



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

OBOUSMĚRNÝ PNEUMATICKÝ KROKOVÝ MOTOR

DOUBLE-SIDED PNEUMATIC STEPPER ENGINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Václav Veselý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Ing. Václav Veselý**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc.**
Akademický rok: 2021/22

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

OBOUSMĚRNÝ PNEUMATICKÝ KROKOVÝ MOTOR

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ve všeobecně známé robotické literatuře se vyskytuje námět krokového motoru, spočívající v krokovém pootáčení jedné rohatky se zpětnou západkou. Pootáčení je způsobeno akční západkou, poháněnou pneumatickým pulsním aktuátorem, např. membránovým. Na internetu se objevila varianta naznačující takové řízení s možností s možným výsledným obousměrným otáčením pomocí aplikace druhé, zrcadlově obrácené rohatky. Jedná se tedy o kreativní úlohu praktického vyřešení takového, v robotické literatuře ideově naznačeného mechanismu, zastupujícího elektrické krokové motory v prostředí, které elektrická zařízení neakceptuje.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Systémová analýza řešení problematiky spočívající zejména v korelaci dvou protisměrných částí motoru a návrh řešení aktivace požadovaného výsledného směru otáčení.

Návrh možných způsobů dosažení pulsního efektu pro získání pootáčení motoru a výběr vhodné varianty řešení.

Výkres sestavy navrženého motoru, kusovník a výkres hlavního dílu motoru – rohatky.

Analýzou postupu a obdržených výsledků ukázat smysluplnost a důležitost jejich použití v praxi

Popis činnosti motoru, příslušné technické výpočty a výsledné statické a dynamické parametry motoru v technické zprávě.

Realizace prototypu navrženého motoru.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL Zdeněk a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4825-8.

MATIČKA Robert a Jaroslav TALÁCKO: Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. SNTL Praha 1980

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

V Brně, dne 3.12.2021

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce na téma Obousměrný pneumatický krokový motor se zabývá problematikou krokového pootočení hřídele v konkrétním schématu kinematického mechanismu. V úvodní, rešeršní, části práce jsou uvedeny různé druhy pneumatických prvků a proveden rozbor prvků v pneumatických obvodech. Další část se zabývá návrhem vlastního pneumatického krokového motoru včetně realizace funkčního modelu mechanismu. V závěrečné části je provedeno celkové zhodnocení mechanismu včetně ověření jeho funkčnosti a jsou nastíněny následné úpravy pro jeho další využití.

ABSTRACT

The diploma thesis Bidirectional pneumatic stepper motor concentrates on a step shaft rotation in the presented scheme of a kinematic mechanism. The introductory research part of the diploma thesis lists various types of pneumatic components and the analysis of elements in pneumatic circuits is provided. The following section of the thesis concentrates on designing a new scheme of a pneumatic stepper and construction of a functional mock-up. The final part of the diploma thesis offers a summary and final evaluation of the design and offers subsequent alterations for its further usage.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pneumatický pohon, pneumatický válec, elektromagnetický ventil, krokový motor, změna směru, rohatka, západka.

KEYWORDS

Pneumatic drive, pneumatic cylinder, solenoid valve, stepper motor, change of direction, ratchet, latch.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VESELÝ, Václav Obousměrný pneumatický krokový motor. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139781>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. 5. 2022

.....
Veselý Václav

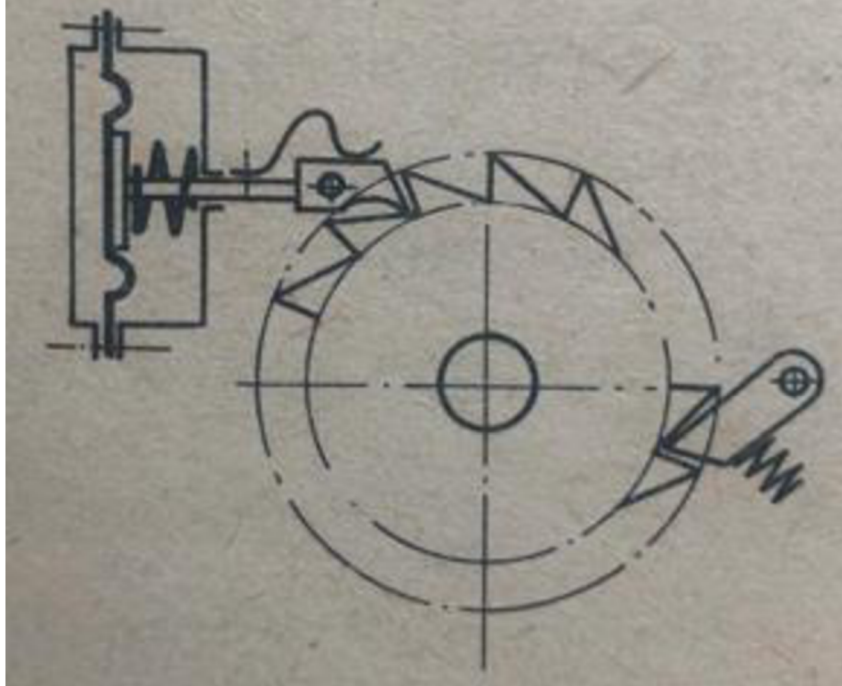
Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl	10
3	Pohybové mechanismy a aktivní pneumatické prvky	11
3.1	Pohybový mechanismus.....	11
3.2	Lineární pneumotor	14
3.3	Rotační pneumotor	15
3.4	Ostatní pneumatické motory (8).....	17
4	Pneumatické prvky	22
4.1	Výroba stlačeného vzduchu	24
4.2	Příprava a čištění vzduchu.....	28
4.3	Redukční Ventil.....	29
4.4	Bezpečnostní ventil	30
4.5	Ventily	31
4.6	Škrticí ventil	32
4.7	Hadice.....	33
4.8	Olejové mazání.....	34
5	Návrh pneumatického krokového motoru a výpočty	35
6	Rozbor konstrukce a jednotlivých komponent pneumatického motoru	38
6.1	Nosný rám pneumotoru	38
6.2	Pneumatický válec.....	39
6.3	PLC s programem.....	40
6.4	Rohatka a západka.....	42
6.5	Páčka volby směru pohybu	42
6.6	Elektropneumatický ventil, hadice a pneumatické příslušenství	43
6.7	Spojovací materiál, táhlo, ložisko a pružina	44
7	Vyhodnocení využití a návrh možného použití krokového motoru	46
8	Poznatky a doporučení pro praxi	49
9	Závěr	51
10	Citovaná literatura.....	53
11	Seznam zkratk, symbolů, obrázků a tabulek	56
11.1	Seznam obrázků.....	56
11.2	Seznam příloh	57

1 ÚVOD

Přeměna jednoho druhu pohybu na jiný je v mechanice nezbytně nutný cíl pro dosažení potřebných parametrů pro další fungování mechanismu. Primární přeměnu pohybu rotačního na translační, popřípadě jejich kombinace člověk využívá už od nepaměti. Každodenním příkladem pro změnu translačního pohybu na rotační je spalovací motor. Písty motoru se pohybují ve válci po pomyslné přímce a konají přímočarý vratný pohyb vůči válci. Píst je spojen s klikovou hřídelí. Kliková hřídel se skládá ze základní hřídele a další hřídele, která je excentricky umístěná vůči ose základního hřídele. Excentricita udává zdvih pístu a díky tomuto vychýlení se mění translační pohyb na rotační.

Diplomová práce je zaměřena na zcela nový návrh a realizaci pneumatického krokového motoru. Původní idea tohoto zařízení však pochází z knihy *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*, kde autor znázornil nákres jednostranného pneumatického motoru. Dle dostupných zdrojů nebyl nalezen prototyp, proto se domnívám, že tento návrh nebyl nikdy realizován, jelikož v této knize nalezneme mnoho dalších kinematických mechanismů. S vedoucím práce jsme se rozhodli ověřit daný nákres. Podle nákresu autor navrhuje výrobu krokového motoru pomocí membrány, která bude bezesporu pro rychlost a minimalistické zástavbové rozměry vhodnější. Pro rozsah diplomové práce bylo nezbytné ideu jednosměrného krokového motoru rozšířit na obousměrný provoz. K ověření celé myšlenky jsem se rozhodl pro realizaci zkušebního prototypu.



Obr. č. 1 Jednosměrný pneumatický krokový motor s membránou.[1]

Pneumatický oboustranný krokový motor je však nové zařízení, které využívá již známých poznatků z techniky. Dnešní výrobci používají rotačních pneumatických motorů, avšak s jinou konstrukcí motoru. Tyto motory jsou konstrukčně řešeny pomocí lamel, upevněných na hřídeli. Toto řešení má nesporné výhody v kompaktnosti pneumotoru a velikosti otáček, avšak mají nízký výstupní krouticí moment.

Mnou navržený krokový motor je kombinací dvou lineárních pneuválců a mechanismu rohatky a západky. Membrány jsem nahradil lineárními pneuválci z důvodu jejich dostupnosti na trhu. Díky veškerým znalostem z praktického využití západkového mechanismu je sestrojen pohon, který umožní posun o přesně definovanou dráhu v nastaveném čase. Krokový motor je vyroben pouze pro demonstrativní účely. Pro komerční použití bude však nutná celá koncepce upravit z důvodu dostupnosti technologií.

2 CÍL

Cílem diplomové práce na téma „*Obousměrný pneumatický krokový motor*“ je přestavit problematiku mechanismů, sortiment pneumatických pohonů, ventilů a přípravy stlačeného vzduchu. V rešeršní části jsou také popsány speciální pneumatické prvky. Hlavním předmětem práce je vlastní konstrukce a výroba funkčního prototypu obousměrného pneumatického krokového motoru. Jelikož cílem práce je vytvořit funkční prototyp, budou v závěru práce popsány návrhy pro vylepšení prototypu pro průmyslové použití. V závěru bude shrnuta funkčnost pneumatického krokového motoru a použitelnost v praxi.

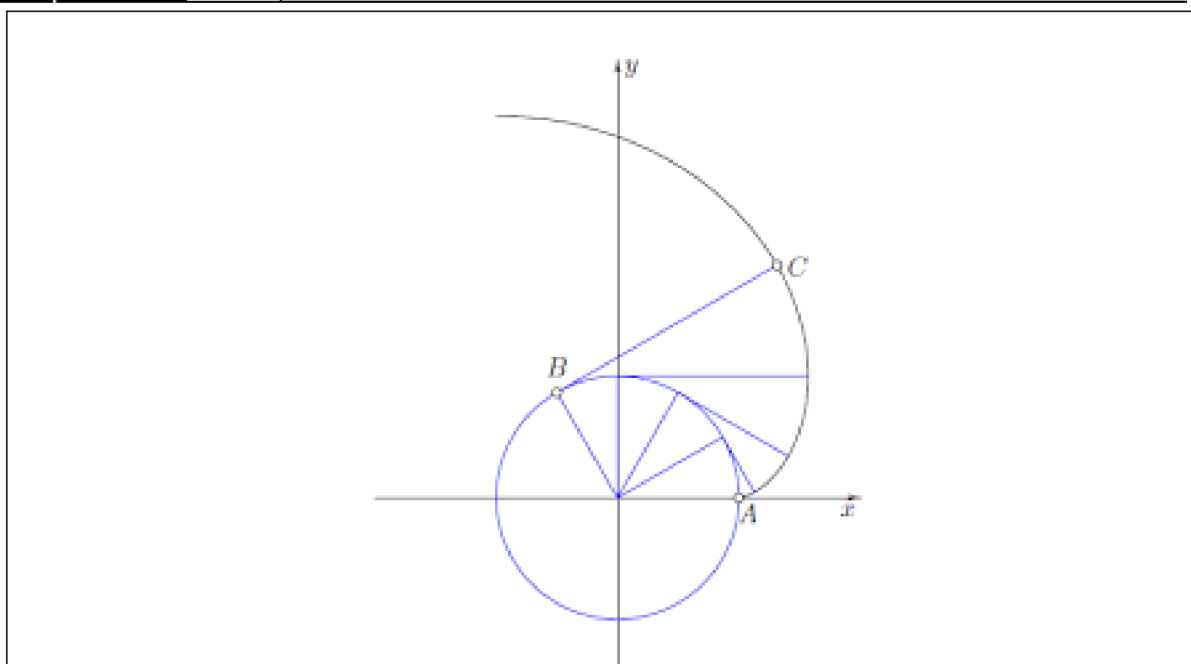
3 POHYBOVÉ MECHANISMY A AKTIVNÍ PNEUMATICKÉ PRVKY

3.1 Pohybový mechanismus

Mechanismy jsou využívány k přenosu zatížení a pohybu. Transformace pohybu je dána dvěma členy a to hnaným a hnacím. Převodem můžeme dostat např. stejný pohyb o jiných parametrech, jiný pohyb nebo převodem jednoho pohybu můžeme získat více pohybů. Pohyby lze rozdělit na hlavní a vedlejší. Volba transformačního prvku v převodovém řetězci hraje výraznou roli se zakomponováním celku do výsledné konstrukce stroje. Celý mechanismus musí splňovat zdvih, rychlost, potřebnou sílu a potřebné zrychlení. Dalším nutným parametrem při konstrukci a provozu mechanismu je dosažená přesnost a opakovatelnost polohování. Nedílnou součástí je i agregát, který může být rotační nebo přímočarý. Pro dosažení malých zdvihů lze použít excentrický a vačkový mechanismus. Pro variabilní změnu dráhy lze použít kulisový nebo s jistou konstrukční úpravou i klikový mechanismus. Pro velké zdvihy je vhodné použití lan, řetězů, ozubených kol a hřebenů, šnekových mechanismů anebo řemenů, které jsou nataženy přes kladky. Pro krátké zdvihy např. desítky mikrometrů lze použít piezoelektrické nebo magnetooscilační mechanismy. Vhodným kandidátem pro rychlé přesuvy může být pneumatický válec. Jeho použití má nevýhody v tuhosti konstrukce a relativně malé síle. Pro větší síly a tužší konstrukci je lepší použití hydraulických válců, kde tlaková kapalina pohybuje s válcem. [2,3,4]

3.1.1 Pohybový mechanismus

Pohyb lze rozložit na základní a unášivý. Vždy však můžeme řešit pohyb určitého bodu tělesa vůči rámu. Dalším pohybem je pohyb relativní, například vzájemný, přídavný. Každý pohyb je označen pomocí bodu a členů mechanismu, jako je bod A a člen 2. Členy jsou mezi sebou spojeny vazbami a pro funkci mechanismu je nezbytné vždy minimálně 1° volnosti celého schématu. Pohyb těles a bodů v rovině či prostoru se nazývá kinematika. Součástí kinematiky je mimo jiné i kinematická geometrie, která popisuje a znázorňuje různé tvary křivek, jako jsou například elipsa, evolventy a různé cykloidy. [2,5]

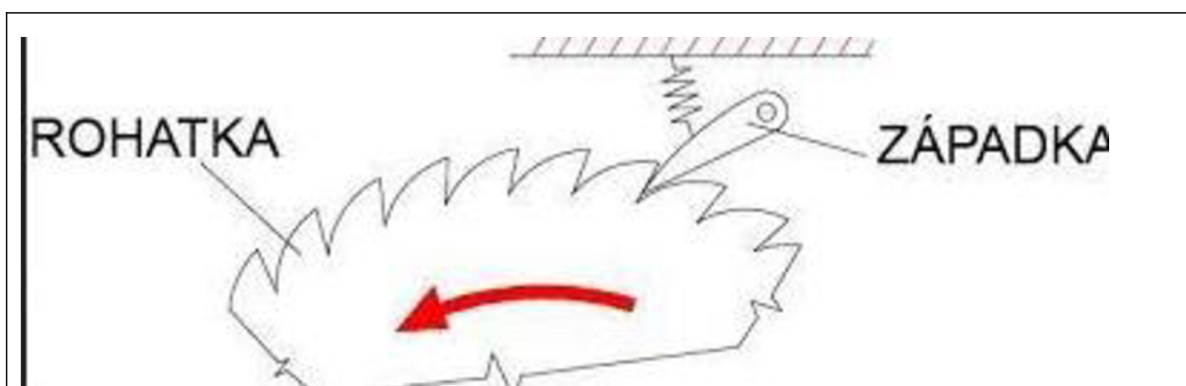


Obr. č. 2 Křivka evolventa [6]

3.1.2 Krokovací mechanismus

Pro rozdělení pohybu na části je nutné využívat tzv. krokovacích mechanismů, které jsou typizovány jako rohatka/západka, maltézský mechanismus nebo hodinový stroj. Přerušovaný pohyb může být řešen například elektricky, kdy jsou generovány pulsy. [2,5]

Maltézský kříž, též nazýván ženevský slouží k přesnému polohování a přerušovanému rotačnímu pohybu. [2,5]



Obr. č. 3 Rohatka / západka [7]

3.1.3 Kolenový a výstředníkový mechanismus

Mechanismus představuje úpravu klikového mechanismu pro získání změny některých parametrů. Největší předností kolenového mechanismu je vytvoření velmi vysokých sil pro tvářecí lisy. Výstředníkový mechanismus vytváří čistě harmonický pohyb. Oba typy mechanismů vytvářejí velké síly při malém zdvihu. Kolenový mechanismus může být složen z klikového mechanismu a dalších přidaných členů, například klika, ojnice. Může se ale také skládat ze čtyřkloubového mechanismu, kde přidanými členy jsou ojnice a smykadla, která ho vedou posuvně. Jeho maximální síla je vždy vyvinutá v mrtvé poloze. [2,5]

3.1.4 Vačkový mechanismus

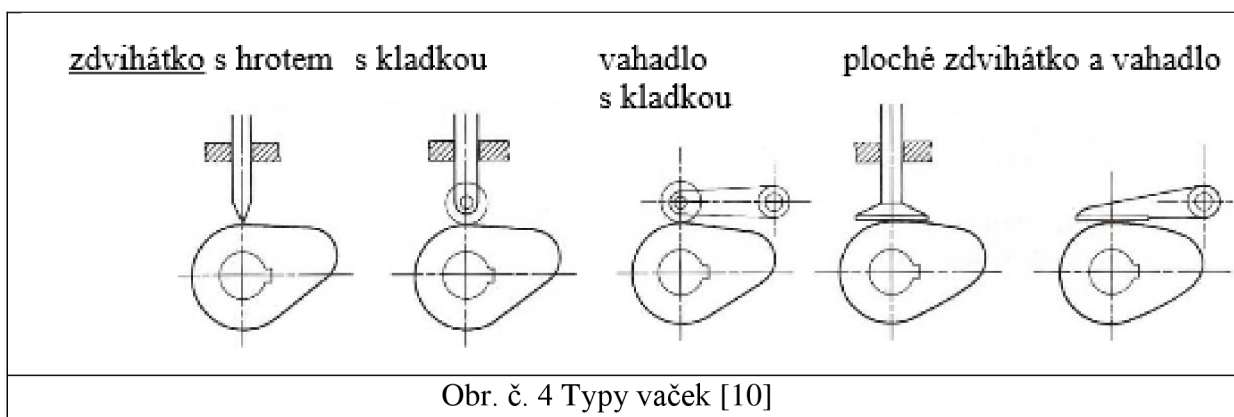
Tento typ mechanismu lze rozdělit podle směru pohybu zdvihátka, a to na axiální a radiální. Přeměna pohybu pomocí vačky je dána její konstrukcí. Rotační pohyb vačky je možné transformovat na přímočarý vratný pohyb nebo rotační pohyb zdvihátka. Rozměrová dispozice vačky umožňuje variabilní časový, rychlostní a silový průběh funkce zdvihu. [2,5]

Další možností pro zajištění přímočarých pohybů mohou být pružiny, u výrobních strojů ne příliš využitelné např. paralelogramy nebo způsobem zcela odlišné mechanismy, které jsou založeny na jiném fyzikálním principu (využívají např. chemickou energii).

Samostatnou skupinu mechanismů určených pro vyvození přímočarých pohybů tvoří pohybové šrouby, jež jsou velmi důležitou součástí většiny obráběcích strojů. Funkce tvářecích strojů, jako jsou např. vřetenové lisy, je přímo na jejich existenci založena. Využívány jsou v letectví, robotice a v dalších oborech, setkat se s nimi můžete v obyčejných stolních tiskárnách. Pojem „pohybové šrouby“ je možno chápat ve více významech. V zúženém významu se jedná o kluzný šroub a matici, tvořené nejčastěji lichoběžníkovým, méně často čtvercovým profilem. Druhý, obecnější, označuje širokou skupinu všech mechanismů, založených na principu transformace rotačního pohybu na přímočarý nebo naopak pomocí šroubu a matice ve spoustě konstrukčních provedení. Avšak existují mechanismy, které žádný závit nemají, přesto díky konstrukčnímu principu konají tutéž činnost - vyvodí přímočarý pohyb. V jejich případě se tedy nedá hovořit o pohybových šroubech, protože akční část je tvořena hladkou válcovou tyčí. Uvědomíme-li si, že závit šroubů je ve své podstatě pod úhlem stoupání nakloněná přímka (rovina), navinutá na tyč, nazývaná šroubovice, resp. šroubová plocha, tvořící trajektorii pohybu zmiňovaných mechanismů je také šroubovice, a tak by mohly být zařazeny mezi pohybové šrouby. Přesto

bude rozumnější (i když názvem delší) ponechat je v kategorii mechanismů pro transformaci rotačního pohybu na lineární.

Z množství možných způsobů je zřejmé, že mnoho na výběr nemáme. Všechny mechanismy mají své výhody a nevýhody. Jejich konstrukce, výroba, údržba, docílitelné parametry i spolehlivost souvisí s jejich složitostí. Na nejnovějších obráběcích strojích je vidět snaha nahradit mechanické převody přímými, elektronicky řízenými lineárními pohony. [3,5,8,9,24]



3.2 Lineární pneumotor

Lineární pneumotor je pneumatický prvek, který je využívá přímočarého pohybu. Lineární pohyb zajišťuje konstrukce, která je tvořena z pístnice, pístu, těsnění a dalších komponent. V závislosti na použití motoru je upravená konstrukce uložení pneumotoru. Nejčastějším uložením pneumotoru je pevná pístnice a pohyblivý píst. Tato konstrukce však má své kladné a záporné vlastnosti. Uložením pístnice pomocí rotační či sférické vazby můžeme dosáhnout pohybu nejen pístu, ale i celku pístnice. V tomto případě koná pohyb celý lineární pneumotor a je nutné přípojně hadice byly flexibilní. Hlavním problémem při tomto uložení je to, že může vznikat nekontrolovaný pohyb pneumotoru, např. rotace. Výrobci tento problém znají a celý sortiment mají uzpůsobený pro každou aplikaci zvlášť. Proto se vyrábějí pneumatické válce jako normalizované díly. Jejich sortiment přípojovacího příslušenství nabízí díly jak pro válec, tak pro píst zvlášť. Sortiment se skládá z dílů pro pevnou, rotační a sférickou vazbu nebo jejich kombinace. [11,13,14]



Obr. č. 5 Pneumatický válec normy [15]

3.3 Rotační pneumotor

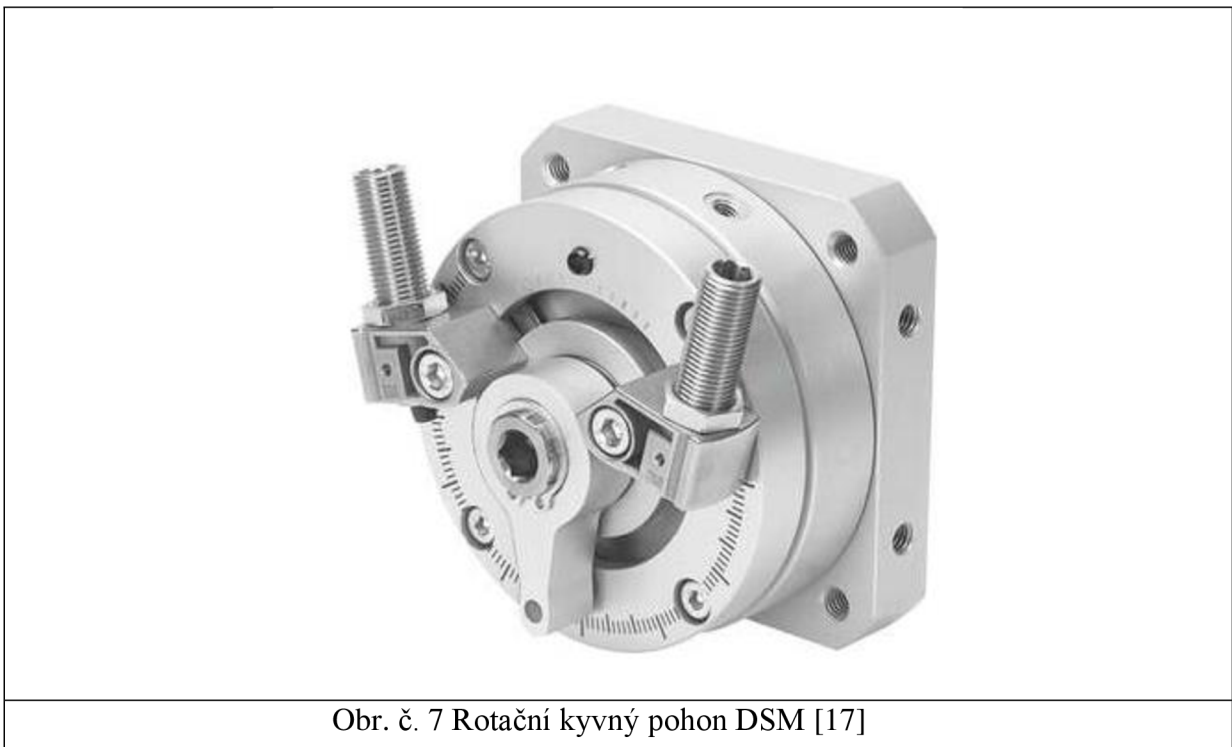
Rotační pneumotor je pneumatický prvek přeměňující tlakový vzduch na rotační pohyb. Pro pneumatický motor je podstatou hřídel, na nichž jsou umístěné lamely, které přeměňují tlakovou energii vzduchu na otáčky a krouticí moment. Lamely a hřídel jsou uzavřeny v tvarovém válci, který je připojen na zdroj tlakového vzduchu. Hřídel je dále propojena s přírubou, která umožňuje přenos krouticího momentu na finální mechanismus. Regulace pneumotoru je velmi snadná, protože se zde usměřňuje průtok vzduchu do pneumotoru. Součástí pro úpravu průtoku vzduchu je nazývána škrtecím ventilem. Úprava průtoku vzduchu je velmi snadná a levná v porovnání s elektrickými pohony. Rozsah rychlosti otáček pneumotorů je v rozmezí cca 10 až 60 000 min⁻¹. S nízkými otáčkami (cca do 10 000 min⁻¹) jsou používány běžně otáčky (10 000 až 50 000 min⁻¹) mají nejčastější využití jako nářadí. Motory s vyššími otáčkami se používají zřídka. Výkonnost pneumotoru je u výrobců odlišná, však v rozmezí 300 W až 7 kW. Výhodou pneumotoru je nezávislost polohy při práci. Reverzace pohonu je snadná díky přepnutí toku vzduchu ve ventilu. Díky konstrukci rotačního pneumotoru nedochází při zastavení nebo přetížení k zahřívání vedoucímu k poškození. [11,13,14]



Obr. č. 6 Pneumatická zubní vrtačka [16]

S mechanismem pneumatického pohonu se v praxi v různých konstrukčních obměnách setkáváme nejčastěji. Použití rotačních pneumotorů je široké, můžeme se s nimi setkat zejména v extrémních podmínkách, kde z důvodu nebezpečného prostředí je použití klasických elektromotorů zakázáno. Dále se rotační pneumotory používají v chemickém a zbrojařském průmyslu, práci v dolech a zdravotnictví. [5,12,14]

Principem pneumotoru s kyvným pohybem je rotace, která má své omezení v konkrétní výseči, maximálně 360 stupňů. Obvykle se používají výseče 90 a 270 stupňů a v některých případech je možné nastavit vlastní pracovní výseč, kdy v koncových polohách lze umístit tlumení. Výsledný pohyb je tedy otáčivý s omezením (viz obrázek). Některé rotační pneumotory kombinují výstupní pohyb kyvný a přímočarý za pomoci pístnice. [5,11,13,14]



Obr. č. 7 Rotační kyvný pohon DSM [17]

3.4 Ostatní pneumatické motory (8)

Pro speciální aplikace kde nelze použít standardních normovaných pneumotorů, rotačních motorů je nutné použití níže specifikovaných typů pneumatických motorů.

Pneumotory s neokrouhlou pístnicí lze rozdělit do dvou typů. Prvním typem je pneumotor s neokrouhlou pístnicí, která je vhodná pro zachycení nízkého krouticího momentu. Druhý typ, disponující neokrouhlou pístnicí a vodicími tyčemi, zachycuje výrazně vyšší krouticí moment. Tvarem pístnice může být čtverec, obdélník nebo šestiúhelník. [11,14]



Obr. č. 8 Pneumatický válec Festo s čtvercovou pístnicí označení Q

Pneumotor se zdvojenou pístnicí spočívá v paralelním umístění pístnicí na jedné straně pístu nebo v sériovém umístění válce či pístu. Sériový pneumotor se zdvojeným pístem se skládá z jedné rozdělené pístnice a dvojice pístů. Obě tyto konstrukce válců využívají malé zástavbové plochy a zvýšené výstupní síly motoru[5,14]

Pneumotor s průběžnou pístnicí pracuje na principu lineárního pohybu pístnice současně na jedné i druhé straně. Příklad využití tohoto pneumotoru je znázorněn na obrázku. [5,14]



Obr. č. 9 Pneumatický válec Festo s průběžnou pístnicí

Pneumotor bezpístnicový nevyužívá pístnice a funguje na principu jezdce, který je přichycen na tělo válce pomocí vedení. Konstrukce vedení se dle aplikace a zatížení mění. Pohyb je přenášen permanentními magnety, umístěnými na pístu i jezdcí. Tyto magnety jsou navzájem přitahovány a v důsledku toho jak píst uvnitř válce, tak i jezdec na povrchu. [5,11,14]



Obr. č. 10 Bezpečnostní pneuválec Metalwork

Pneumotor teleskopický se skládá z několika ocelových válců, které do sebe zapadají dle svého průměru a jsou vzájemně utěsněny. Díky stlačenému vzduchu ve spodní části válců se menší válec z většího postupně vysouvá. Nejmenší z dílů je z vrchní části uzavřen. Nevýhodou tohoto válce při postupném vysouvání je zmenšování průměru pístu, čímž dochází ke snížení výstupní síly. [11,12,14]



Obr. č. 11 Teleskopický pneuválec [18]

Pneumatický vlnovec je zpravidla pryžová jednočinná harmonika. Funguje na principu natahování a zkracování pomocí stlačeného vzduchu. Podskupinou pneumatických vlnovců je i tzv. pneumatický sval, kde při působení stlačeného média dochází ke zkrácení délky. Použití může být i jako pneumatická pružina. Snižuje přenos vibrací a rázů. [11,12,19]



Obr. č. 12 Pneumatický vlnovec [20]

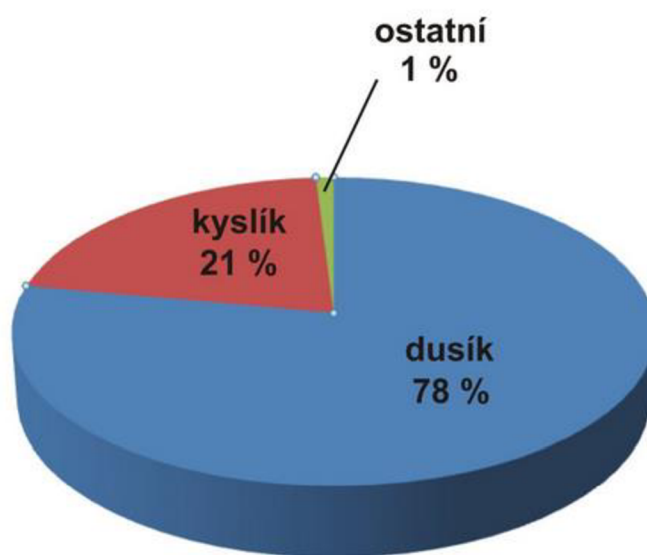
4 PNEUMATICKÉ PRVKY

Pneumatické prvky lze rozdělit do několika skupin. Každý pneumatický prvek v obvodu slouží určité funkci a z hlediska funkčnosti celého systému. Stále větší rozvoj automatizace a robotizace pracovišť vyžaduje řízení pneumatiky elektrickými komponenty. Při projektování je nutné brát zřetel na spolehlivost celého stroje a jeho návazností. Bezpečnost při práci s pneumatickými prvky a jejich zastavení při poruše či stisknutí tlačítka „emergency stop“ je spjata s jejich rychlostí. Na základě stále progresivnějšího vývoje oboru jsou vyvíjeny komplikovanější automatizační prvky, ale i systémy řízení a kontroly. Problémem rychle rostoucí nabídky pneumatických komponentů je zaškolení konstruktérů, kteří navrhnou pneumatické prvky do strojních mechanismů. Některé komponenty vyžadují vyšší kvalifikaci pracovníků při instalaci či výměně těchto prvků, jako je zásah do nastavení stroje, ale také diagnostikovat a predikovat problémové uzly. [5]

Vzduch, jakožto nejčastěji používané médium v pneumatice, zaujímá nejvýznamnější postavení pro pohon pneumatických prvků. V ostatních aplikacích je zcela zřídka použit jiný plyn, například inertní plyny, které nepodporují například hoření. Dalším případem může být použití jiných médií, než vzduchu, z důvodu oxidace. [5,11,12]

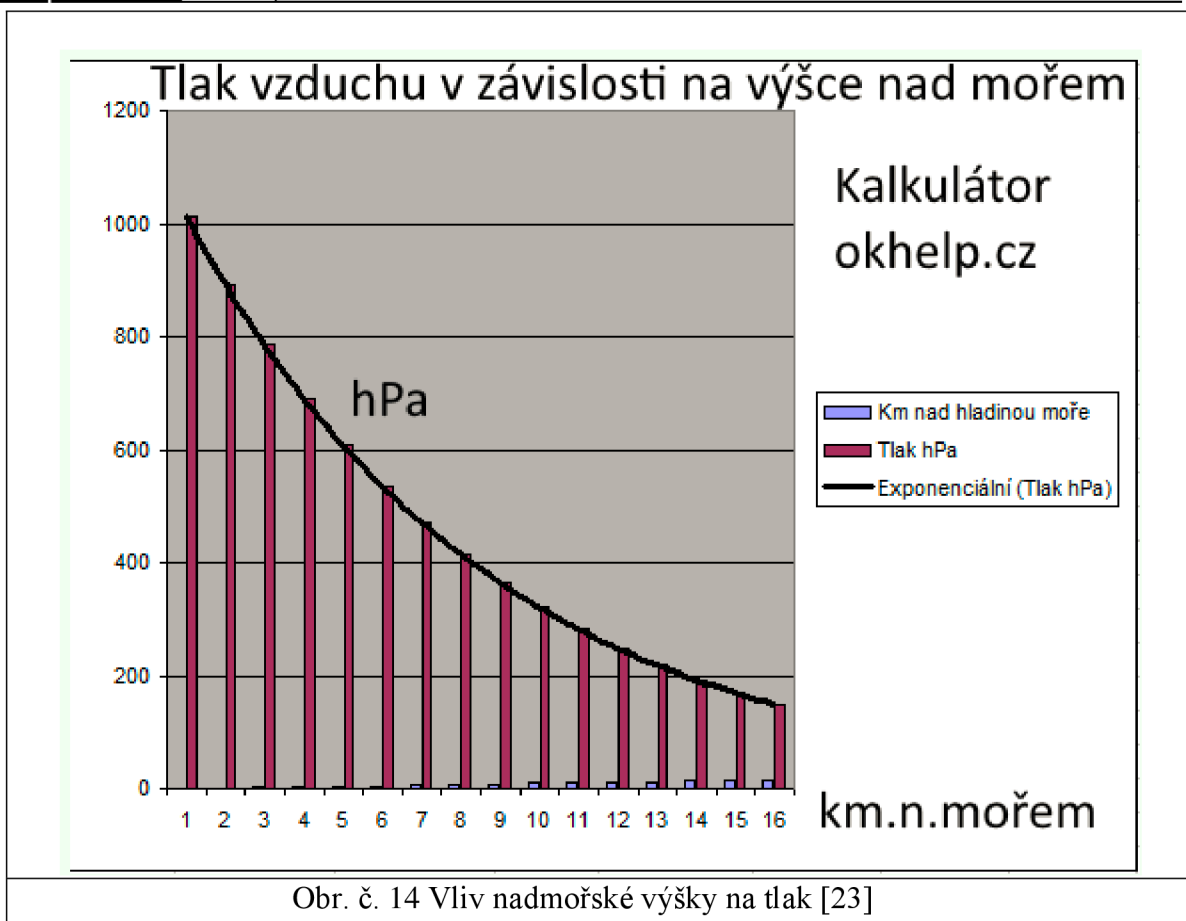
Atmosférický vzduch je všudypřítomný plyn, který, díky ventilátorům, kompresorům a vývěvám, získává rozdílnou tlakovou energii oproti okolí, a je uskladněn v zásobnících tlakového nebo podtlakového vzduchu. Výhodou vzduchu je, že lze načerpat kdekoliv a odpadní složka lze vypouštět buďto přímo v místě spotřeby nebo pomocí hadic v místě určení. [5,11,12]

Vzduch je nejdostupnější a díky snadné úpravě i jeden z nejlevnějších plynů pro pneumatické systémy. Okolní vzduch je nazýván atmosférou, která má složení 21% kyslíku, 78% dusíku, 0.04 % oxidu uhličitého a 1% vzácných plynů. [5]



Obr. č. 13 Složení vzduchu [21]

Díky tomuto složení lze vzduch nazývat hmotou, která má svou hmotnost vzhledem ke gravitačnímu zrychlení Země. Tlak vzduchu se mění se vzrůstající nadmořskou výškou, a to tak, že se zmenšuje. Následující tabulka zobrazuje závislost nadmořské výšky a diferenci tlaku. Tabulka hodnot je pouze informativního charakteru a přesně neodpovídá skutečnosti. Hodnoty atmosférického tlaku jsou ovlivňovány vnějšími faktory, jako je teplota a vlhkost. Počasí má také vliv na výkyvy tlaku. [5,22]

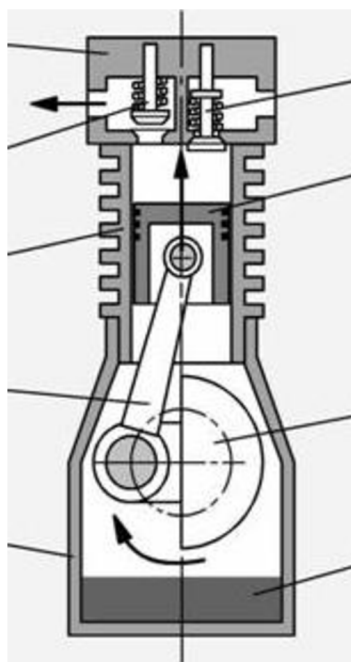


Tlak je označen malým písmenem p , definující vztah působení síly na plochu. Jednotkou tlaku dle SI je pascal, jejíž význam je zatížení v newtonech v podílu m^2 . Z tohoto základního vzorce je nutné používat násobky s předponou kPa, MPa. Pro běžnou praxi jsou používány hodnoty v bar a atm, které používají sílu a plochu v metrických jednotkách. Pro správné technické použití je nutné znát převody jednotek, jako je například $100\,000\text{ Pa} = 1\text{ bar} = 1\text{ atm}$. Hodnoty jsou však zaokrouhleny a pro běžnou praxi dostačující. Velikost tlaku se dle použití liší, ovšem v praxi se setkáváme s tlaky do 1MPa. [5,25]

4.1 Výroba stlačeného vzduchu

Pro výrobu stlačeného vzduchu lze použít několik zařízení používající principu přeměny mechanické práce na tlakovou energii. Tato zařízení se dělí na objemové a rychlostní. Dalším dělením jsou nízkotlaké, střednětlaké a vysokotlaké. [5,26]

Objemové kompresory jsou statické. Objemové médium neboli vzduch je nasáván a následně stlačován pomocí pístů ve válci. Díky tomuto procesu se mění objem nasátého vzduchu, čímž se mění výstupní tlak. Nevýhodou objemového kompresoru je, že dodávka tlakové energie do systému nemá kontinuální charakter. [5,26,27]



Obr. č. 15 Řez kompresorem [28]

Rychlostní kompresory mají odlišnou konstrukci a pracují na principu dynamické přeměny. Médium (vzduch) je nasáván a lopatky, které ve vysoké rychlosti toto médium stlačují. Koncovým prvkem rychlostních kompresorů je tvarový difuzor. Probíhá v něm přeměna pohybové energie v energii tlakovou. Výhoda tohoto druhu kompresoru spočívá v kontinuální dodávce tlaku do systému. [5,26,27]

4.1.1 Kompresory

Pístový kompresor je konstrukčně podobný spalovacímu motoru. Skládá se z klikové hřídele, ojnice, pístních kroužků a válce. Jeho funkce je však odlišná díky konstrukci hlavy válce, kde jsou umístěny ventily ovládané proudem vzduchu, na rozdíl od spalovacího motoru, kde jsou ventily ovládané vačkovou hřídelí. V hlavě kompresoru je umístěn jeden ventil sací, kterým proudí médium do prostoru válce. Tento ventil je otevřen v případě, kdy se píst pohybuje z horní úvrati do dolní. V tomto čase je ventil otevřen pro plnění objemu válce. Výtlačný ventil je otevřen v čase pohybu pístu ze spodní úvrati do horní. V tomto momentu se objem válce vytlačuje do systému. Výkonnost kompresoru je dána objemem nebo počtem válců. Pro dosažení vyšších tlaků je možné uspořádání vícestupňových kompresorů. Každý stupeň vzduch stlačí, následně je vzduch ochlazen. V dalších stupních se tento proces opakuje. Dle výstupních parametrů může být dimenzován kompresor například třístupňový. [5,26,27]



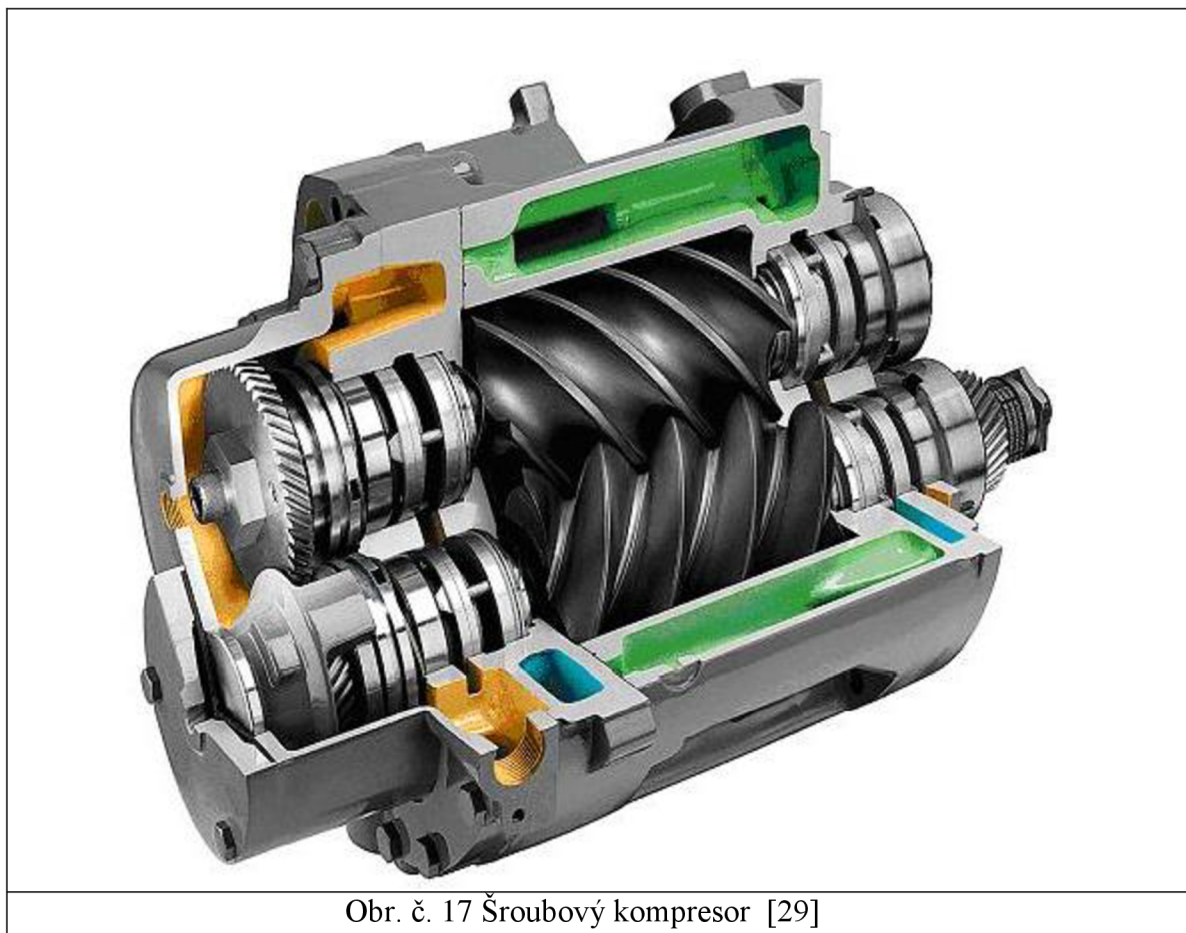
Obr. č. 16 Dvoupístový kompresor značky Master

Rotační kompresor má excentricky pohyblivý rotor s lamelami. Jeho konstrukce je tzv. křídlová, což znamená, že lamely se pohybují díky rozdílným osám válce a rotoru. Změna objemu probíhá na základě zmenšování prostoru rotoru vůči válci pomocí excentricity. Výhody tohoto kompresoru spočívají v nenáročné údržbě, nízké hlučnosti a nízkých ztrátách. [5,25]

Rootsův kompresor je tvořen z dvou stejných elipsoidních rotorů. Konstrukčně se tyto kompresory podobají zubovému hydraulickému čerpadlu, a to díky prohnuté prostřední části. Čerpání vzduchu je závislé na otáčení dvou proti sobě rotujících dílů. Stlačování vzduchu probíhá až ve vzdušniku. Kompresor je velmi rozšířen nejen pro účely stlačování, ale i pro přečerpávání médií. [5,26,27]

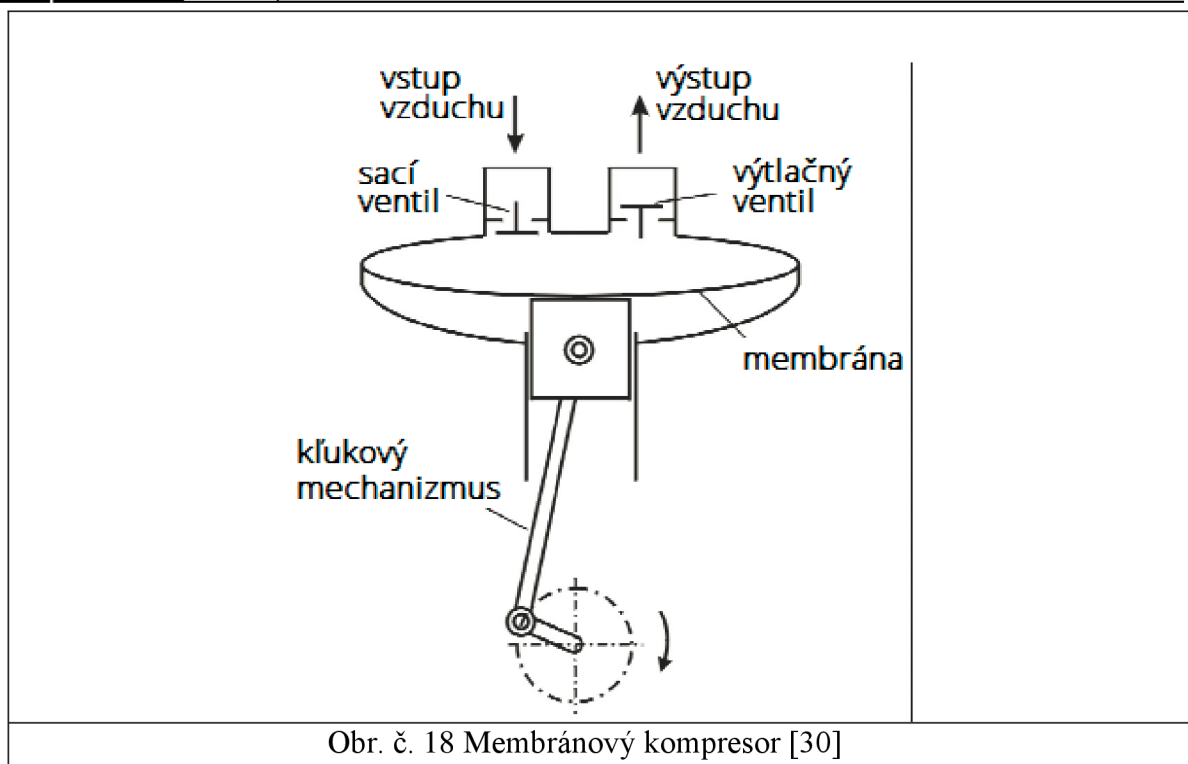
Šroubový kompresor funguje na principu dvou vzájemně do sebe zapadajících šroubových ploch a funkčně je podobný Rootsovu kompresoru. Jeho hlavní výhodou je

podstatně vyšší výkon díky šroubovicím. Slabou stránkou šroubového kompresoru je komplikovaná výroba funkčních ploch. Hlavní předností těchto kompresorů je ekonomický provoz, tichý chod a velký výkon. [5,26,27]



Obr. č. 17 Šroubový kompresor [29]

Membránový kompresor je konstrukčně velmi podobný pístovému kompresoru a lze ho zařadit do kategorie zvláštních objemových kompresorů. Stavebními komponenty kompresorů jsou kliková hřídel, ojnice a membrána. Ojnice je bez stabilizace propojena s membránou. Kliková hřídel pomocí ojnice pohybuje s membránou a tím dochází k nasávání a stlačování média. Při pohybu membrány nahoru se prostor zmenšuje a médium stlačuje. Při pohybu dolů je médium nasáváno. Tento kompresor dokáže stlačovat médium až do tlaku 0,8 MPa. Na základě této konstrukce fungují také podtlakové vývěvy. Výraznou výhodou je bezkontaktní stlačení vzduchu. Stlačovaný vzduch nepřichází do kontaktu s olejovou náplní. Této výhody se využívá ve zdravotnictví, potravinářském průmyslu i chemickém průmyslu. [5,26,27]



Obr. č. 18 Membránový kompresor [30]

4.2 Příprava a čištění vzduchu

Stlačený vzduch z kompresoru je před použitím nutné vyčistit a upravit, aby nedošlo na základě uvolnění kapalných a pevných částí k zanesení či poškození pneumatických prvků v obvodu. Mezi nejčastější typy nečistot řadíme zkondenzovanou vodu, mazivo kompresoru, částičky rzi a jiné. [5,11,12,27]

Čistič vzduchu je jednoduché filtrační zařízení, kterým protéká znečištěný vzduch. Vzduch proudí přes vychylovací kroužek, který uvádí proud vzduchu do rotace, kdy odstředivé síly působí na částičky nečistot. Částice rotují v nádobce a padají vlastní vahou ke dnu. Vzduch dále z prostoru nádoby proudí k filtru, který dle velikosti propustnosti zachytí pevné částice, které nebyly odloučeny ve vírové nádobce. Na nejnižším místě čističe vzduchu je umístěn vypouštěcí uzávěr, který slouží k odkalení nádržky. Účinnost filtru klesá s nárůstem proudícího vzduchu, a proto vždy výrobce udává maximální průtočnost. Standardní filtry pro čištění tlakového vzduchu mají velikost póru 30 m^{-6} . Pro speciální filtry je velikost póru 5 m^{-6} a jsou nazývány mikrofiltry. Zanešení pórů tlakových filtrů má za následek ztráty, a proto je nutná kontrola a následná výměna za nové. [5,11,12,27]

4.3 Redukční Ventil

Podstatou regulačního tlakového ventilu je stabilizovat tlak v okruhu. Kolísání tlaku v okruhu může být zapříčiněno náhlými odběry v jiných pracovištích. Tyto výkyvy mohou mít za následek změnu výkonnosti a rychlosti pohonu nebo jeho nefunkčnosti. [11]

Redukční ventil lze popsat jako kužel, který je tlačěn silou pružiny do sedla a propojuje vstupní a výstupní otvor. Na membránu/pístek, jakožto výstupní část redukčního ventilu, působí vstupní tlak. Vrchní část je přitlačena pružinou a pomocí jejího stlačování lze měnit tlak. [5,11]

Přeroste-li síla působící na spodní straně membrány/pístku sílu pružiny, ventil se uzavírá. Při poklesu výstupního tlaku vlivem odběru otevře síla pružiny membránu a ventil se otevře. Regulátorem vzduch prochází pouze po dobu vyrovnání tlaku. Nevýhodou redukčního ventilu je kovová pružina, která při používání ztrácí svou tuhost. Je nutné tedy v časovém horizontu doporučeným výrobcem provést kontrolu nastaveného výstupního tlaku. Jednou z možných eliminací stárnutí pružiny je vždy po ukončení pracovního procesu uvolnit regulační pružinu. [5,11]



Obr. č. 19 Redukční ventil 3/8 s manometrem značky Festo

4.4 Bezpečnostní ventil

Bezpečnostní přetlakový ventil neslouží k úpravě parametrů vzduchu, nýbrž k ochraně pneumatických zařízení. V rozvodech vzduchu se jedná o bezpečnostní prvek, který chrání celý systém před přetlakem. Bezpečnostní přetlakový ventil může fungovat na základě předepnuté pružiny, která uzavírá otvor. Při překročení maximálního dovoleného tlaku je pružina s kuličkou přetlačena a přetlak proudí do okolního prostředí. Absence či nefunkčnost tohoto ventilu může mít fatální následky, jako je destrukce pneumatického obvodu, poranění či usmrcení obsluhy. Používání přetlakových ventilů je stanoveno pomocí norem. Parametry ventilů nastavuje a kontroluje výrobce nebo revizní technik. Bezpečnostní ventily podléhají pravidelné revizi.

4.5 Ventily

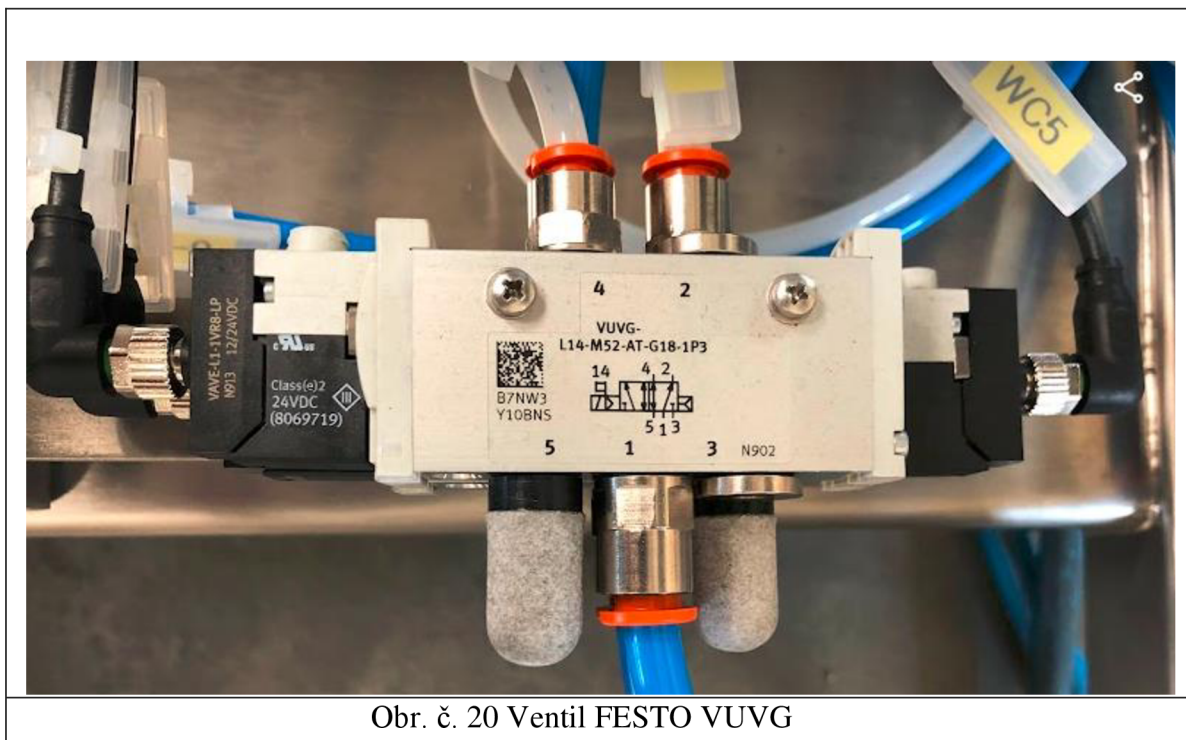
Ventil je mechanický prvek, který ovládá stlačený vzduch a uvádí tak do pohybu pneumotor. Otevírá a uzavírá přívod stlačeného média do systému. Ventily mohou být ovládány několika různými typy signálu. Dalším rozdělením je rozlišení počtu vstupů a výstupů a jejich funkčních stavů. Číselné označení ventilů může být například 3/2, 5/2 nebo například třípolohovými 3/3, 5/3. [5,11,27]

Bez rozdílu ovládání funguje ventil jako ovladač jednočinného pneumotoru. Pro uvedení pneumotoru do chodu přivedeme stlačený vzduch do prostoru pod pístem. Následně je tento píst vytlačován. V případě požadavku návratu pístu do výchozí polohy je nutné stlačený vzduch uzavřít. Tehdy když uzavřeme tlakový vzduch do pístu, je pro návrat nutné odvzdušnit zbylý vzduch pod pístem. Zbylý vzduch vytlačí z prostoru pístu vratná pružina. Pro ovládání dvojčinného pneumotoru se používá ventil 5/2, kdy číslo 5 znamená jeden vstup, dva výstupy a dva odvzdušňovací otvory. Do odvzdušňovacích otvorů jsou umístěny tzv. tlumiče vzduchu a pomocí nich je vzduch odfukován do prostoru. Rychlé odfukování do prostoru způsobuje expanzi, která má za následek silný akustický efekt. Hrozí zde nebezpečí či poškození vzduchu a při vysoké intenzitě poškození zdraví, tím pádem jsou všechny odvzdušňovací výstupy osazeny tlumičem hluku. [5,11]

Mechanicky ovládané ventily jsou nejčastěji ovládány ručně. Způsob ovládání je pomocí páky nebo tlačítka. Ventil lze také ovládat pomocí pneumatického signálu monostabilní/bistabilní. Monostabilní ventil je ovládán jedním signálem, který působí jednostranně a navrácí pneumotor do základní polohy. Ventil je otevřen pouze po dobu signálu na ovládacím vstupu. V případě výpadku, odpojení signálu vratná poloha ventilu přesune ventil do výchozí polohy. Bistabilní ventil je řízen dvěma signály, přivedenými na řízené vstupy. Pro přesun do aktivní polohy připojíme určitý signál, čímž dojde k otevření ventilu. Při přerušení ventil zůstává otevřený, a pokud chceme přesunout ventil zpět, musíme přivést signál na druhý ovládací vstup. Ventil lze proto nazvat paměťový. [5,11]

Elektromagnetické ventily lze dělit na monostabilní a bistabilní, elektromagnetické nebo elektropneumatické. Konstrukčně jsou ventily řešeny v podobě hliníkového kvádrů. Každý výrobce má jiné provedení. Ve své podstatě je ventil tvořen například pěti otvory, které jsou navrtány kolmo k šoupěti a přepínáním dochází k pohybu šoupěte, který způsobuje změnu proudění tlakového vzduchu a působí tak na pneumotor. Elektromagnetický ventil pracuje v kombinaci s elektromagnetickou cívkou a pneumatického šoupěte. Elektromagnetická cívka

vybudí pohyb šoupěte a dojde k propojení potřebných cest. U monostabilního ventilu je zpětný pohyb realizován vratnou pružinou. Vratná pružina plní svou funkci pouze tehdy, je-li cívka odpojena od napětí. [5,11]



Obr. č. 20 Ventil FESTO VUVG

Analogicky stejným způsobem je ovládán bistabilní ventil, kde místo vratné pružiny je použita cívka. Mezi hlavní výhody elektromagnetických ventilů lze považovat jednoduchou konstrukci, možnost začlenění do ventilových celků a možnost ovládání tlaku i podtlaku. Nevýhodou je ovládání velkých tlaků a velkých průtoků.

Elektropneumatický ventil disponuje složitější konstrukcí, kde je pohyb šoupěte realizován pomocí elektrické cívky a pneumotoru. Systém je stejný jako u elektromagnetického ventilu kdy může být ventil monostabilní nebo bistabilní. Hlavní výhodou je ovládání velkých tlaků a průtoků. Mezi nevýhody patří vyšší cena, složitější konstrukce a také absence ovládání nízkých tlaků.

4.6 Škrticí ventil

Pro regulaci průtoku média, která má za následek rychlost pneumatického prvku, používáme tzv. škrticí ventily. Snižování rychlosti pneumotoru je nutné téměř při každé aplikaci, jelikož je systém připojen na zdroj tlakového vzduchu, který je následně upraven redukčním ventilem a z toho vzniká požadavek, aby každý pneumotor měl jinou výstupní rychlost. Škrticí ventil je jednoduché zařízení, které lze zastavět mezi pneumotor a zdroj

vzduchu, kde se pomocí například ručního kolečka či plochého šroubu nastaví. Nastavení spočívá v pootevření či částečném uzavření, kdy se mění průřez otvoru, a tím se mění množství protékaného média bez změny tlaku. Pomocí sofistikovanějších elektro škrťících ventilů lze plynule provádět změnu průtoku média, což má za následek lineární změnu rychlosti pneumotoru. Při aplikaci na dvojčinný pneumotor je možné regulovat oba dva směry, kdy průtok plynu do pneumotoru je regulován a průtok plynu z pneumotoru je volně odváděn pomocí jednostranného ventilu. Na níže uvedených fotografiích je zobrazen škrťící ventil, našroubovaný v pneuválci je ovládán pomocí vroubkovaného kolečka. [5,11,31]



Obr. č. 21 Škrťící ventil [32]

4.7 Hadice

Pro převod tlaku média se používají hadice. Množství protékaného média závisí na velikosti průřezu hadice, a proto je nutné zvolit odpovídající průměr. Tlakové hadice lze rozdělit ze dvou pohledů, a to při použití pro standardní nebo vyšší tlaky. Z druhého hlediska můžeme hadice rozdělit do dalších kategorií odolnosti či požadavků aplikace. Odolnost hadic je proti chemikáliím nebo hydrolýze a ohnivzdornosti. Zvláštní požadavky kladou určitá prostředí, jako jsou svařovny nebo různé provozy, kde hadice mohou přicházet do kontaktu s potravinami. Pro správnou funkci a průtok média je nutné uvažovat s minimálním ohybem hadice při aplikaci. Při nedodržení velikosti rádiusu ohybu hadice dochází k zploštění, tím pádem se mění průřez. Při změně průřezu či jeho zaškrcení dojde ke změně či úplnému zastavení průtoku média.

Rozvod stlačeného vzduchu pomocí hadic je vždy realizován v lokálním místě z důvodu vzniku ztrát. Ztráty vzduchu vznikají například v propojovacích tvarovkách, kolínkách, škrticích ventilech či v místech spojů. Oproti elektrické energii kde přenos probíhá ve stovkách nebo tisícičkách kilometrů u stlačeného vzduchu je možnost přenosu omezena v řádu stovek metrů. [5,11]

Dle následující tabulky výrobce Festo rozděluje a doporučuje materiály hadic pro konkrétní vhodnost aplikace. [11]

Přehled kombinací hadice-šroubení			
použití	hadice	šroubení	popis
standardní	PUN-H	QS	Maximální přizpůsobivost ve standardních úlohách díky velmi rozsáhlým možnostem kombinací nejrůznějších typů.
	PAN	QS	Splňuje všechny požadavky také ve standardních úlohách s rozšířeným rozsahem tlaku a teploty
	PEN	QS	Mnohostranné použití – za atraktivní cenu. Přizpůsobivé díky vysoké odolnosti, dobře se instalují díky optimalizovanému poloměru ohybu. Velká odolnost oděru v dynamických aplikacích.
vyšší tlaky	PAN-MF	NPQM	Splňuje normu DIN 73378: ideální pro použití v mobilní pneumatice technice. Vhodné pro použití při rozšířeném rozsahu teploty a současně při rozšířeném rozsahu tlaku.
	PAN-R	NPQH	Výkonné při rozsazích tlaku do 20 barů: např. v úlohách se zesilovačem tlaku DPA.
odolné chemikáliím, přípustné pro styk s potravinami, odolné hydrolyze	PLN	NPQP	Odolné čistícím prostředkům, ve shodě s požadavky FDA a hospodárné. Lze použít pro kombinace se šroubeními z ušlechtilé oceli.
	PUN-H	NPKA	Odolné hydrolyze a vhodné pro úlohy s vodou. Kombinace vhodná do prostředí s požadavkem na čistotu, ve shodě s požadavky FDA a odolné korozi, vyrobeno pouze ze 100% polymeru. Velmi snadná instalace na principu západky.
	PFAN/PTFEN	NPQH	Pro vysoké teploty až do 150 °C. Schváleno pro potravinářství, ve shodě s požadavky FDA a do čistícím prostředkům.
	PFAN/PTFEN	NPCK	Snadné čištění, protože převlečné matice nemají hrany. Maximální odolnost korozi (K BK 4) a ve shodě s požadavky FDA. Pro nejrůznější média.
odolné chemikáliím a hydrolyze	PFAN/PTFEN	CRQS	Maximální odolnost korozi (K BK 4) a maximální odolnost agresivním kyselinám a louhům.
	PFAN/PTFEN	NPQR	Optimalizovaný design, méně hran zachycujících nečistoty – to vše za atraktivní cenu. Pro vysoké teploty do 150 °C. Tlakový rozsah do 16 barů. Nejvyšší odolnost korozi (K BK 4).
antistatické	PUN-CM	NPQM	Antistatické hadice a celokovová šroubení: maximální ochrana pro elektrické a elektronické čládky.
ohnivzdorné	PUN-VO	NPQM	Vysoká bezpečnost pro prostory s rizikem požáru, ohnivzdornost. Hadice jsou testovány dle DIN 5510-2.
odolné prostředí při svařování	PUN-VO-C	NPQH	Ideální do prostředí s jiskrami při svařování. Hospodárná bezpečnost, tloušťka stěny 2 mm pro všechny průměry hadic.
	PAN-VO	QS-VO	Bezpečné také v bezprostřední blízkosti svařecích jisker: s dvěma pláštěmi a se speciálními šroubeními.

Obr. č. 22 přehled hadic FESTO [33]

4.8 Olejové mazání

Olejová maznice slouží k domazávání tlakového vzduchu. Tlakový vzduch dává olej do vzduchu (média), čímž vytváří směs vzduchu a oleje. Tato směs proudí do pneumotoru, kde může sloužit jako mazivo pohyblivých částí či ochrana proti korozi. Díky novým konstrukcím a používání vyspělejších materiálů nepotřebujeme domazávání a díky tomu nevzniká škodlivý odpadní vzduch s olejovými částicemi. [5,11]

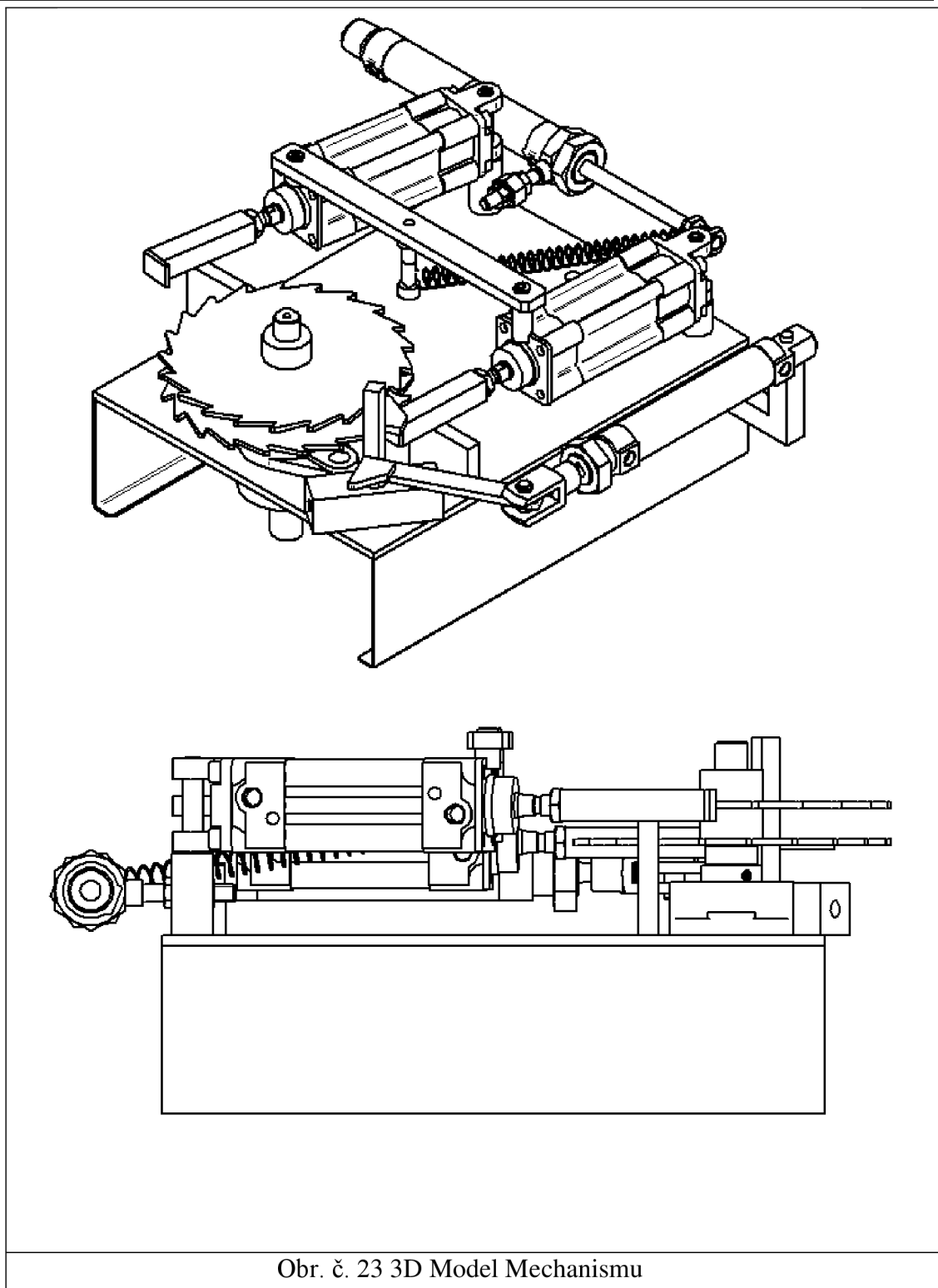
5 NÁVRH PNEUMATICKÉHO KROKOVÉHO MOTORU A VÝPOČTY

Základem pro návrh pneumotoru bylo schéma z učebnice Průmyslových robotů a manipulátoru. Idea byla známá a stávající koncept jsem rozšířil v podobě oboustranného pohybu.

Svůj výrobní proces jsem začal pořízením dostupného již použitého pneumatického válce. Poté následovala rozvaha volby velikosti celého zařízení. Dále jsem celou myšlenku přenesl do sestavy 3D modelu. V něm jsem si ověřil základní kinematické vlastnosti a teoretickou funkčnost pomocí vazeb. Dle konstrukce 3D modelu jsem nadále zkonstruoval další prvky sestavy. Základním nosným prvkem se stala plechová deska s otvory pro upevnění dalších komponent. Průměr rohatky jsem nadeřinoval pomocí velikosti zubu a zdvihu pneuválce. Velikost rohatky mi definovala velikost dalších komponent např. ložisek, zarážek a dalších pomocných pneuválců. Po získání těchto parametrů bylo možné vytvořit výrobní dokumentaci a začít s výrobou dílů. Výrobní dokumentace a 3D model je součástí příloh. Sestava modelu zobrazuje všechny prvky sestavy.

Díly lze rozdělit do 3 kategorií, které jsou: nakoupené komponenty, komponenty obráběné, ohýbané a svařované, komponenty vyráběné pomocí laserů. Díl rohatky je zhotoven pomocí laseru, jelikož se jedná o složitý tvar a jakost řezu nemá významný vliv na funkčnost. Celková sestava rámu byla svařena. Pomocí třískového obrábění byly vyráběny díly typu hřídele, nosné prvky, deska rámu.

Pro sestavení prototypu bylo nutné díly předem připravit, popřípadě nalakovat. Montáž dílů probíhala následovně. Osazení hlavního rámu hřídelemi. Pneuválcem jsem sešrouboval dohromady s nosnou patkou, západkou a plechovým dílem pro vzájemné propojení válců. Nosný rám jsem osadil dvojicí ložisek. Na nosné hřídele jsem nasunul patky pneuválce a oba pneuválce propojil pomocí táhla. Hřídel jsem nasunul do ložiska, kde jsem ji pomocí šroubu M4 zajistil. Na hřídel jsem nasadil jedním směrem první rohatku a druhým směrem druhou rohatku. Poté jsem osadil nosný rám zbylými dvěma pneuválci, které ovládají směr pohybu pneumotoru. Posledním nutným prvkem pro osazení bylo příčný pneuválec propojit pružinou a podélný pneuválec spojit s volbou směru západky.



Obr. č. 23 3D Model Mechanismu

Pro celou funkčnost strojního zařízení s tlakovým vzduchem a automatickým provozem bylo nutné propojení s PLC. Pro propojení tlakovým vzduchem jsem použil pneumatickou hadici průměr 6 mm. Ventily a pneuválce jsem osadil připojovacími konektory pro snadné připojení hadic. Ventily mají navíc tlumiče hluku. Pro dopředený pohyb hlavních pneuválců jsem použil nastavitelné škrťací ventily. Elektrické kabely sloužící pro ovládání jsou připojeny

do svorkovnic elektrorozvaděče. Pro správnou funkci bylo navrženo pneumatické schéma zařízení, které se nachází v příloze.

Schématické znázornění krokového motoru bylo mojí realizací odzkoušeno, a tudíž je funkční. Uvedení do chodu pneumatického motoru je především připojení na tlakový vzduch a elektrickou energii pro PLC rozvaděč. Pro správnou funkci je nutné propojení všech komponent dle schématu, kontrola všech pohyblivých částí a dotažení šroubových spojů. Uvedení do chodu je pomocí otočení tlačítka start do polohy 1. Uvedení do klidu je otočením tlačítka do polohy 0. Volba směru otáčení je pomocí otočení tlačítka do pozice válec č. 1 nebo válec č. 2. Rozšíření zařízení o druhý směr potřebuje zásah obsluhy na základě otočení tlačítka. Pneválec přesune pružinu do protilehlého rohu, čímž přesune druhý pneuválec do pracovní pozice. Pneválec ovládající pomocí táhla zajištění rohatky proti zpětnému pootočení.

5.1.1 Výpočet krouticího momentu mechanismu:

Síla - tlak vzduchu 0,3 Mpa působící na válec průměr $D = 32 \text{ mm} \Rightarrow$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 32^2}{4} = 804,3 \text{ mm}^2$$

$$F = p \cdot S = 0,3 \cdot 804,3 = 241 \text{ N}$$

Průměr – roztečný průměr rohatky – 150mm $\Rightarrow 0,15 \text{ m}$

$$M_k = F \cdot \frac{D}{2} = 241 \cdot \frac{0,15}{2} = 18 \text{ Nm}$$

Motor má při tlaku 0,3 Mpa krouticí moment 18 Nm.

6 ROZBOR KONSTRUKCE A JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT PNEUMATICKÉHO MOTORU

Pneumatický krokový motor je celkové zařízení, které se skládá z několika komponent. Nosnou částí pneumatického krokového motoru je rám. Součástí rámu jsou podpěrné kostky. Akčním členem pneumatického krokového motoru jsou dva pneuválce. Funkčním členem vykonávajícím krokový pohyb je rohatka se západkou, která je umístěna na hřídeli a uložena ve dvojici ložisek.

6.1 Nosný rám pneumotoru

Rám, jakožto nosný prvek pneumotoru je vyroben z materiálu dle ČSN 11 373. Jedná se o běžnou svařitelnou konstrukční ocel. Rám je svařenec, kde základová deska je tvořena z plechu tloušťky 3 mm. V desce je několik otvorů. Dvojice otvorů v levé části slouží k upnutí tvarových hřídelí, na kterých jsou pneuválce. Trojice otvorů v pravé části slouží pro upnutí ložiska, kde dva otvory průměr 12,5 mm slouží k uchycení ložiska a třetí otvor je určen pro průchod hřídele průměr 20 mm a je zvolen průměr otvoru 25 mm. Dva opěrné díly jsou ohnuté profily ve tvaru “L”, tloušťky 1,5 mm a tvoří pouze bočnice. Díky ohybům a svaření s plechem 3 mm získává konstrukce potřebnou tuhost v ohybu a torzním namáhání. Opěrné hranoly pro západku jsou z konstrukční oceli a funkční plochy jsou obrobena frézováním na požadovaný rozměr. Hranoly jsou k plechu tloušťky 3 mm přivařeny. Hranol pro volbu směru je přivařen k základovému plechu 3 mm. Použitá technologie pro svařování je metodou TIG bez přídavného materiálu. Plechový rám je odjehlen, čímž je zbaven ostrých hran po stříhání a vrtání. Ostré rohy rámu byly nahrazeny rádiusy velikosti R3. Sestava rámu je ošetřena proti korozi. Protikorozní ochrana se skládá ze tří částí. Pro chemické očištění rámu byl použit odrezovač značky Clean fest s Taninem. Tento přípravek je kapalina, která tvoří pasivační vrstvu a zbavuje povrch koroze. Po aplikaci odrezovače a následném osušení byl rám nastříkán základovou barvou ve spreji značky Motip. Finální vrchní barvu jsem aplikoval druhý den, a to barvu ve spreji značky Motip v odstínu RAL 5012.



Obr. č. 24 Nosný rám po finálním laku

6.2 Pneumatický válec

Pro model pneumatického krokového motoru jsem zvolil pneumatický válec značky Metalwork. Označení pneuválce dle ISO 15552 je válec čtvercového průřezu. Jedná se o sérii válců v rozsahu průměru 32 mm až 125 mm a velikostí výsuvu 1 až 250 mm. Další možnou výbavou těchto válců může být různá volba těsnění, magnetický píst pro snímače, tlumení v koncových polohách a dle požadovaných specifických požadavků například korozivzdornost. Mnou zvolený válec má průměr pístu 32 mm a zdvih 25 mm. Pneuválec je sestaven z hliníkových komponentů, píst a pístnice jsou ocelové. Použité těsnění pneumatického válce je běžně používané těsnění materiálu polyuretan. Označení válce dle výrobce je „Válec ISO 15552 série 3 32/25 mm“. Spodní část pneuválce obsahuje čtyři otvory velikosti M5, které slouží k přišroubování patky. Patka je hliníkový odlitek, který je opatřen otvory pro imbusový šroub velikosti M5 a dvojicí sousedních otvorů velikosti 12H7, které slouží k rotačnímu uložení pneuválce. Označení patky je model B-032. Pístnice má přípojovací závit M10 x 1,25 mm. Tento závit slouží k připojení západky. Západka je čtyřhranný člen velikosti 15 mm. Přípojná část rohatky má vnitřní závit M10 x 1,25 mm a na straně druhé je přivařena plochým svárem tloušťky 3 mm. Člen byl zvolen čtyřhranného průřezu z důvodu zachycení rotace pneumatického pístu.

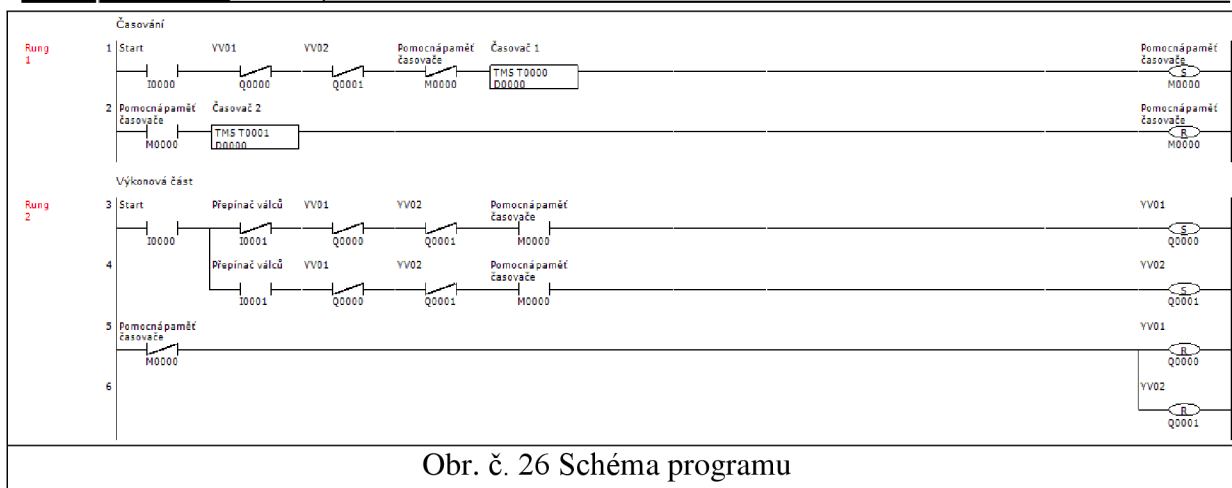


Obr. č. 25 Pnev válec s patkou

6.3 PLC s programem

Pro automatický pohyb byl použit PLC od značky IDEC. Celé označení je IDEC FT1A-H12RA SmartAXIS Pro. Programování PLC bylo provedeno v programu WINDLDR který používá programovací jazyk LD (Ladder Diagram) – Jazyk kontaktních schémat. Výstupy Q0000 - YV01 – Pneumatický ventil válce 1 .

Pro vytvoření schématu bylo nutné definovat vstupy a výstupy. Vstupy jsou I0000 – Přepínač START/STOP, I0001 – Přepínač Válec 1/ Válec2 a výstupy Q0000 - YV01 – Pneumatický ventil válce 1, Q0001 - YV02 – Pneumatický ventil válce 2. Ostatní vstupy jsou M0000 – Pomocná paměť časovače a D0001 – Datový registr pro zadávání požadovaného času.



Obr. č. 26 Schéma programu

6.3.1 Popis funkce programu:

Rung 1: Tato část programu slouží po generování signálu potřebného pro spínání cívek pneumatických ventilů. Pomocná paměť M0000 se zapíná a vypíná v závislosti na času uvedeném v datovém registru D0000.

Řádek 1: Po přepnutí přepínače START/STOP do polohy START se sepne vstup I0000. Následně proběhne kontrola stavu cívek pneumatických ventilů, tedy výstupů $Q0001 = 0$, $Q0002 = 0$ a vypnuté pomocné paměti $M0000 = 0$. Pokud jsou splněny všechny tyto podmínky, začne časovač T0000 odpočítávat čas v milisekundách uvedený v datovém registru D0000. Po uplynutí tohoto času se změní stav pomocné paměti M0000 z 0 na 1.

Řádek 2: Při stavu pomocné paměti $M0000 = 1$ se začne odpočítávat čas uvedený v D0000 časovačem T0001 který následně přepne stav paměti M0000 zpět do nuly čímž se splní jedna z podmínek pro opětovné sepnutí této paměti.

Rung 2: Zde se nachází výkonová část programu sloužící ke spínání a rozpínání cívek pneumatických ventilů YV01 a YV02.

Řádek 3,4: Pokud je přepínač v poloze START ($I0000 = 1$) provede se kontrola vstupu I0001 (přepínač válců) a rozepnutých cívek ventilů YV01 a YV02 ($Q0000$ a $Q0001$). Následně program kontroluje stav pomocné paměti M0000. Pokud je tato paměť ve stavu „1“ a jsou splněny výše uvedené podmínky, program sepne pomocí funkce (Set coil) v závislosti na přepínači válců buď ventil YV01 nebo YV02. Tím dojde k vysunutí jednoho z pneumatických válců.

Řádek 5,6: V této části program čeká na stav $M0000 = 0$ (viz řádek 2) a následně rozepne cívky ventilů YV01 a YV02 čímž dojde k vrácení pneumatických válců do základní polohy a zároveň ke splnění jedné z podmínek pro jejich opětovné sepnutí.

6.4 Rohatka a západka

Rohatka je plechový díl z konstrukčního materiálu dle ČSN 11 373. Tloušťka materiálu je 6 mm. Díl byl vytvořen pomocí CO₂ laseru značky Trumpf Trulaser 7040, který disponuje řídicím systémem Siemens SINUMERIK 840D a výkonem 2x3,5 kW. Obvodový tvar rohatky je odjehlen. Otvor v rohatce byl laserem vytvořen o 2 mm menší z důvodu dalšího obrábění. Další obráběcí operace byla převrtání otvoru na průměr 15,5 mm, následně otvor vyhrubován na průměr 15,75 mm a poté otvor vystružen výstružníkem 16H7. Pro přenos krouticího momentu jsem zvolil přivaření kroužku, který je opatřen závitem M5. Postup korozní ochrany je shodný s povrchovou úpravou nosného rámu.



Obr. č. 27 Rohatka s přivařeným kroužkem

6.5 Páčka volby směru pohybu

Systém směru zajištění rotace je pomocí páčky směru pohybu. Tento systém je tvořen několika díly a dvojicí pružin s kuličkou. Vrchní zářezky zamezují pootočení rohatky. Na čtyřhrannou hřídel jsou přivařeny zářezky. Matice přivařená proti zářezce slouží jako upínací bod pro imbusový šroub M8 x 80mm, pomocí kterého přepneme mechanismus do pravotočivého nebo levotočivého směru rotace. Kovový hranol přivařený k základnímu rámu

tvoří nosný prvek pro páčku volby směru. Tento díl má dvojici otvorů se závity, kde v otvorech jsou uloženy dvě pružiny proti sobě tlačící na čtyřhrannou hřídel. Šrouby v těchto otvorech lze nastavit potřebnou sílu pro přepnutí volby směru. Páka volby směru je propojena s ovládacím pneuválcem.

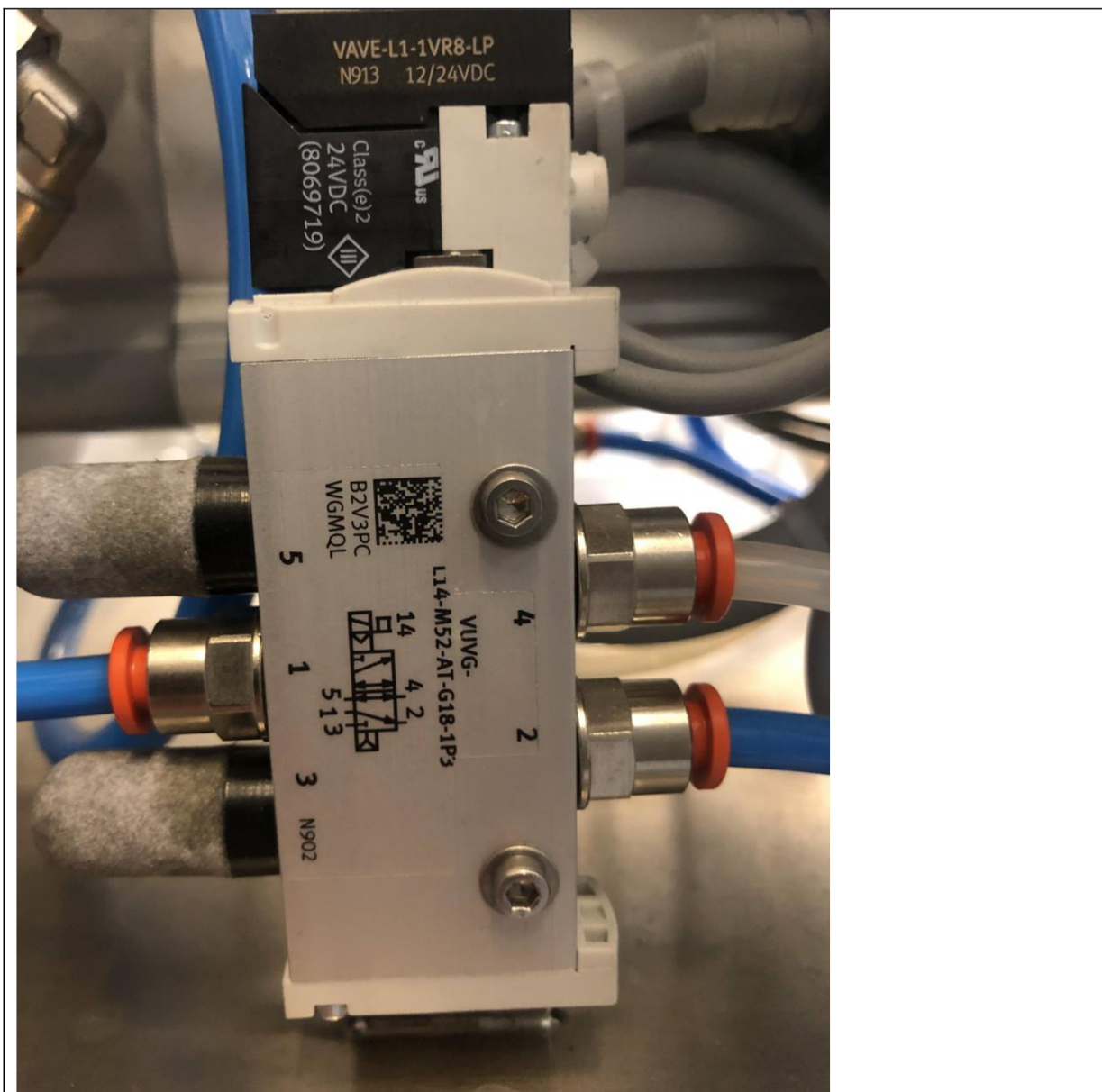


Obr. č. 28 Volba směru pohybu pomocí pneuválce

6.6 Elektropneumatický ventil, hadice a pneumatické příslušenství

Pro ovládání pneuválců a propojení s řídicím programem byly použity ventily značky FESTO VUVG-L14-M52-AT-G18-1P3. Jedná se o monostabilní elektropneumatický ventil s jedním ovládaným magnetem. Magnet je ovládán pomocí připojeného kabelu, který je připojen do řídicího PLC. Pneválec je osazen dvojicí pneumatických tlumičů a trojicí pneumatických přípojných prvků pro připojení hadic. Velikost hadic pro pneumotor byla zvolena 6 mm. Materiál hadic je standardní ... Použité škrťací ventily jsou přímo na pneuválci a lze je ovládat ručně. V případě nalezení požadovaného pohybu pneuválce lze pomocí

kontramatky nastavený průtok zaaretovat. Pro nastavení tlaku v obvodu je použit pneumatický redukční ventil s filtrem označení LFR ¼ Midi.



Obr. č. 29 Pneumatický ventil

6.7 Spojovací materiál, táhlo, ložisko a pružina

Pro spojení jednotlivých součástí a nastavení jednotlivých součástí do předem definovaných poloh je nutné pro případnou demontáž použít šroubových spojů. Nosné hřídele pneuválců jsou upevněny pomocí podložky a matice M10. Axiální zajištění konzole pneuválce je pomocí šroubů a velkoplošné podložky M5. Propojení pneuválce se západkou je pomocí šroubového spojení M10 x 1,25 mm. Zajištění polohy je nastaveno pomocí kontramatice vůči západce. Uchytení ložiskových těles je pomocí dvojice šroubů velikosti M10 x 45mm a tato dvě ložiska jsou skrze desku přišroubovány a zajištěny maticí. Přenos

kroučícího momentu pro otáčení ložiska je zajištěn pomocí dvojice imbusových šroubů v uložení 120 stupňů. Propojení obou válců je pomocí dvojice speciálních tvarových dílů, které jsou připojeny na pneuválec, a spojuje je společné táhlo. Pozice táhla ovlivňuje směr aktivního pneuválce. Pro správný chod stroje je nutné, aby pneuválec v záběru byl přitlačěn silou k rohatce. V tomto případě sílu vytváří tažná zkrutná pružina, která však umožňuje při zpětném chodu pneuválce malý výkyv. Při výměně polohy pružiny na protilehlý pneuválec dojde k přesunu do aktivní polohy druhého pneuválce. Pružina byla zvolena tažná s dvěma oky průměru 10 mm. Délka nezatížené pružiny je 45 mm a průměr drátu je 1,25 mm. Průměr pružiny je 14 mm. Táhlo je zajištěno proti axiálnímu pohybu dvojicí šroubů a podložek velikosti M5. Ložisko pro pneumatický krokový motor bylo použito výrobce FK a jeho označení je UCFL 204. Jedná se o ložisko s přírubou z šedé litiny, které je naklápěcí a vlastní ložisko je kuličkové. Ložisko má vnitřní průměr 20 mm. Připojovací otvory jsou 2 x 10 mm, má domazávací maznici a kuličky jsou kryté gumovým těsněním, které zamezuje vniku nečistot



Obr. č. 30 Ložisko UCFL

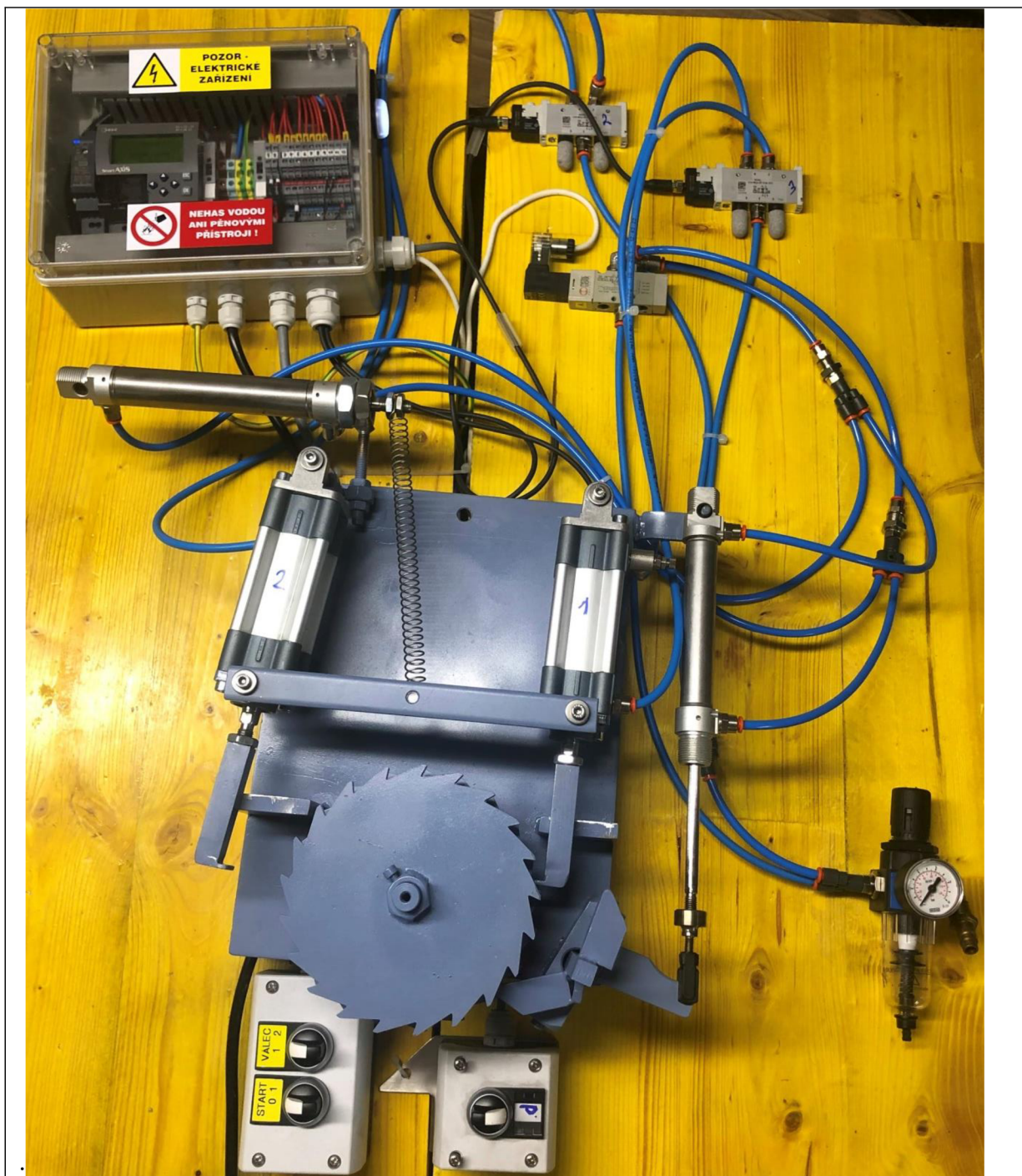
7 VYHODNOCENÍ VYUŽITÍ A NÁVRH MOŽNÉHO POUŽITÍ KROKOVÉHO MOTORU

Zařízení bylo zkoušeno v automatickém provozu. Nastavený čas na PLC programátoru byl 0,5 s. Tento čas byl optimální pro přesun rohatky o jeden dílek. Celý cyklus tak trvá 1 s. Z těchto hodnot lze určit, že mechanismus udělá jedno otočení za dobu 21 s, jelikož má rohatka 21 zubů. Každé potočení mechanismu je o 17,14 stupně. Zařízení bylo odzkoušeno v obou směrech, kdy každý směr byl otestován 1 hodinu v automatickém režimu. V tomto testu byla zkoušena funkčnost a opakovatelnost cyklu mechanismu. Při tomto testu mechanismu nebyla zaznamenána žádná chyba cyklu. Mechanismus v pravidelných intervalech vykonával požadovaný stanovený pohyb.

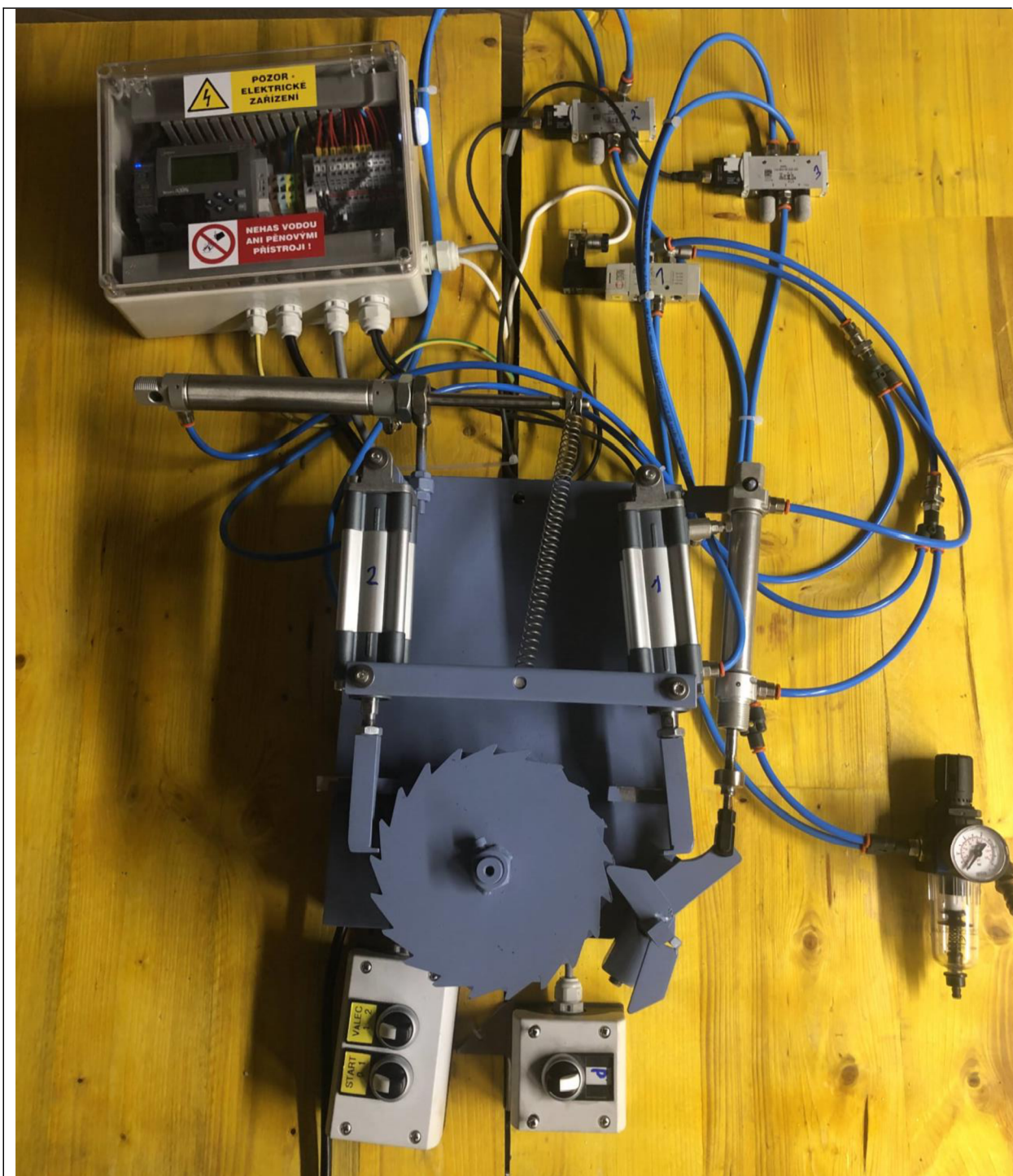
Funkce motoru byla vyzkoušena pouze v domácích podmínkách, pneumotor nebyl zatížený a pouze překonával třecí odpory mezi rohatkou a západkou a dále překonával valivý odpor ložisek, který z hlediska použitých prvků zanedbatelný.

Krokový pneumatický mechanismus je vhodný pro různé aplikace v průmyslu. Jednou z aplikací oboustranného krokového mechanismu by mohlo být ovládání kapalinových nebo plynových ventilů průtoku. Výhodou krokového mechanismu je především vždy známé pootočení hřídele po jednom cyklu, tudíž PLC programátor po určitém množství pulsů zná přesné pootočení hřídele. Použití krokového mechanismu tak může být i v nastavení, například dávkování. Hlavní předností krokového pneumatického mechanismu je práce ve výbušných prostředích, kde vznik jakékoliv jiskry nebo statické elektřiny může mít za následek okamžitou explozi. Tato zařízení lze však jednoduše zautomatizovat pomocí pneumatických logických prvků, čímž se odstraní řízení pomocí elektroventilu a tím i nebezpečí vzniku jiskry. Další výhodou je velmi jednoduchá konstrukce krokového motoru, kde jednotlivé prvky jsou výrazně levnější než elektrický krokový motor. Další výhodou tohoto motoru je generovaný krouticí moment výrazně vyšší než u elektrického krokového motoru. Mezi nevýhody krokového motoru patří rychlost otáčení rohatky, jelikož píst nebo membrána musí vykonat přímočarý vratný pohyb a tím pádem dochází ke ztrátovému času, při kterém se mechanismus nehýbe. Tento problém by šel odstranit použitím alespoň dvojice synchronizovaných pneuválců nebo membrán kdy by zařízení obsahovalo 2 kusy rohatek jedním směrem a 2 kusy rohatek druhým směrem. U shodně jdoucích rohatek by bylo nutné

najít optimální úhel natočení vůči sobě. Funkce tohoto vylepšeného pneumatického krokového motoru by spočívala v návaznosti prvního a druhého válce kdy první válec před koncem cyklu uvede do pohybu druhý válec a tím nedojde k zastavení mechanismu. Rotační pohyb by tak byl plynulý.



Obr. č. 31 Celková sestava pneumotoru s aktivním válcem č.1



Obr. č. 32 Celková sestava pneumotoru s aktivním válcem č.2

8 POZNATKY A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Při konstrukci pneumatického mechanismu bylo bráno v potaz pouze odzkoušení funkce. Pro následné průmyslové použití by bylo vhodné upravit několik komponentů a vytvořit tak kompaktnější zařízení.

Dle aplikace by bylo žádoucí zvolit velikost kroku mechanismu, čímž by se změnil i zdvih válce nebo membrány. Tento konstrukční zásah by však znamenal měnit pro každou aplikaci rohatku a velikost zdvihu. Problematika výstupních parametrů na hřídeli by šla, však řešit případným převodem jednotek kde bychom mohli měnit převodový poměr a tím dosáhnout požadovaných parametrů. Samozřejmě by to celé zařízení zkomplikovalo a bylo by nutné použít převodu, při kterém nevzniká vůle. Převod by však znamenal zkomplikování mechanismu a zvýšil by jeho hmotnost.

Použití standardních pneuválců v mém ověřovacím prototypu bylo z důvodu dostupnosti. Pneuválce jsou standardně vyráběny dle ISO normy, avšak pro aplikaci na krokový motor méně vhodné než membrány. Jde především o zástavbové rozměry. Další výhodou membrány je výrazně nižší hmotnost celku i hmotnost “pístu” kdy v koncových polohách nevznikají velké rázy, což má za následek klidnější chod. Výhodou membrán je také vyšší rychlost oproti válci. Membrána díky své konstrukci umožňuje rychlejší chod celého mechanismu.

Rám konstrukce by bylo vhodné upravit tak, aby se jednalo o jeden kompaktní díl, například hliníkový odlitek. Rám by tak plnil funkci nosnou a mohly by v něm být umístěny membrány a díl pro volbu směru. Otvory pro uchycení ložisek, ventilů a připojení tlakového vzduchu. Rám by tak plnil funkci nejen nosnou, ale i ochrannou. Celé toto zařízení by bylo možné namontovat do stroje pomocí přípojných bodů. Celek by byl i krytovaný a tím by nevznikali nebezpečná místa pro poranění operátorů či mechaniků.

Pro dosažení vyšší přesnosti otáčení by bylo vhodné dle požadavků osadit lineární krokový motor brzdou. Mohlo by se jednat o brzdu aktivní či pasivní. Pasivní brzdu by bylo možné použít jako kotouč, na který působí deska silou pomocí pružin. Aktivní brzda by fungovala na principu použití dalšího pneumatického válce/membrány, která by ovládala pružinu brzdy a při otáčení pomocí pneuválce/membrány by zařízení odjistila. Odjistěné zařízení by se tak mohlo bez odporu brzdy otáčet. Při vratném pohybu, když není západka v záběru, by nebylo možné s mechanismem pohnout. Oba typy brzd slouží k zabezpečení polohy mechanismu.

Pro řešení přesné polohy mechanismu by bylo možné použít dva druhy snímačů polohy. Snímač, který by vždy snímal koncovou polohu pneuválce, čímž by PLC program mohl dle zadaných parametrů včetně počtu kroků určit velikost pootočení. Další možnou variantou by bylo použití inkrementálního enkoderu. Pomocí těchto enkoderu by bylo možné přesně sledovat pootočení hřídele. Cele zařízení by to však výrazně prodražilo.

Dalším vylepšením by mohlo být použití Hirthova čelního ozubení, kdy by byla volba rotace pomocí přesuvné vidlice. Při přesunu rohatky by došlo ke změně směru otáčení pneomotoru. Válec v záběru by se tak posunul do polohy mimo rohatku a při tomto přesunu by se dostal do záběru válec číslo 2. Toto čelní tvarové ozubení je vhodné pro přenos velkých krouticích momentů. Vhodné použité ozubení by mělo mít úhel 60 stupňů. Řešení by umožnilo plně automatizovaný provoz pomocí PLC a nebylo by nutné mechanického zásahu řízení tlačítky pneumatického motoru. Volba by tak spočívala v přepnutí pomocí například tlačítka nebo vyhodnocení určitého stavu zařízení pomocí PLC a došlo by tak automaticky ke změně směru otáčení. Díky této změně by byl pneomotor plně ovládán pomocí programu, a tím by se stal plnohodnotným automatizovaným prvkem.

9 ZÁVĚR

Sortiment možností jak vytvořit krokový motor je široký. Nejjednodušším a nejvíce rozšířeným způsobem otáčení krokování je použití elektrického krokového motoru. Elektrický krokový motor disponuje velice sofistikovaným řízením, které umožňuje opakovat vždy stejný krok, nebo lze naprogramovat a dle programu nastavit každé pootočení o jiný dílek. Největší nevýhodou je však pořizovací cena a nelze použít do např. nebezpečných, agresivních a výbušných prostředí.

Pneumatický krokový motor má výhodu v jednoduché konstrukci, kde funkce rohatky a západky je léty ověřeným systémem. Jedná se o relativně levné zařízení, které lze řídit elektroventilem. Externí signál např. PLC může dávat pravidelné impulzy. Rychlost mechanismu lze nastavit pomocí škrťících ventilů.

V diplomové práci jsou rozebrány další vylepšení a rozšíření pneumatického krokového motoru. Vylepšení by se týkalo hlavně celé konstrukce a vytvoření kompaktnějšího zařízení pro průmyslové použití. Vylepšení by spočívalo i v sofistikovanější konstrukci pneumatických válců popřípadě použití dle předlohy membrán, které by celé zařízení umožnilo menší zástavové rozměry a výrazně zlevnilo celé zařízení. Dále by bylo nutné se zaměřit na velikost jednotlivých kroků motorů, popřípadě propojit zařízení s převodovkou.

Cílem mé práce bylo vytvořit pneumatický krokový motor s volbou možností rotace v pravotočivém či levotočivém směru. Mnou vytvořený model se zakládá na již známých technických poznatcích a je víceméně kombinací několika typů mechanismu. Použité prvky pro pohon byly standardní pneuválce z důvodu dostupnosti a ověřené funkčnosti, kdy lze považovat pohyb pneuválce za shodný s lineárním pohybem membrány. Konstrukce rohatky a západky byla navržena a vyrobena na základě mých poznatků v technické praxi. Model byl osazen automatickým řízením pomocí PLC programu. PLC řízení tak zajistilo reálný provoz pneumatického krokového motoru v předem definovaných podmínkách. Nastavený tlak na redukčním ventilu byl na 0,3 Mpa a čas spínání elektropneumatického ventilu na 0,5 s. V tomto nastavení lineární pneumatický krokový motor pracoval spolehlivě a při každém cyklu posunul rohatku o úhel 17,2 stupně. Otočení hřídele o 360 stupňů je tak při plynulém provozu 21 s. Při zadaném tlaku má mechanismus krouticí moment 18 Nm. Celou sestavu jsem díky automatickému PLC řízení zkoušel každý směr 1 hodinu. Po dobu tohoto zkoušení jsem na stroji nezaznamenal žádné špatné pootočení a opotřebení rohatky a západky bylo minimální.

Pro ověření schématu z literatury jsem tak sestavil funkční model. Model je uváděn do chodu pomocí jednoho otočného spínače. Další dva přepínače slouží ke změně směru pohybu. Při moji aplikaci bylo použito ovládání pomocí tlačítek, jelikož jsem neměl k dispozici jiné externí signály ovládající směr otáčení mechanismu. Vyrobený model disponuje mnoha nevýhodnými řešeními pro průmyslové použití. Jako hlavní zápor je zde nekompaktnost a nebezpečnost celého zařízení. Pro další použití a případně průmyslové výroby by bylo nutné dalších úprav.

10 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] MATIČKA Robert a Jaroslav TALÁCKO: Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. SNTL Praha 1980
- [2] STUHLÍK, p. *Konstrukční návrh precizního manipulátoru*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2018, 73 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Vetiška, Ph.D
- [3] DÁŽKA, O, *Konstrukční návrh prvků s recipročním pohybem* Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 43 s., Vedoucí bakalářské práce práce Ing. Pavel Čípek
- [4] KOLÍBAL Zdeněk a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4825-8.
- [5] *Střední průmyslová škola Sokolská* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://www.sokolska.cz/DUMy/index.html>
- [6] *gstatic.com* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSb3zQKlagL7HLP4-K1JKtotSIzbz01ZrzqcQ&usqp=CAU>
- [7] *Střední průmyslová škola Opava* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: www.sspu-opava.cz
- [8] VESELÝ, V. *Nástroje pro výrobu závitů a jejich využití*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 40 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Petra Sliwková, Ph.D
- [9] SITTE, D. *Vyhodnocení vlivu výrobních nepřesností na charakteristiku vinuté konické pružiny*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2019, 46 s., Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jiří Burša, Ph.D
- [10] *docplayer.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://docplayer.cz/11902646-15-14-vackove-mechanismy.html>
- [11] *festo.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: festo.cz
- [12] PODHORSKÝ, P. *Návrh pneumobilu s pneumatickým pohonem*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 74s. Vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
- [13] BUŠ, M. *Konstrukce testeru pneumatických obvodů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 49s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Kučera.
- [14] KOPÁČEK, Jaroslav. Pneumatické mechanismy. Dot. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 1998. ISBN 80-7078-306-0

- [15] *conrad.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/festo-196000-dsnu-50-25-p-a-kulaty-valec>
- [16] *mmspektrum.com* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/technicke-novinky/miniaturni-presna-loziska-pro-zubni-vrtacky>
- [17] *festo.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/kyvne-pohony-id_DSM/?q=~:festoSortOrderScored
- [18] *pneumatsystem.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: https://www.pneumatsystem.cz/images/virtuemart/product/product_import_image_94_2973.jpg
- [19] *rubena.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://www.rubena.eu>
- [20] *rubena.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://www.rubena.eu/cz/produkty/vzduchove-pruzeni-silove-prvky/vlnovce-vzduchoveho-pruzeni/>
- [21] *ujep.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: http://enviregion.pf.ujep.cz/inter_uc/1st/main.php?kap=a2p&iddata=002
- [22] *vsb.cz/* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-atmosfera.htm>
- [23] *fyzika.okhelp.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://fyzika.okhelp.cz/vypoety/tlak-vzduchu-nadmorska-vyska.php>
- [24] *mmspektrum.com* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/specialni-pohybove-mechanismy>
- [25] *www.converter.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: <http://www.converter.cz/prevody/jednotky-si.htm>
- [26] HUBEL, D. *Diagnostika šroubového kompresoru*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2017. 73s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Žitek
- [27] MIČKA, R *Design přenosného kompresoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 45s. Vedoucí diplomové práce doc. akad. soch Ladislav Křeček, ArtD.
- [28] *katedry.osu.cz/* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: https://katedry.osu.cz/kpv/stroje/kom+dmy_soubory/image032.jpg

- [29] *eluc.ikap.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z:
https://eluc.ikap.cz/uploads/block_images/5677/roubov_kompresor.jpg
- [30] *encyklopediapoznania.sk* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z:
https://encyklopediapoznania.sk/data/priemysel/kompresor/membranovy/membranovy_prierez_1.png
- [31] *cdn.kovaz.cz/* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z:
<https://ecommerce.metalwork.it/store/mw/en/Catalogue/Fittings-and-accessories/c/04>
- [32] *ecommerce.metalwork.it* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z:
<https://cdn.kovaz.cz/images/0/be14cbe1feef84d3/1/pneumaticky-kompaktni-skrfici-ventil-jednostranny-vstupni-g1-8-vne-na-hadicku-4mm.jpg>
- [33] *festo.cz* [online]. [cit.2022-04-18] Dostupné z: https://bit.ly/Hadice_PUN-H

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam obrázků

Obr. č. 1 Jednosměrný pneumatický krokový motor s membránou.[1].....	9
Obr. č. 2 Křivka evolventa [6]	12
Obr. č. 3 Rohatka / západka [7].....	12
Obr. č. 4 Typy vaček [10]	14
Obr. č. 5 Pneumatický válec normy [15]	15
Obr. č. 6 Pneumatická zubní vrtačka [16].....	16
Obr. č. 7 Rotační kyvný pohon DSM [17]	17
Obr. č. 8 Pneumatický válec Festo s čtvercovou pístnicí označení Q.....	18
Obr. č. 9 Pneumatický válec Festo s průběžnou pístnicí.....	19
Obr. č. 10 Bezpístnicový pneuválec Metalwork	20
Obr. č. 11 Teleskopický pneuválec [18]	20
Obr. č. 12 Pneumatický vlnovec [20].....	21
Obr. č. 13 Složení vzduchu [21].....	23
Obr. č. 14 Vliv nadmořské výšky na tlak [23]	24
Obr. č. 15 Řez kompresorem [28].....	25
Obr. č. 16 Dvoupístový kompresor značky Master.....	26
Obr. č. 17 Šroubový kompresor [29]	27
Obr. č. 18 Membránový kompresor [30]	28
Obr. č. 19 Redukční ventil 3/8 s manometrem značky Festo.....	30
Obr. č. 20 Ventil FESTO VUVG	32
Obr. č. 21 Škrticí ventil [32]	33
Obr. č. 22 přehled hadic FESTO [33]	34
Obr. č. 23 3D Model Mechanismu.....	36
Obr. č. 24 Nosný rám po finálním laku.....	39
Obr. č. 25 Pneuválec s patkou	40
Obr. č. 26 Schéma programu.....	41
Obr. č. 27 Rohatka s přivařeným kroužkem	42
Obr. č. 28 Volba směru pohybu pomocí pneuválce	43
Obr. č. 29 Pneumatický ventil	44
Obr. č. 30 Ložisko UCFL.....	45
Obr. č. 31 Celková sestava pneumotoru s aktivním válcem č.1	47
Obr. č. 32 Celková sestava pneumotoru s aktivním válcem č.2	48

11.2 Seznam příloh

Příloha 1: Pneumatické schéma

Příloha 2: Výkres rohatky

Příloha 3: Sestava pneumatického obousměrného krokového motoru