonů, bude jejich výběr rozepsán v následujících podkapitolách společně. Tyto podkapitoly budou rozděleny dle typu elektrického aktuátoru. Všechny pohony jsou voleny z katalogu společnosti SMC, jelikož má firma ELCOM s těmito výrobky velmi kladné zkušenosti.

7.2.1 Elektrické aktuátory LEPY

Tento typ se na základě multikriteriálního hodnocení jeví jako vhodný pro jak přední, tak horní upnutí. Jelikož se jsou však na oba pohony kladeny trochu jiné požadavky, je potřeba provést výběr konkrétního modelu zvlášť. V této aplikaci je rozdíl v přesunované zátěži, kdy u předního upnutí se jedná o zátěž 0,4 kg a v případě horního upnutí potom 0,08 kg. Minimální rychlost pro oba pohony je stejná a to 150 mm/s.

Nejdříve je potřeba provést prvotní výběr velikosti a stoupání šroubu v závislosti na zatížení a požadované rychlosti. Tyto grafy se liší pro vertikální a horizontální přemisťování. Dále je důležité poznamenat, že tento prvotní výběr se nemusí v následujících krocích ukázat jako vhodný a bude potřeba provést výběr jiného například robustnějšího modelu. Stoupání šroubu je nabízeno pro velikost 6 mm v provedení 4 mm a 8 mm, zatímco pro velikost 10 mm je nabízené stoupání 5 mm a 10 mm. Čím větší stoupání, tím větší rychlost vysouvání může pohon poskytnout, ovšem na druhou stranu dosahují menší tlačné síly. Grafy závislostí pracovní zátěže a rychlosti pro elektrické aktuátory řady LEPY6/10 jsou ukázány na obrázku 27.



Obr. 27) Grafy závislostí zatížení a rychlosti pro LEPY [26]

Jelikož oba pohony zajišťují upnutí a budou vykonávat stejný zdvih, je zbytečné, aby měl jeden z pohonů mnohem větší rychlost než druhý, jelikož kontaktování je prováděno až po zaaretování obou hrotů. Z tohoto důvodu se jeví jako vhodný pohon LEPY6J, který poskytuje možnost rychlosti 250 mm/s pro obě aplikace.

Jakmile je vybraný model, je možné spočítat dobu najetí do požadované pozice. K tomuto je potřeba znát zrychlení a zpomalování pohonu, zdvih a maximální rychlost. Typ pohonu LEPY poskytuje zrychlení 3000 mm/s^2, požadovaný zdvih je v obou případech 40 mm a rychlost z výše uvedeného důvodu bude nastavena na 250 mm/s, i přes to, že by pro polohování aretačního hrotu pro horní upnutí mohla být i 300 mm/s. Výpočet času vysunutí pro pohon LEPY6J proběhl výpočet následovně:

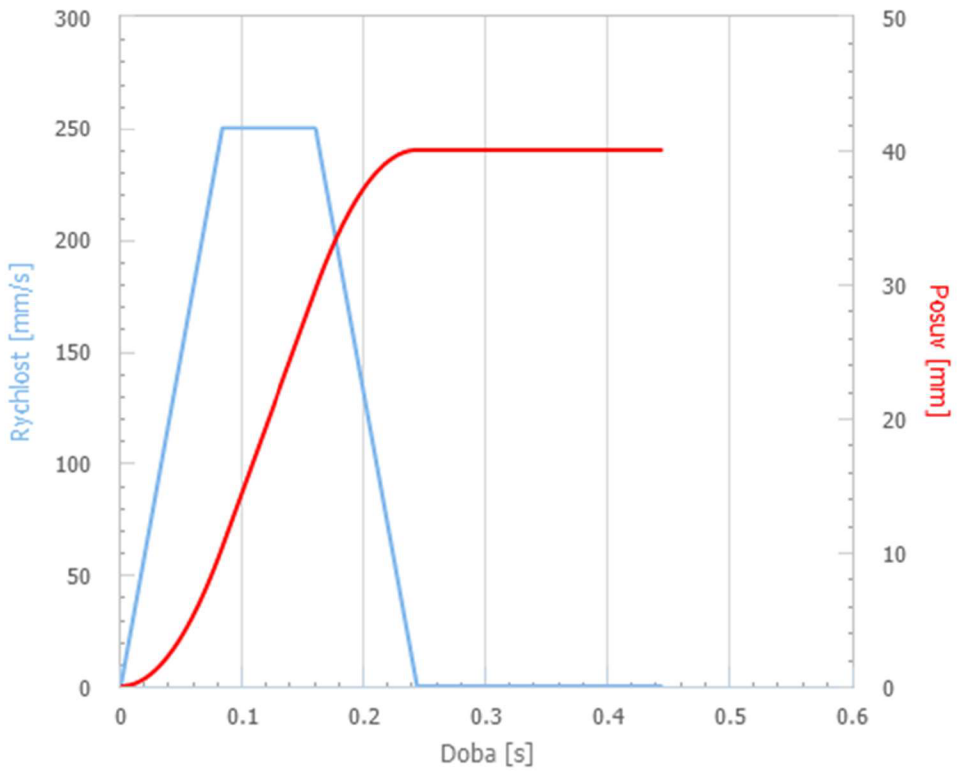
$$T_1 = T_3 = \frac{V}{\mathrm{a}} = \frac{250}{3000} = 0{,}083\ s$$

$$T_2 = \frac{L - 0{,}5 \cdot V(T_1 + T_3)}{V} = \frac{40 - 0{,}5 \cdot 250 \cdot (0{,}083 + 0{,}083)}{250} = 0{,}077\ s$$

$$T_4 = 0{,}2\ s$$

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 0.443\ s$$

Z výpočtu byl získán čas polohování upnutí pomocí pohonu LEPY6J 0,443 s. Správnost výpočtu je možné ověřit pomocí softwaru pro výpočet elektrických pohonů dostupné na stránkách firmy SMC, kdy po vybrání pohonu a zadání vstupů byl vygenerován následovný graf (obr. 28) popisující rychlost a posuv v čase.



Obr. 28) Rychlost a posuv pohonu LEPY6J v čase [27]

Tyto pohony jsou nabízeny se zdvihy 25, 50 a 75 mm. S ohledem na požadované vysunutí bylo zvoleno nejbližší vyšší zdvih, tedy 50 mm pro obě aplikace.

Dále je potřeba vybrat umístění přívodu kabelu. Pro typ LEPY jsou nabízené možnosti nahoře, na levé či pravé straně, popřípadě dolní straně. V případě předního upnutí je vhodné připojení kabelu na pravé straně, toto provedení má v objednávacím kódu přiřazené písmeno R. Pro horní upnutí je zvoleno připojení zdola s označením písmenem U. Kabel pohonu může být robotický nebo standartní. Vybrané byly robotické, jelikož jsou cenově obdobné, ovšem kvalitnější. Tyto kabely mají v objednávacích písmeno R. Jejich délka postačí 1,5 metrů. Robotické kabely této délky budou voleny pro všechny následující pohony.

Jako poslední je potřeba zvolit způsob řízení. Tímto se bude zabývat podkapitola po výběru všech pohonů, jelikož je snaha o použití stejných způsobů ovládání u všech prvků z důvodu kompatibility a snadnějšího programování.

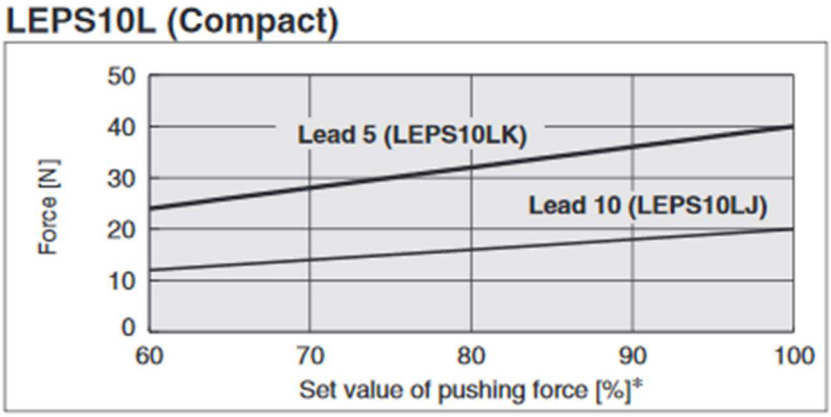
Výsledné objednávací kódy vybraných pohonů jsou tedy následující:

- Přední upnutí – LEPY6J-50R-R1
- Horní upnutí – LEPY6J-50U-R1

7.2.2 Elektrické aktuátory LEPS

Pohon řady LEPS byl zvolen pro kontaktování. Na rozdíl od předchozí aplikace, kde byla funkce pouze poziční, v těchto případech už je potřeba také kontrolovat tlačnou sílu. Aby bylo možné zajistit správnou funkci a zjistit maximální možnou sílu, je potřeba znát poměr zátěže. Poměr zátěže se bude v praxi lišit, jelikož tester není plně automatizovaný, ale je ovládaný obsluhou, takže časy mezi jednotlivými cykly budou různé. K výpočtu však bude zvolen teoreticky nejrychlejší takt, čímž bude zajištěno, že pohon nebude přehříván. Ze zadání je doba tlačení pohonu 20 sekund a celkový teoretický cyklus 30 sekund. Z těchto hodnot je získán, dle

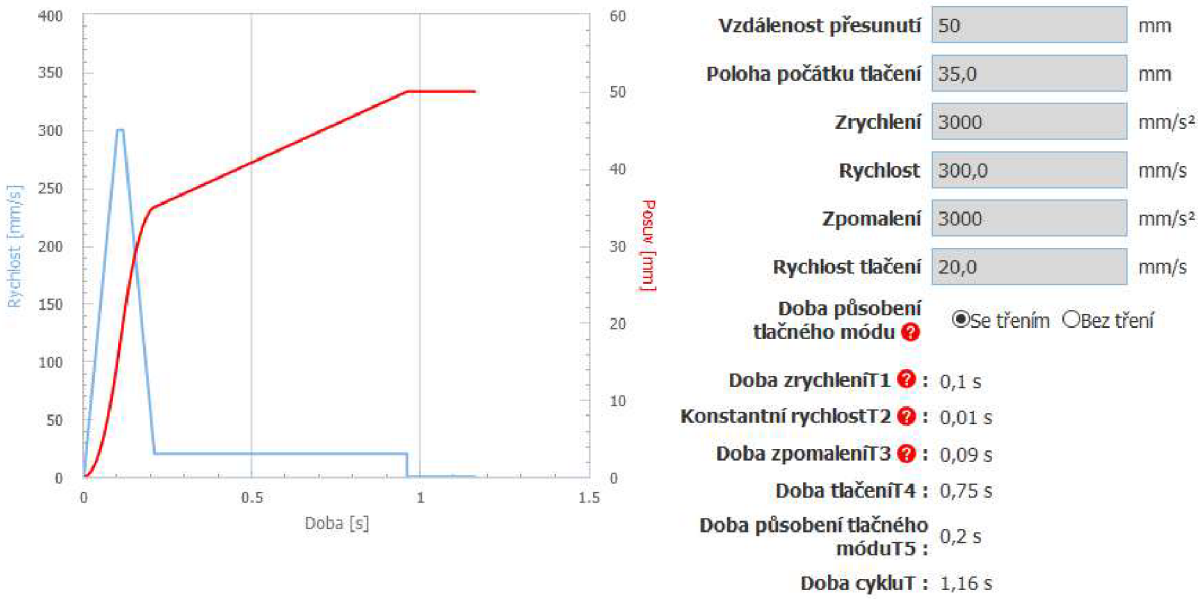
vztahu 12 uvedeného výše, poměr zátěže 67 %. Při porovnání s tabulkou a grafem pro pohon LEPS10L na obrázku 29 poskytuje tento pohon dostatečnou sílu pro obě aplikace.



Set value of pushing force [%]	Duty ratio [%]	Continuous pushing time [minute]
70 or less	100	—
80	70	10
100	50	5

Obr. 29) Graf závislosti tlačné síly pro LEPS10L [26]

Výpočet rychlosti je o něco složitější než u předchozích případů, jelikož se skládá z více částí. Nejdříve pohon najede na pozici, ve které je zahájena kontrola tlačné síly. Tato část je obdobná operaci najetí na pozici. Pohon však z maximální rychlosti zpomalí na rychlost tlačení, kterou dojede na požadovaný zdvih, při udržování konstantní tlačné síly. Pro výpočet doby cyklu, je vhodné použít již zmíněný volně dostupný software pro výpočet pohonů, kde po zadání hodnot byl získán průběh pracovního cyklu pro spodní kontaktování. Tento průběh je ukázán na obrázku 30.



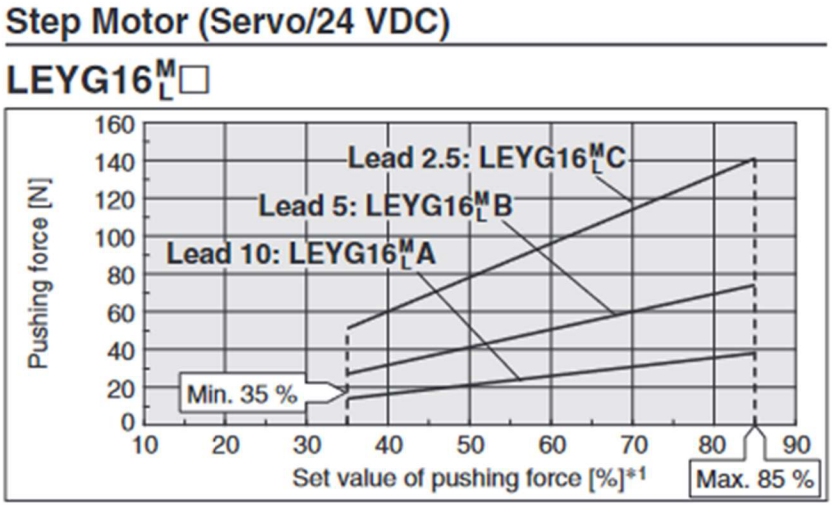
Obr. 30) Průběh pohybu pohonu LEPS v čase [27]

Předpokládaná doba cyklu je tedy 1,16 sekundy pro spodní kontaktování. Pro přední kontaktování proběhlo určení času obdobně s výsledkem 0,83 sekund.

Výsledné objednávací kódy vybraných pohonů je LEPS10LJ-25-R1

7.2.3 Elektrické aktuátory LEYG

Pohon řady LEYG byl zvolen pro posuv razítka. Stejně jako v předchozím případě je zde potřeba kontrolovat sílu tlačnou sílu. Avšak oproti předchozímu výběru, kdy byla potřeba kontrolovat a počítat s poměrem zátěže, zde vysunutí a zasunutí razítka zabírá velmi malou část celkového pracovního cyklu testeru. Jak je možné vidět v grafu na obrázku 31 pro výběr stoupání šroubu pohonu typu LEYG16, který je v této řadě nejmenší, tlačná síla pro typ A je dostačující. Typ A označuje stoupání vodícího šroubu 10 mm.



Ambient temperature	Set value of pushing force [%]	Duty ratio [%]	Continuous pushing time [minute]
25 °C or less	85 or less	100	—
40 °C	40 or less	100	—
	50	70	12
	70	20	1.3
	85	15	0.8

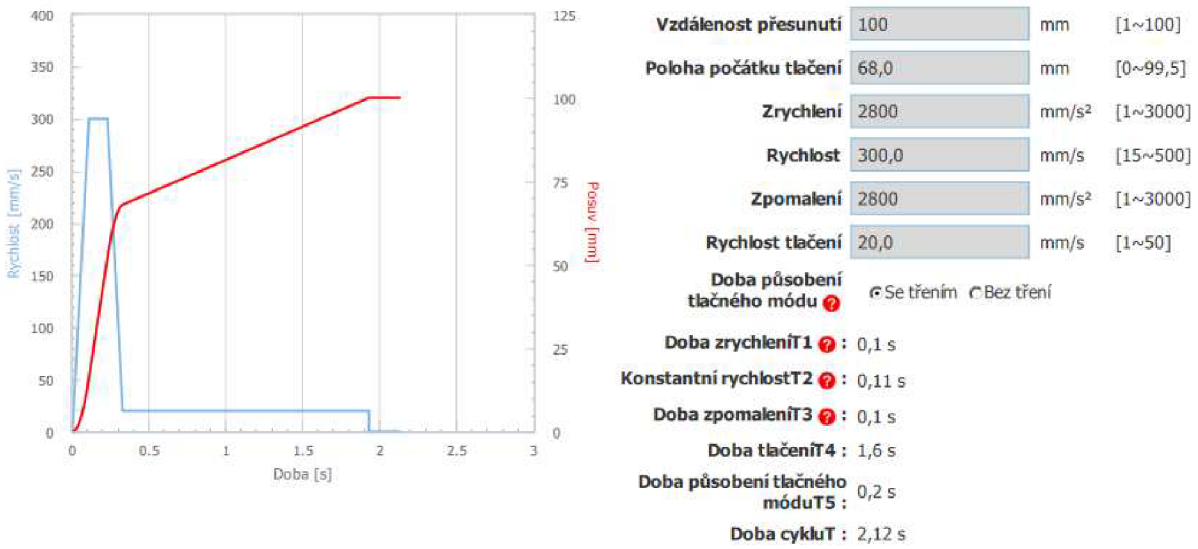
Obr. 31) Graf závislosti tlačné síly pro LEYG16 [26]

Jak už bylo v požadavcích na pohony uvedeno, pro přesun razítka je požadovaný zdvih 100 mm, což tento typ motoru nabízí.

Pozice motoru s přihlédnutím na umístění aktuátoru v rámci testeru, bylo zvoleno nahoře, jelikož v případě provedení v ose, by motor vyčníval mimo rozměry testeru.

Pro výpočet rychlosti vysunutí byly tyto údaje byly zadány do softwaru pro výpočet elektrických pohonů, jehož výsledky je možné vidět na obrázku 32.

Objednávací číslo vybraného pohonu je LEYG16LA-100- R1



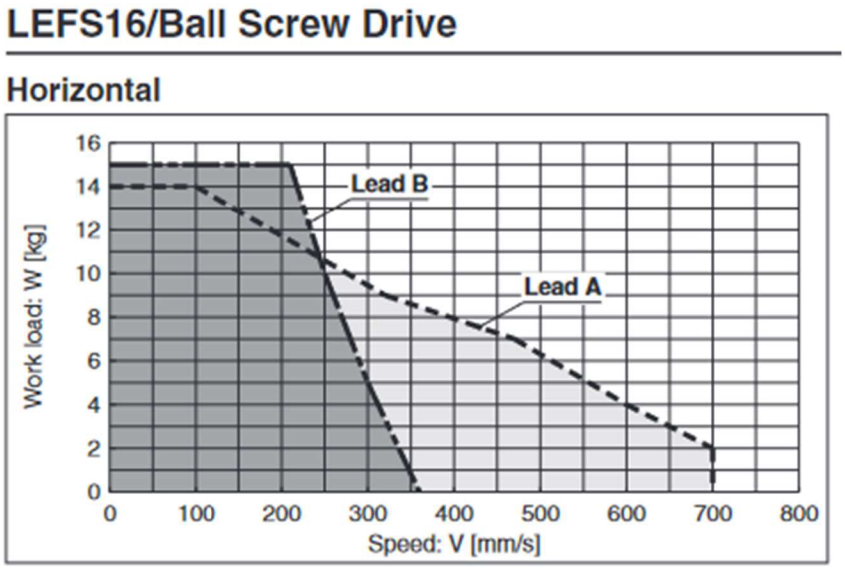
Obr. 32) Rychlost a posuv pohonu LEYG16A v čase [27]

7.3 Výběr konkrétních pohonů varianty B

V rámci této varianty je proveden výběry zvolených pohonů, které se v MMH blížily nejlepším výsledkům pohonům vybraných pro variantu A, jelikož se při detailnějším posouzení mohou ukázat jako lepší možnost.

7.3.1 Elektrické aktuátory LEFS

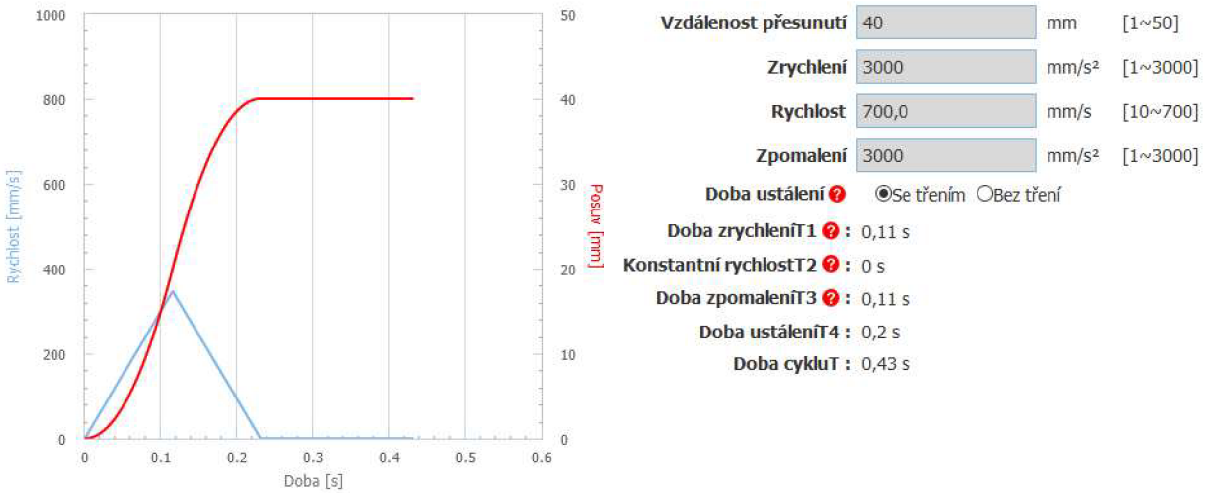
Na rozdíl od varianty A kdy bylo pro posuv aretačních hrotů předního upnutí použito elektrického akuátoru s pístnicí a lineárního vedení, na které byl přípravek s hroty umístěn, je možné provést nahrazení pomocí elektrického aktuátoru s jezdcem. Výhodou tohoto řešení je možnost umístit přípravek s aretačními hroty přímo na jezdec pohonu. Další výhodou je mnohem větší dosažitelná rychlost, což je možné vidět na obrázku 33.



Obr. 33) Graf závislosti rychlosti a zátěže pro LEFS16 [26]

Jak je na grafu pro závislost rychlosti na zátěži vidět, je povolená zátěž vyšší, než je pro tuto aplikaci potřebné, ovšem v menším provedení se tyto pohony nevyrábějí. Z tohoto důvodu byl tedy vybrán model LEFS16 se stoupáním vodícího šroubu A značící 10 milimetrů.

I přesto, že tento pohon umožňuje maximální rychlost až 700 mm/s, tak z důvodů malého výsuvu při dovoleném zrychlení a zpomalování se na tuto hodnotu pohon nikdy nedostane. Toto je možné vidět i na obrázku 34, kdy je provedeno vyhodnocení pohybu s maximálními možnými hodnotami.



Obr. 34) Rychlost a posuv pohonu LEFS16 v čase [27]

Doba cyklu pro tyto rychlosti 0,43 sekund, ovšem jelikož jsou na sebe obě upínání závislé a kontaktovací sekvence se spustí až po vysunutí obou je možné snížit maximální rychlost na 250 mm/s, čímž se doba cyklu prodlouží pouze o 0,01 sekundy.

Zdvih pohonu je volen nejbližší vyšší hodnota k potřebnému zdvihu, tedy 50 mm.

Pro tento typ pohonů je umožněna volba pozice motoru, a to vpravo, vlevo nebo v ose. Jelikož je v prostorech pro umístění pohonu dostatek místa, je možné zvolit umístění v motoru v ose. Uchycení pohonu na podložku je možné pomocí 4 děr a středícího kolíku.

Výsledný objednávací kód tohoto pohonu je LEFS16A-50-R1.

7.3.2 Elektrické aktuátory LES

Tato řada byla vybrána jako alternativa pohonu LEPS pro přední kontaktování. Tato možnost by byla vhodná i pro kontaktování spodní, ovšem z důvodu větších zástavbový prostor by bylo nutné provést velký zásah do konstrukce ostatních prvků.

Výběr aktuátoru probíhal velmi podobně jako v případě pohonu LEPS. Nejdříve byla zvolena velikosti pohonu, která byla na základě tabulky v katalogu zvolena 8 mm se stoupáním taktéž 8 mm. Tato volba byla následně ověřena v softwaru pro výpočet elektrických pohonů. Tímto byl taky získán údaj celkového času cyklu pro přední kontaktování rovný 1,06 sekund. Pro připojení pohonu je zvolen robotický kabel s délkou 1,5 metru.

Výsledný objednávací kód pro aplikaci je tedy: LES8RJ-30-R1.

7.4 Volba řízení zvolených pohonů

Jelikož pohony využívány pouze pohybu mezi dvěma polohami nabízí se jednoduché řešení programování pomocí poziční tabulky. V takovém případě se do příkazového řádku napíše, kam má pohon dojet, jakou rychlostí, popřípadě další důležité parametry jako například zrychlení pohonu a z PLC jsou binární kombinací tyto řádky a pohony volány. Jelikož se jedná o jednu z nejjednodušších variant, patří tento způsob mezi ty nejlevnější. Pro krokové motory tento způsob využívá kontroler JXC.

Následně je potřeba zvolit, jakým způsobem je provedeno připojení kontroleru k PLC. V tomto případě je možné využít paralelní vstup PNP nebo NPN. Pro Evropské stroje je preferovaná logika PNP, v případě Asie či Ameriky potom NPN. Při využití tohoto způsobu je každý kontroler připojený na PLC zvlášť a poziční tabulka je nadefinovaná v kontroleru pomocí počítače nebo takzvaného teaching boxu.

Další možností je řízení pomocí sběrnice, například pomocí sběrnice ProfiNet. V tomto případě je následně možné ovládání nejen pomocí poziční tabulky, ale také numericky s možným numerickým monitorováním. Toto provedení je však samozřejmě dražší.

Po vybrání způsobu řízení je také nutné zvážit způsob, jakým bude kontroler na konstrukci upevněn. Zde je na výběr uchycení šrouby, popřípadě umístění na DIN lištu.

Pro toto konkrétní použití bylo po zvážení možností zvolen kontroler JXC s paralelním vstupem PNP s uchycením pomocí šroubů. Délky ovládacích kabelů byly zvoleny 1,5 metrů. V objednávacím kódu je tato možnost značena jako C1617.

7.5 Porovnání technických a ekonomických parametrů obou řešení

Pro upínání světlometů jsou použité miniaturní aktuátory řady LEPY a pro jeho kontaktování je použit aktuátor z řady LEPS. Pro pohyb razítka, který vyžaduje velký zdvih jsou použity aktuátory řady LEYG umožňující velký zdvih. Všechny tyto pohony jsou voleny z katalogu firmy SMC, jedná o standardní katalogové produkty.

Největší výhodou použití obou variant s elektrickými aktuátory oproti pneumatickým pohonům je možnost testování výrobků v místech, kde není zajištěn přístup ke kvalitnímu stlačenému vzduchu. Naopak pneumatické válce jejich menšími rozměry umožnily snadnější integraci do testeru.

Hlavním rozdílem mezi variantou A a B je použití ve variantě A pouze elektrických aktuátorů s pístnicí, zatímco varianta B využívá i aktuátory s jezdcem. Pohony s jezdcem bylo možné použít přímo jako nosný prvek přípravku pro aretační hroty, čímž byl nahrazen nejen pneumatický válec, ale také lineární vedení. Stejně tak byl pomocí jednoho velkého pohonu LEL25 zajištěn pohyb obou razítek najednou dle potřeby, čímž je v této variantě potřeba o jeden pohon méně, což znamená i redukci potřeby jednoho kontroleru. Nevýhodou oproti variantě A je však větší zástavbový prostor než při použití elektrických pohonů s pístnicí.

Údaje o životnosti elektrických aktuátorů firma SMC neposkytuje ve veřejných katalozích. Firma ELCOM si interně ověřuje životnost pomocí testů, které oficiálně neposkytuje. Vzhledem ke skutečnosti, že doposud většinu z těchto vybraných pohonů nepoužívali, bylo by nutné tyto testy provést před zařazením přípravků s těmito pohony do nabídky.

8 PROJEKTOVÁ A VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE S PŘÍSLUŠNÝM KOMENTÁŘEM

V této kapitole bude popsána realizace řešení, odůvodnění změn v konstrukci a porovnání původní a navrhnutých řešení. Jak již bylo v předchozích kapitolách zmíněno, hlavním problémem elektrických pohonů je větší zástavbový prostor, což patří k hlavním důvodům nutnosti úpravy stávající konstrukce testeru. K dalším důvodům se řadí například jiná rozteč šroubů na patce pro spojení tělesa s pohonem nebo jiný způsob upínání pohonů.

Ve výkresové dokumentaci je možné najít výkresy všech upravených součástí a stejně tak i součásti, které musely být namodelovány nové. Výkresy dílů jsou pro lepší orientaci, do které podsestavy patří, označeny na prvním místě písmenem a platí že:

- A – přední kontaktování
- B – horní upínání
- C – přední upínání
- D – spodní kontaktování
- E – razítkování

Další písmeno značí pro testování kterého světlometu je součást využívána. Význam písmen je následovný:

- L – testování levého světlometu
- P – testování pravého světlometu
- S – využito pro testování obou světlometů

Po prvních dvou písmenech následuje spojovník a číslo určující, o které řešení se jedná:

- 1 – řešení pro variantu A
- 2 – řešení pro variantu B
- 0 – řešení využité v obou variantách

Následuje opět spojovník označující číslo součásti. V případě, že se jedná o výkres sestavy tato část není použita.

8.1 Přední upínání

První varianta zachovává původní princip přesunu aretačních hrotů tlačením lineárního vedení. Bylo však potřeba vymyslet, jak bude pohon v uchycen. Pohon LEPY umožňuje uchycení zespodu nebo ze strany. Za tímto účelem byla stěna nástavce, který se nacházel na pravé straně pohonu protažena, a následně do ní byly umístěny 2 díry pro šrouby k upevnění pohonu v potřebné výšce. Výkres této součásti má ve výkresové dokumentaci číslo AS-1-03 a je řazena do sestavy pro přední kontaktování, jelikož je pro ni důležitější a jsou na ni prováděny další, větší úpravy.

V druhé variantě bylo k problému přistoupeno zcela jinak a pneumatický píst byl nahrazen elektrickým aktuátorem s jezdcem. Nebyl, však nahrazen jenom píst, ale i samotné lineární vedení a přípravek s aretačními šrouby byl umístěn přímo na jezdec pohonu. Pozice přípravku však při umístění pohonu na podložku bylo vyšší než v předchozím případě, tudíž muselo k zaručení správné funkce dojít ke kompenzaci tohoto výškového nárůstu. Z tohoto důvodu byly použity kratší úchyty hrotů. Takto byla dosažena původní pozice hrotů jako

v původním provedení. I přes to, že v důsledku tohoto řešení se přípravek pohybuje blíže ke světlometu je v jeho okolí stále dostatek místa, aby nedošlo k poškození.

8.2 Horní upnutí

V případě horního upnutí byl již původní pneumatický pohon umístěn velmi blízko hraně testeru, což znemožnilo přímé nahrazení pohonu za pohon. Kvůli tomuto umístění a jeho bezprostředním okolí, jsem nalezl pouze jedno řešení, které nebylo příliš invazivní do stávající konstrukce a zároveň splňovalo zadané požadavky. Jelikož pohon nesmí vyčuhovat mimo tester, byla snaha zvolený aktuátor posunout co nejvíce ke středu testeru. Původní uchycení pneumatického válce v ose bylo nahrazeno bočním pomocí nástavce (výkres BL-1-03). Drážka na příložce po předchozí upínce byla zahlazena (výkres BL-1-01). Na nový nástavec je přišroubována upínka pro motor, která slouží k seřizování a uchycení pohonu (výkres BL-1-02). V tuto chvíli se již pohon nacházel na základní deskou. Toto však stále nestačilo, jelikož pokud by se v tuto chvíli na pístnici umístil původní aretační šroub, tak by z důvodu velkého posunutí do středu překážel samotnému vložení světlometu na určené místo. Řešením bylo nahradit zbytečně dlouhý aretační šroub novým a kratším hrotem (výkres BL-1-03). Tímto bylo nahrazení pro tuto aplikaci dokončeno a podsestava s jednotlivými součástmi a využitým spojovacím materiálem přiložena ve výkresové dokumentaci.

8.3 Spodní kontaktování

Pro obě varianty je provedeno spodní kontaktování stejně, z důvodů malého prostoru v okolí přípravku. Jelikož byl pohon z důvodu větších rozměrů výše než předchozí, byla potřeba upravit upínka konektoru tak, že byl konektor uchycen níže a také bylo potřeba provést na upínce vybrání, aby nepřišla do kontaktu s konektorem světlometu, jak je možné vidět na výkresu DL-0-01. Ze stejného důvodu byla provedena úprava upínky pohonu (výkres DL-0-02). Ostatní části podsestavy byly zachovány.

8.4 Přední kontaktování

Rozdíl mezi variantou A a B je z konstrukčního hlediska velmi malý. V obou případech bylo nutné provést úpravu adaptéru konektoru dle připojovacích rozměrů patky pohonu. Výkres adaptéru pro variant A je na výkresu AS-1-01 a pro variantu B na výkresu AS-2-01. Pro zajištění správné pozice pohonu byla také provedena změna nástavce (výkresy AS-1-02 a AS-2-02), do kterého je vložená distanční podložka (výkres AS-1-03 a AS-2-03) upravená tak, aby konektor umístěný umístění na aktuátoru byl ve shodné pozici jako v původním provedení. Celá sestava je potom vyobrazena na výkresech AS-1 pro variantu A a AS-2 pro variantu B.

8.5 Razítkování

Varianty pro razítkování se od sebe velice liší. Ve variantě B je použit pro pohyb razítek jeden pohon, zatímco varianta A zachovává původní řešení.

Varianta B využívá pohon s dvojitým vedením, na němž je umístěn vozík nesoucí příčník, ke kterému jsou na obou stranách pomocí distančních úhlově stavitelných podložek přišroubovány objímky razítek. Toto provedení razítkování má výhodu ve vyšší tuhosti celé sestavy. To je zabezpečeno právě již zmiňovaným dvojitým vedením neseného vozíku.

9 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Mezi klady obou navržených řešení oproti původnímu se řadí to, že zde není potřeba stlačeného vzduchu, tudíž ani ventilového terminálu a dalších podpůrných pneumatických prvků. Elektrická energie je oproti stlačenému vzduchu levnější, což snižuje provozní náklady. Elektrické aktuátory také poskytují možnost preciznějšího a variabilnějšího nastavení pohonů (rychlosti, dojezdy, síla, zrychlení) a zajištění zpětné vazby přímo z jednotlivých pohonů bez nutnosti použití extérních čidel polohy.

Naopak k záporům patří vyšší pořizovací náklady, nutnost úpravy nosných prvků elektrických pohonů. Nové pohony mají potřebu většího zástavbového prostoru, což má za následek menší manipulační prostor v bezprostředním okolí pohonu, čímž je ztížená případná manipulace z důvodů jako jsou seřízení či údržba. Jestliže zákazník používá stejnou koncepci testerů modifikovaných pro různé modely světlometů ovládaných pneumatickými pohony, které jsou ale řízeny stejným PLC, tak největším záporem použití elektrických pohonů místo pneumatických je nutnost použít nové PLC, které nebude kompatibilní se zbylými uvedenými testery. Největším problémem je však nedostatečný prostor pro umístění kontrolerů přímo na tester. Řešením tohoto problému je zvětšení základní desky, což by znamenalo nutnou úpravu i stroje, pro který je tento tester určen, popřípadě umístění stroje mimo tester, či zapracování kontrolerů jako součást stoje.

Dále je nutné zohlednit životnost testeru z pohledu životnosti světlometu vůči jeho setrvání na trhu (délka produkce světlometu).

I přesto, že elektrické pohony jsou větší, než původní pneumatické pohony byla v obou navrhnutých řešeních plně zachována původní funkčnost testeru neboli všechny upevňovací a kontaktovací pohyby byly dispozičně zachovány.

Porovnání cen pohonů pro jednotlivé varianty se zahrnutými navrženými kontrolery jsou uvedeny v tabulce níže.

KS	Objednací číslo	Popis	Cena
3	LEPY6-50R-R1C617	El. šroubový pohon, vel.6, zdvihv	13 489 Kč
3	LEPS10LJ-25-R1C617	El. miniaturní šroubový suport, vel 10, zdvih 25	15 022 Kč
2	LEYG16LA-100- R1C617	elektrický pohon, pr.16, zdvih100	19 007 Kč
		suma	123 548 Kč

KS	Objednací číslo	Popis	Cena
2	LEPY6-50R-R1C617	El. šroubový pohon, vel.6, zdvihv	13 489 Kč
1	LEFS16A-50-R1C617	El. šroubový pohon, vel.16, zdvih 50mm	20 839 Kč
1	LES8RJ-30-R1C617	Elektrický kompaktní šroubový suport vel.8 zdvih 30mm	19 377 Kč
1	LEL25MT-200-R1C617	Elektrický řemenový pohon vel.25 zdvih 200mm	13 857 Kč
2	LEYG16LA-100- R1C617	elektrický pohon, pr.16, zdvih100	19 007 Kč
		suma	119 065 Kč

10 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ROZVOJ

Cílem této diplomové práce bylo navržení možnosti nahrazení pneumatických válců elektrickými aktuátory k zajištění mechanického pohybu testeru světlometů. Toto zadání bylo vytvořeno ve spolupráci se společností ELCOM a.s. Jelikož je tento tester v praxi již používaný, jsou na novou variantu kladeny požadavky zachování všech stávajících funkcí a pokud možno, co nejmenší zásah do samotné konstrukce testeru.

Nejdříve byly navrhnuty varianty možností nahrazení jednotlivých pohonů, které byly na základě zvolených podstatných parametrů posouzeny metodou multikriteriálního hodnocení. Na základě výsledků této metody byly vybrány dvě slibné varianty řešení, které byly rozpracovány. Dle zadaných parametrů byly zvoleny a vyhledány v katalozích renomovaných výrobců elektrických aktuátoru konkrétní vhodné pohony. Tyto pohony byly následně zapracovány do modelu s potřebnými úpravami komponent sestavy tak, aby plnily svoji funkci. Z těchto modelů byla následně zpracována výkresová dokumentace, která je součástí diplomové práce.

Konstrukční návrh provedení zadaného testeru nahrazením pneumatických válců elektrickými aktuátory, proběhlo dle zadání firmy ELCOM a.s. s cílem porovnání možných řešení pro budoucí vývoj, a to i s ohledem na další možnou miniaturizaci elektrických aktuátorů.

Na základě poznatků nabytých v průběhu zpracování práce jsem přesvědčen, že snaha nahrazení pneumatických prvků elektrickými má rozhodně smysl, a to především pro koncové zákazníky, kteří nemají na pracovišti zajištěný rozvod a úpravu stlačeného vzduchu, a tudíž je počáteční investice na zavedení a instalaci pneumatických rozvodů pro ně finančně nákladné. Hlavním problémem elektrických aktuátorů jsou v současnosti jejich rozměry a potřeba pořízení kontrolerů, což ovšem neznamená, že v nedaleké budoucnosti nedojde k další miniaturizaci těchto pohonů. Již nyní jsou vyvíjeny aktuátory s integrovanými kontrolery, které po uvedení na trh zcela změní pohled na ně. Pokud by se tato technologie začala hromadně používat bylo by možné tento problém eliminovat. Pro zařízení, kde je malý dispoziční prostor a je nutné v něm vykonávat mechanické lineární pohyby se jeví pneumatické pohony v současnosti výhodnější.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] HADRAVA, Martin. Moderní trendy automobilových světlometů. *SVĚTLO: časopis pro světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2020, **23**(1), 34-35. ISSN 1212-0812.

[2] Světla auta. Zařízení a principu provozu. Automobilové světlomety - princip zařízení a práce. *Stroidok* [online]. Stroidok [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://stroidok.ru/cs/car-lights-the-device-and-the-principle-of-operationssss.html

[3] SVĚTLO JE TECHNOLOGIE. *HELLA Group* [online]. Lippstadt: HELLA GmbH & Co. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://www.hella.com/hella-tech-world-cz-cs/assets/media/Light_Technical_cz.pdf

[4] GEOMETRICKÁ OPTIKA. *Katedra fyziky* [online]. Bratislava: Katedra fyziky Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenská technická univerzita Bratislava [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: http://kf-lin.elf.stuba.sk/KrempaskyFyzika/26.pdf

[5] Experimenty se systémem Vernier: fotometrické veličiny. *FyzWeb* [online]. Praha: fyzWeb [cit. 2021-2-12]. Dostupné z: http://fyzweb.cz/materialy/kacovsky/fotometricke_veliciny.pdf

[6] VLK, František. Osvětlení motorových vozidel. *Soudní inženýrství: Časopis pro soudní znalectví v technických a ekonomických oborech* [online]. Brno: CERM, 2006, **17**(5), 292-300 [cit. 2021-5-9]. ISSN 1211-443X. Dostupné z: http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2006-05-292-300.pdf

[7] SAJDL, Jan. Světlomet automobilu. *Autolexicon* [online]. Mladá Boleslav: autolexicon, c2021 [cit. 2021-5-8]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: https://www.autolexicon.net/cs/articles/svetlomet-automobilu/

[8] VALÍK, František a Vilém HOLEČEK. Světlomety a elektronika světlometů. *In-TECH2* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, c2009 - 2017, 13.11.2009 [cit. 2021-4-5]. Dostupné z: http://intech2.tul.cz/dokumenty/vystupy_z_projektu/03~Partner%20-%20%C5%A0KODA%20Auto/P2-06_Sv%C4%9Btlomety%20a%20elektronika%20-%20Hole%C4%8Dek.pdf

[9] LAŽANSKÝ, Milan. Do aut se teď montují čtyři typy světlometů. Vyznáte se v nich? *AutoRevue.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, c2021, 2. 12. 2016 [cit. 2021-5-8]. ISSN 1214-1895. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/do-aut-se-ted-montuji-ctyri-typy-svetlometu-vyznate-se-v-nich

[10] VAVERKA, Lukáš. Žárovka, výbojka, diody a laser: Jak fungují různé typy světlometů. *Autobible.euro.cz* [online]. Praha: Internet Info, c2021, 15. 4. 2019 [cit. 2021-3-13]. Dostupné z: https://autobible.euro.cz/zarovka-vybojka-diody-laser-funguji-ruzne-typy-svetlometu/

[11] FABIANOVÁ, Jana a Michal FABIAN. Vývoj automobilových reflektorov a bezpečnosť jazdy v noci. *BOZPinfo: Oborový portál pro BOZP* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, c2002 - 2021, 29. 07. 2011 [cit. 2021-4-3]. ISSN 1801-0334. Dostupné z: https://www.bozpinfo.cz/josra/vyvoj-automobilovych-reflektorov-bezpecnost-jazdy-v-noci

[12] Řešení pro testování v automobilovém průmyslu. *TÜV SÜD* [online]. Praha: TÜV SÜD Czech, c2021 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: https://www.tuvsud.com/cs-cz/odvetvi/mobilita-a-automobilovy-prumysl/vyrobci-vozidel-oem/testovani-vozidel

[13] NASTAVENÍ SVĚTLOMETŮ. *HELLA Group* [online]. Lippstadt: HELLA GmbH & Co. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: https://www.hella.com/hella-tech-world-cz-cs/assets/media/Adjustment_headlights_tech_brochure_cz.pdf

[14] Lineární elektrické pohony a jejich přednosti. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, c2001 - 2021, 11. 12. 2002 [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/linearni-elektricke-pohony-a-jejich-prednosti

[15] Elektromechanický lineární aktuátor. *ELEKTROPOHONY* [online]. Frenštát pod Radhoštěm: ELEKTROPOHONY, c2021 [cit. 2021-3-21]. Dostupné z: 13. HTTPS://WWW.GOOGLE.COM/URL?SA=T&RCT=J&Q=&ESRC=S&SOURCE=WEB&CD=&VED=2AHUKEWJMS_3BXRFVAHXWXISKHXMZBNG4CHAWMAH6BAGKEAM&URL=HTTPS%3A%2F%2FWWW.YASKAWA.CZ%2FKE-STAZENI%2FCATEGORY%2F108-LINEARNI-AKTUATOR%3FDOWNLOAD%3D229%3APROSPEKT-LINEARNI-AKTUATOR-CZ&USG=AOVVAW0IG-UM2EO-HQASTYITXVNN

[16] Části elektrického lineárního aktuátoru. *Raveo* [online]. Otrokovice: Raveo [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://www.raveo.cz/princip-casti-aktuator

[17] Testery automobilových světel. *ELCOM: Leader v oblasti testovacích systémů* [online]. Praha: ELCOM, c2021 [cit. 2021-2-18]. Dostupné z: https://www.elcom.cz/produkt/testery-automobilovych-svetel/

[18] Lineární pohon s vřetenem a kuličkovým závitem: Série OSP-E..SB. *FLUIDTECHNIK BOHEMIA* [online]. Brno: FLUIDTECHNIK BOHEMIA, c2006-2021 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: https://www.fluidtechnik.eu/resources/upload/data/329_1.30.001CZ.pdf

[19] ESOS Ostrava, s.r.o. - Jak na výrazné snížení nákladů na výrobu stlačeného vzduchu. *PlasticPortal.eu* [online]. Nitra: ICOSA, 31.07.2019 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: https://www.plasticportal.cz/cs/esos-ostrava-sro-jak-na-vyrazne-snizeni-nakladu-na-vyrobu-stlaceneho-vzduchu.html/c/5879/

[20] LACKO, Bratislav. *Systémový přístup*.

[21] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

[22] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.

[23] Xenonová výbojka D2S. *Škoda díly skladem* [online]. Praha: MAXI L [cit. 2021-2-11]. Dostupné z: https://www.maxildily.cz/Xenonova-vybojka-D2S-d3434.htm?tab=description

[24] LED dioda. *ABD.co.uk: Automotive brilliance, delivered...* [online]. ABD, c2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.autobulbsdirect.co.uk/blog/are-led-headlight-bulbs-the-brightest/

[25] Nastavování světlometů pomocí desetimetrové zdi. *Superfórum.cz* [online]. c2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://garaz.autorevue.cz/viewtopic.php?p=3732110

[26] SMC. *SMC: Expertise - Passion- Automotive* [online]. Brno [cit. 2021-2-16]. Dostupné z: c2021

[27] SMC. *SMC Software pro výpočty: Software pro výpočet elektrických pohonů* [online]. Brno [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: https://mssc.smcworld.com/eamss/index.php /eamss/index?rtn=1

[28] DIETRICH, Aaron. Electric actuators vs. pneumatic cylinders. *Linearmotiontips: A design world resource* [online]. c2021, June 10, 2015 [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: https://www.linearmotiontips.com/electric-actuators-vs-pneumatic-cylinders-total-cost-of-ownership/

[29] Hydraulické a pneumatické pohony ve strojírenství. *MM Průmyslové spektrum: Vzduchotechnika, pneumatika a kompresory* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, c2001 - 2021, 25. 06. 2014, (7) [cit. 2021-5-9]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/hydraulicke-a-pneumaticke-pohony-ve-strojirenstvi

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam symbolů použitých v rovnicích

α	[°]	úhel dopadu
β	[°]	úhel odrazu
n_{21}	[–]	relativní index lomu
n_1, n_2	[–]	absolutní index lomu
c	[m/s]	rychlost světla
v_1, v_2	[m/s]	rychlost šíření světla v prostředí
T	[s]	čas cyklu
T_1	[s]	čas zrychlování
T_2	[s]	čas setrvání na maximální rychlosti
T_3	[s]	čas zpomalování
T_4	[s]	čas ustálení
V	[mm/s]	nastavená rychlost pohonu
a_1	[mm/s^2]	zrychlení pohonu
a_2	[mm/s^2]	zpomalení pohonu
L	[mm]	požadovaný zdvih
D	[%]	poměr zatíženého stavu
A	[s]	zatížený stav
B	[s]	nezatížený stav

12.2 Seznam tabulek

TAB 1) CENY POUŽITÝCH PNEUMATICKÝCH PRVKŮ 40
TAB 2) HODNOTY MMH PRO PŘEDNÍ UPNUTÍ 50
TAB 3) VÝSLEDKY MMH PRO PŘEDNÍ UPNUTÍ..... 50
TAB 4) HODNOTY MMH PRO HORNÍ UPNUTÍ 51
TAB 5) VÝSLEDKY MMH PRO HORNÍ UPNUTÍ 51
TAB 6) HODNOTY MMH PRO PŘEDNÍ KONTAKTOVÁNÍ..... 52
TAB 7) VÝSLEDKY MMH PRO PŘEDNÍ KONTAKTOVÁNÍ 52
TAB 8) HODNOTY MMH PRO SPODNÍ KONTAKTOVÁNÍ..... 53
TAB 9) VÝSLEDKY MMH PRO SPODNÍ KONTAKTOVÁNÍ 53
TAB 10) HODNOTY MMH PRO VÝSUV RAZÍTKA 54
TAB 11) VÝSLEDKY MMH PRO VÝSUV RAZÍTKA..... 54

12.3 Seznam obrázků

OBR. 1) ASYMETRICKÉ ROZDĚLENÍ SVĚTLA [5] 19
OBR. 2) HALOGENOVÁ ŽÁROVKA [9] 21
OBR. 3) XENONOVÁ VÝBOJKA [23] 21
OBR. 4) LED DIODA [24] 22
OBR. 5) LASEROVÝ SVĚTLOMET [10] 23
OBR. 6) PARABOLICKÝ SVĚTLOMET [3] 23
OBR. 7) ELIPSOIDNÍ SVĚTLOMET [6] 24
OBR. 8) NASTAVOVÁNÍ SVĚTLOMETŮ POMOCÍ DESETIMETROVÉ ZDI [25] 27
OBR. 9) PŘÍSTROJ NA SEŘIZOVÁNÍ SVĚTLOMETŮ 27
OBR. 10) PRŮŘEZ ELEKTRICKÉHO POHONU S PÍSTNICÍ [16] 29
OBR. 11) PRŮŘEZ ELEKTRICKÉHO POHONU S JEZDCEM [18] 30
OBR. 12) MODEL AKTUÁLNÍHO TESTERU 33
OBR. 13) PŘÍPRAVEK PRO HORNÍ UPNUTÍ 34
OBR. 14) PŘÍPRAVEK PRO PŘEDNÍ UPNUTÍ 35
OBR. 15) PŘÍPRAVEK PRO PŘEDNÍ KONTAKTOVÁNÍ 36
OBR. 16) PŘÍPRAVEK PRO SPODNÍ KONTAKTOVÁNÍ 37
OBR. 17) PŘÍPRAVEK PRO VÝSUV RAZÍTKA 38
OBR. 18) VSTUPY A VÝSTUPY ZE SYSTÉMU 43
OBR. 19) SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ SYSTÉMU 43
OBR. 20) 3D MODEL POHONU ŘADY LEPY [26] 48
OBR. 21) 3D MODEL POHONU ŘADY LEPS [26] 49
OBR. 22) 3D MODEL POHONU ŘADY LEFS [26] 49
OBR. 23) 3D MODEL POHONU ŘADY LES [26] 51
OBR. 24) GRAF ZÁVISLOSTI ZÁTĚŽE A RYCHLOSTI [26] 55
OBR. 25) PRŮBĚH RYCHLOSTI AKTUÁTORU V ČASE [26] 56
OBR. 26) ZÁVISLOST VÝKONU NA PRACOVNÍM CYKLU [26] 57
OBR. 27) GRAFY ZÁVISLOSTÍ ZATÍŽENÍ A RYCHLOSTI PRO LEPY [26] .. 58
OBR. 28) RYCHLOST A POSUV POHONU LEPY6J V ČASE [27] 59
OBR. 29) GRAF ZÁVISLOSTI TLAČNÉ SÍLY PRO LEPS10L [26] 60
OBR. 30) PRŮBĚH POHYBU POHONU LEPS V ČASE [27] 60
OBR. 31) GRAF ZÁVISLOSTI TLAČNÉ SÍLY PRO LEYG16 [26] 61
OBR. 32) RYCHLOST A POSUV POHONU LEYG16A V ČASE [27] 62
OBR. 33) GRAF ZÁVISLOSTI RYCHLOSTI A ZÁTĚŽE PRO LEFS16 [26] 62

OBR. 34) RYCHLOST A POSUV POHONU LEFS16 V ČASE [27] 63

13 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č.1: výkresová dokumentace