

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

**Přípravek pro měření napínací síly kladky pro řemenové
rozvody motoru osobního automobilu**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Petr Brožík

Dopravní a manipulační technika

Vedoucí práce: Ing. Michal Křížek, Ph.D

Plzeň 2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr BROŽÍK**
Osobní číslo: **S17N0007P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Přípravek pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu**
Zadávatel katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Navrhněte přípravek pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu. Cílem zařízení je ověřit hysterezní křivku napínací kladky. Přípravek musí umožnit měření charakteristiky rozvodové napínací kladky i napínací kladky agregátů motoru. Navrhněte cyklus měření. Zařízení bude provozováno v laboratorním provozu. Vypracujte výkresovou dokumentaci sestavy a výrobní výkresy důležitých konstrukčních uzlů. Konstrukční návrh zařízení ověřte pevnostním výpočtem.

Základní technické údaje:

Návrh rámu pro upnutí napínacích kladek různých výrobců, aktuátoru a snímačů. Možnost nastavení pracovního úhlu kladky +/-5 a jeho automatizované měření. Aktuátor vyvozující zátěž pro napínací kladku. Měření napínací síly v rozsahu až 500N. Standardní frekvence měření 0,1Hz (max. 25Hz). Stanovení hysterezní křivky napínací kladky.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků
2. Návrh variant řešení a jejich hodnocení
3. Konstrukční návrh zvolené varianty a pevnostní výpočty kritických uzlů
4. Návrh testovacího cyklu
5. Zhodnocení práce, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999

LEINVEBER, J., VÁVRA P. Strojnické tabulky. Úvaly: nakl. Albra, 2017

STANĚK, J., NĚMEC, J. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. Plzeň: ZČU, 2005

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Křížek, Ph.D.**
Regionální technologický institut
Konzultant diplomové práce: **Ing. Milan Tančín**
MBtech Bohemia s.r.o., Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



L.S.



Doc. Ing. Věra Čížková, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne.....

.....

(podpis autora)

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Michal Křížek, Ph.D. za cenné rady, vstřícné jednání a odborné vedení při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat kolektivu ze společnosti MBtech Bohemia zejména Ing. Milanu Tančinovi za poskytnuté informace, které byly využity při psaní této práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Brožík	Jméno Petr	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing.Křížek, Ph.D.	Jméno Michal	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Přípravek pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	80	TEXTOVÁ ČÁST	60	GRAFICKÁ ČÁST	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato diplomová práce je zaměřena na návrh přípravku pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu. Cílem měření je hysterezní charakteristika. Součástí je návrh měřicího cyklu a pevnostního výpočtu v programu NX.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Napínací kladka, řemenové rozvody, hysterezní charakteristika, testovací zařízení

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Petr	Name Brožík	
FIELD OF STUDY	N2301 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname Ing. Křížek, Ph.D.	Name Michal	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Test rig for measuring tension on pulleys for a car timing belt		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	80	TEXT PART	60	GRAPHICAL PART	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis is focused on the design of test rig for measuring tension on pulleys for a car timing belt. The measurement objective is a hysteresis characteristic. Part of the design of the measuring cycle and strength calculation in the NX program.
KEY WORDS	Tension pulley, timing belt, hysteresis characteristics, test rig

Obsah

1 Úvod.....	1
1.1 Cíl diplomové práce.....	1
1.2 Charakteristika organizace MBtech Bohemia s.r.o.	1
1.3 Význam rozvodů spalovacích motorů	2
1.4 Rozdělení rozvodů motorů	2
1.5 Pohon ozubeným řemenem	3
1.6 Závady rozvodových mechanismů	5
1.7 Napínací kladky.....	7
1.8 Hysterezní křivka.....	9
1.9 Historické měření hysterezní křivky.....	10
2 Specifikace požadavků.....	11
3 Návrh variant a jejich zhodnocení.....	13
3.1 Vysokofrekvenční měnič.....	13
3.1.1 Varianta 1: Vodící kladka	13
3.1.2 Varianta 2: Šroubový mechanismus	14
3.1.3 Varianta 3: Kulisový mechanismus	15
3.1.4 Kritéria bodového výběru	16
3.2 Konstrukční řešení celého testovacího zařízení.....	18
3.2.1 Varianta A: Opásání napínací kladky řemenem	18
3.2.2 Varianta B: Napínání kladky tahem řemenu.....	19
3.2.3 Kritéria bodového výběru	20
4 Napínací síla.....	21
5 Řešení vlastní konstrukce.....	22
5.1 Vodící kladka.....	23
5.1.1 Rozběhový moment motoru.....	24
5.2 Aktuátor	27
5.3 Snímač síly	29
5.4 Měření jmenovité polohy kladky.....	30
5.5 Uložení napínací kladky	33
5.6 Uložení řemene.....	35
5.7 Snímač úhlu opásání.....	38
5.8 Rám.....	39
5.9 Příslušenství.....	40

5.10 Elektronické zapojení	40
6 Návrh testovacího cyklu.....	42
7 Pevnostní kontrola rámu.....	45
7.1 Zadání	45
7.2 Materiálové charakteristiky	45
7.3 Zjednodušení sestavy.....	45
7.4 Okrajové podmínky	46
7.5 Zatížení	47
7.6 Síťování	49
7.7 Vyhodnocení výsledků simulace	50
7.7.1 Varianta 1: Celkové posunutí.....	51
7.7.2 Varianta 2: Celkové posunutí.....	51
7.7.3 Varianta 1: Posunutí v ose x	52
7.7.4 Varianta 2: Posunutí v ose x	52
7.7.5 Varianta 1: Posunutí v ose y	53
7.7.6 Varianta 2: Posunutí v ose y	53
7.7.7 Varianta 1: Posunutí v ose z.....	54
7.7.8 Varianta 2: Posunutí v ose z.....	54
7.7.9 Varianta 1: Celkové napětí.....	55
7.7.10 Varianta 2: Celkové napětí.....	55
7.8 Výsledné zhodnocení.....	56
8 Hodnocení kvality a konkurenceschopnosti.....	57
9 Závěr.....	60
10 Seznam použité literatury	61
11 Volně vložené přílohy	62

Obrázek 1: Logo MBtecha a AKKA Technologies	1
Obrázek 2: Pohon ozubeným řemenem	3
Obrázek 3: Ozubený řemen.....	4
Obrázek 4: Profily zubů	4
Obrázek 5: Přetržení řemenu.....	5
Obrázek 6: Utržení zubů řemenu	6
Obrázek 7: Zničená hlava motoru	6
Obrázek 8: Opotřebený řemene	7
Obrázek 9: Manuální napínací kladka.....	7
Obrázek 10: Řez napínací kladkou.....	8
Obrázek 11: Automatická napínací kladka	8
Obrázek 12: Roztržení řemenu.....	9
Obrázek 13: Hysterezní charakteristika	10
Obrázek 14: Reálná hysterezní charakteristika	10
Obrázek 15: Napínací kladka 04C 109 479 H.....	12
Obrázek 16: Varianta 1: Vodící kladka.....	14
Obrázek 17: Varianta 2: Šroubový mechanismus	15
Obrázek 18: Varianta 3: Kulisový mechanismus	16
Obrázek 19: Varianta A: Opásání napínací kladky řemenem	18
Obrázek 20: Varianta B: Napínání kladky tahem v řemenem	19
Obrázek 21: Silové poměry.....	21
Obrázek 22: Výpočet působíště napínací síly	21
Obrázek 23: Testovací zařízení	23
Obrázek 24: Festo CMMT-AS	24
Obrázek 25: Schéma vodící kladky.....	24
Obrázek 26: Silové poměry na vodící kladce.....	25
Obrázek 27: Funkce vodící kladky.....	25
Obrázek 28: Steinerova věta	26
Obrázek 29: Aktuátor FestoESBF-32-400-10.....	28
Obrázek 30: Zapojení aktuátoru	29
Obrázek 31: Burster 8432-6001	29
Obrázek 32: Kontrola předepnutí	30
Obrázek 33: Měření úhlu natočení	31
Obrázek 34: Optický snímač OMRON E6A2-C.....	33
Obrázek 35: Uložení napínací kladky	34

Obrázek 36: Upínač napínací kladky	35
Obrázek 37: Pouzdro s negativním profilem řemenu.....	36
Obrázek 38: Horní upevnění	36
Obrázek 39: Spodní upevnění	37
Obrázek 40: Mezní polohy nastavení úhlu opásání	38
Obrázek 41: Úhel opásání	38
Obrázek 42: Megatron MAB12A.....	39
Obrázek 43: Blokové schéma zapojení	41
Obrázek 44: Testovací cyklus s nastavením	43
Obrázek 45: Testovací cyklus	44
Obrázek 46: Celkový náhled rámu pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu	45
Obrázek 47: Zjednodušený model rámu	46
Obrázek 48: Okrajové podmínky rámu	46
Obrázek 49: Zatížení od aktuátoru	47
Obrázek 50: Definování zatížení.....	48
Obrázek 51: Zatížení od konce řemenu.....	48
Obrázek 52: Jemná síťování a hrubé síťování.....	49
Obrázek 53: Síťování	50
Obrázek 54: Varianta 1 - Celková deformace	51
Obrázek 55: Varianta 2 - Celková deformace	51
Obrázek 56: Varianta 1 - Posunutí v ose x.....	52
Obrázek 57: Varianta 2 - Posunutí v ose x.....	52
Obrázek 58: Varianta 1 - Posunutí v ose y.....	53
Obrázek 59: Varianta 2 - Posunutí v ose y.....	53
Obrázek 60: Varianta 1 - Posunutí v ose z.....	54
Obrázek 61: Varianta 2 - Posunutí v ose z.....	54
Obrázek 62: Varianta 1 - Celkové napětí	55
Obrázek 63: Varianta 2 - Celkové napětí	55

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnocení variant	17
Tabulka 2: Hodnocení konstrukčních variant	20
Tabulka 3: Tabulka parametrů vodící kladky	26
Tabulka 4: Výsledné zhodnocení	56
Tabulka 5: Výsledné parametry testovacího zařízení	58
Tabulka 6: Vlastní frekvence rámu	59

Přehled použitých zkratk a symbolu

F	Síla v řemenu
F_p	Napínací síla
r	Poloměr řemenice
α	Úhel opásání napínací kladky
e	Excentricita
γ	Úhel mezi poloměrem řemenice a ramenem napínací síly
ε	Úhel natočení aktuátoru vzhledem k nulové pozici
φ	Úhel natočení spodního uložení řemene vzhledem k nulové pozici
α_t	Úhlové zrychlení
t_k	Doba rozběhu motoru

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou měření hysterezní křivky napínací kladky. Napínací kladka slouží pro napnutí řemene rozvodového řemene nebo hnacího řemene pomocných agregátů. Napínací kladka vyvozuje potřebnou sílu pro požadovaný převod mechanismu, aby nedošlo k fatální závadě rozvodu, které by mělo následek poškození celého spalovacího motoru. K ověření kladky nám slouží hysterezní charakteristika.

Cíl práce je navrhnout zařízení, které dokáže simulovat děj napínání a získávat z toho potřebné údaje k ověření správné konstrukce a funkčnosti napínací kladky. Současně musí testovací zařízení splňovat požadavky na spolehlivé a rychlé měření hysterezní charakteristiky. Výsledkem bude získaná hysterezní charakteristika a podle ní zhodnocení měřené komponenty.

V první části práce je popsána problematika řemenových rozvodů u spalovacích motorů a jejich závady. Dále je věnována pozornost napínacím kladkám a jejich typickým problémům. Následně je objasněna hysterezní charakteristika a specifikace zadání diplomové práce. Poté vznikly tři konstrukční varianty testovacího zařízení a z nich byla ta nejlépe hodnocená realizována. Podstata konstrukce testovacího zařízení je obsažena v další části zahrnující vysvětlení ohledně konstrukčních uzlů zařízení a pevnostního výpočtu rámu. Poslední část je věnována návrhu testovacího cyklu měření a jeho zhodnocení.

1.1 Cíl diplomové práce

Mým zadáním diplomové práce je navrhnout přípravek pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu. Cílem zkušebního zařízení je ověřit hysterezní křivku napínací kladky. Přípravek musí umožnit měření charakteristiky rozvodové napínací kladky. Toto zařízení bude provozováno v laboratorním provozu. Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace sestavy a výrobní výkresy pro komponenty uložení napínací kladky.

1.2 Charakteristika organizace MBtech Bohemia s.r.o.

Zadavatelem této práce je společnost MBtech Bohemia. To je „největší engineeringová společnost v ČR, byla založena v roce 1996 jako dceřiná firma společnosti Daimler. V roce 2012 převzal 65% podílkoncern AKKA Technologies. Tímto spojením vznikl na světovém trhu jeden z předních poskytovatelů vývojových a poradenských služeb pro automobilový průmysl, železniční dopravu a letectví. Daimler i nadále zůstává jedním z nejvýznamnějších zákazníků.“ (MBtech, 2019, [online])



Obrázek 1: Logo MBtecha a AKKA Technologies

„S celkovou kapacitou téměř 500 odborníků podporuje zákazníky z celého světa od prvních skic přes koncept, konstrukci, výpočty, testování až po výrobu prototypových dílů a přípravků. MBtech kombinuje tyto kompetence s individuálními konzultačními a kvalifikačními službami. Navíc mohou zákazníci firmy MBtech využívat benefit v podobě přístupu ke znalostem a zdrojům celé skupiny AKKA, která zaměstnává přibližně 11 000 inženýrů a konzultantů ve více než 20 zemích světa.“(MBtech, 2019, [online])

Tuto práci zadalo konkrétně oddělení pohonů, kde jsou hlavním předmětem činnosti jednotlivé části spalovacích motorů, například právě rozvody.

1.3 Význam rozvodů spalovacích motorů

Na začátku je potřeba vyjasnit některé věci ohledně spalovacích motorů pro pochopení problematiky okolo mého tématu diplomové práce. Konstrukci spalovacích motorů můžeme rozdělit do několika kategorií jako jsou např. sání, vstřikování, mazání, chlazení, řízení výměny obsahu válců a způsob zapálení paliva. Pokud selže jeden ze systémů, dojde k nefunkčnosti nebo v horším případě poničení spalovacího motoru. Zkušební zařízení, které mám sestrojít, bude ověřovat správnou funkčnost rozvodů spalovacích motorů.

GSCHEIDLE definuje význam rozvodů jako: „Ventilové rozvody mají za úkol řídit výměnu obsahu válců, to je okamžik otevření a zavření rozvodových orgánů (ventilů) pro plnění válců vzduchem nebo směsí“ (2007, 265). V době sání zajišťuje délku plnění pracovního prostoru a během komprese a expanze slouží k dokonalému utěsnění spalovacího prostoru. Při výfuku dochází k vyprázdnění ze spalovací směsi z prostoru válce. Současně se jednotlivé pracovní doby překrývají pro zlepšení plnění a vyprazdňování z hlediska účinnosti spalovacích motorů. Velmi stručně můžeme konstatovat, že rozvody spalovacích motorů slouží k:

- přívodu co největšího množství spalovací směsi do pracovního prostoru motoru ve správný čas
- odvodu spálené směsi ve vhodném čase

Remek (2012)

1.4 Rozdělení rozvodů motorů

Rozvodový mechanismus je jeden z nejdůležitějších stavebních prvků celého spalovacího motoru. Hlavní cíl rozvodů je otevírat a uzavírat prostor válce motoru ve správném časovém úseku zatímco musí být zajištěny průtočné průřezy pro odvod spalin a přívod čerstvé směsi. Další úkoly jsou zajištění nejnižší hlučnosti a bezporuchový provoz za podmínek vysokého mechanického a tepelného namáhání. To klade vysoké nároky na samotnou konstrukci rozvodu. Samotné řízení ventilů může probíhat čistě podle mechanické vazby s vačkovou hřídelí nebo může být ventil plně řízen elektronicky.

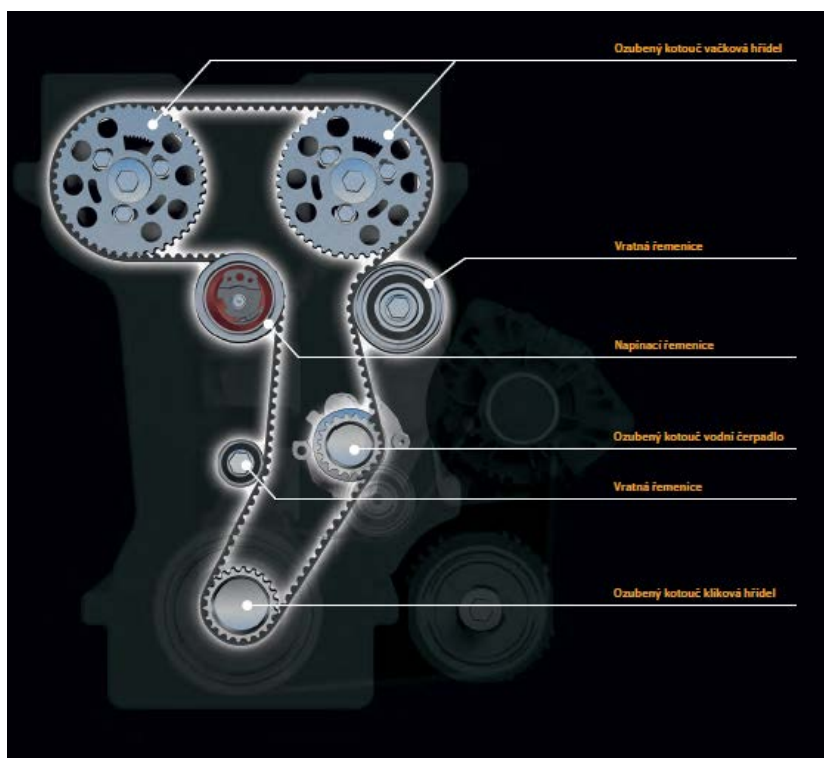
U mechanického provedení řízení můžeme rozdělit rozvody na:

- ozubenými koly a ozubeným řemenem
- řetězovými koly a válečkovým řetězem
- čelními ozubenými koly s šikmým ozubením
- rozvodovým hřídelem s kuželovými ozubenými koly

1.5 Pohon ozubeným řemenem

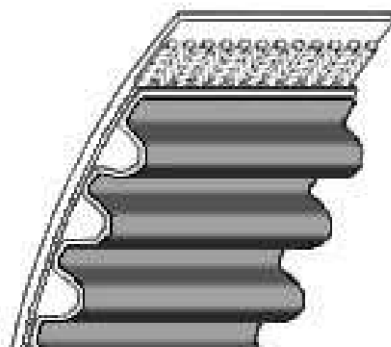
Většina produkovaných aut v dnešní době je navržena pomocí řemenového řízení ventilů pro zajištění chodu spalovacího motoru, také nazývaným synchronním řemenem. Pohon převodu musí za každé situace zajistit přesně definované otáčky na každou pracovní komponentu. Jak již bylo řečeno, koncepce rozvodů je možno řešit několika způsoby. Například oproti řetězovému převodu, který vyžaduje neustálý přívod oleje a těsnost je řemenový převod velmi levná náhrada z pohledu výroby a údržby. Proto je v dnešní době stále velmi často využíván v moderních spalovacích motorech.

Rozvod pomocí řemenu se obecně skládá z řemenu, kterým je opásána hnací a hnaná řemenice. Hnací řemenice, v tomto případě řemenice na klikové hřídeli, je poháněná a vyvozuje krouticí moment, který přenáší na hnanou řemenici uloženou na vačkové hřídeli pomocí řemenu a tím dochází k otáčení a přenosu síly přesně tam, kde potřebujeme. Pomocí klikové hřídele spalovacího motoru, na které je řemenice uložena, se řemen otáčí a vymezuje přesnou úhlovou polohu vůči řemenici vačkové hřídele, která slouží k otevírání a zavírání ventilů spalovacího prostoru a to v poměru 1:2. Nicméně to nejsou všechny řemenice. Na tomto rozvodu je pomocný agregát - vodní čerpadlo, které slouží k chlazení spalovacího motoru. Další komponenta, která je součástí řemenového rozvodu je vodící kladka, která slouží k vymezení příčného směru vedení. V poslední řadě tam najdeme také napínací kladku.



Obrázek 2: Pohon ozubeným řemenem

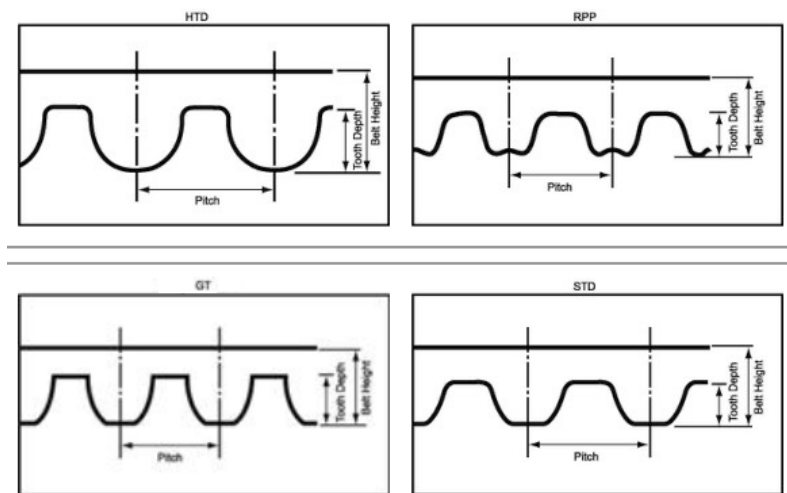
Napínací kladka slouží k vyvození patřičné síly k napnutí řemenu, tak aby řemen nemohl změnit svou úhlovou polohu oproti klikové hřídeli, tzv. přeskočit o zub. Pokud by se toto stalo, dojde k mechanickému kontaktu pístu s ventilem ve spalovacím motoru a to má za následek poškození nebo naprosté zničení motoru. Současně nesmí být napínací síla příliš velká, protože dochází k velkému namáhání řemenu a tím se výrazně zkracuje životnost samotného řemenu, ale i ložisek, na kterých jsou komponenty jako kliková nebo vačková hřídel. To má za následek vznikání vůlí v motoru a špatného chodu až k jeho poničení.



Obrázek 3: Ozubený řemen

Tento řemen narozdíl od klínových řemenů přenáší výkon nikoliv třením, ale tvarovým stykem. Proto u něj nedochází ke skluzu a hnací a hnaná řemenice se otáčejí stejnou úhlovou rychlostí, mluvíme tak o synchronním převodu. Další výhodou rozvodu pomocí řemenu je široký rozsah provozních rychlostí, malé předpětí a tím i malé zatížení hřídelů a ložisek.

Řemen se skládá z ozubení a stykové, tažné a ochranné vrstvy. Ozubení řemenu je opatřeno ochrannou vrstvou, která chrání řemen před vnějšími mechanickými a chemickými vlivy. Ozubení zajišťuje tvarový styk s řemenicemi. Tažná vrstva se nachází v místě roztečné plochy řemenu a jejím účelem je přenášet obvodovou sílu. Tažná vrstva je vyztužena skelnými vlákny, ocelovými vlákny nebo kevlarem. Tažná vrstva je mezi vrstvami kaučuku, neoprenu nebo polyuretanu a je tvořena šroubovitě vinutými vlákny. Současně tyto vrstvy tvoří i jednotlivé zuby. Řemeny pro rozvody mají zpravidla ozubení pouze na jedné straně. Na straně ozubení je vrstva, která odolává otěru.



Obrázek 4: Profily zubů

Řemen se dělí také podle profilu zubu. Ten může být lichoběžníkový, parabolický nebo speciální. V rozvodech spalovacích motorů se nejčastěji používá parabolický tvar zubu, který se vyrábí v základních profilech HTD, GT, STD, RPP. Rozteč zubů je v metrických jednotkách. Tyto tvary zubů mají výhodnější rozložení sil na zubu, než v případě lichoběžníkového tvaru zubu. Současně umožňuje přenos až dvojnásobného výkonu, tišší chod, přesnější synchronizaci a vyšší životnost.

Řízení výměny obsahu válců pomocí řemene je nejlevnější variantou z pohledu výroby i případné opravy, také je velmi spolehlivé a čistě mechanicky závislé na poloze klikové hřídele bez jakékoliv elektronické vazby. Další jejich předností je nízká hmotnost,

jsou tiché a nepotřebují mazání, nicméně řemen musí mít specifické požadavky. Například vysokou pevnost v tahu a odolnost proti otěru. Mezi největší nevýhody pohonu s ozubeným řemenem patří samotný řemen a to zejména jeho nižší životnost. V současné době je schopen vydržet přibližně 100 000 km. Současně životnost tohoto materiálu velmi snižují chemické vlivy, vysoké namáhání a špatné napínací síly na rozvodech motorů. Další nevýhodou je uložení mimo pracovní zařízení. Vnik nečistot, jako je prach, štěrk a voda, je chráněn pouze jednoduchým plastovým krytem, který nedokáže plně zabránit jejich průchodu do pracovního místa rozvodu.

1.6 Závady rozvodových mechanismů

Za dobu, kdy je ozubený řemen používán ve spalovacích motorech, je možno definovat několik způsobů poškození řemenu. Ve chvíli kdy dojde k takto výraznému poškození, obvykle bývá již pozdě. Nicméně pro nás jsou tyto závady důležité pro zjištění jak přesné a možné příčiny, tak nápravy v budoucnosti. Rozvod spalovacího motoru ohrožují tři hlavní závady, které mají přímý vliv na samotnou konstrukci napínací kladky. A to jsou:

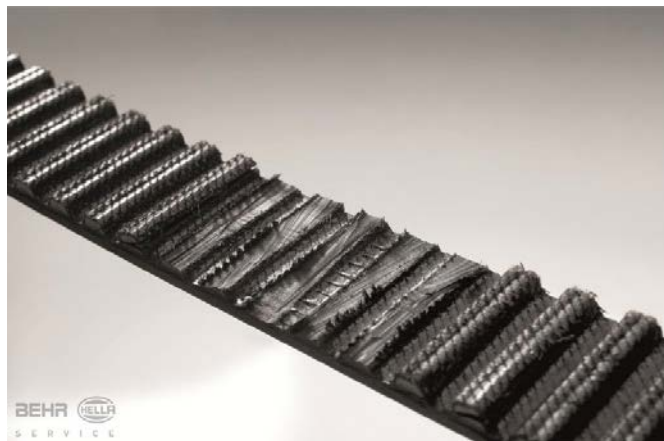
- přeskočení řemenu
- přetržení řemenu
- utržení zubů řemenu

Během provozu spalovacího motoru dochází k nepatrnému vytahování řemenu za celou dobu životnosti řemenového rozvodu. Ten je napínán z vnější hladké strany pomocí napínací kladky. Kladka zabezpečuje, aby nedošlo k přeskočení o jeden nebo více zubů řemenu vůči ozubené řemenici na vačkové hřídeli. Pokud tento případ nastane a dojde k přeskočení řemene, vážně se naruší chod motoru. Ve chvíli kdy dojde k velkému vytažení řemene, je nutné ho neprodleně vyměnit za nový. Životnost řemene je vždy určena výrobcem podle počtu najetých kilometrů nebo jeho stářím.



Obrázek 5: Přetržení řemenu

Dalším typem je přetržení řemenu. Důvodem této poruchy může být působení cizích těles v místě převodu. A to důsledkem špatného zakrytování řemenového rozvodu. Dalším důvodem je přeskočení zubů a následné přetržení vinou například špatné konstrukce napínací kladky nebo řemenového převodu. A tím posledním může být příliš velké nebo naopak nízké předpětí řemenu, opět vinou napínací kladky.



Obrázek 6: Utržení zubů řemenu

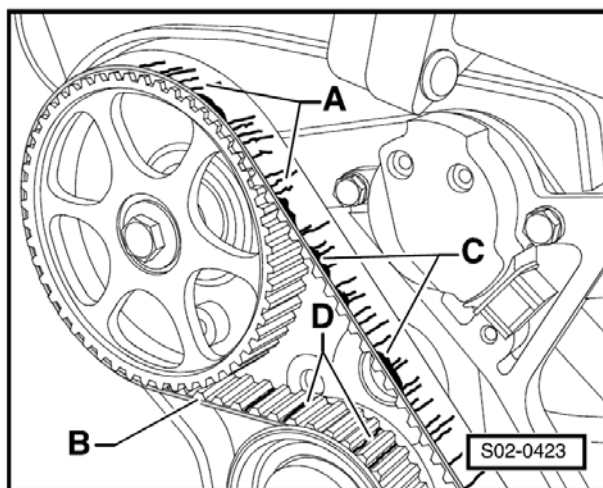
Posledním typem závady je utržení zubů řemenu. Vinou této závady opět může být příliš velké nebo naopak nízké předpětí řemenu vlivem napínací kladky, taktéž i působení cizích těles v řemenovém převodu. Závada mohla vzniknout i kvůli neotáčející se řemenici vlivem vadného ložiska nebo jiné podmínky, která ztěžuje otáčení řemenic.

Důsledky, které plynou z těchto závad, mohou být rozděleny do několika kategorií. Mezi tu nejpříživější z hlediska opravy můžeme zařadit špatný chod motoru. Motor nepracuje optimálně. Dochází k vynechávání zápalů, nevhodného průběhu krouticího momentu v závislosti na plynovém pedálu, a samotného dušení motoru.



Obrázek 7: Zničená hlava motoru

Nejhorším případem poruchy rozvodu motoru je naopak fatální zničení. K tomu může dojít vlivem jedné z těchto popsaných poruch. Nastane-li nesprávné časování ventilů, kdy ventil je otevřen a píst se blíží k horní úvratí, dochází k ději, který označujeme jako potkání motoru. Ventil s pístem do sebe narazí. Tím dojde ke zničení hlavy motoru, včetně ventilového rozvodu a zničení klikového mechanismu, včetně bloku motoru. Ve spoustě případech se jedná o neopravitelnou věc a je nutno vyměnit celý motor. Ve většině případů má zničení motoru na svědomí vadný kus nebo špatná konstrukce napínací kladky či ozubeného řemenu.



Obrázek 8: Opotřebení řemene

Během provozu podle všech dílenských příruček je potřeba kontrolovat opotřebení, respektive stav ozubeného řemene vačkové hřídele. Tato kontrola je velmi jednoduchá a probíhá pouze opticky k získání předběžného stavu poškození. Nicméně po zjištění jakéhokoliv opotřebení je potřeba navštívit odborný servis, který následně podnikne případné opravy. Toto opotřebení je vidět na obrázku výše. Jedná se o natržení, respektive trhliny v příčném směru (A), boční náběhy (B), roztržení respektive zálomy (C), trhliny základny zubu (D) nebo stopy oleje a tuku.

1.7 Napínací kladky

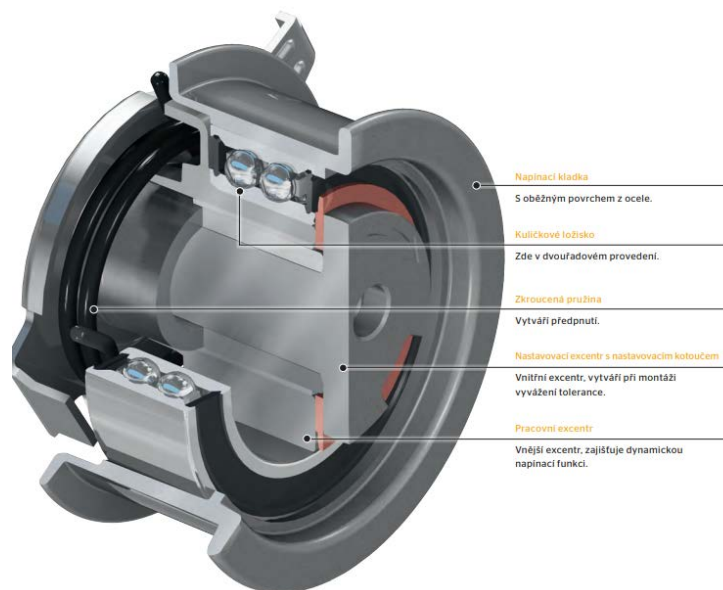
Napínací kladka je technické zařízení, které najdeme ve všech silničních vozidlech opatřených rozvodem ventilů pomocí řemene. Řemen obepíná různé komponenty, jako jsou řemenice vačky, vodního čerpadla, vodící kladky a řemenice klikové hřídele, proto je nezbytnou součástí celého vozidla. Napínací kladka slouží k zajištění potřebné síly k napnutí řemene během jízdy se zachováním synchronního převodu a minimálními vůlemi. Pokud je toto napětí příliš volné nebo naopak velmi těsné, dochází ke snižování životnosti řemene a jeho celého mechanismu. Napínací kladky můžeme rozdělit na dva typy, a to manuální a automatické. Jak již bylo řečeno, rozvodový řemen by měl pracovat v naprosté synchronizaci vůči řemenicím od vačkové hřídele s řemenicí klikové hřídele. Je důležité podotknout, že oba dva typy napínacích kladek se používají nejen pro rozvody spalovacích motorů, ale i pro napínání pomocných agregátů spalovacích motorů.



Obrázek 9: Manuální napínací kladka

Manuální kladky řemenů potřebují ruční nastavení napětí řemenu pomocí otáčení napínací jednotky a poté zajištění pro zachování nastavené hodnoty. Oproti tomu automatické se mohou samočinně přizpůsobit chování řemenu během jeho celé životnosti. Současně

se vyznačují delší životností řemene, lepším přizpůsobením zátěži motoru a nejsou tolik náchylné vůči změnám teplot. Automatické napínací kladky jsou proto dnes upřednostňovány před manuálními.



Obrázek 10: Řez napínací kladkou

Konstrukci kladky můžeme rozdělit na šest funkčních prvků: nastavovací excentr, pracovní excentr, ramena upínače, pružiny, řemenice a kuličkové ložisko. Nastavovací excentr slouží k napínání řemenu přes zkrutnou pružinu, opřeným o rameno upínače uložené na bloku motoru. Rameno upínače se nachází na zadní části napínací kladky, a pokud na něj zatlačíme, bude se pohybovat proti pružině napínací kladky. Pružina vyvozuje sílu pro udržení potřebné napjatosti na řemenu rozvodu. Řemenice slouží k otáčivému pohybu, po jehož obvodu se bude odvalovat samotný řemen. Na obvodu řemenice napínací kladky dochází ke styku řemenu s jeho plochou částí.

Mezi ramenem upínače a excentrem je zkrutná pružina, která vytváří potřebnou napjatost. Na povrchu základny je uložena řemenice na valivém ložisku. Osa řemenice je dána osou vnějšího průměru excentru. Osa řemenice tedy opisuje kružnici, která je dána velikostí excentricity, která je kolem osy základny. Na této kružnici existuje poloha, kdy pružina má nulovou sílu a dále poloha, kdy je napínací kladka v optimální poloze napnutí a kolem které je zjišťované pásmo $\pm 10^\circ$.

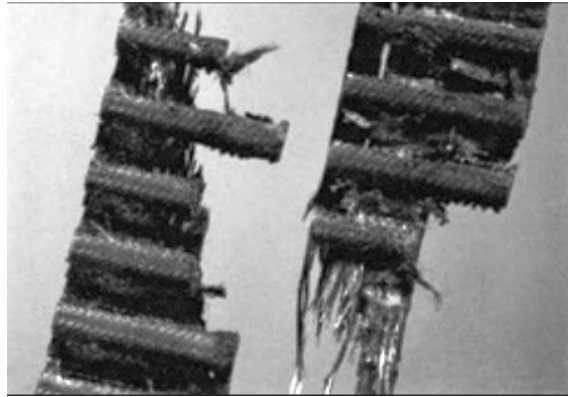


Obrázek 11: Automatická napínací kladka

Automatická napínací kladka je obvykle navržena ze dvou hliníkových odlitků těla napínací kladky, které slouží k uchycení k motoru a otočné části s odvalující řemenicí.

Tělo napínací kladky je s otočnou základnou pevně svázáno pomocí středového čepu a předepnuté pružiny. V těchto napínacích kladkách se využívají předepnuté šroubové pružiny. Samotné předepnutí řemenu se vyvozuje kombinací ohybu a krutu. U tohoto typu napínací kladky je pevně daná excentricita. Ta má hodnotu od středu řemenice a středového čepu.

Pokud toto zařízení nefunguje správně, ovlivní to výkon a funkčnost celého spalovacího motoru. Napínací kladka, která nefunguje správně, může řidiče upozornit několika typickými příklady svého chování za chodu motoru. Jedním z nich může být hluk. Jedná se o nejčastější příznak nefunkčnosti napínacího zařízení. Pokud je napínací kladka uvolněna, je typickým zvukem pískání a skřípání při spuštění motoru.



Obrázek 12: Roztržení řemenu

Další možností závady je opotřebení řemenice napínací kladky. To má za následek neobvykle velké opotřebení řemene. Důvodem této závady je problém napínacího zařízení. Pokud tento problém včas nezjistíme, dojde k roztržení na okrajích řemenu.

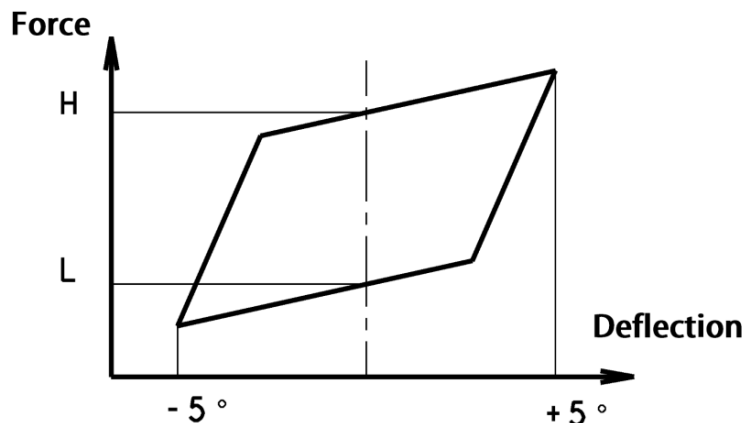
Následujícím příznakem špatné napínací kladky je porucha příslušenství, která pohání řemen. Jedná se o doplňující zařízení, jako jsou např. alternátor, vodní čerpadlo nebo kompresor klimatizace. Uvolněný řemen může zablokovat toto příslušenství a může dojít k přehřátí či nefunkčnímu dobíjení akumulátoru nebo klimatizace.

Napínací zařízení řemenu výrazně ovlivňuje chod celého vozidla, proto je důležité udržovat řemen správně předepnutý, aby mohl vhodně řídit časování motoru a jeho příslušenství. Pokud je podezření na špatně fungující napínací zařízení, je nutné zkontrolovat stav celého technického zařízení rozvodu, případně vyměnit poškozené díly. Napínací kladka může být měněna samostatně bez nutnosti výměny řemenu, avšak obvykle se mění spolu se samotným řemenem.

1.8 Hysterezní křivka

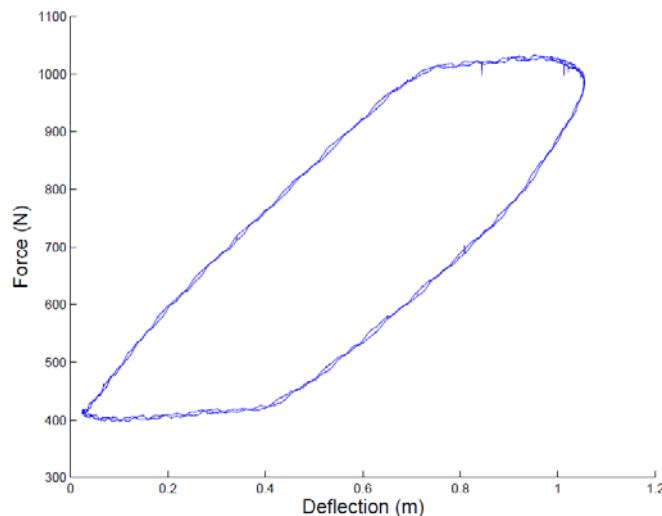
Zpočátku, než se dostaneme k samotné konstrukci testovacího zařízení, je potřeba vysvětlit, co je to hysterezní křivka. Tato křivka nám zajistí požadované výsledky pro určení funkčnosti a správné konstrukce napínací kladky. Hysterezní křivku si můžeme přestavit jako uzavřenou smyčku nějakého děje, která má rozdílný zatěžovací a odlehčovací průběh. V mém případě se jedná o hysterezní charakteristiku fyzikální veličiny síly, která nám bude reflektovat předepnutí napínací kladky. Ta je vynášena na vertikální osu grafu. Druhou veličinou je poloha natočení úhlu napínací kladky, vyvozená zkrutnou pružinou napínací kladky. Jako základní jmenovitá poloha napínací kladky se považuje taková poloha, kdy kladka je předepnutá podle předepsaného úhlu natočení daným výrobcem. Natočení napínací kladky je vynášeno na horizontální osu. Při kontinuálním ději měření dochází k uzavření smyčky a výsledky získané tímto měřením slouží pro potřebný návrh

napínací kladky rozvodů spalovacích motorů o požadovaných vlastnostech. Na obrázku můžeme vidět ideální děj hysterezní charakteristiky.



Obrázek 13: Hysterezní charakteristika

Reálné hodnoty, získané měřením na napínací kladce, jsou rozdílné oproti ideální charakteristice. Na to má výrazný vliv způsob měření děje. Když bude špatně nadefinován, dojde ke zkreslení naměřených údajů nebo nesprávnému měření. Další vlivem přesného měření hysterezní charakteristiky je rychlost frekvence měření. Ta záleží na výběru použitých elektronických prvků pro vyvozování frekvence a snímání pracovního děje. Je proto důležité, dodržet vyvážený poměr mezi cenou elektrických prvků a použitelnosti ve zkušebním zařízení.



Obrázek 14: Reálná hysterezní charakteristika

1.9 Historické měření hysterezní křivky

Vzhledem k povaze testovacího zařízení, které se nachází v laboratořích jednotlivých automobilek, dalších společností zabývajících se touto problematikou a současně nízkým počtem publikací, je obtížné čerpat inspiraci nebo posouzení daného tématu. Předpokládám, že konstrukční řešení v jednotlivých automobilkách se výrazně odlišují. Jako varianty řešení použité pro měření by mohli mít svojí testovací stolicí pro měření pouze napínacích kladek nebo může být například kombinované zařízení pro měření celého rozvodového mechanismu. Další výsledná kontrola měření může probíhat na již namontovaném mechanismu v motoru.

2 Specifikace požadavků

Cílem je navrhnout přípravek pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu. Výsledkem tohoto zkušebního zařízení je ověření hysterezní křivky napínací kladky. Přípravek musí umožnit měření charakteristiky rozvodové napínací kladky i napínací kladky agregátů motoru. Dalším parametrem zadání je navržení cyklu měření. Zařízení bude provozováno v laboratorním provozu.

Základní požadavky:

- návrh rámu pro upnutí napínacích kladek různých výrobců, aktuátoru a snímačů
- možnost nastavení úhlu opásání napínací kladky $\pm 10^\circ$ a jeho automatizované měření
- aktuátor vyvozující zátěž pro napínací kladku
- měření napínací síly v rozsahu až 500 N
- standardní frekvence měření 0,1 Hz (max. 25 Hz)
- stanovení hysterezní křivky napínací kladky

Charakteristika kladek:

- různí dodavatelé, liší se uchycením a velikostí excentru
- dva základní typy: rozvodová a pomocné agregáty
- mají stejný průměr $60 \pm 0,2$ mm a šířku drážky $20,6 \pm 0,3$ mm
- excentricita pro rozvody je 3 mm

Jednotlivé konstrukční uzly:

- rám pro postavení na stole a spojení všech komponent včetně elektronické výbavy
- upevnění napínáku
- upevnění a nastavení aktuátoru
- snímač úhlu natočení napínací kladky

Parametry:	Hodnota:
zdvih motoru	100 mm
rychlost posuvu motoru	25 Hz při zdvihu -10° až $+10^\circ$ pro rozvody 0,1 Hz pro kladku agregáty
přesnost stavění motoru	0,05 mm
síla motoru	600 N (tah/tlak)
snímač síly	600 N (tah/tlak)
přesnost snímače úhlu	$0,1^\circ$
frekvence snímání	5 kHz
průměr kladky	60 mm
šířka drážky řemenice	20,6 mm
excentricita	3 až 4 mm pro rozvody desítky mm pro agregáty

Vzhledem k tomu, že uchycení napínacích kladek se výrazně odlišují napříč výrobci a typu motoru a pro každý typ kladky je bod uložení ramena upínače na jiném místě a upraveném tvaru, jsme se po domluvě se zadávajícím pracovištěm dohodli na vypracování řešení pro jeden typ kladky s vyměnitelným pouzdrům pro rameno upínače, a v případě potřeby měření jiné napínací kladky vypracování individuálního pouzdra, které bude na testovacím zařízení relativně jednoduše vyměnitelné.



Obrázek 15: Napínací kladka 04C 109 479 H

Jedná se o napínací kladku s číselným označením 04C 109 479 H vyráběné pro koncern Volkswagen, použitou například v automobilech značky Audi, Seat, Škoda a Volkswagen ve většině motorizací od roku 2014 do roku 2017. Jedná se o manuální typ napínací kladky. U této kladky musí být zaručena funkčnost od teploty -40°C do $+140^{\circ}\text{C}$. Průměr řemenice je 60 mm a její šířka je 20,5 mm. Její pracovní excentricita je 3 mm. Obsahuje jednořadé kuličkové ložisko pro otáčení řemenice.

3 Návrh variant a jejich zhodnocení

Nyní když jsou známy všechny parametry testovacího zařízení, budu se věnovat návrhům pro strukturální princip měření s celým konstrukčním řešením. Z těchto možných variant bude pomocí bodového zhodnocení vybrána jediná, která bude realizována.

3.1 Vysokofrekvenční měnič

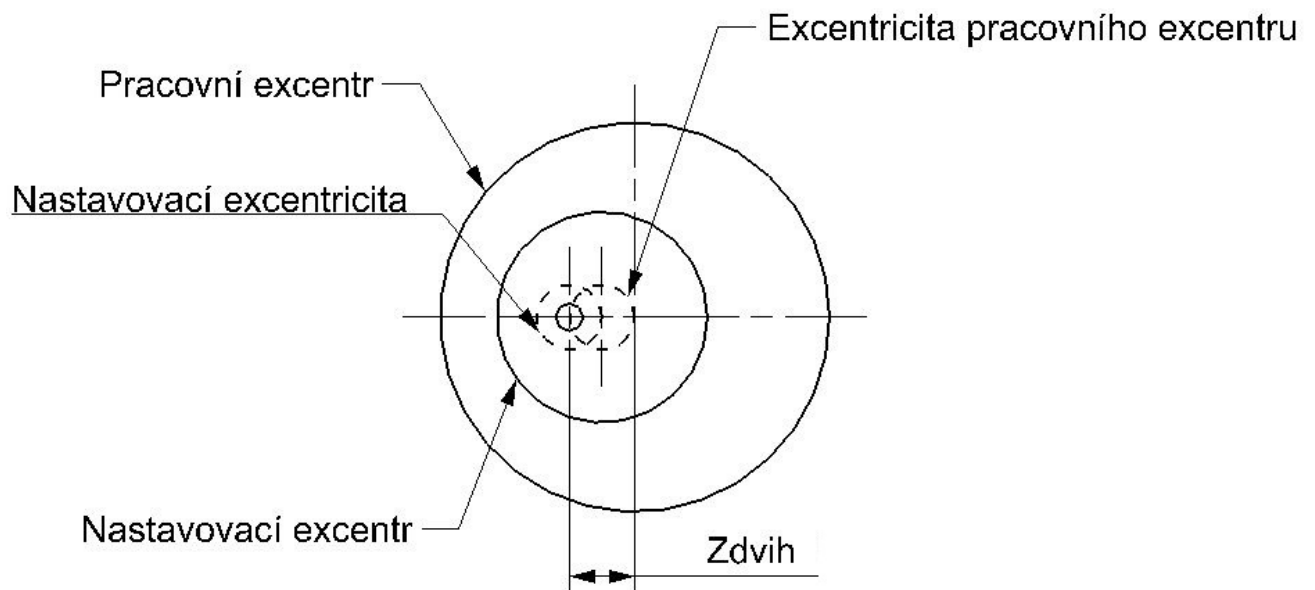
Jako první konstrukční uzel můžeme označit frekvenci zatěžování napínací kladky. Tato frekvence je 0,1 Hz pro kladky agregátu a 25 Hz pro kladky rozvodů. Jednotlivé zatěžovací frekvence pro konkrétní napínací kladky se mohou lišit a proto je potřeba brát v úvahu pravděpodobnou změnu frekvence v tomto intervalu. Pokud nedokážeme zajistit požadovanou frekvenci měření, získáme nevhodná data pro zhodnocení funkčnosti napínací kladky. Tato frekvence zatěžování musí být realizována od bodu, kdy napnutí napínací kladky dosáhne jmenovité polohy. Jmenovitou polohu napínací kladky označuje takový stav, kdy kladka je předepruta o jasně stanovenou polohu danou výrobcem napínací kladky. Tato poloha se vyskytuje v oblasti ideálního předeprnutí řemenu ve spalovacích motorech. Pro ověření napínací kladky existuje spektrum rozsahu od jmenovité polohy a to obvykle $+10^\circ$ pro přetížení kladky a následně -10° jejího odlehčení od jmenovité polohy. V tomto spektru je vyžadována přesně daná frekvence zatěžování během měření napínací kladky.

Při řešení vyvozování takto vysoké frekvence jsem se potýkal s několika problémy. Mezi ten nejdůležitější se řadí volba vhodného způsobu. V počáteční fázi jsem uvažoval o zařízení, které by dokázalo vyvodit takto vysoké frekvence. Nejvíce jsem uvažoval o aktuátoru. Bohužel toto zařízení nedokáže vytvořit požadovanou frekvenci v závislosti na velmi malém zdvihu a současně reverzaci otáček pro jednotlivé cykly zatěžování a odlehčování. Další nevýhodou je poměrně nízká přesnost stavění. V případě, že budu zatěžovat napínací kladku, dojde k pouze malému posunu vřetena aktuátoru a nedokážu tedy zajistit přesnost natočení napínací kladky od jmenovité polohy. Z toho důvodu jsem se rozhodl, po diskuzi se zadávající firmou svojí diplomové práce, na mechanickém zařízení vyvozující patřičnou frekvenci. V následující části popíšu možnosti, kterými to je možné.

3.1.1 Varianta 1: Vodící kladka

Vodící kladka vychází ze stejného principu funkce jako napínací kladka. Pokud máme řemenici, která koná otáčivý pohyb po ose, která nevychází ze stejné geometrické osy, dochází k vychylování řemenice po jasně dané trajektorii. Vzdálenost mezi skutečnou osou otáčení a geometrickou osou označujeme jako excentricitu. Vychylováním řemenice vůči geometrické ose vodící kladky získáme působení síly na řemen, který vyvine předeprnutí řemenu po potřebnou hodnotu měření od jmenovité polohy napínací kladky.

Další částí vodící kladky je nastavení velikosti zdvihu pro konkrétní použití napínacích kladek. Zdvih kladky je pro nás důležitý, protože potřebujeme libovolně měnit pásmo měřeného úhlu od jmenovité polohy a také měření napínacích kladek rozdílné konstrukce, kde se liší zdvih pro stanovený interval daným zadáním. Toto nastavení probíhá podle dvojité vnitřní excentricity. To funguje tak, že máme excentr, kde je pevně daná excentricita a pracovní excentr, kterým může libovolně natáčet a tím snižovat nebo zvětšovat zdvih celé vodící kladky. Ve chvíli, kdy máme nastavený zdvih pomocí pracovního excentru, dojde k uzamčení polohy vodící kladky a máme pevně nastavenou excentricitu, podle které bude obíhat řemenice vodící kladky. Na vnějším obvodu pracovního excentru je kuličkové ložisko s řemenicí pro odvalování vodící kladky po řemenu.

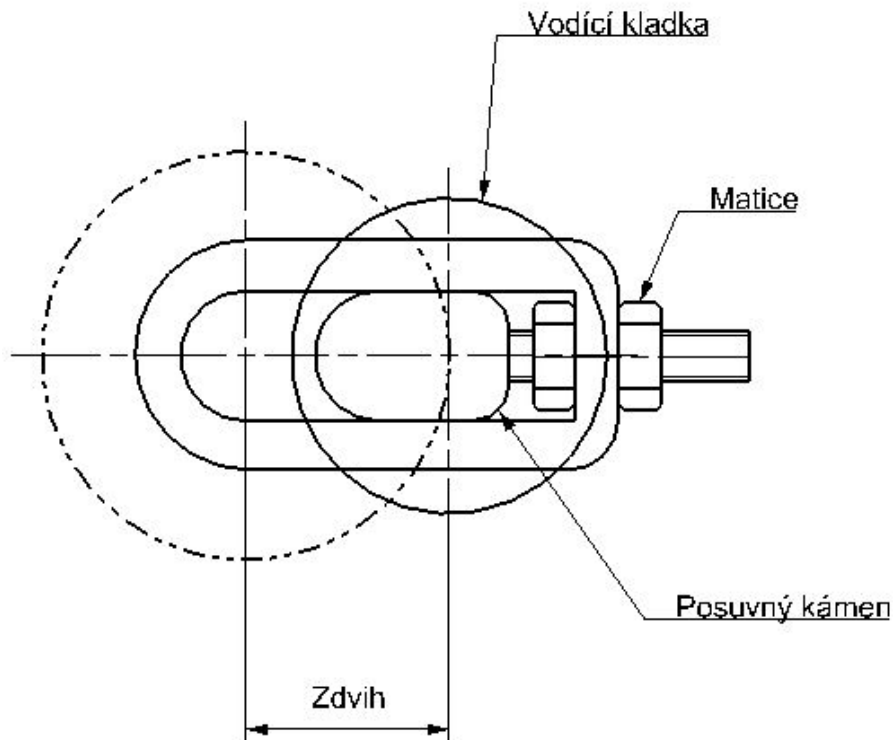


Obrázek 16: Varianta 1: Vodící kladka

- Výhody: kompaktnost
 univerzální řešení pro různé typy napínacích kladek
 jednoduché nastavování zdvihu
- Nevýhody: složitější výroba

3.1.2 Varianta 2: Šroubový mechanismus

Další možnou variantou je pohon motorem se šroubovým mechanismem. Jedná se o třmen, ve kterém je uložen posuvný kámen. Posuvný kámen má na sobě volně otočnou vodící kladku. Výška zdvihu se nastaví pomocí posunutí kamene od osy servomotoru otáčením matice. Po nastavení zdvihu se zajistí druhá matice. Celý mechanismus pak bude rotovat s potřebnou excentricitou pro vykonání dané polohy měření.



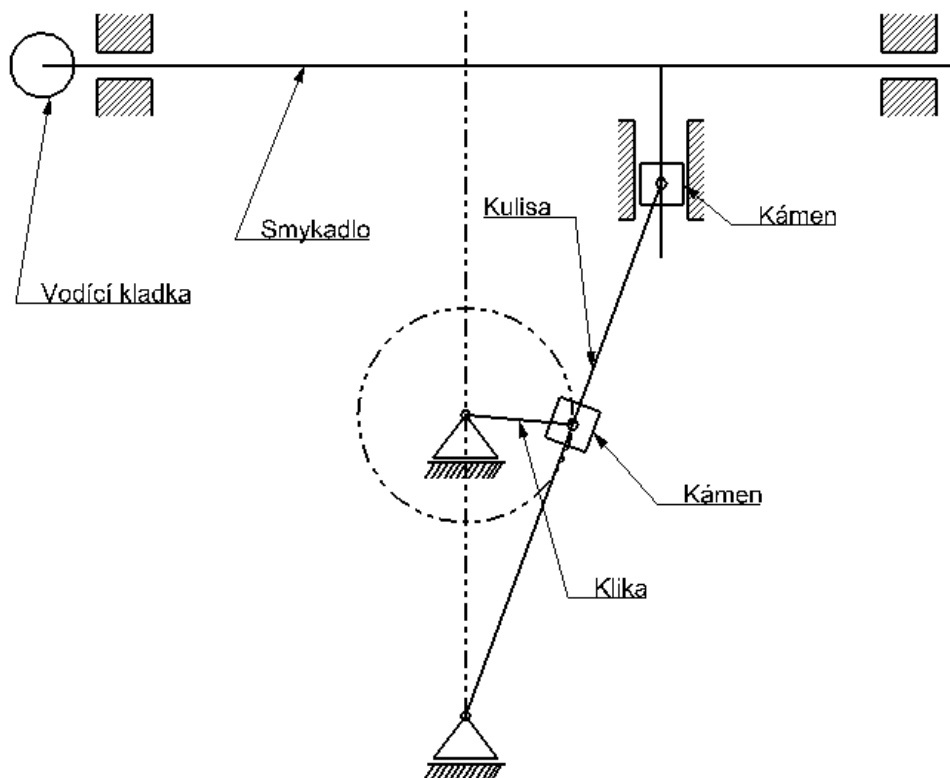
Obrázek 17: Varianta 2: Šroubový mechanismus

Výhody: jednoduchost
cena

Nevýhody: velké setrvačné hmoty
rotace volného konce – potřeba zabezpečit

3.1.3 Varianta 3: Kulisový mechanismus

Vodící těleso kulisového mechanismu je hranolovité, tzv. kulisa, v níž se pohybuje čtyřhran – kámen. Tento mechanismus mění otáčivý pohyb v pohyb posuvný. Kulisové mechanismy můžeme rozdělit podle konstrukčního hlediska na posuvné, kyvné a otáčivé. Kulisové mechanismy posuvné pracují jako klikové mechanismy s nekonečně dlouhou ojnicí. Osa dráhy kamene je kolmá ke směru vedení kulisy v rámu. Kulisové mechanismy kyvné mají velmi krátkou kliku, proto vykonává celou dráhu otáčky, i když kulisa koná pouze vratný kývavý pohyb.



Obrázek 18: Varianta 3: Kulisový mechanismus

- Výhody: Pohyb, který vyková smýkadlo, je rovnoměrnější než u strojů s klikovým mechanismem
- Nevýhody Velké opotřebení jednotlivých členů
- Použití je možno pouze pro přenos menších sil
- Velké ztráty
- Rychlost smýkadla při pohybu zdvihu je větší než rychlost pracovního zdvihu

3.1.4 Kritéria bodového výběru

Pro vyhodnocení nejlepší konstrukční varianty testovacího zařízení je potřeba z množiny všech požadavků na výsledný produkt stanovit několik parametrů, ze kterých se budou jednotlivé koncepce variant porovnávat.

Nejdůležitějšími parametry jsou jednoduchost nastavení zdvihu, univerzálnost měření pro jednotlivé napínací kladky a ovlivnění výsledků měření vlivem použití dané varianty.

Dalším důležitým parametrem je jednoduchost konstrukce a montáže. Očekává se řešení, které nebude příliš komplikované, ale zároveň plně funkční.

Posledním kritériem pro výběr správné varianty je cena. Mechanický frekvenční měnič by měl mít nízkou výrobní cenu a použití technologií pro jeho výrobu.

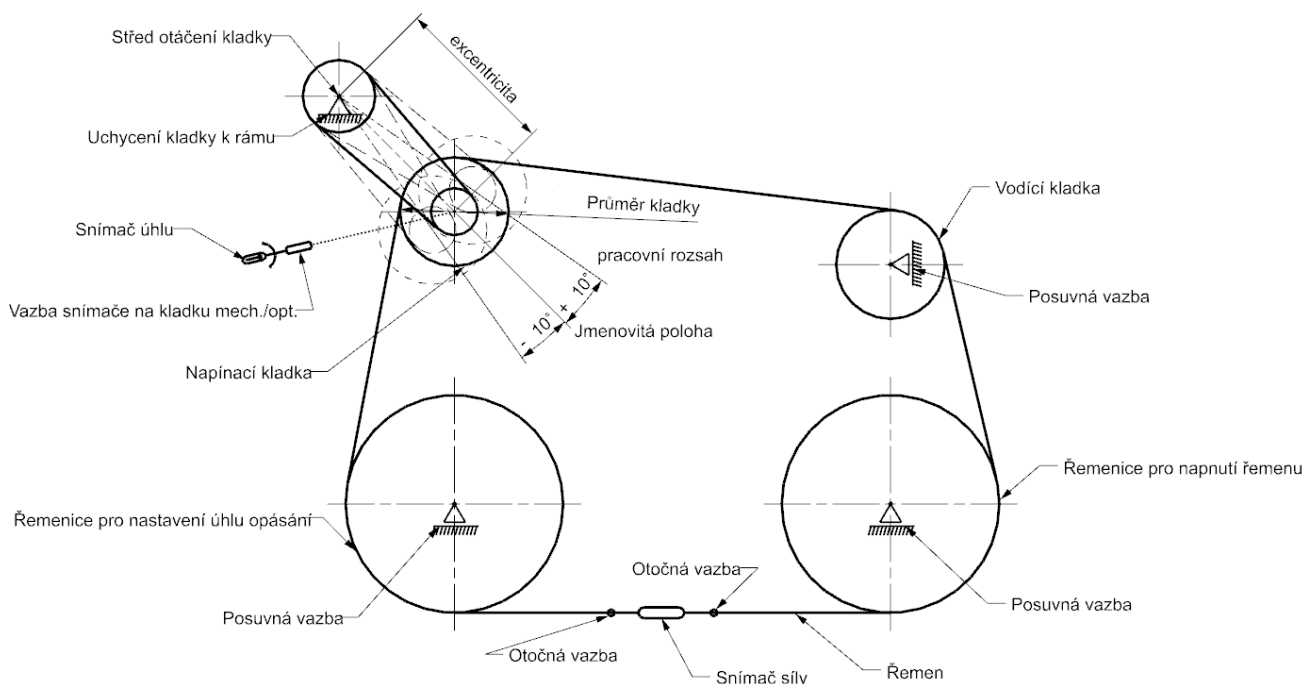
	Váha	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Nastavitelnost zdvihu	3	3	3	2
Univerzálnost měření	3	3	2	2
Ovlivnění měření	3	3	2	2
Jednoduchost konstrukce	2	2	3	1
Cena	1	2	3	1
Body celkem		33	30	21

Tabulka 1: Hodnocení variant

3.2 Konstrukční řešení celého testovacího zařízení

3.2.1 Varianta A: Opásání napínací kladky řemenem

První varianta vychází z opásaného převodu, kdy řemenice obepíná řemen. Předepnutí napínací kladky zajišťuje vodící kladka s excentricitou, kterou pohání elektromotor. Pohyb vodící kladky ve vertikální ose je automatizován pro předepnutí napínací kladky do jmenovité polohy měření. Současně se tímto způsobem nastavuje i úhel opásání. Řemenice pro nastavení úhlu slouží k posouvání v horizontální poloze a libovolnému určení úhlu opásání, zatímco řemenice pro napnutí řemenu slouží k zajištění patřičné napjatosti na řemenu. Pro zjištění úhlu natočení napínací kladky slouží snímač úhlu a velikost napínací síly je určena ze síly z řemenu.



Obrázek 19: Varianta A: Opásání napínací kladky řemenem

Výhody: menší složitost konstrukce

Nevýhody: přepočítávání výsledné napínací síly

pohon pro napínání vodící kladky

výměna napínacího řemenu pro každý typ napínací kladky zvlášť

upínací přípravek řemenu pro každý typ

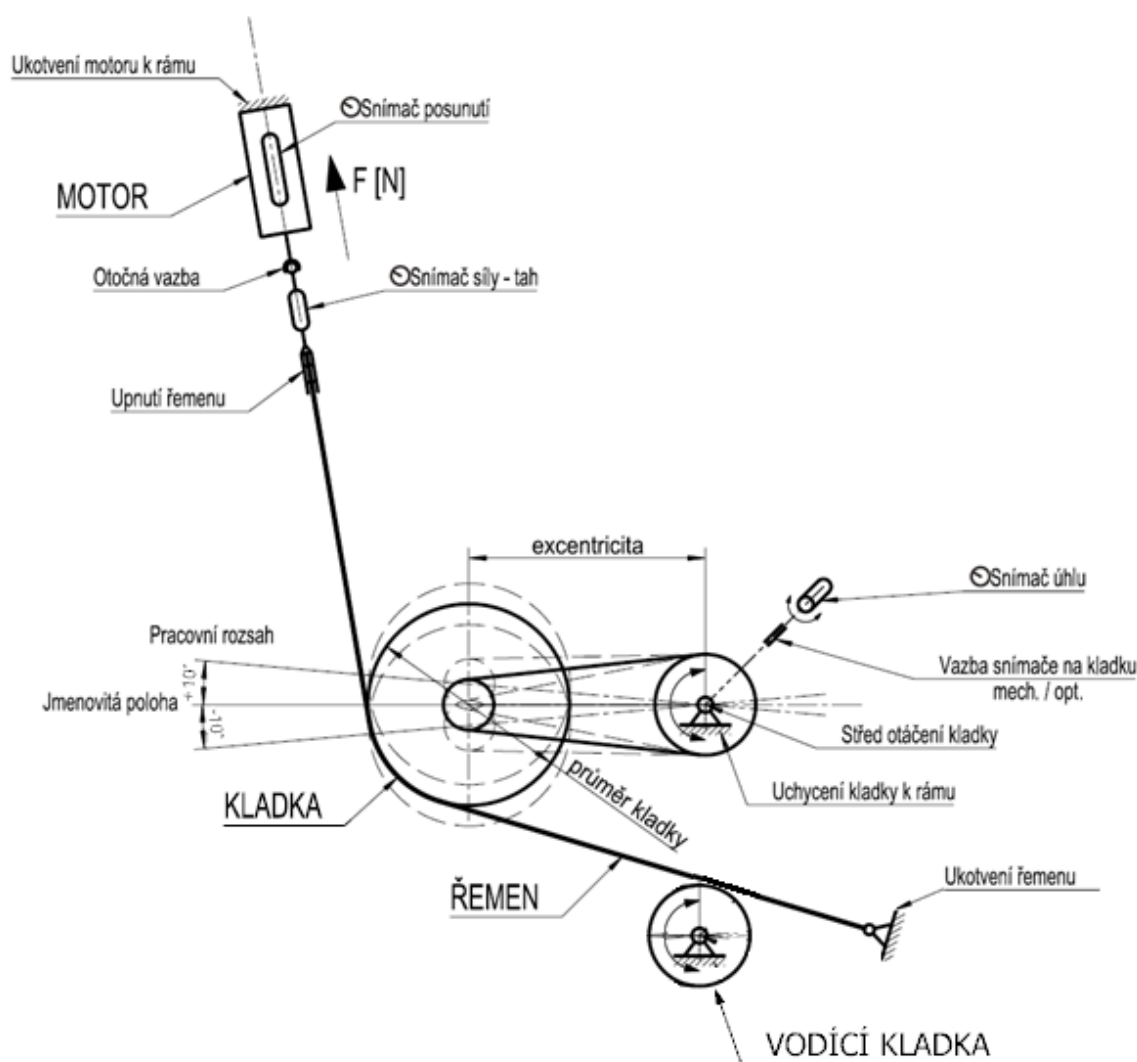
složitější konstrukce pro nastavování úhlu opásání

3.2.2 Varianta B: Napínání kladky tahem řemenu

Druhá varianta je nazvána napínání kladky tahem řemenu. Aktuátor slouží k předepnutí napínací kladky do jmenovité polohy, táhne tak přímo za řemen, který je veden přes napínací kladku a kotven na druhém konci. Poté se roztočí elektromotor s vodící kladkou, který pohybuje napínací kladkou ve jmenovité poloze $\pm 10^\circ$ vůči středu otáčení kladky, pro získání mezních stavů funkčnosti. Tuto polohu sleduje opět snímač úhlu. Tento snímač může být buď optický, nebo mechanický. Výslednou sílu předepnutí zajišťuje přepočtení ze síly snímače podle silového působení na řemenici.

Výhody: univerzální pro většinu napínacích kladek bez přestavby
kompaktnost

Nevýhody: přepočítávání výsledné napínací síly
silnější aktuátor z důvodu rozdílné síly v řemenu a napínací síly



Obrázek 20: Varianta B: Napínání kladky tahem v řemenu

3.2.3 Kritéria bodového výběru

Pro vyhodnocení nejlepší konstrukční varianty testovacího zařízení je potřeba z množiny všech požadavků na výsledný produkt stanovit několik parametrů, ze kterých se budou jednotlivé koncepce variant porovnávat. Nicméně je stále potřeba dbát i na ostatní požadavky.

Nejdůležitějším parametrem z pohledu zařízení je jednoduchost měření, které zahrnuje speciální přípravky pro upínání, samotné přepočítávání a převádění na výsledné veličiny potřebné k určení hysterezní křivky.

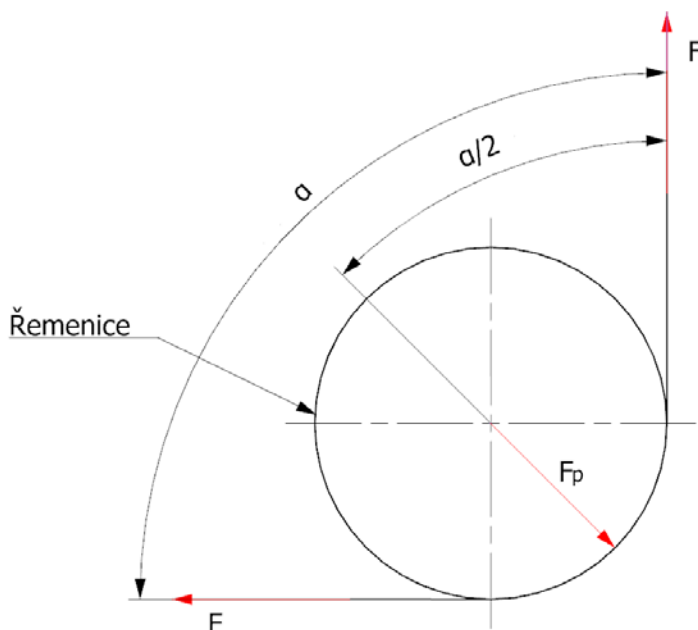
Dalším důležitým parametrem je jednoduchost konstrukce a montáže. Ta by měla být co nejnadanější, relativně snadno řešitelná a nekomplikovaná.

Posledním kritériem je cena. Zkušební zařízení by stále mělo mít nízkou výrobní a pořizovací cenu komponentů bez jakékoliv drahé technologie, která výrazně ovlivní cenu.

	Váha	Varianta A	Varianta B
Jednoduchost měření	3	2	3
Jednoduchost konstrukce a montáže	2	3	2
Cena	1	2	2
Body celkem		14	15

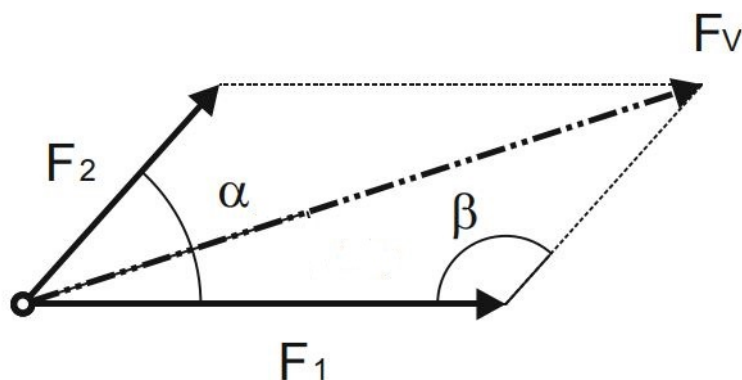
Tabulka 2: Hodnocení konstrukčních variant

4 Napínací síla



Obrázek 21: Silové poměry

Aktuátor v zařízení slouží k vyvození síly na kladku a tím dosažení jmenovité polohy natočení napínací kladky. Po získání jmenovité polohy napnutí napínací kladky tak dojde k vyvození zatěžovací frekvence pomocí rotace vodící kladky od elektromotoru. Na napínací kladku dochází působením síly pomocí řemene k vykonávání pohybu, potřebným pro získání hysterezní charakteristiky. Pro snímání natočení napínací kladky je potřeba senzor natočení úhlu. Každá kladka má definovaný úhel napnutí. Ve chvíli, kdy dojde k napnutí na požadovaný úhel, dochází k měření hysterezní charakteristiky v měřeném pásmu $\pm 10^\circ$. S ohledem na to, že nedochází k měření přímé napínací síly na napínací kladce, ale měříme sílu v ose řemene, je důležité danou sílu přepočítat podle tohoto vztahu:



Obrázek 22: Výpočet působivé napínací síly

Velikost výsledné síly pomocí cosinové věty

$$F_V = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \beta}$$

Úhel β :

$$\beta = 180 - \alpha$$

5 Řešení vlastní konstrukce

Konstrukce zkušebního zařízení musíme vnímat v širších souvislostech, protože by mohlo dojít k nevhodnému řešení, které nedokáže vytvořit děj, který by reálně nasimuloval funkci napínací kladky. Je proto třeba brát v potaz více kritérií jako například použití vhodného aktuátoru a snímačů, výsledná cena, složitost výroby, jednoduchá obsluha a bezpečnostní prvky. Současně je potřeba reflektovat přání zadávané společností na univerzální použití kladek, aktuátorů, snímačů a řídicí elektroniky. To vše nám celou konstrukci ještě více komplikuje, protože předpokládáme lehce vyměnitelné komponenty v testovacím zařízení. V první řadě jsem před samotnou konstrukcí vytvořil konstrukční varianty a podle tabulkové metody a zadání kritérií, které jsem vyjmenoval výše, jsem přiřadil hodnotu od jedné do pěti. Výsledná varianta s názvem napínání kladky tahem řemenu a vyvozování frekvence pomocí vodící kladky získala největší bodové hodnocení. Proto jsem zpracoval tuto variantu.

Má varianta má vytvořený rám konstrukce testovacího zařízení z profilů o čtvercovém průřezu z ocele o rozměrech 40x40x4 mm. Jednotlivé profily jsou k sobě spojeny svařováním. Ve spodní části rámu je vertikálně uložený aktuátor, který vyvozuje předepínací sílu na kladku. Aktuátor má v sobě integrovaný snímač polohy pro bezpečně nájezdy k napínací kladce. Aktuátor je uložený na rámu otočně pomocí dvou ložiskových jednotek, kterými prochází válcový čep. Ložiskové jednotky jsou na rám připevněny šrouby. Otočné uložení je zde proto, že napínací kladka mění svojí polohu, tudíž i úhel opásání kladky během měřicího cyklu. O samotné vysokofrekvenční zatěžování se stará vodící kladka s nastavitelnou excentricitou. Tu pohání samostatný servomotor. Kladka rotuje kolem své vlastní osy a předepíná napínací kladku ve vyšetřovaném pásmu pomocí řemenu, díky kterému se vodící kladka pohybuje.

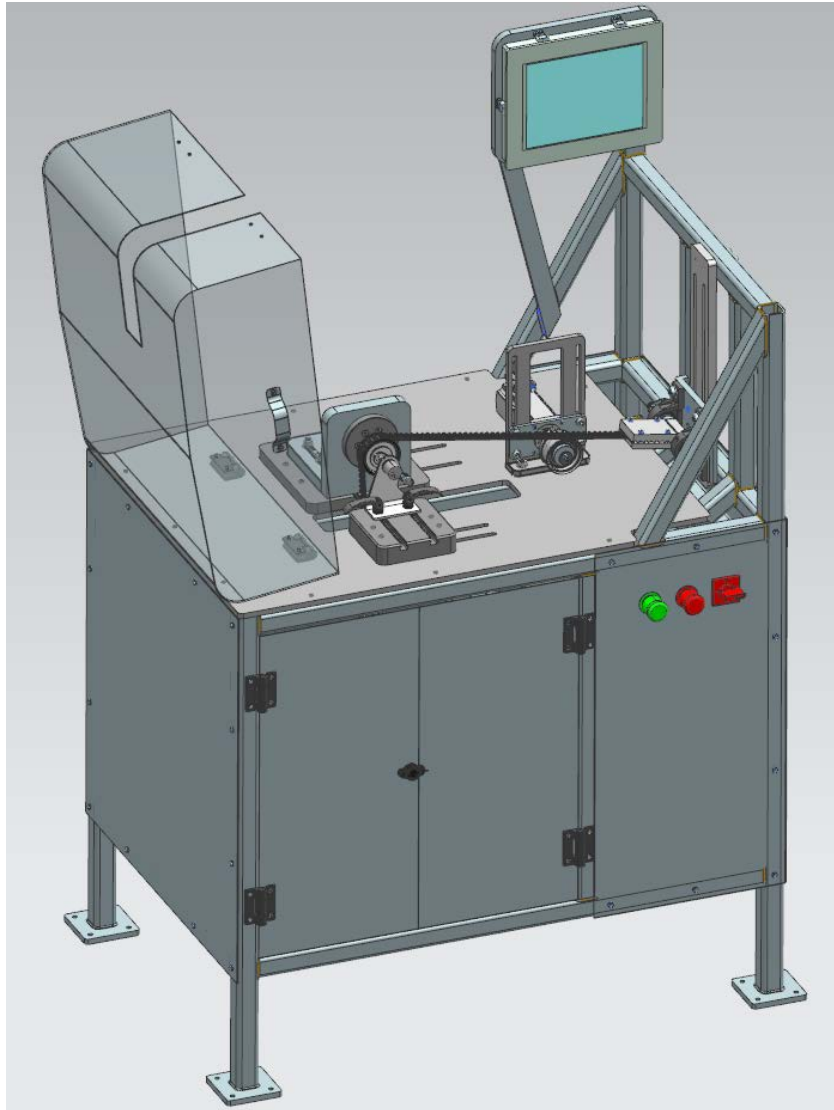
Dalším konstrukčním prvkem je uložení řemene k aktuátoru a rámu testovacího zařízení. Na pohyblivé části aktuátoru je čelist s negativním profilem pro upevnění řemenu pomocí svěrného spoje díky šroubům. Na konci řemenu je opět uložení řemenu pomocí přípravku s negativním profilem. Nicméně toto uložení musí být otočné, protože dochází k malé změně natočení napínací kladky vlivem excentricity a proto musí dojít k vymezení nepřesností vůči ose vřetena aktuátoru. Na rámu jsou na každém konci řemenu dvě ložiskové jednotky s otočným čepem. Tyto ložiskové jednotky jsou pohyblivé ve své příslušné ose. Je to z toho důvodu, že se předpokládá libovolné nastavení úhlu opásání. Kvůli tomu je také zapotřebí měřit tento úhel. To je řešeno pomocí dvou snímačů úhlů na každém konci řemene. Mezi aktuátorem a čelistí pro uložení řemene je snímač síly. Tento snímač snímá velikost síly vyvozené aktuátorem na kladku a následně z ní získává potřebné data pro získání hysterezní charakteristiky pro napínací kladku.

Další částí nezbytnou pro funkci testovacího zařízení je přípravek pro upnutí napínací kladky. Jak jsem již zmiňoval, kladky musí být univerzálně použitelné napříč různými výrobci. Každá napínací kladka má svojí vlastní excentricitu a svůj vlastní systém pro uložení na bloku motoru. Proto pro každý typ napínací kladky, která bude měřena, je potřeba mít svůj vlastní přípravek pro upnutí. Tento přípravek musí mít stejný upínací mechanismus pro uložení na rámu testovacího zařízení, aby nemuselo docházet k úpravám, zatímco na straně upínání kladky musí být vždy řešen jako protikus pro správné složení. Součástí mechanismu pro upínání kladky je úhlový snímač, který měří relativní polohu kladky ve vymezené oblasti daného měření.

Všechny snímače použité v testovacím zařízení odesílají signál přes převodník, který mění analogový signál na digitální do počítače. Aktuátor a servomotor je řízen pomocí servodriveru, který získává vložená data z počítače v závislosti na zpětné vazby od snímačů.

Veškeré řídicí prvky pro testovací zařízení, jako jsou převodníky a komunikace s počítačem, jsou umístěny v elektrické skříni včetně jističe proti přetížení.

Celý měřicí cyklus je naprogramován v počítači, který získává zpětnou vazbu ze snímačů, aktuátoru a servomotoru. Testovací zařízení má výklopný ochranný kryt, který slouží k ochraně obsluhujících lidí. V následujících kapitolách detailně rozeberu funkci a konstrukci jednotlivých důležitých komponentů testovacího zařízení.



Obrázek 23: Testovací zařízení

5.1 Vodící kladka

Mechanický měnič frekvence je zařízení, které jsem pojmenoval podle způsobu funkce. Pro simulování děje napínací kladky je zapotřebí dodržet frekvenci zatěžování. Ta dosahuje od 0,1 Hz až do 25 Hz. Pokud nebude dodržena správná frekvence měření napínací kladky, dojde ke zkreslení výsledků v hysterezní charakteristice, které mohou být nevhodné k použití. V případě převodu na rotační pohyb, který bude vykonávat vodící kladka, se jedná až o 1 500 ot/min⁻¹. Během otáčení vodící kladky dojde k napínání řemenu, který bude testovanou napínací kladku předepínat v rámci testovacího pásma.

Vodící kladka dosahuje nastavení výšky zdvihu až 8 mm. Výška zdvihu se nastavuje tak, že dojde k povolání šroubu a pomocí imbusového šroubu otáčíme pracovní excentr vůči

excentru vodící kladky. V momentě, kdy jsme získali potřebný zdvih vodící kladky pro předepnutí napínací kladky, utáhneme šroub a pozice pracovního excentru vůči excentru se uzamkne vlivem kuželové pouzdra.

Další částí tohoto mechanismu je pohon. Vzhledem k tomu, že potřebujeme řídit otáčky motoru a současně ověřit jejich správnost, zvolil jsem servomotor s enkodérem. To nám zaručí zpětnou vazbu pro ověření simulačního děje. Další požadavek je nastavitelná výška osy motoru, protože předpokládáme měření napínací kladky s rozdílnými úhly opásání. To je řešeno tak, že na držáku jsou vytvořeny drážky pro spojení pomocí šrouby a celý mechanismus můžeme vertikálně posouvat.

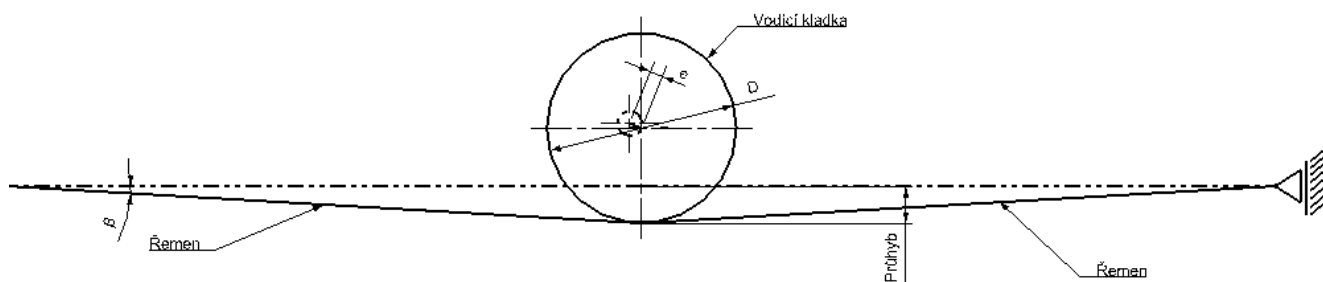
O řízení servomotoru se stará servo driver. Tento servo driver musí mít kompatibilitu se servomotorem. Servo driver slouží k elektronickému zesilování pohonu v servomotorech. Jedná se v podstatě o řídicí jednotku zodpovědnou za chod pohonu v příslušném požadavku od zadané hodnoty měření. Jak jsem již zmínil, důležitá je pracovní frekvence, kterou dokáže udat servomotor. Proto jsem vybral servo driver CMMT-AS.



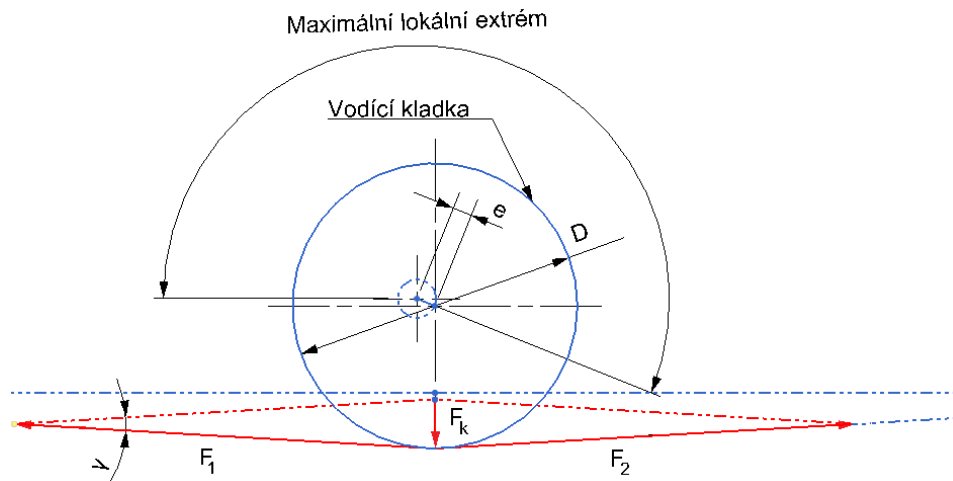
Obrázek 24: Festo CMMT-AS

5.1.1 Rozběhový moment motoru

$F=F_1=F_2= 872 \text{ N}$ - síla F představuje největší možné zatížení v řemenu
 $e = 4 \text{ mm}$ -excentricita vodící kladky

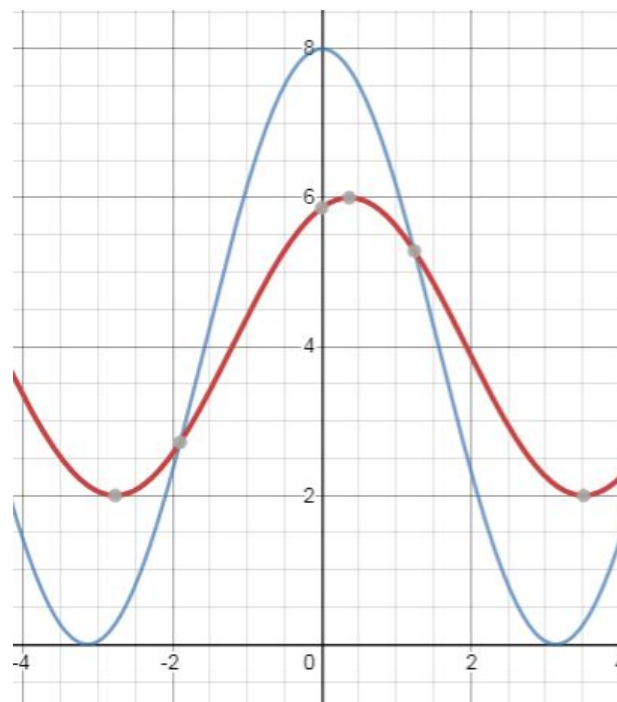


Obrázek 25: Schéma vodící kladky



Obrázek 26: Silové poměry na vodící kladce

Maximální lokální extrém síly na vodící kladce byl nalezen v úhlu $201,9^\circ$ od základní polohy ($21,9^\circ$ podle úhlové kóty). Modrá křivka znázorňuje funkci zdvihu vodící kladky a červená svírající úhel mezi volným a napnutým řemenem, který je $\beta = 2^\circ$.



Obrázek 27: Funkce vodící kladky

$$\gamma = 2\beta = 2 \cdot 2 = 4^\circ$$

Velikost výsledné síly pomocí cosinové věty

$$F_V = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \gamma} = \sqrt{872^2 + 872^2 - 2 \cdot 872 \cdot 872 \cdot \cos 4^\circ} = 60,8 \text{ N}$$

Moment na vodící kladku

$$M_v = F \cdot e = 60,8 \cdot 0,004 = 0,243 \text{ N.m}$$

	m [kg]	D[mm]	d [mm]	e [mm]
Upevňovací šroub	0,013	6	-	4
Pracovní excentr	0,0493	18	6	4
Excentr	0,1304	30	18	4
Ložisko (bez vnějšího kroužku)	0,0644	50	30	4

Tabulka 3: Tabulka parametrů vodící kladky

Vzhledem k tomu, že řemenice vodící kladky a vnější kroužek ložiska nerotuje s vodící kladkou, do výpočtu momentu setrvačnosti se nijak nepromítne. Moment setrvačnosti ložiska jsem zjednodušil na výpočet tvaru válce s otvorem.

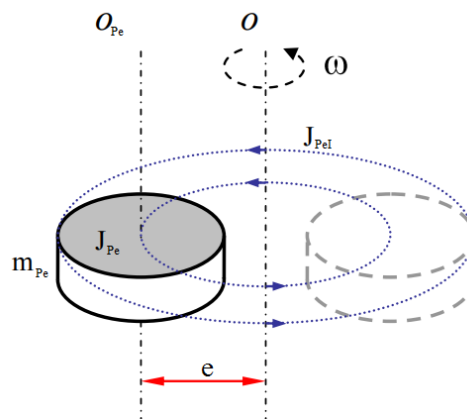
Momenty setrvačnosti pro jednotlivé části vodící kladky:

$$J_{\xi} = \frac{1}{2} \cdot m_{\xi} \cdot R^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,013 \cdot 0,003^2 = 5,85 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{Pe} = \frac{1}{2} \cdot m_{Pe} \cdot (r^2 + R^2) = \frac{1}{2} \cdot 0,0493 \cdot (0,003^2 + 0,009^2) = 2,22 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_E = \frac{1}{2} \cdot m_E \cdot (r^2 + R^2) = \frac{1}{2} \cdot 0,1304 \cdot (0,009^2 + 0,015^2) = 1,99 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_L = \frac{1}{2} \cdot m_L \cdot (r^2 + R^2) = \frac{1}{2} \cdot 0,0644 \cdot (0,015^2 + 0,025^2) = 2,737 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



Obrázek 28: Steinerova věta

Podle Steinerovi věty vypočteme moment setrvačnosti pro vodící kladku, který rotuje mimo svojí vlastní osu:

$$J = J_o + m \cdot e^2$$

$$J_{\xi I} = J_{\xi} + m_{\xi} \cdot e^2 = 5,85 \cdot 10^{-8} + 0,013 \cdot 0,004^2 = 2,67 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{PeI} = J_{Pe} + m_{Pe} \cdot e^2 = 2,22 \cdot 10^{-6} + 0,0493 \cdot 0,004^2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{EI} = J_E + m_E \cdot e^2 = 1,99 \cdot 10^{-5} + 0,1304 \cdot 0,004^2 = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{LI} = J_L + m_L \cdot e^2 = 2,737 \cdot 10^{-5} + 0,0644 \cdot 0,004^2 = 2,84 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Součet jednotlivých momentů setrvačnosti:

$$J = J_{\dot{S}I} + J_{PeI} + J_{EI} + J_{LI} = 2,67 \cdot 10^{-7} + 3 \cdot 10^{-6} + 2,2 \cdot 10^{-5} + 2,84 \cdot 10^{-5} \\ = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment na zrychlení rotačních hmot:

$$M_{ZR} = J \cdot \alpha_t = J \cdot \frac{\omega_0}{t_k} = J \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{t_k} = 5,4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{3000}{60}}{0,3} = 0,057 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Výsledný rozběhový moment pro vodící kladku:

$$M = M_V + M_{ZR} = 0,243 + 0,057 = 0,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Volím servomotor EMME-AS-60-M-LS

jmenovitý moment - 1,2 N.m

jmenovité otáčky - 3 000 ot/min

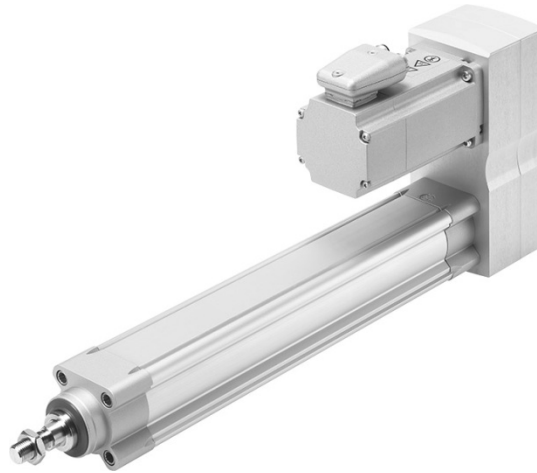
Jmenovitý příkon 380 W

5.2 Aktuátor

Aktuátor nebo také akční člen je zařízení, které převádí vstupní veličinu na výstupní mechanickou veličinu. Aktuátor vyvolává silové působení, které má za cíl pohyb po předem dané dráze. Z hlediska své vstupní veličiny můžeme aktuátory rozdělit na elektrické, pneumatické, hydraulické a nekonvenční (piezoelektrické, bimetalické, elektrochemické). Převažující způsob řídicí povahy od zadávající společnosti pro testovací zařízení byl elektrický, protože nebude potřeba dalších komponentů pro práci s potřebným médiem k pohonu aktuátoru.

Elektrické, též nazývané elektromechanické aktuátory se v technické praxi nejčastěji používají ve výrobních a dopravních zařízeních u manipulátorů a robotických soustav. Vstupní veličinou je elektrický signál ve formě proudu a výstupem je mechanická veličina.

Aktuátor slouží k vytváření předepínací síly na napínací kladku do -10° od jmenovité polohy měření. Vlivem síly dojde k předepnutí a pohybu napínací kladky po kružnici. Tato síla vyvozená aktuátorem, ale není napínací síla. Z tohoto důvodu je potřeba použít naddimenzovaný aktuátor, který výrazně převýší napínací sílu, protože síla v řemenu je větší. Současně přímá metoda zjišťování napínací síly měřením je relativně náročná, kvůli změně polohy řemenice kladky a nestejnými druhy uložení napínacích kladek. Nicméně metoda přepočtu síly, vysvětlovaná v kapitole výše, je založena na silových poměrech, proto se očekává získání uspokojivých výsledků a současně nízké ceny testovacího zařízení.



Obrázek 29: Aktuátor FestoESBF-32-400-10

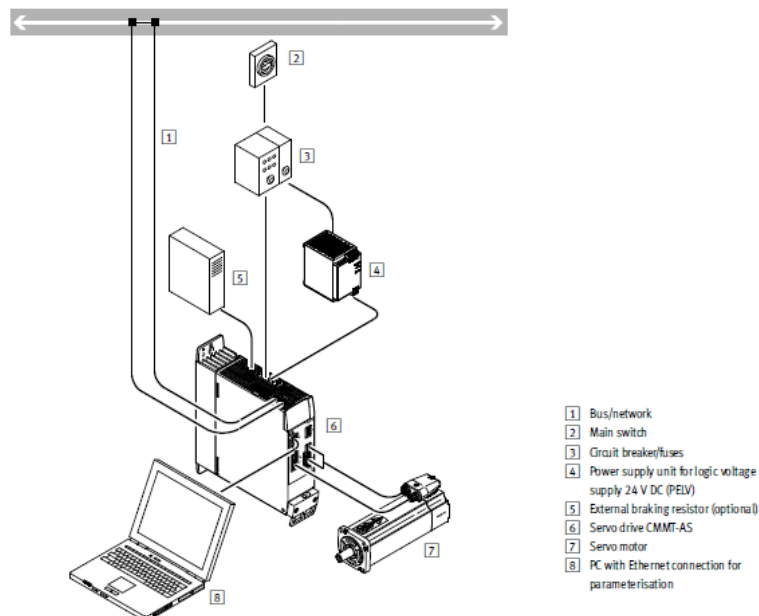
Pro své zařízení jsem využil aktuátor ESBF-32-100-10 od společnosti Festo. Tento aktuátor disponuje maximální axiální sílou 1 000 N, přesnost stavění je $\pm 0,01$ mm, jeho maximální rychlost je 1 100 mm/s a volitelným zdvihem od 100 mm do 400 mm. Zvolil jsem zdvih aktuátoru 100 mm z hlediska kompaktnosti testovacího zařízení. Současně je na výběr z možností vedení vřetena pomocí vodícího šroubu nebo kuličkového šroubu. V mém zařízení jsem zvolil kuličkový šroub, protože má vyšší přesnost a potřebuje nižší krouticí moment, tím tak šetří elektrickou energii hnacího motoru.

Další volitelným prvkem je způsob složení aktuátoru. To může být axiální nebo paralelní. Když je aktuátor v provedení axiálního způsobu, má aktuátor totožnou osu vřetena a servomotoru. V případě, kdy je aktuátor paralelní, je jejich vzájemná osa rozdílná, servomotor je na boku aktuátoru a krouticí moment přenáší přes ozubený řemen. Rozhodl jsem se pro paralelní způsob složení a to ze dvou důvodů. Tím prvním důvodem je kratší délka, což zmenší výšku celého rámu testovacího zařízení a současně dojde k větší tuhosti. Druhým důvodem je samotné uložení. U paralelního způsobu je možné na konec aktuátoru montovat závěsné zařízení pro uložení aktuátoru na rám přípravku. U axiálního způsobu montáže toto není možné. V mém případě musí dojít k tomuto zavěšení horní části aktuátoru, protože aktuátor musí mít otočnou vazbu, která bude kopírovat osu vřetena k tečnému průměru řemenice kladky. Poloha aktuátoru se bude tedy měnit v závislosti na poloze úhlu natočení napínací kladky a tím bude docházet ke změně úhlu opásání. Pokud by aktuátor byl pevně uložen, došlo by k jeho poškození, protože dokáže přenášet velmi malé radiální zatížení.

Aktuátor je dodáván se servomotorem, zkráceně servo, který umožňuje na rozdíl od běžného motoru nastavení přesné polohy natočení osy. V tomto aktuátoru je použit servomotor opět od značky Festo. Konkrétně se jedná o model EMME-AS-40-M-LV-AM. Servomotorem se nejčastěji ovládají posuvy u CNC strojů. Přesná poloha zařízení je určena podle zpětné vazby servomotoru. Ta je obvykle řešena podle počtu impulzů vyslaných do motoru. Tento způsob primárně zajišťuje bezpečný nájezd ke kladce pro odlehčení řemenu během výměny měřené kladky.

V případě zjištění nedostatečné předepínací síly na napínací kladku, než byla stanovena, je možné tento aktuátor vyměnit bez jakýchkoliv úprav testovacího zařízení, protože společnost Festo má ve své nabídce této produktové řady aktuátory s nejrůznějšími parametry. V případě potřeby je tedy možné využít vhodnější verzi aktuátoru pro měření jiných napínacích kladek o rozdílných parametrech zatěžování. U testovacího zařízení je tedy možné vyměnit aktuátor v příslušné kategorii za takový, který bude vyhovovat lépe

testovacímu cyklu. V doplňkovém sortimentu nabízí Festo různé typy upínání k rámcům zařízení pro své aktuátory a kompletní zařízení na klíč pro sestavení a zapojení aktuátoru do provozu.



Obrázek 30: Zapojení aktuátoru

Zapojení aktuátoru je takové, že po zadání vstupních parametrů do počítače se přes servo driver, které slouží k řízení servomotoru, dojde k vykonání svého pohybu od aktuátoru a následně odešle data ze senzorů nazpátek přes servo drivery do počítače. Veškerou elektroniku od kabelů pro zapojení až po samotný servo driver je společnost Festo schopna dodat jako zařízení na klíč. Vzájemnou komptabilitu mezi řídicí a snímací technikou zajišťuje pomocí digitálních vstupů/výstupů typu Ethernet.

5.3 Snímač síly

Snímače síly fungují na principu měření výchylky, kterou síly působením na různé typy deformačních prvků vyvolá a převede na elektrický signál. Snímače síly můžeme rozdělit na tři typy. Jedná se o snímače síly na principu piezoelektrického, magnetického a tenzometrického děje. Po zvážení všech kritérií jsem se rozhodl pro tenzometrický snímač. Tenzometrické snímače fungují na principu vyhodnocování rozdílu odporů, způsobených změnou geometrickým rozměrů krystalografické orientace snímacího prvku.



Obrázek 31: Burster 8432-6001

Zvolil jsem snímač síly od společnosti Burster s číselným označení 8432-6001. Tímto snímačem lze měřit sílu až 1 000 N s frekvencí 3,4 kHz. Jedná se o senzor tah - tlak. To znamená, že můžeme měřit jak sílu v tahu, tak i v tlaku. Tento kombinovaný snímač jsem si vybral proto, že má téměř dvakrát lepší frekvenci měření. Senzor pracuje v libovolné orientaci, takže je vyloučená možnost špatné montáže. Jedná se o miniaturní snímač, který dokáže pracovat v omezeném prostoru. Nabídka této společnosti obsahuje ucelenou řadu snímačů tohoto typu, takže v případě požadavku na měření za vyšší napínací síly je možné vyměnit snímač za vhodnější měřeným podmínkám. Tento typ snímače je označován za nejpřesnější z celé výrobní palety společnosti Burster. Výhodou tohoto snímače je ochrana proti přetížení síly při neočekávaných situacích, avšak nedoporučuje se jeho časté přetěžování, a to kvůli delší životnosti.

Působící síla na snímač síly se aplikuje na válcový snímač jednotky ve směru napětí za dva vnější závity. To znamená, že není potřeba snímač vkládat mezi dvojici ploch, což by výrazně narušilo konstrukci upínacího zařízení a současně slouží k zabránění nadměrného tlaku v místě kontaktu materiálu a napětí uvnitř snímače, které by narušilo jeho měřicí vlastnosti. Součástí snímače je i kompenzace teploty během měření. To nám zaručí přesné výsledky měření síly. Na obvodu pláště snímače najdeme výstup pro komunikaci s počítačem přes převodník. Snímání síly probíhá pouze ve směru osy snímače. Celý snímač je hermeticky uzavřený pro používání v nejnáročnějších podmínkách.

Uložení snímače síly v testovacím zařízení je takové, že je našroubován na mechanismu uložení řemene a pomocí převlečné matice je našroubován k vřetenu aktuátoru, který má závit na svém konci a pojistnou maticí, kterou se zajistí poloha převlečné matice proti samovolnému povolení.

5.4 Měření jmenovité polohy kladky

Problematika měření jmenovité polohy napínací kladky je poměrně komplikovaná. Samotná poloha řemenice kladky se mění v závislosti na excentrickém pouzdrů při samotném předepínání, to znamená, že dojde k posunutí řemenice od středu otáčení pracovního excentru otáčivým pohybem po kružnici pomocí speciálního klíče. Tento speciální klíč se zasune do otvoru pracovního excentru a otáčí se jím proti zkrutné pružině napínací kladky.



Obrázek 32: Kontrola předepnutí

Zjištění přesné polohy napnutí rozvodu spalovacího motoru se určuje podle diagnostického prvku samotné napínací kladky, který slouží k zjištění potřebné polohy napínací kladky. Tento diagnostický prvek funguje tak, že na pracovním excentru, který předepíná zkrutnou pružinu vůči ramenu upínače je kontrolní ryska (červená kružnice), která má dráhu pohybu po kružnici. Současně je na ramenu upínače kontrolní zařízení se zářezem do tvaru V (zelená kružnice). Pohybem pracovního excentru proti směru

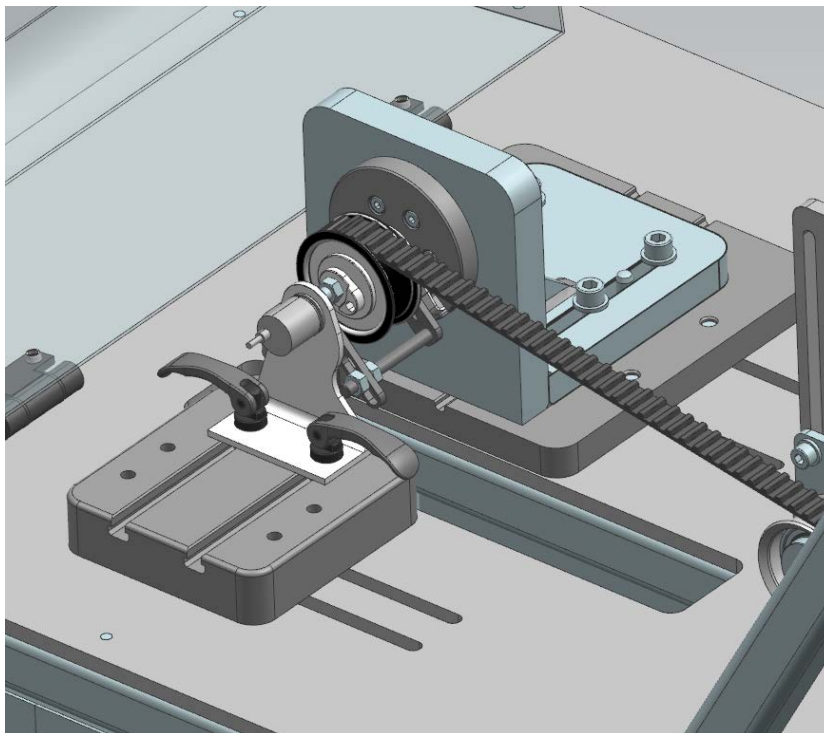
hodinových ručiček vzniká předepínací síla. Ve chvíli, kdy se obě rysky protnou, nacházíme se v ideální poloze, nazývanou jmenovitá poloha napínací kladky. Tato poloha značí, že napínací kladka na řemen vyvíjí ideální napínací sílu pro chod spalovacího motoru (obrázek 32). Od této polohy se současně odměřuje měřící poloha $\pm 10^\circ$, kdy plus značí vyvinutí větší síly, než je potřebné a mínus deset stupňů zase odlehčení od síly, než je potřebná pro chod spalovacího motoru. Na obrázku je také vidět pohyb napínací kladky ve směru během napínání.

Napínací kladka má jasně definovanou jmenovitou polohu napnutí vůči základní poloze. Základní polohou máme na mysli takovou polohu, kdy napínací kladka je v odlehčené poloze, nepůsobí na ni žádná síla a nepůsobí žádnou předepínací silou na řemen rozvodu. Tuto polohu můžeme získat ve formě velikosti úhlu z výrobního výkresu napínací kladky, kde je současně i poloha ideálního napnutí zakreslena.

Každý typ napínací kladky má svoje typické vlastnosti konstrukce, ať už to je uložení ramena upínače, které je rozdílné podle tvaru a polohy upevnění vlastní kladky, či zařízení na svoji vlastní diagnostiku. V případě napínacích kladek manuálních se jedná o výše popsany mechanismus, zatímco napínací kladky automatické nemají žádné zařízení, kterým bychom dokázali ověřit správnou hodnotu předepnutí.

Pro univerzální měření úhlu natočení napínací kladky jsem se rozhodl měřit úhel otáčení pomocí diagnostického prvku napínací kladky, protože na jiném místě této komponenty napínací kladky to není možné z důvodů plného zakrytování. Na obrázku 32 můžeme vidět, že díky otáčením nastavovacího excentru získáváme předepnutí napínací kladky. Jedná se o nejpřesnější způsob získání úhlu natočení.

Svázání diagnostického prvku a napínací kladky je pomocí tvarového osazení samotného prvku, který je do tvaru V. Tento negativní profil samotného držáku se zasouvá přímo na diagnostický prvek kladky a poté se upevní pomocí matice na konci čepu, zatímco na snímači natočení je pevně uložen. Tímto způsobem získáváme hodnotu úhlu natočení napínací kladky.



Obrázek 33: Měření úhlu natočení

Pro využití měření natočení můžeme použít snímače jako je potenciometrický, magnetický nebo optický snímač. Potenciometrické snímače mají jezdec, který se pohybuje po odporové dráze a jeho výstupní napětí je závislé na jeho poloze. Odporová dráha potenciometrického snímače je vytvořena z vinutého drátu nebo dnes častěji používaného vodivého plastu. Jeho hlavní nevýhodou je poměrně vyšší citlivost na vibrace, výhodou pak nižší pořizovací cena.

Jak jsem již zmínil, je možné použít magnetický snímač. Tento snímač úhlu funguje na principu Hallova děje. Podstatou tohoto snímače je, že na feromagnetickém disku je vytvořen magnetický záznam elektrického signálu s požadovanou přesností. Pro snímání tohoto záznamu se používá snímač se změnou magnetické indukce. Magnetické snímače dokážou detekovat téměř každý mechanický pohyb. Výhodou magnetických snímačů oproti jiným sensorům je jejich velká odolnost proti nepříznivým okolním pracovním podmínkám. Tyto snímače můžeme najít u obráběcích strojů, řízení svářecích robotů nebo dopravníků. Další jejich velkou výhodou je bezkontaktní měření. Kvalitu detekování úhlu neovlivňují ani prach, dým, voda nebo olej. Současně se vyznačuje velkou spolehlivostí. Dá se říct, že pokud nedojde k mechanickému poškození snímače, má téměř neomezenou životnost. Problém je uložení vlastního senzoru. Pokud se jedná o kovové pouzdro nebo uložení v kovovém držáku, dojde ke zvýšení ztrátového odporu cívky. To se projeví na spínací vzdálenosti a na stabilitě spínacího bodu.

Optické snímače, přesněji nazývané optoelektronické snímače, představují nejpoužívanější druh sensorů z pohledu aplikačních možností. Výhody těchto sensorů jsou stále menší rozměry a rostoucí výkonnost. Další výhodou je jejich necitlivost na elektromagnetické rušení a hluk. Jejich nevýhodou je oproti indukčním snímačům menší odolnost proti vlhkosti, znečištění a infrazářením. Základním principem je přeměna elektrického proudu na elektromagnetické vlnění a obráceně. Jako přijímací prvky se v dnešní době používají fotodiody, fototranzistory a diody s laterálním efektem.

Další volbou pro typ snímače je zaznamenávání. To může být absolutní nebo inkrementální. Absolutní snímače udávají absolutní polohu. To znamená, že při zapnutí stroje zná řídicí systém okamžitou informaci o aktuální poloze komponenty. Absolutní snímače dokáží informaci o poloze načíst i během výpadku napětí, zatímco inkrementální snímače poskytují informaci relativní polohy přírůstkově. V případě zjišťování úhlu natočení napínavé kladky, je potřeba brát v úvahu, že samotný úhel napínání u napínavých kladek rozdílných výrobců se mění. U mnou zvolené napínavé kladky se jedná o úhlové natočení 42° do požadované jmenovité polohy měření, proto je vhodné zvolit inkrementální snímač s nastavitelnou proměnou úhlového natočení. To nám zajistí, že v případě opětovného měření napínavé kladky je možné že nedojde k úplně přesnému vrácení do nulové polohy, a tudíž bude možné vynulovat nulovou polohu v závislosti na snímači.



Obrázek 34: Optický snímač OMRON E6A2-C

Po zvážení všech důležitých parametrů pro měření úhlové polohy napínací kladky jsem se rozhodl pro optický snímač, zejména kvůli přesnosti snímání, kde optický snímač má o mnohem lepší výsledky. Pro své testovací zařízení jsem vybral optický senzor od společnosti OMRON s označením E6A2-C. Snímač disponuje rychlejší odezvou pro aplikace s vysokorychlostním ovládáním. Používají se například pro otočné stoly a naklápěcí hlavy u obráběcích strojů. Přesnost snímače je dána periodou signálu, která je až 200 impulsů na jednu otáčku. V přepočtu na úhlové sekundy se jedná o přesnost $0,3^\circ$. Nicméně standardní frekvence měření tohoto optického snímače je 20 kHz, což je o něco nižší frekvence, než byla původně zamýšlena v původním zadání. Je ale potřeba brát v úvahu, že většina obvyklých snímačů má frekvenci měření ve stovkách kHz, proto výběr snímače pro natočení napínací kladky je s ohledem na výslednou cenu dostačující.

Vzhledem k tomu, že snímač je umístěn na přední stranu testovacího zařízení, v místě, kde dochází k montáži a demontáži napínací kladky, je potřeba s ním manipulovat. To je řešeno tak, že snímač je umístěn v posuvném držáku a pomocí drážek ho můžeme posouvat. Proto, aby tahle operace nezabírala mnoho neproduktivního času, je samotné zajištění polohy je řešeno pomocí dvou rychloupínek. To nám zaručí přesnost nájezdu na osu napínací kladky a zároveň jednoduché upevnění snímače. Celý tento mechanismus musí být ještě posuvný v podélné ose kvůli měření napínacích kladek pro pomocné agregáty. To je řešeno tak, že na základní desce jsou vyfrézované drážky, ve kterých se pohybuje celý mechanismus. Vzájemná geometrická poloha vůči testovacímu zařízení je zajištěna nalisovanými kalenými čepy v jezdcí držáku snímače. Samotná poloha se zajistí pomocí čtyř šroubů.

5.5 Uložení napínací kladky

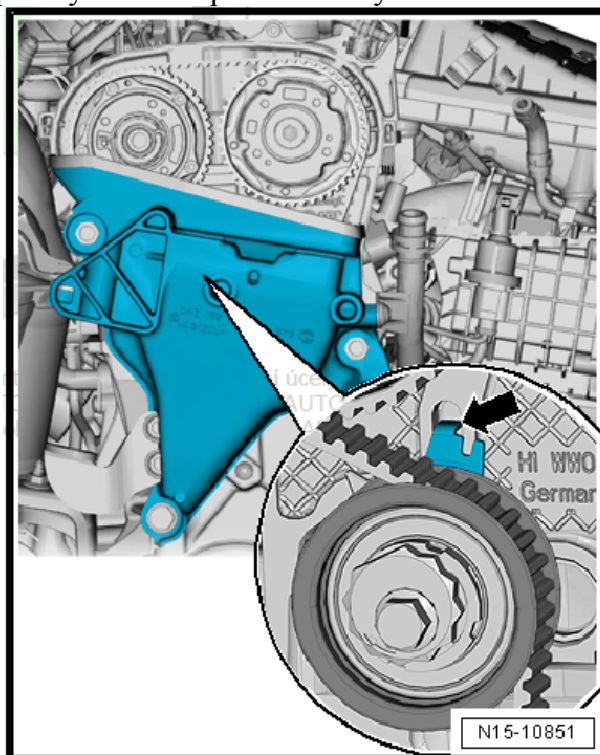
Uložení napínací kladky ve spalovacích motorech slouží k zabezpečení správné montáže o požadované poloze napínací kladky vůči rozvodovému mechanismu. Napínací kladka je obvykle uložena přímo na boční straně bloku motoru. Samotné uložení napínací kladky můžeme rozdělit na dvě hlavní části. Tou první částí je rameno upínače a druhou částí je upevňovací šroub. Tyto dva konstrukční prvky mají zajistit správnou funkčnost kladky ve spalovacích motorech.

Upevňovací šroub slouží k vymezení polohy pro otočnou vazbu během samotného napínání kladky. Výhoda tohoto šroubu je jeho univerzálnost. Pro většinu napínacích kladek se používá upevňovací šroub M8 a jediný proměnný parametr je jeho délka. To se dá vyřešit

v testovacím zařízení použitím několika šroubů v různých délkách, které se budou v případě potřeby měnit.

Zatímco upínací ramena mají napínací kladky různorodé. Jedná se o jejich polohu vzhledem k jmenovité poloze natočení napínací kladky a samotný geometrický tvar včetně samotné hloubky zapuštění v bloku motoru vůči opěrné ploše napínací kladky. Je velmi náročné vytvořit konstrukční řešení, které by dokázalo zajistit polohu napínací kladky pro každý typ univerzálně.

Z toho důvodu jsem se rozhodl po domluvě se zadávající společností na vytvoření upínače pro jednu konkrétní kladku, a to kladku od koncernu Volkswagen, popsanou výše. Nicméně je potřeba stále dbát na univerzální uchycení upínače pro použití testovacího zařízení i na jiné typy kladek. Očekává se, že vznikne samostatný upínač pro jednotlivé měření typů kladek. A proto by jeho vnější tvar měl být neměnný, bude se měnit pouze samotná úprava polohy ramena upínače kladky



Obrázek 35: Uložení napínací kladky

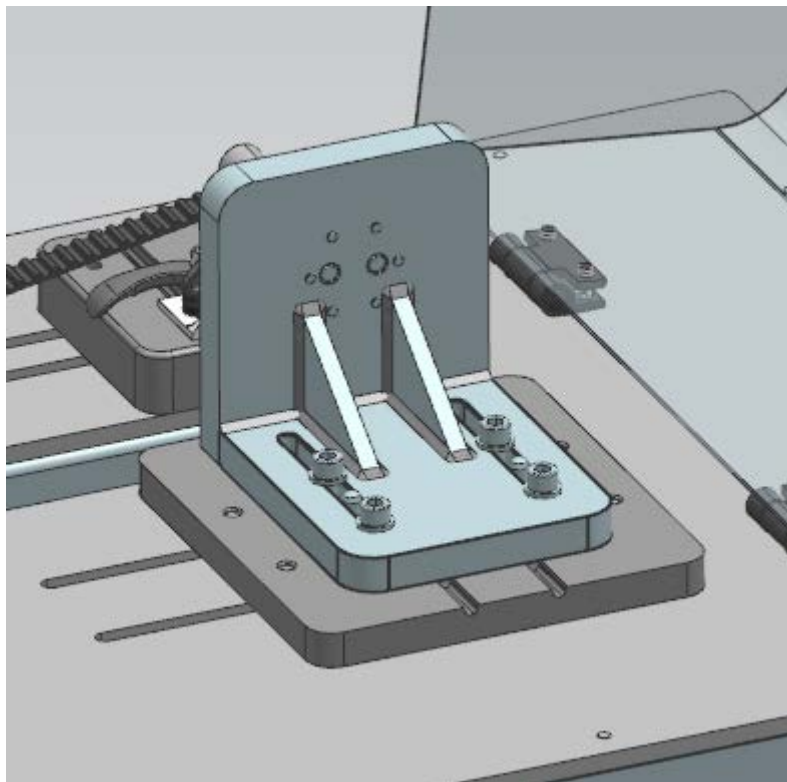
Na obrázku 35 můžeme vidět uložení napínací kladky. Rameno upínače je uloženo v drážce, na kterou odkazuje černá šipka. Tato drážka slouží k zabezpečení vhodné polohy napínací kladky. Tvar a poloha této drážky se mění vzhledem k typu kladky, proto není možné vytvořit univerzální řešení. Další částí uložení je upevňovací šroub. Ten má díru s metrickým závitem v bloku motoru. Při montáži se šroub utahuje na moment 25 N.m.

Pro svůj upínač testovacího zařízení jsem zvolil obdobný způsob uložení, jako se používá v motorech s těmito napínacími kladkami. Celou konstrukci upínače bych rozdělil na tři části. Upínací pouzdro, držák upínacího pouzdra a uložení celého mechanismu upínání. Upínací pouzdra má univerzální vnější válcový tvar pro každý typ kladky. Pro spojení upínacího pouzdra a držáku upínacího pouzdra je v upínací pouzdra šest děr, které se spojí s držákem, který má ve své části vytvořeny závity. Vymezení správné polohy je zajištěno pomocí dvou kalených čepů nalisovaných v držáku upínacího pouzdra. Upínací pouzdra má současně díru se závitem k uložení upevňovacího šroubu. Při výměně napínací kladky dojde tedy pouze k nasunutí na upevňovací šroub a zašroubování matice

pro pojištění vzájemné polohy napínací kladky vůči zařízení. Další částí je uložení ramena napínací kladky. To je převzato z uložení na motoru. Na upínači je vytvořena drážka, do které zapadá rameno v příslušném tvaru. V případě měření jiného typu napínací kladky se bude měnit pouze upínač. A to tak, že hrubý tvar upínače zůstane stejný, tím myslím jak průměr, tak délku a spojovací šrouby. Měnit se bude pouze poloha a tvar ramena pro uložení napínací kladky a excentricita napínací kladky.

Další částí upínacího mechanismu je držák upínacího pouzdra. Ten spojuje upínací pouzdro s uložení celého mechanismu upínání. Držák je spojen s uložení mechanismu pomocí čtyř šroubů. Držák je možno posouvat v ose napínací kladky. Je to z toho důvodu, že napínací kladky mají rozdílnou šířku a celý napínací mechanismus bude stále ve stejné rovině. Posouvání je řešeno opět pomocí kalených nalisovaných čepů. Držák upínacího pouzdra je řešen z důvodu složitosti jako svařenec.

Poslední částí je uložení mechanismu upínání. To slouží ke spojení celého zařízení uložení napínací kladky k hlavní pracovní desce testovacího zařízení. Současně také slouží ke korekci délky napínací kladky. Jako výchozí bod se bere střed otáčení řemenice napínací kladky, kde střed otáčení řemenice bude ve stejné pozici a celý mechanismus se bude tomuto přizpůsobovat. Hlavní pracovní deska je osazené drážkami pro posun v ose délky kladky, aniž by muselo dojít k úpravě samotného upínače. Pro korekci tedy stačí uvolnit čtyři šrouby a vymezit vzdálenost napínacího zařízení vůči aktuátoru. To se bude stávat, ale pouze v případě měření jiných napínacích kladek.

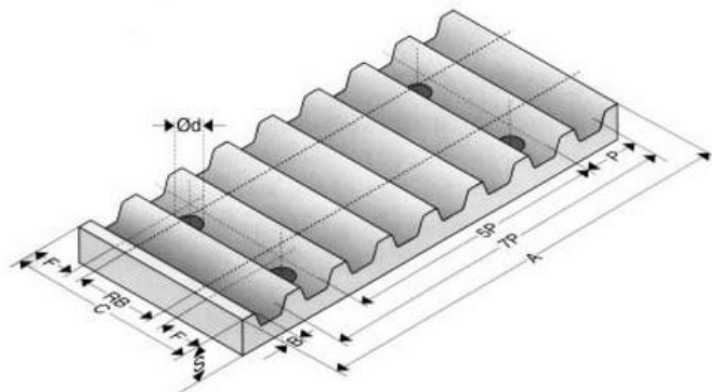


Obrázek 36: Upínač napínací kladky

5.6 Uložení řemene

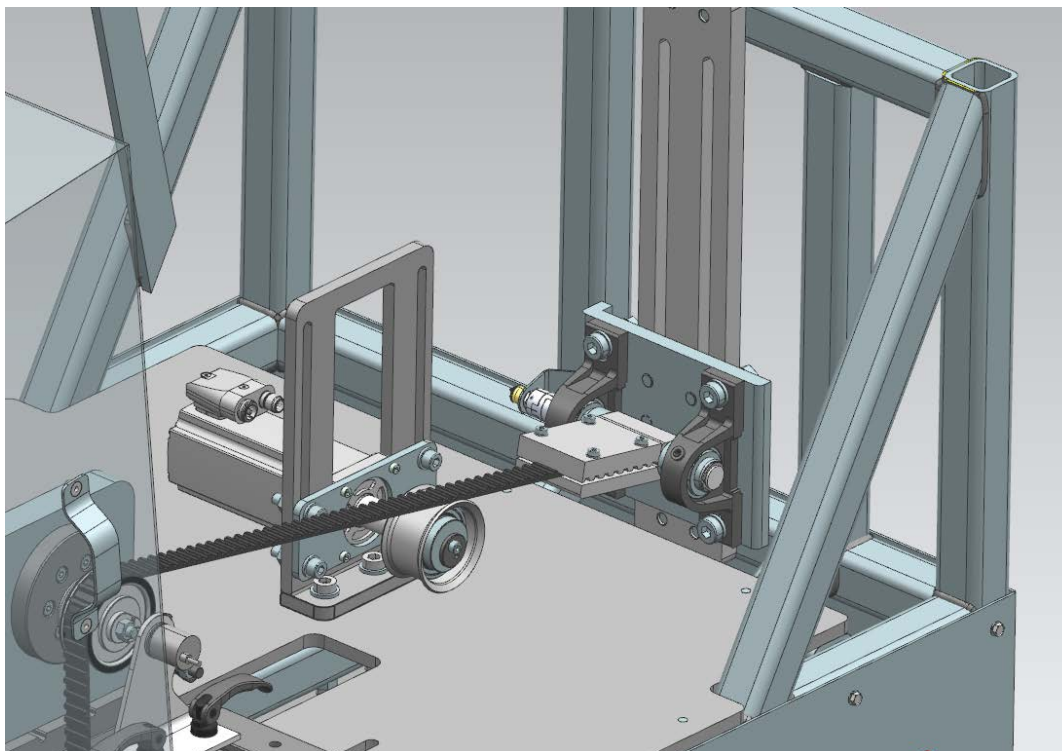
Uložení řemene je důležitým prvkem zkušebního zařízení. V případě špatného uložení může dojít k poškození zařízení nebo ke znehodnocení měřené veličiny. Mezi hlavní požadavky na uložení řemenu patří zajištění pevného spojení řemenu se snímačem síly a aktuátoru, a také mezi řemenem a rámem testovacího zařízení. Současně musí být zajištěno

otočné uložení, které zabrání poškození komponent. Další požadavek je jednoduchá výměna napínacího řemenu pro měření jiných napínacích kladek. Jako nejlepší způsob považuji uchycení řemenu za tvarové prvky řemenu, konkrétně jednotlivé zuby. Tím vznikne tvarový styk, který dokáže spojit všechny komponenty. Poslední kritérium je nastavování úhlu opásání pro měření různých napínacích kladek.



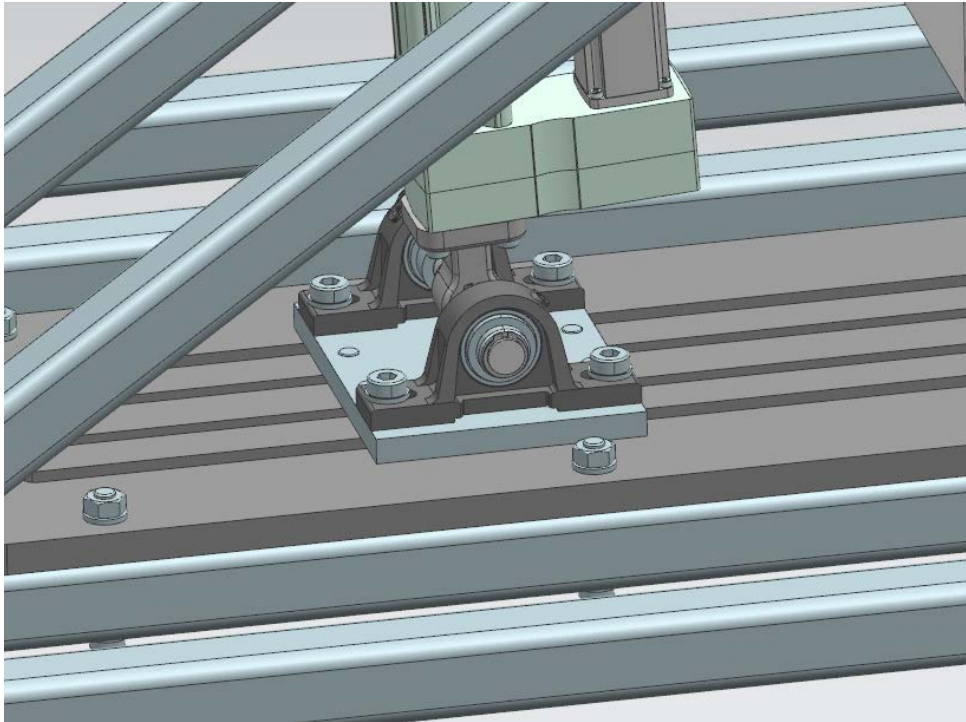
Obrázek 37: Pouzdro s negativním profilem řemenu

Uložení řemene jsem řešil pomocí upínacích desek, které umožňují převod rotačního pohybu řemenice na pohyb lineární, vhodných pro podélné upnutí řemene pomocí svěrného spoje. Tato upínací deska řemene má negativní profil řemenu. Druhá deska, která se bude přikládat na opačnou stranu, má rovnou plochu. Pomocí čtyř šroubů na okraji dojde při utahování šroubů k sevření řemenu a dosažení pevného spoje potřebného pro jeho funkci. Šířku desek jsem zvolil větší, než je šířka řemenu pro mou navrhovanou napínací kladku, a to z důvodu použití kladek s širším řemenem bez jakékoliv změny v upínacím zařízení řemenu. Mezní použití řemenu je o šířce 40 mm. Do této hodnoty je možné odzkoušet většinu napínacích kladek, protože poskytuje možnosti většiny řemenů pro rozvody spalovacích motorů.



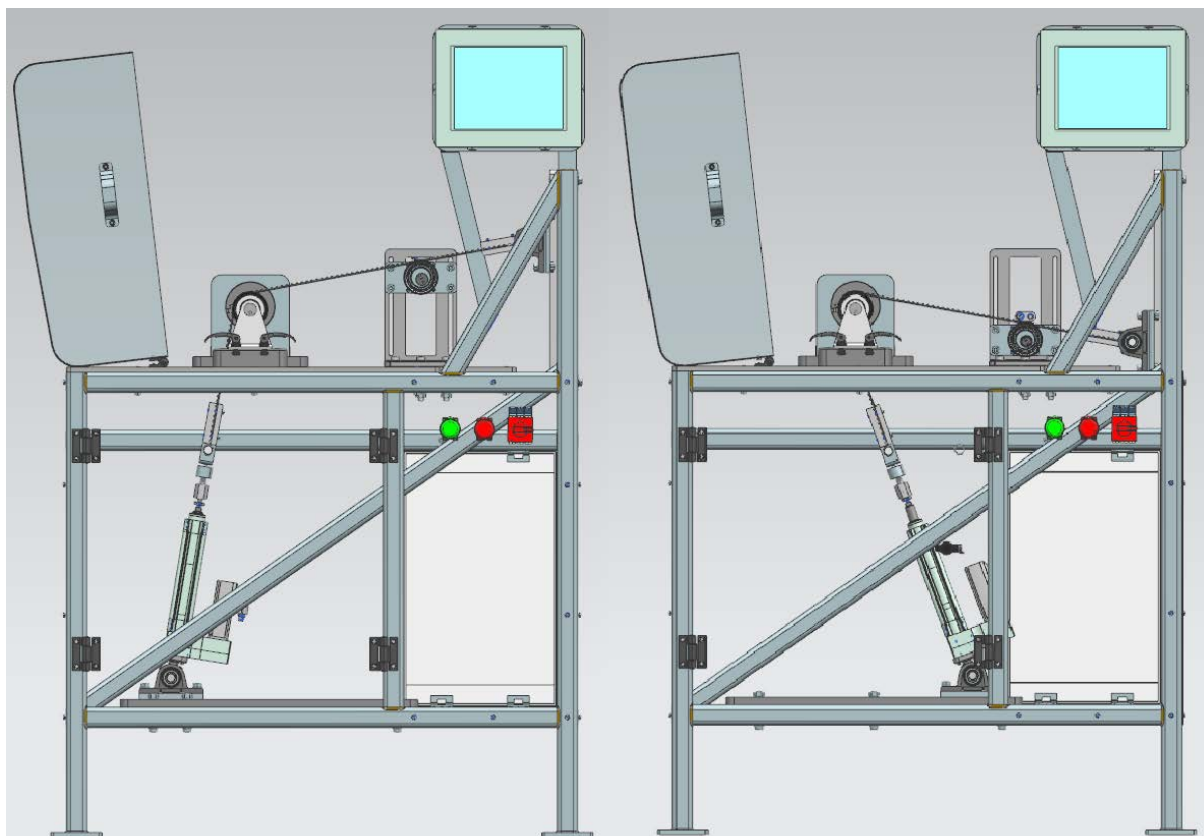
Obrázek 38: Horní upevnění

Uložení konců řemene se mírně odlišuje. Každý konec řemene má trochu jinou funkci při měření. Horní uložení řemene musí mít otočnou vazbu. To proto, že během napínání řemene od aktuátoru dochází ke změně úhlu opásání řemenice během celého měření. Ve chvíli, kdy by toto uložení bylo pevné, došlo by k poničení zařízení. Deska s rovnou plochou má na svém konci průchozí díru. Touto dírou prochází čep, který je uložen v ložiskovém tělese na obou koncích. Ten je zajištěn pojistným kroužkem.



Obrázek 39: Spodní upevnění

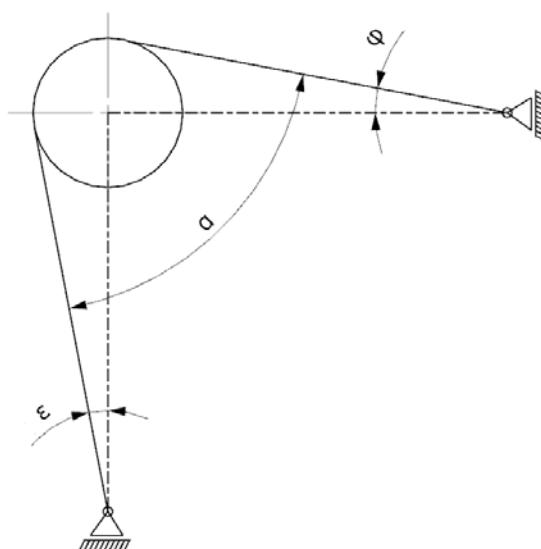
Spodní upevnění spojuje řemen se snímačem síly a aktuátorem. I v tomto případě je uložení otočné. Toto otočné uložení má za úkol, kompenzovat polohu aktuátoru vůči poloze řemenice napínací kladky, a zabránit tak případnému poškození aktuátoru. Stejně jako u horního uložení, je i v tomto případě použita deska s rovnou plochou, na konci s průchozí dírou a čepem v ní. Pozice čepu je zajištěna pojistnými kroužky na obou koncích čepu. Rozdíl oproti spodnímu upevnění řemene je ve výstupu z desky s rovnou plochou. Tento výstup je určen pro snímač síly. Výstup je díra v desce v ose řemene s vyřezaným závitem. Do této díry se závitem se našroubuje snímač síly pro zaznamenávání okamžité síly od aktuátoru. V obou případech uložení řemene je možné nastavení úhlu opásání řemenice napínací kladky. To je řešeno tak, že ložiskové jednotky jsou přichyceny k držáku, který je možno posouvat po frézované desce k rámu testovacího zařízení. Nastavení úhlu pro horní uložení je $\pm 10^\circ$ a spodní uložení je možné nastavit na $+10^\circ$ až -20° . Úhel opásání pro nastavení napínací kladky je tedy v rozmezí od 60° do 110° .



Obrázek 40: Mezní polohy nastavení úhlu opásání

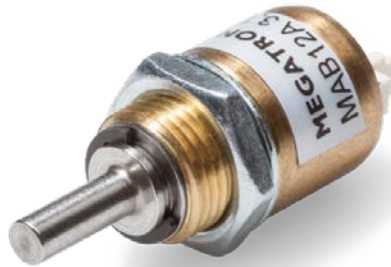
5.7 Snímač úhlu opásání

Aktuátor nedokáže přenášet boční sílu a musí být vždy přesně vystředěn vůči napínací kladce. Drobné nepřesnosti nastavení polohy aktuátoru dokáže korigovat samotný způsob uložení řemene s rotační vazbou, který je popsán v předchozí kapitole. Jak jsem zmínil, aktuátor dokáže působit pouze axiální silou a jen velmi omezeně dokáže přenášet sílu radiální kvůli poničení, proto je důležité využití zařízení, které jeho polohu dokáže zjistit. Pro získání úhlu opásání řemenice napínací kladky slouží snímač úhlu opásání, podle kterého můžeme úhel opásání libovolně nastavovat.



Obrázek 41: Úhel opásání

V tomto případě je vhodné použít absolutní snímač, protože referenční hodnota úhlu se nebude měnit vzhledem k napínací kladce. Pouze od ní budeme odečítat vlastní hodnotu úhlu, a to proto, že dochází ke změně úhlu jak aktuátoru vůči napínací kladce, tak i hornímu uložení řemene vůči napínací kladce je potřeba využít dva snímače úhlu. Referenční hodnoty úhlu opásání se musí zkalibrovat před prvním měřicím cyklem testovacího zařízení.



Obrázek 42: Megatron MAB12A

Vybral jsem snímač úhlu od společnosti Megatron s označením MAB12A. Jedná se o magnetický snímač úhlu. V případě snímání úhlu opásání není zapotřebí mít tak vysokých požadavků jako u snímače natočení napínací kladky. Současně není potřeba použít žádný specificky náročný snímač. Tento snímač je cenově velmi dostupný a také kompaktní. Další jeho výhodou je vysoká životnost

Uložení snímače úhlu opásání je pomocí vlastního držáku, který je přišroubován k rámu testovacího zařízení. Snímač je uchycen pomocí matice k jeho držáku. Samotné spojení snímače a měřeného zařízení je realizováno přes otočné uložení aktuátoru a spodního uložení řemenu otočného čepu pomocí spojky. Před prvním spuštěním testovacího zařízení musí dojít ke kalibraci jmenovité polohy aktuátoru a spodního uložení řemenu pro získání referenční hodnoty pro odměření správného úhlu opásání. Při získání absolutních hodnot pro snímač opásání vůči rámu testovacího zařízení není potřeba znova tyto hodnoty nastavovat.

5.8 Rám

Rám celého zařízení je základní konstrukční prvek. Konstrukce rámu vychází z větší části z výsledné vnitřní konstrukce samotného mechanismu pro měření napínacích kladek. Současně slouží ke spojení a uložení všech funkčních zařízení testovacího přípravku pro jeho vlastní chod a také zachycuje všechny síly, které v něm vznikají. Základním požadavkem pro konstrukci rámu pro jakékoliv simulační zařízení je jeho vlastní tuhost. V případě velké deformace rámu dojde k porušení geometrických tolerancí, které mají za následek nepřesné výsledky měření. Druhým důležitým požadavkem je výsledná cena. Na cenu má vliv druh použitého materiálu, spojení rámu a samotná konstrukce. Cílem je tedy vytvořit konstrukci rámu, který bude splňovat potřebnou tuhost a zároveň bude jednoduchý, což nám sníží náklady na jeho výrobu a komplementaci.

Rám je zhotoven z čtvercových profilů o rozměrech 40x40x4 mm ze svařitelného materiálu 11 373. Jednotlivé profily jsou k sobě svařeny koutovým svarem. V horní části rámu jsou vztyčené profily, které slouží k uložení držáku ložiskových jednotek, jenž zajišťují horní uložení řemenu. Tento držák je k rámu testovacího zařízení přichycen šrouby. Celé spodní uložení upínače a spodního uložení řemenu je vyztuženo příčnými i podélnými výztuhy z důvodu vysoké deformace. Po vnější straně rámu jsou otvory pro uchycení krytů

testovacího zařízení, které jsou následně uchyceny za pomoci samořezných šroubů do oceli.

V dolní části rámu jsou otvory pro uložení držáku ložiskových jednotek, které slouží k nastavování úhlu opásání. V oblasti dolní části rámu jsou vztyčeny od aktuátoru k hornímu uložení řemenu vzpěry pro zajištění vhodnější tuhosti rámu, protože zde vzniká velká síla v místě uložení ložiskových jednotek od aktuátoru.

5.9 Příslušenství

V této kapitole se budu věnovat doplňkovému příslušenství nezbytnému pro samotnou funkci testovacího zařízení. Jedním z nich je i elektrický box. Ten je umístěn na zadní straně rámu a je přichycen čtyřmi šrouby. V tomto boxu jsou uloženy všechny elektronické řídicí a zaznamenávací zařízení, včetně přívodu energie do celého zařízení a výstupním rozhraním. Konkrétně se jedná o servodrivery pro řízení pohonu servomotorů, převodníky pro změnu signálů ze snímačů, hlavní jistič a pojistky proti přetížení. Jedná se o plně uzavíratelný box z důvodu bezpečnosti pro obsluhu testovacího zařízení. Z tohoto boxu je výstup pro výchozí rozhraní. Jako výchozí rozhraní je samostatný počítač umístěn vedle testovacího zařízení, který bude sloužit k zaznamenávání výsledků a řízení měřicího cyklu včetně nastavování proměnných parametrů pro každý typ měřené napínaví kladky. Na přední části testovacího zařízení jsou bezpečnostní elektronické prvky. Spínací prvek, ovládací zapnutí stroje, druhý pro vypnutí měřicího cyklu, třetí hlavní vypínač proudu a poslední ovládá vnitřní osvětlení. Přívod energie přes ovládací prvky je veden skrz elektrický box. Na zadní části testovacího zařízení je displej. Ten slouží pro zobrazování hodnot během měření a také pro nastavování proměnných parametrů.

Další částí je zakrytování testovacího zařízení. To slouží k bezpečnosti celého personálu, který se pohybuje v blízkosti zařízení. Vzhledem k tomu, že se testovací zařízení bude používat v laboratorním prostředí, kde se předpokládá vysoká odbornost personálu, není zapotřebí stoprocentní zakrytování celého testovacího přípravku. Na hlavní pracovní desce je výklopný kryt k zabezpečení testovacího cyklu z polymethylmethakrylátu pro vizuální kontrolu během simulace. V přední části je výklopné zakrytování z důvodu manipulace s uložení řemenu a nastavování úhlu opásání u aktuátoru. Celé boční zakrytování je realizováno pomocí plechů.

5.10 Elektronické zapojení

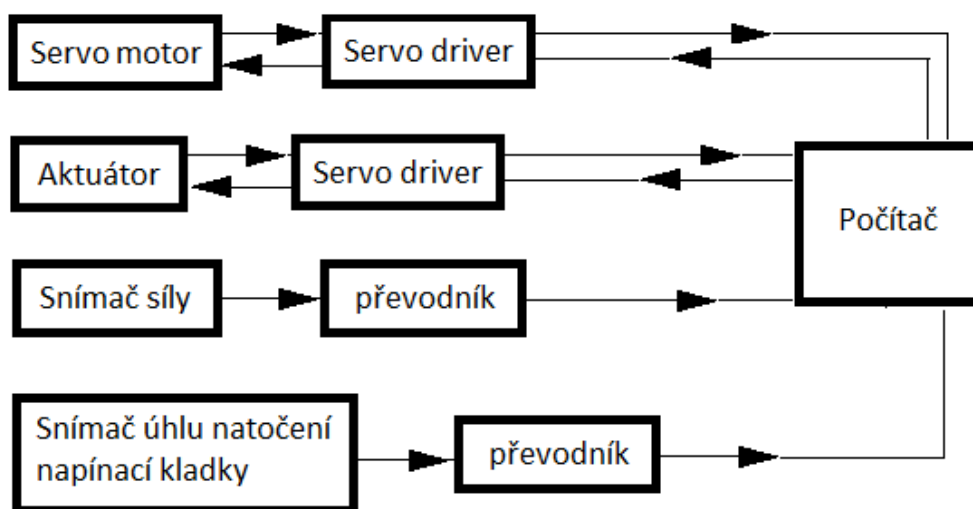
Aby testovací zařízení dokázalo správně pracovat, je potřeba navrhnout orgánovou strukturu elektronického zapojení jednotlivých komponent. Jeden z nejdůležitějších prvků je aktuátor, který má zpětnovazební strukturu. Jeho cíl je vytvořit dostatečnou sílu pro předepnutí napínaví kladky do jmenovité polohy měření, proto je zpětnovazební. Musí totiž vykonávat pohyb a je řízen pomocí další veličiny, jímž je úhel natočení napínaví kladky podle reálné hodnoty v čase na příslušném senzoru. Další funkcí aktuátoru je úplné uvolnění řemenu při výměně napínaví kladky nebo při přestavbě měřicího cyklu pro jiný typ napínaví kladky. Proto potřebuje zaznamenávat aktuální polohu včetně aktuátoru a manuálně nastavovat zdvih včetně aktuátoru.

Servomotor musí mít opět zpětnovazební strukturu řízení. Je totiž důležité uvést servomotor do provozu ve chvíli, kdy bude dosažena jmenovitá polohy napínaví kladky, určená ze snímače úhlu natočení. Současně je potřeba získat údaj o otáčkách servomotoru pro zajištění přesné frekvence zatěžování, které je dané pro napínaví kladku.

Jako další důležitou veličinou pro získání dat k ověření funkčnosti napínaví kladky je hodnota úhlu natočení napínaví kladky. Tuto hodnotu získáme ze snímače úhlu umístěným

na upínacím mechanismu. Tato hodnota nám bude sloužit jako zapisovací, během testovacího cyklu při měření pro získání hysterezní charakteristiky a současně jako řídicí hodnota pro vykonávaný pohyb aktuátoru a servomotoru. Součástí zařízení pro získání úhlu natočení napínací kladky je převodník signálu. To je elektrická komponenta, které nám slouží k zachycování a úpravě signálů pro naše potřeby s výstupem pro počítačové rozhraní. Další částí je snímač síly. Od tohoto snímače získáme výslednou napínací sílu na kladku pro získání ucelené hysterezní charakteristiky. Součástí těchto snímačů je opět převodník.

Komponenta, která bude řídit celý simulační děj, je stolní počítač. Do té se budou nejen vkládat vstupní data pro simulaci, ale také se bude získávat hysterezní charakteristika napínací kladky. V počítači bude vhodný software pro komunikaci s aktuátorem a nastavení parametrů jednotlivých snímačů. Počítač bude připojen na LAN síť pro sdílení dat mezi jednotlivé uživatele.



Obrázek 43: Blokové schéma zapojení

6 Návrh testovacího cyklu

Postup měření napínací síly je velmi důležitý k určení správné síly na rozvodech spalovacích motorů, proto je důležité definovat jeho vlastní postup pro získání kvalitních a nijak ovlivněných výsledků. V prvním kroku musíme správně získat data pro simulační cyklus, jako je průměr řemenice a úhel napnutí do jmenovité polohy. Další potřebný údaj je frekvence měření, která je závislá na otáčkách servomotoru. Po určení všech potřebných dat napínací kladky dojde k montáži upínacího pouzdra do držáku upínače. To se dělá tak, že válcový tvar pouzdra se nasune do držáku pouzdra a upevní se šesti šrouby.

Po montáži pouzdra je následující krok montáž samotné napínací kladky na upínací mechanismus testovacího zařízení. Napínací kladka se vkládá do upínače montážní plochou, kdy rameno napínací kladky je orientováno na čelní stranu upínače. Napínací kladka se nasune na upevňovací šroub, který je součástí upínače a rameno na napínací kladce musí zapadnout do tvarového vybrání pouzdra upínače. V této poloze dojde k našroubování pojistné matice na upevňovací šroub. Matice zaručuje polohu napínací kladky během jejího testování. V tuto chvíli dojde k nastavení polohy napínací kladky vůči testovacímu zařízení. Musí dojít k vymezení polohy řemenice vůči obou koncům řemene a současně v ose otáčení napínací kladky k jejich vzájemné rozdílnosti. To se dělá pomocí posuvných desek, po kterých je tento děj možný. Desky jsou spojeny pomocí šroubů, které zajišťují jejich pozice.

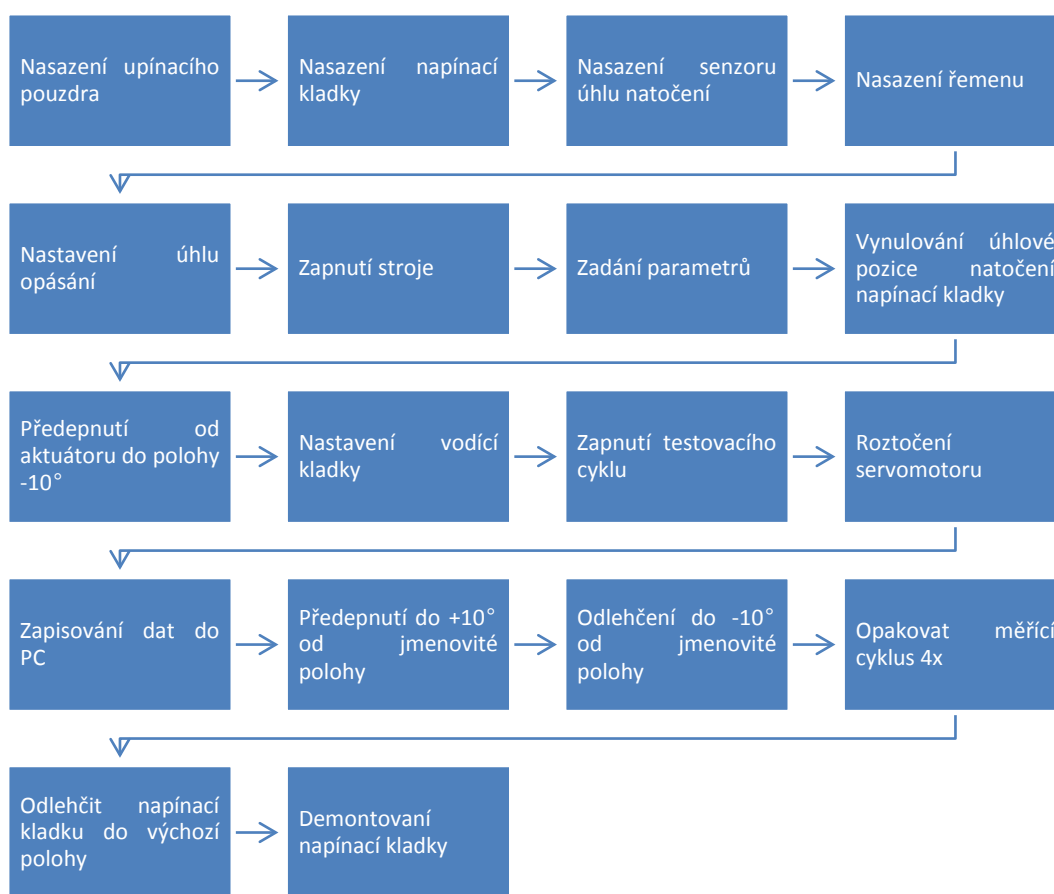
Poté uložíme senzor úhlové polohy natočení napínací kladky. To se provede tak, že snímač úhlu posuneme směrem k napínací kladce a zasuneme ho do tvarového vybrání. Po nasunutí snímače na napínací kladku zajistíme jeho polohu pomocí dvou rychloupínačů. Během měření série stejného typu napínacích kladek se pokaždé musí manipulovat s uložením samotného senzoru úhlové polohy, kvůli montáži po případě demontáži napínací kladky. V tomto stavu je napínací kladka v takové pozici, kdy je naprosto uvolněná a nedochází k žádné napínací síle. Jedná se o výchozí bod měření, a proto musí dojít k vynulování úhlové polohy senzoru natočení.

V tuto chvíli je kladka namontována a přejdeme k montáži řemenu. Nejdříve se uloží na horní upínač, a to tak, že vložíme řemen na straně zubů do negativního profilu pouzdra, poté přiložíme pouzdro s rovnou plochou a pomocí šroubů ho sevřeme a utáhneme. Úplně stejným způsobem uložíme řemen do spodního uložení. Po uložení řemenu přichází na řadu nastavení úhlu opásání napínací kladky. Kvůli tomu, že známe průměr kladky, máme nulovou hodnotu, kdy svíráme kolmý úhel napínací kladky vůči upínači. Tuto hodnotu můžeme měnit v intervalu $\pm 10^\circ$ na horním uložení a současně $+10$ až -20° na spodním uložení. To se provádí tak, že na spodní straně držáku ložiskových jednotek povolíme čtyři šrouby a posouváním držáku nastavujeme libovolnou hodnotu. Po nastavení zajistíme polohu utažením čtyř šroubů. Nastavení úhlu spodního uložení se provádí naprosto obdobně.

Po nastavení úhlu opásání dojde k montáži vodící kladky. Prvním krokem je nastavení předepnutí vodící kladky vůči řemenu. To se provede tak, že posuneme motor ve vertikální ose a zajistíme ho utažením šroubů. Když toto máme, anuluje se aktuální úhlová poloha natočení napínací kladky pro vyloučení chyby nepřesné montáže senzoru. Po předepnutí aktuátor vyvine sílu potřebnou pro získání polohy napínací kladky v -10° . Následně se manuálně nastaví zdvih vodící kladky. Otáčením nastavovacího excentru dojde k vyosení potřebného zdvihu pro získání polohy $+10^\circ$ od jmenovité polohy. Jmenovitá poloha se nastavuje podle snímače natočení napínací kladky, jehož aktuální polohu vidíme na displeji. Když máme nastaven zdvih vodící kladky, utáhneme šroub, který nám zajistí nastavený zdvih. Po této operaci může dojít k samotnému měření. To se provádí tak, že se servomotor roztočí na potřebné otáčky, které nám budou simulovat frekvenci

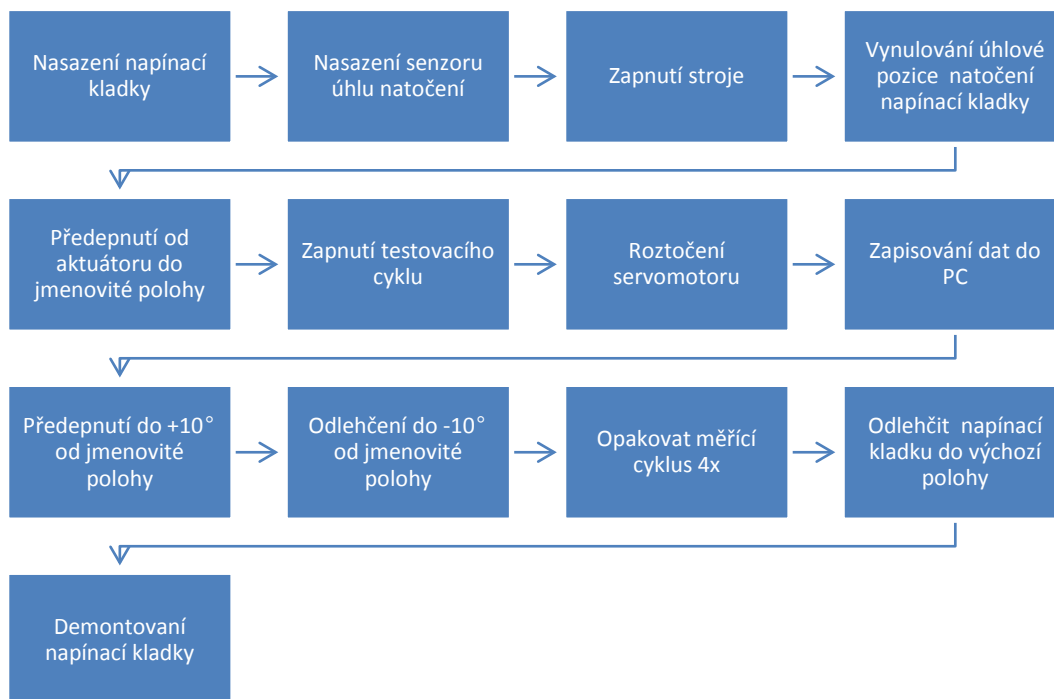
zatěžování. Vodicí kladka simuluje otáčením zdvih, který je potřebný pro polohu $\pm 10^\circ$. Po ustálení požadovaných otáček dojde k zapisování dat do počítače. Ještě je důležité říct, že pokud dojde k měření více napínavích kladek stejného typu, není zapotřebí tento pracovní postup opakovat. Dochází pouze k výměně samostatné kladky a montáži senzoru úhlu natočení kladky.

Během celého cyklu se zachycuje do počítače jmenovitá poloha napínavích kladky a současně naměřená síla. Z těchto veličin vznikne hysterezní charakteristika napínavích kladky. Po získání pěti cyklů zatěžování a odlehčování napínavích kladky dojde k zastavení měřicího cyklu. Pokud kladka selže při jednom z pěti měřících cyklů, je označena za vadnou a vyřazena z následného montáže do motoru. Data získané během měření se zapisují v reálné čase do počítače. Po proběhnutí celého měřicího cyklu získáme reálnou hysterezní smyčku, podle které se bude vyhodnocovat vhodnost konstrukčního řešení napínavích kladky. V následujícím schématu je vyobrazen grafický postup měření napínavích kladky.



Obrázek 44: Testovací cyklus s nastavením

Pro sériové měření jednoho typu napínavích kladky je jeho struktura měření zachycena na následujícím obrázku.

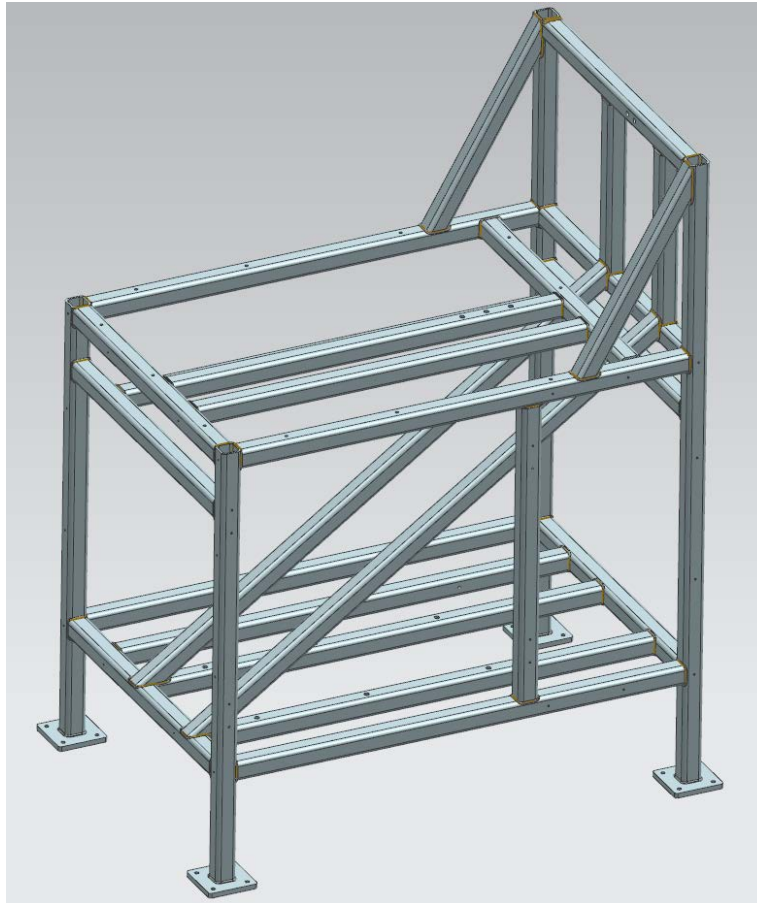


Obrázek 45: Testovací cyklus

7 Pevnostní kontrola rámu

7.1 Zadání

Konstrukce přípravku pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu je zatížena vyvozující silou od aktuátoru na uložení rámu pomocí ložisek. Současně působí síla od aktuátoru přes řemen na napínací kladku a dále je přenášena do uložení k rámu testovacího přípravku pomocí ložisek, které jsou upevněny pomocí šroubů na rám testovacího přípravku. Cílem úlohy je zjistit namáhání konstrukce testovacího přípravku od síly během měření napínací kladky. S ohledem na bezpečnost konstrukce 3.



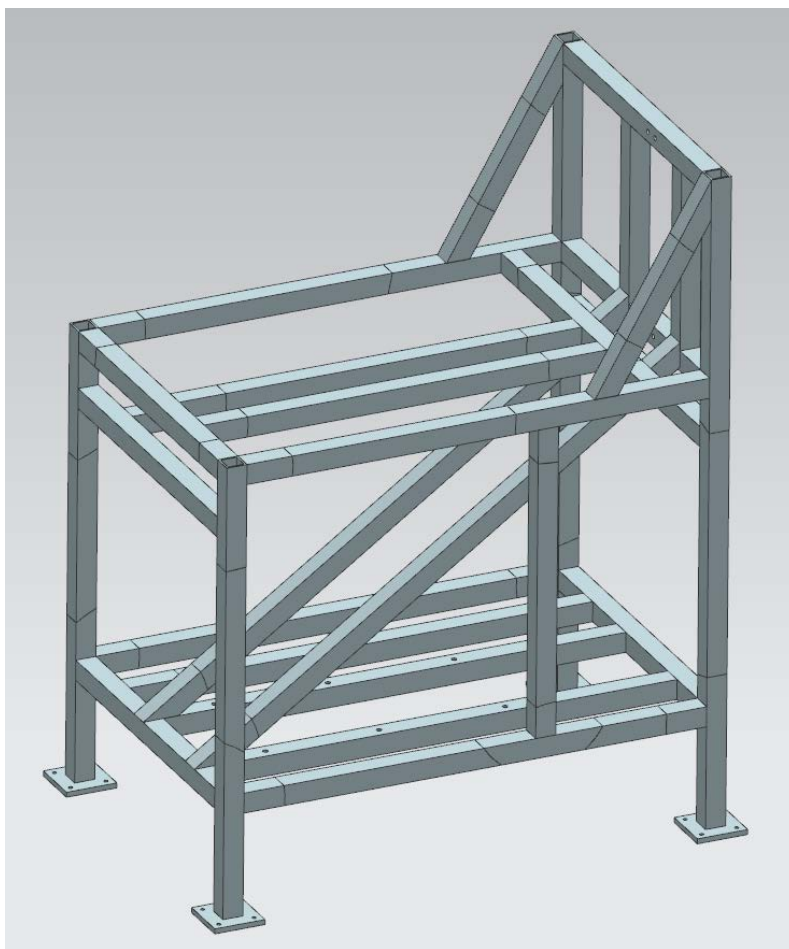
Obrázek 46: Celkový náhled rámu pro měření napínací síly kladky pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu

7.2 Materiálové charakteristiky

Konstrukce je vyrobena jako svařenec čtvercových profilů o rozměrech 40x40x4 mm z konstrukční oceli 11 373. Mez kluzu tohoto materiálu je 186 MPa.

7.3 Zjednodušení sestavy

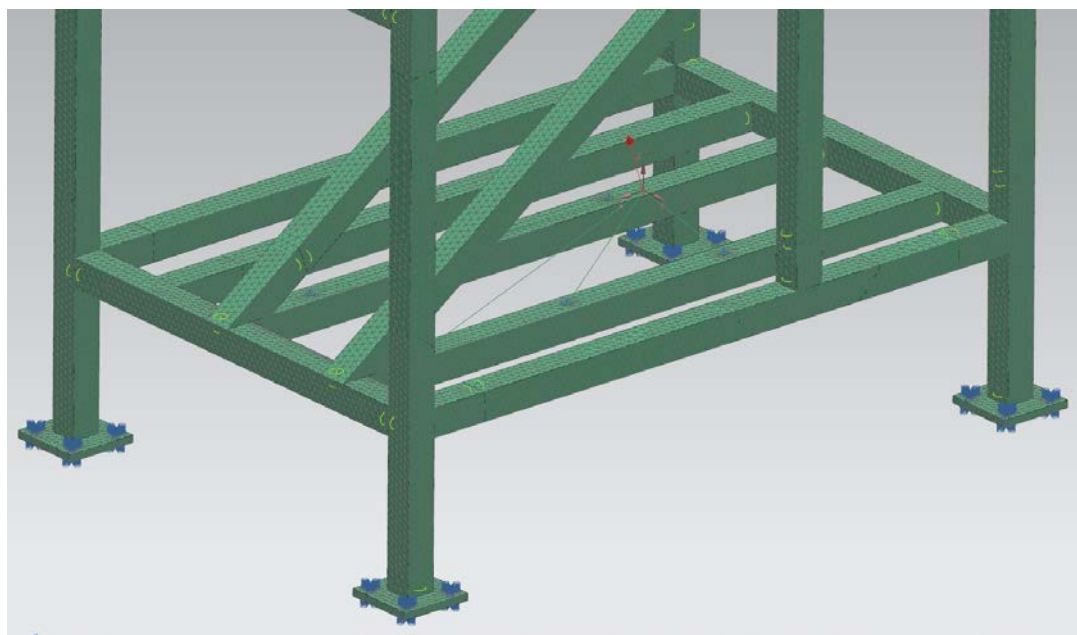
Při zjednodušování došlo k odstranění většiny otvorů rámu, až na otvory, ve kterých je uložený aktuátor, ložisková tělesa. Dále došlo k odstranění zaoblení na profilech rámu. Poté jsem „rozřezal“ jednotlivé profily ve spojovacích místech a nejvíce namáhaných místech pro zlepšení přesnosti výpočtu a samotné rychlosti.



Obrázek 47: Zjednodušený model rámu

7.4 Okrajové podmínky

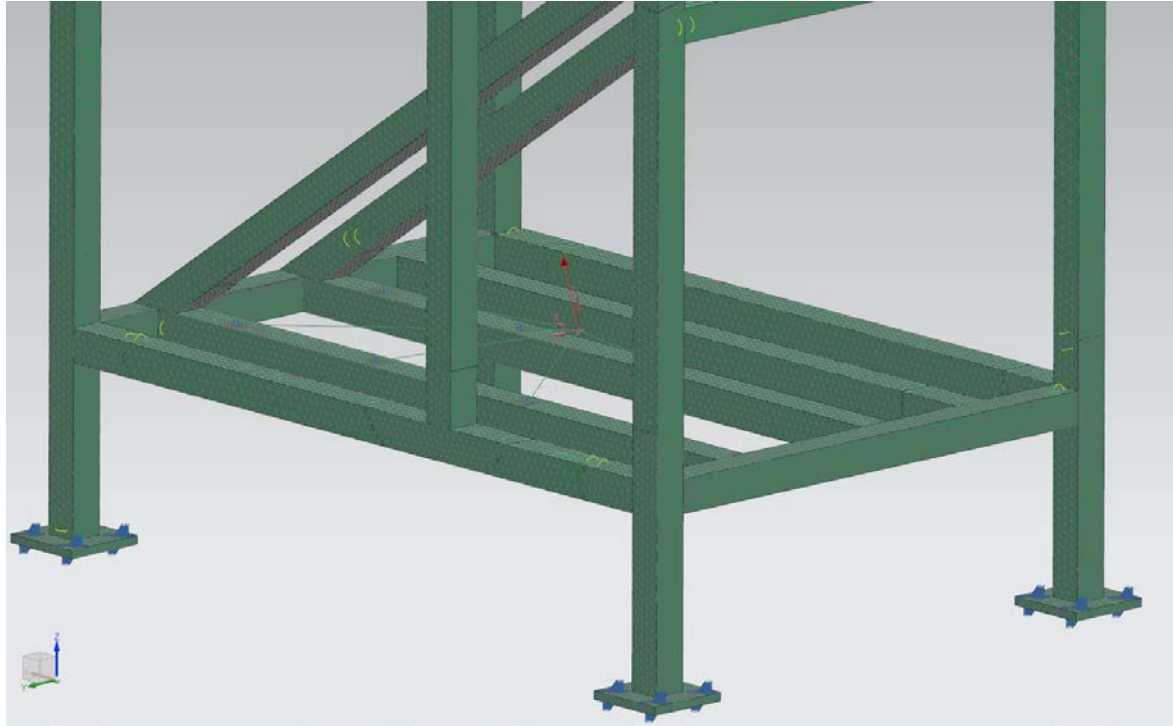
Sestava je pevně uchycena za čtyři „nohy“ k zemi.



Obrázek 48: Okrajové podmínky rámu

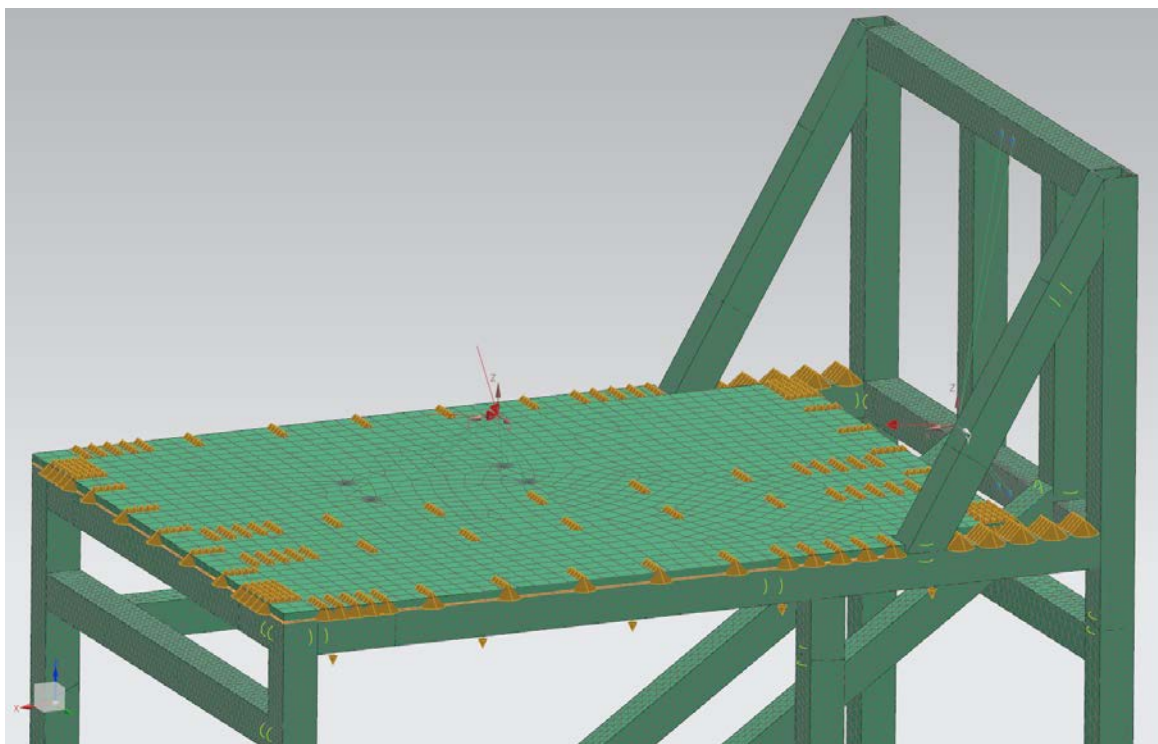
7.5 Zatížení

Cílem je zjistit namáhání rámu od síly vznikající během testování napínacích kladek. Toto zatížení je vyvozeno od aktuátoru. Simulace je definována pro dva krajní zátěžové body, které mohou nastat. Zatížení je definováno jako střednice pro dva úložné podélníky, spojené s „rigid“ prvky pomocí šroubů k rámu. Otvory pro šrouby jsou nahrazeny růžicí.



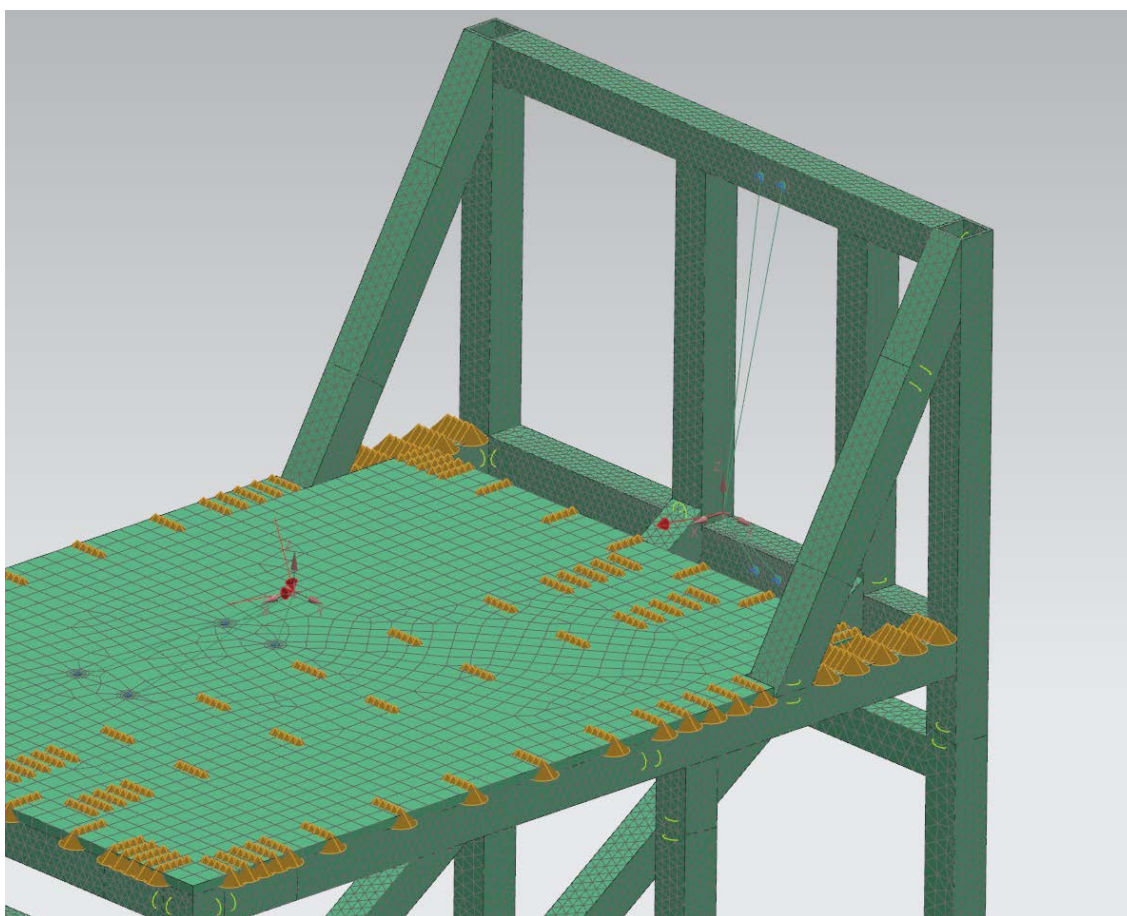
Obrázek 49: Zatížení od aktuátoru

Současně od aktuátoru dochází k přenášení síly na napínací kladku. To se přenáší přes řemen na samotné uložení napínací kladky a na uložení řemenu k rámu. Jako působíště je zvolen střed otáčení napínací kladky. Pro zjištění lepších výsledků byla použita hlavní deska s definovaným kontaktem na dosedací plochu rámu. Virtuální hmotný bod středu otáčení napínací kladky je spojen pomocí „rigid“ prvků s otvory pro hlavní pracovní desku. Samotné nahrazení šroubů je vytvořeno růžicí.



Obrázek 50: Definování zatížení

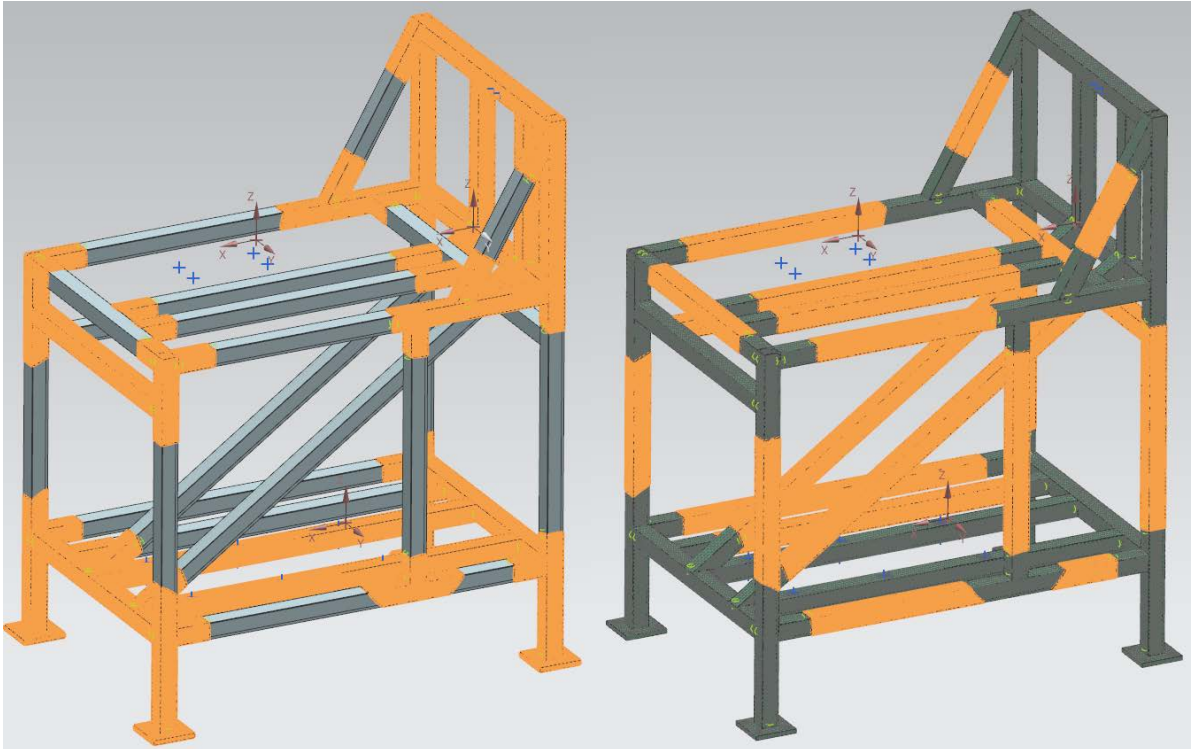
Další síla je definovaná od uložení konce řemenu stejným způsobem, jako je použito u dolního uložení aktuátoru.



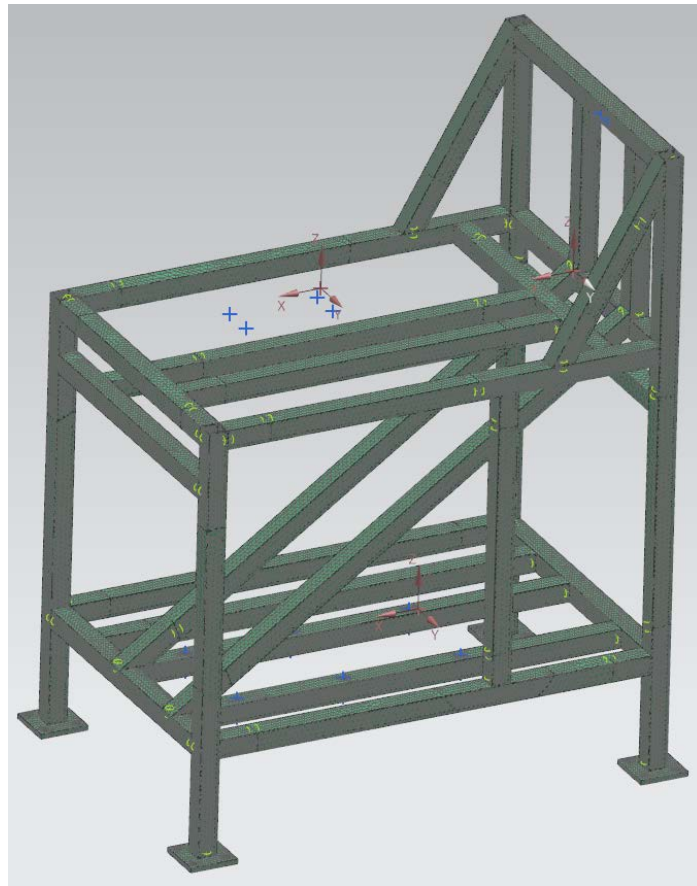
Obrázek 51: Zatížení od konce řemenu

7.6 Síťování

Sestava je zasíťována pomocí 3D sítí. Síťování probíhalo ve dvou fázích. Tomu předcházelo rozdělení konstrukce na úseky s předpokládanými vyššími napětovými stavy. Dané úseky byly vybrány podle vlastních zkušeností a poté optimalizovány pro získání lepších výsledků. Jedná se například o úseky děr šroubů potřebných k uložení aktuátoru, upínače a uložení řemene. Dále pak úseky, které zobrazují spojovací místa jednotlivých profilů, jsou na obrázku 52, vlevo. Tyto úseky jsou síťovány jemněji. Druhý typ úseků je síťován hruběji, protože se nepředpokládá výrazný vliv z hlediska deformace. Třetím typem jsou úseky v těsné blízkosti děr, u kterých bylo potřeba zhustit síť ještě víc. Hlavní pracovní deska byla síťována pomocí 2D sítí.



Obrázek 52: Jemná síťování a hrubé síťování

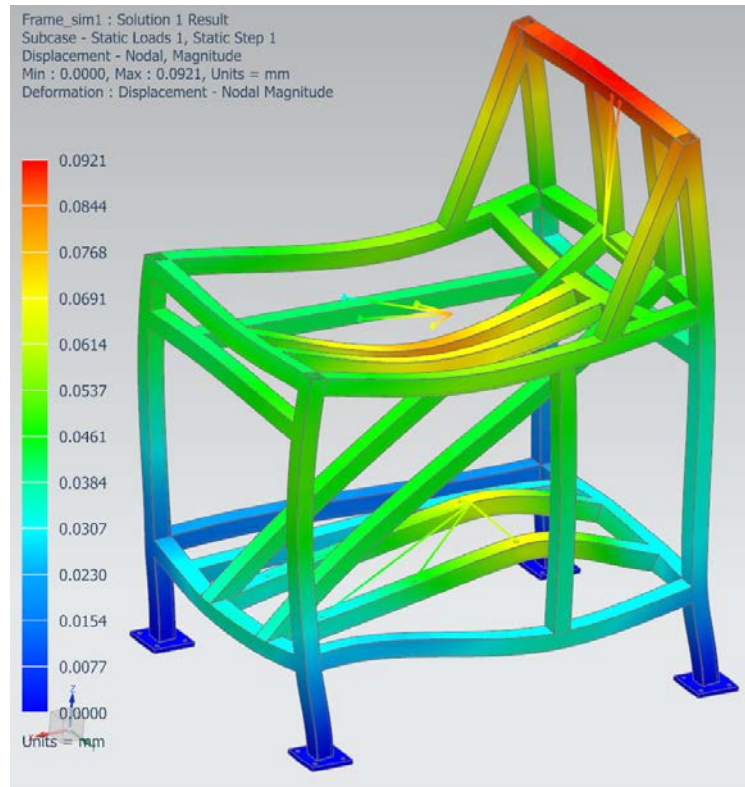


Obrázek 53: Síťování

7.7 Vyhodnocení výsledků simulace

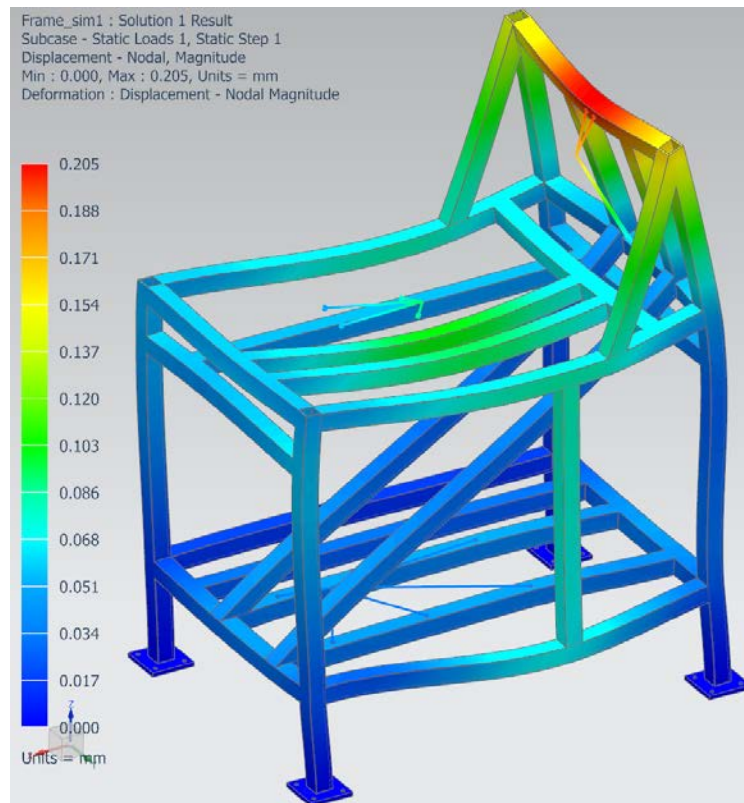
Byly provedeny optimalizační smyčky rámu z pohledu deformace, okrajové podmínky byly u každé stejné, kvůli vhodnému porovnání výsledků. Nejsou zde zobrazeny úplně prvotní výpočetní simulace, ale pouze finální verze. Ta je rozdělena na dva zátěžové body. První zátěžový bod je při testovacím cyklu, který má úhel opásání napínací kladky 60° a druhý je při opásání 110° .

7.7.1 Varianta 1: Celkové posunutí



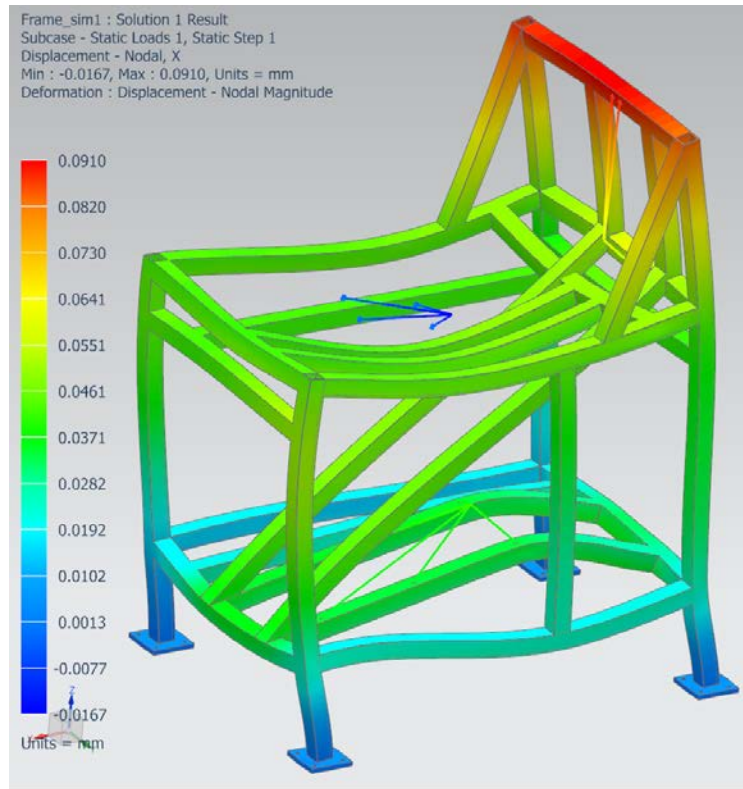
Obrázek 54: Varianta 1 - Celková deformace

7.7.2 Varianta 2: Celkové posunutí



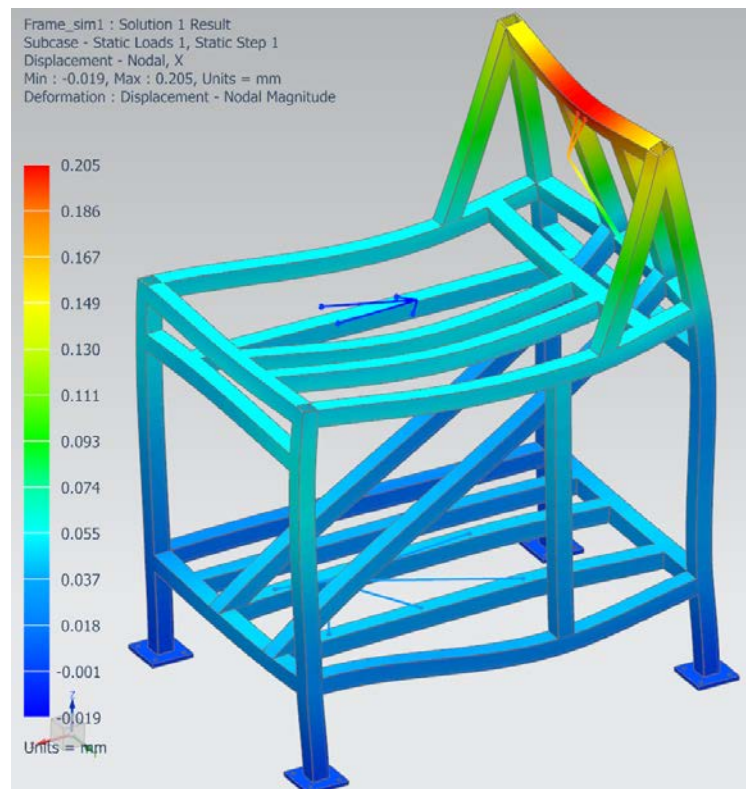
Obrázek 55: Varianta 2 - Celková deformace

7.7.3 Varianta 1: Posunutí v ose x



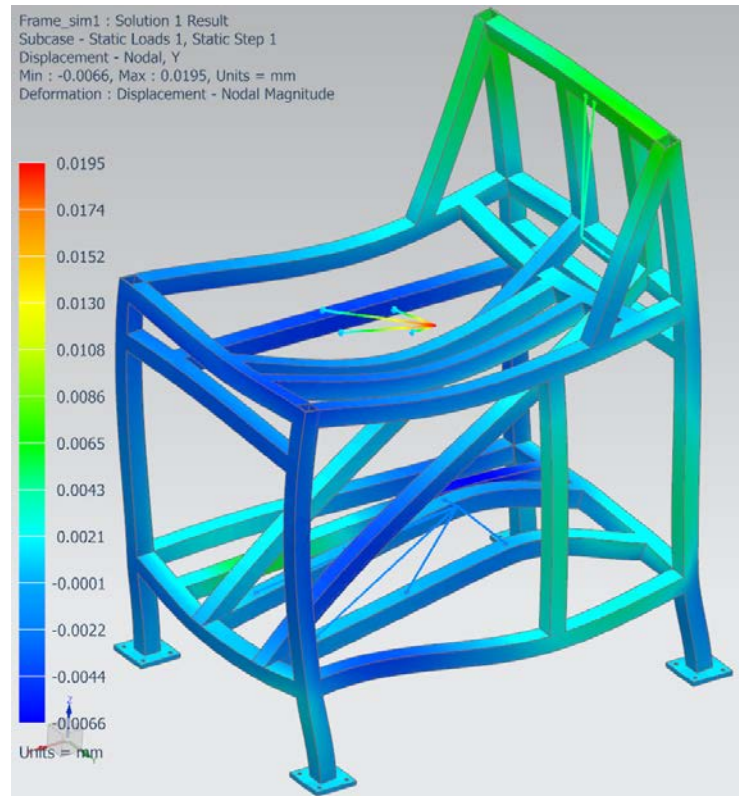
Obrázek 56: Varianta 1 -Posunutí v ose x

7.7.4 Varianta 2: Posunutí v ose x



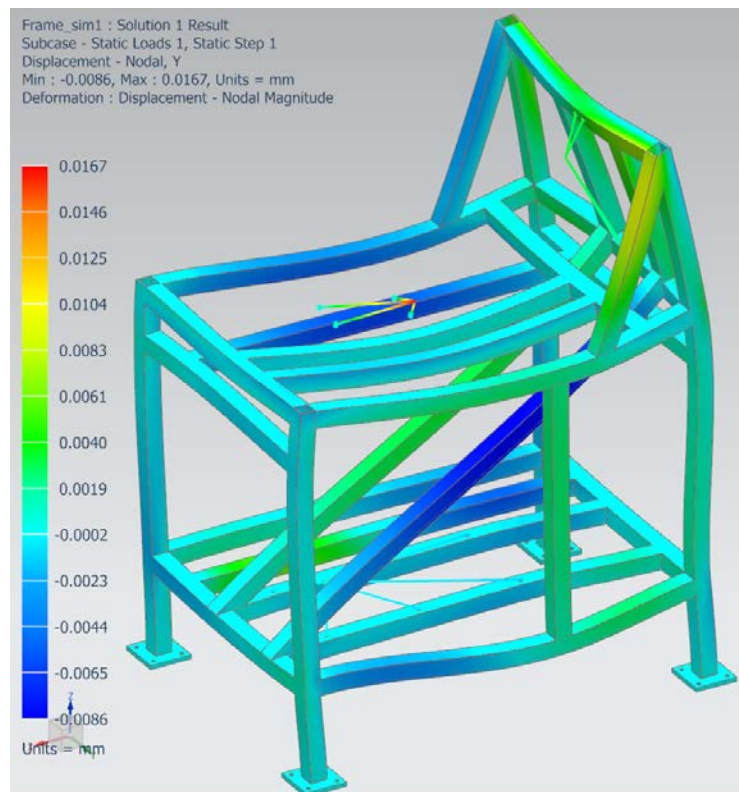
Obrázek 57: Varianta 2 - Posunutí v ose x

7.7.5 Varianta 1: Posunutí v ose y



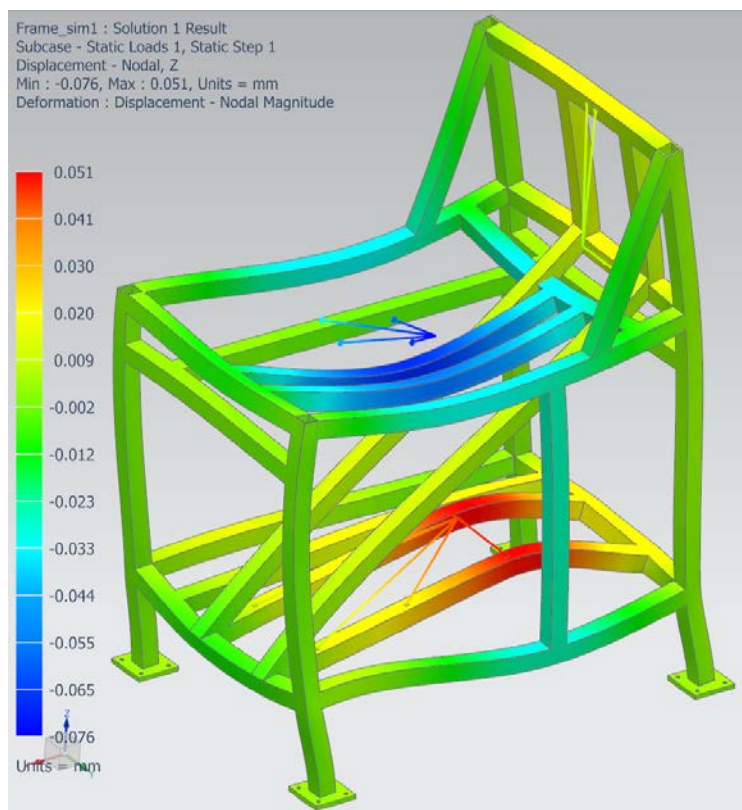
Obrázek 58: Varianta 1 - Posunutí v ose y

7.7.6 Varianta 2: Posunutí v ose y



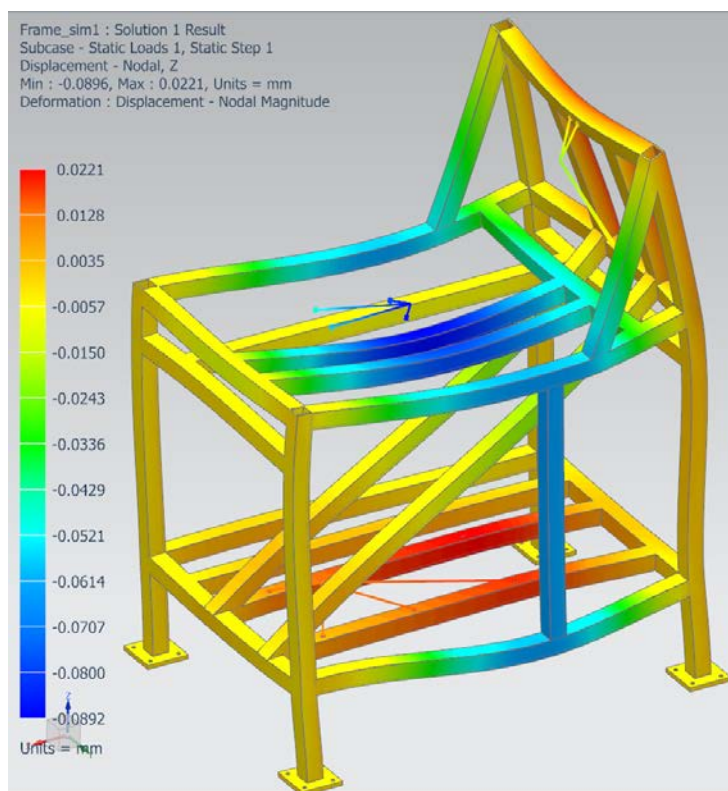
Obrázek 59: Varianta 2 - Posunutí v ose y

7.7.7 Varianta 1: Posunutí v ose z



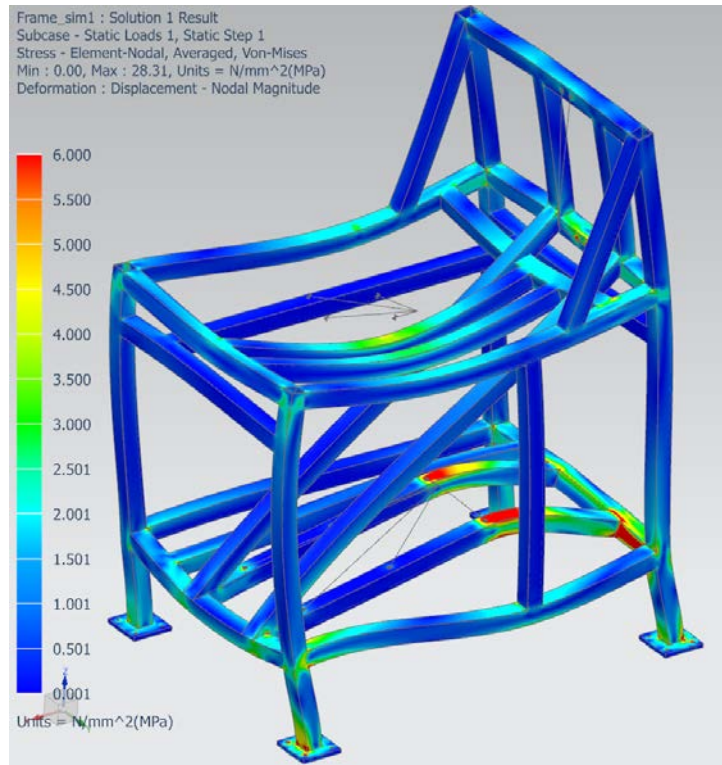
Obrázek 60: Varianta 1 - Posunutí v ose z

7.7.8 Varianta 2: Posunutí v ose z



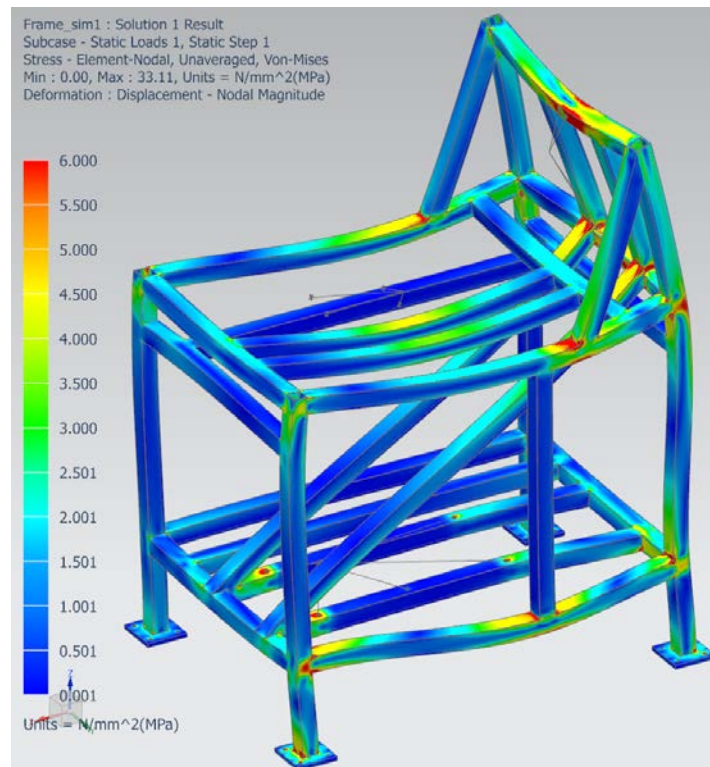
Obrázek 61: Varianta 2 - Posunutí v ose z

7.7.9 Varianta 1: Celkové napětí



Obrázek 62: Varianta 1 - Celkové napětí

7.7.10 Varianta 2: Celkové napětí



Obrázek 63: Varianta 2 - Celkové napětí

7.8 Výsledné zhodnocení

Rám vyhovuje danému namáhání při koeficientu bezpečnosti 3. Hlavní kritérium pro konstrukci rámu byla co nejnižší deformace. Její důležitost u testovacího zařízení je jeden z hlavních parametrů, protože při každé deformaci může docházet ke zkreslení naměřených dat, proto je snaha získat nejmenší možnou deformaci. Simulace byla provedena u dvou zátěžových stavů.

Koeficient bezpečnosti [-]	Mez kluzu [MPa]	Dovolené napětí [MPa]
3	186	62
Součást vyhovuje	Max. deformace [mm]	Max. redukované napětí [MPa]
	0,205	33,1

Tabulka 4: Výsledné zhodnocení

8 Hodnocení kvality a konkurenceschopnosti

Testovací zařízení pro měření napínací síly pro řemenové rozvody osobních automobilů vycházelo z reálného požadavku pro ŠKODA AUTO a.s., oslovené pro zpracování společností MBtech Bohemia group. Cílem bylo vytvořit zařízení na klíč, které dokáže ověřit funkčnost a konstrukční řešení napínací kladky pro vozy této značky. Konkrétně se jednalo o dva typy napínacích kladek používaných v jejich motorech s ohledem na měření i jiných napínacích kladek různých výrobců. Veškeré vstupní parametry pro testovací zařízení byly konzultovány před samotným konstrukčním zpracováním.

Mezi nejdůležitější parametry, které výrazně ovlivnily konstrukci testovacího zařízení, patří napínací síla. Předpokládá se měření napínací síly kladky v rozsahu až 500 N. Je ale potřeba brát v úvahu, že výsledná síla v řemenu převyšuje napínací sílu. Tomu je potřeba přizpůsobit celé zařízení. Dalším podstatným parametrem je frekvence zatěžování napínacích kladek. U kladky agregátu je frekvence 0,1 Hz a u kladky rozvodů dosahuje až 25 Hz. Z těchto dvou parametrů vycházela celá konstrukce. Nicméně bylo by vhodné, aby frekvence zatěžování byla libovolně nastavitelná a současně vyšší, než je požadovaná pro měření i jiných napínacích kladek. Je totiž pravděpodobné, že simulační děje se mohou lišit. Také je důležité výsledný výběr aktuátoru, snímače síly a snímačů úhlů, které budou lehce nahrazeny jinými komponenty.

Akční člen testovacího zařízení byl pečlivě vybírán pro splnění několika požadavků. Kromě výsledné napínací síly byla dalším parametrem kompletní řada aktuátorů pro budoucí rostoucí požadavky pro velikost napínací síly. V testovacím zařízení je tak možné použít aktuátor o vyšší výsledné síle a současně při zachování stávajícího řešení s ohledem na ostatní komponenty a bezpečnosti rámu. Ve výběru aktuátoru jsem mimo jiné bral v potaz i systém řízení. Pro řízení aktuátoru je potřeba software a hardware, který spolu dokáže vzájemně komunikovat. V případě společnosti Festo nabízejí kompletní řešení na klíč. To výrazně zjednoduší zprovoznění testovacího zařízení a zajistí správnou funkčnost.

Mechanický zesilovač frekvence je jedním z klíčových prvků pro funkci simulace napínacích kladek. Návrh velikosti servomotoru byla věnována celá kapitola z hlediska výpočtu. Nicméně při předběžných výpočtech byl jeho výsledný moment tak nízký, že došlo k zjednodušení výpočtu, který nám bude vyhovovat pro naše použití. Pro samotný výběr byl brán ohled na vzájemnou komunikaci a řízení s počítačem. Proto byl vybrán servomotor opět od společnosti Festo, protože máme již celé ovládací zařízení pro aktuátor. To nám výrazně zjednoduší celé zapojení a rozběhnutí testovacího zařízení. Následující požadavek byly maximální otáčky servomotoru, které jsou přímo závislé na frekvenci zatěžování. Proto byl vybrán servomotor, který dokáže simulovat frekvenci zatěžování až 50 Hz. Další součástí mechanického zesilovače frekvence je vodící kladka. U té byl největší požadavek na velký zdvih a jeho libovolné nastavování. Vznikl tak mechanismus, kde jsem bral inspiraci z napínacích kladek. Ve výsledku vznikla vodící kladka, která má výsledný maximální zdvih 8 mm. Během samotné montáže doporučuji vodící kladku zhruba o dva milimetry předeprnout vůči řemenu, aby nedocházelo k odlehnutí mezi řemenem a řemenicí vodící kladky.

V závislosti na frekvenci simulace došlo i k výběru optimálních frekvencí snímání jednotlivých snímačů o zajištění požadované kvality výsledků včetně jejich přesnosti. Je důležité podotknout, že nároky na frekvence snímání senzorů jsou velmi vysoké. Bylo potřeba vybírat mezi snímači, které jsou schopné toto zajistit a současně jsou cenově dostupné. Jedním ze snímačů je snímač úhlu natočení. Požadavek na tento snímač byl, že frekvence snímání má být okolo 5 kHz. Rozhodl jsem se vybrat snímač, který má frekvenci snímání 20 kHz. Pro získání požadované frekvence zatěžování by byl zapotřebí snímač,

kteřý je cenově velmi náročný, proto jsem zvolil snímač s nižší hodnotou.

Jedním z největších problémů při řešení diplomové práce bylo místo, kde měřit úhel natočení napínací kladky. Když bereme v úvahu rozdílnosti jednotlivých kladek, je naprosto nemožné vytvořit jeden mechanismus, na kterém tuto hodnotu dokážeme zjistit. Proto bylo stanoveno, že testovací zařízení bude navrhováno pro konkrétní napínací kladku, s ohledem na budoucí úpravu. Snažil jsem se vybrat takové místo na napínací kladce, které dokážeme lehce změřit s minimálními úpravami daného mechanismu. Každopádně je potřeba brát v úvahu, že tento problém převyšuje rozsah diplomové práce a pro další návrhy tohoto mechanismu by bylo zapotřebí získat větší objem dat, ze kterých bychom mohli vytvořit univerzálnější mechanismus. V tomto případě můžeme stoprocentně zaručit použití u naší zvolené napínací kladky.

Další výrazná část tohoto testovacího zařízení je návrh upínacího zařízení. Cílem bylo vytvořit řešení pro upínání napínacích kladek různých konstrukcí. V prvotní fázi návrhu se předpokládalo univerzální řešení, nicméně toto řešení by bylo cenově velmi nákladné. Proto vzniklo konstrukční řešení mechanismu upínání, ve kterém je podstata výměnného pouzdra upínače se zachovaným geometrickým tvarem a následně jen úprava dosedací plochy pro konkrétní napínací kladku. Toto řešení je velmi jednoduché a efektivní. Stále však zůstává možnost v případě potřeby univerzálního upínání napínacích kladek pro plně automatizované testovací zařízení jako jedna z variant a pro případnou budoucí realizaci a zvýšení pracovní produktivity.

V následující tabulce jsou shrnuty důležité výsledné parametry testovacího zařízení. V rozmezí těchto hodnot dokáže testovací zařízení plně pracovat bez jakéhokoliv omezení.

Parametr	Hodnota	Jednotky
Rozměry testovacího zařízení	1004x1305x684	mm
Hmotnost testovacího zařízení	200	kg
Maximální napínací síla	500	N
Maximální síla od aktuátoru	1 000	N
Maximální šířka řemenu	40	mm
Maximální frekvence měření	50	Hz
Rozsah úhlu opásání pro měření napínací kladky	300-250	°
Výstupní frekvence snímače natočení napínací kladky	20	kHz
Přesnost snímače natočení napínací kladky	0,3	°
Maximální síla na snímač síly	1 000	N
Výstupní frekvence snímače síly	3,4	kHz
Výstupní frekvence snímače úhlu opásání	1 000	Hz
Přesnost snímače úhlu opásání	0,05	°

Tabulka 5: Výsledné parametry testovacího zařízení

Pro posouzení dynamického chování konstrukce rámu testovacího zařízení byla vytvořena modální analýza v softwaru Siemens NX. Modální analýza slouží k získání

vlastních frekvencí konstrukce. Pokud se tyto budící frekvence budou shodovat s budící frekvencí, začne testovacího zařízení rezonovat. Stanovená budící frekvence ze zadání je 25 Hz. V případě provozování do této hranice by nemělo dojít k rezonování rámu konstrukce. V případě vyšší budící frekvence, kdy testovací zařízení bude možné provozovat do zátěžné frekvence 50 Hz, se nachází v tomto pásmu pouze jedna vlastní frekvence 33,87 Hz. Avšak nepředpokládá se však používání v této oblasti zatěžování. Všechny budící frekvence pro rám konstrukce jsou v následující tabulce.

	vlastní frekvence[Hz]
1	33,8711
2	50,09
3	59,6524
4	114,636
5	125,776
6	140,679

Tabulka 6: Vlastní frekvence rámu

Dalším negativním prvkem při řešení dynamiky testovacího cyklu je napínací řemen. V případě, že by došlo k buzení řemene pomocí vlastní frekvence, došlo by k tomu, že řemen nebude správně vykonávat svoji úlohu vratného pohybu po vodící kladce. To bude mít za následek nesprávně získanou hysterezní charakteristiku. Při volbě napínacího řemenu je potřebné získat hodnoty vlastní frekvence, popřípadě si je experimentálně získat. Nicméně většina rozvodových řemenů má první vlastní frekvenci od 90 Hz.

Pro chod testovacího zařízení, včetně vyhodnocování a řídicí části slouží stolní počítač. V tomto případě je stolní počítač umístěn vedle testovacího zařízení se zobrazováním výsledků, jimiž je hysterezní charakteristika a následné odeslání dat pomocí LAN sítě. Jako doplňující komponenta testovacího zařízení je displej pro zobrazení reálných hodnot, po případě nastavení proměnných parametrů.

9 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout přípravek pro měření napívací síly pro řemenové rozvody motoru osobního automobilu, který bude měřit hysterezní charakteristiku různých napívacích kladek. Jedná se o experimentální ověření konstrukce a funkčnosti napívací kladky. Získání těchto dat má za cíl snížení zmetkovitosti a poruch napívacích kladek. Během řešení diplomové práce byl kladen důraz na co nejuniverzálnější řešení problematiky. Za tímto účelem byly v práci popsány požadované vlastnosti řemenových rozvodů a napívacích kladek, včetně jejich typických poruch. Dále byl vytvořen podrobný rozbor problematiky chování napívacích kladek.

V diplomové práci je popsán návrh jednotlivých koncepčních variant pro měření hysterezní charakteristiky, ze které jsem vybral nejvhodnější způsob pro rozsáhlé použití měření kladek různých výrobců. Návrh konstrukce testovacího zařízení jsem se snažil popsat co nejjednodušší formou pro pochopení samotného principu měření a zohlednit problematiku univerzálnosti zařízení pro jednotlivé napívací kladky. Pro bližší pochopení jsem navrhl způsob měřicího cyklu, ze kterého bude probíhat samotné programování chodu zařízení. V další části jsem se věnoval pevnostnímu výpočtu rámu. Na tento rám jsou kladeny velké tuhostní požadavky, protože se jedná o měřicí zařízení. Proběhlo několik optimalizačních smyček návrhu pro získání nejlepších vlastností rámu. V poslední části proběhlo samotné zhodnocení testovacího zařízení.

10 Seznam použité literatury

LEINVEBER, J., VÁVRA P. *Strojnické tabulky*. Úvaly: nakl. Albra, 2017

ŠKODA AUTO a.s., *Škoda Octavia III - dílenská příručka*, Mladá Boleslav: Škoda auto., 2014

HROMÁDKO, J., *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4455-1., 2012

REMEK, B., *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3538-2., 2012

GSCHEIDLE, R., *Příručka pro automechanika*. Praha: Europa-Sobotáles, ISBN 978-80-86706-17-, 2007

MAIXNER, L., *Mechatronika: učebnice*. Brno: Computer Press, ISBN 80-251-1299-3., 2006.

STANĚK, J., NĚMEC, J., *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*, Plzeň: ZČU, 2005

MARTINEK, R. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, ISBN 80-7300-114-4., 2004

ŠKODA AUTO a.s., *Škoda Octavia II - dílenská příručka*, Mladá Boleslav: Škoda auto., 2004

Doc. Ing. JENČÍK, J., CSc. Doc. Ing. VOLF., J. DrSc. a kolektiv, *Technická měření*. Praha: vydavatelství CVUT., 2003

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J., *Příručka strojního inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999

Elektronické publikace:

Festo Group[online]. [cit. 2019-02-11].

Dostupné z:https://www.festo.com/cat/sr_rs/data/doc_engb/PDF/EN/ESBF_EN.PDF

Festo Group[online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné

z:https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/EMME-AS_CZ.PDF

Limasoft[online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z:<https://www.limasoft.cz/omron/pdf/E6A2.pdf>

Burster[online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné

z:https://www.burster.com/fileadmin/user_upload/redaktion/Documents/Products/Data-Sheets/Section_8/8431_EN.pdf

Megatron [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné

z:https://www.megatron.cz/coku8a2er/uploads/2017/02/DS_MAB12A_en.pdfpdf

Contitech[online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z:[https://aam-](https://aam-europe.contitech.de/pages/downloads/docs/PTG1107-Cs-Belts-and-Components.pdf)

[europe.contitech.de/pages/downloads/docs/PTG1107-Cs-Belts-and-Components.pdf](https://aam-europe.contitech.de/pages/downloads/docs/PTG1107-Cs-Belts-and-Components.pdf)

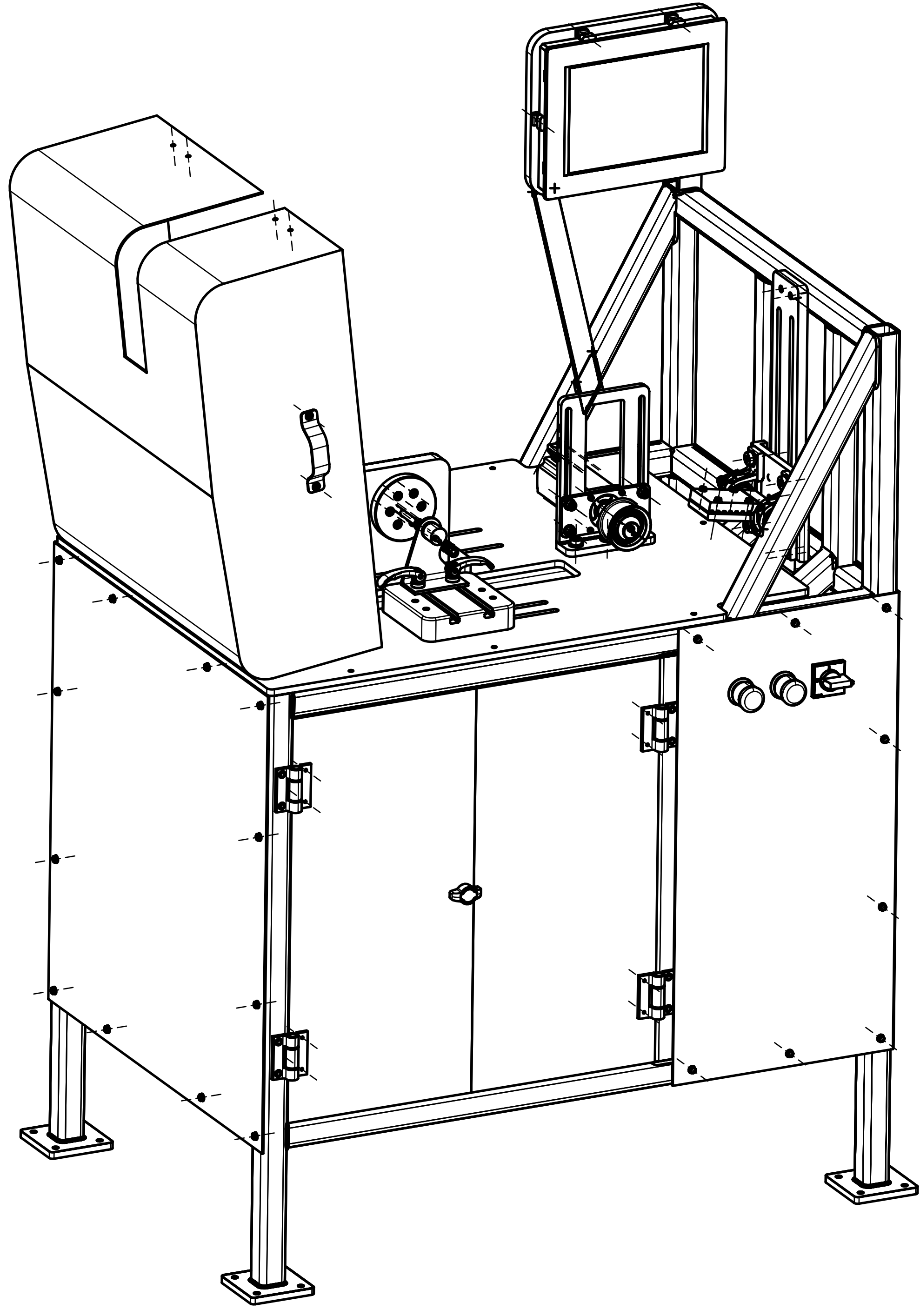
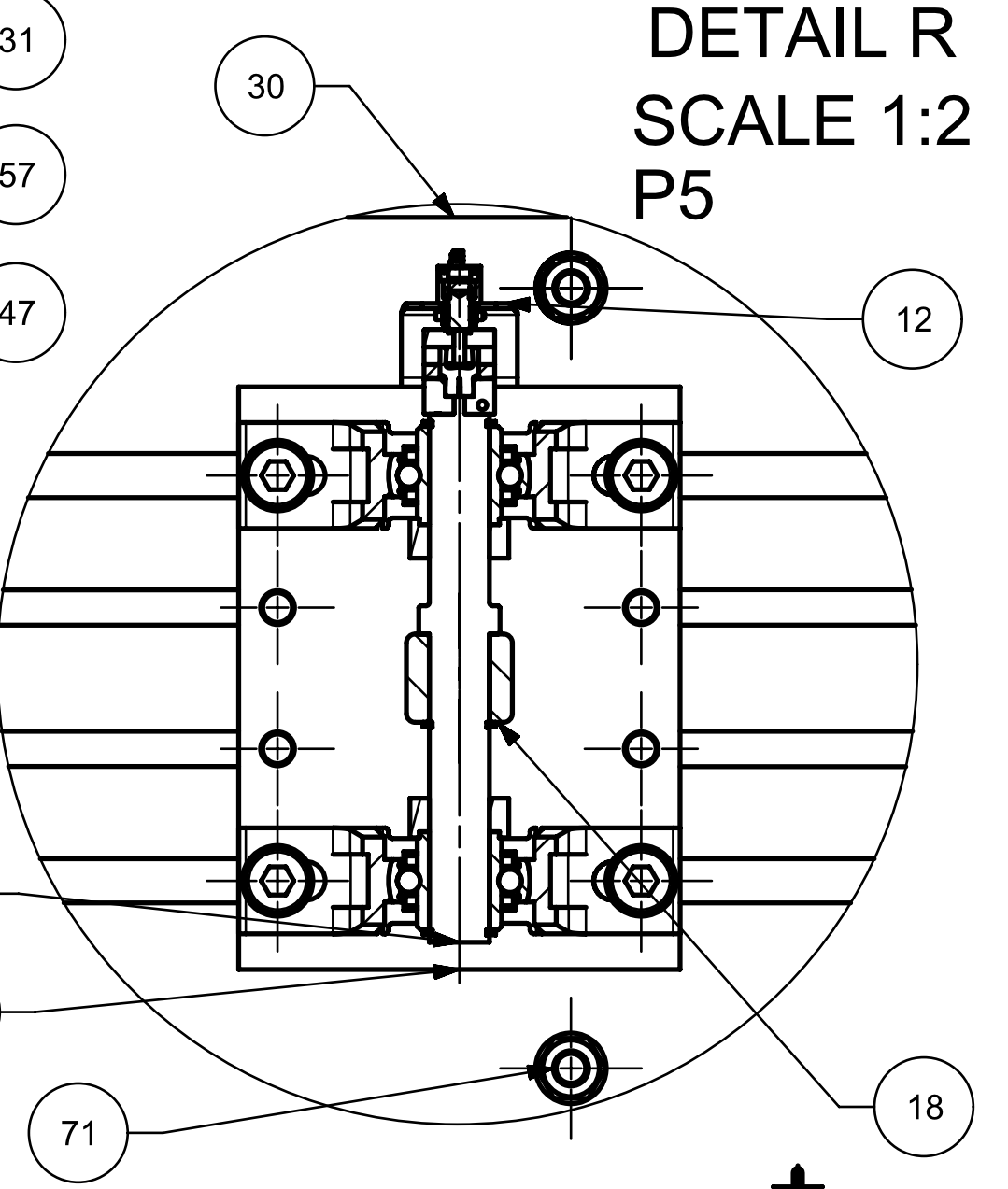
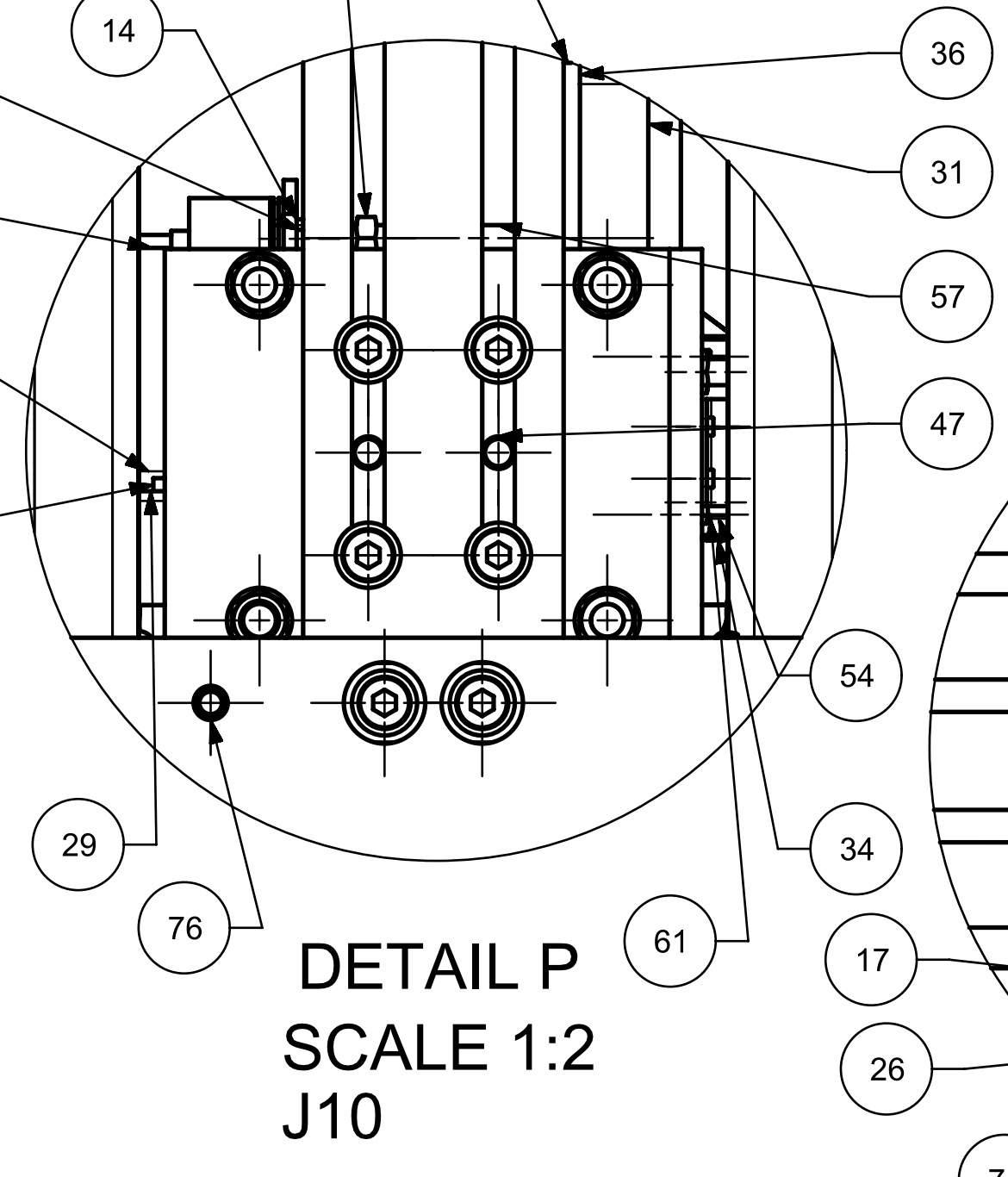
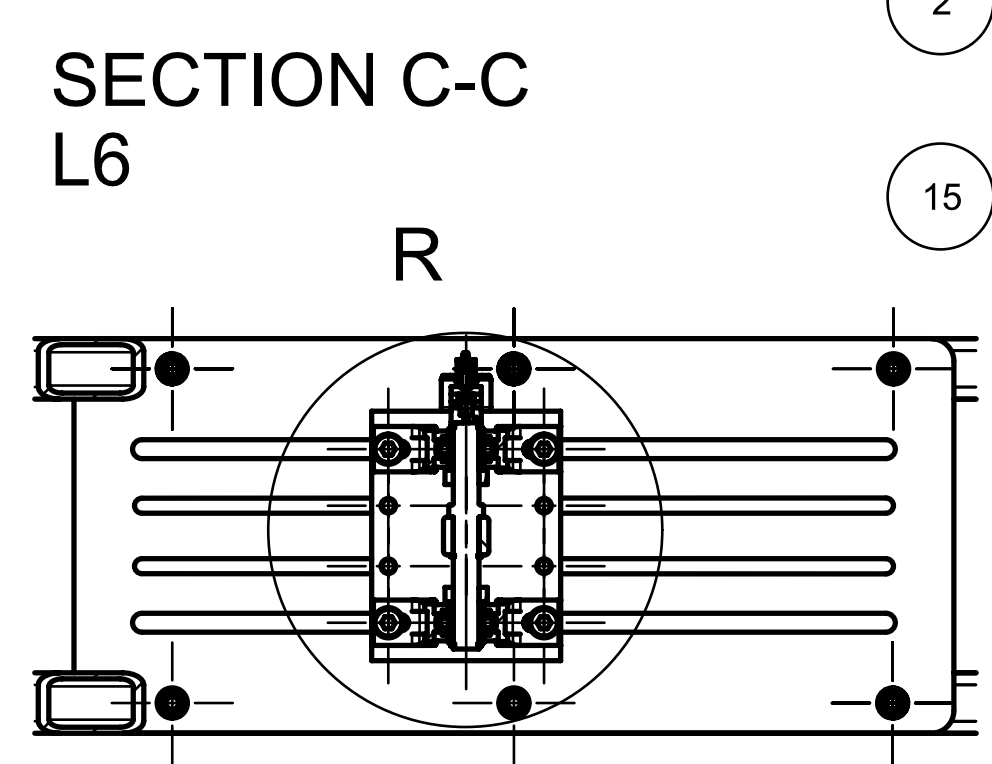
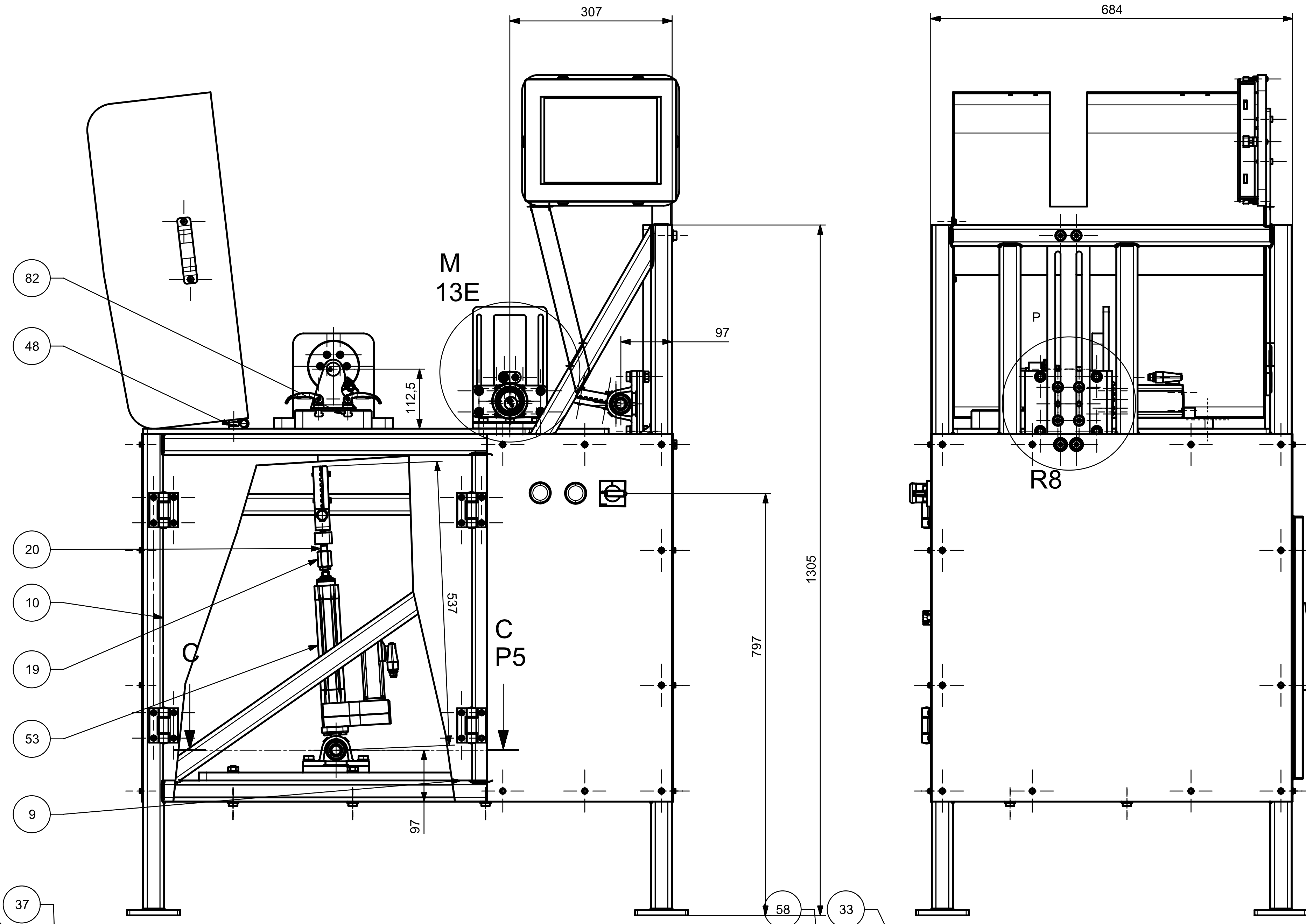
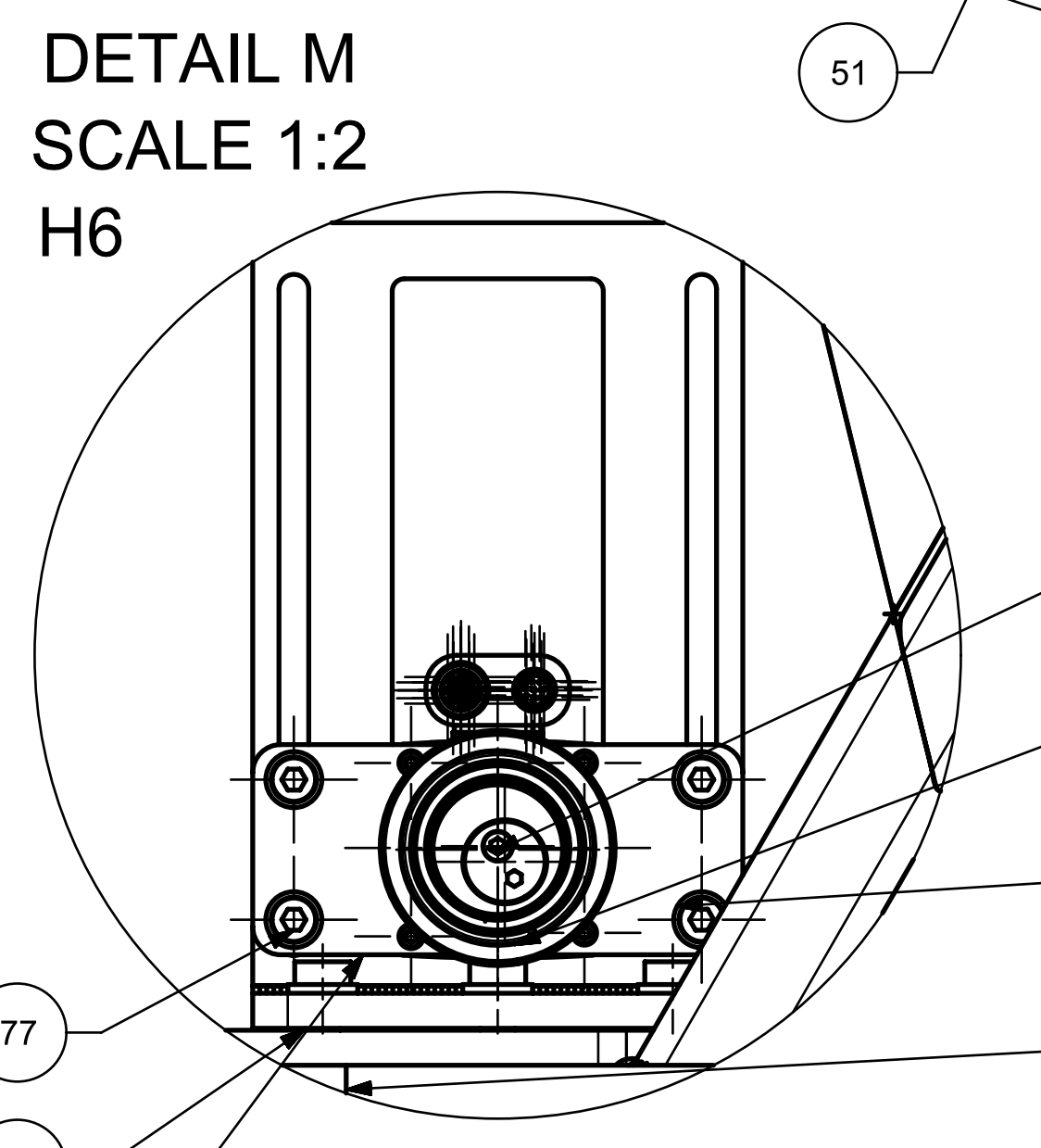
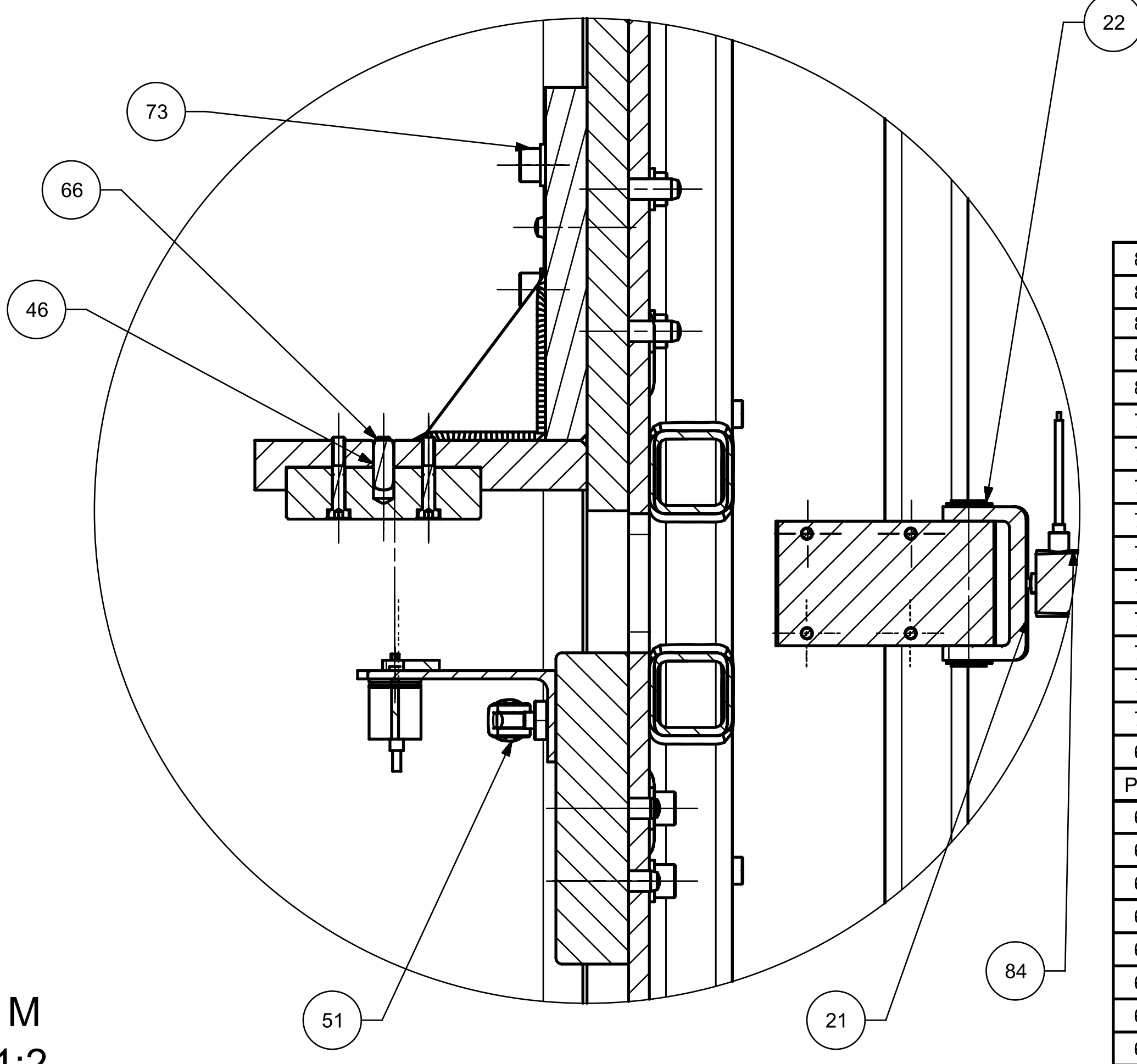
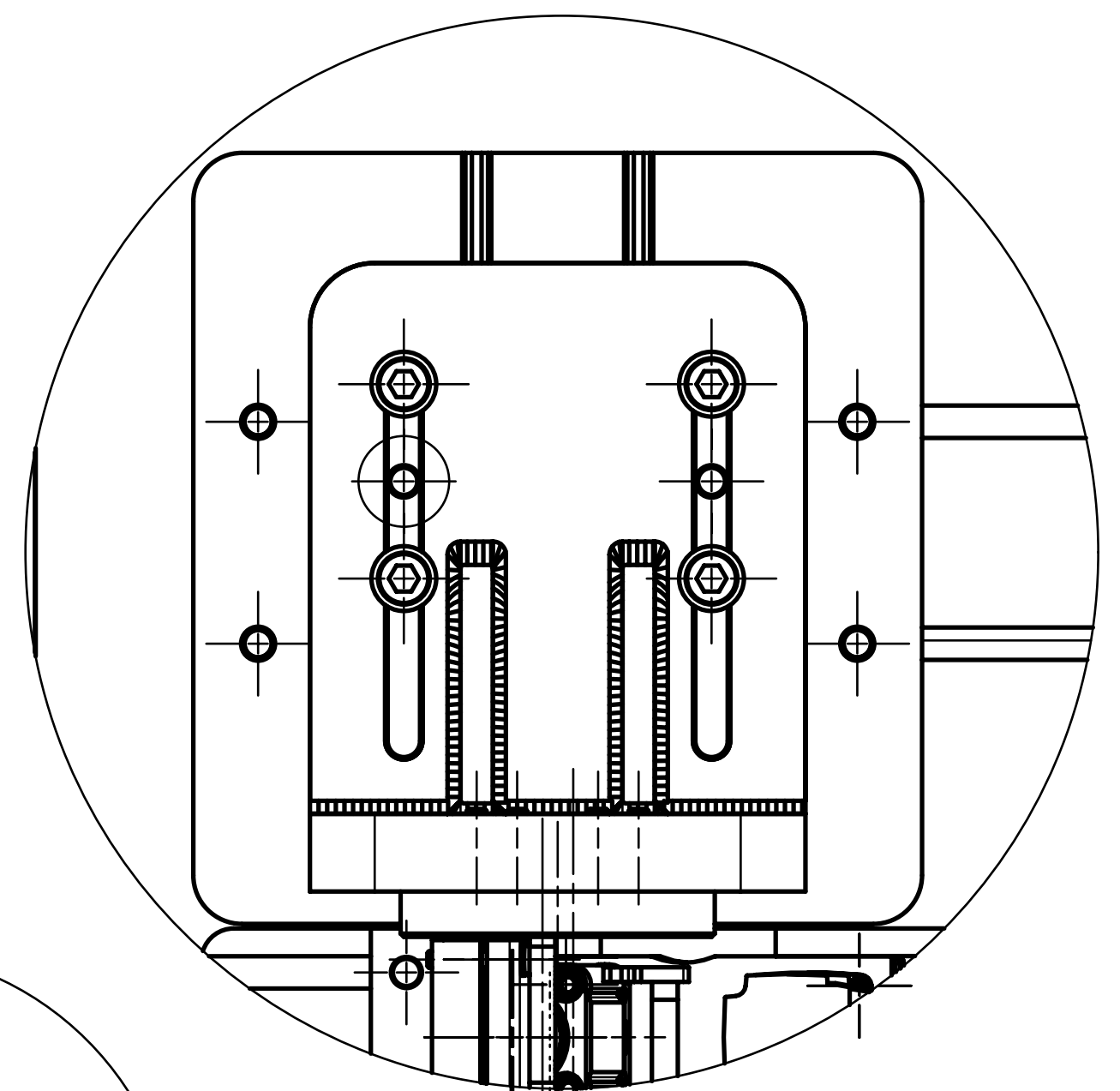
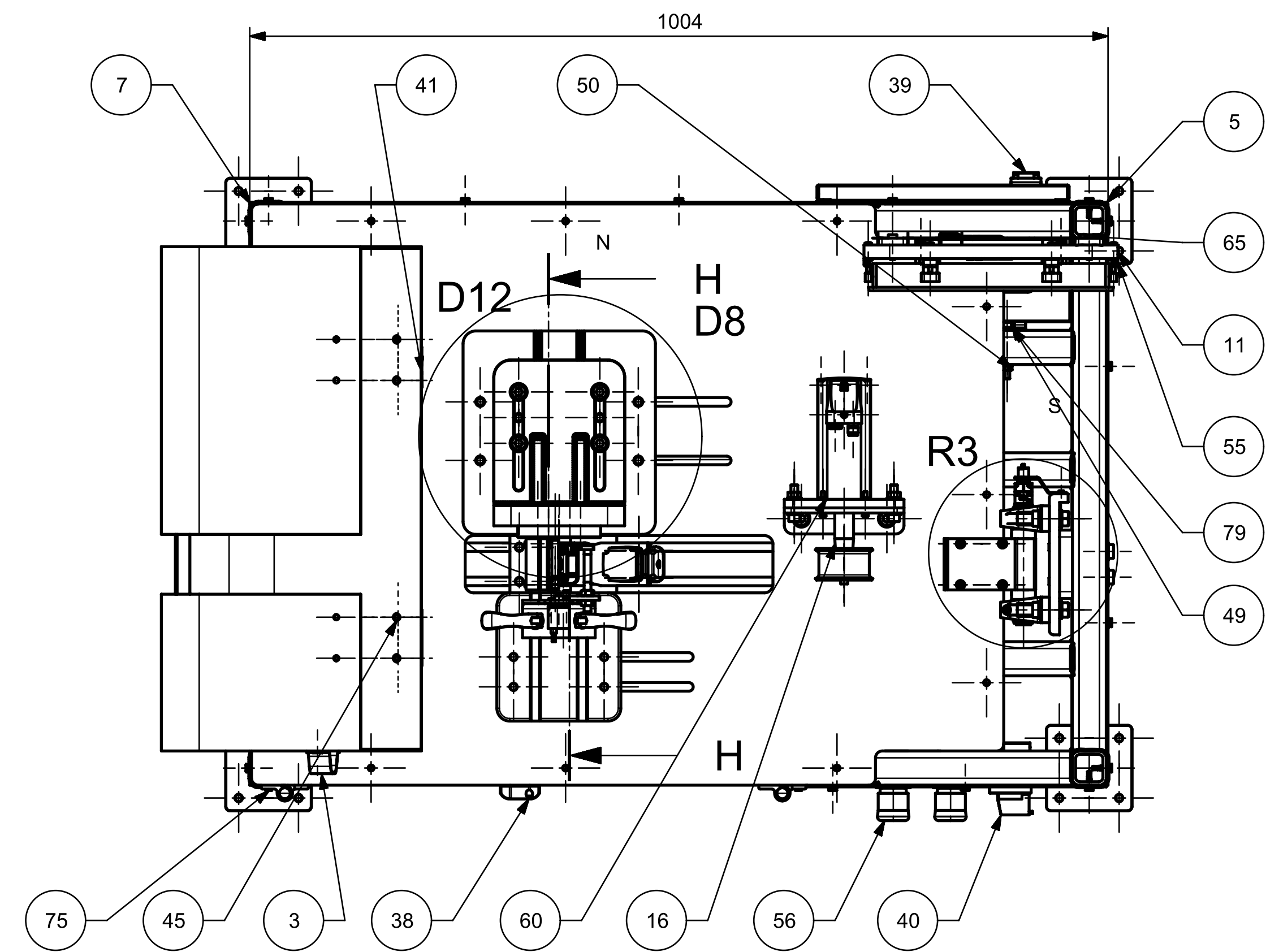
MBtech[online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: www.mbtech.cz

11 Volně vložené přílohy

Výkres ZCU_PB_2019_01

Výkres ZCU_PB_2019_03

Výkres ZCU_PB_2019_39



POZ	NÁZEV - ROZMĚR	NORMA	MATERIÁL	MNO.	Hmotnost
84	SNÍMAČ SÍLY	BURSTER 8432 - 601		1	145
83	POJISTNÝ KROUŽEK 17	DIN 471	OCEL	8	1
82	MATICI T M6	DIN 508	OCEL	2	15
81	PODLOŽKA M10	DIN 6902	OCEL	55	5
80	PODLOŽKA 8	DIN 6902	OCEL	8	2
79	PODLOŽKA 6	DIN 6902	OCEL	8	1
78	PODLOŽKA 5	DIN 6902	OCEL	8	0
77	ŠROUB M8 x 35	DIN 7500	OCEL	4	21
76	ŠROUB 4.8 x 19	DIN 7504	OCEL	46	3
75	ŠROUB 4.2 x 13	DIN 7504	OCEL	8	2
74	ŠROUB M10 x 80	DIN 7984	OCEL	3	58
73	ŠROUB M10 x 40	DIN 7984	OCEL	8	38
72	ŠROUB M5 x 65	DIN 7984	OCEL	1	12
71	ŠROUB M10 x 70	DIN 7984	OCEL	6	50
70	ŠROUB M12 x 35	DIN 7984	OCEL	8	42
69	ŠROUB M10 x 55	DIN 7984	OCEL	4	41
68	ŠROUB M10 x 30	DIN 7984	OCEL	12	26
67	ŠROUB M8 x 50	DIN 7984	OCEL	13	24
66	ŠROUB M6 x 35	DIN 7984	OCEL	6	10
65	ŠROUB M6 x 25	DIN 7984	OCEL	8	8
64	ŠROUB M5 x 30	DIN 7984	OCEL	8	6
63	ŠROUB M3 x 10	DIN 7984	OCEL	4	1
62	ŠROUB M3 x 8	DIN 7984	OCEL	2	1
61	ŠROUB M4 x 25	DIN 912	OCEL	4	4
60	MATICI M4	DIN 934	OCEL	4	1
59	MATICI M10	DIN 934	OCEL	13	12
58	MATICI M8	DIN 934	OCEL	5	6
57	ŠROUB M8 x 85	DIN 938	OCEL	1	33
56	VYPÍNAČ	EUCHNER 073985		2	-
55	DISPLAY	FESTO 574412 CDPX-X-A-S-10 574412		1	2100
54	SERVOMOTOR	FESTO EMME-AS-60-M-LS-AS		1	1850
53	AKTUÁTOR	FESTO ESBF-BS-32-100-10P		1	-
52	SPOJKA SNÍMAČE OPÁSÁNÍ	HA-CO KSB-5 - 3.175H7 - 3H7	HLINK	2	-
51	EXCENTRICKÝ RYCHLOUPÍNAČ	HALDER EH 23390.0001		2	-
50	MATICI M6	ISO 4032	OCEL	4	3
49	ŠROUB M6 x 80	ISO 4762	OCEL	4	16
48	ŠROUB M5 x 9	ISO 4762	OCEL	4	3
47	KOLÍK 10 x 40	ISO 8734	OCEL	12	24
46	KOLÍK 10 x 24	ISO 8734	OCEL	2	14
45	NYT 5 x 14	KVT TLPK 537 BS	OCEL	14	2
44	SNÍMAČ ÚHLU OPÁSÁNÍ	MEGATRON MAB12A		2	-
43	LOŽISKOVÁ JEDNOTKA	Michaud Chailly M7-RASE17	OCEL	4	-
42	SNÍMAČ NÁTOČENÍ	OMRON E6A2-CW3E		1	115
41	PANTY	PINET 72-1-4215	6060 T5	6	-
40	HLAVNÍ VYPÍNAČ	SIEMENS 3LD2120TK111AE1		1	-
39	NÁSTĚNNÝ ROZVÁDĚČ	SIEMENS ALPHA160DIN 8GK10311KK11	OCEL	1	-
38	UZAMYKATELNÁ ZÁPADKA	SIERRA PACIFIC K17LBK01	ABS +ZINEK	1	-
37	RÁM	ZČU_PB_2019_02		1	673
36	DRŽÁK UPÍNAČE	ZČU_PB_2019_03		1	56
35	VODIČÍ KLADKA	ZČU_PB_2019_04		1	-
34	DRŽÁK UPÍNAČIHO MECHANISMU	ZČU_PB_2019_05	E360	1	2806
33	VÝMĚNNÉ POUZDRO	ZČU_PB_2019_06	E360	1	1365
32	VEDENÍ LOŽISKOVÝCH JEDNOTEK HORNÍ	ZČU_PB_2019_07	E360	1	3294
31	VEDENÍ SERVO MOTORU	ZČU_PB_2019_08		1	1662
30	VEDENÍ LOŽISKOVÝCH JEDNOTEK SPODNÍ	ZČU_PB_2019_09	A360	1	15108
29	VEDENÍ SNÍMAČE NÁTOČENÍ	ZČU_PB_2019_10	E360	1	1861
28	DRŽÁK SERVO MOTORU	ZČU_PB_2019_11	E360	1	97
27	DRŽÁK LOŽISKOVÝCH JEDNOTEK HORNÍ	ZČU_PB_2019_12	E360	1	1944
26	DRŽÁK LOŽISKOVÝCH JEDNOTEK DOLNÍ	ZČU_PB_2019_13	E360	1	1869
25	HLAVNÍ PRACOVNÍ DESKA	ZČU_PB_2019_14	A6061	1	14663
24	NEGATIVNÍ PROFIL	ZČU_PB_2019_15	A6061	2	184
23	SVĚRNÉ POUZDRO	ZČU_PB_2019_16	A6061	2	205
22	HŘÍDEL SPODNÍ	ZČU_PB_2019_17	E360	1	141
21	DRŽÁK ROTAČNÍ	ZČU_PB_2019_18	E335	1	194
20	ŠROUBENÍ	ZČU_PB_2019_19	E335	1	24
19	PŘEVLAČNÁ MATICE	ZČU_PB_2019_20	E335	1	79
18	DRŽÁK AKTUÁTORU	ZČU_PB_2019_21	E360	1	356
17	HŘÍDEL AKTUÁTORU	ZČU_PB_2019_22	E360	1	276
16	SPOJKA	ZČU_PB_2019_23	E335	1	96
15	DRŽÁK SNÍMAČE NÁTOČENÍ	ZČU_PB_2019_24	E295	1	257
14	SPOJKA SNÍMAČE A KLADKY	ZČU_PB_2019_25		1	64
13	DRŽÁK SNÍMAČE OPÁSÁNÍ HORNÍ	ZČU_PB_2019_26	E295	1	1966
12	DRŽÁK SNÍMAČE OPÁSÁNÍ DOLNÍ	ZČU_PB_2019_27	E295	1	1888
11	DRŽÁK DISPLAYE	ZČU_PB_2019_28	E295	1	4992
10	DVEŘE LEVÉ	ZČU_PB_2019_29	S235	1	2805
9	DVEŘE PRAVÉ	ZČU_PB_2019_30	S235	1	2810
8	ZÁMEK	ZČU_PB_2019_31	S235	1	4
7	KRYT LEVÝ	ZČU_PB_2019_32	E295	1	7396
6	KRYT PRAVÝ	ZČU_PB_2019_33	E295	1	7381
5	KRYT ZADNÍ	ZČU_PB_2019_34	E295	1	8466
4	KRYT PŘEDNÍ	ZČU_PB_2019_35	E295	1	3788
3	ÚCHYT	ZČU_PB_2019_36	E295	1	55
2	KRYT OCHRANÝ	ZČU_PB_2019_37	PMMA	1	1825
1	HŘÍDEL HORNÍ	ZČU_PB_2019_38	E360	1	251

Měřítko 1:5 (1:2)

Hmotnost (kg) 200

Průmysl

Kreslil PĚTR BRDČIČEK

Datum 25.4.2019

Škvalil

Datum

Druh dokumentu

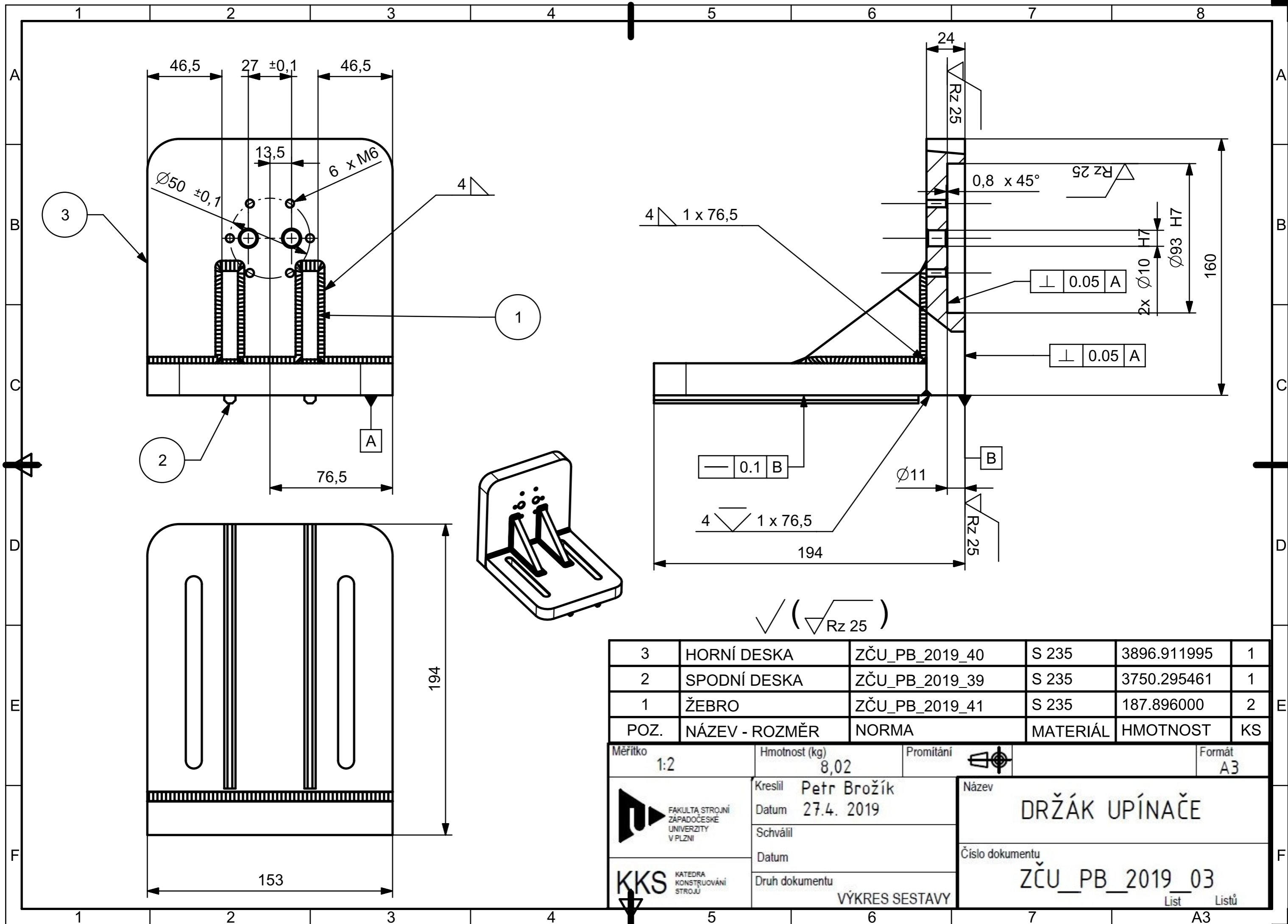
VÝKRES SESTAVY

Název TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Číslo dokumentu ZČU_PB_2019_01

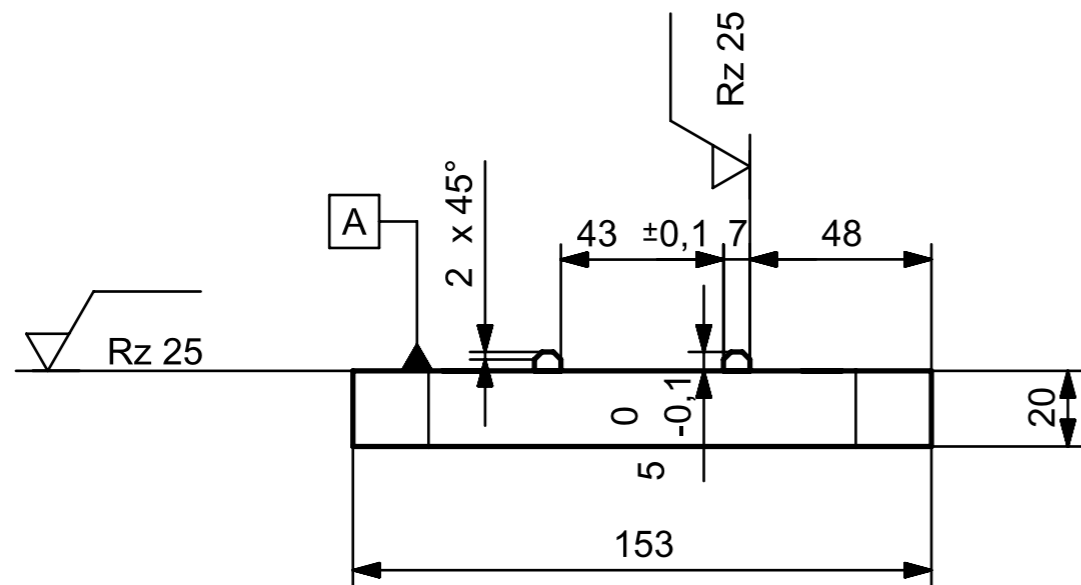
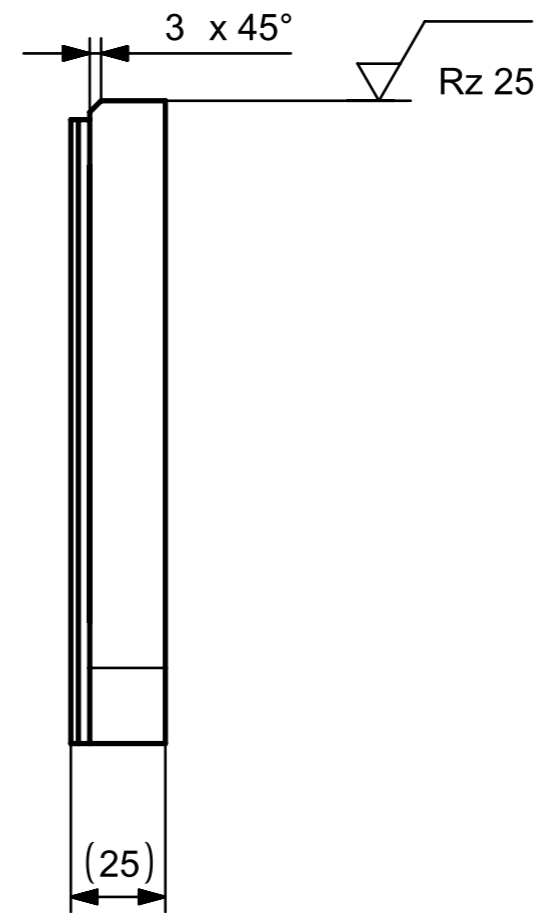
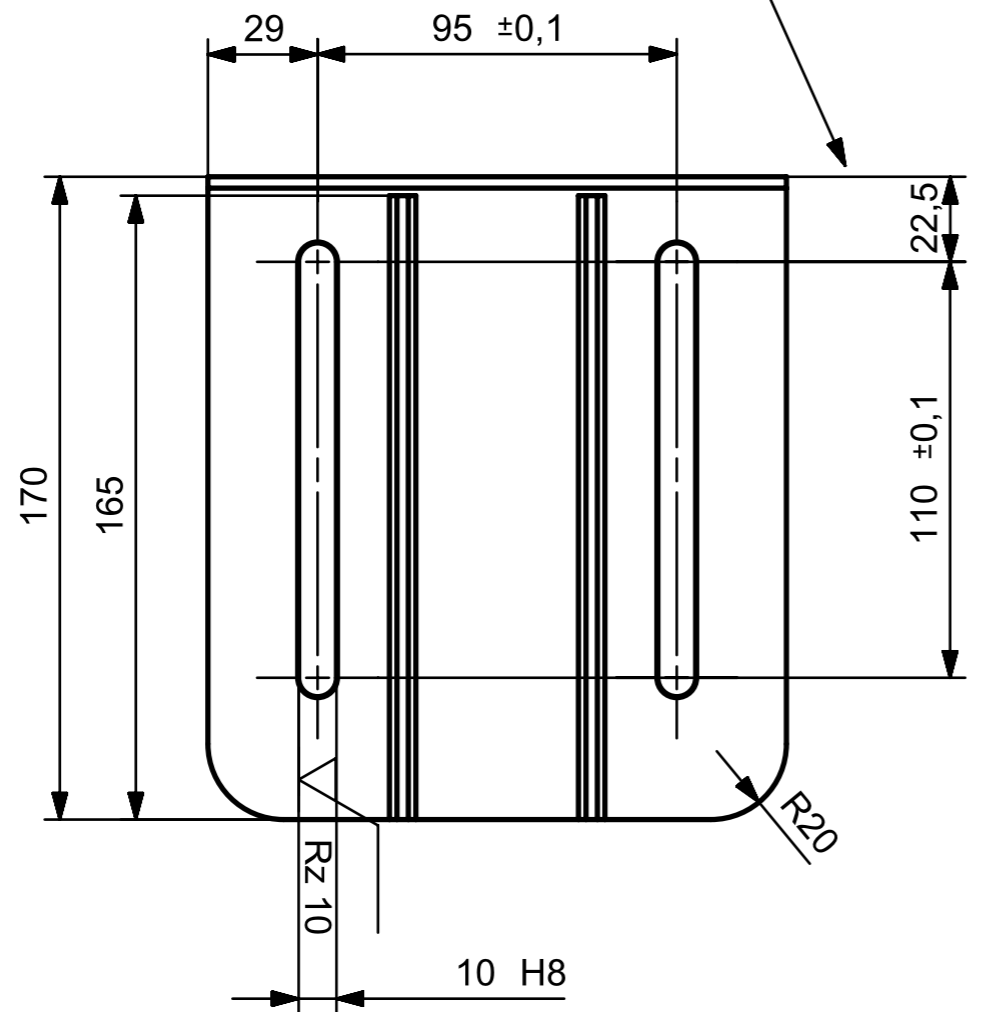
Strana 1 z 1

Verze A0



POZ.	NÁZEV - ROZMĚR	NORMA	MATERIÁL	HMOTNOST	KS
3	HORNÍ DESKA	ZČU_PB_2019_40	S 235	3896.911995	1
2	SPODNÍ DESKA	ZČU_PB_2019_39	S 235	3750.295461	1
1	ŽEBRO	ZČU_PB_2019_41	S 235	187.896000	2

Měřítka	1:2	Hmotnost (kg)	8,02	Promítání		Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	Petr Brožík		Název DRŽÁK UPÍNAČE			
	Datum	27.4. 2019					
 KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Číslo dokumentu ZČU_PB_2019_03			
	Datum						
Druh dokumentu				VÝKRES SESTAVY			
				List Listů			



✓ (✓ Rz 25 ✓ Rz 10)

Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřitko 1:2	Přesnost ISO 2768 -
		Hmotnost (kg) 3,75	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár S235 - TYČ PLOCHÁ 170x30		Promítání 	
	Kreslil Petr Brožík	Název SPODNÍ DESKA	
	Datum 27.4. 2019		
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	Číslo dokumentu ZČU_PB_2019_39	
	Datum		
Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		List A3	Listů