



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

**KONSTRUKCE KONCOVÉHO TESTOVACÍHO
ZAŘÍZENÍ ELEKTROMAGNETU**

THE CONSTRUCTION OF ELECTROMAGNET TESTING DEVICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. František Vlasák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. František Vlasák**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Konstrukce koncového testovacího zařízení elektromagnetu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Návrh jednoúčelového automatu na testování základních vlastností proporcionálního elektromagnetu dle požadavků jeho výrobce.
2. Návrh bude zpracován pomocí současných podpůrných CAD prostředků a bude obsahovat:
 - a. pracovní cyklus zkoušení PEM
 - b. sestavní výkres nové vyvinutého stroje jako celku mechanické části
 - c. dílenské výkresy stroje dle potřeby
 - d. seznam komponent pořizovaných nákupem
3. Návrh bude použit pro stavbu skutečně realizovaného testovacího zařízení pro koncového zákazníka.
4. Analýza rizik celku i vybraných komponent testovacího stroje.
5. Ekonomické zhodnocení nového návrhu z hlediska nákladů na vývoj a výrobu jednoho kusu testovacího stroje.

Cíle diplomové práce:

Cílem je navrhnout koncové testovací zařízení pro test funkce sestavy proporcionálního elektromagnetu dle objednavatelem předložené specifikace

Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností ENVINET, a. s. v Třebíči.

Seznam literatury:

Zelenka, A., Volf, L., Poskočilová, A. (2009): Projektování výrobních systémů – návody na cvičení. Skriptum FS ČVUT Praha. ISBN: 978-80-01-04394-3.

Pomůcka pro projektování výrobních systémů (2009), FS TU v Liberci, <http://www.kvs.tul.cz/PVSY>.

Jalový, M., Jalová, M., Andrlík, V. (2005): Průmyslové roboty a manipulátory. Skriptum ČVUT, Praha.

Shigley, J. E., Mischke, Ch. R., Budynas, R. G.(2010): Konstruování strojních součástí. ISBN 978-8-214-2629-0.

Firemní materiály ENVINET Třebíč.

Internetové odkazy na výrobce proporcionálních elektromagnetů.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje návrh jednoúčelového automatu, který slouží k testování základních vlastností proporcionálního elektromagnetu. Návrh je vytvořen ve spolupráci se společností NUVIA a.s. a obsahuje konstrukční řešení stroje, které je zpracováno s ohledem na základní ergonomické požadavky, bezpečnost a celkové náklady. Koncept zařízení je do značné míry ovlivněn požadavky zákazníka, kvůli dohodě o mlčenlivosti nebudou jméno zákazníka a reálné parametry výrobku zveřejněny.

ABSTRACT

Master thesis describes a single-purpose machine design, that is used for testing a basic features of proportional solenoid. The design is created in cooperation with company NUVIA a.s. and contains mechanical solution that is processed in respect with ergonomic requirements, safety and overall costs. Machine concept is affected by customer requirements, whose name, as well as real parameters of the product will not be published, because of non-disclosure agreement.

KLÍČOVÁ SLOVA

Návrh jednoúčelového stroje, testování proporcionálního elektromagnetu, pneumatický pohon, otočný stůl.

KEYWORDS

Single-purpose machine design, proportional solenoid testing, pneumatic actuator, turntable.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VLASÁK, F. *Konstrukce koncového testovacího zařízení elektromagnetu*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 79 s., Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat zejména všem kolegům, kteří se mnou spolupracovali při vývoji, výrobě a montáži stroje. Dále děkuji vedení podniku za jejich tolerantní přístup k mému studiu, a samozřejmě všem blízkým, kteří mě při studiu podporovali.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

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 27.5.2016

.....
Vlasák František

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PROPORCIONÁLNÍ ELEKTROMAGNETY	17
2.1	Proporcionální řídicí technika.....	18
2.2	Použití proporcionálního ventilu v systémech tlumení.....	19
3	ZADÁNÍ	21
3.1	Koncept zařízení	21
3.2	Specifikace funkce zařízení	22
3.2.1	Zakládací pozice	22
3.2.2	Měření a vyhodnocení odporu vinutí elektromagnetu.....	23
3.2.3	Měření a vyhodnocení izolace mezi vinutím a pláštěm elektromagnetu.....	23
3.2.4	Kontrola těsnosti sestavy elektromagnetu	23
3.2.5	Měření a vyhodnocení magnetické silové charakteristiky	23
3.2.6	Kontrola geometrie konektoru.....	24
3.2.7	Popis shodných dílů.....	24
3.3	Obecné požadavky	25
3.3.1	Výrobní kapacita.....	25
3.3.2	Konstrukční požadavky	25
3.3.3	Požadavky na hardwarové vybavení a konektivitu	25
3.3.4	Sběr dat a vizualizace výsledků měření.....	25
3.4	Dokumentace	26
3.5	Záruka a servis	26
4	NÁVRH STROJE.....	27
4.1	Charakteristické znaky jednoúčelových strojních zařízení.....	27
4.1.1	Rámy.....	27
4.1.2	Materiály.....	28
4.1.3	Pneumatické pohony.....	29
4.1.4	Lineární vedení	30
4.2	Koncept stroje	31
4.3	Otočný stůl	34
4.4	Pozice 1 zakládání	41
4.5	Pozice 2 měření odporu vinutí a izolačního odporu vysokým napětím.....	42
4.5.1	Specifikace měření odporu	42
4.5.2	Specifikace měření izolace	42
4.5.3	Postup měření	42
4.5.4	Provedení konektoru.....	45
4.6	Pozice 3 měření těsnosti	46
4.7	Pozice 4 měření magnetické silové charakteristiky	48
4.8	Pozice 5 kamerová kontrola geometrie konektoru	52
4.9	Pozice 6 označení shodných dílů	54
4.10	Nok box.....	56

5	ANALÝZA RIZIK	57
5.1	Systémová analýza	57
5.2	Odhad a hodnocení rizik.....	60
5.3	Bezpečnostní opatření	61
5.3.1	Opatření zabudovaná v konstrukci	61
5.3.2	Bezpečnostní ochranná zařízení	61
5.3.3	Informace pro používání strojního zařízení	62
6	ZHODNOCENÍ.....	63
6.1	Mechanická část	63
6.2	Elektrická část	63
6.3	Ekonomické zhodnocení	64
7	ZÁVĚR.....	67
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
8.1	Literatura	69
8.2	Normy	70
8.3	Webové stránky	70
9	SEZNAM SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ.....	73
9.1	Seznam symbolů.....	73
9.2	Seznam tabulek.....	74
9.3	Seznam obrázků.....	75
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	77
10.1	Tištěné přílohy.....	77
10.2	Přílohy na CD	77

1 ÚVOD

Česká pobočka společnosti NUVIA a.s. byla založena roku 1995 panem Františkem Vágnerem pod obchodním názvem ENVINET. Od počátku byla vedena s úmyslem poskytovat profesionální inženýringové služby pro jadernou energetiku. Zpočátku se jednalo o dodávky informační a komunikační technologie, avšak díky znalostem z prostředí jaderné elektrárny získávala společnost stále více zakázek v oblasti jaderné energetiky. Během let tato společnost neustále rozšiřovala pole své působnosti, roku 1997 byla transformována na akciovou, a roku 2012 se stala členem nadnárodní společnosti NUVIA zabývající se jadernou energetikou která je součástí francouzské firmy VINCI. V současné době tato společnost funguje již dvacet let, během kterých se počet jejich zaměstnanců rozrostl na bezmála tři sta. Hlavní pobočka původní společnosti je v Třebíči, má však pobočky a dceřiné společnosti v Praze, v Kralupech nad Vltavou, v jaderných elektrárnách Dukovany a Temelín, ale také na Slovensku a v Kanadě.

Současnou hlavní náplní jsou inženýringová řešení, zařízení a služby pro jadernou energetiku a průmysl, laboratorní technologie, vývoj software, zařízení pro detekci ionizujícího záření a v neposlední řadě zařízení a stroje průmyslové automatizace.

V divizi průmyslové automatizace se společnost věnuje konstrukci nejrozličnějších automatů pro významné firmy z oblasti automobilového průmyslu. Tyto stroje jsou vždy konstruovány podle specifických požadavků zákazníka, a každý z nich je unikát ať už se jedná o jednoduché ruční pracoviště nebo plně automatické výrobní linky s robotizovanými pracovišti. Tyto stroje slouží k montáži či kontrole různých výrobků, zpravidla však z oblasti automobilového průmyslu. Stroje zde vznikají od konstrukčního návrhu, přes výrobu dílců, až po finální montáž a prezentaci stroje před zákazníkem. Pod tuto divizi mimo jiné spadá i tento projekt.



Obr. 1) Pobočka NUVIA a.s. Hrotovická 168, Třebíč

Abych objasnil účel tohoto zařízení, je potřeba popsat jak funguje výrobní proces samotného produktu v souvislosti s řízením jakosti.

Trvalým úkolem a zájmem všech výrobních a podnikatelských subjektů je zabezpečování výroby a služeb veřejnosti. Trvalé zabezpečování výroby se děje průběžným přijímáním zakázek a realizováním výroby pomocí technologických procesů, které slouží k transformaci pracovní síly, investičního a oběžného majetku na nejrůznější výkony, výrobky a odpad. Koordinací a plánováním těchto výrobních procesů vznikají výrobní programy zaměřené na specifické výrobky, jejichž produkce přináší výrobnímu záводу požadovaný zisk [1]. Zkušenosti z praxe potvrzují, že vedle zkracování výrobních časů a snižování výrobních nákladů představuje jakost výrobku jeden z klíčových parametrů dlouhodobé úspěšnosti firem [2].

Proporcionální elektromagnet je právě takovým výrobkem, v tomto případě je elektromagnet použit v systému tlumení osobních automobilů, a jako takový podléhá vysokým nárokům na kvalitu. Automobilový průmysl totiž patří mezi špičku v řízení kvality sériově vyráběných produktů, neboť právě kvalita je jeden ze základních aspektů, který určuje konkurenceschopnost a tedy i existenci podniku. Aby mohl výrobce garantovat kvalitu svého produktu, musí požadovat i kvalitní zdroje, mezi které patří všechny prvky, které se podílí na výsledném produktu (materiály, komponenty, technologie atd.). Část zodpovědnosti se tedy přenáší na všechny zúčastněné subdodavatele, kteří se na výsledném produktu nějak podílí. Tím pádem je i v jejich zájmu dodržovat, prokazovat a zlepšovat kvalitu výroby podle specifických požadavků zákazníka.

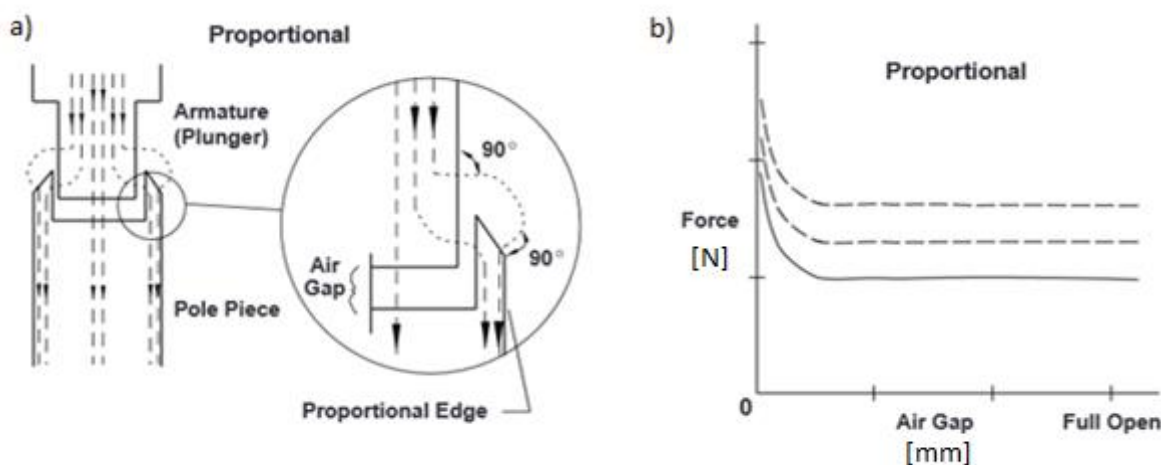
Navrhované zařízení má tedy sloužit jako výstupní technická kontrola a jeho hlavním úkolem je sledování specifických znaků jakosti proporcionálního elektromagnetu, na základě kterých bude rozhodnuto, zda je výrobek vhodný pro distribuci k zákazníkovi či nikoliv. Vzhledem k použití elektromagnetu v systému tlumení je nutné elektromagnety, které nesplňují požadované parametry a atributy separovat od shodných kusů, aby je nebylo možné expedovat k zákazníkovi, neboť by tím mohlo dojít k nepředvídatelnému chování celého systému tlumení, což by v některých případech mohlo mít katastrofální následky.

2 PROPORCIONÁLNÍ ELEKTROMAGNETY

Elektromagnetické aktuátory lze obecně definovat jako zařízení, které využívají elektrickou energii k přeměně na magnetickou. Magnetická energie je poté využita pro pohyb kotvy elektromagnetu. Proporcionální elektromagnety jsou v dnešní době známá a hojně rozšířená zařízení, která najdeme celé řadě nejrůznějších aplikací. Jejich charakteristickým rysem je relativně konstantní síla vyvíjená kotvou v daném rozsahu zdvihu. Tato jejich charakteristická vlastnost je způsobená speciálním tvarováním čela kotvy elektromagnetu. Díky tomu mají tyto elektromagnety využití zejména v proporcionální řídicí technice ke spojitému řízení hydraulických veličin [4].

Na obr. 2 je zobrazen přechod magnetického toku mezi kotvou proporcionálního elektromagnetu (armature), a pólovým nástavcem (pole piece). Indukční čáry prochází skrz čela v pravém úhlu, magnetické siločáry však opouští těleso kotvy nejen skrz čelní plochu ale ve značné míře i přes válcovou plochu a vstupují do jádra přes výčnělek zvaný proporcionální hrana (proportional edge) [5].

Na grafu jsou znázorněny tři křivky odpovídající různým druhům budícího proudu. U tohoto typu elektromagnetu zůstává magnetická síla vzájemně na sebe působících částí ve značném rozsahu zdvihu konstantní. Je to dáno tím, že množství uspořádaných domén na proporcionální hraně se nemění. Navíc se nemění vzdálenost vzduchové mezery, kterou musí magnetický indukční tok překonat mezi válcovým povrchem kotvy a jádra. Při snížení vzduchové mezery (air gap) mezi plochým čelem pólového jádra a plochým čelem kotvy dochází k rapidnímu nárůstu uspořádaných magnetických domén, což má za následek skokový nárůst přídržné síly [5].



Obr. 2) a) Tvar proporcionálního čela se znázorněným indukčním tokem, b) silová charakteristika elektromagnetu [5]

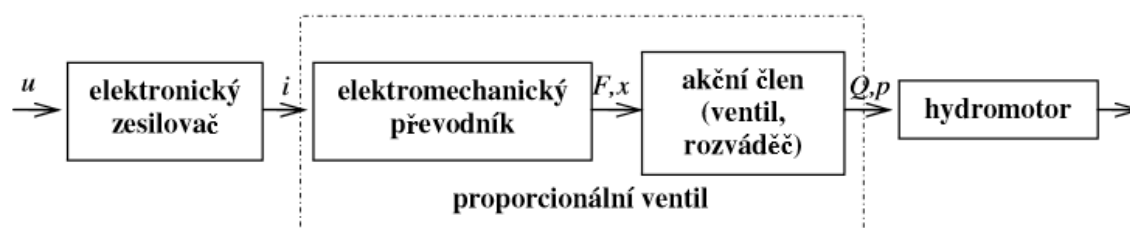
V porovnání s více tradičními typy elektromagnetů je výroba proporcionálního elektromagnetu znatelně dražší. Je to dáno tím, že tvar čela jádra tohoto elektromagnetu je kvůli proporcionální hraně tvarově komplikovanější a také tím že je nutné dodržet přísnější tvarové a rozměrové tolerance, které jsou rozhodující pro výslednou funkci elektromagnetu. I přesto je však proporcionální elektromagnet často používaným elektromagnetickým aktuátorem a to hlavně z toho důvodu že poskytuje oproti klasickým druhům jednu velkou výhodu, tím je že v daném rozsahu zdvihu je síla kotvy elektromagnetu konstantní a lze ji plynule ovládat pouze velikostí budícího proudu. Spojením proporcionálního elektromagnetu a pružiny dostaneme lineární závislost zdvihu na budícím proudu. Díky tomu se dnes používá v řadě složitějších aplikací [5].

2.1 Proporcionální řídicí technika

Jak již bylo řečeno, proporcionální elektromagnety jsou základním konstrukčním prvkem proporcionálních ventilů. Ty se konstrukčně příliš neliší od klasické řídicí techniky, avšak použití proporcionálního akčního členu jim umožňuje spojitě řízení hydraulických veličin. Tato skutečnost přináší výhody moderní elektroniky bez zvýšených požadavků na čistotu kapaliny, provoz a údržbu, při zachování přijatelné ceny. Tvoří tedy článek mezi klasickou řídicí technikou a servotechnikou. Proporcionální řídicí technika se používá v aplikacích, kde již klasická řídicí technika nestačí, avšak nároky dané aplikace nutně nevyžadují použití servoventilu. Jsou robustnější a méně choulostivé než servoventily, obvykle pracují bez zpětné vazby. Mezi hydraulické prvky založené na použití proporcionálních elektromagnetů patří [6]:

- Ventily pro řízení průtoku
- Proporcionální rozvaděče
- Ventily pro řízení tlaku

Standardní struktura proporcionálních řídicích prvků je na obr. 3.



Obr. 3) Struktura proporcionálních prvků [6]

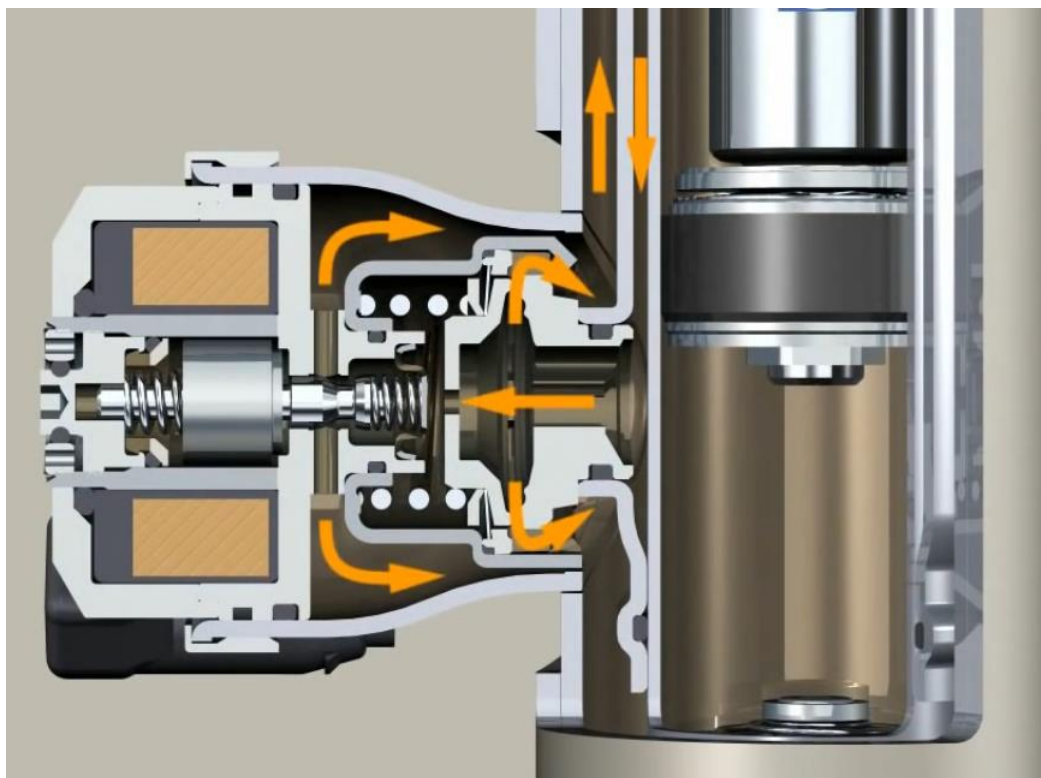
2.2 Použití proporcionálního ventilu v systémech tlumení

V dnešní době existuje mnoho systémů aktivní kontroly tlumení automobilu. Tyto systémy se pomalu stávají standardní výbavou nových automobilů, a můžeme se s nimi setkat pod názvy jako Aktivní kontrola tlumení (Active damper control), elektronická kontrola tlumení (Electronic damper control), plynulá kontrola tlumení (Continuous damper control), dynamická kontrola tlumení (Dynamic damper control) nebo variabilní kontrola tlumení (Variable damper control).

Tyto systémy jsou konstrukčně velice podobné, a mají v podstatě identický význam, tím je průběžná změna parametrů tlumení automobilu, aby bylo dosaženo optimálních jízdních vlastností automobilu v daném terénu.

Na karosérii a kolech automobilu je umístěna řada akcelerometrů, které neustále sledují řadu faktorů ovlivňujících jízdní vlastnosti a pohodlí cestujících. Tyto signály jsou zpracovány mikroprocesorem řídicí jednotky a podle nich je vypočteno nejvhodnější nastavení tlumičů automobilu. Průběžné snímání probíhá při frekvenci cca. 400 Hz, takže řídicí jednotka plynule aktualizuje nastavení elektromagnetického proporcionálního ventilu, který přímo ovládá chování tlumiče [7].

Na obr. 4 je zobrazen řez tlumičem. Proporcionální ventil je umístěn v externím kanálu, který obchází pohybující se píst. Externí kanál, který přivádí kapalinu k proporcionálnímu ventilu je tvořen dutinou mezi jednotlivými válci. Tím jak se proporcionální ventil otevírá či zavírá, se mění i průtok kapaliny, která se pohybuje podle aktuálního zatížení tlumiče směrem pod píst, resp. nad píst. Regulace průtoku ve výsledku ovlivňuje tuhost tlumiče [18].



Obr. 4) Řez s naznačením průtoku [18]

Kromě připojovacího konektoru pro ventil, externí kanál a samotný proporcionální ventil jsou ostatní komponenty stejné nebo alespoň podobné konvenčním tlumičům. Tento modulární přístup pomáhá snížit cenu těchto tlumičů, a zavést je do již existujících výrobních procesů. Proporcionální ventil může být umístěn takřka kdekoliv na obvodě ve spodní části tlumiče jak je vidět na obr. 5, což zjednodušuje implementaci tlumiče do již existujících tvarů karosérií [7].



Obr. 5) Umístění proporcionálního ventilu na tlumiči [18]

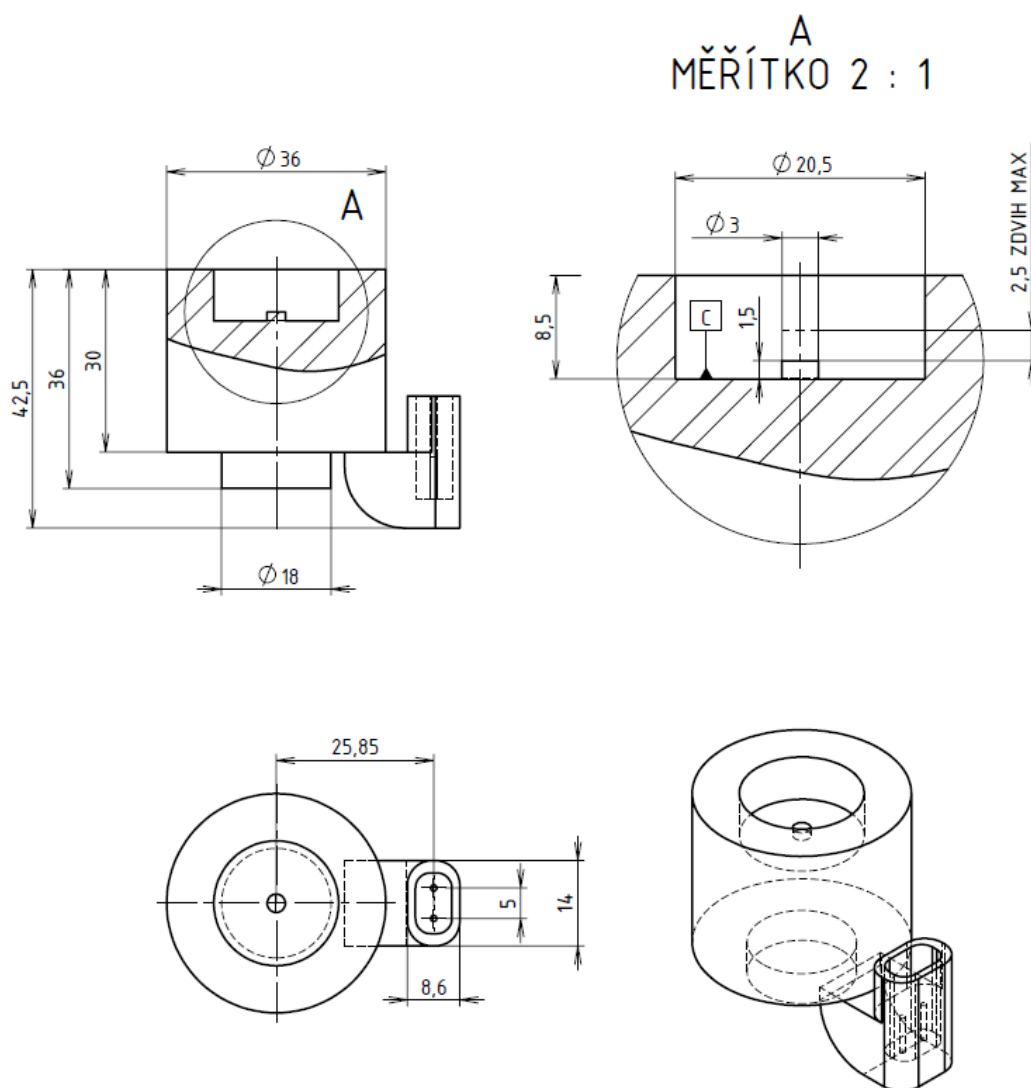
3 ZADÁNÍ

V následující části je stručnou formou uvedeno zadání zákazníka, popisující uvažovaný koncept stroje, funkci, použitá měřicí zařízení a základní vlastnosti, které by měl stroj splňovat. Některé informace nejsou z důvodu dodržení dohody o mlčenlivosti uvedeny, nebo jsou pozměněny. Na výslednou podobu prezentovaného stroje to však nemá vliv.

3.1 Koncept zařízení

Předpoklad je, že zařízení bude koncipováno jako karuselový otočný stůl se sadou zakládacích lůžek, pro ustavení dílu do specifikované polohy. Počet pozic karuselového stolu a manipulace s díly se bude odvíjet od koncepčního řešení. Zařízení bude obsluhováno jedním operátorem, jeho úkolem bude zakládání zkoušeného výrobku do přípravku stroje, vykládání již otestovaných výrobků a manipulace s neshodnými díly.

Na následujícím obrázku je náhradní výkres elektromagnetu s přibližnými rozměry reálného kusu.



Obr. 6) Náhradní výkres testovaného elektromagnetu

Zařízení bude provádět tyto funkce:

- Měření a vyhodnocení odporu vinutí elektromagnetu
- Měření a vyhodnocení izolace mezi vinutím a pláštěm elektromagnetu
- Kontrola těsnosti elektromagnetu
- Měření a vyhodnocení magnetické silové charakteristiky
- Kontrola geometrie konektoru
- Popis shodných dílů

Ověření způsobilosti jednotlivých měřicích stanic bude pomocí sady master-partů, které budou simulovat shodu, či definovanou neshodu s požadovanými parametry.

3.2 Specifikace funkce zařízení

3.2.1 Zakládací pozice

Při vložení testovaného dílu musí být zaručena správnost jeho založení z důvodu ochrany zařízení, aby nedošlo k poškození kontaktovacích přípravků či jiných částí stroje, tzn. orientace konektoru a hloubka zasunutí do přípravku.

Obsluha při zakládání a odebírání dílů nesmí být omezována polohou zakládacího přípravku z pohledu ergonomie, ve smyslu zvýšené zátěže pohyby. Senzorika a bezpečnostní optické závory musí být vhodným krytem chráněny proti poškození.

Manipulační pozice bude vybavena signalizačním prvkem shody či neshody otestovaného výrobku. V případě shody, která bude signalizována zelenou signálkou, operátor vyjme díl a odloží jej do přepravy. V případě neshody, která bude signalizována červeným přerušovaným světlem s vhodným akustickým signálem a odpovídajícím textem na ovládacím panelu, operátor vyjme díl a vloží jej do NOK boxu, který bude umístěn pod pracovní deskou stroje.

Celkem je třeba rozlišovat níže uvedené neshody, z nichž každá bude mít svoji odkládací pozici s kapacitou 10 kusů.

- Neshoda odporu vinutí
- Neshoda izolace
- Neshoda těsnosti
- Neshoda magnetické silové charakteristiky
- Neshoda geometrie konektoru

V případě výskytu neshody bude konkrétní odkládací pozice otevřena a po odložení dílu bude zabráněno jeho vyjmutí. V případě zaplnění zásobníku bude stroj zastaven a nebude možné jej spustit až do autorizovaného potvrzení. Stejně pravidlo platí i pro výskyt třech neshod v řadě za sebou.

3.2.2 Měření a vyhodnocení odporu vinutí elektromagnetu

Jako měřicí zařízení bude použito Burster resistomat 2329. Měření musí být provedeno čtyř vodičově na konektoru s tepelnou kompenzací pomocí pyrometru, který bude snímat aktuální teplotu na plastové čelní ploše elektromagnetu. Změřená teplota bude poté zohledněna pro přepočet odporu na R20. Kontaktování bude provedeno pomocí pružných pozlacených kontaktů výrobce Ingun. Propojení kontaktu a pouzdra musí být provedeno pomocí závitů. Středění kontaktovací sestavy bude na vnější tvar konektoru, s nastavením síly přitlaku. Vyhodnocení bude probíhat na základě tolerance uvedené ve výkresové dokumentaci, neshodné díly nebudou dále zkoušeny na dalších pozicích.

3.2.3 Měření a vyhodnocení izolace mezi vinutím a pláštěm elektromagnetu

Jako testovací zařízení bude použito SPS-Electronic IL3801F. Měření musí být provedeno čtyř vodičově mezi oběma kontakty vinutí a pláštěm elektromagnetu, při zkušebním napětí 600V DC. Měřicí soustava musí být galvanicky oddělená od ostatních částí stroje. Kontaktování bude provedeno pomocí pružných pozlacených kontaktů výrobce Ingun. Propojení kontaktu a pouzdra musí být provedeno pomocí závitů. Středění kontaktovací sestavy bude na vnější tvar konektoru, s nastavením síly přitlaku. Vyhodnocení bude probíhat na základě maximálního unikajícího proudu 50 μ A, neshodné kusy nebudou dále zkoušeny na dalších pozicích.

3.2.4 Kontrola těsnosti sestavy elektromagnetu

Testování bude provedeno pomocí tlakového vzduchu, cílem testu je ověření těsnosti instalovaného O-kroužku. Jako testovací zařízení bude použito měřidlo CETA 815. Utěsnění bude provedeno na rovině C dle výkresové dokumentace. Přítlačná síla těsnící hlavy bude regulovatelná, a bude nastavena na polovinu možného rozsahu. Předpokládané parametry testu:

- Testovací tlak: 2bar +/-0,05
- Čas stabilizace: 5s
- Čas měření: 3s
- Maximální pokles tlaku: 15 Pa

Vyhodnocení bude probíhat na základě stanoveného maximálního úniku.

3.2.5 Měření a vyhodnocení magnetické silové charakteristiky

Elektromagnet bude měřen ve vertikální poloze osou kotvy směrem nahoru, hmotnost kotvy bude od měření odečtena. Měření bude probíhat vůči rovině C dle výkresové dokumentace. Sekvence měření bude probíhat následovně:

- Elektromagnet bude přitlačen k referenčnímu dorazu rovinou C, minimální přítlačná síla bude 100N. Souběžně s přitlačením bude nakontaktován.
- Elektromagnet bude nabuzen maximálním proudem, tím dojde ke zdvihu kotvy do horní úvratě
- Stabilizace proudu po dobu 1s
- Pohyblivý hrot tenzometru se přesune ke kotvě elektromagnetu ve směru osy kotvy, a po kontaktu s kotvou odečte polohu maximálního vysunutí s přesností 0,01 mm
- Měření průběhu $F=f(s)$ ve třech cyklech od bodu kontaktu po hodnotu specifikovaného zdvihu, při třech hodnotách budícího proudu

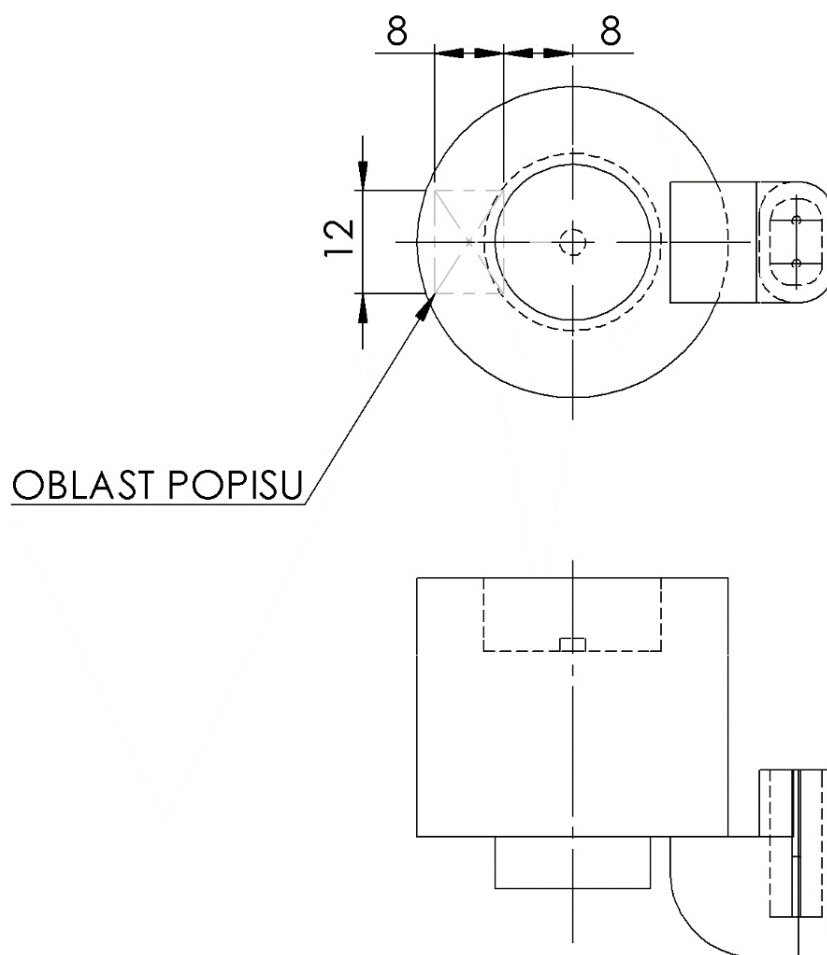
Výrobce zařízení není specifikován, pro napájení bude použit proudový zdroj PWM (pulzně šířková modulace) 2 KHz s regulací proudu od 0 do 2A. Stabilita proudu během měření musí být v rozsahu $\pm 1\%$ jmenovité hodnoty. Zařízení bude obsahovat nulovací etalon pro nastavení referenční hodnoty měřicího hrotu vůči dosedací základně, a dále bočník pro měření budicího proudu.

3.2.6 Kontrola geometrie konektoru

Kontrola bude zaměřená zejména na piny konektoru, jejich rozteč na vrcholu, tvar vnitřní a vnější části konektoru dle výkresové dokumentace. Jako zařízení bude použit kamerový měřicí systém s monitorem, výrobce ani dodavatel není specifikován.

3.2.7 Popis shodných dílů

Všechny shodné díly budou označeny sériovým číslem pomocí gravírovací popisovací hlavy na plastové části dílu v oblasti konektoru, jak je znázorněno na obr. 7. Jako gravírovací zařízení bude použito zařízení výrobce Markator. Popis bude obsahovat rok výroby, kalendářní den výroby a sériové číslo.



Obr. 7) Oblast popisu

3.3 Obecné požadavky

3.3.1 Výrobní kapacita

- Plánované využití je 250 dní v roce v třisměnném provozu, při délce směny 7,5 h.
- Požadovaná výrobní kapacita zařízení je 500 000 kusů ročně při úrovni 85% celkové efektivnosti zařízení
- Požadovaný takt stroje 34,4 s /díl
- Předpokládaný počet vyrobených kusů po dobu délky projektu je 2 500 000
- Zmetkovitost zaviněná interními procesy nesmí být větší než 0,05%

3.3.2 Konstrukční požadavky

Maximální půdorysný rozměr pracoviště není specifikován, přípustná výška zástavby bude do 2,5 m. Základní nosný rám bude zhotoven ze svařované konstrukce, konce budou vybaveny výškově nastavitelnými dorazy se zvýšenou eliminací přenosu vibrací. Konstrukce rámu musí umožňovat manipulaci s vysokozdvížným vozíkem. Základová deska bude, dle výrobních možností, zhotovena jako monolit, v případě hliníku bude osazena závitovými vložkami. Měřicí přístroje, PC, stejně tak ventilový terminál bude umístěn mimo pracovní prostor stroje z důvodu šíření nečistot. Poloha zakládacího lůžka bude navržena tak aby při manipulaci s díly nedošlo k poškození dílu či stroje. Zakládací přípravky musí být vyrobeny z magneticky měkkého, a zároveň mechanicky odolného materiálu. Výšková poloha zakládacích přípravků musí splňovat základní ergonomická pravidla práce ve stoje. Pracovní prostor stroje musí být volně přístupný otevřením krytu pro snadný servis, seřízení čištění apod. Bezpečnostní zámky krytů bude možné otevřít až po odblokování krytu pomocí klíče. Vnitřní prostor stroje bude čištěn pomocí vysavače, vnitřní uspořádání musí být k tomu uzpůsobeno, současně musí být při čištění zamezeno potenciálnímu poškození stroje změn poloh čidel, kamer apod.

3.3.3 Požadavky na hardwarové vybavení a konektivitu

- PC HP Z232
- Monitor 22'' Full HD s dotykovým ovládáním
- Operační systém Windows 7 Professional
- Síťové připojení PC/LAN
- Dálkové připojení PLC/LAN
- UPS s garancí napájení minimálně 20min. z důvodu zamezení ztráty dat
- Záznamová aplikace kompatibilní s ODBC (Open database connectivity)
- PLC Siemens Simatic

3.3.4 Sběr dat a vizualizace výsledků měření

Parametry každého testovaného dílu budou uloženy ve společné databázi shodných a neshodných měření. Vizualizace výsledků měření budou výstupem všech uvedených parametrů ze záznamové databáze a statistické informace o taktu zařízení. Je vyžadováno zobrazení stavu aktuálního kusu na výstupu, kde bude uvedená značka stavu (zelená/červená), spolu s naměřenými hodnotami.

3.4 Dokumentace

Dokumentace bude obsahovat:

- Prohlášení o shodě (CE)
- Výchozí revize elektrického zařízení
- Lehce srozumitelný návod k obsluze
- Detailní návod k údržbě, seřízení a případnou kalibraci
- Kompletní technickou dokumentaci včetně výkresů a schémat zapojení
- Řídicí program pro PLC
- Seznam náhradních a spotřebních dílů včetně dodavatelů
- Výkresová dokumentace spotřebních vyráběných mechanických prvků
- 3D model zařízení ve formátu exe
- Plán údržby
- Protokoly kalibrací všech měřidel a zařízení
- Protokoly o způsobilosti měřidel MSA (Measurement system analysis)
- Veškerá dokumentace je požadována v jednom provedení a musí být v českém jazyce.

3.5 Záruka a servis

Požadovaná záruka je minimálně 24 měsíců od úspěšného ukončení zkušebního provozu zařízení. V případě poruchy zařízení, která nemůže být odstraněna technikem provozovatele, musí být zajištěna možnost vyslání servisního technika.

4 NÁVRH STROJE

Koncepty výrobních a pomocných prostředků ve výrobním podniku mohou být dosti rozdílné. Pokud se budeme zabývat prostředky lehkého strojírenství, které slouží k výrobě relativně malých výrobků, tak výroba jejich jednotlivých dílců může probíhat na jednoúčelových automatech, nebo na standardizovaných výrobních strojích optimalizovaných pro dané operace. Bude se tedy jednat o více či méně zákaznický upravená obráběcí centra, či tvářecí stroje vycházejících ze sériově vyráběných výrobních strojů.

Jiná situace je ovšem u montážních a kontrolních strojních zařízení. Vzhledem k tomu že výrobky jednoho podniku mohou mít dosti rozdílný tvar a montážní postup, je zpravidla nemožné přizpůsobit již vyrobené montážní či kontrolní strojní zařízení na jiný typ výrobku. Proto jsou tato zařízení konstruována s ohledem na cenu, čas vývoje a rychlost zavedení do provozu protože jde zpravidla o prototyp, jehož životnost je v rámci jednoho výrobního programu a nepočítá se s výrobou více kusů. To je případ i tohoto testovacího zařízení.

4.1 Charakteristické znaky jednoúčelových strojních zařízení

Charakteristické znaky těchto jednoúčelových strojních zařízení v podstatě vycházejí z výše uvedeného požadavku na cenu a rychlé zavedení do provozu. Mezi tyto charakteristické znaky patří.

4.1.1 Rámy

Pro tento typ jednoúčelových zařízení připadají v úvahu ocelové svařované rámy a rámy šroubované z hliníkových profilů.

Pro svařované konstrukce rámu se používají oceli třídy 11 v požadovaných polotovarech. Jejich výhodou je, že poskytují stroji dostatečně tuhý základ pro provádění technologické operace. To je často nezbytné pro zachycení a tlumení sil vznikajících uvnitř rámu, nebo vibrací které by se do stroje přenášely z okolí. Mají samozřejmě daleko vyšší tuhost a pevnost než rámy hliníkové. Na rozdíl od hliníkových šroubovaných rámu jsou však složitější na přípravu výroby a výrobu, mají větší hmotnost a jsou časově náročnější na realizaci a přestavby.

Naopak hliníkové rámy jsou současný trend ve výrobě rámu jednoúčelových strojů. Ve výrobních podnicích lze vidět celé linky sestavené na hliníkových profilech. Základem jsou tažené hliníkové profily s podélnými drážkami, do kterých se vkládají spojovací prvky nebo jiné prvky modulárního systému. Lze tak jednoduše sestavovat rámy strojů, pracovní stoly, transportní vozíky, robotizovaná pracoviště, oplocení, regály a další. Tyto modulární systémy tedy umožňují postavit stroje levněji a rychleji [19].

Nelze říci která z uvedených variant konstrukce rámu je lepší, to záleží na charakteru stroje a na silách které uvnitř rámu vznikají. Při navrhování rámu je tedy potřeba zvážit operace, které se dějí ve stroji a podle toho vybrat optimální variantu. Jako velice výhodná se jeví kombinace obou technologií. Použití svařovaného rámu jako základ stroje a pro další nosné prvky, které nevyžadují takovou tuhost a pevnost použít některý ze systémů hliníkových profilů. Vzniká tak kompaktní celek, který spojuje výhody obou typů.

4.1.2 Materiály

Pro tyto stroje je typické použití hliníkových slitin, ze kterých se vyrábějí základové desky nosné komponenty, spojovací dílce, bočnice a různé držáky.

Použití slitin hliníku je při stavbě jednoúčelových zařízení velmi výhodné. Jedná se totiž o dostupný materiál, mezi jehož výhody patří hlavně jeho relativně vysoká pevnost vzhledem k nízké měrné hmotnosti, snadná obrobitelnost a odolnost vůči korozi.

Samotný hliník se ve své čisté formě používá zřídka, častější je použití jeho slitin. Do hliníku se přidává hořčík, měď, mangan, křemík chrom, olovo, cín a zinek. Kombinací těchto prvků vznikají slitiny s různými vlastnostmi, což předurčuje hliník k velmi rozsáhlému použití. Vzhledem k tomuto množství různých slitin, jsou specifické i požadavky na nástroje a techniky obrábění. Kvůli komplexnější metalurgické struktuře je obrábění většiny slitin hliníku snazší než obrábění čistého hliníku (který se tzv. maže), neboť mikrostruktura hliníkových slitin má významný vliv na charakter obrábění. Nejsložitější je obrábění slitin hliníku s obsahem křemíku vyšším než 10%, neboť tvrdé částice volného křemíku způsobují znatelně vyšší opotřebení nástroje [8].

Pro výrobu dílců se používají zejména tvářené slitiny určené pro všeobecné použití, většina těchto slitin je velmi dobře obrobitelná. Materiál lze sehnat v nejrozličnějších polotovarech, mezi které patří tyče kruhové, trubkové, ploché, čtyřhranné, šestihranné, dále pak profily tvaru U, L, Z, a další. Mechanické vlastnosti jsou ovlivněny jednak použitým materiálem polotovaru a jednak způsobem zpracování polotovaru. U tvářených slitin lze mechanické vlastnosti ovlivnit stupněm jejich plastické deformace za studena, přičemž dosáhneme takzvaného deformačního zpevnění. Druhou možností jak zvýšit mechanické vlastnosti je vytvrzování, neboli tepelné zpracování, které se sestává z rozpouštěcího ohřevu, rychlého ochlazení a následného umělého nebo přirozeného stárnutí [9].

Při ceně běžně dostupné oceli 25 až 30 Kč/kg, a ceně slitin hliníku 100 Kč/kg (ceny se liší podle dodávaného polotovaru), vychází cena materiálu na výrobu stejného dílu z oceli přibližně o 15 až 30 % levněji z ceny hliníku. Avšak použití oceli přináší nevýhody v podobě nutnosti povrchové úpravy, vyšší hmotnosti a časově náročnější obrobitelnosti.

Výše uvedené vlastnosti předurčují hliník jako ideální materiál pro výrobu dílců, u kterých nepředpokládáme velké mechanické namáhání. Pro součásti u kterých předpokládáme vyšší mechanické namáhání, nebo namáhání otěrem je třeba zvolit jiný materiál.

V případech kdy jsou mechanické vlastnosti hliníkových slitin již nedostačující, se pro výrobu dílců používá automatová ocel třídy 17 s antikorozními účinky, nebo jiný typ oceli dle požadovaných mechanických vlastností. Při výběru materiálu je také nutné respektovat hospodárnost výroby daného dílce, neboť materiál a následné zušlechťení může zásadně ovlivnit cenu dílce.

4.1.3 Pneumatické pohony

Pro toto zařízení byly zvoleny pneumatické prvky společnosti Festo, důvodem jsou především podnikové standardy, vycházející z dlouhodobé spolupráce a zkušeností. Avšak výsledné řešení by se v zásadě nelišilo i při použití komponent jiného výrobce.

Výhodou pneumatických pohonů v porovnání s elektrickými či hydraulickými pohony je hlavně jejich jednoduchá konstrukce, vysoká spolehlivost, bezpečnost, minimální údržba, nízká hmotnost a cena.

Mají však také řadu nevýhod, mezi které patří malá síla při nízkém tlaku vzduchu, citlivost na nečistoty, vysoká cena provozního média a hlavně nízká tuhost mechanismu. Díky tomu lze jen těžko realizovat pneumatické pohony se složitějším ovládáním jako je například zastavení v meziplochách apod. I přes tyto nedostatky jsou pneumatické pohony velmi rozšířené, z toho důvodu musí být výrobní prostory uzpůsobeny pro jejich využívání.

Použití pneumatických pohonů zahrnuje výrobu, úpravu, rozvod stlačeného vzduchu a volbu vhodných pneumatických pohonů a ovladačů. Stlačený vzduch je vyráběn centrálními kompresory, které z pravidla slouží pro zásobování celého výrobního úseku. Mohou to být kompresory šroubové, pístové či membránové a jsou vybaveny zásobníkem, který zaručuje plynulou dodávku stlačeného vzduchu o tlaku 7 až 10 bar. Stlačený vzduch je rozváděn sítí trubek a hadic k místům odběru. Každé zařízení, které vzduch odebírá, by mělo obsahovat jednotku úpravy stlačeného vzduchu, která se skládá ze vzduchového filtru, kondenzační nádoby a regulačního tlakového ventilu. Tato jednotka slouží k filtraci nečistot, kondenzované vody, a umožňuje nastavit požadovaný pracovní tlak na vstupu do zařízení. Dále je vzduch rozváděn přes ventilový terminál. Terminál je složen z jednotlivých cestných ventilů, které jsou elektromagneticky ovládány z řídicího systému, a vyvozují požadovaný pohyb jednotlivých pneumatických pohonů [10].

Princip funkce pneumatických pohonů je vcelku jednoduchý, přivedením stlačeného vzduchu do pohonu přesouváme píst, nebo křídlo pohonu, což vyvozuje požadovaný pohyb a sílu na výstupním členu. Pohony jsou konstruovány jako lineární (pístové) nebo rotační (lamelové a turbínové). Při výběru pohonu jsou pro nás důležité tyto parametry:

- Síla/moment pohonu
- Zdvih/úhel natočení
- Rychlost/úhlová rychlost
- Spotřeba vzduchu

Síla je specifická vlastnost pohonu, která závisí na činném průřezu pohyblivého prvku (pístu, křídla, membrány apod.), a na vstupním tlaku a účinnosti pohonu. Účinnost pohonů je rozdílná, a vychází z konstrukčního provedení jednotlivých typů.

Síla lineárního pneumatického pohonu je dána známým vztahem:

$$F = p \cdot S \cdot \eta \quad (1)$$

η – účinnost pohonu, u dvojčinných pohonů je obvyklá účinnost 0,9, u jednočinných 0,8 a u pohonů s vnitřním tlumením je přibližně 0,5 až 0,6 [10].

Pro zpětnou sílu u dvojčinného pohonu platí:

$$F_{zpět} = \left[\left(\frac{D^2 * \pi}{4} \right) - \left(\frac{d^2 * \pi}{4} \right) \right] * p \quad (2)$$

Výsledná síla potřebná pro chod mechanismu je dána vztahem:

$$F_v = F_z * \sin\beta + F_T + F_{DYN} \quad (3)$$

Síla nutná pro rozběh mechanismu

$$F_{DYN} = m * a \quad (4)$$

Rychlost pohybu pohonu je dána rozdílem tlaků před pístem a za pístem a činnou plochou pohonu, výsledná rychlost závisí hlavně na rychlosti vtoku vzduchu do pohonu před pístem, a rychlosti vypuštění vzduchu za pístem. Rychlost pohonu lze regulovat pomocí škrťacích ventilů, které fungují na principu změny průřezu potrubí, tím ovlivňují rychlost proudění vzduchu a výslednou rychlost pohybu pístnice. Tyto škrťací ventily mohou být jednosměrné nebo obousměrné, se škrcením na vstupu či na výstupu.

Základní předpoklad je, že všechny pohony budou osazeny jednocestnými škrťacími ventily na výstupu, které jsou jako součást nástrčného šroubení (typ GRLA), čímž budeme schopni plynule regulovat rychlost pohybu v obou směrech. Dále jsou všechny pohony vybaveny magnetickými snímači koncových poloh (typ SMT), které slouží ke zprostředkování informace o poloze pohonu [20].

V některých případech je vhodné znát spotřebu vzduchu jednotlivých pohonů, nebo spotřebu vzduchu celého stroje, například pro dimenzování potrubí, potřebný výkon kompresoru atd. Spotřebu vzduchu lze spočítat pomocí následujícího vzorce [40].

$$Q_{pr} = (S_{p1} + S_{p2}) * s * n * \frac{p_{atm} + p_p}{p_{atm}} \quad (5)$$

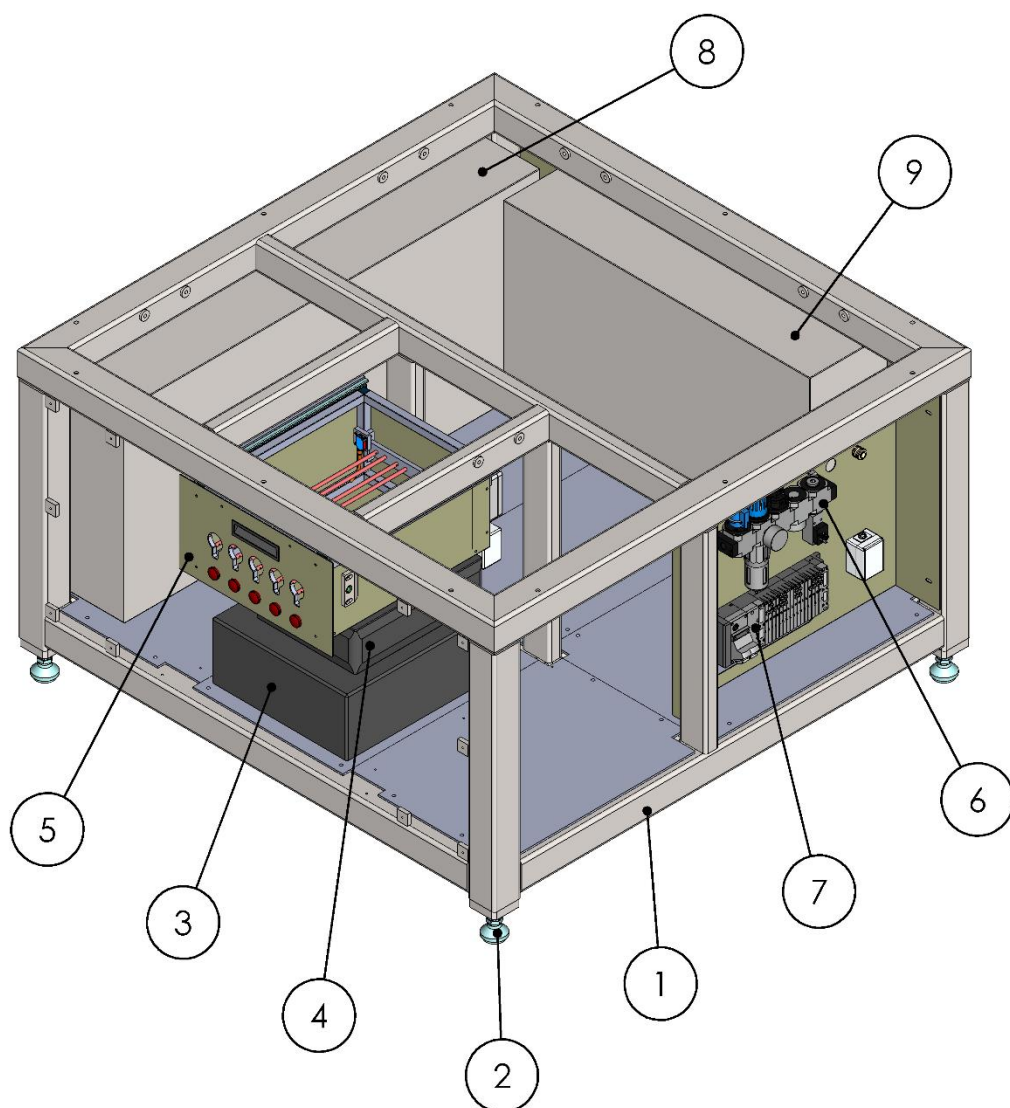
4.1.4 Lineární vedení

Vzhledem k tomu že samotné pneumatické pohony bez vedení jsou citlivé na mimosové zatížení je ve většině případů pneumatický pohon doplněn o lineární kluzné nebo častěji kuličkové vedení v podobě kuličkových pouzder či vozíků od výrobce Hiwin. Tyto lineární vedení tedy slouží k zachycení vnějších sil, které by jinak působily na pístnici pneumatického pohonu. Hlavními znaky těchto vedení je vysoká tuhost, nízké tření a díky tomu i vysoká účinnost [21].

4.2 Koncept stroje

V souladu se zadáním je stroj koncipován jako karuselový otočný stůl, který přemísťuje zkoušené elektromagnety mezi jednotlivými měřicími stanicemi. K měření jednotlivých parametrů jsou použita sofistikovaná měřicí zařízení citlivá na vnější vlivy zejména rázy a vibrace, které by mohli ovlivnit výsledky měření. Z toho důvodu jsem se rozhodl pro svařovaný rám, který bude sloužit jako základ stroje.

Rám (1) je svařen z profilů běžně dostupné konstrukční oceli třídy 11. Pro stavbu jsem použil profily tloušťky 4mm v rozměrech 80x80mm a 80x40mm. Svařovaný rám je postaven na čtyřech otočných nohách (2) se zvýšenou eliminací vibrací. Ve svařovaném rámu je umístěn počítač (3) se záložním zdrojem (4), nok box na neshodné kusy (5), jednotka na úpravu stlačeného vzduchu (6), ventilový terminál (7) a dva rozvaděče (8, 9), do kterých je umístěna elektrická výzbroj stroje. Zařízení je napájeno ze sítě 400V / 50Hz a napájecí kabel je veden přímo do rozvaděče.

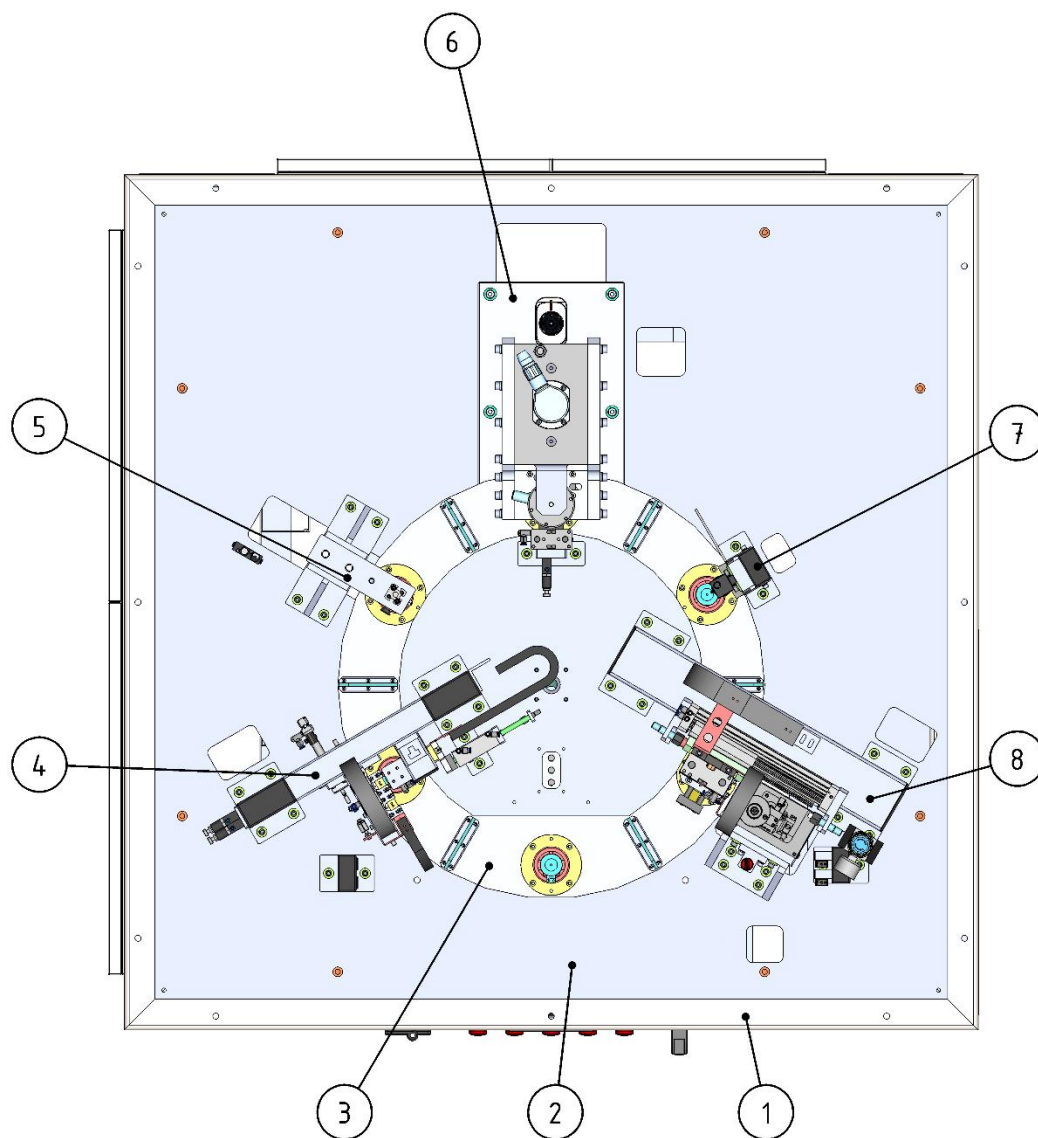


Obr. 8) Spodní část rámu: 1- svařovaný rám, 2- stavěcí nohy, 3- PC, 4- záložní zdroj, 5- nok-box, 6- jednotka úpravy stlačeného vzduchu, 7- ventilový terminál, 8, 9- rozvaděče elektrické energie

Na svařovaném rámu (1) je pak uchycena základová deska (2). Na této desce je uchycen mechanismus karuselu (3) a sestavy jednotlivých měření tedy měření odporu a izolace (4), měření těsnosti (5), měření silové charakteristiky (6), kamerová kontrola geometrie konektoru (7) a sestava popisu (8). Je tedy potřeba, aby deska byla dostatečně tuhá a tvarově stabilní.

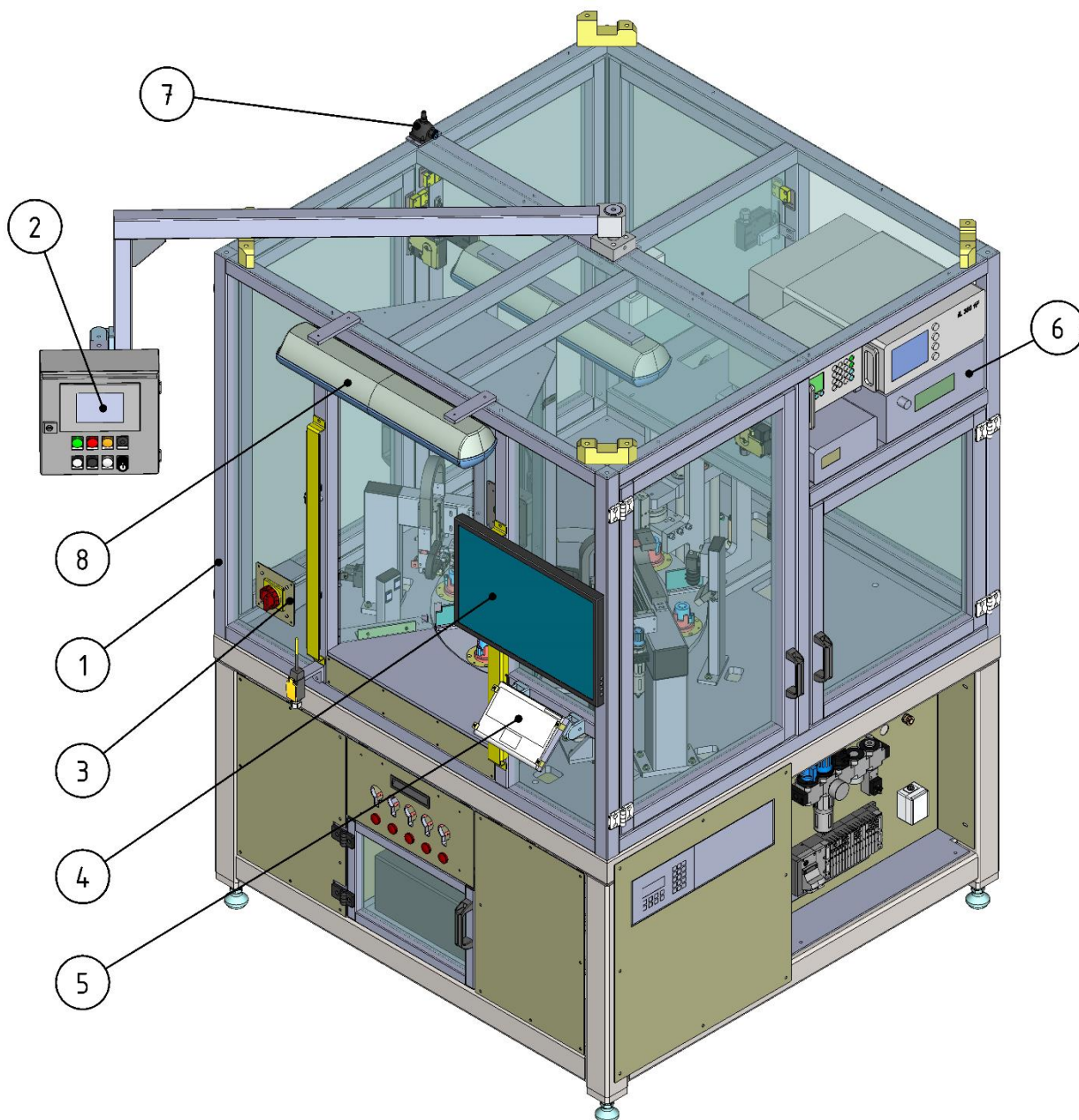
Při výběru vhodného materiálu jsem se rozhodoval o použití korozivzdorné oceli, standardní konstrukční oceli nebo slitiny hliníku. Deska z korozivzdorné oceli byla předem zavrhnuta, protože podle předchozích zkušeností docházelo k následnému kroucení desky. Deska z běžné konstrukční oceli by sice poskytla tvarově stálou a tuhou základnu, na druhou stranu by byla zbytečně mohutná a její použití by přineslo další úskalí v podobě nutnosti povrchové úpravy a omezením ze strany dodavatelů. Jako nejvhodnější se jeví základovou desku nechat vyrobit ze slitiny hliníku.

Pro desku jsem nakonec vybral materiál EN AW 5083. Polotovár desky je vyráběn tak aby se do materiálu nevnašelo žádné pnutí, to má za následek výbornou rozměrovou stálost. Desky jsou dodávány s výslednou drsností povrchu Ra 0,4 při toleranci tloušťky $\pm 0,1\text{mm}$ [22].



Obr. 9) Vnitřní uspořádání: 1- svařovaný rám, 2- základová deska, 3- mechanismus karuselu, 4- sestava měření odporu a izolace, 5- sestava měření těsnosti, 6- sestava měření silové charakteristiky, 7- kamerová kontrola, 8- sestava popisu

Horní část stroje se skládá z rámu (1) vyrobeného z hliníkových profilů Bosch Rexroth. Na rámu je uchycen ovládací panel (2) na otočném rameni, přepínač pro zapnutí stroje (3), dotykový monitor (4) s klávesnicí (5), měřicí přístroje (6) přípojka pro stlačený vzduch (7), a osvětlení (8). Na přední straně je základací pozice kde operátor zakládá zkoušené díly. Na ostatních stranách jsou dveře, které slouží k přístupu při montáži, ladění a servisním činnostem. Všechny otvory jsou vyplněny průhledným polykarbonátem. Tento koncept spojuje výhody obou typů rámu. Na jedné straně tuhost a pevnost svařované konstrukce a na straně druhé flexibilitu a jednoduchost šroubovaného rámu.



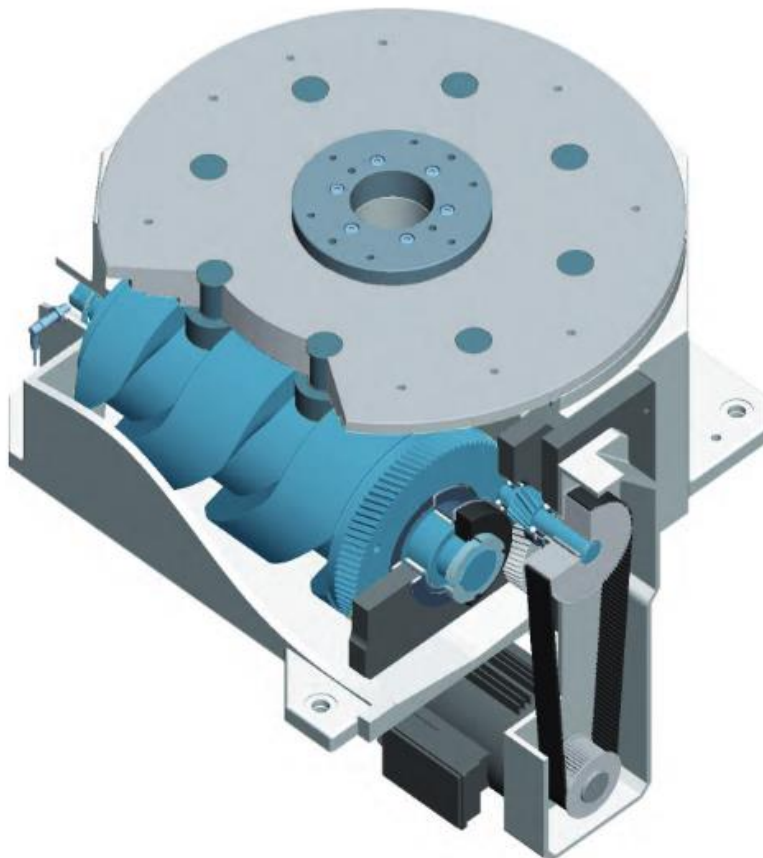
Obr. 10) Pohled na celý stroj: 1- horní část rámu z hliníkových profilů, 2- ovládací panel, 3- přepínač pro zapnutí, 4- dotykový monitor, 5- klávesnice, 6- jednotlivá měřicí zařízení, 7- přívod tlakového vzduchu, 8- osvětlení

4.3 Otočný stůl

Pro pohon karuselu je potřeba zvolit vhodný otočný stůl s dostatečnou rychlostí a přesností. V dnešní době je na trhu velké množství různých typů otočných stolů, jejichž koncepce je přizpůsobena dané oblasti použití. Navrhovaný stroj vyžaduje manipulaci s pevným počtem poloh a konstantním směrem otáčení. Pro tuto aplikaci se v praxi nejčastěji využívají vačkové otočné stoly.

Váčkové polohovací stoly jsou optimální volbou pro aplikace, kde je potřeba polohovat vždy o stejný úhel, a které vyžadují přesné polohování za rozumnou cenu. Mechanická vačka vyvolávající přerušovaný otáčivý pohyb je realizována pomocí vačkového hřídele, který je v podobě válce s vysoce přesně obrobenou drážkou. Do této drážky zapadá čep spojený s otočným talířem. Tento koncept umožňuje velmi přesný, hladký a bezvůlový otáčivý pohyb.

Váčkový polohovací stůl pracuje v přerušovaném chodu. To znamená, že vačkový hřídel cykluje o jednu otáčku, což má za následek otočení stolu o jednu pozici. Snímání přejetí stolu do požadované polohy je realizováno pomocí jednoduchého snímače, který snímá otočení vačkového hřídele právě o jednu otáčku, a dává informaci řídicímu systému, která slouží k povelu startu a zastavení motoru. Doba prodlevy, která je dána tvarem drážky vačkového hřídele poskytuje dostatečný prostor pro zastavení motoru bez ovlivnění výchozí polohy. Pro iniciování pohybu stolu vyšle PLC signál ke spuštění motoru, přičemž se vačka otočí o jednu otáčku, poté snímač natočení vačkového hřídele vyšle impuls k zastavení stolu, právě ve chvíli, kdy vačkový hřídel natočen tak že již nevyvoluje otáčivý pohyb stolu [24]. Otočný stůl zůstává v požadované poloze tak dlouho, než proběhnou všechny potřebné operace ve stanici. Princip funkce je znázorněn na následujícím obrázku.

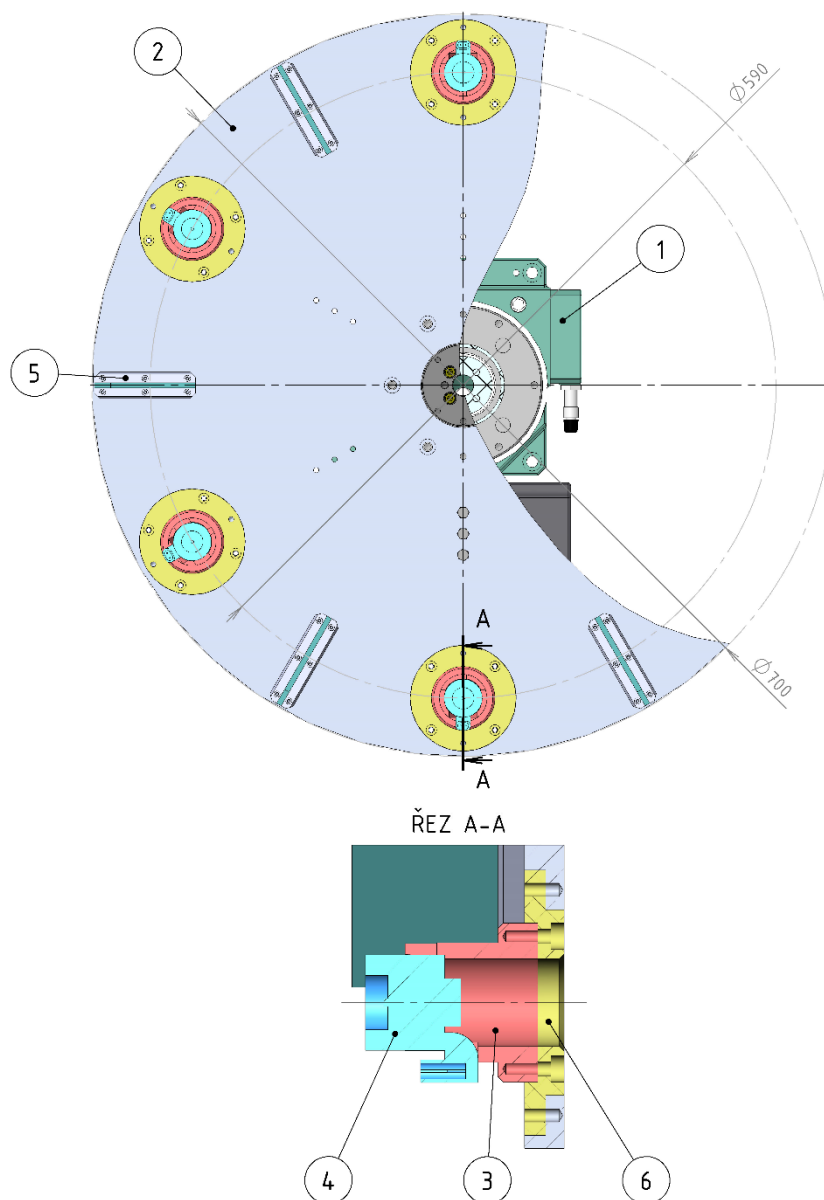


Obr. 11) Otočný stůl Weiss TC 500T [24]

Hlavní výhody vačkových stolu jsou relativně jednoduchá konstrukce a uvedení do provozu, dostatečně přesné polohování při rychlých časech přestavení, spolehlivost a znatelně nižší cena v porovnání s volně programovatelnými NC stoly řízenými servopohony.

Pro přesnou specifikaci vhodného stolu je nutné zjistit zatížení stolu způsobené momentem setrvačnosti a vnějšími silami, počet poloh, požadovanou přesnost a čas přestavení.

Při specifikaci stolu jsem vycházel ze sestavy karuselu, kterou jsem před tím navrhnul. Tato sestava je zobrazena na následujícím obrázku. Karusel je poháněn otočným stolem (1), na kterém je připevněna kruhová deska karuselu (2) ze slitiny EN AW 5083. Na desce karuselu jsou po 60° rozmístěná tvarová lůžka z korozi-vzdorné oceli 1.4305 (3), s elektromagnetem (4) a přepážky (5). Lůžko je elektricky izolováno od ostatních částí stroje přes polyamidovou podložku (6). Tato izolace je nezbytná z důvodu zkoušky izolačního odporu elektromagnetu pomocí vysokého napětí. Pokud by měl elektromagnet poškozenou izolaci, přenášelo by se napětí do okolních částí stroje. Zkouška izolace pomocí vysokého napětí bude popsána níže.



Obr. 12) Sestava karuselu: 1- pohon karuselu, 2- deska karuselu, 3- tvarové lůžko, 4- elektromagnet, 5- přepážka, 6- polyamidová podložka

Pro výpočet hmotnosti a momentu setrvačnosti lze v praxi použít nástroje programu Solidworks, ve kterém je model zpracován. V některých případech je však vhodné porovnat hodnoty programu s kontrolním výpočtem, abychom si ověřili jejich správnost.

Moment setrvačnosti je veličina, která charakterizuje rozložení hmoty rotujícího tělesa vzhledem k ose otáčení. V podstatě lze říct, že moment setrvačnosti je u rotačního pohybu ekvivalentem hmotnosti u pohybu přímočarého. Vztah pro tuto veličinu lze odvodit ze vzorce kinetické energie rotujícího tělesa [11].

$$dE_k = \frac{1}{2} v^2 * dm = \frac{1}{2} r^2 * \omega^2 dm \quad (6)$$

Integrací elementárních kinetických energií pak dostáváme kinetickou energii celého tělesa přes celou hmotnost.

$$E_k = \int_m \frac{1}{2} r^2 * \omega^2 dm = \frac{1}{2} \omega^2 \int_m r^2 dm \quad (7)$$

A právě integrál

$$\int_m r^2 dm \quad (8)$$

představuje rozložení hmotnosti okolo osy rotace, tedy moment setrvačnosti.

$$J = \int_m r^2 dm \quad (9)$$

Nám pro výpočet postačí základní vzorce pro výpočet momentu setrvačnosti často používaných těles. Desku karuselu si zjednodušíme na kruhovou desku bez otvorů, moment setrvačnosti je pak dán vztahem

$$J_1 = \frac{1}{2} * m_1 * r_1^2 \quad (10)$$

Pro zbylé části uchycené na karuselu, tedy lůžka s elektromagnetem a přepážky rozmístěné po obvodě, jsem použil zjednodušený vztah pro moment setrvačnosti prstence

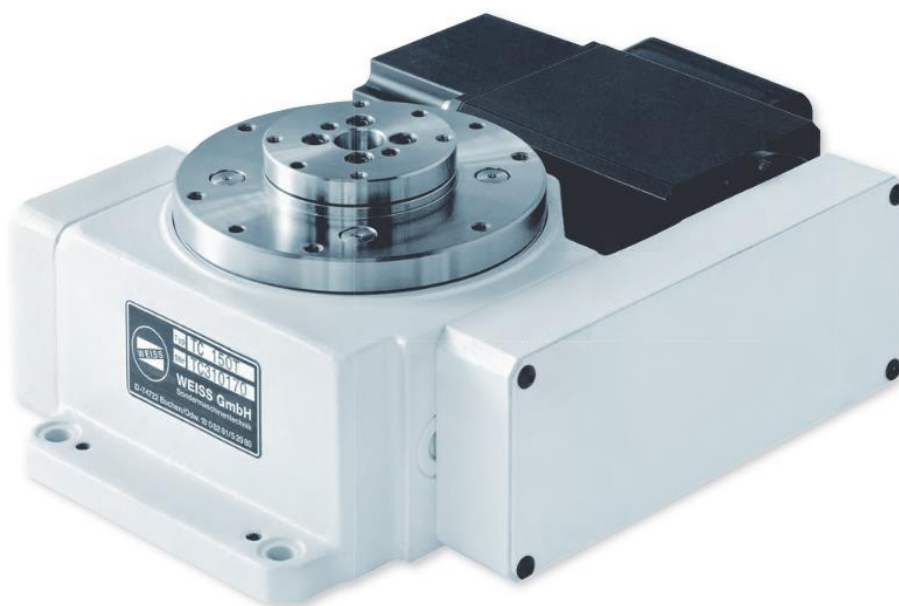
$$J_2 = m_2 * r_2^2 \quad (11)$$

Výsledný moment setrvačnosti je pak dán součtem těchto dílčích momentů a jeho velikost je $1,18 \text{ kg} * \text{m}^2$.

Moment setrvačnosti vypočtený programem Solidworks je $1,09 \text{ kg} * \text{m}^2$. Tento rozdíl je způsoben mimo jiné tím, že výpočet programu na rozdíl od našeho zjednodušeného výpočtu zahrnuje všechny tvarové prvky a detaily, jako jsou otvory v desce, přesné polohy těžiště jednotlivých komponent apod. Výše uvedený zjednodušený výpočet lze brát tedy jako kontrolní, a může nám pomoci odhalit chyby výpočtu programu způsobené například špatným nastavením materiálů jednotlivých dílů.

Po vypočtení momentu setrvačnosti je třeba určit další parametry stolu. Čas přestavení o 60° by měl být do jedné vteřiny, to by pro vačkový otočný stůl neměl být problém. Na stůl nebudou působit žádné vnější síly kromě hmotnosti a momentu setrvačnosti sestavy karuselu. Přesnost polohování stolu se projeví na průměru 590mm, tedy na průměru ve kterém jsou rozmístěna lůžka, a měla by být maximálně v řádu desetin milimetru.

Vzhledem k zavedeným podnikovým standardům bylo předem zřejmé, že pro pohon karuselu použiji otočný stůl od výrobce Weiss. I přes tuto skutečnost jsem se rozhodl udělat průzkum trhu a porovnat stůl s možnými alternativami, které jsou uvedeny níže. Rozhodl jsem se, že nebudu zveřejňovat přímo ceny nabídnutých produktů, proto zde uvádím pouze procentuální porovnání, přičemž referenční hodnotu 100% z ceny má použitý stůl Weiss TC 150T uvedený na následujícím obrázku.



Obr. 13) Otočný stůl Weiss TC 150T [24]

Tab 1) Parametry stolu Weiss TC150 T [24]

Maximální doporučený průměr desky karuselu	cca. 800 mm
Vybrané dělení	6
Maximální moment setrvačnosti desky karuselu	$1,69 \text{ kgm}^2$ (stupeň e)
Doba otočení	0,59 s (stupeň e)
Počet taktů	až 210/min
Napájecí napětí	230/400 V 50Hz
Příkon motoru	0,045 - 0,12 kW (motor BG56)
Hmotnost	23 kg
Přesnost dělení arcsec	$\pm 30''$
Přesnost polohování na průměru 590 mm	$\pm 0,043 \text{ mm}$
Maximální čelní házení talíře na průměru 150 mm	0,01 mm
Maximální obvodové házení talíře	0,01 mm
Cena	100%



Obr. 14) Otočný stůl FIBROTOR® EM [25]

Tab 2) Parametry stolu FIBROTOR® EM [25]

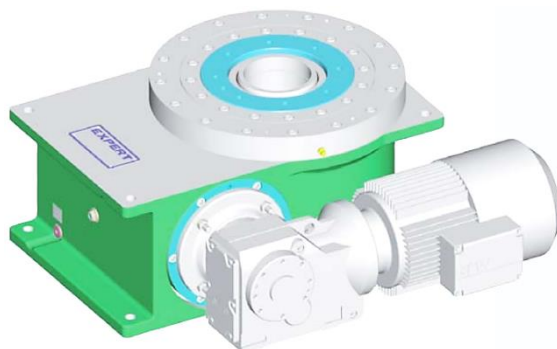
Maximální doporučený průměr desky karuselu	800 mm
Vybrané dělení	6
Maximální moment setrvačnosti desky karuselu	2 kgm^2
Doba otočení	0,49 s
Napájecí napětí	230/400 V 50Hz
Příkon motoru	0,18 kW
Přesnost polohování na průměru 590mm	$\pm 0,037$ mm
Cena	107%



Obr. 15) Otočný stůl FIBROTOR® ER [25]

Tab 3) Parametry stolu FIBROTOR® ER [25]

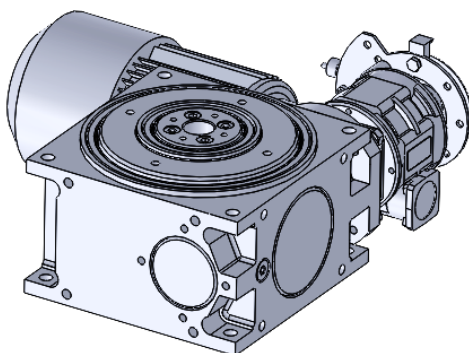
Maximální doporučený průměr desky karuselu	800 mm
Vybrané dělení	6
Maximální moment setrvačnosti desky karuselu	2 kgm^2
Doba otočení	0,48 s
Napájecí napětí	400 V 50Hz
Příkon motoru	0,18 kW
Přesnost polohování na průměru 590mm	$\pm 0,06$ mm
Cena	71%



Obr. 16) Otočný stůl EXPERT-TÜNKERS EGD100 [26]

Tab 4) Parametry stolu EXPERT-TÜNKERS EGD100 [26]

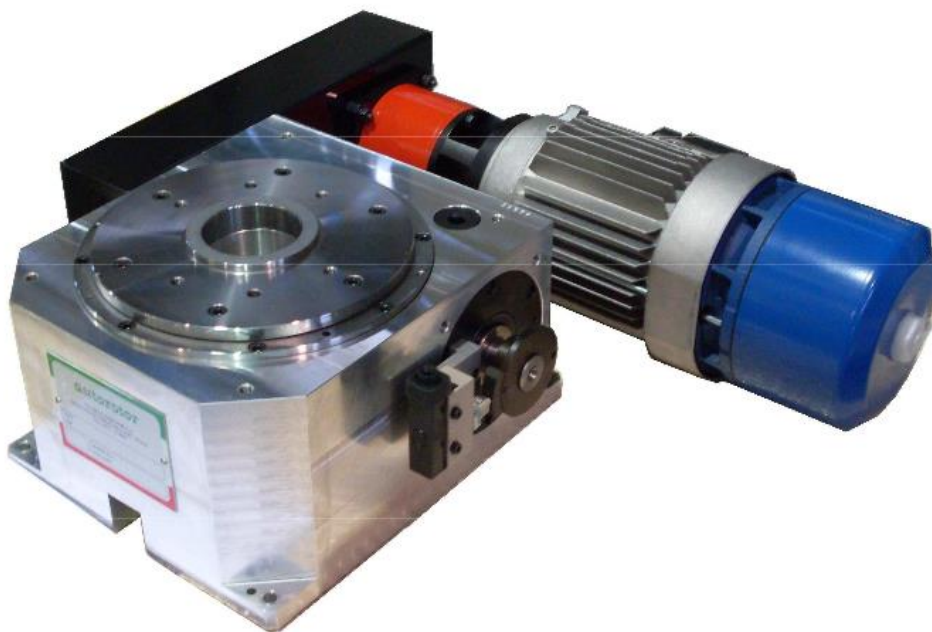
Maximální doporučený průměr desky karuselu	800 mm
Vybrané dělení	6
Maximální moment setrvačnosti desky karuselu	2,7 kgm ²
Doba otočení	0,7 s
Napájecí napětí	400 V 50Hz
Příkon motoru	0,25 kW
Přesnost polohování na průměru 590mm	± 0,086 mm
Cena	123%



Obr. 17) Otočný stůl SOPAP TSa 200-6-270-D [27]

Tab 5) Parametry stolu SOPAP TSa 200-6-270-D [27]

Doporučený průměr desky karuselu	750 mm
Vybrané dělení	6
Maximální moment setrvačnosti desky karuselu	2 kgm ²
Doba otočení	0,64 s
Napájecí napětí	230/400 V 50Hz
Příkon motoru	0,18 kW
Přesnost polohování na průměru 590mm	± 0,11 mm
Cena	73%



Obr. 18) Otočný stůl Autorotor T1606/270° [28]

Tab 6) Parametry stolu Autorotor T1606/270° D [28]

Maximální doporučený průměr desky karuselu	800 mm
Vybrané dělení	6
Maximální moment setrvačnosti desky karuselu	5,93 kgm^2
Doba otočení	0,67 s
Napájecí napětí	230/400 V 50Hz
Příkon motoru	0.22 kW
Přesnost polohování na průměru 590mm	$\pm 0,12$ mm
Cena	91%

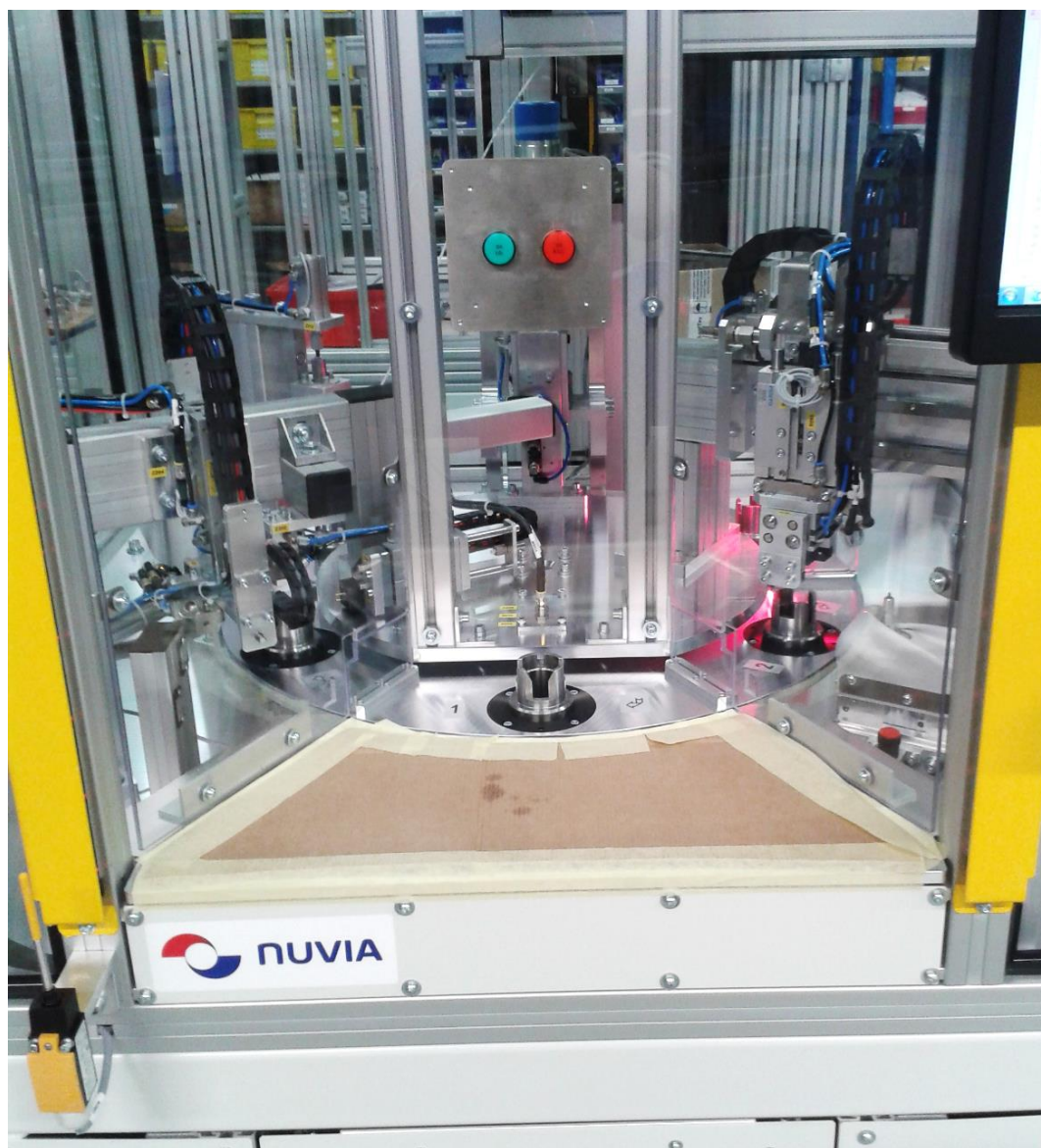
Vzhledem k parametrům jednotlivých stolů je stůl TC 150T dobrou volbou. Stůl poskytuje vysokou přesnost polohování za přijatelnou cenu.

4.4 Pozice 1 zakládání

Na první pozici otočného stolu obsluha zakládá elektromagnet do lůžka karuselu, a vyjímá již otestované díly. Pozice zakládání je vybavena signalizací shody a neshody, v podobě zelené a červené kontrolky nad zakládacím lůžkem. Podle této signalizace obsluha s dílem dále manipuluje.

Výška zakládacího lůžka je 1m od podlahy, a vzdálenost lůžka od přední hrany stroje je 270mm, tyto rozměry jsou navrženy s ohledem na ergonomii pracoviště tak, aby oblast, ve které obsluha manipuluje s dílem, byla v optimální výšce a vzdálenosti, a aby nedocházelo ke zbytečně namáhavým pohybům [12].

Správné založení elektromagnetu do lůžka je kontrolováno pomocí dvojice optoelektronických čidel na odrazku typ WT100L od výrobce SICK. Jedno čidlo snímá založení elektromagnetu do lůžka, a druhé snímá správnou hloubku založení, aby nedošlo k následnému poškození stroje nebo elektromagnetu. Po vyjmutí odzkoušeného dílu, a založení nového dílu obsluha spustí cyklus pomocí pružinového spínače.



Obr. 19) Zakládací pozice

4.5 Pozice 2 měření odporu vinutí a izolačního odporu vysokým napětím

4.5.1 Specifikace měření odporu

Odpor měřené cívky je podle výkresové dokumentace zhruba $5\ \Omega$ (nelze uvést přesnou hodnotu), s tolerancí $\pm 0.2\ \Omega$. Při měření tak malého odporu působí na měřící obvod různé rušivé vlivy, které mohou výsledek měření ovlivnit. Mezi tyto rušivé vlivy patří přechodové odpory, termoelektrické napětí nebo závislost proudu na teplotě [13].

Pro měření je použit přístroj Burster Resistomat 2329. Jedná se o zařízení určené k měření malých odporů v automatizovaných procesech. Přístroj funguje na metodě čtyřvodičového měření, čímž eliminuje chyby vznikající v důsledku přechodových odporů a odporů přírodních kabelů. Dále je přístroj vybaven infračerveným pyrometrem, který slouží k tepelné kompenzaci naměřené hodnoty odporu [30]. Tato metoda je založena na tom, že známe přesnou hodnotu odporu daného vodiče při stanovené teplotě. Pomocí teplotního snímače měříme aktuální teplotu vodiče při měření. Z naměřeného rozdílu teplot vypočteme rozdíl odporu při stanovené teplotě a naměřené teplotě podle následujícího vztahu [11].

$$R_2 = R_1 * [1 + \alpha * \Delta t] \quad (12)$$

4.5.2 Specifikace měření izolace

Opět se jedná o měření odporu, v tomto případě však měříme izolační odpor v řádu desítek $M\Omega$, který tvoří plastové pouzdro ve kterém je zalito vinutí elektromagnetu. Zkouška pomocí vysokého napětí má tedy za úkol změřit reálný odpor této izolace a odhalit případnou poruchu.

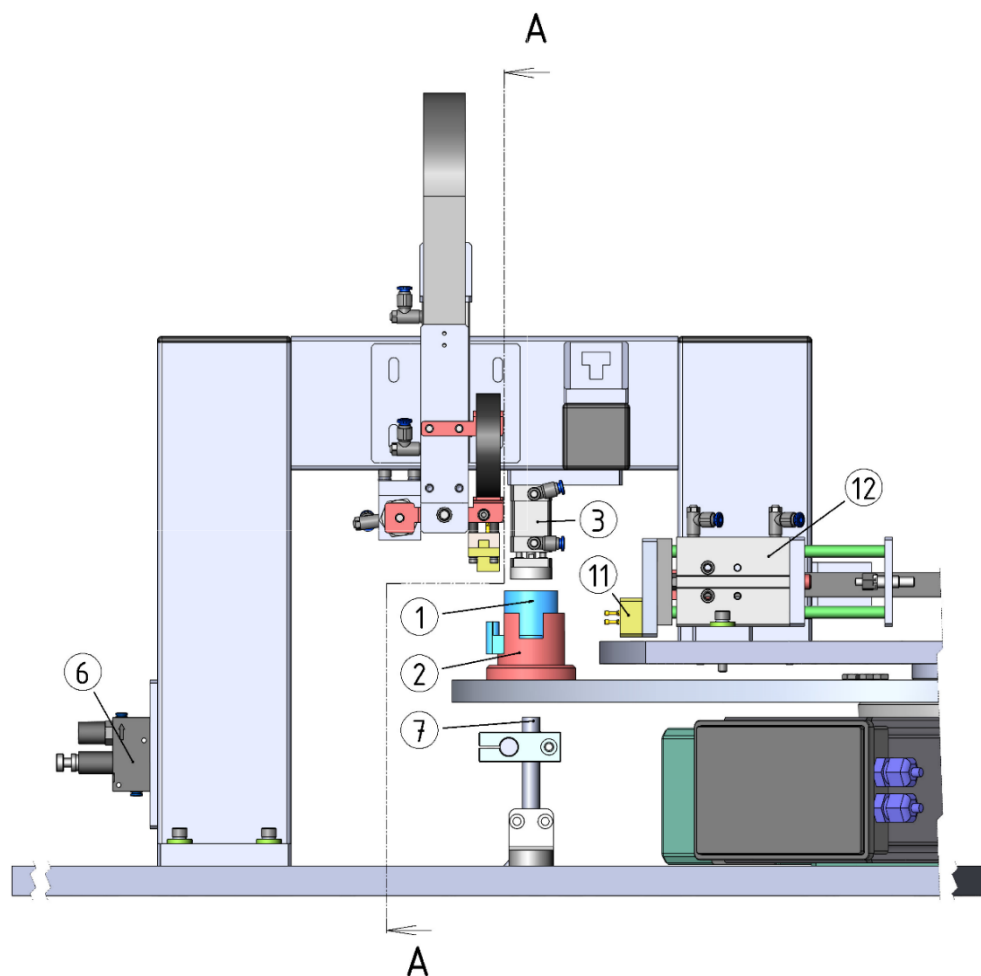
K měření je použito zařízení IL 3801F od výrobce SPS Electronic. Zařízení je určeno pro vysokonapěťové zkoušky a zkoušky izolace podle příslušných norem. Přístroj měří čtyřvodičovou metodou izolační odpory až do $1,5\ G\Omega$, a jeho měřící napětí lze nastavit v rozmezí $100 - 3000\ VDC$. Zařízení splňuje všechny požadavky pro provoz v automatickém cyklu [31].

4.5.3 Postup měření

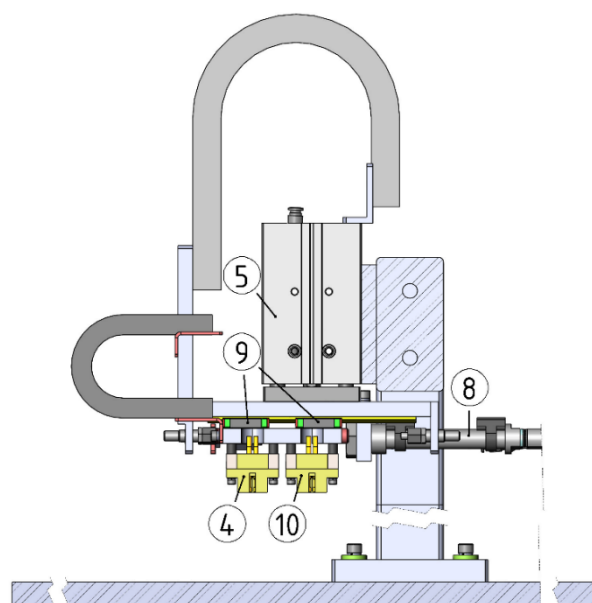
Na obr. 20 je zobrazena sestava měření odporu vinutí a izolace. Po spuštění cyklu a otočení stolu na tuto pozici je nejprve elektromagnet (1) přitlačen do lůžka (2) pomocí fixačního pohonu ADNGF-12-10-P-A (3). Teoretická síla tohoto fixačního pohonu je $68\ N$ při tlaku $6\ bar$, a z pohledu zatížení otočného stolu je to zanedbatelná hodnota.

Po zařizování je elektromagnet nakontaktován konektorem pro měření odporu vinutí (4). Kontaktování provádí pohon s vedením DFM-16-50-B-PPV-A-KF (5). Jedná se o pohon s vnitřním pneumatickým tlumením a je vysouván na konec zdvihu. Koncová poloha je nastavená tak aby byly kontaktovací piny stlačeny na pracovní zdvih $4\ mm$, navíc je pohon vybaven redukčním ventilem (6) abychom mohli nastavit požadovanou sílu při vysouvání. Při měření odporu vinutí je snímána aktuální teplota pomocí pyrometru (7) pod lůžkem karuselu, která slouží pro tepelnou kompenzaci na odpor při teplotě $20^\circ C$.

Po vyhodnocení měření odporu vinutí je sestava kontaktování přestavena pohonem DSNU-12-50-PPV-A (8), který obměňuje konektory pro jednotlivá měření. Tento pohon je doplněn miniaturním kuličkovým vedením MGW7C (9), které zachycuje případné síly a zajišťuje plynulý a přesný pohyb. Následně je elektromagnet nakontaktován druhým konektorem pro měření izolačního odporu (10), a dvojicí odpružených pinů (11) přímo na plášť elektromagnetu pohonem DFM-12-40-P-A-KF (12), který je také vybaven redukčním ventilem. Předpokládaný čas obou měření je do $12s$.



ŘEZ A-A



Obr. 20) Sestava měření odporu vinutí a izolace: 1- elektromagnet, 2- lůžko, 3- fixační pohon, 4- konektor měření odporu, 5- kontaktovací pohon, 6- redukční ventil, 7- pyrometr, 8- pohon obměňující konektory, 9- lineární vedení, 10- konektor měření izolace, 11- dvojice pinů, 12- pohon kontaktování pláště elektromagnetu

Tab 7) Vybrané parametry použitých komponent sestavy měření odporu a izolace

ADNGF-12-10-P-A - Pohon pro fixaci elektromagnetu v lůžku [20]	
Síla vysunutí/zasunutí [6 bar]	68/51 N
Zdvih	10 mm
DFM-16-50-B-PPV-A-KF - Kontaktovací pohon [20]	
Síla vysunutí /zasunutí [6 bar]	121/90 N
Zdvih	50 mm
Maximální rychlost vysouvání	1,5 m/s
Přípustné zatížení pístnice na krut	1,3 Nm
Přípustné zatížení pístnice na ohyb	až 4,8 Nm
DSNU-12-50-PPV-A - Pohon vyměňující konektory [20]	
Síla vysunutí/zasunutí [6 bar]	68/51 N
Zdvih	50 mm
DFM-12-40-P-A-KF - Pohon kontaktování pláště [20]	
Síla vysunutí /zasunutí [6 bar]	68/51 N
Zdvih	40 mm
Maximální rychlost vysouvání	0,8 m/s
Přípustné zatížení pístnice na krut	0,47 Nm
Přípustné zatížení pístnice na ohyb	až 1.4 Nm
MGW7C – Lineární vedení [21]	
Dynamické zatížení C_{dyn}	1400 N
Statické zatížení C_{stat}	2100 N
Moment M_o	16 Nm
Moment M_x	7,3 Nm
Moment M_y	7,3 Nm

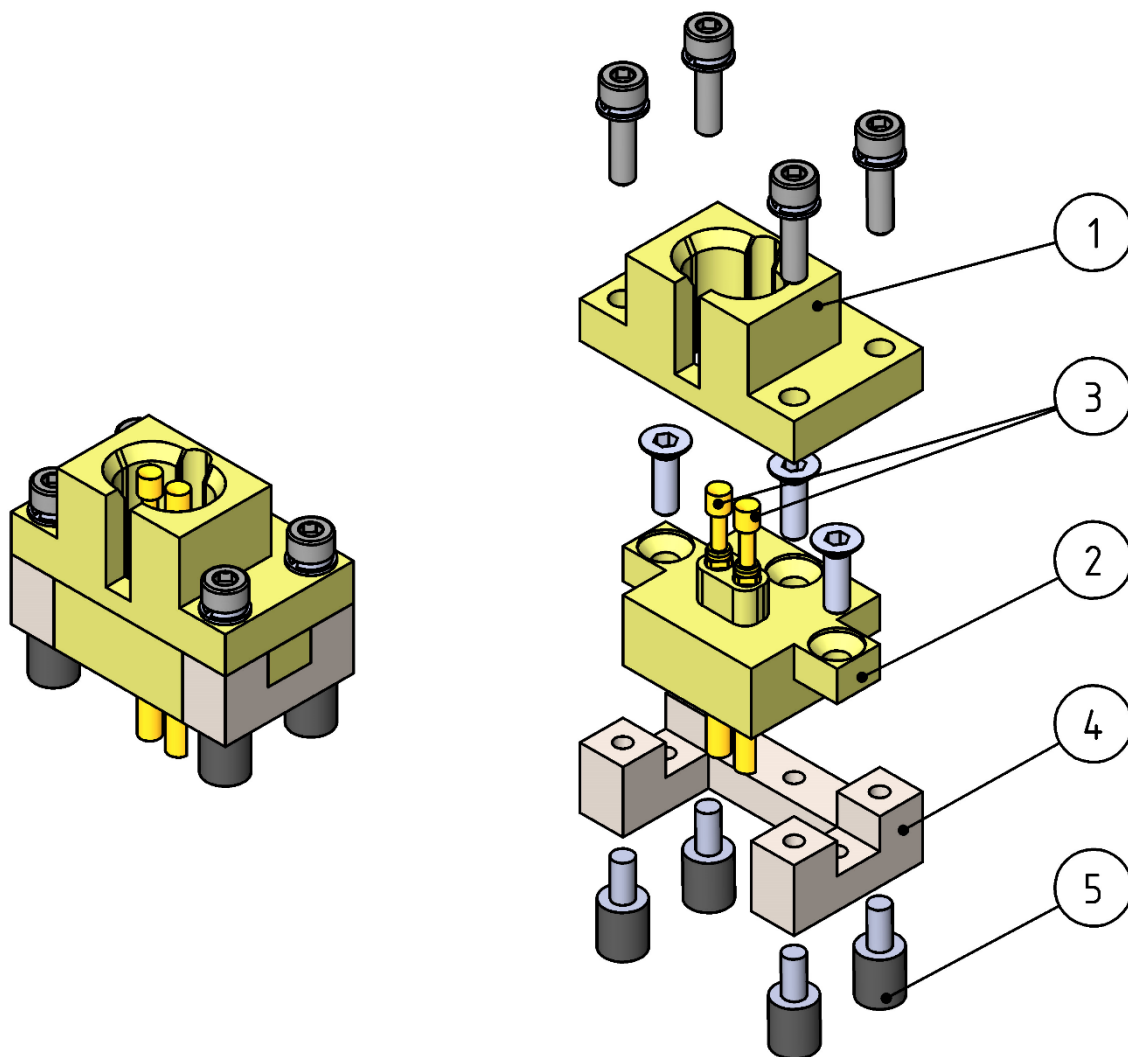
Požadavek zákazníka bylo použít pro kontaktování elektromagnetu odpružené pozlacené piny s vnitřním závitem od výrobce Ingun.

Pro kontaktování konektoru jsem zvolil odpružený hrot GKS 113 303 300 A 06 02 M, jedná se o pozlacený hrot s kalíškovým tvarem hlavy o průměru 3mm. S tělem kontaktu je hrot spojen pomocí závitu M2. Vzhledem k tomu že kontakty elektromagnetu jsou v celku tenké a náchylné k poškození zvolil jsem variantu hrotu s protisílou 0,6 N při pracovním stlačení 4mm. Tomuto hrotu odpovídá tělo pinu KS – 113 30 M2 T.

Pro kontaktování pláště jsem zvolil odpružené piny GKS 113 306 300 A 06 02 M s ozubenou hlavou, které se pro kontaktování pláště hodí víc [32].

4.5.4 Provedení konektoru

Konektor znázorněný na obr. 21 se skládá z několika dílů, a to naváděcí hlavy (1), která slouží k navedení za vnější tvar konektoru elektromagnetu, tělo konektoru (2), ve kterém jsou uchyceny odpružené piny (3), příruba (4) a čtveřice gumových silentbloků (5) které slouží k flexibilnímu navedení v případě vyosení. Navrhnutý konektor nesmí mechanicky poškodit konektor elektromagnetu a zároveň musí být z nevodivého materiálu, z toho důvodu je naváděcí hlava a tělo konektoru vyrobeno z polyamidu.



Obr. 21) Kontaktovací konektor: 1- naváděcí hlava, 2- tělo konektoru, 3- kontaktovací piny, 4- příruba, 5- gumové silentbloky

4.6 Pozice 3 měření těsnosti

Pro měření je použit Leak tester Ceta 815, což je přístroj sloužící ke kontrole netěsnosti pomocí změny tlaku vzduchu [33]. Přístroj je určen pro nasazení ve výrobních linkách a funguje na principu piezorezistivního diferenčního tlakového snímače. Měření spočívá porovnávání měřeného a známého referenčního tlaku. Snímač obsahuje polovodičovou membránu, na kterou jsou z obou stran přivedeny tyto porovnávané tlaky. Polovodičová membrána je modifikována stopovými prvky (akceptory) což způsobí silnou závislost odporu na deformaci, následným vychýlením membrány lze měřit rozdíl mezi referenčním a měřeným tlakem [14]. Pro prověření celého měřicího řetězce se pak používají ventily s definovanou kalibrační netěsností, které simulují požadovaný únik.

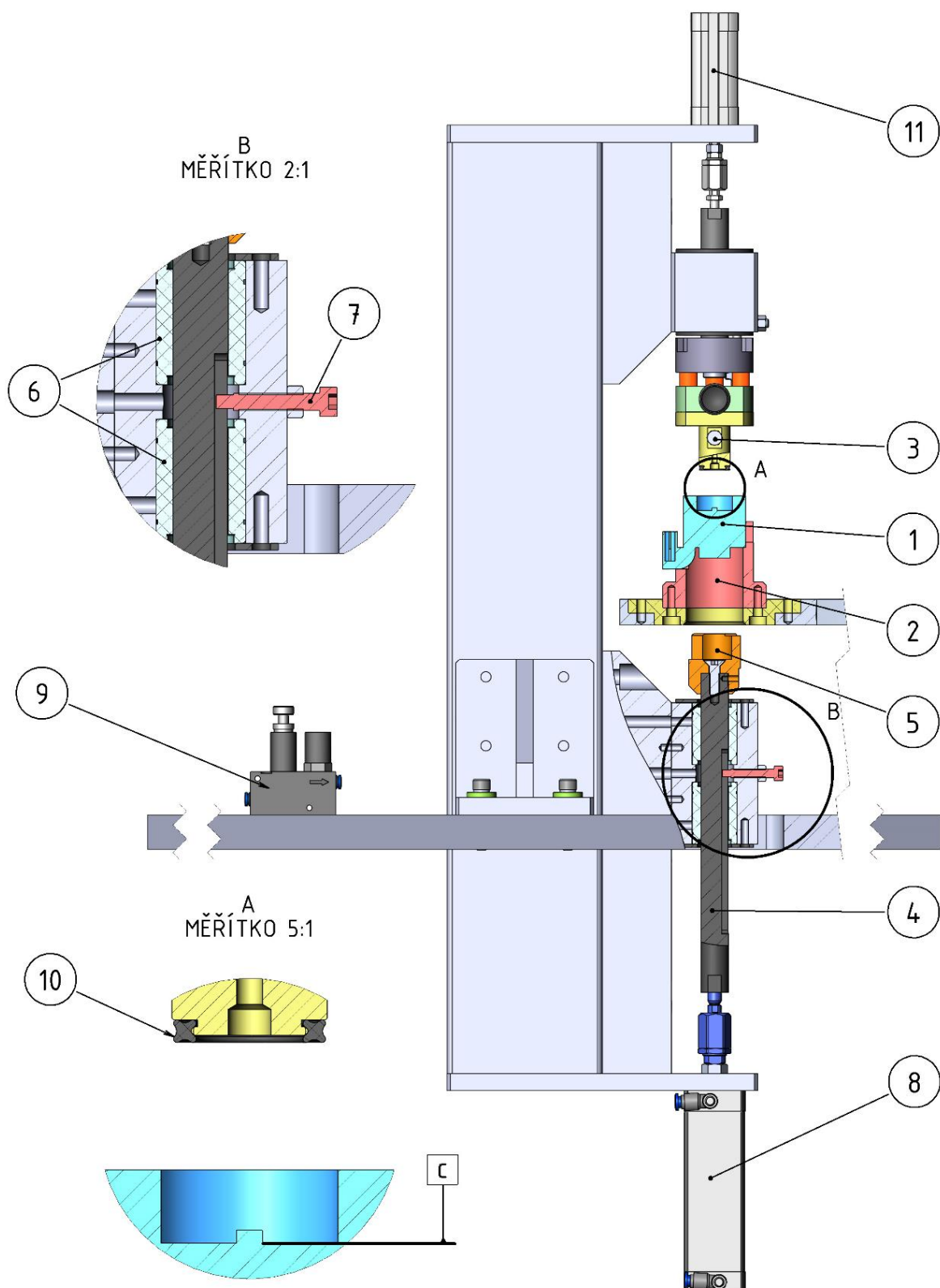
Vzhledem k tomu že zařízení pro přesné měření unikajícího tlaku mohou být citlivá na vibrace a rázy přenášené do měřicí soustavy, je vhodné měřicí soustavu izolovat od okolních částí stroje, které by mohly tyto vibrace a rázy přenášet.

Na obr. 22 je znázorněna sestava měření těsnosti. Elektromagnet (1) umístěný v lůžku karuselu (2) je vysunut vyhazovačem skrz lůžko a doražen rovinou C na těsnící hlavu (3). Vyhazovač se skládá z vodící tyče (4) a tvarového lůžka (5). Vodící tyč je vedená ve dvojici kuličkových pouzder (6) typu UBM16AWW, ty zajišťují přesný a plynulý pohyb vyhazovače. Ve vodící tyči je vyfrézovaná drážka podobná drážce pro pero, do této drážky je zasunuta hlava šroubu (7), která slouží jako aretace proti potočení. Vyhazovač je poháněn pohonem ADN-20-80-A-PPS-A (8), který je vybavený redukčním ventilem (9) pro nastavení požadované pracovní síly. Po přitlačení elektromagnetu na těsnící hlavu dojde k deformaci x-kroužku (10) s tvrdostí 70Sh, který je umístěn na vnějším obvodu těsnící hlavy. Aby deformace x-kroužku byla dostatečná, a utěsnila spoj, je nutné vyvodit adekvátní sílu pro přitlačení. Teoretická síla pohonu spodního vyhazovače je při 6b 188N. Od této síly je třeba odečíst váhu vyhazovače, která je 650g (6,4N), a sílu kterou vyvodí zkušební tlak 2b na činné ploše mezi těsnící hlavou a rovinou C, která má průměr 12mm (23N). Zbývající síla na deformaci x-kroužku je pak 158N, což je dostatečná síla pro požadované utěsnění.

Následně je vnitřní objem elektromagnetu natlakován na 2b, a po stanovenou dobu měřicí zařízení sleduje pokles tlaku. Pokles tlaku nesmí přesáhnout hodnotu uvedenou v zadání 15 Pa. Po vyhodnocení měření těsnosti je elektromagnet zasunut zpět do lůžka karuselu. Z vrchu jej přitlačí těsnící hlava poháněná pohonem ADN-12-30-A-P-A (11). Předpokládaný čas testu je do 15s.

Tab 8) Vybrané parametry použitých komponent sestavy měření těsnosti

ADN-20-80-A-PPS-A – Pohon spodního vyhazovače [20]	
Síla vysunutí /zasunutí [6bar]	188/141 N
Zdvih	80 mm
ADN-12-30-A-P-A – Pohon těsnící hlavy [20]	
Síla vysunutí /zasunutí [6bar]	68/51 N
Zdvih	30 mm



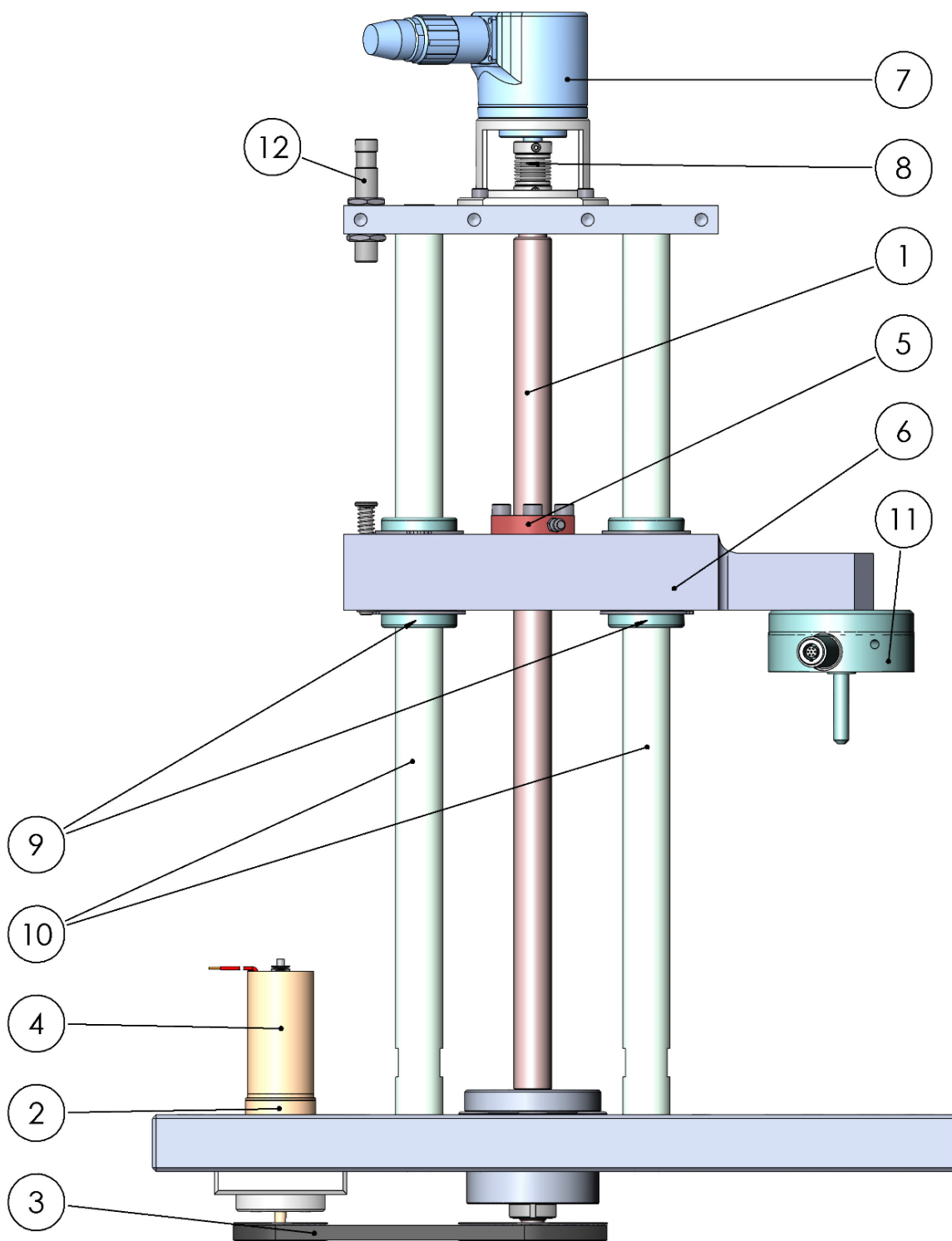
Obr. 22) Sestava měření těsnosti: 1- elektromagnet, 2- lůžko, 3- těsnící hlava, 4- vodící tyč vyhazovače, 5- tvarové lůžko, 6- vodící pouzdra, 7- aretační šroub, 8- pohon vyhazovače, 9- redukční ventil, 10- x-kroužek, 11- pohon těsnící hlavy

4.7 Pozice 4 měření magnetické silové charakteristiky

Konstrukční řešení této pozice bylo vyvinuto v kooperaci se společností Labcontrol, z větší části se jedná o řešení subdodavatele. Toto řešení jsme zvolily z toho důvodu, že jde o sofistikovanou měřicí metodu, vyžadující jednak zkušenosti v oboru přesného měření silových charakteristik a jednak speciální software pro vyhodnocení naměřených výsledků.

Společnost Labcontrol působí v oblasti zkušebních přístrojů, a zaměřuje se na dodávku trhacích strojů a zkušebních lisů britské společnosti Testometric, dále na modernizaci a repasi starších strojů a vývoj speciálních měřících zařízení na zakázku [34]. Předmětem dodávky je tedy měřicí mechanismus se všemi potřebnými komponentami, řídicí jednotka a software pro vyhodnocení naměřených dat. Výstupem tohoto zařízení by pak měli být informace, zda elektromagnet splňuje dané parametry či nikoliv, a naměřené hodnoty sloužící ke sběru dat.

Na obr. 23 je zobrazené měřicí zařízení od společnosti Labcontrol. Samotné zařízení se skládá z osy s kuličkovým šroubem (1), který je přes planetovou převodovku (2) a řemenový převod (3) poháněn stejnosměrným motorem (4). Matice kuličkového šroubu (5) je uchycena v příčníku (6). Poloha příčníku je nepřímo odměřována inkrementálním rotačním snímačem (7), který je spojen s koncem šroubu pomocí bezvúlové vlnovcové spojky (8). Hodnota naměřená IRC snímačem je pak přepočtena na hodnotu posunutí příčníku. Příčník je veden dvojicí kuličkových pouzder (9) na vodících tyčích (10) o průměru 25mm. Toto robustní provedení je voleno z důvodu zajištění co nejmenší deformace zařízení pod zatížením, která by mohla ovlivnit hodnotu naměřené dráhy posuvu příčníku. Na příčníku je uchycen tenzometr (11) se jmenovitým zatížením 200N. Indukční snímače (12) omezují pohyb příčníku z důvodu ochrany zařízení. Součástí dodávky je také řídicí jednotka EDC 222V od firmy DOLI a zakázkový software.



Obr. 23) Sestava měření silové charakteristiky: 1- kuličkový šroub, 2- planetová převodovka, 3- řemenový převod, 4- elektromotor, 5- matice kuličkového šroubu, 6- příčník, 7- inkrementální snímač, 8- vlnovcová spojka, 9- kuličková pouzdra, 10- vodící tyče, 11- tenzometr, 12- indukční snímač

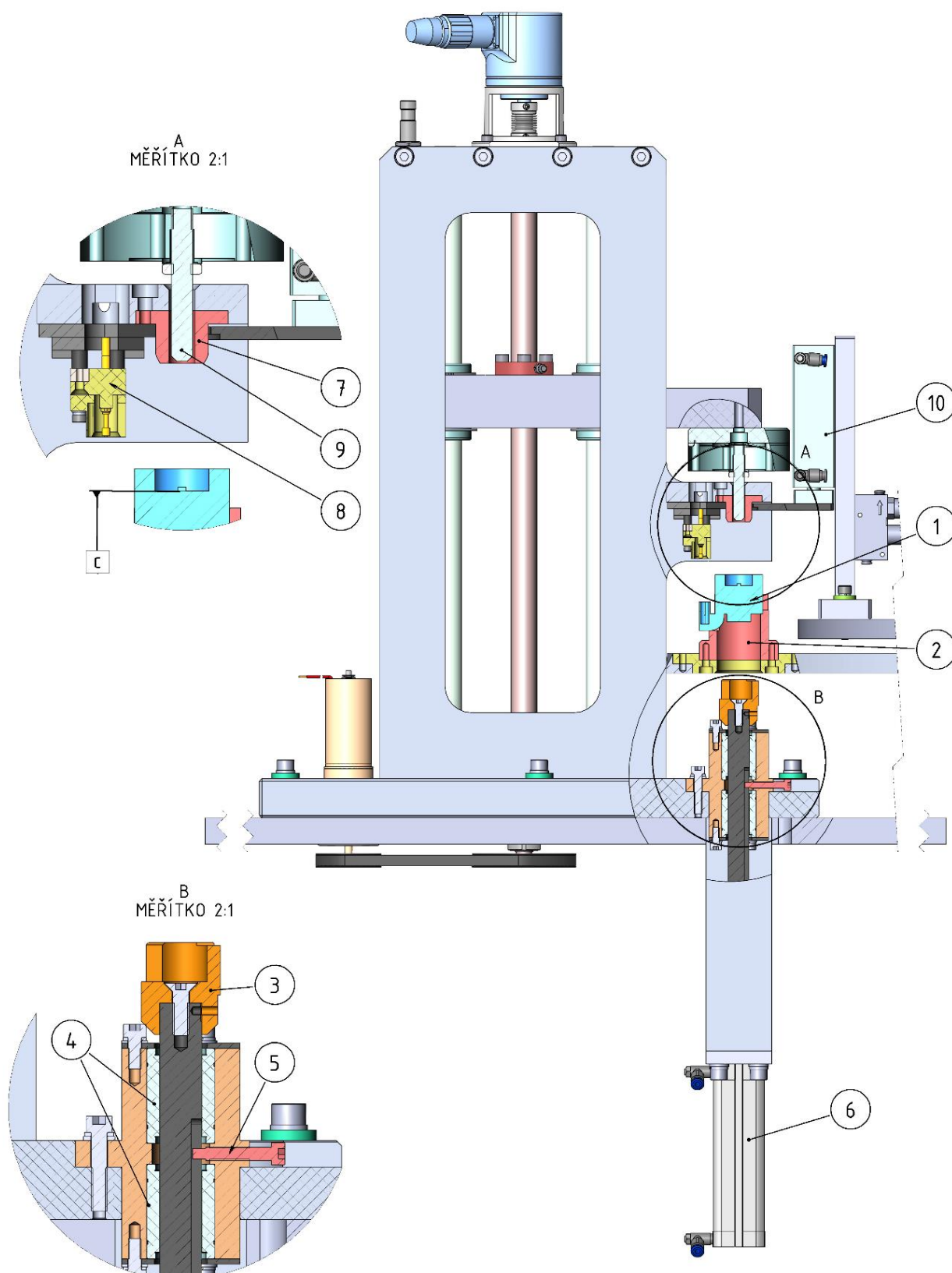
Mým úkolem bylo následně zakomponovat toto měřicí zařízení do stroje. V tomto případě je opět vhodné izolovat měřicí soustavu od desky karuselu. Kdybychom silovou charakteristiku elektromagnetu měřili přímo v lůžku karuselu, promítli by se do výsledku měření chyby způsobené nepřesností polohování otočného stolu a to hlavně čelní házení desky karuselu. Deska karuselu může také přenášet rázy a vibrace způsobené obsluhou nebo ostatními pozicemi. Z toho důvodu jsem se rozhodl izolovat elektromagnet od vnějších vlivů stejným způsobem jako u měření těsnosti. Elektromagnet tedy bude opět vyzdvižen a dotlačen referenční rovinou C na pevný doraz.

Na obr. 24 je zobrazená měřicí sestava tak jak je zakomponována ve stroji, postup měření probíhá následovně. Po otočení stolu je elektromagnet (1) vysunut z lůžka (2) spodním vyhazovačem (3). Vyhazovač je opět veden dvojicí kuličkových pouzder (4), a je zajištěn šroubem proti pootočení (5). Vyhazovač je poháněn pohonem ADN-25-100-A-PPS-A (6) a je vybavený redukčním ventilem. Elektromagnet je doražen referenční rovinou C na pevný doraz (7), a nakontaktován konektorem (8). Pevný doraz je vyroben z nemagnetické austenitické nerez oceli 1.4301, aby neovlivňoval výsledek měření. Následně je elektromagnet nabuzen maximálním jmenovitým proudem, tím dojde k vysunutí kotvy do horní úvratě. S hora se ke kotvě přibližuje trn tenzometru (9), a po dotyku s kotvou elektromagnetu dojde k odečtení polohy horní úvratě s přesností 0,01mm. Naměřená hodnota horní úvratě musí ležet v tolerancích stanovených výkresovou dokumentací. Poté následuje měření silové charakteristiky. Elektromagnet je napájen jednotlivými proudy, přičemž měříme sílu kotvy v rozsahu pracovního zdvihu. Síla musí ležet v pásmu definované hystereze. Pro napájení je použit proudový zdroj IBT SRG3A, odchylka proudu při měření nesmí být víc jak +/-1%. Po ukončení a vyhodnocení měření je elektromagnet vrácen zpět do lůžka. Přitom je shora přitlačen pohonem s vedením DFM-16-50-B-PPV-A-KF (10), ten slouží jako pojistka pro správné zasunutí elektromagnetu do lůžka. Vzhledem k působišti síly je nutno tlak tohoto pohonu při vysouvání redukovat na 2,3 bar, aby nebylo překročeno dovolené zatížení 48N mimo osu [20]. Měření silové charakteristiky je časově nejnáročnější zkouška, čas měření nesmí přesáhnout 34,4s.

Do databáze měření jsou pak uloženy hodnoty naměřené polohy kotvy a síly v zatěžovacím a odlehčovacím průběhu.

Tab 9) Vybrané parametry použitých komponent sestavy měření silové charakteristiky

ADN-25-100-A-PPS-A - Pohon spodního vyhazovače [20]	
Síla vysunutí /zasunutí [6 bar]	295/247 N
Zdvih	100 mm
DFM-16-50-B-PPV-A-KF - Pohon pro zasunutí elektromagnetu zpět do lůžka [20]	
Síla vysunutí /zasunutí [6 bar]	121/90 N
Zdvih	50 mm
Maximální rychlost vysouvání	1,5 m/s
Přípustné zatížení pístnice na krut	1,3 Nm
Přípustné zatížení pístnice na ohyb	až 4,8 Nm



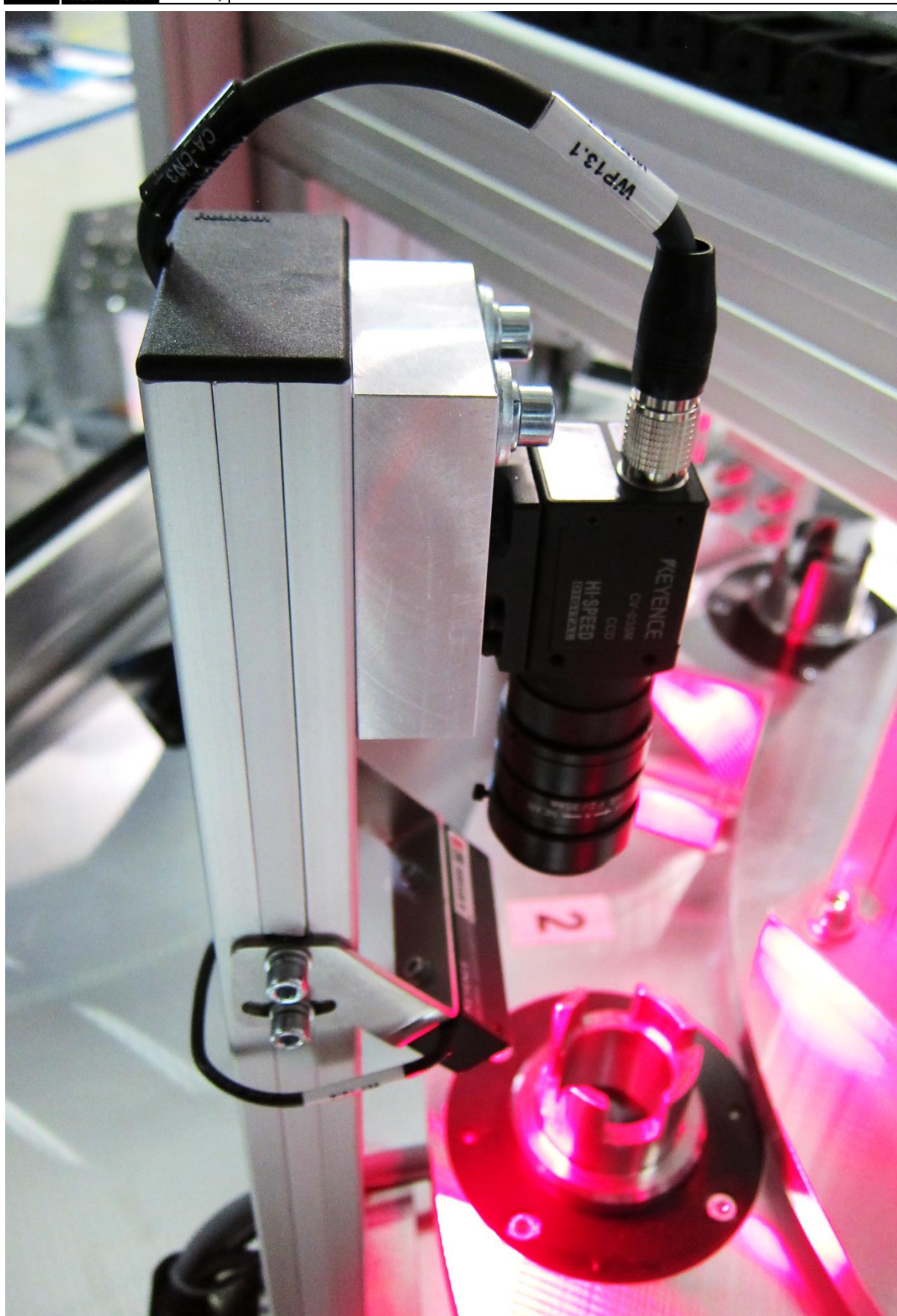
Obr. 24) Měřicí sestava zakomponovaná ve stroji: 1- elektromagnet, 2- lůžko, 3- spodní vyhazovač, 4- vodící pouzdra, 5- aretační šroub, 6- pohon vyhazovače, 7- pevný doraz, 8- kontaktovací konektor, 9- trn tenzometru, 10- pohon pro zasunutí elektromagnetu zpět do lůžka

4.8 Pozice 5 kamerová kontrola geometrie konektoru

Dalším sledovaným atributem elektromagnetu má být geometrie napájecího konektoru. Při této kontrole sledujeme, zda je napájecí konektor včetně pinů bez známek poškození, ke kterému by mohlo dojít například při manipulaci nebo při kontaktování elektromagnetu. Z toho důvodu je také tato kontrola zařazena až za měřicími pozicemi, které vyžadují kontaktování elektromagnetu. Při kontrole je potřeba se zaměřit především na rozteč a pozici pinů, a dále na vnější a vnitřní tvar konektoru.

Samotná realizace je řešena jako subdodávka od firmy Keyence, která dodává široké spektrum produktů pro automatizaci [35]. Důvodem, proč jsme vybrali tohoto dodavatele, byla pozitivní zkušenost našeho zákazníka, který již podobnou kontrolu používá na jiném zařízení.

Od firmy Keyence jsme pak obdrželi nabídku na kamerový systém, který se skládá z černobílé kamery CV-035M (1), objektivu CA-LH35 (2), led světla CA-DBR5 (3) a řídicí jednotky CV-X100FP, která komunikuje s PLC pomocí sběrnice Profinet . Tento kamerový systém by měl být schopen sledovat tvar konektoru a pinů v tolerancích stanovených na výkresu elektromagnetu. Kontrola geometrie je nejrychlejší zkouška a probíhá v rámci několika vteřin. Následná implementace do stroje je znázorněna na obr. 25.



Obr. 25) Sestava kamerové kontroly

4.9 Pozice 6 označení shodných dílů

Jedná se o poslední pozici, na které jsou shodné elektromagnety označeny specifickým znakem. Pro označení bylo vybráno mikroúderové zařízení firmy Markator, typ MV5 U50/25 s centrální jednotkou MV5 ZE 100 XL. Zařízení značí oscilujícím hrotem, jehož oscilační pohyb je generován pneumatickým tlakem. Značící plocha zařízení je 25x50mm [36].

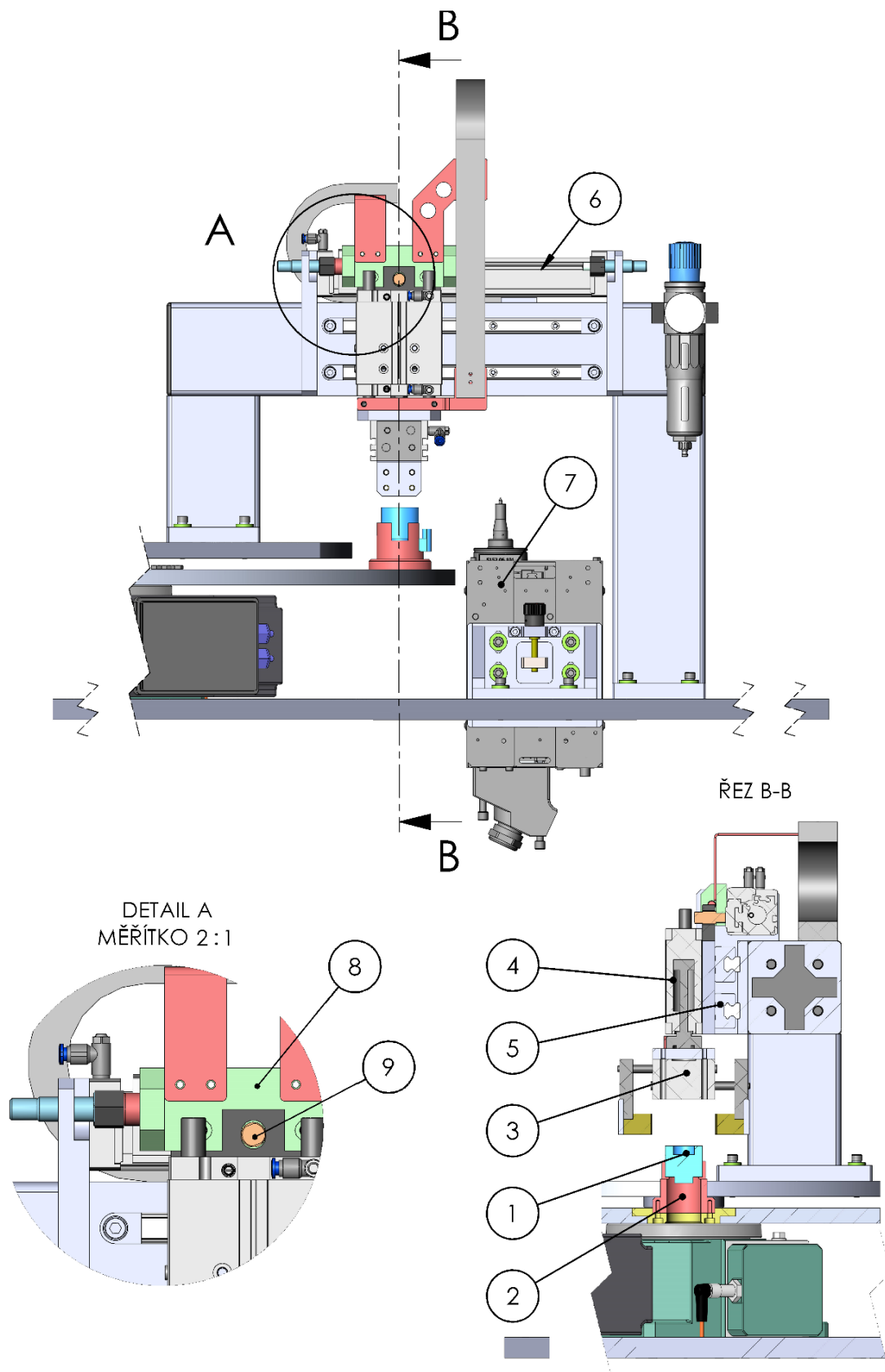
Elektromagnet je značen na horní plastové části zobrazené na obr. 7 v zadání. Označení obsahuje rok výroby, den v roce, a specifické sériové číslo. Původně bylo zamýšleno, že se při popisu použije odsávání odpadajících úlomků. Zkouška popisu na reálném kuse však ukázala, že žádné odlomky při popisu nevznikají, neboť popisující hrot se do měkkého plastu spíše vpichuje, než aby vyřezával kousky materiálu, jak je tomu například u tvrdších kovů. Řešení této pozice je vidět na obr. 26. Popisování probíhá mimo lůžko karuselu, je to z toho důvodu, že značení přímo v lůžku karuselu bylo z hlediska prostorového rozmístění nevhodné. Samotný proces probíhá následovně.

Po otočení stolu je elektromagnet (1), v lůžku (2), sevřen paralelní úchopnou hlavicí MHL2-16D (3), která je ve svislém směru vysouvána pohonem DFM-20-40-B-PPV-A-KF (4). Tento pohon je uchycen na lineárním vedení (5). Následně je celá sestava přesunuta ve vodorovném směru bezpístnicovým pohonem DGC-18-130-G-PPV-A (6) nad značící zařízení (7). Spojení s unášecem bezpístnicového pohonu (8) je pomocí čepu (9) který je uložen v drážce s vůlí ve svislém směru. Toto spojení jsem zvolil z důvodu ochrany bezpístnicového pohonu v případě, že bezpístnicovým pohon nebude uložen rovnoběžně vzhledem k lineárnímu vedení. Po označení dílu je elektromagnet vrácen zpět do lůžka karuselu.

Při výběru úchopné hlavice MHL2-16D jsem vycházel z kompaktního provedení hlavice, která již disponuje vedením v podobě dvojice tyčí vedených v kluzných pouzdrech. Zdvih čelistí je 30mm a při tlaku 6bar je síla sevření okolo 55N. Tuto velikost jsem zvolil také z toho důvodu, že výrobce udává, že při působení dynamických sil jako např. vysoké zrychlení, by měla být upínací síla 10ti až 20ti násobek hmotnosti břemene. Při hmotnosti elektromagnetu 150g je potřebná síla uchopení zhruba 30N, takže je vidět že je hlavice dostatečně předimenzovaná. Na druhou stranu nelze předem říct, jaký vliv bude mít na uchopený předmět samotné značení mikroúderem, z toho důvodu je lepší mít dostatečnou rezervu síly chapadla [37]. Předpokládaný čas označení včetně manipulace s elektromagnetem je do 10s.

Tab 10) Vybrané parametry použitých komponent sestavy popisu

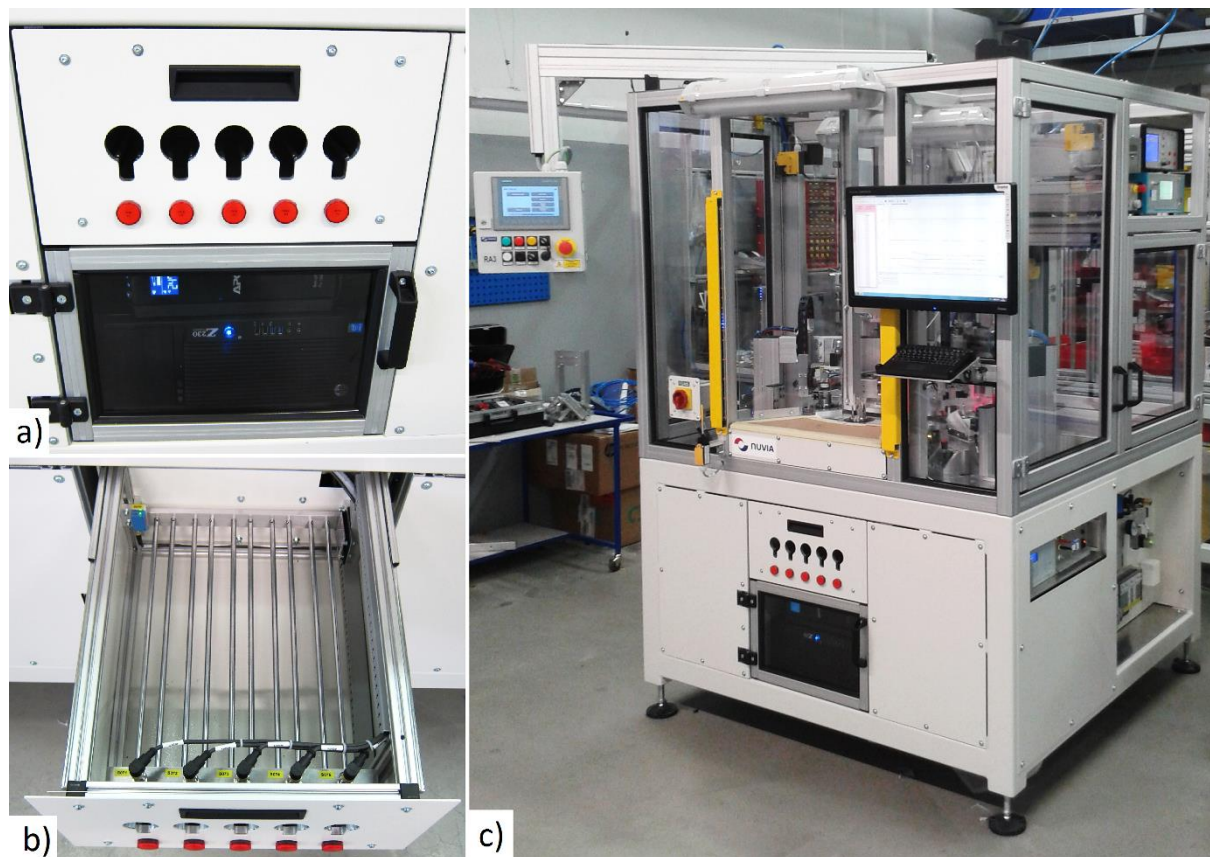
DFM-20-40-B-PPV-A-KF - Pohon ve svislém směru [20]	
Síla vysunutí /zasunutí [6 bar]	188/141 N
Zdvih	40 mm
Maximální rychlost vysouvání	1,5 m/s
Přípustné zatížení pístnice na krut	2,6 Nm
Přípustné zatížení pístnice na ohyb	až 14,5 Nm
DGC-18-130-G-PPV-A – Pohon ve vodorovném směru [20]	
Teoretická síla [6 bar]	153 N
Zdvih	130 mm
Maximální rychlost	3 m/s



Obr. 26) Sestava popisu shodných dílů: 1- elektromagnet, 2- lůžko, 3- paralelní úchopná hlavice, 4- pohon ve svislém směru, 5- lineární vedení, 6- pohon ve vodorovném směru, 7- popisovací zařízení, 8- unášec, 9- čep

4.10 Nok box

Při výskytu vadného elektromagnetu se na zakládací pozici rozsvítí červená kontrolka, a spolu s ní se na ovládacím panelu objeví hlášení o chybě. Operátor je vyzván k vložení vadného kusu do nok boxu, který je umístěn pod základní deskou stroje. Nok box na obr. 27 obsahuje 5 otvorů, z nichž každý je určen pro jeden typ neshody s kapacitou 10 kusů. Při výskytu neshody se rozsvítí kontrola pod příslušným otvorem. Vložení dílu je pak snímáno indukčním snímačem IME08 uvnitř boxu. Bez vložení vadného dílu není možné pokračovat v automatickém cyklu stroje. Ke snímání naplnění boxu je použit optoelektronický snímač na odrazku WL100. Nok box je umístěn na výsuvných ližinách, které slouží pro jeho vyprázdnění, a je zamčen pomocí jednočinného pneumatického pohonu. Pro odemčení je nutné zadat heslo na ovládacím panelu.



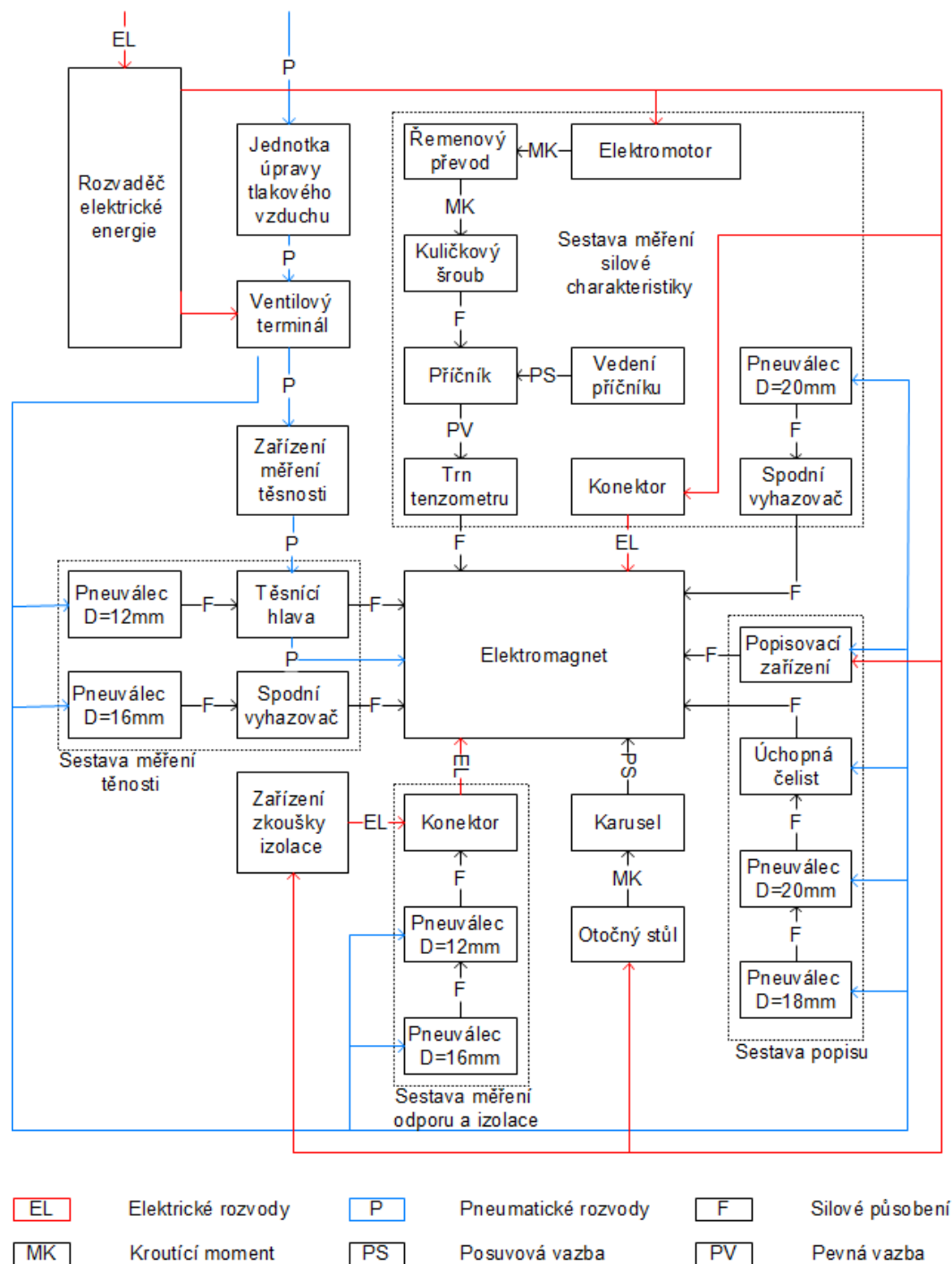
Obr. 27) Nok box: a) zavřený box, b) otevřený box, c) pohled na celý stroj

5 ANALÝZA RIZIK

Analýza je zaměřená zejména na identifikaci a popis možných nebezpečí, které stroj představuje pro obsluhu při vykonávání běžné provozní činnosti, a bezpečnostní opatření s tím spojená. Analýza je zpracována podle příslušných norem a návodů [15] [16] [17].

5.1 Systémová analýza

Na obr. 28 je blokový diagram, na kterém je zobrazena stavba stroje se znázorněním významných interakcí.



Obr. 28) Blokový diagram stroje

Tab 11) Přehled relevantních nebezpečí

Název komponenty systému	Poloha komponenty v systému	Typ nebezpečí
Mechanismus otočného stolu	Prostor stroje v blízkosti karuselu	Stlačení, vtažení nebo zachycení, vymrštění
Sestava měření odporu a izolace	Bezprostřední okolí sestavy měření odporu a izolace	Stlačení, zasažení vysokým napětím
Sestava zkoušky těsnosti	Bezprostřední okolí sestavy měření těsnosti	Stlačení, zasažení proudem tlakového vzduchu
Sestava měření silové charakteristiky	Bezprostřední okolí sestavy měření silové charakteristiky	Stlačení, navinutí, vtažení nebo zachycení
Sestava popisu	Bezprostřední okolí sestavy popisu	Stlačení, píchnutí
Elektrická zařízení a rozvody	Připojovací rozhraní měřících zařízení, kabelové žlaby a blízkost elektrických rozvodů	Zasažení elektrickým proudem, popálení, smrt
Pneumatická zařízení a rozvody	Připojovací prvky pneumatických zařízení a bezprostřední okolí hadic pro rozvod tlakového vzduchu	Vymrštění, zásah proudem tlakového vzduchu
Manipulace se zkoušenými díly	Zakládací pozice	Nepohodlí, únava

Tab 12) Přehled identifikovaných závažných nebezpečí

1	Mechanická nebezpečí vyvolaná strojními částmi
1.1	Nebezpečí stlačením
1.1-1	Nebezpečí stlačením mezi pohyblivými částmi karuselu a pevnými částmi stroje
1.1-2	Nebezpečí stlačením při pracovním a zpětném zdvihu mechanismu měření odporu a izolace
1.1-3	Nebezpečí stlačením při fixaci elektromagnetu vyhazovačem na těsnící hlavu, a při zpětném pohybu
1.1-4	Nebezpečí stlačením při fixaci elektromagnetu vyhazovačem na pevný doraz, a při zpětném pohybu
1.1-5	Nebezpečí stlačením mezi pevnými a pohyblivými částmi sestavy měření charakteristiky při pohybu příčnicku
1.1-6	Nebezpečí stlačením mezi pevnými a pohyblivými částmi při přesunutí elektromagnetu nad značící zařízení
1.2	Nebezpečí vtažení nebo zachycení
1.2-1	Nebezpečí vtažení nebo zachycení rotujícími částmi karuselu
1.2-2	Nebezpečí vtažení nebo zachycení řemenovým převodem, který pohání kuličkový šroub
1.3	Nebezpečí vymrštění
1.3-1	Nebezpečí vymrštění uvolněných částí karuselu vlivem obvodového zrychlení
1.3-2	Nebezpečí vymrštění uvolněných částí pneumatických rozvodů vlivem nahromaděné energie stlačeného vzduchu
1.4	Nebezpečí navinutí na kuličkový šroub
1.5	Nebezpečí píchnutí hrotem popisovacího zařízení
1.6	Zasažení proudem tlakového vzduchu
2	Elektrická nebezpečí vyvolaná elektrickými zařízeními a rozvody elektrické energie
2.1	Zasažení elektrickým proudem při styku s živými částmi elektrických zařízení a rozvodů s následkem popálení či smrti
2.2	Zasažení vysokým napětím ze zařízení pro zkoušku izolace s následkem popálení
3	Ergonomická nebezpečí
3.1	Nepohodlí a únava způsobená častým vykonáváním namáhavé práce nebo nevhodnou polohou při práci
3.2	Nepohodlí a únava způsobená prací v prostředí s nedostatečným osvětlením

5.2 Odhad a hodnocení rizik

Jako přípustnou hranici jsem zvolil velikost rizika 2, při odhadu rizik jsem vycházel z postupů uvedených v odborných návodech [15], a z následujících kritérií:

- Závažnost poranění
- Doba vystavení nebezpečné
- Možnost vyvarování se zranění
- Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události

Pro zjednodušení hodnocení jsem nebezpečí rozdělil do skupin podle tab. 13.

Tab 13) Hodnocení rizik

Typ nebezpečí	Nebezpečný prostor	Číslo nebezpečí podle tab. 12	Počáteční riziko
Mechanická nebezpečí tvořená pohybem otočného stolu	Zakládací pozice a vnitřní prostor stroje v blízkosti karuselu	1.1-1 ; 1.2-1 ; 1.3-1	10
Mechanická nebezpečí tvořená pohybem ostatních mechanismů uvnitř stroje	Vnitřní prostor stroje v blízkosti jednotlivých měřících sestav	1.1-2 ; 1.1-3 ; 1.1-4 ; 1.1-5 ; 1.1-6 ; 1.2-2 ; 1.4 ; 1.5	4
Nebezpečí od pneumatických rozvodů	Připojovací prvky pneumatických zařízení a bezprostřední okolí rozvodů tlakového vzduchu	1.3-2 ; 1.6	4
Elektrická nebezpečí	Připojovací rozhraní měřících zařízení, kabelové žlaby a okolí v blízkosti konektorů	2.1 ; 2.2	14
Ergonomická nebezpečí	Zakládací pozice	3.1 ; 3.2	4

5.3 Bezpečnostní opatření

5.3.1 Opatření zabudovaná v konstrukci

Stroj je navržen pro manipulaci s vysokozdvížným vozíkem. Základním předpokladem je umístění stroje na dostatečně stabilní základ. Samotný stroj není zdrojem výrazných vibrací, rozložení hmotnosti je rovnoměrné, těžiště je stabilní a nachází se ve výšce základové desky v oblasti středu otočného stolu. Elektrická zařízení jsou umístěna v rozvaděčích, které svým krytím zabraňují dotyku se živými částmi. Spodní část rámu stroje je opatřena kryty, které jsou připevněny pomocí šroubů, a představují ochranu proti styku s rozvody elektrické a pneumatické energie. Rozvody elektrické a pneumatické energie jsou pevně vyvázány ve žlabech, a energetických řetězech které zabraňují jejich mechanickému poškození, mimo žlaby a řetězy jsou vedeny pouze v nezbytných místech. Tlak přiváděného vzduchu je nastaven na redukčním ventilu a eliminuje možné kolísání tlaku v rozvodu. Horní rám je opatřen dveřmi a všechny otvory jsou vyplněné průhledným, netříštivým polykarbonátem. Otočný stůl je vybaven přepážkami, které zakrývají mezeru, kterou vjíždí elektromagnet do stroje. Poloha základací pozice a rozmístění ovládacích a signalizačních prvků jsou navrženy s ohledem na základní ergonomické požadavky při práci ve stoje [12]. Stroj je vybaven jedním osvětlením nad základací pozicí a druhým osvětlením vnitřního prostoru kde probíhají seřizovací operace.

Tato opatření mají významný vliv na snížení rizik spojených s nebezpečím úrazu elektrickým proudem a nebezpečí v podobě nevhodných ergonomických poloh. Toto řešení však nesnižuje významně rizika poranění pohyblivými mechanickými částmi stroje od pneumatických pohonů nebo otočného stolu, neboť nebezpečný prostor je přístupný pouhým otevřením krytovacích dveří v horní části rámu. Z toho důvodu je koncepce stroje z hlediska bezpečnosti stále nevyhovující.

5.3.2 Bezpečnostní ochranná zařízení

Výše uvedené bezpečnostní nedostatky jsou dále snižovány pomocí bezpečnostních zařízení, která jsou ovládaná příslušnými bezpečnostními řídicími systémy. Na dveřích horního rámu jsou umístěny bezpečnostní spínače s blokováním i15 Lock. Tyto spínače v podstatě fungují jako zámek [29], takže dveře není možné otevřít v automatickém režimu. Ovládání stroje s otevřenými dveřmi je možné pouze v seřizovacím režimu, do kterého se vstupuje zadáním hesla na ovládacím panelu, takže ovládat stroj s přemostěnými ochranami mohou pouze osoby pověřené seřizováním.

Vzhledem k tomu že uvedený spínač s blokováním funguje na mechanickém principu, je možné že při jeho běžném používání dojde k opotřebování či mechanickému poškození, takže nebude schopen účinně vykonávat bezpečnostní blokování dveří. Z toho důvodu je doplněn magnetickým bezpečnostním spínačem RE1, který sám o sobě přeruší všechny probíhající operace v případě otevření dveří [29].

Zakládací pozice je vybavena optoelektronickými bezpečnostními závěsy Sick miniTwin4 s bezpečnostním relé UE10-2FG [29]. Tyto komponenty jsou vybrány s ohledem na dodržení platné normy [17], podle které je potřeba stanovit minimální vzdálenost optického závěsu od nebezpečného místa a minimální výšku detekovaného prostoru.

Minimální vzdálenost závěsu od nebezpečného místa je dána vztahem 14 [17].

$$S = (K * T) + 8 * (d - 14) \quad (13)$$

Kde S je požadovaná vzdálenost v mm, K je parametr odvozený od rychlostí přiblížení částí lidského těla a v tomto případě je jeho hodnota 2 000 mm/s. T je celkový čas do zastavení a je dán součtem času odezvy bezpečnostního ochranného systému a časem zastavení mechanismu, pro použité komponenty je čas do úplného zastavení garantovaný výrobcem $\leq 0,124$ s. Parametr d představuje rozlišení optoelektronických závěsů, pro použité závěsy je $d=14$ mm.

Podle výše uvedených hodnot je výsledná minimální vzdálenost závěsů od nebezpečného prostoru 248mm.

Minimální výška detekovaného prostoru je dána v tab. 1 normy [17], a vychází z výšky nebezpečného prostoru a doplňující vzdálenosti k nebezpečnému prostoru. V tomto případě je stanovena minimální výška horního detekovaného okraje 1 600 mm.

Kombinací zabudované bezpečnosti a bezpečnostních strojních prvků bylo dosaženo snížení rizik na přijatelnou úroveň. K nebezpečným místům v podobě pohyblivých mechanických částí již není volný přístup. Stále však existují zbytková nebezpečí, která mohou vzniknout při sledu více nepříznivých událostí. Tato rizika, která již není možné rozumně řešit výše uvedenými opatřeními, je nutné zahrnout do posledního kroku, ve kterém informujeme uživatele o zbytkových nebezpečích.

5.3.3 Informace pro používání strojního zařízení

Posledním krokem je poskytnutí informací o správném používání a zbytkových rizicích, která jsou spojena s jednotlivými etapami a provozními režimy stroje. Uživatel je s těmito informacemi seznámen pomocí:

- Bezpečnostních sdělení na nezbytných místech, která slouží pro jasnou identifikaci hrozícího nebezpečí. Tato sdělení jsou v podobě lehce srozumitelných piktografických znaků či výstražného textu.
- Přehledného návodu obsahujícího správné zacházení se strojem ve všech etapách jeho životnosti, tzn. pokyny pro manipulaci, přepravu, instalaci, uvedení do provozu, správné používání, seřizování, údržbu, demontáž a vyřazení z provozu. Přičemž pro každou etapu životního cyklu je potřeba uživatele seznámit s možnými nebezpečími v podobě zbytkových rizik, která nemohla být ošetřena jiným přijatelným způsobem.
- Dokumentace

Výsledkem posouzení rizik je vystavení prohlášení o shodě, a označení CE, ve kterém výrobce dokladuje, že je výrobek ve shodě s příslušnými nařízeními vlády.

6 ZHODNOCENÍ

V následující tabulce jsou uvedeny základní údaje o stroji.

Tab 14) Hlavní technické údaje

Typové označení	H242
Výrobní číslo	017/2016
Rok výroby	2016
Napájení	~400V / 50Hz ; tlakový vzduch
Maximální příkon	9,0 kVA
Hmotnost	1400 kg
Pracovní teplota	0÷40 °C
Rozměry zařízení (š x v x h):	1400 x 2200 x 1400 mm
Napájecí tlak	6-8 bar
Pracovní tlak	5-7 bar
Řídicí automat	Siemens SIMATIC ET200SP

6.1 Mechanická část

Při montáži nebyly zaznamenány žádné významné problémy spojené s konstrukcí nebo konceptem stroje. Po seřízení a vyladění jednotlivých pozic se stroj jevil jako bezproblémový, celkový takt je 32s. Zařízení je řešeno jako poloautomat s pěti stanicemi okolo otočného stolu. Konstrukce v maximální míře využívá prvků montážní techniky Bosch (profily, šrouby, matice, úhelníky apod.). Vyráběné díly jsou většinou duralové nebo nerezové.

6.2 Elektrická část

Hlavní elektrorozvaděč je umístěn na boční straně vlevo s rozměry 1220x540x250 mm. Druhý rozvaděč je umístěn na zadní straně automatu a má rozměry 900x540x250 mm. Ovládací a signalizační prvky automatu jsou umístěny v podružném ovládacím rozvaděči, který je připevněn ve výšce očí na otočném rameni. Tento rozvaděč má rozměry 300x300x120 mm. Všechny použité rozvaděče mají krytí IP54/20.

Zařízení je napájeno střídavým napětím 400V / 50Hz v soustavě TN-S. Uvnitř rozvaděče je umístěna servisní zásuvka. Druhá servisní zásuvka je umístěna na boční pravé straně stroje. Zásuvky jsou jištěny proti přetížení a zkratu jističem FA1=10A/C (resp. FA4).

Signálová část se skládá z řídicího automatu, ovládacího terminálu, indukčních a optických snímačů, bezpečnostních prvků a elektromagnetických ventilů. Signálové propojení mezi PLC, ovládacím panelem a ventilovým terminálem zabezpečuje komunikační rozhraní ve standardu Profinet. Signálová část automatu je napájena malým stejnosměrným napětím max. 24V v soustavě PELV. Všechny kovové části automatu jsou řádně spojeny s ochranným vodičem PE včetně dveří rozvaděče.

Logické řízení automatu zajišťuje programovatelný řídicí automat PLC řady ET200SP firmy Siemens. V procesorové jednotce je zasunuta paměťová karta, na které je uložen aplikační program. Procesorová jednotka obsahuje jeden komunikační port Profinet, pomocí kterého se připojuje i konfigurační PC. Procesorová jednotka je rozšířena o moduly vstupů a výstupů.

Ovládací terminál KTP 700 obsahuje barevný podsvícený dotykový LCD displej s krytím z přední strany IP65. Terminál disponuje vlastní procesorovou jednotkou, která obsluhuje zobrazování dat na displeji a interpretaci dotyků.

6.3 Ekonomické zhodnocení

Jednotlivé části stroje a sestavy jsou navrhovány jednoduše a s ohledem na logickou návaznost montážních postupů. Dílce jsou navrhovány, aby při jejich výrobě bylo možné co nejefektivněji využít dodávané polotovary použitých materiálů, a minimalizoval se tak čas potřebný na výrobu. Geometrické a tvarové tolerance jsou na výkresech předepsány pouze v nezbytné míře a zahrnují hlavně funkční plochy středících, naváděcích a tvarových dílců a umístění středících děr pro přesnou montáž. Nakupované strojní prvky a pohony jsou v co největší míře vybírány ze standardního sortimentu dodavatelů.

Tyto kroky mají přímý dopad na cenu vyráběného stroje a času potřebnému na výrobu dílců, montáž a vyladění. Celkové náklady na vývoj a výrobu jednoho kusu testovacího stroje lze pak rozdělit do fáze vývoje a výroby.

Fáze vývoje obsahuje všechny činnosti k jednoznačnému určení všech rozhraní stroje, jeho funkce a výrobní dokumentaci, patří sem:

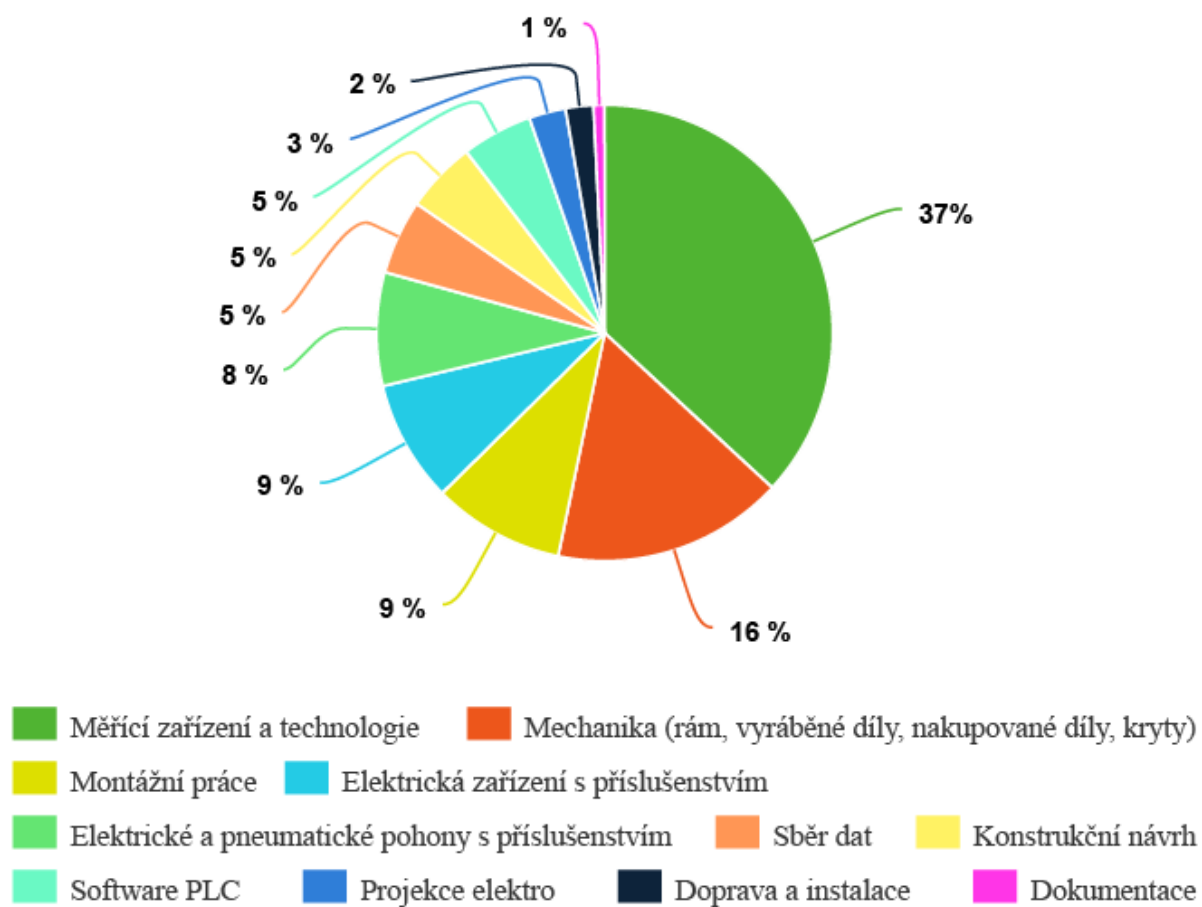
- Konstrukční návrh v softwaru Solidworks
- Projekce elektrické a pneumatické části
- Software PLC
- Dokumentace obsahující strojní výkresy sestav, výkresy elektrických a pneumatických schémát a manuál s návodem ke správnému používání a údržbě

Výrobní fáze navazuje na fázi vývoje a patří sem všechny činnosti spojené s realizací návrhu stroje:

- Nákup nezbytných komponent, mezi které patří všechny technologie a zařízení pro požadovaná měření a kontroly, komponenty elektrického řídicího systému, elektrické a pneumatické pohony s příslušenstvím a nakupované strojní prvky
- Výroba dílců na základě výkresové dokumentace
- Montáž
- Přeprava a instalace u zákazníka

Na následujícím grafu je zobrazeno rozložení celkových nákladů.

Rozložení nákladů



Obr. 29) Rozložení celkových nákladů na výrobu stroje

7 ZÁVĚR

Ve výše uvedených kapitolách je z velké části popsána běžná pracovní náplň konstruktéra průmyslových automatů. Jedná se o kreativní činnost, která vyžaduje hlavně ochotu učit se novým věcem a schopnost spolupracovat v týmu neboť jen tato cesta v dnešním konkurenčním prostředí vede k úspěchu. Zařízení bylo v průběhu realizace mnohokrát konzultováno se zákazníkem, a jeho podoba se nesčetněkrát změnila. Výsledkem je zařízení, které odpovídá všem požadavkům v zadání.

Diplomovou práci jsem se snažil vypracovat tak aby korespondovala s běžným postupem vývoje a výroby nového strojního zařízení tohoto typu. Dále je nutné zdůraznit, že se do výsledné kvality zařízení promítly zkušenosti všech zúčastněných osob, a že bez zkušeností mých kolegů ale i osob ze strany zákaznické společnosti by výsledek nemohl dosahovat takových kvalit.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

8.1 Literatura

- [1] NOVÁK, Josef. *Organizace a řízení* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006 [cit. 2016-05-21]. ISBN 80-248-1223-1. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/414/organizace-a-rizeni.pdf>
- [2] HUTYRA, Milan a kol. *Management jakosti* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2016-05-21]. ISBN 978-80-248-1484-1. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FMMI/MJ/Hutyra_management_jakosti.pdf
- [3] POČTA, Jan. *ŘÍZENÍ VÝROBNÍCH PROCESŮ* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2016-05-21]. ISBN 978- 80- 248- 2589- 2. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/RVP/Rizeni%20vyrobnich%20procesu.pdf>
- [4] *Theory of Proportional Solenoids and Magnetic Force Calculation Using COMSOL Multiphysics* [online]. Heilbronn University (Künzelsau), 2011 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: https://www.comsol.com/paper/download/83443/vogel_paper.pdf
- [5] ElectroMagnetic Actuator Basics. In: *HydraForce* [online]. 500 Barclay Blvd, Lincolnshire, IL 60069: HydraForce, 2011 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: http://www.hydraforce.com/svtraining/files/weiuhe_Chap4.pdf
- [6] PAVLOK, Bohuslav, Lumír HRUŽÍK a Miroslav BOVA. *Hydraulická zařízení strojů* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/hydraulicka-zarizeni-stroju.pdf>
- [7] HEISSING, Bernd a Metin ERSOY. *Chassis handbook: fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives* [online]. Germany: Vieweg+Teubner Verlag, 2011 [cit. 2016-05-21]. ISBN 978-3-8348-0994-0. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=NSISJtEy-NIC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>
- [8] DAVIS, Joseph R. *ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys*. Ohio: ASM International®, 1993. ISBN 978-0-87170-496-2.
- [9] MICHNA, Štefan a kol. *Encyklopedie hliníku*. 1. Prešov: Adin, 2005. ISBN 80- 89041-88-4.
- [10] VANČURA, Tomáš. *Pneumatické akční členy a jejich řízení*. Sezimovo Ústí, 2007.
- [11] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika*. 8. Brno: Vutium, 2013. ISBN 978-80-2144-123-1.
- [12] SKŘEHOT, Petr a kol. *Ergonomie pracovních míst a pracovní podmínky zaměstnanců se zdravotním postižením* [online]. 1. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009 [cit. 2016-05-21]. ISBN 978-80-86973-91-3. Dostupné z: <http://www.mpsv.cz/files/clanky/9133/ERGONOMIE.pdf>
- [13] KREBS, Leopold. *Využití moderních měřicích metod k diagnostice a měření pasivních elektronických součástek (R, L, C) ve výuce* [online]. Sezimovo Ústí, 2012 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: apps.copsu.cz/moodleVOS/pluginfile.php/511/mod_folder/content/41/2011-2012/Krebs_AP_2011_2012.pdf?forcedownload=1. Absolventská práce
- [14] Snímače tlaku. *Automa* [online]. 2011, **2011**(01), 20-23 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://automa.cz/res/pdf/42719.pdf>

- [15] HLINOVSÝ, MAREK, BLECHA a MAREČEK. *Management rizik v konstrukci výrobních strojů*. 1. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2009. ISSN 1212-2572.

8.2 Normy

- [16] ČSN EN ISO 12100. *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [17] ČSN EN ISO 13855. *Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

8.3 Webové stránky

- [18] ZF [online]. Schweinfurt: ZF Friedrichshafen AG, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.zf.com>
- [19] ITEM/HABERKORN [online]. Solingen (Germany): item Industrietechnik GmbH, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.item24.cz>
- [20] FESTO [online]. Praha: Festo, s.r.o., 2000 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: www.festo.cz
- [21] HIWIN [online]. Brno: HIWIN s.r.o., 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: www.hiwin.cz
- [22] GLEICH Aluminium [online]. Kaltenkirchen Germany: GLEICH Aluminium GmbH, 2012 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://gleich.de/cz>
- [23] BOSCH REXROTH [online]. Lohr am Main: © Bosch Rexroth AG, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: www.boschrexroth.com
- [24] WEISS [online]. Buchen: WEISS GMBH, 2015 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.weiss-gmbh.de>
- [25] FIBRO [online]. Weinsberg: FIBRO GmbH, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.fibro.de>
- [26] EXPERT [online]. Lorsch (Germany): EXPERT-TÜNKERS GmbH, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.expert-tuenkers.com/>
- [27] UZIMEX [online]. Praha: UZIMEX PRAHA, spol. s r.o, 2006 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.uzimex.cz>
- [28] Autorotor [online]. Vaiano Cremasco (Cr) - Italy: autorotorgroup, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.autorotorgroup.com/>
- [29] SICK [online]. Waldkirch Německo: SICK AG, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/>
- [30] BURSTER The Measurement Solution [online]. Gernsbach GERMANY: Burster präzisionsmesstechnik gmbh & co kg, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <https://www.burster.com/en/>
- [31] SPS electronic [online]. Schwäbisch Hall: SPS electronic GmbH, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.spselectronic.com>
- [32] Ingun [online]. Konstanz (Germany): INGUN Prüfmittelbau GmbH, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.ingun.de>
- [33] CETA [online]. Hilden (Germany): © CETA TESTSYSTEME GmbH, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.cetatest.com>

- [34] *LabControl* [online]. Opava: LabControl ® s.r.o., ©2006-2012 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.labcontrol.cz/>
- [35] *KEYENCE* [online]. Mechelen (Belgium): KEYENCE INTERNATIONAL, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: www.keyence.eu
- [36] *MARKATOR* [online]. Ludwigsburg (Germany): MARKATOR® Manfred Borries GmbH, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://markator.cz/>
- [37] *SMC* [online]. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: www.smc.cz
- [38] *Murrplastik* [online]. Milford: Murrplastik Systems, Inc., 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: [www.http://murrplastik.com](http://www.murrplastik.com)
- [39] *Rubena* [online]. Hradec Králové: Rubena a.s., 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: www.rubena.cz
- [40] *IMI norgren* [online]. England: Norgren Limited, 2015 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.imi-precision.com/>
- [41] *SIEMENS* [online]. Munich (Germany): © Siemens AG, 2016 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/>

9 SEZNAM SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ

9.1 Seznam symbolů

u	[V]	Napětí
i	[A]	Proud
F	[N]	Síla
x	[mm]	Změna polohy
Q	[m ³ /s]	Průtok
p	[Pa]	Tlak
S	[m ²]	Činná plocha pístu
η	[-]	Účinnost pohonu
$F_{zpět}$	[N]	Síla při zpětném pohybu
D	[m]	Průměr pístu
d	[m]	Průměr pístnice
F_v	[N]	Síla nutná pro pohyb mechanismu
F_z	[N]	Síla způsobená hmotností zátěže
β	[°]	Úhel mezi osou pohonu a vodorovnou rovinou
F_T	[N]	Třecí síla
F_{DYN}	[N]	Dynamická síla
m	[kg]	Hmotnost
a	[m/s ²]	Zrychlení
v	[m/s]	Rychlost
Q_{pr}	[m ³ /min]	Průměrná spotřeba vzduchu
S_{p1}	[m ²]	Činná plocha pístu při pohybu vpřed
S_{p2}	[m ²]	Činná plocha pístu při pohybu vzad
s	[m]	Zdvih
n	[1/min]	Počet cyklů za minutu
p_{atm}	[Pa]	Atmosférický tlak
p_p	[Pa]	Pracovní tlak
E_k	[J]	Kinetická energie
r	[m]	Vzdálenost od osy otáčení
ω	[Rad/s]	Úhlová rychlost
J	[kgm ²]	Moment setrvačnosti
J_1	[kgm ²]	Moment setrvačnosti kruhové desky
m_1	[kg]	Hmotnost kruhové desky
r_1	[m]	Poloměr kruhové desky
J_2	[kgm ²]	Moment setrvačnosti prstence
m_2	[kg]	Hmotnost prstence
r_2	[m]	Poloměr prstence
R_2	[Ω]	Odpor vodiče po změně teploty
R_1	[Ω]	Odpor vodiče před změnou teploty
α	[K ⁻¹ ; °C ⁻¹]	Součinitel teplotní závislosti odporu
Δt	[K; °C]	Rozdíl teplot

9.2 Seznam tabulek

TAB 1) PARAMETRY STOLU WEISS TC150 T [24].....	37
TAB 2) PARAMETRY STOLU FIBROTOR® EM [25].....	38
TAB 3) PARAMETRY STOLU FIBROTOR® ER [25].....	38
TAB 4) PARAMETRY STOLU EXPERT-TÜNKERS EGD100 [26]	39
TAB 5) PARAMETRY STOLU SOPAP TSA 200-6-270-D [27].....	39
TAB 6) PARAMETRY STOLU AUTOROTOR T1606/270° D [28]	40
TAB 7) VYBRANÉ PARAMETRY POUŽITÝCH KOMPONENT SESTAVY MĚŘENÍ ODPORU A IZOLACE.....	44
TAB 8) VYBRANÉ PARAMETRY POUŽITÝCH KOMPONENT SESTAVY MĚŘENÍ TĚSNOSTI	46
TAB 9) VYBRANÉ PARAMETRY POUŽITÝCH KOMPONENT SESTAVY MĚŘENÍ SILOVÉ CHARAKTERISTIKY	50
TAB 10) VYBRANÉ PARAMETRY POUŽITÝCH KOMPONENT SESTAVY POPISU	54
TAB 11) PŘEHLED RELEVANTNÍCH NEBEZPEČÍ.....	58
TAB 12) PŘEHLED IDENTIFIKOVANÝCH ZÁVAŽNÝCH NEBEZPEČÍ.....	59
TAB 13) HODNOCENÍ RIZIK.....	60
TAB 14) HLAVNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE	63

9.3 Seznam obrázků

OBR. 1) POBOČKA NUVIA A.S. HROTOVICKÁ 168, TŘEBÍČ	15
OBR. 2) A) TVAR PROPORCIONÁLNÍHO ČELA SE ZNÁZORNĚNÝM INDUKČNÍM TOKEM, B) SILOVÁ CHARAKTERISTIKA ELEKTROMAGNETU [5].....	17
OBR. 3) STRUKTURA PROPORCIONÁLNÍCH PRVKŮ [6].....	18
OBR. 4) ŘEZ S NAZNAČENÍM PRŮTOKU [18]	19
OBR. 5) UMÍSTĚNÍ PROPORCIONÁLNÍHO VENTILU NA TLUMIČI [18].....	20
OBR. 6) NÁHRADNÍ VÝKRES TESTOVANÉHO ELEKTROMAGNETU	21
OBR. 7) OBLAST POPISU	24
OBR. 8) SPODNÍ ČÁST RÁMU	31
OBR. 9) VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ	32
OBR. 10) POHLED NA CELÝ STROJ	33
OBR. 11) OTOČNÝ STŮL WEISS TC 500T [24]	34
OBR. 12) SESTAVA KARUSELU	35
OBR. 13) OTOČNÝ STŮL WEISS TC 150T [24]	37
OBR. 14) OTOČNÝ STŮL FIBROTOR® EM [25]	38
OBR. 15) OTOČNÝ STŮL FIBROTOR® ER [25]	38
OBR. 16) OTOČNÝ STŮL EXPERT-TÜNKERS EGD100 [26]	39
OBR. 17) OTOČNÝ STŮL SOPAP TSA 200-6-270-D [27]	39
OBR. 18) OTOČNÝ STŮL AUTOROTOR T1606/270° [28]	40
OBR. 19) ZAKLÁDACÍ POZICE	41
OBR. 20) SESTAVA MĚŘENÍ ODPORU VINUTÍ A IZOLACE.....	43
OBR. 21) KONTAKTOVACÍ KONEKTOR	45
OBR. 22) SESTAVA MĚŘENÍ TĚSNOSTI.....	47
OBR. 23) SESTAVA MĚŘENÍ SILOVÉ CHARAKTERISTIKY.....	49
OBR. 24) MĚŘÍCÍ SESTAVA ZAKOMPOUNOVANÁ VE STROJI	51
OBR. 25) SESTAVA KAMEROVÉ KONTROLY.....	53
OBR. 26) SESTAVA POPISU SHODNÝCH DÍLŮ	55
OBR. 27) NOK BOX: A) ZAVŘENÝ BOX, B) OTEVŘENÝ BOX, C) POHLED NA CELÝ STROJ	56
OBR. 28) BLOKOVÝ DIAGRAM STROJE.....	57
OBR. 29) ROZLOŽENÍ CELKOVÝCH NÁKLADŮ NA VÝROBU STROJE	65

10 SEZNAM PŘÍLOH

10.1 Tištěné přílohy

H242-00-0000	Výkres	elektromagnetu
H242-00-0080	Výkres	lůžka
H242-00-S000	Výkres	stroje
H242-00-S005	Výkres	sestavy karuselu
H242-00-S010	Výkres	základní desky s komponenty
H242-00-S013	Výkres	sestavy měření těsnosti
H242-00-S014	Výkres	manipulátoru sestavy popisu
H242-00-S018	Výkres	sestavy popisu
H242-00-S021	Výkres	konektoru
H242-00-S025	Výkres	sestavy měření odporu a izolace
H242-00-S039	Výkres	sestavy svislého posuvu
H242-00-S040	Výkres	sestavy vodorovného posuvu
H242-00-S074	Výkres	sestavy kamerové kontroly
H242-00-S095	Výkres	sestavy kontaktování
H242-00-S112	Výkres	sestavy měření silové charakteristiky

10.2 Přílohy na CD

Hlavní dokument

Výkresy ve formátu .pdf

Fotky z realizace stroje

Seznam komponent pořízených nákupem

PŘÍLOHY