



Motocykl s plynovým motorem

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Ondřej Dufek**
Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Laurin, CSc.



Motorcycle with gas engine

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2302T010 – Machine and Equipment Systems
Author: **Bc. Ondřej Dufek**
Supervisor: doc. Ing. Josef Laurin, CSc.



Tento list nahradte
originálem zadání.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tom-to případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat Doc. Ing. Josefu Laurinovi, CSc za vedení mé diplomové práce. Děkuji Martě Citové za poskytnuté informace ohledně technologií prováděných na nádrži a Ing. Petru Říhovi za informace týkající se legislativy přestaveb. V poslední řadě bych poděkoval Kateřině Andrášové za pomoc při gramatické kontrole a Radku Borusíkovi za korekci překladu.

Anotace:

Cílem diplomové práce je vypracování projektu přestavby skútru na pohon pomocí LPG. V práci jsou popsány již realizované přestavby motocyklů na tento pohon a legislativa jejich schvalování. Součástí práce je dále návrh nádrže pro LPG a jejího držáku. V závěru diplomové práce je odhad provozních parametrů skútru po přestavbě a ekonomická stránka tohoto projektu.

Klíčová slova:

Skútr, LPG, nádrž na LPG, držák LPG nádrže, alternativní palivo, schvalování přestavby.

Annotation:

Objective of the diploma thesis is to elaborate a project of LPG drive conversion on a scooter. Several existing conversions and legislation of approval of these rebuilds are described in the thesis. Next component of the thesis is design of a LPG tank and its holder. In the conclusion of the thesis, the operating parameters are estimated and an economical aspects are summarised.

Keywords:

Scooter, LPG, LPG tank, LPG tank holder, alternative fuel, approval of development.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	11
ÚVOD	15
1 POROVNÁNÍ PLYNNÝCH PALIV	16
2 PALIVOVÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ MOTORU NA LPG	17
2.1 SCHÉMA PALIVOVÉHO PŘÍSLUŠENSTVÍ	17
2.1.1 <i>Směšovač s pevným průřezem</i>	17
2.1.2 <i>Směšovač s elektronicky řízeným dávkováním</i>	18
2.1.3 <i>Elektronicky řízené vefukování plynu do sání motoru</i>	19
2.1.4 <i>Elektronicky řízené vstřikování plynu</i>	19
2.2 PALIVOVÁ NÁDRŽ.....	20
2.3 VÍCEÚČELOVÝ VENTIL.....	20
2.4 PLNÍCÍ JEDNOTKA.....	21
2.5 SERVISNÍ VENTIL S PŘEPADOVÝM VENTILEM	21
2.6 REGULÁTOR TLAKU S ODPAROVAČEM	21
2.7 ODMĚŘOVACÍ REGULÁTOR PLYNU	22
2.8 TVORBA SMĚSI	22
2.8.1 <i>Směšovače</i>	23
2.8.2 <i>Vefukovací ventil</i>	23
3 UKÁZKY PŘESTAVEB	24
3.1 PROFESIONÁLNÍ PŘESTAVBY	24
3.2 AMATÉRSKÉ PŘESTAVBY	25
4 LEGISLATIVA PRO PŘESTAVBU	29
4.1 SCHVALOVÁNÍ PŘESTAVBY MOTOCYKLU	29
4.2 SCHVÁLENÍ NOVÉHO TYPU NÁDRŽE	30
5 NÁVRH NÁDRŽE	31
5.1 VOLBA MATERIÁLU NÁDRŽE	31
5.2 ROZMĚRY NÁDRŽE A UMÍSTĚNÍ	32
5.3 VÝPOČET NÁDRŽE NA LPG DLE EHK Č. 67	33

5.3.1	<i>Výpočet nejmenší tloušťky stěny válcového pláště</i>	33
5.3.2	<i>Podmínky pro torosferické dno nádrže</i>	34
5.3.3	<i>Výpočet nejmenší tloušťky dna nádrže</i>	36
5.4	KONTROLA VYZTUŽENÍ OTVORU DLE ČSN 690010-4.12	37
5.4.1	<i>Dovolené napětí svarového spoje</i>	39
5.5	MKP ANALÝZA NÁDRŽE	39
5.5.1	<i>Výsledky MKP analýzy</i>	41
6	PARAMETRY SKÚTRU URČENÉHO K PŘESTAVBĚ	44
7	NÁVRH UPEVNĚNÍ NÁDRŽE	45
7.1	NÁVRH KONSTRUKCE	45
7.2	POŽADAVKY NA UPEVNĚNÍ NÁDRŽE	46
7.3	MKP ANALÝZA UCHYCENÍ NÁDRŽE	48
7.3.1	<i>Zatížení v podélném směru</i>	50
7.3.2	<i>Zatížení v příčném směru</i>	52
8	NÁVRH PALIVOVÉHO PŘÍSLUŠENSTVÍ	54
8.1	SCHÉMA NAVRŽENÉHO PALIVOVÉHO PŘÍSLUŠENSTVÍ	54
8.2	PLNÍCÍ JEDNOTKA	54
8.3	VÍCEÚČELOVÝ VENTIL	55
8.4	REGULÁTOR TLAKU S ODPAŘOVAČEM	56
8.5	TVORBA SMĚSI	57
8.5.1	<i>Vefukovací ventil</i>	57
8.5.2	<i>Směšovač</i>	58
8.6	ODMĚŘOVACÍ REGULÁTOR PLYNU	62
8.7	VENTIL PRO UZAVŘENÍ PŘÍVODU BENZÍNU	62
8.8	ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA SYSTÉMU	62
9	ZMĚNA PROVOZNÍCH PARAMETRŮ	63
9.1	ZMĚNA STŘEDNÍHO EFEKTIVNÍHO TLAKU	63
9.2	VÝPOČET SPOTŘEBY PALIVA	64
9.3	PŘEHLED ZMĚN PROVOZNÍCH PARAMETRŮ	65
10	EKONOMIE PROVOZU	66
10.1	SROVNÁNÍ NÁVRATNOSTI PRO VÍCE SKÚTRŮ	67
	ZÁVĚR	68
	POUŽITÁ LITERATURA	69

Seznam obrázků

OBR 1: SCHÉMA PŘÍPRAVY SMĚSI POMOCÍ SMĚŠOVAČE S PEVNÝM PRŮŘEZEM	17
OBR 2: SCHÉMA PALIVOVÉHO SYSTÉMU S ELEKTRONICKY ŘÍZENÝM DÁVKOVÁNÍM PALIVA	18
OBR 3: SCHÉMA PALIVOVÉHO SYSTÉMU S ELEKTRONICKY ŘÍZENÝM VEFUKOVÁNÍM PLYNU DO SÁNÍ	19
OBR 4: PALIVOVÁ NÁSRŽ PRO LPG.....	20
OBR 5: VÍCEÚČELOVÝ VENTIL	20
OBR 6: DRUHY KONCOVEK PLNĚNÍ	21
OBR 7: REGULÁTOR TLAKU S ODPAŘOVAČEM	21
OBR 8: SMĚŠOVAČ.....	23
OBR 9: VEFUKOVACÍ VENTIL.....	23
OBR 10: UMÍSTĚNÍ NÁDRŽE BURGMAN 400 MIZU	24
OBR 11: UMÍSTĚNÍ NÁDRŽE V POSTRANNÍM KUFRU	25
OBR 12: UPRAVENÉ SÁNÍ MOTOCYKLU BMW K 1200 RS	25
OBR 13: UMÍSTĚNÍ NÁDRŽE BMW K1200 RS	26
OBR 14: UMÍSTĚNÍ NÁDRŽE YAMAHA XT500 GREENFLY	27
OBR 15: DETAIL PALIVOVÉHO SYSTÉMU	27
OBR 16: POHLED NA CELÝ MOTOCYKL YAMAHA XT500 GREENFLY.....	28
OBR 17: ROZMĚRY HELMY.....	32
OBR 18: ZASÍŤOVANÝ MODEL NÁDRŽE	40
OBR 19: MODEL NÁDRŽE SE ZATÍŽENÍMI A VAZBAMI	40
OBR 20: ZOBRAZENÍ DEFORMACÍ NÁDRŽE.....	41
OBR 21: ZOBRAZENÍ NAMÁHÁNÍ NÁDRŽE	42
OBR 22: DETAIL NAMÁHÁNÍ SVARŮ.....	43
OBR 23: SKÚTR PRO PŘESTAVBU.....	44
OBR 24: POHLED NA ÚLOŽNÝ PROSTOR A RÁM SKÚTRU	45
OBR 25: SCHÉMA DRŽÁKU NÁDRŽE	46
OBR 26: ZASÍŤOVANÝ MODEL NÁDRŽE S DRŽÁKEM	49
OBR 27: ZATÍŽENÍ DRŽÁKU V PODÉLNÉM SMĚRU	50
OBR 28: POSUNUTÍ PŘI ZATÍŽENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU	50
OBR 29: NAPĚTÍ DRŽÁKU PŘI ZATÍŽENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU.....	51
OBR 30: DETAIL NAPĚTÍ DRŽÁKU PŘI ZATÍŽENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU	51
OBR 31: POSUNUTÍ DRŽÁKU PŘI ZATÍŽENÍ V PŘÍČNÉM SMĚRU	52
OBR 32: ZATÍŽENÍ DRŽÁKU V PŘÍČNÉM SMĚRU	52
OBR 33: NAPĚTÍ DRŽÁKU PŘI ZATÍŽENÍ V PŘÍČNÉM SMĚRU	53
OBR 34: NAPĚTÍ DRŽÁKU PŘI ZATÍŽENÍ V PŘÍČNÉM SMĚRU	53
OBR 35: SCHÉMA NAVRŽENÉHO PALIVOVÉHO PŘÍSLUŠENSTVÍ	54
OBR 36: VÍCEÚČELOVÝ VENTIL TOMASETTO.....	55

OBR 37: REGULÁTOR TLAKU S ODPAŘOVAČEM TOMASETTO	56
OBR 38: VEFUKOVACÍ VENTIL TECH-DRAGON	57
OBR 39: NÁČRT SMĚŠOVAČE	58
OBR 40: GRAF PRO PRŮTOKOVÝ SOUČINITEL	60

Seznam tabulek

TAB 1: POROVNÁNÍ PALIV	16
TAB 2: SYSTÉMY TVORBA SMĚSI VZDUCHU A PROPAN-BUTANU	22
TAB 3: VLASTNOSTI MATERIÁLU NÁDRŽE	31
TAB 4: NASTAVENÍ MKP PRO NÁDRŽ	39
TAB 5: VÝSLEDKY MKP ANALÝZY NÁDRŽE	43
TAB 6: PARAMETRY SKÚTRU	44
TAB 7: PŮSOBÍCÍ ZATÍŽENÍ NA DRŽÁK	47
TAB 8: MOŽNOSTI UPEVNĚNÍ NÁDRŽE	47
TAB 9: NASTAVENÍ MKP ANALÝZY DRŽÁKU NÁDRŽE	48
TAB 10: NASTAVENÍ MATERIÁLU V MKP DRŽÁKU	48
TAB 11: VLASTNOSTI VÍCEÚČELOVÉHO VENTILU	55
TAB 12: VLASTNOSTI REGULÁTORU TLAKU S ODPAŘOVAČEM	56
TAB 13: VLASTNOSTI VEFUKOVACÍHO VENTILU	57
TAB 14: POROVNÁNÍ PARAMETRŮ SKÚTRU PŘED A PO ÚPRAVĚ	65
TAB 15: PŘEHLED NÁKLADŮ NA PŘESTAVBU	66
TAB 16: NÁVRATNOST PŘESTAVBY NA LPG PRO KENTOYA ZOOM 50 4T	67
TAB 17: POROVNÁNÍ NÁVRATNOSTI PRO VÍCE SKÚTRŮ	67

Seznam zkratek

\dot{m}_p	hmotnostní tok paliva [$kg \cdot s^{-1}$]
$\frac{m_{pal-LPG}}{m_{pal-Benzin}}$	hmotnostní poměr spotřeb paliva [-]
\dot{m}_v	hmotnostní tok nasávaného vzduchu [$kg \cdot s^{-1}$]
\dot{v}_v	objemový průtok nasávaného vzduchu [$m^3 \cdot s^{-1}$]
$\varnothing d_D$	průměr difuzoru [m]
$\varnothing d_T$	průměr trysky směšovače [mm]
Δp_D	rozdíl tlaků v sání a difuzoru [Pa]
D_R	vnitřní průměr válcové stěny nádrže [mm]
D_{dno}	jmenovitý vnější průměr nádrže [mm]
D_{obal}	jmenovitý vnější průměr nádrže [mm]
E_{LPG}	energie pro provoz na LPG [J]
$E_{benzín}$	energie pro provoz na benzín [J]
H_u	výhřevnost paliva [$MJ \cdot kg^{-1}$]
$H_{u-Benzin}$	výhřevnost benzínu [$MJ \cdot kg^{-1}$]
H_{u-LPG}	výhřevnost LPG [$MJ \cdot kg^{-1}$]
H_{u-LPG}	výhřevnost LPG [$MJ \cdot kg^{-1}$]
L_{vt}	stechiometrické (teoretické) množství vzduchu [-]
$L_{vt-Benzin}$	stechiometrické množství vzduchu pro benzín [-]
L_{vt-LPG}	stechiometrické množství vzduchu pro LPG [-]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu při deformaci 0,2% [MPa]
$R_{p1,0}$	smluvní mez kluzu při deformaci 1% [MPa]
$T_{SZ-Benzin}$	teplota náplně válce na konci sání pro benzín [K]
T_{SZ-LPG}	teplota náplně válce na konci sání pro LPG [K]
V_z	zdvihový objem [m^3]
d_o	výpočtový průměr osamocené otvory [mm]
d_R	průměr otvoru pro hrdlo s kruhovým průřezem [mm]
m_{pal}	spotřeba paliva [kg]
n_T	součinitel bezpečnosti pro provoz tlakových nádob [-]
p_h	konstrukční provozní tlak [kPa]

Motocykl s plynovým motorem – Katedra vozidel a motorů TUL

$p_{e-Benzin}$	střední efektivní tlak pro benzín [MPa]
p_{e-LPG}	střední efektivní tlak pro plyn [MPa]
r_{Benzin}	plynová konstanta Benzínu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
r_{LPG}	plynová konstanta LPG [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
r_v	plynová konstanta vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
s_R	výpočtová tloušťka stěny válce [mm]
v_D	teoretická rychlost v difuzoru [$m \cdot s^{-1}$]
v_D	teoretická rychlost v difuzoru [$m \cdot s^{-1}$]
v_T	teoretická rychlost v trysce [$m \cdot s^{-1}$]
v_T	teoretická rychlost v trysce [$m \cdot s^{-1}$]
η_C	účinnost motoru [-]
η_D	dopravní účinnost [-]
μ_D	průtokový součinitel difuzoru [-]
μ_T	průtokový součinitel trysky [-]
ρ_{Benzin}	hustota benzínu [$kg \cdot m^3$]
ρ_{LPG}	hustota LPG v nádrži [$kg \cdot m^3$]
ρ_p	hustota paliva [$kg \cdot m^{-3}$]
ρ_v	hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]
ρ_v	hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]
ρ_{vz}	hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]
σ_{Dav}	dovolené napětí svarů [MPa]
$[\sigma]$	dovolené namáhání tlakových nádob [MPa]
CNG	stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)
EHK	Evropská hospodářská komise
h	výška válcové části zaobleného dna [mm]
LPG	zkapalněné ropné plyny (Liquefied Petroleum Gas)
OHC	Over Head Camshaft
C	tvárový součinitel [-]
H	Vnější výška zaoblené části dna [mm]
a	Nejmenší tloušťka stěny válcového pláště [mm]

Motocykl s plynovým motorem – Katedra vozidel a motorů TUL

b	nejmenší tloušťka dna nádrže [mm]
c	přídavek na korozi a technologické nepřesnosti [mm]
d	vnitřní průměr příruby [mm]
n	otáčky motoru [min^{-1}]
p	konstrukční provozní tlak [MPa]
r	vnitřní poloměr zaoblení v přechodové oblasti konvexního dna [mm]
s	tloušťka stěny [mm]
t	nejmenší tloušťka dna [mm]
z	součinitel pro nádrže s podélnými svary na obvodu, a namátkové rentgenové zkoušky [-]
α	součinitel pro tupé svary na podložce, kde podložka přiléhá po celé délce svaru k základnímu materiálu a je spolehlivě přivařená ke kořeni. [-]
λ	součinitel přebytku vzduchu [-]
τ	konstanta počtu dob motoru pro čtyřdobý = 2 [-]
τ_D	opravný součinitel k dovolenému namáhání [-]

Úvod

K tématu diplomové práce mě přivedla má vlastní zkušenost. Většinu roku, zhruba 8 měsíců, se dopravuji převážně na skútru, hlavně při uskutečňování menších nákupů a vyřizování na úřadech. V tomto druhu dopravy vidím spoustu výhod, ale i pár nevýhod. Jedna z výhod je lepší možnost parkování. Skútr má menší rozměry, tudíž zabere menší parkovací prostor a na některých místech placeného parkování jsou motocykly od poplatku osvobozeny. Díky menším rozměrům je lehčí projíždění v úzkých ulicích nebo objíždění překážek, kde by automobil musel čekat. Také je výhodou ve zkrácení času v kolonách, pokud je mezi auty dostatečné místo. Pokud nikoho neohrozím, mohu kolonu tímto prostorem předjíždět. Ale největší výhodou z globálního hlediska je ta skutečnost, že na stejný parkovací prostor se vejde více motocyklů než automobilů. To je spojeno i s tím, že dle mého pozorování zhruba 60 % - 80 % automobilů je osazeno pouze řidičem. Pokud by řidič místo automobilu využil skútr, produkoval by méně emisí a zabral menší parkovací místo. Pro přechod na skútry napomáhá i možnost řízení skútru do 125 cm³ řidičským oprávněním kategorie B. Diplomovou práci bych chtěl pomoci ke snížení provozních nákladů skútru a tím i pomoci přesvědčit více řidičů k využívání této dopravy.

V diplomové práci bych se rád pokusil navrhnout nádrž na LPG, která by splňovala určité předpoklady. Měla by vyhovovat legislativě schvalování nádrže a přestavby skútru a měla by být použitelná ve vícero skútrech mimo vybraného skútru v diplomové práci. Palivové příslušenství a nádrž bude primárně navržena na skútr Kentoya Zoom 50 4t, který vlastním a mám k němu nejlepší přístup.

1 Porovnání plyných paliv

Pro přestavbu připadala v úvahu dvě plyná paliva označována CNG a LPG. První případ CNG označuje stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas), druhá zkratka označuje zkapalněný zemní plyn (Liquefied Petroleum Gas). Při výběru vhodného paliva jsem musel zohlednit více parametrů, které jsou uvedeny tabulce.

Tab 1: Porovnání paliv

	LPG	CNG
Počet čerpacích stanic v ČR	899	111
Pořizovací cena (pro 4 válcový automobil)	20.000 až 30.000 Kč	Od 40.000 Kč
Max. přetlak paliva v nádrži [MPa]	2,7	20
Výhřevnost [MJ · kg ⁻¹]	46,1	47,7
Hustota [kg · m ³]	540 (při 20 °C, 1,5 MPa)	131 (při 20°C, 20 MPa)
Oktanové číslo VM [-]	100 až 112	125
Mez zápalnosti [λ]	0,4 až 1,7	0,7 až 2,1

Prvním parametrem při rozhodování bylo zjištění hustoty čerpacích stanic na jednotlivá paliva v ČR. Čerpacích stanic na LPG je zhruba devětkrát více, ale počet stanic pro CNG roste velice rychle. Dalším parametrem byla cena přestavby. Protože se motocykly nepřestavují na plyná paliva, byla porovnána cena přestavby u čtyř válcového motoru pro pohon osobního automobilu. Maximální přetlak paliva v nádrži poukazuje na rozdíl při dimenzování palivové nádrže. A poslední rozhodující parametr je hustota paliva v nádrži. Protože na motocyklu je velice omezena velikost nádrže, je značně omezen objem paliva a tím i dojezd motocyklu na plyné palivo. Vzhledem k uvedeným stěžejním parametrům je lepší volbou pro přestavbu motocyklu pohon pomocí LPG. Oktanové číslo u LPG se mění podle toho, zdali se jedná o letní nebo zimní směs a podle místa původu.

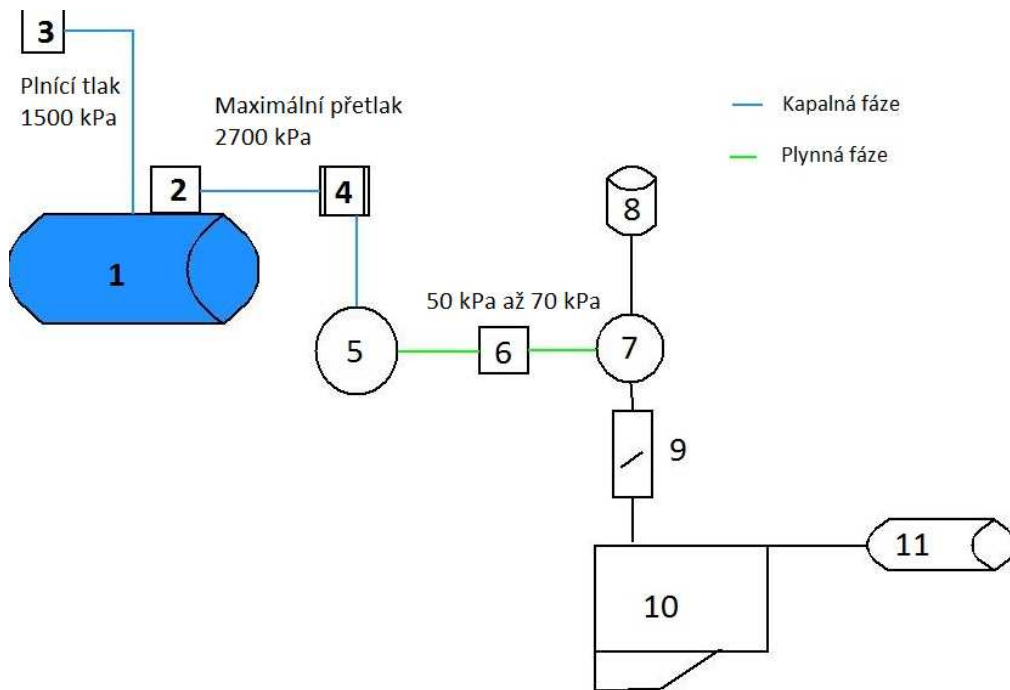
2 Palivové příslušenství motoru na LPG

Při přestavbě motoru na LPG je potřeba instalace dodatečných částí pro tvorbu směsi a uchování paliva. V této kapitole je stručný popis jednotlivých součástí palivového systému a jednotlivých systémů.

2.1 Schéma palivového příslušenství

V této kapitole jsou nakreslena schémata okruhů pístového spalovacího motoru spalujícího LPG s popisky jednotlivých dílů. Tlak uvedený ve schématech je přetlak vůči tlaku atmosférickému.

2.1.1 Směšovač s pevným průřezem

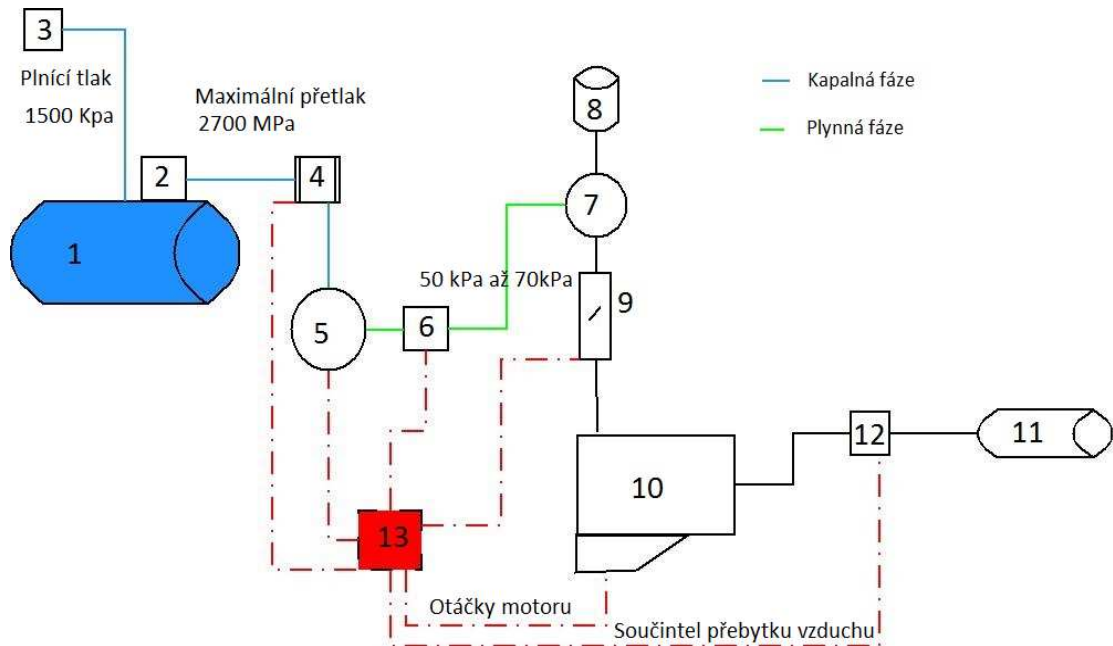


Obr 1: Schéma přípravy směsi pomocí směšovače s pevným průřezem

1. Palivová nádrž na LPG 2. Víceúčelový ventil 3. Plnicí jednotka 4. Servisní a přepadový ventil 5. Regulátor tlaku s odpařovačem 6. Regulační ventil (pevný průřez) 7. Směšovač 8. Vzduchový filtr 9. Škrticí klapka 10. Spalovací motor 11. Výfuk

U tohoto systému je řízen pouze servisní ventil, který je uzavřen, pokud je spalovací motor vypnutý. Regulátor tlaku s odpařovačem je zpravidla řízen podtlakem ze sání motoru. Maximální průtok plynu ke směšovači řídí regulační ventil, který má pevně nastaven průřez pomocí šroubu.

2.1.2 Směšovač s elektronicky řízeným dávkováním

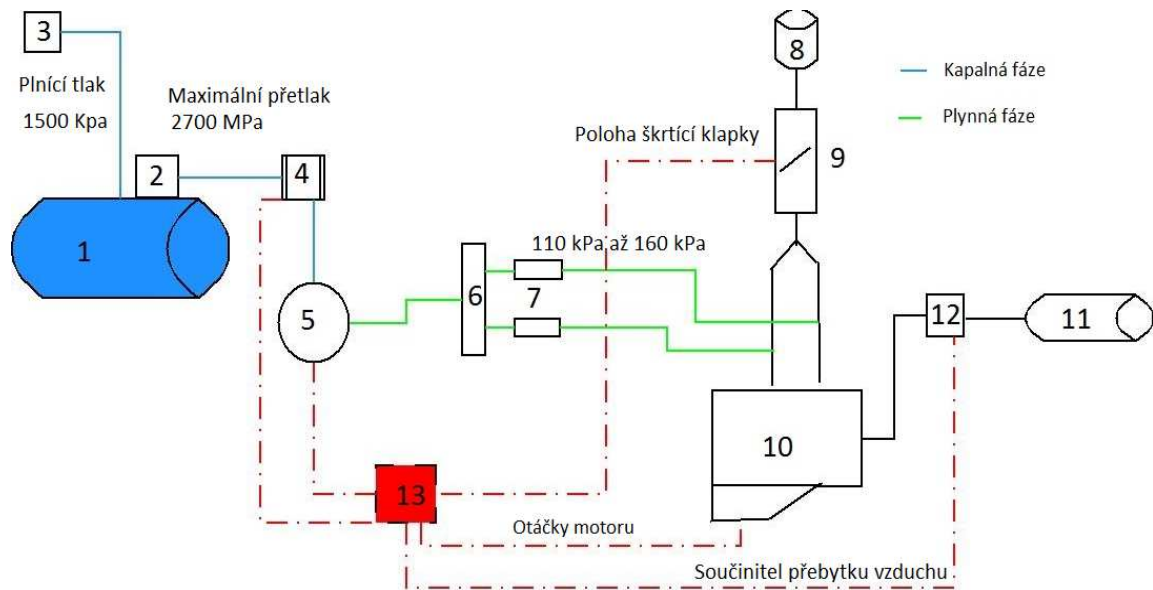


Obr 2: Schéma palivového systému s elektronicky řízeným dávkováním paliva

1. Palivová nádrž na LPG 2. Víceúčelový ventil 3. Plnicí jednotka 4. Servisní a přepradový ventil 5. Regulátor tlaku s odpařovačem 6. Regulační ventil (elektronicky řízený) 7. Směšovač 8. Vzduchový filtr 9. Škrťící klapka 10. Spalovací motor 11. Výfuk 12. Lambda sonda 13. Řídící jednotka motoru

Tento systém je obdobou předchozího systému, ale už využívá elektronického řízení přípravy směsi. Namísto regulačního ventilu s pevně nastaveným průřezem je použit elektronicky řízený. Průtok regulačním ventilem je měněn v závislosti na otáčkách motoru, poloze škrťící klapky a součiniteli přebytku vzduchu.

2.1.3 Elektronicky řízené vefukování plynu do sání motoru



Obr 3: Schéma palivového systému s elektronicky řízeným vefukováním plynu do sání

1. Palivová nádrž na LPG 2. Víceúčelový ventil 3. Plnicí jednotka 4. Servisní a přepadový ventil 5. Regulátor tlaku s odpařovačem 6. Zásobovací lišta (Rail) 7. Vefukovací ventil 8. Vzduchový filtr 9. Škrťací klapka 10. Spalovací motor 11. Výfuk 12. Lambda sonda 13. Řídící jednotka motoru

U tohoto systému odpadá regulační odměřovací ventil, místo něj nám množství vefouknutého vzduchu řídí vefukovací ventily. Ventily jsou řízeny řídicí jednotkou motoru v závislosti na otáčkách motoru, poloze škrťací klapky a součiniteli přebytku vzduchu. U víceválcových technik jsou ventily přímo namontovány na zásobovací liště (tzv. Rail), a ten slouží jako zásobník zplyněného propan-butanu.

2.1.4 Elektronicky řízené vstřikování plynu

Jde o velice málo rozšířené uspořádání, nejvíce se tímto systémem zabývá firma Vialle. Jsou možné dvě modifikace. S přímým vstřikováním do válců, zde je použito vstřikovačů pro benzín k vstřikování plynu. S vstřikováním do sání motoru pomocí vstřikovače přímo pro LPG. Tento systém je zhruba dvakrát dražší a relativně poruchový. Také musí být umístěno čerpadlo v nádrži LPG, které snižuje objem nádrže. Tento systém není vhodný, ale je jedním z možných řešení.

2.2 Palivová nádrž

Jedná se o tlakovou nádobu zpravidla válcového tvaru z oceli nebo antikoroziční oceli. Nádrž je zkoušena na přetlak 3 MPa, poté dochází k otevření přetlakového ventilu. Nádrž je připevněna k rámu vozidla, tak aby splňovala určitá kritéria.



Obr 4: Palivová nádrž pro LPG [23]

2.3 Víceúčelový ventil

Víceúčelový ventil (Multiventil) je umístěn přímo na nádrži. Už z názvu vyplývá, že



Obr 5: Víceúčelový ventil [14]

plní více funkcí. První funkce spočívá v plnění nádrže, neumožňuje naplnění nádrže na více jak 80% maximální kapacity. Dále ukazuje aktuální stav paliva v nádrži tzv. stavoznak, to je realizováno pomocí tlakoměru. Další dvě funkce

zajišťují bezpečnost při poruše. První je uzavření při větším průtoku plynu z nádrže než $6 \text{ dm} \cdot \text{min}^{-1}$. Druhá je vypuštění paliva pod vozidlo při vysokém tlaku nebo teplotě. Otevírací teplota je $120 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlak 2,7 MPa, ale zároveň nesmí docházet k úniku pod 2,6 MPa.

2.4 Plnicí jednotka



Jedná se o zařízení sloužící k plnění plynové nádrže na čerpacích stanicích. Může být umístěna přímo na nádrži jako součást víceúčelového ventilu, ale u automobilů je častější vývod na vnější část vozidla. Pro připojení čerpacího zařízení se používají čtyři druhy koncovek (Obr. 6.). Italský typ, belgický typ, holandský typ a ruský typ. V Evropě je nejrozšířenější italský typ. Pro případ použití rozdílného typu jsou k dispozici redukce mezi jednotlivými typy. Koncovka musí být opatřena plastovou krytkou proti znečištění.

Obr 6: Druhy koncovek plnění [32]

2.5 Servisní ventil s přepadovým ventilem

Jedná se o elektromagnetický ventil, který je dálkově ovládán pomocí řídicí jednotky. Musí zajistit uzavření při vypnutí zapalování vozidla a otevření při zapnutí zapalování. Je umístěn mezi nádrží a reduktorem, v části s kapalnou fází LPG. Součástí ventilu je i filtr, který zachycuje pevné nečistoty.

2.6 Regulátor tlaku s odpařovačem

Jde o zařízení, ve kterém dochází ke změně kapalnou fázi na plynnou fázi LPG, také k redukci tlaku plynu. Při změně fáze dochází k velikému snížení teploty a docházelo by



Obr 7: Regulátor tlaku s odpařovačem [23]

k zamrznutí regulátoru tlaku s odpařovačem, z tohoto důvodu musí být zajištěn přívod chladicí kapaliny z okruhu chlazení motoru. Regulátor tlaku s odpařovačem musí být opatřen uzavíracím ventilem, který se uzavře při zastavení motoru. Podle způsobu ovládání uzavíracího ventilu se regulátory tlaku dělí na elektronické a vakuové. Elektronický je ří-

zen řídicí jednotkou a vakuový (podtlakový) je řízen podtlakem ze sání motoru. Součástí regulátoru tlaku je možnost nastavení pevného průřezu omezující maximální průtok plynu. Další funkcí může být zprostředkování sytiče. Regulátor tlaku s odpařovačem má dostatečný vnitřní objem pro zplyněný propan-butan, aby mohl zastávat funkci zásobníku plynu.

2.7 Odměřovací regulátor plynu

Může být mechanický nebo elektronický. Mechanický je pevně nastaven pomocí šroubu. Elektronicky řízené je válcové šoupátko s krokovým motorem, které proměnlivě řídí průtok plynu v závislosti na hodnotě přebytku vzduchu.

2.8 Tvorba směsi

Pro tvorbu směsi nasávaného vzduchu a plynného paliva slouží zařízení, které je umístěné v sání motoru nebo v hlavě motoru. Tímto zařízením může být směšovač nebo vefukovací ventil. Pro různé druhy benzínových palivových systémů se používají odlišná řešení pro LPG, alternativy jsou popsány v tabulce.

Tab 2: Systémy Tvorba směsi vzduchu a propan-butanu

Benzín	LPG
Karburátor	Směšovač s pevným průřezem difuzoru
Elektronicky řízený karburátor	Směšovač s elektronicky řízeným dávkováním
Elektronicky řízené vstříkování do sání motoru	Elektronicky řízené vefukování plynu do sání motoru
Elektronicky řízené vstříkování do válce motoru	Elektronicky řízené vefukování plynu do válců motoru

2.8.1 Směšovače



Obr 8: Směšovač [19]

Jde o alternativu ke karburátorům. V difuzoru směšovače vzniká podtlak, díky kterému dochází k nasávání plynu přivedeného do směšovače. Pro nasávání plynu mohou sloužit otvory umístěné po obvodu směšovače nebo trubice s otvorem ve středu směšovače.

2.8.2 Vefukovací ventil



Obr 9: Vefukovací ventil [19]

Alternativou k vstřikování benzínu je vefukování plynu, velmi často chybně označováno jako vstřikování LPG. Zde je vefouknutá dávka paliva do sání řízena elektronicky přímo ventilem, vefukovací přetlak je 110 kPa až 160 kPa. Množství paliva určuje doba otevření ventilu. Tento systém má oproti směšovači řadu výhod. První je unifikace vstřikovače, jeden typ vstřikovače stačí na většinu motorů. Další výhodou je dávkování plynu jen při sání válce. U směšovače docházelo k úniku plynu do sání po celou dobu a docházelo k shoření směsi v sacím potrubí.

3 Ukázky přestaveb

V této kapitole jsou představeny vybrané přestavby motocyklů na LPG. Nejdříve přestavby, které jsou prováděné profesionálně a pak domácí přestavby.

3.1 Profesionální přestavby

V Německu se přestavbou na LPG zabývala firma Mizu . Pro svou přestavbu si vybrala skútr Suzuki Burgman 400, který je poháněn čtyřdobým jednoválcem o zdvihovém objemu 398 cm³. Maximální výkon motoru dosahuje 25 kW a je chlazen vodou, ventilový rozvod je OHC s čtyřmi ventily na válec. Příprava směsi je realizována vstřikováním



Obr 10: Umístění nádrže Burgman 400 Mizu [10]

paliva do sání. Přestavba byla provedena takto. Nádrž na LPG byla umístěna do zavazadlového prostoru pod sedadlem (Obr. 10.), nádrž měla objem 20 dm³. Na obrázku je vidět umístění víceúčelového ventilu přímo na nádrži. Tvorba směsi je realizována pomocí vstřikování kapalných LPG do sání přímo za vstřikovačem benzínu. Přípojka pro plnění je umístěna vně na boku kapotáže skútru. Cena této přestavby stála v zhruba 1.900 euro a návratnost podle výrobce by měla být 10 000 až 15 000 km.

Další přestavba je z Indie, zde je asi největší množství přestaveb motocyklů na LPG. Firma, která provádí přestavby, se jmenuje GasTech Electronic Products. Kromě přestaveb motocyklů se zabývají i přestavbami motorových člunů a mobilních generátorů střídavého proudu. U skútrů umísťují nádrže na LPG buďto pod sedadlo nebo v přední části pod kapotáž. U motocyklů je nádrž umístěna v postranních kufrech (Obr. 11.) nebo



Obr 11: Umístění nádrže v postranním kufří [17]

v horním kufří. Přestavbu provádí na čtyřdobých motocyklech o zdvihovém objemu 50 cm³ až 375 cm³. Na nádrži je umístěn redukční ventil, který reguluje tlak plynu odváděného z nádrže dál do systému. Dále je vedle nádrže umístěn další regulační ventil, který reguluje přetlak plynu na hodnotu 3,5 kPa. Jedná se tedy o dvoustupňovou regulaci. Tato úprava je nutná při přestavbě motoru chlazeného vzduchem. Zde není možnost ohřevu redukčního ventilu s odpařovačem pomocí chladicí kapaliny motoru. K tvorbě směsi se používá karburátor s implantovaným směšovačem.

3.2 Amatérské přestavby



Obr 12: Upravené sání Motocyklu BMW k 1200 RS [1]

První amatérský projekt přestavby motocyklu na LPG zkouší Holanďan, který má přezdívku na svém blogu Amine. Pro přestavbu použil motocykl BMW K1200RS. Motocykl je poháněn čtyřválcovým pístovým spalovacím motorem o zdvihovém objemu 1 171 cm³ chlazeném kapalinou.

Motor má válce v horizontální poloze s podélně uloženou klikovou hřídelí. Příprava směsi je realizována pomocí vícebodového vstřikování benzínu do sání motoru. Výkon



Obr 13: Umístění nádrže BMW k1200 RS[1]

motoru dosahuje 96 kW při 8 750 min⁻¹ a točivého momentu 117 Nm při 6 750 min⁻¹. Ventilový rozvod je DOHC se čtyřmi ventily na válec, kompresní poměr je 11,5:1. Nádrž pro LPG je umístěna na zadní části motocyklu místo sedačky spolujezdce. Majitel nejdříve přestavěl motocykl čistě na pohon pomocí LPG, aby ověřil funkčnost. Pro tvorbu směsi použil centrální směšovač značky Pierburg s pevným průřezem, který už má vlastní škrticí klapku. Po prvních zkouškách se rozhodl pro vytvoření vlastního elektronického řízení motoru, pro lepší přechod z benzínu na LPG. Nejdříve potřeboval otestovat nové kolo pro snímání polohy klikového hřídele. Při tomto testu použil jako palivo na nastartování motoru místo benzínu čistič brzd ve spreji, protože nebyly zapojeny vstřikovače benzínu. Dalším krokem byla výměna původní lambda sondy za jinou, aby mohli lépe řídit směs. Jako poslední nový senzor byl umístěn snímač polohy vačkového hřídele do víka hlavy motoru. Autor končí příspěvkem o instalaci celého palivového systému LPG na motocykl a také o začátku testování palivových map pro alternativní řízení motoru.

Druhá přestavba pochází z Anglie. Konstruktorem motocyklu je Dave Akhurst, který chtěl postavit ekologičtější motocykl, proto motocykl nazval Greenfly. Pro přestavbu si vybral cestovní enduro Yamaha XT500 ze 70. Let. Nepředělával jen palivový systém, ale celý motocykl, proto je nyní motocykl spíše silniční. Motor je jednoválec, vzduchem chlazený s ventilovým rozvodem OHC a dvěma ventily na válec. Zdvihový objem je



Obr 14: Umístění nádrže Yamaha XT500 greenfly [5]

499 cm³ a kompresní poměr 9:1. Nádrž na LPG je umístěna uprostřed motocyklu a tvoří součást rámu, s kterým je pevně svařena, objem nádrže je 9,1 dm³. Místo původního karburátoru použil směšovač LPG. Regulátor tlaku s odpařovačem je umístěn nad moto-



Obr 15: Detail palivového systému [24]

rem místo původní benzínové nádrže a je zde umístěna i řídicí jednotka systému. Motocykl by měl mít spotřebu přibližně 4,1 dm³ na 100 km a výkon 22 kW. Kromě přestavby na LPG byl předělán takřka celý motocykl. Místo ké manuální pěti stupňové převodovky s ozubenými koly je nově použit řemenový átor. Aby mohl být použit variátor, musel konstruktér vyrobit novou klikovou skříň. U nové skříně už nezbyl prostor na olejovou vanu, proto vrchní část rámu slouží jako zásobník oleje. Na motocyklu je také předěláno zavěšení kol.

Motocykl s plynovým motorem – Katedra vozidel a motorů TUL

Přední i zadní kolo je letmo uložené pro snadnější demontáž při defektu. To umožňuje i centrální stojan, který je nově umístěn v ose těžiště motocyklu. Motocykl má nově rám ze slitiny hliníku, čímž se dosáhlo i značného snížení hmotnosti ze 155 kg na 110 kg.



Obr 16: Pohled na celý motocykl Yamaha XT500 Greenfly [5]

4 Legislativa pro přestavbu

Pro zjištění omezení přestavby slouží především předpis EHK č. 67 a vyhláška č.56/2001 o podmínkách provozu vozidla. Legislativa se nezabývá přestavbami vozidel kategorie L, ale na doporučení homologační zkušebny DEKRA CZ a.s. by se mělo vycházet z předpisů schvalujících přestavbu vozidla jiné kategorie. Předpisy pro schválení přestavby jsou rozděleny na dvě kapitoly. Nejdříve na předpisy pro schválení motocyklu jako celku a poté na schválení nově navržené nádrže, jejíž konstrukční návrh je součástí diplomové práce.

4.1 Schvalování přestavby motocyklu

Vozidla se zkouší na zkušebnách pověřených ministerstvem dopravy ČR. Na zkušebně se vozidlo podrobuje zkouškám:

- Nejdříve se provádí kontrola hmotnosti vozidla. Vážením nebo výpočtem se stanovuje provozní hmotnost vozidla a kontroluje se nepřekročení maximální povolené hmotnosti vozidla a maximální hmotnosti připadající na nápravu vozidla.
- Dále se kontroluje umístění a upevnění nádrže. Pokud se jedná o válcovou nádrž, která je umístěna podélně, musí být před nádrží adekvátní záračka. Dále musí být válcová nádrž umístěna mimo tzv. obvyklou deformační zónu vozidla při nárazech zezadu a zepředu vozidla. To znamená, že nádrž nesmí být umístěna před předními koly a za zadními koly. Za zadními koly může být umístěna, když jsou kola vzdálená od nárazníku více než 300 mm, ale nádrž nesmí být umístěna k zadnímu nárazníku blíže než 300 mm. Pro nádrže jiných tvarů než válcových je povoleno částečné zasahování do deformační zóny. Kontrola upevnění je popsána v kapitole „7. Návrh upevnění nádrže“.
- Jako poslední test se provádí test funkčnosti. U vozidla s elektronicky řízeným palivovým systémem se kontroluje paměť závad diagnostického systému, při chodu na obě paliva. Pokud není systém řízen elektronicky (karburátor) provádí se pouze druhá část testu. Druhou částí testu funkčnosti je měření emisí při pohonu na LPG, zkouška probíhá na místě podle předpisů EHK pro daný typ vozidla. Pokud by byl schvalovaný systém zcela nový a nebyl by zatím použit v jiném vozidle, muselo by se vozidlo podrobit jízdnímu testu. Jde o zkušební provoz na obě paliva s maximálním nájezdem 2 000 km.

4.2 Schválení nového typu nádrže

Tímto schvalováním se zabývá přímo předpis EHK č. 67. V tomto předpisu je uveden i postup výpočtu některých rozměrů při navrhování nové nádrže. Nádrž samotná, materiál, ze kterého je vyrobena a technologický postup výroby musí splňovat určité požadavky. To se ověřuje na zkušebně za pomoci předepsaných zkoušek, odlišných pro kovové a kompozitní nádrže. Pro kovové nádrže jsou předepsány tyto zkoušky:

- Zkouška tahem
- Zkouška ohybem
- Zkouška na roztržení
- Hydraulická zkouška
- Zkouška ohněm
- Kontrola prozářením
- Makrostrukturní zkouška
- Kontrola svarů
- Vizuální kontrola částí nádrže
- Kontrola hrdla ve zkrutu

Při schvalování typu nádrže musí být poskytnuto zkušebně šest kusů nádrží a z každé vyrobené šarže musí být zkontrolován jeden kus.

5 Návrh nádrže

Součástí diplomové práce je návrh nové nádrže na LPG, která by mohla být použita pro více druhů skútrů. Ve výpočtech nejsou sjednocené některé jednotky např. tlak je použit pro výpočet v MPa a kPa, je to z důvodu použití výpočtových vztahů dle normy ČSN 690010 a předpisu EHK č. 67, kde je tato rozdílnost použita.

5.1 Volba materiálu nádrže

Materiál nádrže jsem vybíral na základě zkoušek předepsaných pro schválení nádrže. Materiál by měl být dobře svařitelný, žárupevný do teploty 650 °C s dobrou pevností. Dalším požadavkem byla odolnost vůči korozi, aby nemusela být nádrž opatřena ochrannými nátěry a měla delší životnost. Jako materiál nádrže jsem volil ocel ČSN 17 349.

Tab 3: Vlastnosti materiálu nádrže

Materiál	Ocel ČSN 17 349 (DIN 1.4404)
R _m	570 MPa
R _{p0,2}	220 MPa
R _{p1,0}	320 MPa
Svařitelnost	Zaručená

Dovolené namáhání při výpočtu tlakových nádob se stanoví podle ČSN 690010-4.2:

$$[\sigma] = \tau_D \cdot \frac{R_{p1,0}}{n_T} \quad (1)$$

Kde

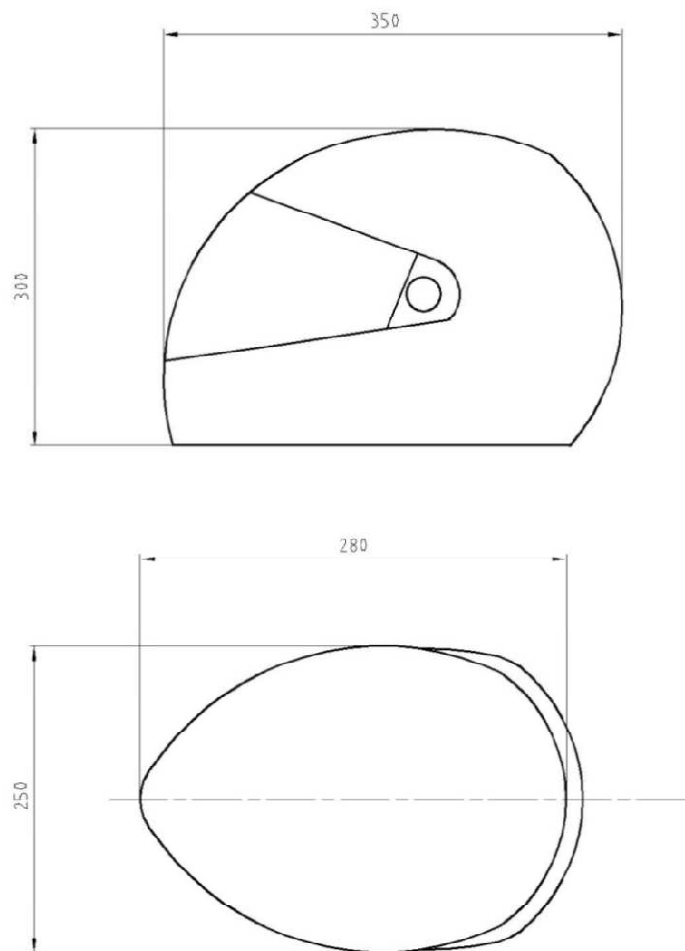
$[\sigma]$	dovolené namáhání tlakových nádob [MPa]
$n_T = 1,5$	součinitel bezpečnosti pro provoz tlakových nádob [–]
$\tau_D = 1$	opravný součinitel k dovolenému namáhání [–]
$R_{p1,0} = 320 \text{ MPa}$	Smluvní mez kluzu při deformaci 1% [MPa]

Pak

$$[\sigma] = 1 \cdot \frac{320}{1,5} = 213,3 \text{ MPa}$$

5.2 Rozměry nádrže a umístění

Aby mohla být nádrž relativně univerzální, musí být umístěna na místě, které se opakuje na mnoha skútrech. Z toho důvodu je nádrž umístěna v úložném prostoru pod sedadlem, kde je u většiny skútrů místo pro helmu. Díky tomuto umístění je také splněn požadavek na umístění nádrže mimo obvyklou deformační zónu vozidla.



Obr 17: rozměry helmy

Pro návrh vnějších rozměrů budu vycházet z rozměrů motocyklové helmy. Helma v úložném prostoru je často umístěna dnem vzhůru a pootočená. S přihlédnutím k přichycení nádrže k rámu, které zabere také určité místo, jsem nádrž zmenšil. A proto je tvar omezující rozměry nádrže válec o výšce 250 mm a průměru 235 mm.

5.3 Výpočet nádrže na LPG dle EHK č. 67

- Volím dno nádrže DIN 28001 210x5. [11]

$$D_{dno} = 210 \text{ mm}$$

- Jako plášť volím plech tloušťky 5mm, který bude stočen na průměr odpovídající vybranému dnu.

$$D_{obal} = 210 \text{ mm}$$

5.3.1 Výpočet nejmenší tloušťky stěny válcového pláště

$$a = \frac{p_h \cdot D_{obal}}{1500 \cdot R_{p0,2} \cdot z + p_h} \quad (2)$$

kde

a	nejmenší tloušťka stěny válcového pláště [mm]
$z = 1$	součinitel pro nádrže s podélnými svary na obvodu, a namátkové rentgenové zkoušky (EHK č. 67) [–]
$p_h = 3000 \text{ kPa}$	konstrukční provozní tlak [kPa]
$D_{obal} = 210 \text{ mm}$	jmenovitý vnější průměr nádrže [mm]
$R_{p0,2} = 220 \text{ MPa}$	smluvní mez kluzu při deformaci 0,2% [MPa]

pak

$$\alpha = \frac{3000 \cdot 210}{1500 \cdot 220 \cdot 1 + 3000} = 1,89 \text{ mm}$$

5.3.2 Podmínky pro torosferické dno nádrže

Nejmenší tloušťka dna nádrže:

$$0,003 \cdot D_{dno} \leq b \leq 0,08 \cdot D_{dno} \quad (3)$$

kde

$D_{dno} = 210 \text{ mm}$ jmenovitý vnější průměr nádrže [mm]

b nejmenší tloušťka dna nádrže [mm]

pak

$$0,003 \cdot 210 \leq b \leq 0,08 \cdot 210$$

$$0,63 \leq b \leq 16,8$$

Tloušťka dna je 5 mm, tedy vyhovuje.

- Vnitřní poloměr zaoblení v přechodové oblasti konvexního dna standardní válcové nádrže:

$$r \geq 2 \cdot b \quad (4)$$

kde

r vnitřní poloměr zaoblení v přechodové oblasti konvexního dna [mm]

$b = 5$ nejmenší tloušťka dna nádrže [mm]

pak

$$r \geq 2 \cdot 5 = 10$$

a zároveň musí splňovat

$$r \geq 0,1 \cdot D_{dno} \quad (5)$$

kde

$D_{dno} = 210 \text{ mm}$ jmenovitý vnější průměr nádrže [mm]

pak

$$r = 0,1 \cdot 210 = 21 \text{ mm}$$

Poloměr vybraného dna je 21 mm, tedy vyhovuje.

- Vnitřní poloměr zaoblení konvexního dna standardní válcové nádrže:

$$R \leq D_{dno} \quad (6)$$

Poloměr vybraného dna je 210 mm, tedy vyhovuje.

- Vnější výška zaoblené části dna nádrže:

$$H \geq 0,18 \cdot D_{dno} \quad (7)$$

kde

H vnější výška zaoblené části dna [mm]

$D_{dno} = 210 \text{ mm}$ jmenovitý vnější průměr nádrže [mm]

pak

$$H \geq 0,18 \cdot 210 = 37,8 \text{ mm}$$

Výška H zvoleného dna je 64 mm, tedy vyhovuje.

- Výška válcové části zaobleného dna nádrže:

$$4 \cdot b \leq h \leq 0,15 \cdot D_{dno} \quad (8)$$

kde

h výška válcové části zaobleného dna [mm]

$b = 5$ nejmenší tloušťka dna nádrže [mm]

pak

$$4 \cdot 5 \leq h \leq 0,15 \cdot 210$$

$$20 \leq h \leq 31,5$$

Výška h zvoleného dna je 21 mm, tedy vyhovuje.

5.3.3 Výpočet nejmenší tloušťky dna nádrže

$$t = \frac{p_h \cdot D_{dno}}{1500 \cdot R_{e0,2}} \cdot C \quad (9)$$

kde

t nejmenší tloušťka dna [mm]

$p_h = 3,000 \text{ kPa}$ konstrukční provozní tlak [kPa]

$R_{p0,2} = 220 \text{ MPa}$ smluvní mez kluzu při deformaci 0,2% [MPa]

$C = 0,809$ tvarový součinitel [–]

pak

$$t = \frac{3000 \cdot 210}{1500 \cdot 220} \cdot 0,809 = 1,54 \text{ mm}$$

C je součinitel odečítaný z grafu předpisu EHK č. 67, příloha 10, dodatek 4.

- Pomocné poměry pro odečtení hodnoty C :

$$\frac{H}{D_{dno}} \quad (10)$$

kde

$D_{dno} = 210 \text{ mm}$ jmenovitý vnější průměr nádrže [mm]

H vnější výška zaoblené části dna [mm]

pak

$$\frac{H}{D_{dno}} = \frac{61}{210} = 0,29 \Rightarrow C = 0,809$$

Zároveň musí platit, že tloušťka dna i pláště se nesmí lišit o více než 15% a nesmí být nižší než:

$$t > \frac{D_{dno}}{250} + 1 \quad (11)$$

pak

$$t > \frac{210}{250} + 1 = 1,84 \text{ mm}$$

Tloušťka dna i pláště je 5 mm, tedy vyhovuje.

5.4 Kontrola vyztužení otvoru dle ČSN 690010-4.12

Na obvodovém plášti nádrže je umístěn otvor pro montáž víceúčelového ventilu.

- Výpočtová tloušťka stěny válce:

$$s_R = \frac{p \cdot D_{obal}}{2 \cdot [\sigma] + p} \quad (12)$$

kde

s_R	výpočtová tloušťka stěny válce [mm]
$[\sigma] = 213,3 \text{ MPa}$	dovolené namáhání tlakových nádob [MPa]
$p = 3 \text{ MPa}$	konstrukční provozní tlak [MPa]
$D_{obal} = 210 \text{ mm}$	jmenovitý vnější průměr nádrže [mm]

pak

$$s_R = \frac{3 \cdot 210}{2 \cdot 213,3 + 3} = 1,47 \text{ mm}$$

- Provedená tloušťka stěny části válcové nádoby:

$$s \geq s_R + c \quad (13)$$

kde

s	tloušťka stěny [mm]
$c = 0,625 \text{ mm}$	přídavek na korozi a technologické nepřesnosti [mm]
$s_R = 1,47 \text{ mm}$	výpočtová tloušťka stěny válce [mm]

pak

$$s = 1,47 + 0,625 = 2,095 \text{ mm}$$

Tloušťka stěny nádrže je 5 mm, tedy vyhovuje.

- Vzdálenost okraje hrdla od vnějšího okraje dna musí být větší než:

$$\max. \{0,1 \cdot (D + 2 \cdot s)\} \quad (14)$$

pak

$$\max. \{0,1 \cdot (210 + 2 \cdot 5)\} = \max. 22 \text{ mm}$$

- Výpočtový průměr otvoru pro hrdlo s kruhovým průřezem:

$$d_R = d + 2 \cdot c \quad (15)$$

kde

d_R průměr otvoru pro hrdlo s kruhovým průřezem [mm]

$c = 0,625$ přídavek na korozi a technologické nepřesnosti [mm]

$d = 48 \text{ mm}$ vnitřní průměr příruby [mm]

pak

$$d_R = 48 + 2 \cdot 0,625 = 49,25 \text{ mm}$$

- Výpočtový průměr osamoceného otvoru, který nepotřebuje vyztužení:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_R} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_R \cdot (s - c)} \quad (16)$$

kde

d_0 výpočtový průměr osamoceného otvoru [mm]

s tloušťka stěny [mm]

$c = 0,625 \text{ mm}$ přídavek na korozi a technologické nepřesnosti [mm]

$s_R = 1,47 \text{ mm}$ výpočtová tloušťka stěny válce [mm]

$D_R = 200 \text{ mm}$ vnitřní průměr válcové stěny nádrže [mm]

pak

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{5 - 0,625}{1,47} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{200 \cdot (5 - 0,625)} = 128,7 \text{ mm}$$

Výpočtový průměr osamoceného otvoru vyhovuje podmínce,

$$d_R \leq d_0 \quad (17)$$

$$49 \text{ mm} \leq 128,7 \text{ mm}$$

není zapotřebí otvor vyztužovat.

5.4.1 Dovolené napětí svarového spoje

V rámci ČSN 690010 je i výpočet dovolených napětí svarů v části č 6.3:

$$\sigma_{D_{av}} = \alpha \cdot R_{p0,2} \quad (18)$$

kde

$\sigma_{D_{av}}$ dovolené napětí svarů [MPa]

$\alpha = 0,7$ součinitel pro tupé svary na podložce, kde podložka přiléhá po celé délce svaru k základnímu materiálu a je spolehlivě přivařená ke kořeni [–]

$R_{p0,2} = 220 \text{ MPa}$ smluvní mez kluzu při deformaci 0,2% [MPa]

pak

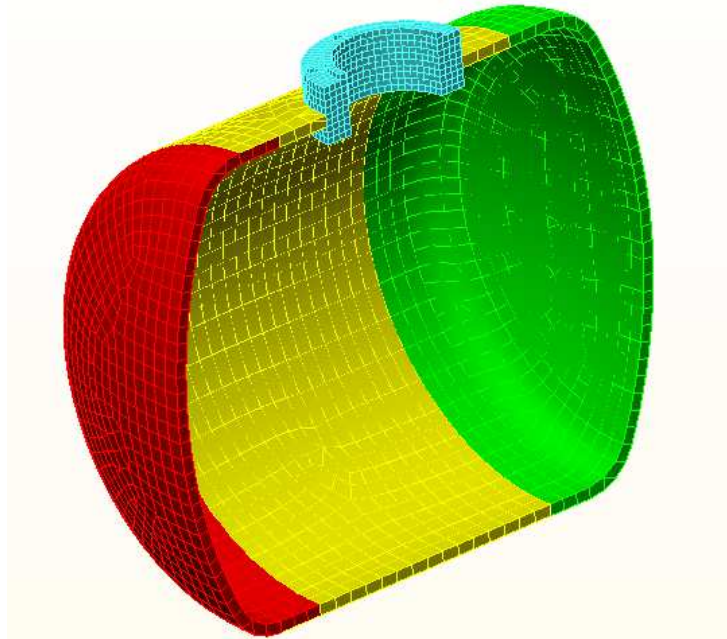
$$\sigma_{D_{av}} = 0,85 \cdot 220 = 187 \text{ MPa}$$

5.5 MKP analýza nádrže

K modelování nádrže jsem použil program Autodesk Inventor Professional 2017. Nádrž je tvořena dvěma dny, pláštěm s otvorem a přírubou, z kterých je vytvořena sestava. Pro jednodušší výpočet jsem použil k výpočtu pouze poloviční model. Analýza jsem provedl v programu Autodesk Simulation Mechanical 2017. Parametry pro výpočet byly nastaveny podle tabulky.

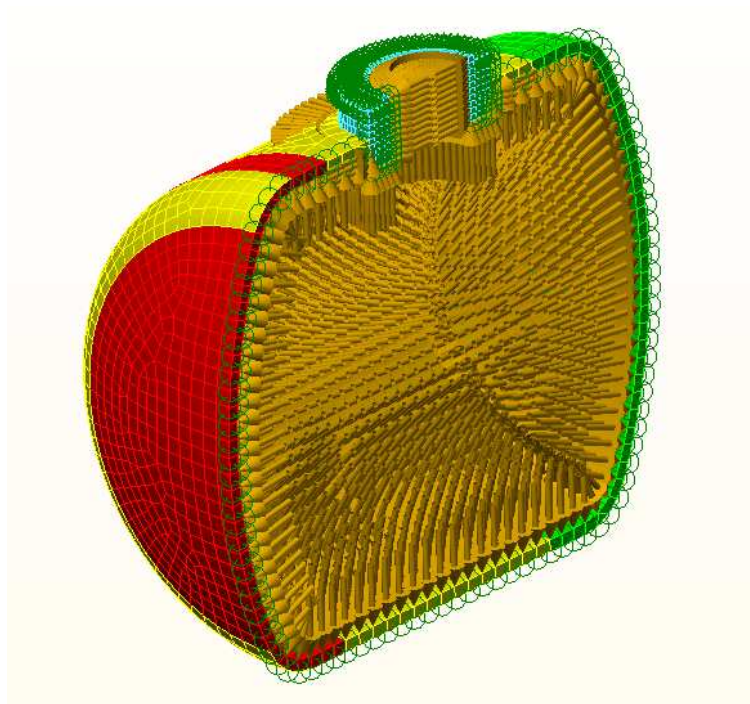
Tab 4: Nastavení MKP pro nádrž

Typ analýzy	Static Stress with Linear Material Models
Typy elementů	„Brick“
Materiál	Vytvořen podle katalogových vlastností materiálů
Hustota [$kg \cdot m^{-3}$]	8 000
Modul pružnosti v tahu [GPa]	200
Poissonovo číslo [–]	0,3
Součinitel teplotní délkové roztažnosti [1/K]	$1,72 \cdot 10^{-5}$
Vazby	Mezi jednotlivými díly byla nastavena vazba „Welded“



Obr 18: Zasiťovaný model nádrže

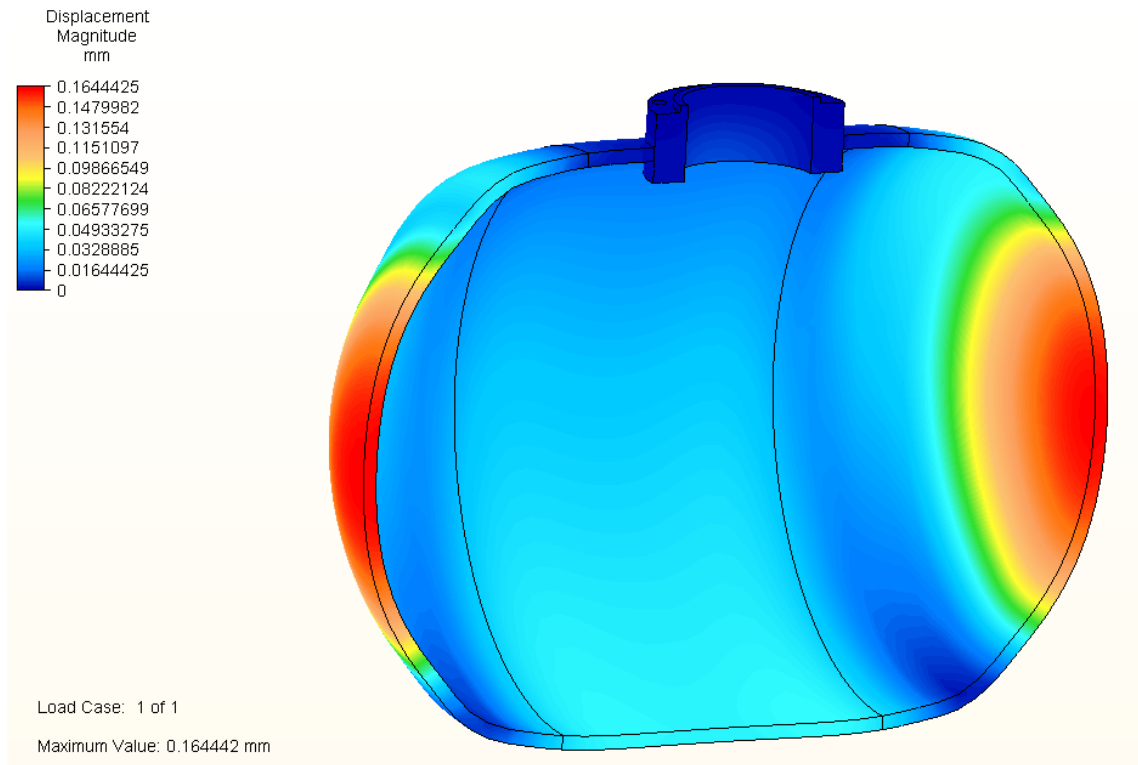
Pro vytvoření sítě jsem použil automatický generátor. Vazby byly umístěny na montážní plochu příruby, aby došlo k co nejmenšímu ovlivnění analýzy nádrže. Nádrž byla zatížena pomocí tlaku 3 MPa, působícího na všechny vnitřní části nádrže. Dále byly použity vazby pro symetrii nádoby z důvodu použití polovičního modelu.



Obr 19: Model nádrže se zatíženími a vazbami

5.5.1 Výsledky MKP analýzy

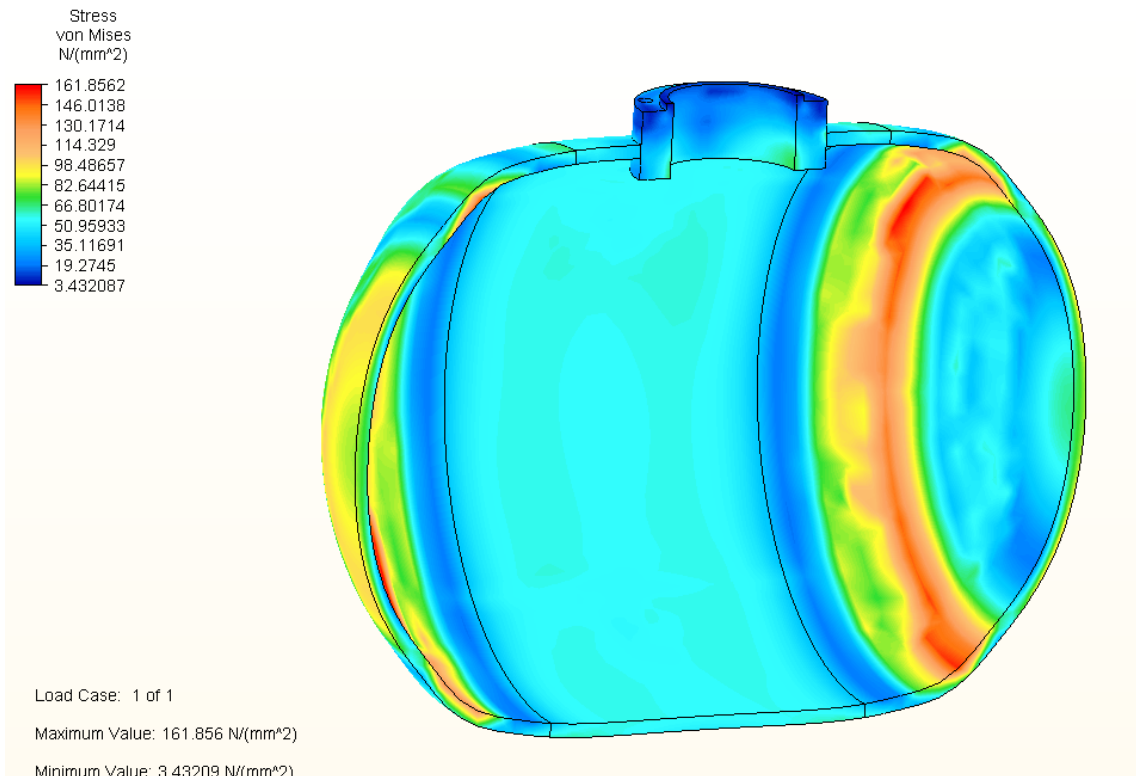
Pro zhodnocení výsledků analýzy jsou nejdůležitější dvě hodnoty, dovolené napětí tlakových nádob a dovolené napětí svarového spoje. Proto je nejdříve nádrž hodnocena jako celek a poté s detailem na svarový spoj.



Obr 20: Zobrazení deformací nádrže

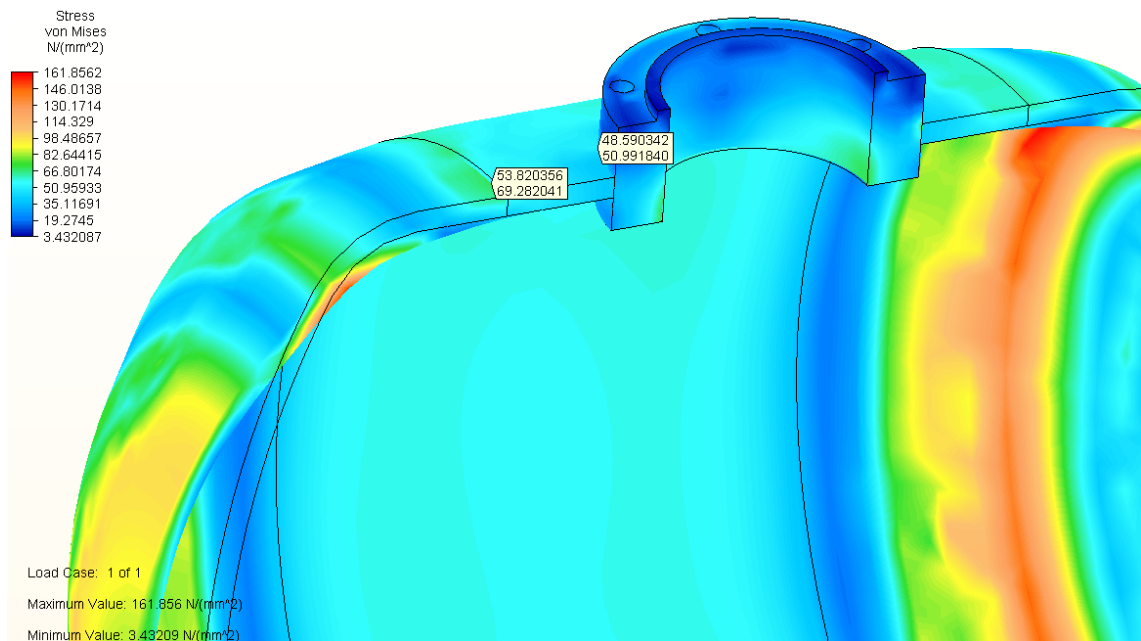
Na obrázku (obr. 20.) jsou zobrazeny hodnoty maximálních deformací. Deformace dosahuje maxima na středech klenutých den a to hodnoty 0,16 mm. A v místě budoucího opásání nádrže na obvodu pláště je přibližně 0,07 mm. Z hlediska deformací nádrž vyhovuje, deformace pláště nebude mít značný vliv na upevnění nádrže.

Na dalším obrázku (obr. 21.) jsou vyznačena napětí. Nejvíce bude nádrž namáhána na dnech v místě vnitřního poloměru zaoblení v přechodové oblasti dna, místa jsou označena červenou barvou. Maximální hodnota namáhání je 162 MPa (von Mises) a maximální dovolené namáhání tlakových nádob je 213,3 MPa. Nádrž z tohoto hlediska vyhovuje.



Obr 21: Zobrazení namáhání nádrže

Na posledním obrázku je detail namáhání svarů.



Obr 22: Detail namáhání svarů

Na obrázku je zobrazeno maximální namáhání svarů na plášti a kolem příruby. Největší namáhání je v místě na vnějším okraji pláště a dosahuje hodnoty 70 MPa. Maximální dovolené namáhání svarů je 187 MPa. Nádrž z tohoto hlediska vyhovuje. Shrnutí výsledků MKP analýzy je přehledněji ukázáno v tabulce.

Tab 5: Výsledky MKP analýzy nádrže

	Dovolené namáhání	Maximální namáhání	
Stěna nádrže	213,3 MPa	174 MPa	VYHOVUJE
Svar	187 MPa	70 MPa	VYHOVUJE

6 Parametry skútru určeného k přestavbě



Obr 23: Skútr pro přestavbu [16]

Skútr, na který je navrhována přestavba, je Kentoya zoom 50 4T. Tento skútr byl nejlépe dostupný kvůli fotografování, měření a demontáži potřebných dílů

Tab 6: Parametry skútru

Kentoya zoom 50 4T	
Zdvihový objem	49,6 cm ³
Počet dob	Čtyřdobý
Příprav směsi	Vstříkování
Výkon motoru	2,6 kW při 6 000 min ⁻¹
Točivý moment motoru	3,7 Nm při 6 050 min ⁻¹
Objem nádrže	5 dm ³
Provozní hmotnost	103 kg
Chlazení	Vzduchem

7 Návrh upevnění nádrže

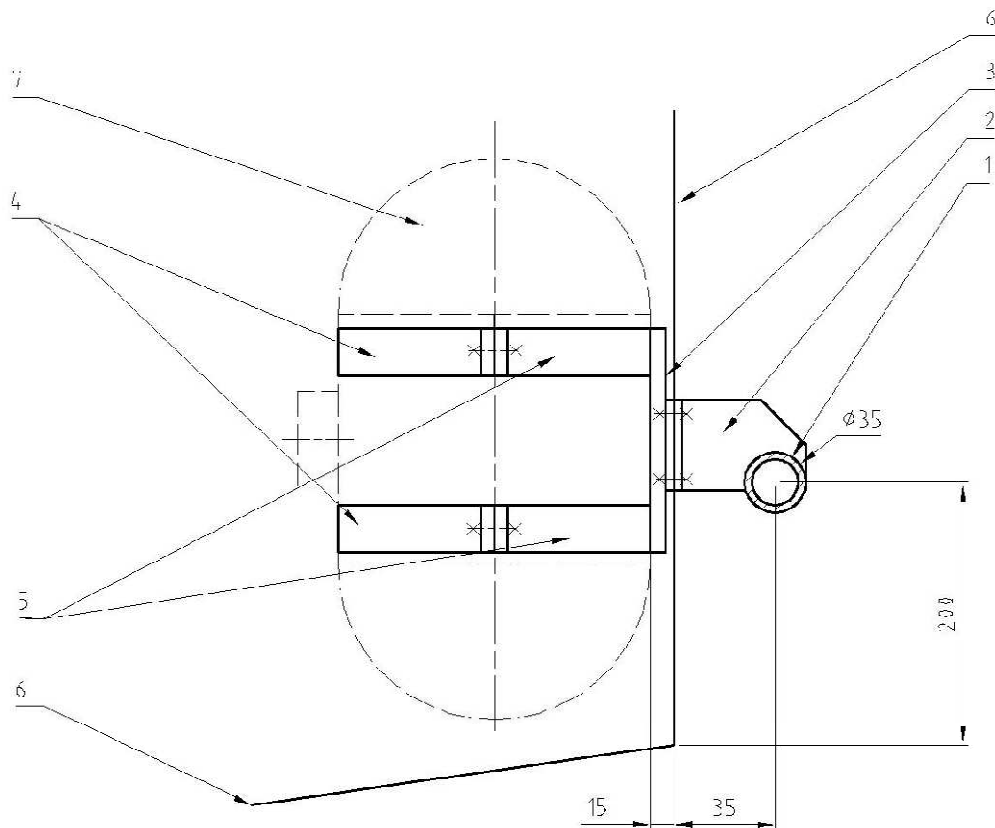
Při schvalování musí upevnění nádrže splňovat určité předpoklady, které jsou popsány v této kapitole.

7.1 Návrh konstrukce



Obr 24: pohled na úložný prostor a rám skútru

Nádrž bude umístěna téměř vertikálně. Bude nesena svým vlastním držákem tvořeným ze dvou částí, který bude umístěn za nádrží. Držák musí být ze dvou částí, aby šlo demontovat úložný prostor v rámci oprav skútru. První část bude končit přírubou a bude spojena šrouby přes stěnu úložného prostoru s druhou částí držáku. Za úložným prostorem je příčka rámu skútru, se kterým bude druhá část svařena.



Obr 25: Schéma držáku nádrže

1. Rám skútru 2. Držák na rámu 3. Držák na nádrži 4. Pásky volné 5. Pásky pevné 6. Stěna úložného prostoru 7. Nádrž na LPG

Každý skútr se svým rámem liší, proto pokud nebude vyhovovat tento návrh, bude se muset navrhnout pro odlišné skútry jiné upevnění. Ve většině případů je úložný prostor vložen mezi trubky rámu, takže by stačily jen malé úpravy např. přivaření příčky rámu za úložný prostor.

7.2 Požadavky na upevnění nádrže

Upevnění nádrže musí být takové, aby nedošlo k jejímu poškození a utrnutí při určitých zrychleních. Legislativa se nezabývá přestavbami skútrů, proto budou vycházet z požadavků na kategorii M1. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce v metodice pro schvalování přestaveb na LPG [28].

Tab 7: Působící zatížení na držák

Kategorie vozidla	M_1, N_1
Ve směru jízdy	20 g
Ve směru vodorovně- kolmém na směr jízdy	8 g

Z tabulky je patrné, že zrychlení působící na nádrže ve směru jízdy, které zatěžuje nosný rám nádrže, je značné. Dalším požadavkem je použití upevňovacích prvků, které jsou zákonem také předepsané. Prvky závisí na objemu nádrže a jsou také uvedeny v metodice schvalování přestaveb na LPG [28].

Tab 8: Možnosti upevnění nádrže

Objem tlakové nádrže (l)	Minimální rozměry podložek (mm)	Minimální rozměry a počet přípevňovacích pásků nádrže (mm)	Minimální průměr a počet přípevňovacích šroubů (mm) – třída 8.8(min)
do 85	Kulaté 30 x 1,5 kulaté 25 x 2,5	20 x 3 – 2 ks 30 x 1,5 – 2 ks	8 - 4 ks
85 – 100	kulaté 30 x 1,5 kulaté 25 x 2,5	30 x 3 – 2 ks 20 x 3 – 3 ks	10 - 4 ks 8- 4 ks
100 – 150	kulaté 50 x 2,0 kulaté 30 x 3,0	50 x 6 – 2 ks 50 x 3 – 4 ks	12 - 4 ks 10 - 4 ks

Objem použité nádrže je do 85 dm³ a upevnění bude provedeno pomocí přípevňovacích pásů. Proto bude upevnění provedeno 2. kusy přípevňovacích pásků o rozměrech 20 x 3 mm nebo 30 x 1,5 mm.

7.3 MKP analýza uchycení nádrže

Tab 9: Nastavení MKP analýzy držáku nádrže

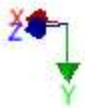
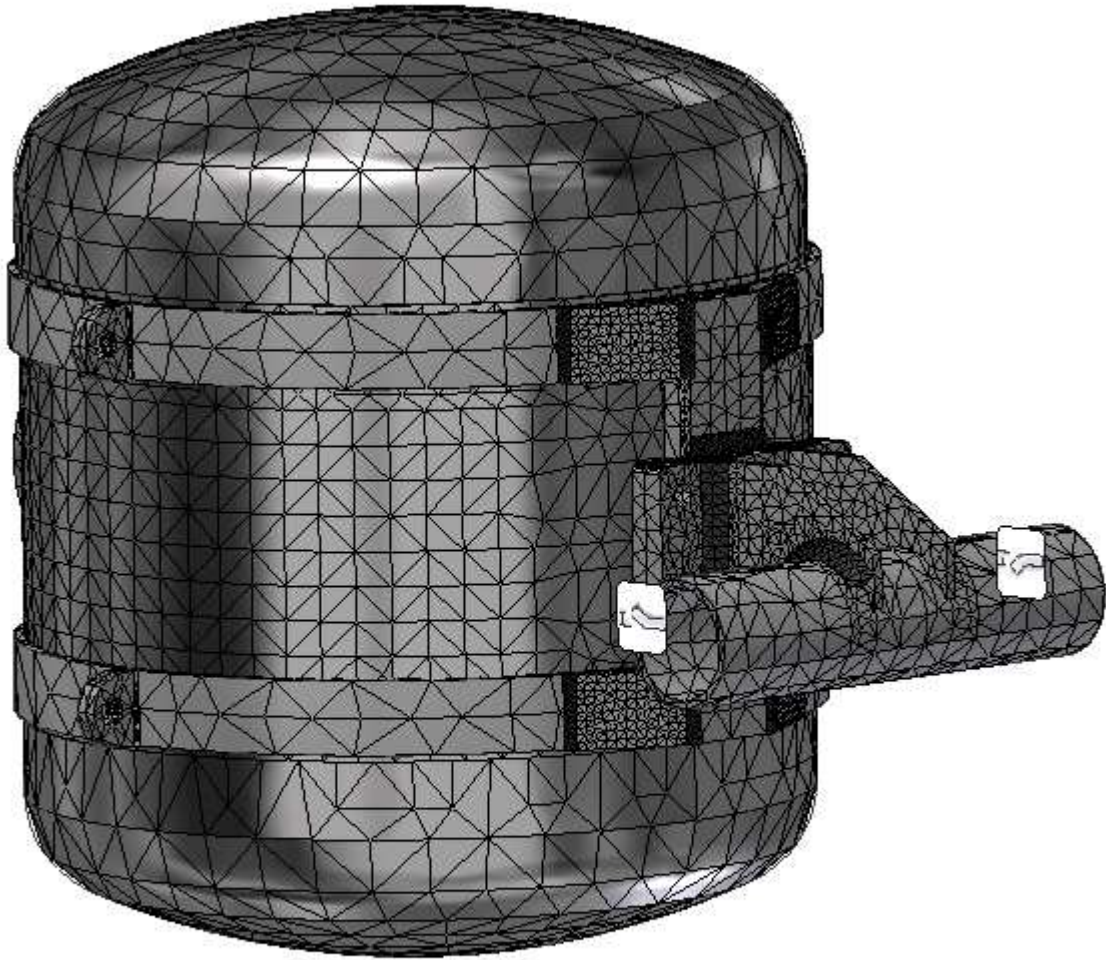
Typ analýzy		Statická analýza
Typy elementů		„Brick“ a „tetraedr“
Materiál		Vybrány z knihovny programu
	Nádrž	Nerezová ocel
	Svary	Ocel, svařované
	Konstrukční díly držáku	Ocel, nelegovaná
Zatížení		
	A	20g v podélném směru
	B	8g bočním směru

K modelování nádrže jsem použil program Autodesk Inventor Professional 2017. Analýza je provedena také v programu Autodesk Inventor Professional 2017. Do nádrže byl umístěn objem rovnající se 80 % naplnění nádrže a hustotě 540 kg.m^{-3} .

Komponenta	Originální materiál
- výpočtový držák	
Svary	plyn
držák nádrže: 1	
příruba držáku: 1	Ocel, nelegovaná
jakl: 1	Ocel, nelegovaná
pás na rámu: 1	Ocel, nelegovaná
pás na rámu: 2	Ocel, nelegovaná
pás volný: 1	Ocel, nelegovaná
pás volný: 2	Ocel, nelegovaná
výztuha: 2	Ocel, nelegovaná
výztuha_MIR2: 1	Ocel, nelegovaná
výztuha_MIR3: 1	Ocel, nelegovaná
výztuha_MIR2_MIR: 1	Ocel, nelegovaná
příruba na rám: 1	
příruba: 1	Ocel, nelegovaná
plocháč na rám: 1	Ocel, nelegovaná
plocháč na rám: 2	Ocel, nelegovaná
nádrž bez svaru: 1	
dno: 1	Nerezová ocel
dno: 2	Nerezová ocel
obvod: 1	Nerezová ocel
příruba: 1	Nerezová ocel
objem: 1	plyn
rám: 1	Ocel, nelegovaná

Tab 10: Nastavení materiálu v MKP držáku

Držák bude z oceli ČSN 11 373. Model byl zasítován automatickým generátorem sítě. Vazby byly umístěny na okraje trubky rámu skútru. Vazby mezi díly byly nastaveny jako „vázaný“ u svařených dílů. U dílů doléhajících na sebe (stažení šroubovým spojem nebo opásání nádrže) je vazba nastavena jako „separace“. Šroubové spoje byly nastaveny dle nápovědy programu, pomocí vazby „vázaný“ na sousední otvory šroubových spojů. Sít' je tvořena 49 478 prvky a 91 691 uzly.



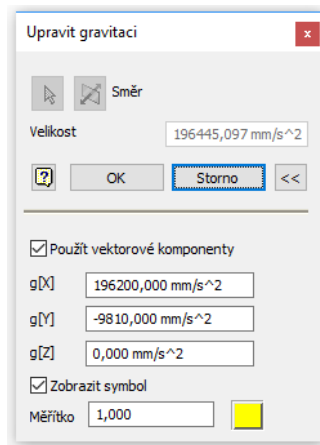
Obr 26: Zasítovaný model nádrže s držákem

7.3.1 Zatížení v podélném směru

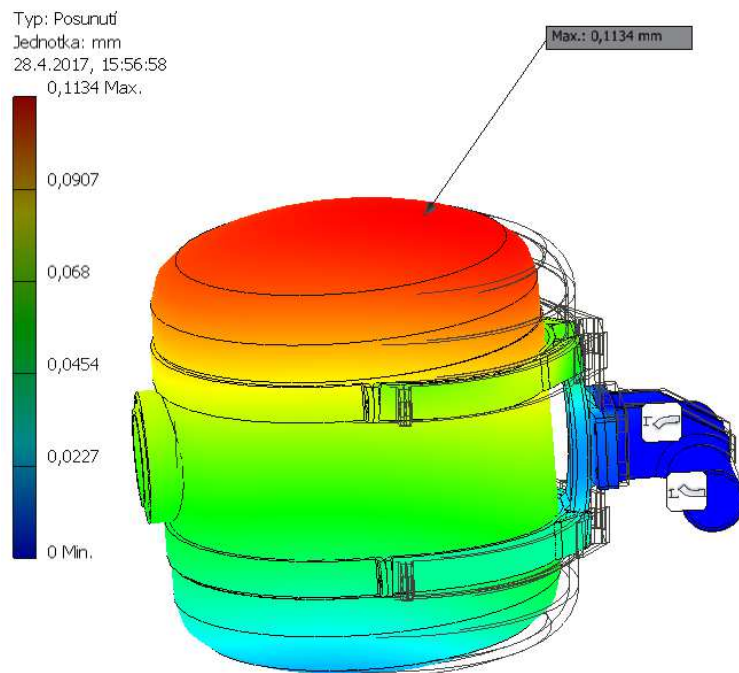
Zde byl model držáku včetně nádrže zatížen zrychlením

$$a = 20 \cdot g = 20 \cdot 9,81 = 196,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

ve směru X a gravitací ve směru Y.



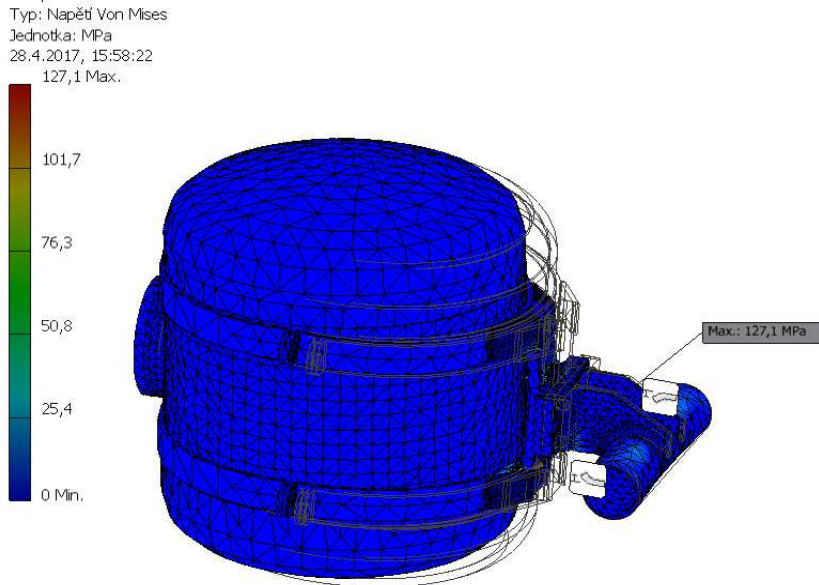
Obr 27: Zatížení držáku v podélném směru



Obr 28: Posunutí při zatížení v podélném směru

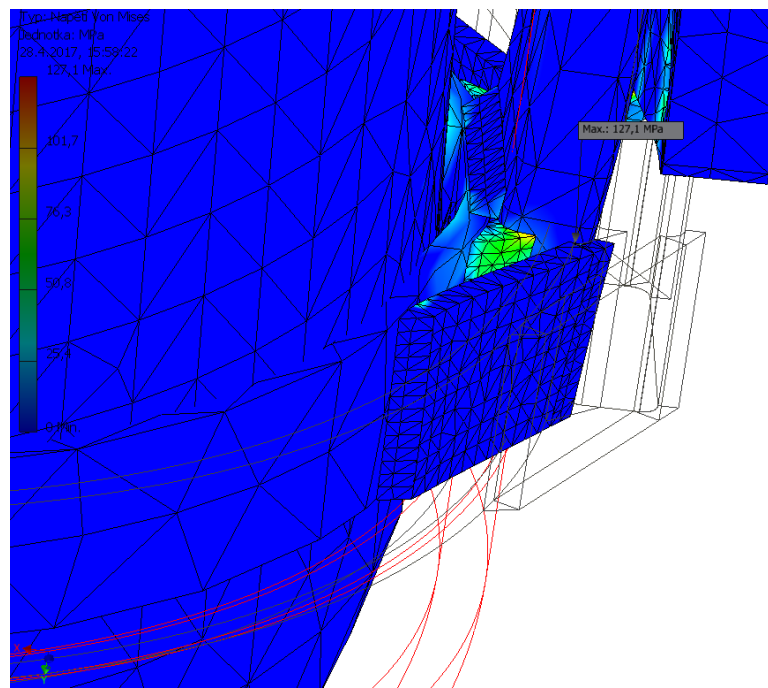
Na obrázku je zobrazeno deformování, které dosahuje maxima 0, 11 mm.

Namáhání držáku je zobrazeno na dalších obrázcích, nejdříve jako celek a poté jako detailní pohled na držák. Maximální namáhání dosahuje hodnoty 127 MPa (von Mises). Namáhání nepřesahuje ani mez kluzu materiálu použitého na rám.



 Obr 29: Napětí držáku při zatížení v podélném směru

Maximální namáhání je v oblasti svaru mezi přírubou a stojkou držáku označené štítkem „Max“.



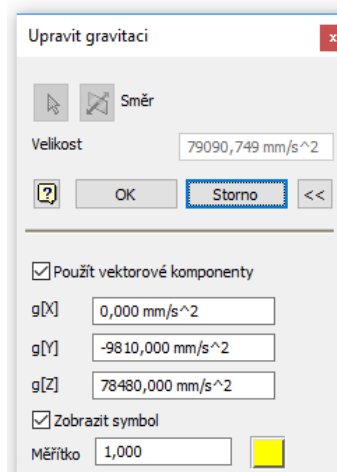
Obr 30: Detail napětí držáku při zatížení v podélném směru

7.3.2 Zatížení v příčném směru

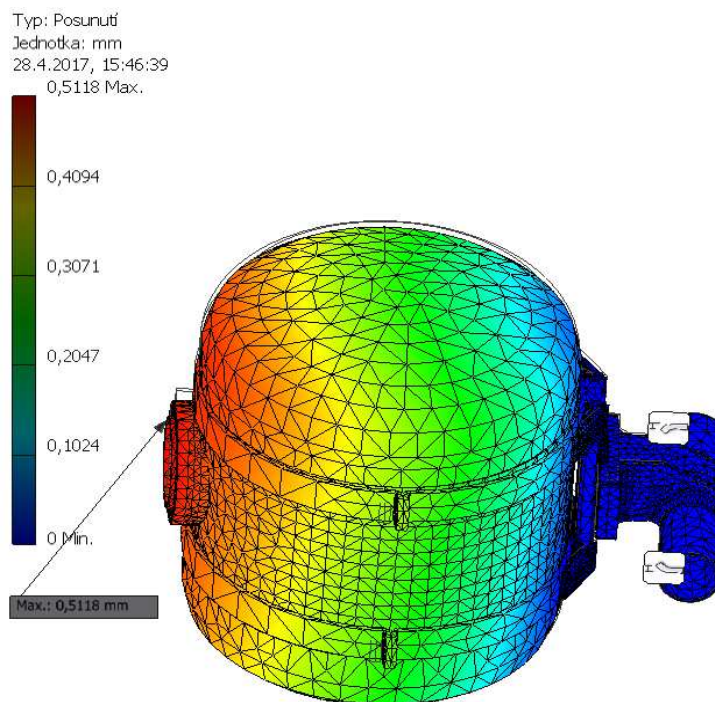
Zde byl model držáku včetně nádrže zatížen zrychlením

$$a = 8 \cdot g = 8 \cdot 9,81 = 78,48 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

ve směru Z a gravitací ve směru Y.



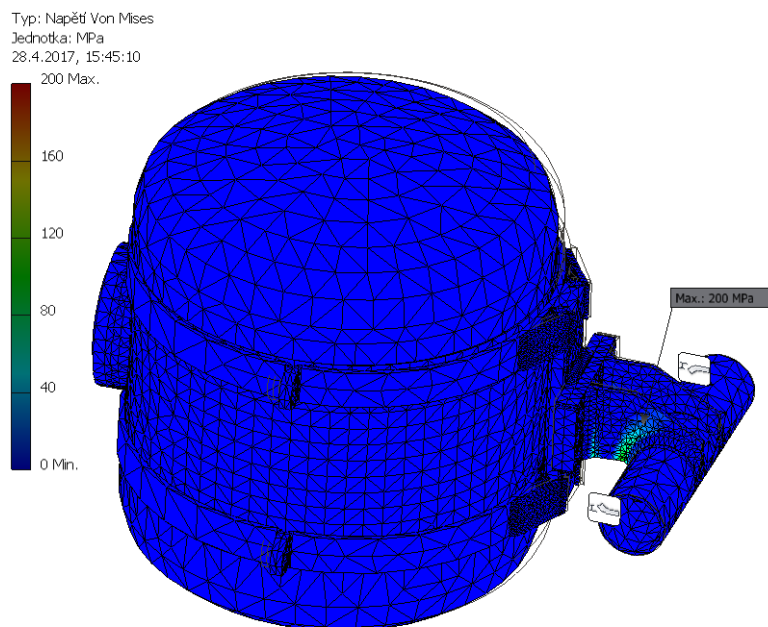
Obr 32: zatížení držáku v příčném směru



Obr 31: Posunutí držáku při zatížení v příčném směru

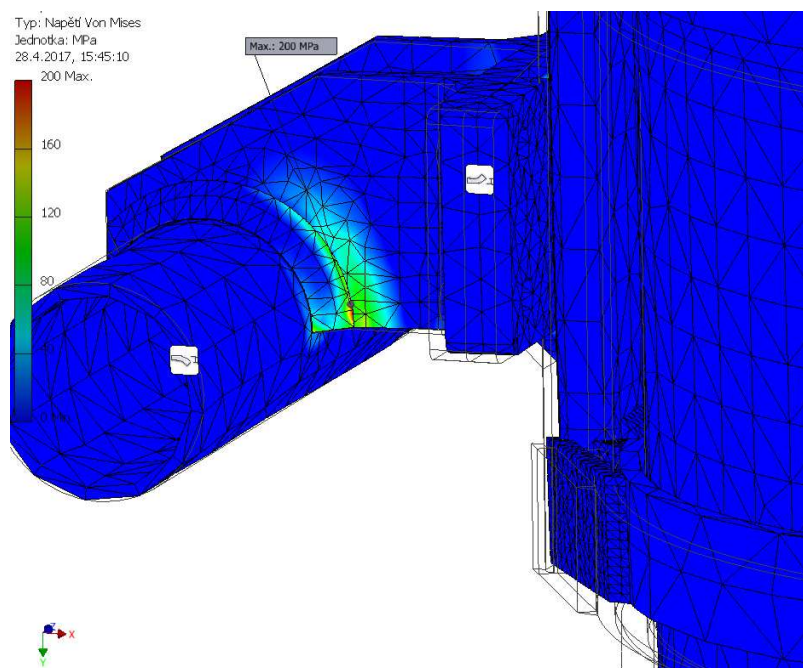
Na obrázku je zobrazeno deformování, které dosahuje maxima 0,51 mm.

Namáhání držáku je zobrazeno na dalším obrázku, ze kterého je patrné maximální namáhání nádrže a jeho působení. Působíště největšího napětí je v místě svaru držáku a rámu skútru a dosahuje hodnoty 200 MPa.



Obr 33: Napětí držáku při zatížení v příčném směru

Na dalším obrázku je zobrazen detail na držák nádrže. Místo s maximálním namáháním je označeno štítkem „Max“.



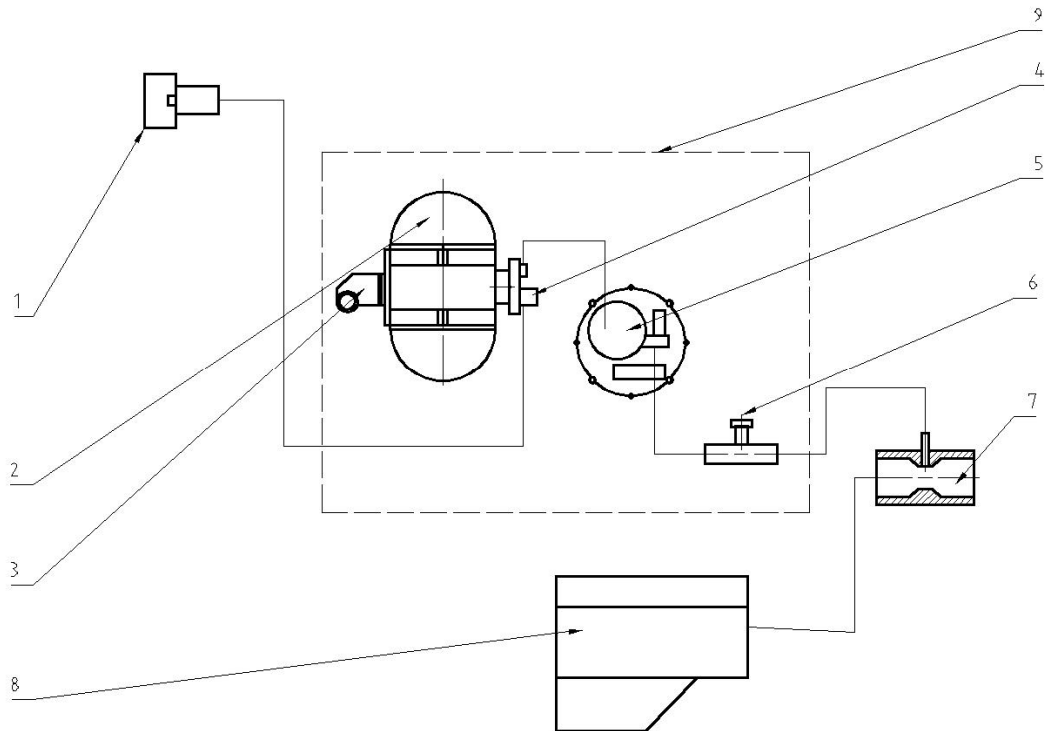
Obr 34: Napětí držáku při zatížení v příčném směru

8 Návrh palivového příslušenství

Tato kapitola se věnuje použitému palivovému příslušenství pro přestavbu skútru.

8.1 Schéma navrženého palivového příslušenství

Zde je zobrazeno schéma nového palivového příslušenství skútru. Včetně zobrazení částí umístěných v úložném prostoru skútru.



Obr 35: Schéma navrženého palivového příslušenství

1. Plnicí jednotka 2. Nádrž na LPG 3. Držák nádrže 4. Víceúčelový ventil 5. Regulátor tlaku s odpařovačem 6. Odměřovací regulátor plynu 7. Směšovač 8. Pístový spalovací motor 9. Úložný prostor skútru

8.2 Plnicí jednotka

Použitý typ plnicí jednotky bude italský. Bude umístěna na vnější kapotáži skútru v oblasti úložného prostoru. Plnicí jednotka bude opatřena gumovou krytkou.

8.3 Víceúčelový ventil



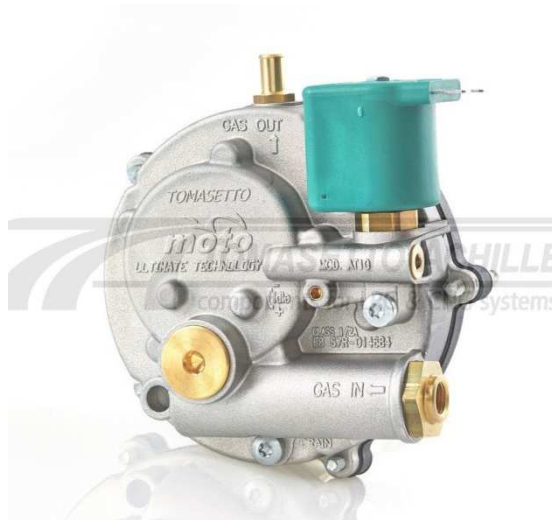
Obr 36: Víceúčelový ventil Tomasetto [31]

Víceúčelový ventil bude Tomasetto. Konkrétně se jedná o model AT02 MVAT0A62.1, italského výrobce, který je určen pro nádrže do výšky 250 mm. Nastavení ventilu bude provedeno podle návodu výrobce.

Tab 11: Vlastnosti víceúčelového ventilu

Materiál	Za tepla lisovaná mosaz, CNN obráběna
Hmotnost	0,9 kg
Napětí	12 V stejnosměrný
Příkon	11 W
Vstup	G1/4
Výstup	M10x1 / trubka Ø 6 mm
Max. tlak	2,7 MPa
Roztavení tepelné pojistky	120 °C ± 10 °C

8.4 Regulátor tlaku s odpařovačem



Obr 37: Regulátor tlaku s odpařovačem Tomasetto [31]

Regulátor tlaku s odpařovačem bude použit také Tomasetto model AT10, který je určen pro motocykly a menší vozidla. Jedná se o dvoustupňový regulátor tlaku s integrovaným uzavíracím ventilem. Mohou být dvě modifikace, jedna je elektronicky ovládaná a druhá je řízena podtlakem. Tudíž může být použita i na starších skútrech bez elektronické řídicí jednotky a s karburátorem. Velkou výhodou je ohřev regulátoru tlaku s odpařovačem, který na tomto modelu není nutný. Regulátor tlaku s odpařovačem bude umístěn u nádrže v úložném prostoru skútru. Připevněn bude k držáku nádrže nebo ke stěně úložného prostoru.

Tab 12: Vlastnosti regulátoru tlaku s odpařovačem

Materiál	Tělo je tlakově litá slitina hliníku, CNC obráběná
Hmotnost	0,65 kg
Rozměry	130 mm x 120 mm x 60 mm
Napětí	12 V stejnosměrný
Příkon	3 W
Vstup	M10x1 / trubka Ø 6 mm
Výstup	Hadice vnitřní Ø 8mm
Max. tlak	3 MPa
Pracovní teplota	-20 °C až 120 °C
Maximální výkon motoru	15 kW
Průtok LPG	4 kg/h

8.5 Tvorba směsi

Tvorbu směsi lze provést dvěma způsoby. Buďto směšovačem nebo vefukovacím ventilem.

8.5.1 Vefukovací ventil



Obr 38: Vefukovací ventil TECH-DRAGON [22]

Vefukovací ventil je vybrán od výrobce LPGTech a je označen TECH-DRAGON Solo Silver. Výhodou tohoto ventilu je možnost připojení pomocí hadic, což většina výrobců neumožňuje.

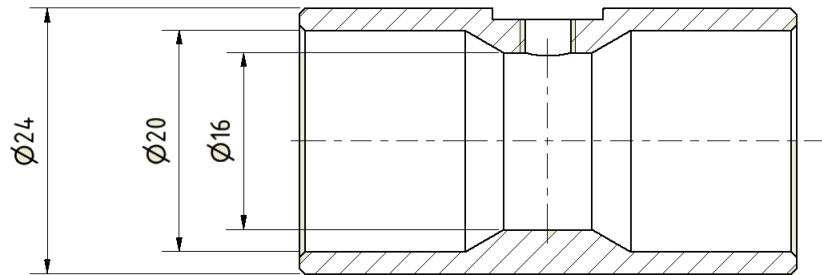
Tab 13: Vlastnosti vefukovacího ventilu

Odpor cívky	2 Ω
Otevírací čas	< 2 ms
Zavírací čas	< 1 ms
Maximální tlak	4,5 bar
Maximální průtok	130 dm ³ .min ⁻¹
Pracovní teplota	-20 °C až 140 °C

Pro vefukovací ventil bude použit směšovač bez difuzoru, na který bude ventil připojen.

8.5.2 Směšovač

Směšovač bude tvořen pevným průměrem difuzoru a vloženou trubicí pro přívod paliva. Geometrie vychází ze směšovače SM VW ADF [15], ale bude odebrána škrticí klapka a bude zmenšen. Vnější průměr směšovače je omezen průměrem sání skútru na hodnotu 25mm.



Obr 39: Náčrt směšovače

Pro výpočet maximálního rozdílu tlaků v sání a difuzoru 15 kPa lze zanedbat ztráty tření, polohovou energii a stlačitelnost vzduchu. Nejdříve musíme výpočtem zjistit určité parametry sání motoru. Jako první určíme objemový průtok nasávaného vzduchu z rovnice (19).

$$\dot{v}_v = \eta_D \cdot V_z \cdot \frac{n}{60 \cdot \tau} \quad (19)$$

kde

\dot{v}_v objemový průtok nasávaného vzduchu [$m^3 \cdot s^{-1}$]

$\eta_D = 0,7$ dopravní účinnost [-]

$V_z = 49 \cdot 10^{-6} m^3$ zdvihový objem [m^3]

$n = 8\,000 \text{ min}^{-1}$ otáčky motoru [min^{-1}]

$\tau = 2$ konstanta počtu dob motoru pro čtyřdobý = 2 [-]

pak

$$\dot{v}_v \doteq 0,7 \cdot 49 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{8\,000}{60 \cdot 2} = 2,29 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1}$$

Z objemového toku určíme hmotnostní tok nasávaného vzduchu pomocí vztahu (20)

$$\dot{m}_v = \dot{v}_v \cdot \rho_{vz} \quad (20)$$

kde

\dot{m}_v hmotnostní tok nasávaného vzduchu [$kg \cdot s^{-1}$]

$\rho_{vz} = 1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ hustota vzduchu [$kg \cdot \text{m}^{-3}$]

pak

$$\dot{m}_v = 2,29 \cdot 10^{-3} \cdot 1,15 = 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Dále je potřeba určit ze vztahu (21) hmotnostní tok paliva

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_v}{\lambda \cdot L_{vt}} \quad (21)$$

kde

\dot{m}_p hmotnostní tok paliva [$kg \cdot s^{-1}$]

$\dot{m}_v = 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ hmotnostní tok nasávaného vzduchu [$kg \cdot s^{-1}$]

$\lambda = 1$ součinitel přebytku vzduchu [-]

$L_{vt} = 15,7$ stechiometrické (teoretické) množství vzduchu [-]

pak

$$\dot{m}_p = \frac{2,63 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 15,7} = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Dále si zvolím průměr difuzoru. Vzhledem ke konstrukci sání jsem omezen vnitřním průměrem směšovače na 20 mm, proto volím průměr difuzoru 16 mm. Z toho lze vypočítat teoretickou rychlost v difuzoru.

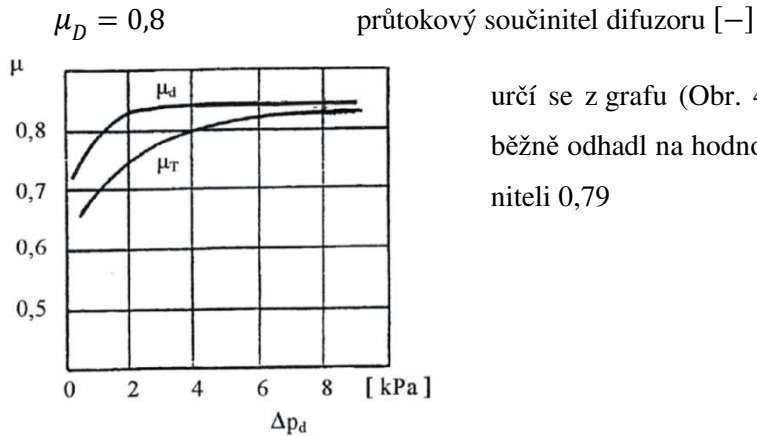
$$v_D = \frac{4 \cdot \dot{m}_v}{\pi \cdot \varnothing d_D^2 \cdot \mu_D \cdot \rho_v} \quad (22)$$

kde

v_D teoretická rychlost v difuzoru [$m \cdot s^{-1}$]

$\varnothing d_D = 0,016 \text{ m}$ průměr difuzoru [m]

$\rho_v = 1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ hustota vzduchu [$kg \cdot \text{m}^{-3}$]



určí se z grafu (Obr. 40). Rozdíl tlaků jsem předběžně odhadl na hodnotu 100 Pa, to odpovídá součiniteli 0,79

Obr 40: Graf pro průtokový součinitel [19]

pak

$$v_D = \frac{4 \cdot 2,63 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,016^2 \cdot 0,79 \cdot 1,15} = 14,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Dalším krokem je určení rozdílu tlaku mezi sáním a tlaku v difuzoru. Tento výpočet a další vychází ze Beurnoulliho rovnice:

$$h \cdot g + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = konst. \quad (23)$$

Pro určení rozdílu tlaku mezi sáním a difuzorem sestavím rovnici (23) pro tento případ:

$$\frac{p_0}{\rho_v} = \frac{p_D}{\rho_v} + \frac{v_D^2}{2} \quad (24)$$

Z této rovnice lze vyjádřit rozdíl tlaků

$$\Delta p_D = \frac{v_D^2}{2} \cdot \rho_v \quad (25)$$

kde

Δp_D rozdíl tlaku v sání a difuzoru [Pa]

$v_D = 14,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ teoretická rychlost v difuzoru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

$\rho_v = 1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

pak

$$\Delta p_D = \frac{14,39^2}{2} \cdot 1,15 = 119 \text{ Pa}$$

Tato hodnota téměř odpovídá průtokovému součiniteli, který byl předběžně určen u vztahu (22) a průtokovému součiniteli trysky 0,69. Dále se musí určit rychlost paliva v trysce, k tomu sestavíme rovnici (23) pro tento případ:

$$\frac{p_0}{\rho_p} = \frac{p_p}{\rho_p} + \frac{v_T^2}{2} \quad (26)$$

Pro tlak paliva p_p platí, že bude nastaven v regulátoru tlaku s odpařovačem přibližně stejně velký tlak, jako je tlak v sání, aby nedocházelo k plnění sacího potrubí palivem. Proto lze předpokládat že:

$$\Delta p_D = p_0 - p_p \quad (27)$$

po dosazení vztahu (27) do vztahu (26) dostaneme vztah pro výpočet rychlosti v trysce

$$v_T = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_D}{\rho_p}} \quad (28)$$

kde

v_T teoretická rychlost v trysce [$m \cdot s^{-1}$]

$\Delta p_D = 119 Pa$ rozdíl tlaků v sání a difuzoru [Pa]

$\rho_p = 2,32 kg \cdot m^{-3}$ hustota paliva [$kg \cdot m^{-3}$]

odpovídá tlaku 15 °C a tlaku 101 kPa

pak

$$v_T = \sqrt{\frac{2 \cdot 119}{2,32}} = 10,13 m \cdot s^{-1}$$

Na konec tedy lze určit průměr trysky směšovače

$$\varnothing d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_p}{v_T \cdot \mu_T \cdot \rho_p \cdot \pi}} \quad (29)$$

kde

$\varnothing d_T$ průměr trysky směšovače [mm]

$\dot{m}_p = 1,68 \cdot 10^{-4} kg \cdot s^{-1}$ hmotnostní tok paliva [$kg \cdot s^{-1}$]

$v_T = 10,13 m \cdot s^{-1}$ teoretická rychlost v trysce [$m \cdot s^{-1}$]

$$\mu_T = 0,69 \quad \text{průtokový součinitel trysky [-]}$$

pak

$$\phi d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,68 \cdot 10^{-4}}{10,13 \cdot 0,69 \cdot 2,32 \cdot \pi}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow 3,6 \text{ mm}$$

Průřez trysky bude 4 mm ale přesný průřez bude nastaven pomocí šroubu na odměřovacím regulátoru plynu.

8.6 Odměřovací regulátor plynu

Bude použit šroubový regulátor maximálního průtoku plynu. Ten bude umístěn pro lepší údržbu v úložném prostoru skútru. Je možné použít i elektronické řízení u modelů s lambda sondou, ale toto řešení je příliš drahé proto nebude použito jako základní modifikace palivového systému.

8.7 Ventil pro uzavření přívodu benzínu

U přestavby skútrů s klasickým karburátorem je jednoduché přepínání paliv. Dojde pouze k nahrazení původního podtlakového ventilu pro uzavření přívodu benzínu za elektromagneticky ovládaný ventil. Pokud původní konstrukce neobsahuje podtlakový ventil, vloží se na přívodní hadici z nádrže ke karburátoru pouze elektromagnetický ventil. U systémů se vstřikováním musí být použita řídicí jednotka. Jako uzavírací ventil přívodu benzínu je zvolen ventil Tomasetto EB-01, ten umožňuje jak dálkově ovládané uzavření pomocí elektromagnetu tak přímé uzavření kohoutem.

8.8 Řídicí jednotka systému

U tvorby směsi karburátorem si postačím s příslušenstvím dodávaným k jednotlivě navrženým dílům palivového příslušenství. Ale u systému s vstřikováním je nutná řídicí jednotka. Tu lze použít komerčně dodávanou od výrobců příslušenství LPG. Se stávající řídicí jednotkou skútru může komunikovat přes rozhraní EOBD, kterým jsou moderní skútry vybaveny. K vytvoření vlastní řídicí jednotky pro LPG systém by mohla být použita firma zabývající se touto problematikou nebo by mohla být zadána jako závěrečná práce na fakultě mechatroniky. Měla by řídit uzavírání a otevírání přívodu benzínu a LPG, popřípadě řídit směs pomocí odměřovacího regulátoru plynu a lambda sondy.

9 Změna provozních parametrů

Při přestavbě na pohon pomocí LPG se změnila řada provozních parametrů skútru. V této kapitole jsou dopočítány změněné parametry.

9.1 Změna středního efektivního tlaku

U motoru spalující směs plynu a vzduchu zabírá určitou část náplně válce plyn. Tato část má větší objem než objem benzínu, proto dojde k nasátí menšího objemu čerstvého vzduchu. Množství nasátého vzduchu určuje množství kyslíku ve válci, které ovlivňuje velikost dosažitelné práce motoru. Pokles středního efektivního tlaku se dá odhadnout pomocí empirického vztahu (30) za předpokladu stejné účinnosti motoru a stechiometrické směsi.

$$\frac{p_{e-LPG}}{p_{e-Benzin}} = \frac{(L_{vt-Benzin} \cdot r_v + r_{Benzin}) \cdot H_{u-LPG} \cdot T_{SZ-Benzin}}{(L_{vt-LPG} \cdot r_v + r_{LPG}) \cdot H_{u-Benzin} \cdot T_{SZ-LPG}} \quad (30)$$

kde

p_{e-LPG}	střední efektivní tlak pro plyn [MPa]
$p_{e-Benzin}$	střední efektivní tlak pro benzín [MPa]
$L_{vt-Benzin} = 14,46$	stechiometrické množství vzduchu pro benzín [-]
$L_{vt-LPG} = 15,7$	stechiometrické množství vzduchu pro LPG [-]
$r_v = 287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	plynová konstanta vzduchu [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
$r_{Benzin} = 76 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	plynová konstanta Benzínu [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
$r_{LPG} = 168 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	plynová konstanta LPG [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
$H_{u-LPG} = 46,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	výhřevnost LPG [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]
$H_{u-Benzin} = 43,4 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	výhřevnost benzínu [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]
$T_{SZ-Benzin} = 325 \text{ K}$	teplota náplně válce na konci sání pro benzín [K]
$T_{SZ-LPG} = 335 \text{ K}$	teplota náplně válce na konci sání pro LPG [K]

pak

$$\frac{p_{e-LPG}}{p_{e-Benzin}} = \frac{(14,46 \cdot 287 + 76) \cdot 46,1 \cdot 325}{(15,7 \cdot 287 + 168) \cdot 43,4 \cdot 335} = 0,931$$

To znamená, že dojde k poklesu středního efektivního tlaku o přibližně 6,8 % při použití LPG místo benzínu jako paliva.

9.2 Výpočet spotřeby paliva

Při použití LPG jako paliva dojde ke změně spotřeby paliva. Velikost změny závisí na výhřevnosti paliva, hustotě paliva a účinnosti motoru. Pokud budu brát v úvahu stejnou účinnost motoru, můžu předpokládat stejnou energetickou náročnost provozu. Potom platí

$$E_{LPG} = E_{benzín} \quad (31)$$

kde

E_{LPG} energie pro provoz na LPG [J]

$E_{benzín}$ energie pro provoz na benzín [J]

Energie získaná z paliva se určí podle vztahu (32).

$$E = m_{pal} \cdot H_u \cdot \eta_C \quad (32)$$

kde

m_{pal} spotřeba paliva [kg]

H_u výhřevnost paliva [MJ · kg⁻¹]

η_C účinnost motoru [–]

Pak lze vyjádřit poměr spotřeby paliva jako

$$\frac{m_{pal-LPG}}{m_{pal-Benzín}} = \frac{H_{u-benzín}}{H_{u-LPG}} \quad (33)$$

kde

$H_{u-LPG} = 46,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ výhřevnost LPG [MJ · kg⁻¹]

$H_{u-Benzín} = 43,4 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ výhřevnost benzínu [MJ · kg⁻¹]

pak

$$\frac{m_{pal-LPG}}{m_{pal-Benzín}} = \frac{43,4}{46,1} = 0,94$$

Toto je hmotnostní rozdíl spotřeby paliva, ale pro určení ekonomie provozu a pro pochopení laické veřejnosti je důležité porovnání objemových spotřeb. U LPG počítám spotřebu kapalného paliva z nádrže.

$$\frac{V_{pal-LPG}}{V_{pal-Benzin}} = \frac{m_{pal-LPG}}{m_{pal-Benzin}} \cdot \frac{\rho_{LPG}}{\rho_{Benzin}} \quad (34)$$

kde

$$\frac{m_{pal-LPG}}{m_{pal-Benzin}} = 0,94 \quad \text{hmotnostní poměr spotřeb paliva [-]}$$

$$\rho_{LPG} = 540 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 \quad \text{hustota LPG v nádrži [kg} \cdot \text{m}^3 \text{]}$$

$$\rho_{Benzin} = 720 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 \quad \text{hustota benzínu [kg} \cdot \text{m}^3 \text{]}$$

pak

$$\frac{V_{pal-LPG}}{V_{pal-Benzin}} = 0,94 \cdot \frac{540}{720} = 0,705$$

Při přechodu na LPG dojde ke zvýšení objemové spotřeby paliva o 29,5%.

9.3 Přehled změn provozních parametrů

Přehled změn parametrů je pro lepší přehlednost zobrazen v tabulce.

Tab 14: Porovnání parametrů skútru před a po úpravě

	Původní	Po přestavbě
Výkon motoru	2,3 kW při 7 000 min ⁻¹	2,14 kW při 7 000 min ⁻¹
Objem nádrže		
Benzínové	5,4 dm ³	5,4 dm ³
LPG	-	5,38 dm ³
Provozní hmotnost	94 kg	110 kg
Spotřeba na 100 km		
Benzín	2,1 dm ³	2,1 dm ³
LPG	-	2,72 dm ³
Teoretický dojezd	257 km	455 km

Na změně parametrů je nejvyšší nárůst teoretického dojezdu skútru o 43%. Provozní hmotnost vzrostla o 17%. Hodnoty změny hmotností jsou vypočítány z modelu v programu Autodesk Inventor Profesional 2017.

10 Ekonomie provozu

Jako jeden z hlavních aspektů pro uskutečnění přestavby je ekonomie provozu skútru po přestavbě. V kapitole jsou popsány odhadované náklady na přestavbu s návratností.

Tab 15: Přehled nákladů na přestavbu

Přibližné ceny přestavby		
	Víceúčelový ventil	1.200 Kč
	Regulátor tlaku s odpařovačem	1.450 Kč
	Plnicí jednotka	300 Kč
	Uzavírací ventil benzínu	300 Kč
	Odměrovací regulátor plynu	80 Kč
	Směšovač	
	materiál	80 Kč
	technologie	80 Kč
	Nádrž	
	materiál	1.200 Kč
	technologie	240 Kč
	Držák nádrže	
	materiál	130 Kč
	technologie	350 Kč
	Montáž zařízení	1.000 Kč
	Celková cena	6.410 Kč

Ceny materiálů pro přestavbu jsou vzaty z katalogů výrobců. Orientační ceny technologií byly konzultovány s firmou KASPER KOVO s.r.o., kde byla cena odhadována pro sérii kolem deseti kusů nádrží. Ceny technologií obsahují sváření, stáčení, řezání laserem přípravné práce a konečné čištění. Všechny uvedené ceny jsou včetně DPH. Cena v tabulce je bez započítání zisku pro výrobce systému, pro odhad této marže by se musel udělat nějaký průzkum pro odhad kupní síly pro přestavbu.

Pokud budeme vycházet z vypočítané ceny přestavby, můžeme odhadnout návratnost. Ta vychází z ceny za ujetý kilometr pro LPG a benzín. Průměrná cena paliv je stanovena k datu 10. 5. 2017.

Tab 16: Návratnost přestavby na LPG pro Kentoya Zoom 50 4t

	LPG	Benzín
Cena paliva [$Kč \cdot dm^{-3}$]	13,9	30,77
Spotřeba [$dm^3 \cdot 100 km^{-1}$]	2,72	2,1
Měrná cena [$Kč \cdot km^{-1}$]	0,378	0,646
Návratnost [km]	23 918	-

10.1 Srovnání návratnosti pro více skútrů

K přestavbě na LPG je vhodná celá řada skútrů kromě zvoleného v diplomové práci. A hlavně s různými zdvihovými objemy proto je pro představu v další tabulce ukázána návratnost pro více skútrů s různými zdvihovými objemy.

Tab 17: Porovnání návratnosti pro více skútrů

	Zdvihový objem [cm^3]	Spotřeba [$dm^3 \cdot 100 km^{-1}$]		Měrná cena [$Kč \cdot km^{-1}$]		Návratnost [km]
		Benzín	LPG	Ben- zín	LPG	
Yamaha Majesty 125	124	3,15	4,08	0,97	0,57	15 936
Suzuki AN 200 Burgman	200	3,17	4,11	0,98	0,57	15 835
Suzuki AN 250 Burgman	249	3,6	4,66	1,11	0,65	13 944
Honda FJS 400 SilverWing	399	3,9	5,05	1,20	0,70	12 871
Suzuki AN 650 Burgman	638	5,1	6,60	1,57	0,92	9 843

Závěr

V úvodu práce jsem porovnal plynná paliva. LPG vyšla jako nejlepší volba pro přestavbu skútru. V další části práce jsem popsal palivové příslušenství jako celek a jednotlivé díly. V této části jsem se také rozhodl pro palivový systém vhodný pro přestavbu.

Před začátkem vypracování praktické části diplomové práce jsem musel zjistit legislativní omezení týkající se přestavby a pro inspiraci popsat některé uskutečněné přestavby motocyklů na LPG. Proto je pro mne velikým zjištěním, že přestavbu ať už skútru nebo motocyklu na území Evropské Unie nikdo ve velkém měřítku neprovádí. Existují pouze jednotlivé přestavby více nebo méně povedené, což může být jedním z důvodů proč česká ani evropská legislativa nijak neupřesňuje přestavby motocyklů na LPG. Proto jsem musel vycházet z předpisů pro schvalování přestaveb automobilů.

Jako první kapitola praktické části práce je navržení nádrže pro LPG. S tím byly spojeny velké problémy hlavně s omezeným prostorem skútru, ve kterém mohla být nádrž umístěna. Největším problémem bylo vytvořit poměrně malý a jednoduchý držák nádrže, který by ovšem splňoval určité předpoklady a musel odolat poměrně velkému zatížení. Nádrž i s držákem se mi podařilo, navrhnou i s určitou univerzálností. Další díly nového palivového příslušenství jsem vybral z katalogů výrobců, kromě směšovače. Směšovač jsem navrhl v jedné samostatné kapitole. Pro palivové příslušenství jsem popsal i alternativu s elektronickým řízením a vefukováním plynu do sání motoru.

V závěru práce jsou odhadnuty změny parametrů skútru po přestavbě. Zjistil jsem, že výkon klesl celkem málo, ale spotřeba LPG vůči benzínu dost vzrostla. Přes nárůst spotřeby LPG se stále provoz na toto palivo z ekonomického hlediska vyplatí. Tato ekonomická stránka přestavby je popsána na konci diplomové práce i s porovnáním pro více skútrů. Dalším důvodem pro přestavbu by mohlo být zvýšení dojezdu nebo snížení emisí skútru. Jako velká nevýhoda je zastavení takřka celého úložného prostoru skútru novým palivovým systémem. ale i tuto nevýhodu lze řešit např. dodatečnou montáží kufrů na skútr.

Použitá literatura

- [1] AMINE. *BMW K1200 running on LPG* [online]. : Blogger, 2011 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://bmwlp.blogspot.cz/>
- [2] *AutodeskClub* [online]. Praha: AUTODESKCLUB.CZ, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://autodeskclub.cz>
- [3] BENEŠ, Bohuslav. Průjezd motorky kolonou zákon neupravuje. In: *Český rozhlas* [online]. Praha, 2012 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/zelenavlna/motoporadna/_zprava/prujezd-motorky-kolonou-zakon-neupravuje--1066271
- [4] BEROUN, Stanislav. *Nízkoemisní plynové zážehové motory*. Liberec, 2001.
- [5] CATHCART, Alan. Liquefied Petroleum Gas-Powered Motorcycle Greenfly. In: *Motorcyclist* [online]. Harlan: Bonnier Corporation, 2009 [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: <http://www.motorcyclistonline.com/liquefied-petroleum-gas-powered-motorcycle-greenfly?image=1>
- [6] CNG stručně. *Cng4you* [online]. Praha: Český plynárenský svaz, 2011 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/vyhody-cng.html>
- [7] ČSN 690010: *Tlakové nádoby stabilní. Technická pravidla*. Praha: ČNI, 1993.
- [8] ČSN EN 10216: *Bezešvé ocelové trubky pro tlakové a zařízení*. . Praha: ČNI, 2003.
- [9] DUŠEK, Luděk. *Zpráva o aktualizaci a stavu Evidence čerpacích stanic pohonných hmot v ČR k 30. 6. 2016* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2016. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/55899/64170/657558/priloha001.pdf>
- [10] HALTINER, Simon. Gas geben!. In: *TÖFF-magazin* [online]. Zürich: TÖFF, 2009 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.toeff-magazin.ch/test/einzeltests/gas-geben-685.html>
- [11] HECO. *Klenuté dno, rovná hrana*. Remchingen, 2017. Dostupné také z: http://www.heco.de/download_area/index/getpdf/articlegroupid/2089/langid/3/heco-KB__-02089-cs.pdf
- [12] HOFFMAN, P. *Pevnostní výpočet tlakové nádoby podle ČSN 690010*. Praha, 2000. Dostupné také z: <http://users.fs.cvut.cz/pavel.hoffman/PREDMETY/ZSVZ/Vypocet%20tlakove%20nady%20podle%20CSN%20690010.pdf>
- [13] Jak se vyrábí automobil na zemní plyn. *CNG* [online]. Praha: innogy Energo, 2016 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/zajimavosti-136/>
- [14] Jukr. *Jukr* [online]. Copyright © 2017 JUKR s.r.o. [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: <http://lpg-teplice.cz/lpg/prestavba-na-lpg/popis-lpg-soupravy/>

- [15] Kentoya Zoom 50 4T. *Katalog motocyklů* [online]. Praha: HyperMedia, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://kentoya.katalog-motocyklu.cz/motocykl/kentoya-zoom-50-4t#!prettyPhoto>
- [16] Kentoya zoom galerie. *Kentoya club* [online]. Kentoya klub, 2001 [cit. 2017-05-1]. Dostupné z: http://cs.kentoya-club.com/gallery_detail.php?id=295
- [17] *KLOCKNER LPG GAS CONVERTER KIT* [online]. Dehradun: GasTech Electronic Products, GasTechElectronicProducts(P)Ltd. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://www.gastechproducts.com/gasconverter.html>
- [18] LAURIN, Josef. *Paliva: Plyná motorová paliva pro silniční vozidla v ČR* [online]. 2014, 6(3) [cit. 2017-05-09]. ISSN 1804-2058. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/download.php?id=122>
- [19] LAURIN, Josef. *POJ3-Plynové motory* [online]. Liberec, 2016
- [20] LAURIN, Josef. *Projekt úprav motoru VW ADF 1,8 pro možnost provozu na LPG*. Liberec, 2001. Projekt.
- [21] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 8073610337.
- [22] LPGTECH | TECH-DRAGON Solo. *LPGTECH* [online]. Copyright © All rights reserved. [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: <http://lpgtech.eu/offer/injector/tech-dragon-solo/>
- [23] LPG Zařízení | Fedor auto. [online]. Copyright © 2012 FEDOR AUTO s.r.o, webmaster [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: <http://www.fedorauto.cz/lpg-zarizeni>
- [24] MARKOWSKI, Robert. Akhurst 500 Greenfly - LPG na dwóch kołach. In: *Gazeo* [online]. : thebikergene, 2008 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://gazeo.pl/wiadomosci/Akhurst-500-Greenfly-LPG-na-dwoch-kolach,wiadomosc,174.html>
- [25] *Motorkáři* [online]. Praha: MOTOportal, ©2001-2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/>
- [26] MOTORRAD. So geht's: Autogas. In: *Motorrad* [online]. 2009, 2009(1) [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.motorradonline.de/schraubertipps/so-gehts-lpg-autogas-fuer-motorraeder.200187.html>
- [27] *NAŘÍZENÍ KOMISE V PŘENESENÉ PRAVOMOCI (EU) č. 134/2014: kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013, pokud jde o požadavky týkající se vlivu na životní prostředí a výkonnosti pohonné jednotky, a mění příloha V uvedeného nařízení*. In: . : , 2014, ročník 2014, číslo 234.
- [28] *Nerez Materiál* [online]. Tišnov: NerezMaterial.cz, 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.nerezmaterial.cz>

- [29] OUTOKUMPU. *Standard Cr-Ni-Mo Stainless Steels*. Avesta, 2016. Dostupné také z: https://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Standard_Cr-Ni-Mo_Stainless_Steels_Datasheet.pdf
- [30] *Předpis EHK č. 67: Jednotná ustanovení pro I. schvalování typu zvláštních zařízení motorových vozidel, která ve svém pohonném systému používají zkapalněné ropné plyny II. schvalování typu vozidel vybavených zvláštním zařízením pro použití zkapalněných ropných plynů v jejich pohonném systému s ohledem na zástavbu takového zařízení*. In: . : Úřední věstník Evropské unie, 2008, , EHK č.67.
- [31] Quality components for LPG and CNG automotive systems - Tomasetto Achille Spa. *Quality components for LPG and CNG automotive systems - Tomasetto Achille Spa* [online]. Dostupné z: <https://www.tomasetto.com/>
- [32] Redukce na tankování LPG a CNG do Evropy | Autogas Centrum Strakonice. *LPG a CNG montáž, servis a revize | Autogas Centrum Strakonice* [online]. Dostupné z: <http://www.lpg-autogascentrum.cz/redukce-do-evropy/>
- [33] ŠOFER, Michal. *Úvod do MKP: Napěťová analýza tenkostěnné tlakové nádoby*. Ostrava, 2011. Dostupné také z: <https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/330/.content/files/3.pdf>
- [34] VIALLE. VIALLE. *LPdi Catalogue*. Eindhoven, 2016. Dostupné také z: <https://use.zerniq.nl/upload/www.vialle.nl/downloads/LPdi-Catalogue-2017-no-prices.pdf>
- [35] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 8023916025.
- [36] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. Brno: František Vlk, 2004, 661 s. ISBN 80-239-1601-7.
- [37] *Vyhláška 341: o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích*. In: . Praha: , 2014, ročník 2014, číslo 341.
- [38] WOITSCH, Milan. *Zkušební metodika silničních vozidel: Pohon na zkapalněné ropné plyny*. Praha, 2009.
- [39] *Zákon č. 56/2001 Sb.: Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb*. In: . Praha: , 2001, , číslo 56.

Seznam příloh

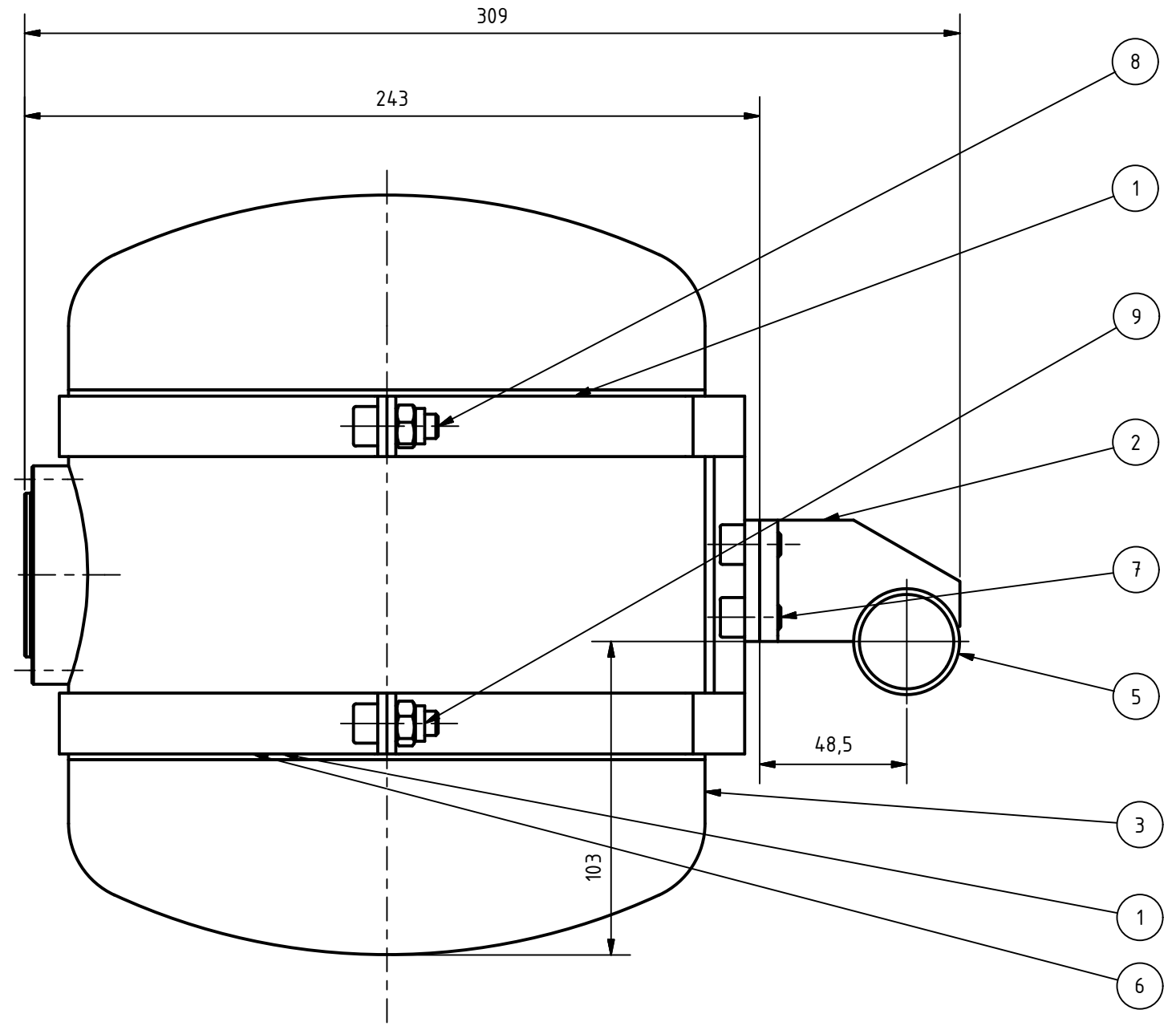
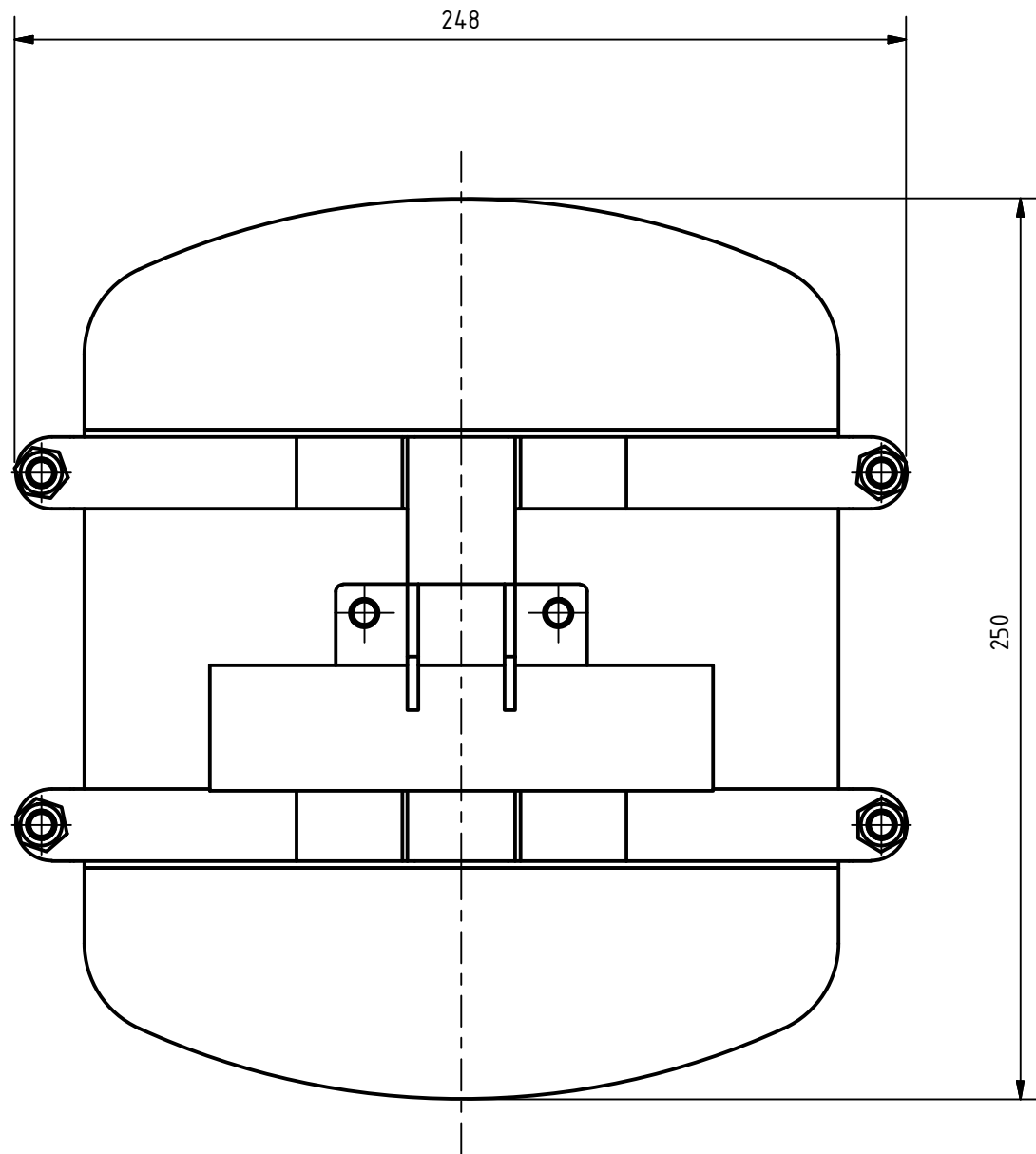
- I. Technická dokumentace ... 13 listů
- II. Příloha na CD/DVD

Obsah CD/DVD

Příložené CD/DVD obsahuje tuto práci a technickou dokumentaci v elektronické podobě.

Popis jednotlivých souborů:

- Diplomová práce.pdf
- 1-hlavní sestava.pdf
- 2-držák nádrže.pdf
- 3-držák pevný.pdf
- 4-držák.pdf
- 5-pás volný.pdf
- 6-příruba.pdf
- 7-pás pevný.pdf
- 8-výztuha.pdf
- 9-příruba se závitem.pdf
- 10-vzpěra.pdf
- 11-obvod.pdf
- 12-příruba nádrže.pdf
- 13-směšovač.pdf

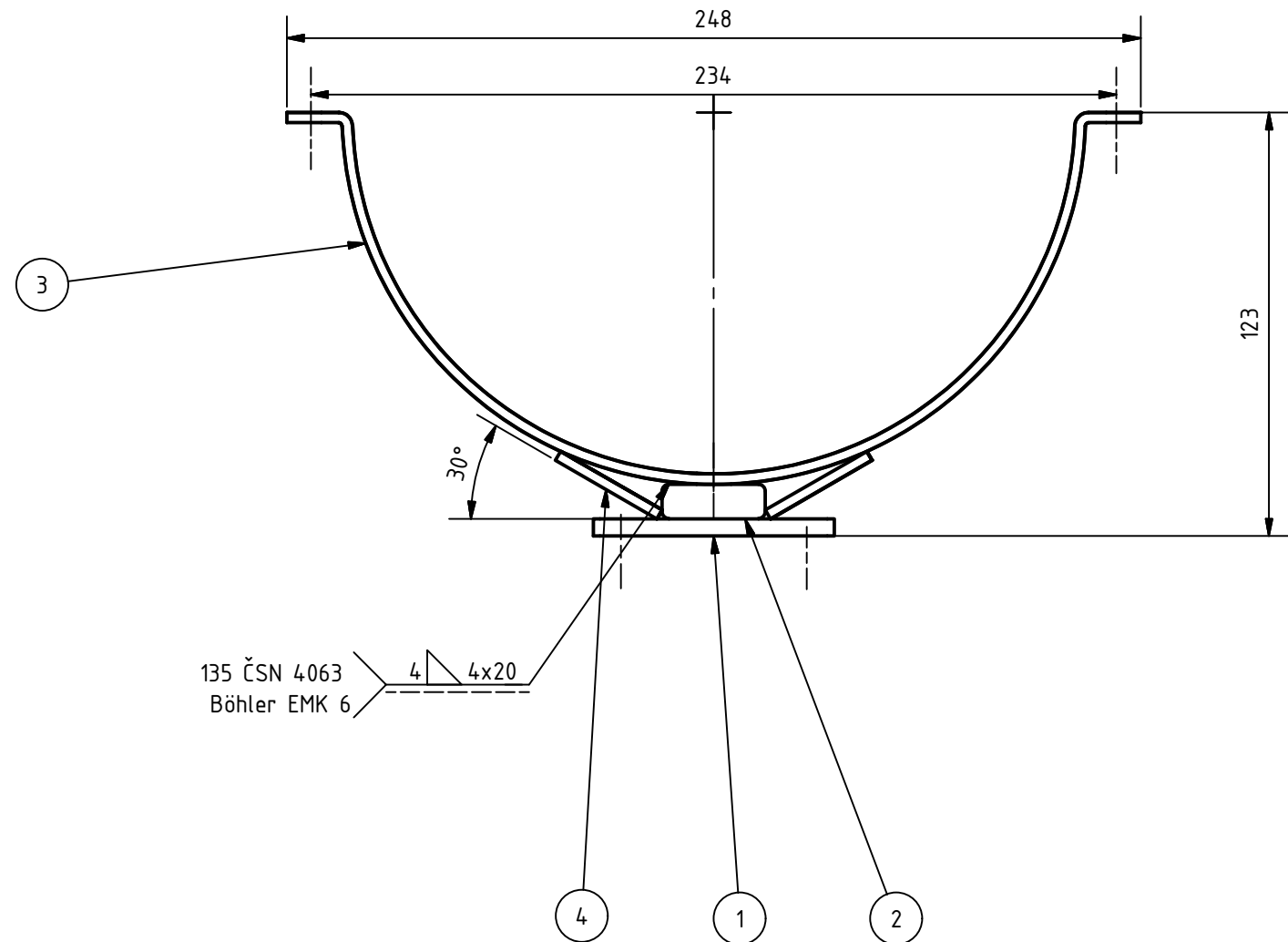
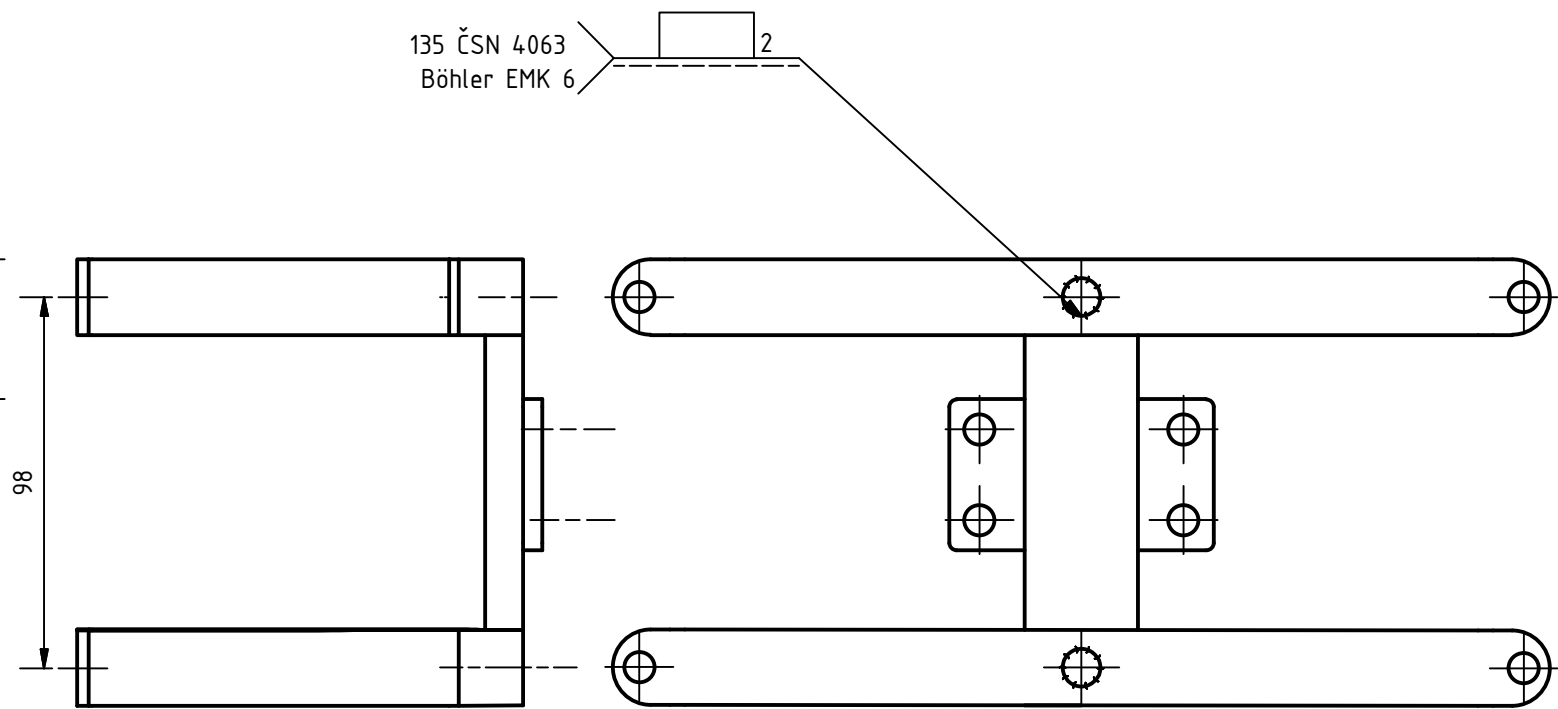
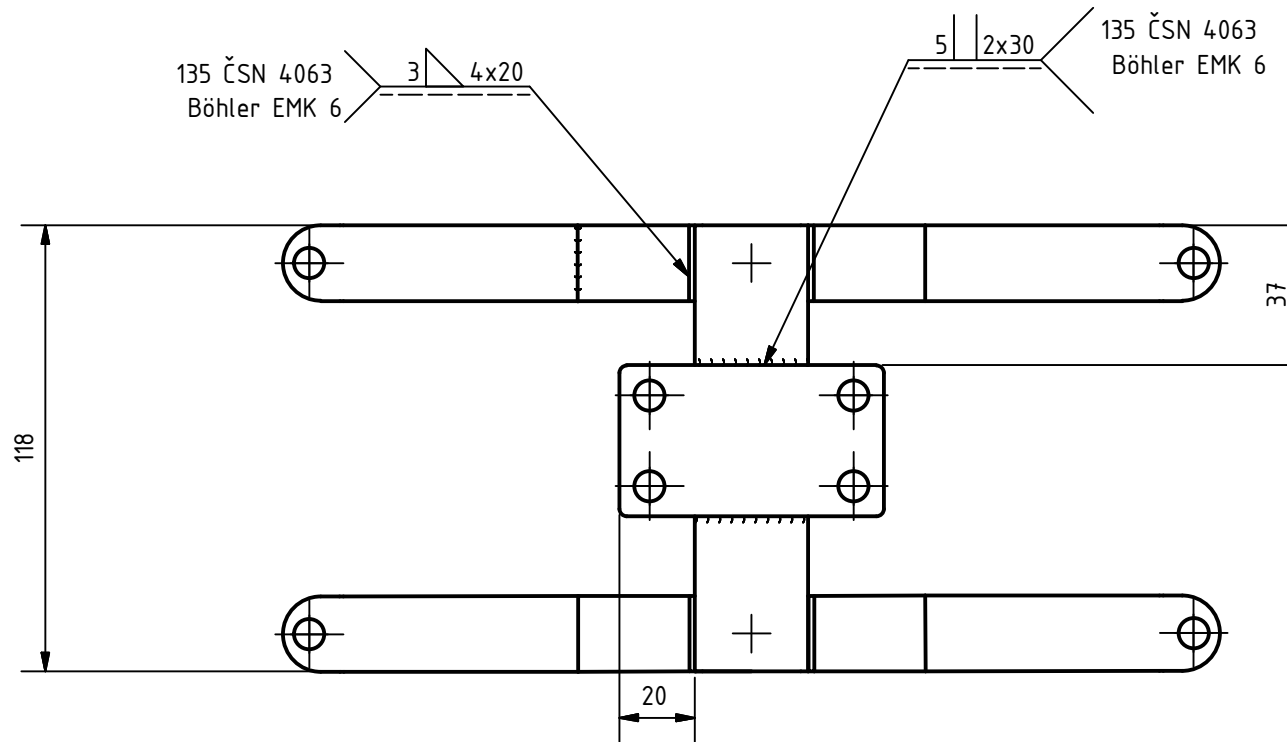


8	CSN 02 1143 - M8 x 20		ČSN 12 040		4
7	CSN 02 1143 - M8 x 12		ČSN 12 040		4
9	ISO 7040 - M8				4
6	Pás volný	TYČ PLOCHÁ 20 X 3 - 355 ČSN 42 5522.01	ČSN 11 373		1
5	Rám skútru				1
3	Nádrž			3 - KVM - 1 - 3	1
2	Držák nádrže - pevný			3 - KVM - 1 - 2	1
1	Držák nádrže			3 - KVM - 1 - 1	1
ODK	NÁZEV	POLOTOVAR	MATERIÁL	VÝKRES	KS
		KUSOVNÍK			

Změna		Datum	Index	Podpisy
Měřítka	Pozn.	Navrhl		
1 : 2		Kreslil		Ondřej Dufek
Č.seznamu		Přezkoušel		
Č.sestavy		Technolog		
Starý výkr.		Normaliz.		
Nový výkr.		Schválil		
		Datum	7.5.2017	

Mater.	Č. hm.	kg	Tř. odp.	Hr. hm.	kg

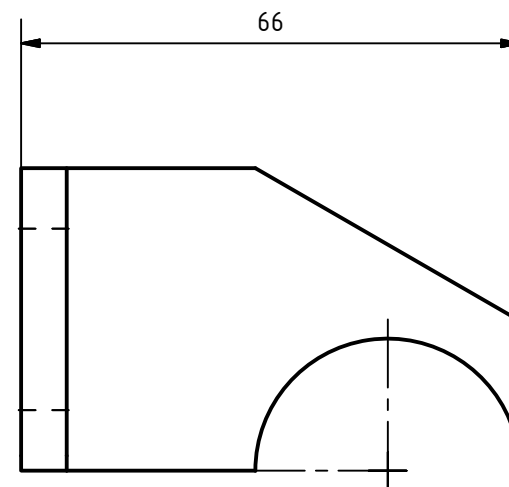
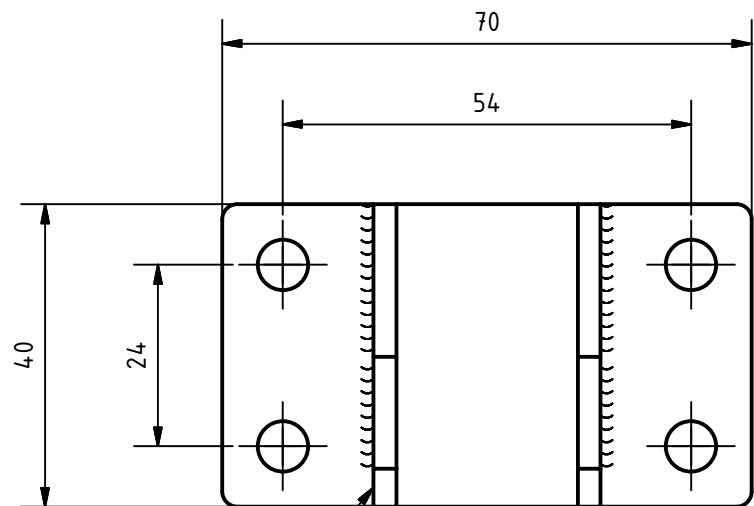
PŘESNOST ISO 2768-mK	
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
PROMÍTÁNÍ	
TU v Liberci	
Celková sestava	
Název	
Typ	
Čís.výkresu	3 - KVM - 1



4	Výztuha	TYČ PLOCHÁ 20 X 3 - 30 ČSN 42 5522.01	ČSN 11 373.0	4 - KVM - 1 - 1 - 4	1
3	Pás pevný	TYČ PLOCHÁ 20 X 3 - 355 ČSN 42 5522.01	ČSN 11 373.0	3 - KVM - 1 - 1 - 3	2
2	Tyč plochá 30x10x122	TYČ PLOCHÁ 30 X 10 - 122 ČSN 42 5522.01	ČSN 11 373.0		1
1	Příruba	TYČ PLOCHÁ 70 X 6 - 40 ČSN 42 5522.01	ČSN 11 373.0	4 - KVM - 1 - 1 - 1	1
ODK	NÁZEV	POLOTOVAR	MATERIÁL	VÝKRES	KS

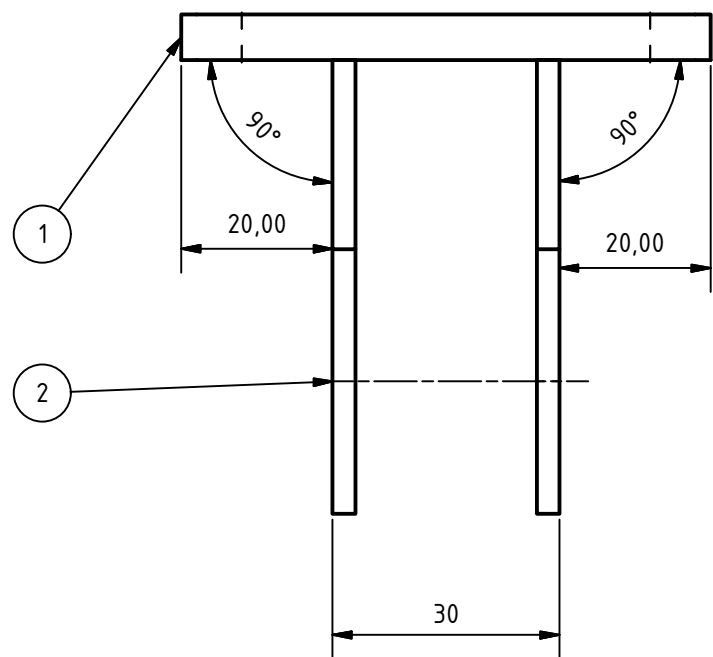
KUSOVNÍK					
Rozm.-Polot.					PŘESNOST ISO 2768-mk
		c)		Mater.	Tř. odp.
		b)		Č. hm.	kg Hr. hm. kg
		a)			TOLEROVÁNÍ ISO 8015
					PROMÍTÁNÍ
Změna		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci Držák nádrže
Měřítko	Pozn.	Navrhl		Název	
1 : 2		Kreslil	Ondřej Dufek	Typ	
Č.seznamu		Přezkoušel		Čís.výkresu	
Č.sestavy		Technolog			
Starý výkr.		Normaliz.			
Nový výkr.		Schválil			
		Datum	7.5.2017		

3 - KVM - 1 - 1




ČSN 135 4063
Böhler EMK 6

5 2x40



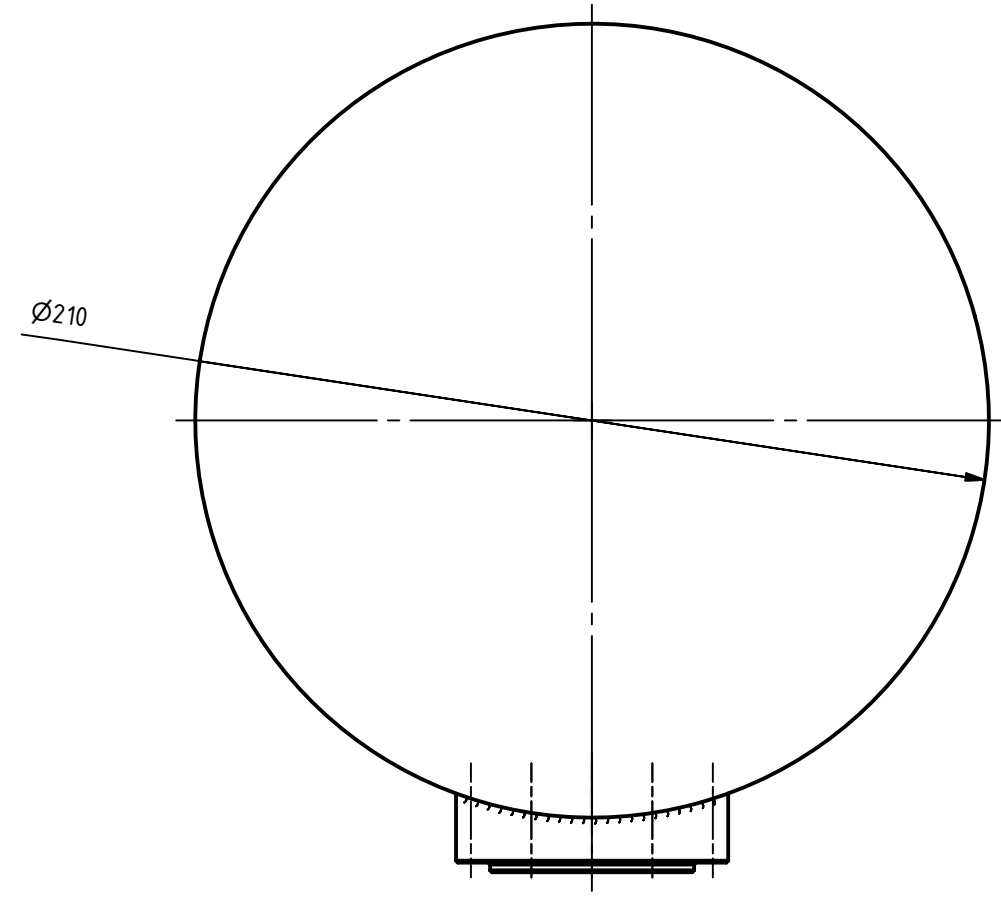
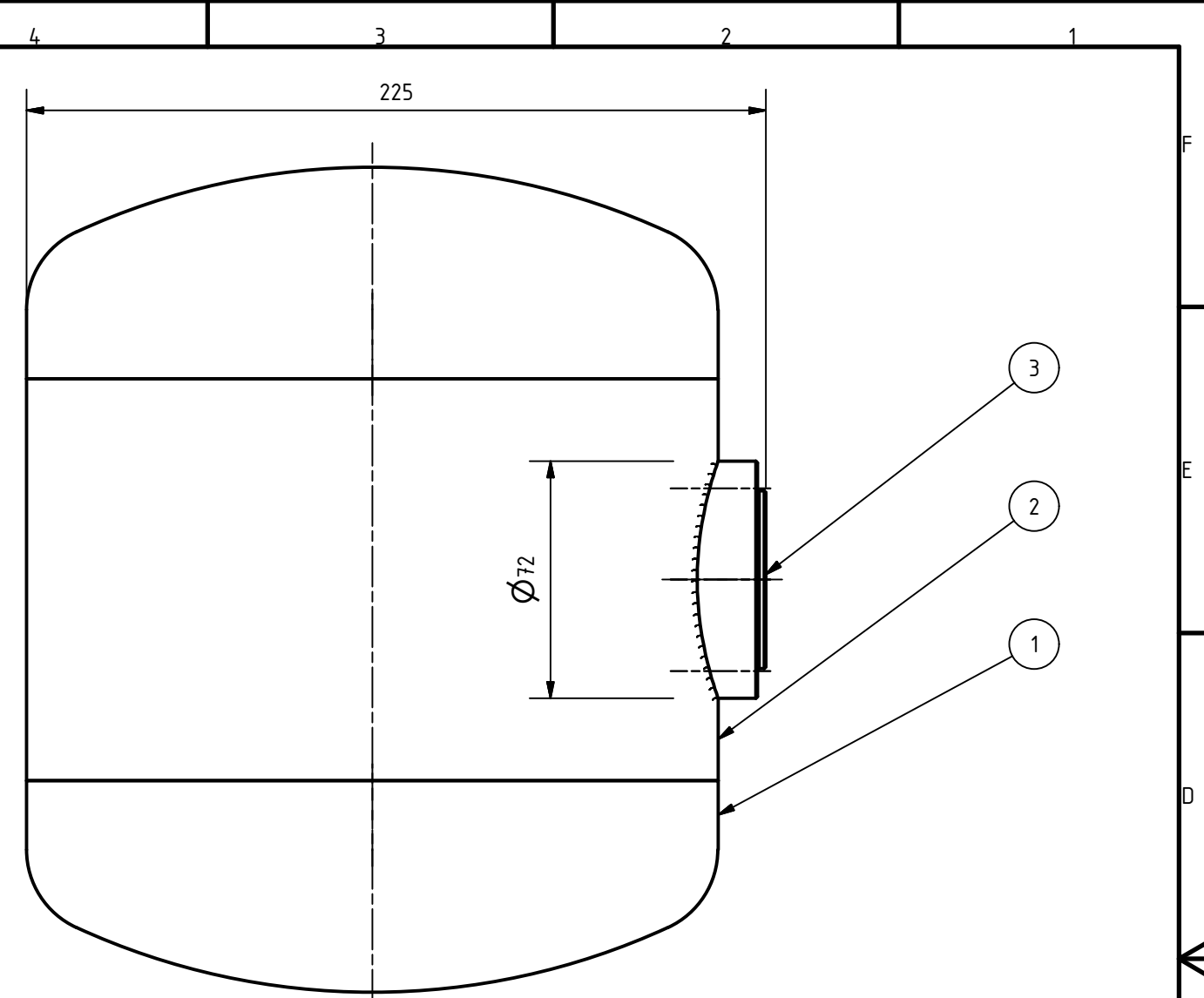
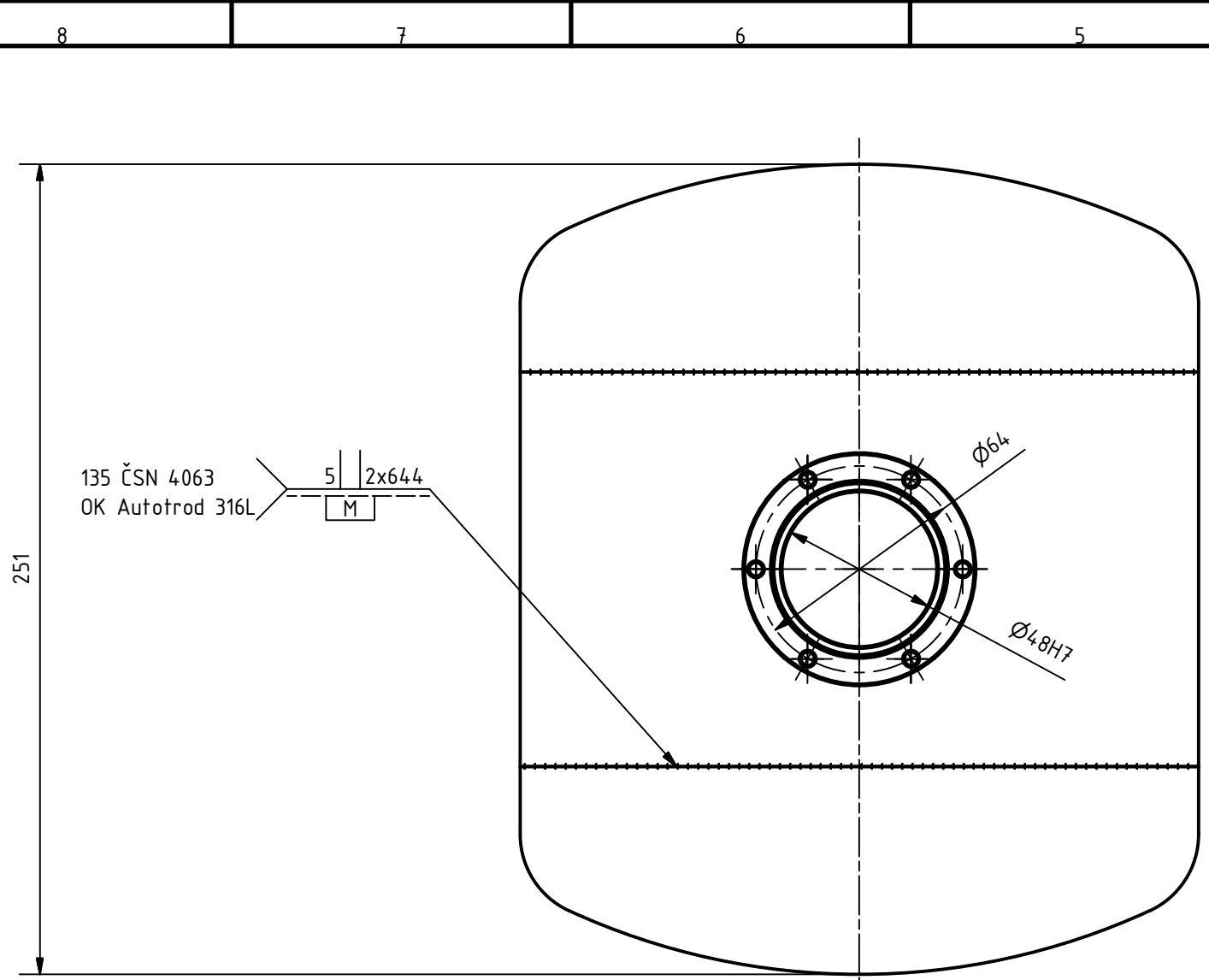
2	Vzpěra	TYČ PLOCHÁ 60 X 3 - 40 ČSN 42 5522.01	ČSN 11 373 .0	4 - KVM - 1 - 2 -2	2
1	Příruba se závitem	TYČ PLOCHÁ 70 X 6 - 40 ČSN 42 5522.01	ČSN 11 373 .0	4 - KVM - 1 - 2 -1	1
ODK	NÁZEV	POLOTOVAR	MATERIÁL	VÝKRES	KS

KUSOVNÍK

Rozm.-Polot.						PŘESNOST ISO 2768-mK		
		c)		Mater.	Tř. odp.	TOLEROVÁNÍ ISO 8015		
		b)		Č. hm. 0,199 kg	Hr. hm. kg	PROMÍTÁNÍ		
		a)		 TU v Liberci Držák pevný				
Měřítko	Pozn.	Navrhl	Index				Podpisy	Název
1 : 1		Kreslil	Ondřej Dufek					Typ
Č.seznamu		Přezkoušel						Čís.výkresu
Č.sestavy		Technolog						
Starý výkr.		Normaliz.						
Nový výkr.		Schválil						
		Datum	13.5.2017					

3 - KVM - 1 - 2

List



PROVÉST TLAKOVOU ZKOUŠKU DLE PŘEDPISU EHK č.67

3	Příruba nádrže	Ø 75 X 60 DIN 671	W.-Nr.1.4404	3 - KVM - 1 - 3 - 3	1
2	Obvod	PLECH 5 X 122 X 640 ČSN 42 5315	W.-Nr.1.4404	3 - KVM - 1 - 3 - 2	1
1	KB-210-P50	210 X 5 P50 DIN 28001	W.-Nr.1.4404		2
ODK	NÁZEV	POLOTOVAR	MATERIÁL	VÝKRES	KS

KUSOVNÍK				PŘESNOST ISO 2768-mK	
Rozm.-Polot.				TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		c)	Mater.	Tř. odp.	
		b)	Č. hm.	7,905 kg	Hr. hm.
		a)			kg
				PROMÍTÁNÍ	

Změna		Datum	Index	Podpisy
Měřítko	Pozn.	Navrhl		
1 : 2		Kreslil	Ondřej Dufek	
		Přezkoušel		
Č.seznamu		Technolog		
Č.sestavy		Normaliz.		
Starý výkr.		Schválil		
Nový výkr.		Datum	13.5.2017	

TU v Liberci

Nádrž

3 - KVM - 1 - 3

List

8 7 6 5 4 3 2 1

F

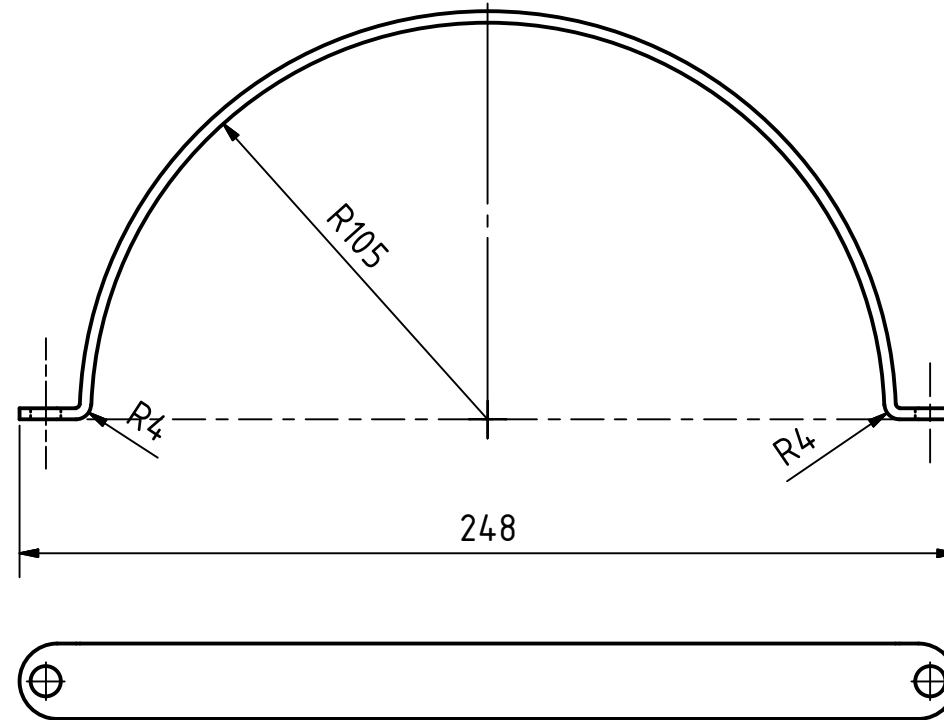
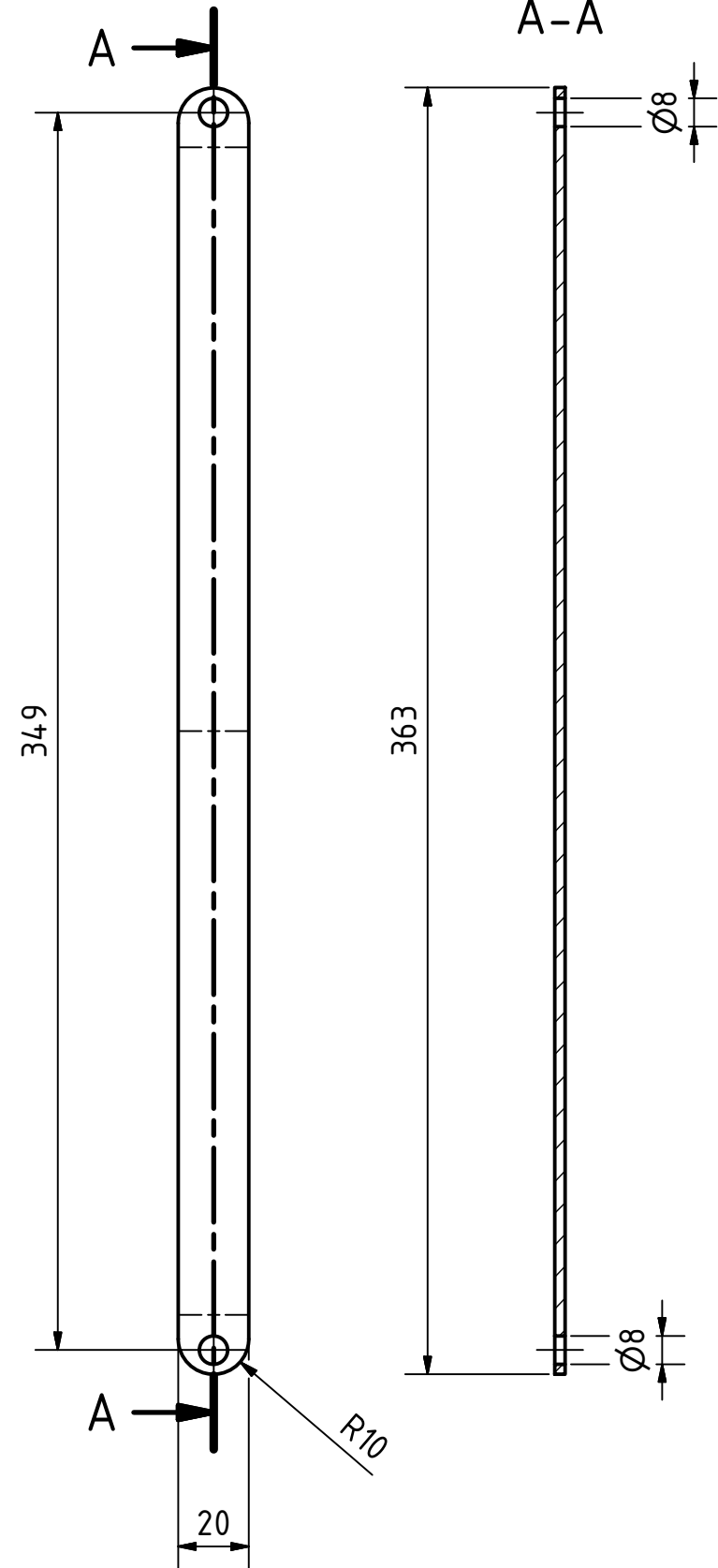
E

D

C

B

A



Rozm.-Polot.		TYČ PLOCHA 20 X 3 - 365 ČSN 42 5522.01				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.		ČSN 11 373.0 Tr. odp. 002	
		b)		Č. hm. 0,167 kg		Hr. hm. kg TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		a)		PROMÍTÁNÍ			
Změna		Datum		Index		Podpisy	
Měřítka	Pozn.	Navrhl		Kreslil		Ondřej Dufek	
1 : 2		Přezkoušel		Technolog		Název	
Č.seznamu		Normaliz.		Schválil		Typ	
Č.sestavy		Datum		13.5.2017		Čís.výkresu	
Starý výkr.						3 - KVM - 1 - 6	
Nový výkr.						List	

TU v Liberci

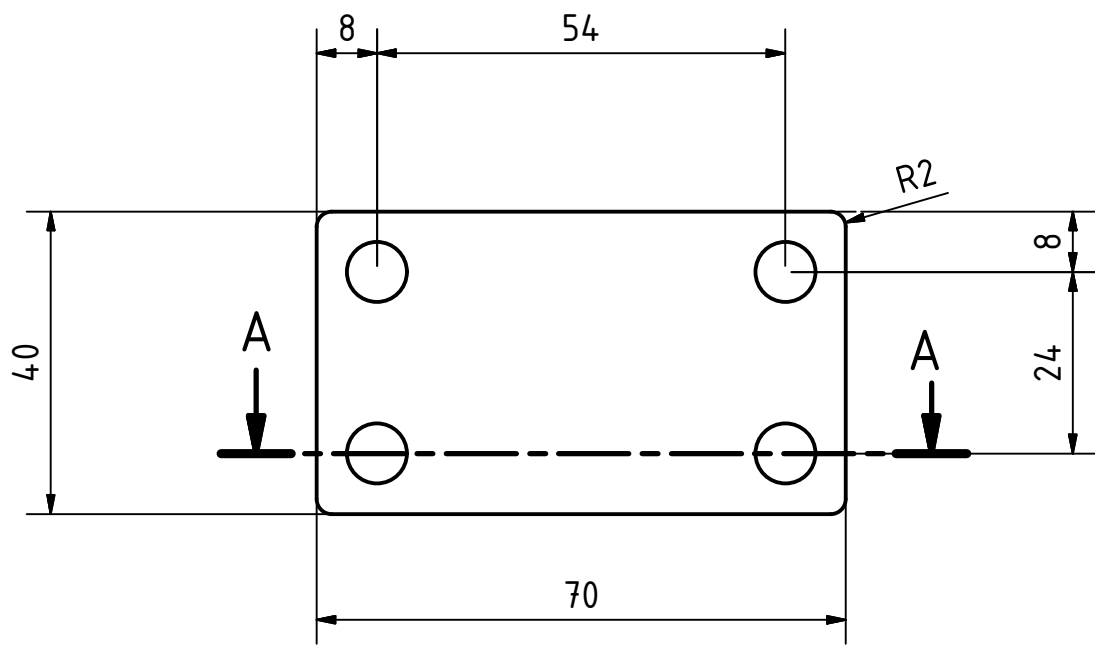
Pás volný

3 - KVM - 1 - 6

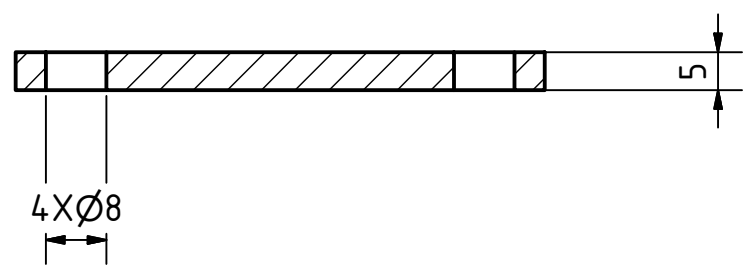
List

4 3 2 1

F F



A-A



D D

C C

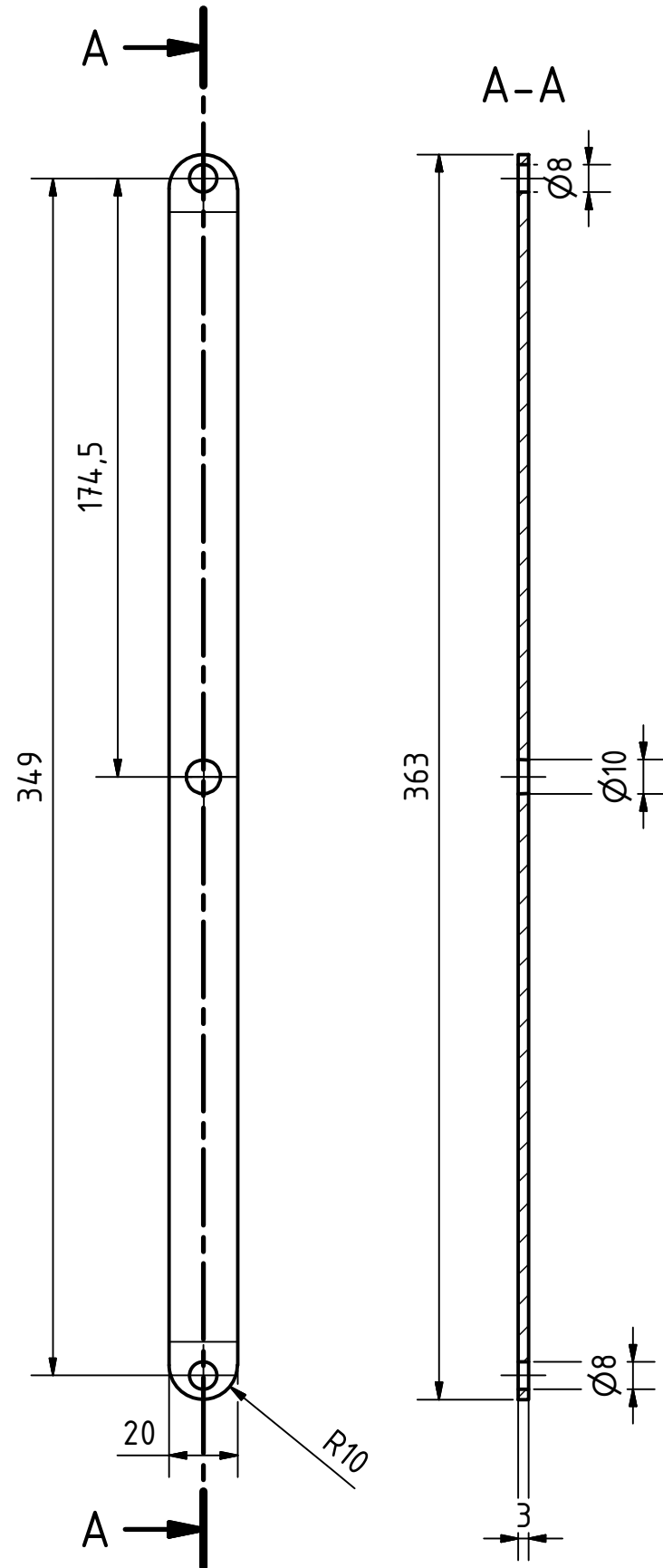
B B



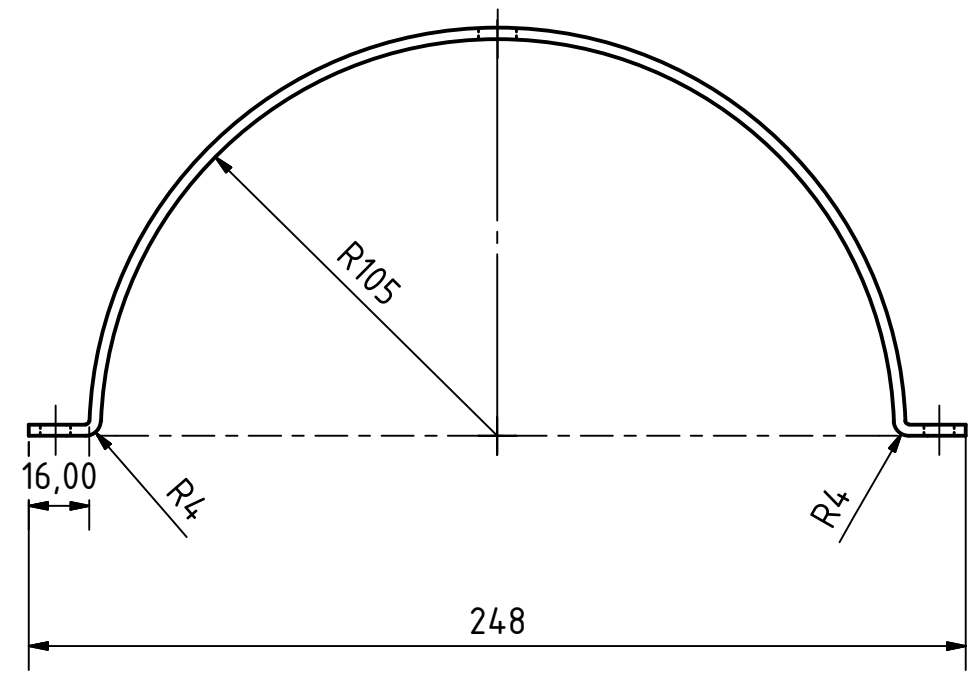
Rozm.-Polot.	TYČ PLOCHÁ 70 X 6 - 40 ČSN 42 5522.01				PŘESNOST ISO 2768-mK			
		c)		Mater.	ČSN 11 373.0	Tř. odp.	002	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
		b)		Č. hm.	0,102 kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ
		a)						
Změna	Datum	Index	Podpisy					
Měřítko	Pozn.	Navrhl		NÁZEV Příruba				
1 : 1		Kreslil	Ondřej Dufek					
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ Čís.výkresu				
Č.sestavy		Technolog						
Starý výkr.		Normaliz.		4 - KVM - 1 - 1 - 1 List				
Nový výkr.		Schválil						
		Datum	13.5.2017					

A A

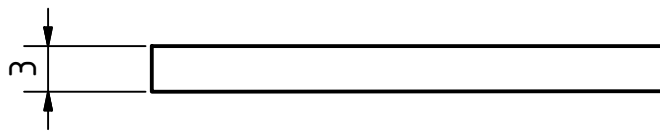
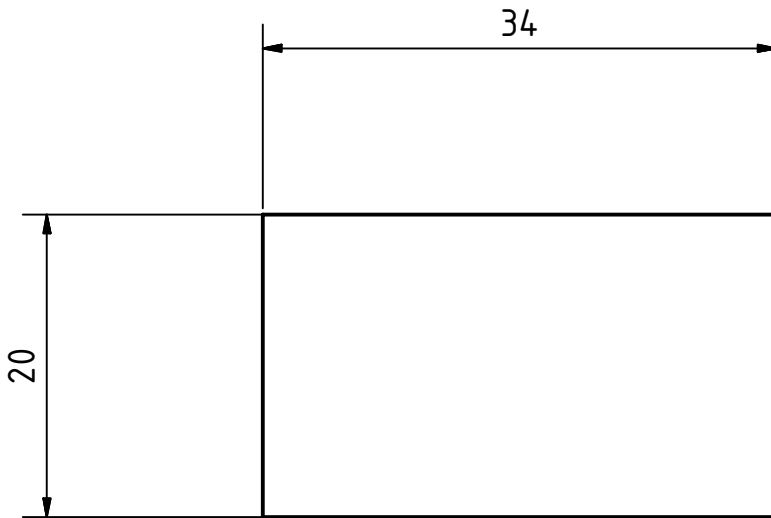
4 3 2 1



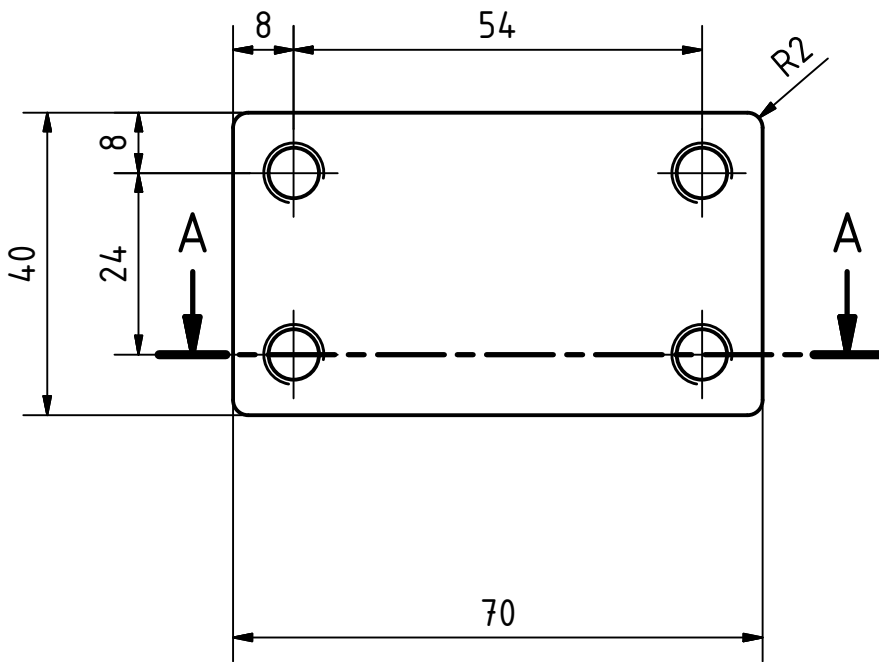
ROZVINUTÝ TVAR



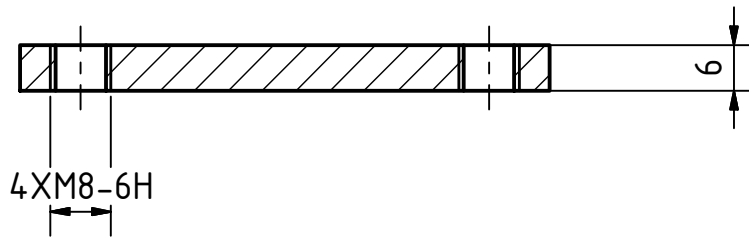
Rozm.-Polot.		TYČ PLOCHÁ 20 X 3 - 365 ČSN 42 5522,01				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	ČSN 11 373.0	Tř. odp.	002
		b)		Č. hm.	0,165 kg	Hr. hm.	kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
				PROMÍTÁNÍ			
Změna		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci Pás pevný Typ Čís.výkresu 3 - KVM - 1 - 1 - 3 List		
Měřítko	Pozn.	Navrhl					
1 : 2		Kreslil	Ondřej Dufek				
Č.seznamu		Přezkoušel					
Č.sestavy		Technolog					
Starý výkr.		Normaliz.					
Nový výkr.		Schválil					
		Datum	13.5.2017				



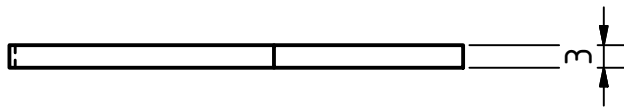
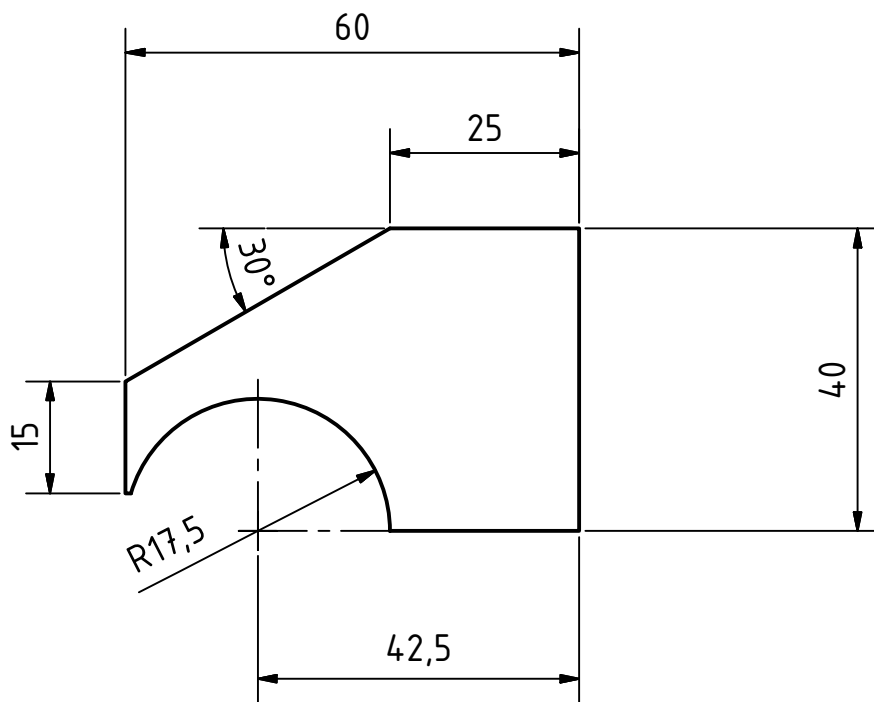
Rozm.-Polot.		60x3 ČSN 425310.1			PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	ČSN 11 373.0	Tř. odp. 002
		b)		Č. hm.	0,016 kg	Hr. hm. kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015		
Změna		Datum	Index	PROMÍTÁNÍ		
Měřítko	Pozn.	Navrhl	Podpisy	TU v Liberci Výztuha		
2 : 1		Kreslil	Ondřej Dufek			
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ		
Č.sestavy		Technolog		Čís.výkresu		
Starý výkr.		Normaliz.		4 - KVM - 1 - 1 - 4		
Nový výkr.		Schválil		List		
		Datum	13.5.2017			



A-A

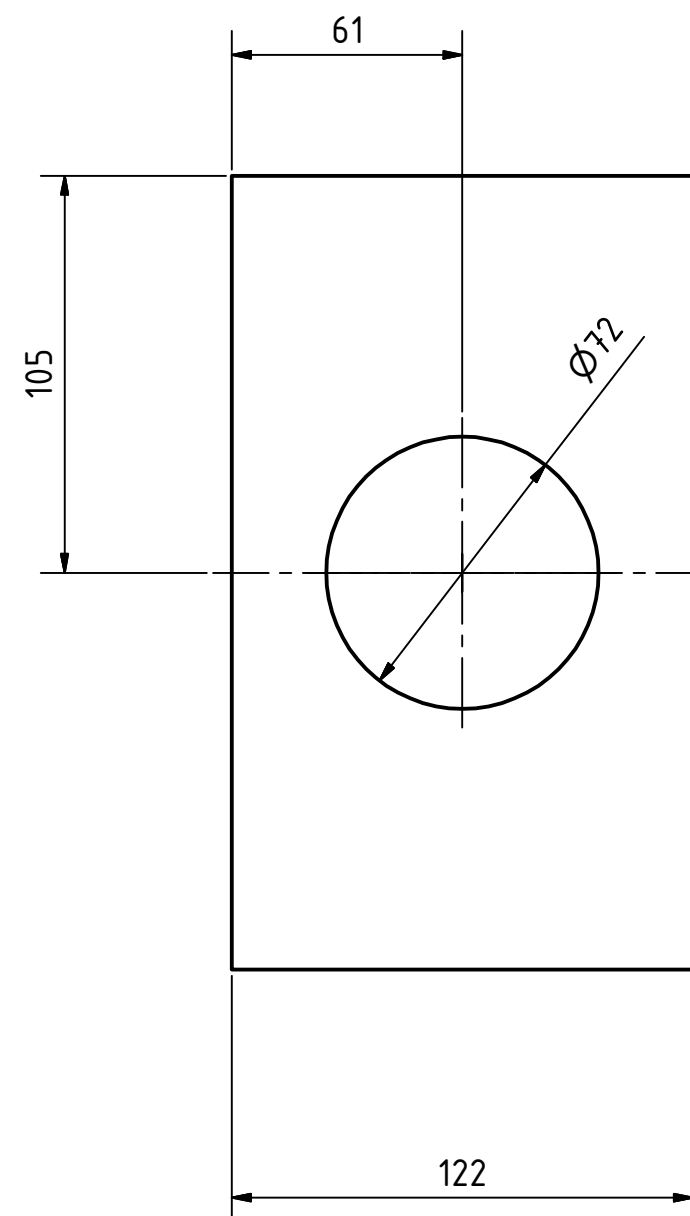
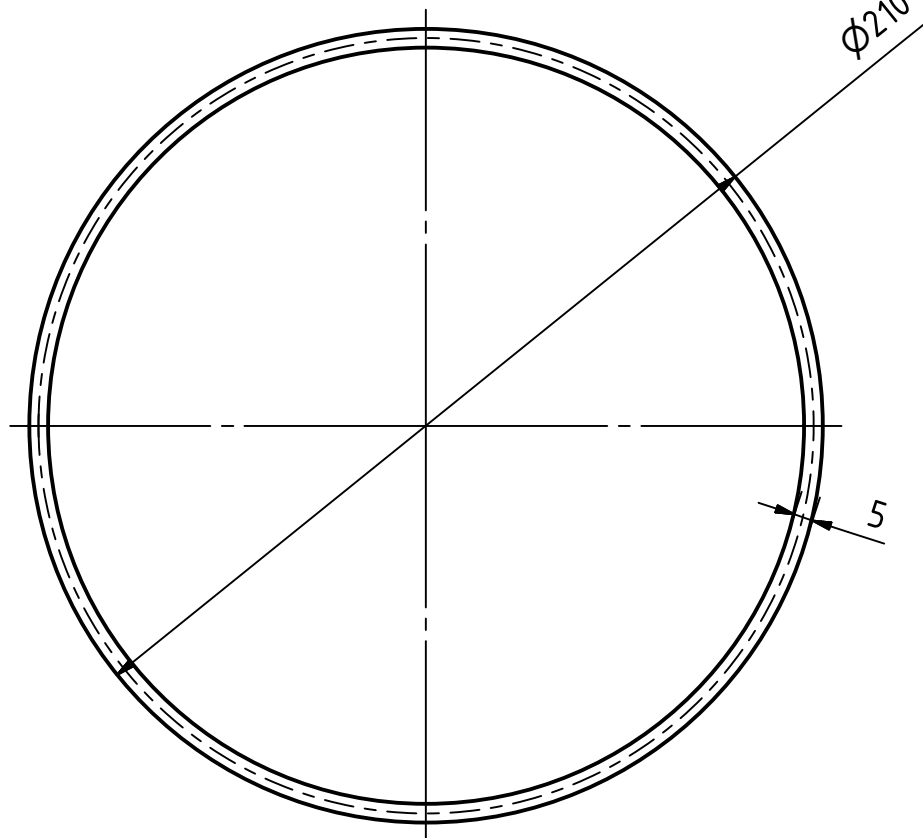
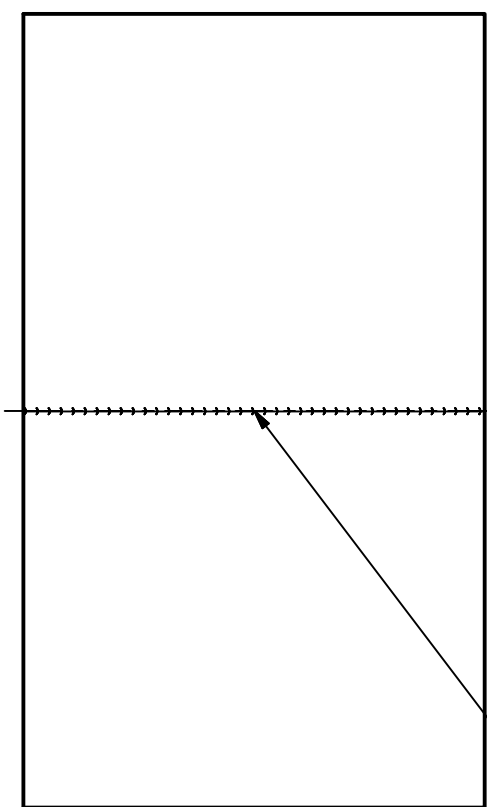


Rozm.-Polot.		TYČ PLOCHÁ 70 X 6 - 40 ČSN 42 5522.01				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	ČSN 11 373.0	Tř. odp.	002
		b)		Č. hm.	0,125 kg	Hr. hm.	kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
Změna		Datum	Index	Podpisy	PROMÍTÁNÍ		
Měřítko	Pozn.	Navrhl					
1 : 1		Kreslil	Ondřej Dufek				
Č.seznamu		Přezkoušel			Typ		
Č.sestavy		Technolog			Čís.výkresu		
Starý výkr.		Normaliz.			4 - KVM - 1 - 2 - 1 List		
Nový výkr.		Schválil					
		Datum	13.5.2017				



Rozm.-Polot.		60x3 ČSN 425310.1				PŘESNOST ISO 2768-mK				
		c)	Mater.	ČSN 11 373.0	Tř. odp.	002	TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
		b)	Č. hm.	0,037 kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ			
		a)								
Změna		Datum						Index	Podpisy	
Měřítko	Pozn.	Navrhl						Ondřej Dufek		Název
1 : 1		Kreslil								Vzpěra
Č.seznamu		Technolog			Typ					
Č.sestavy		Normaliz.			Čís.výkresu					
Starý výkr.		Schválil								
Nový výkr.		Datum	13.5.2017							

4 - KVM - 1 - 2 - 2 List

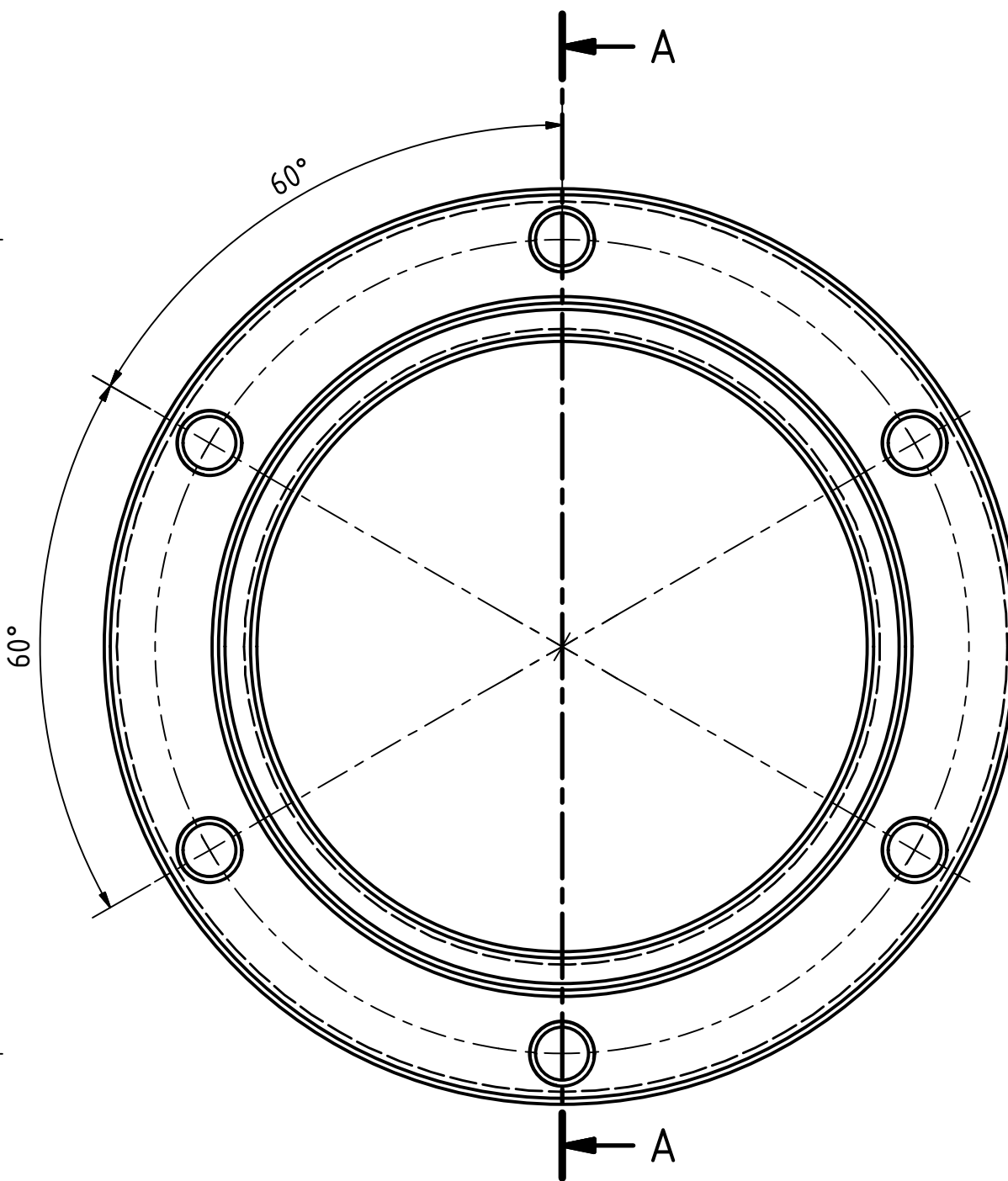
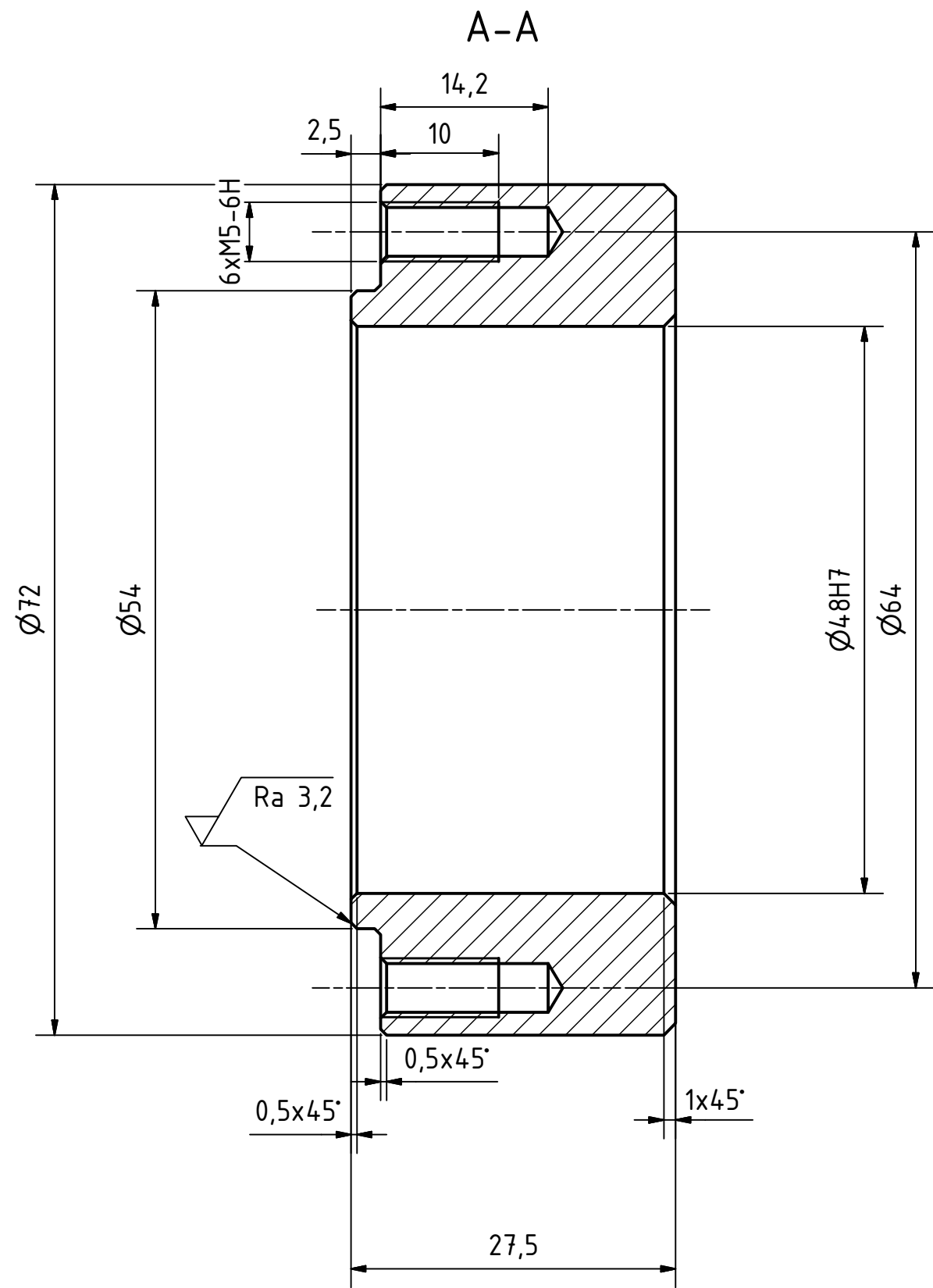


5 | 135 ČSN 4063
 M | OK Autotrod 316L



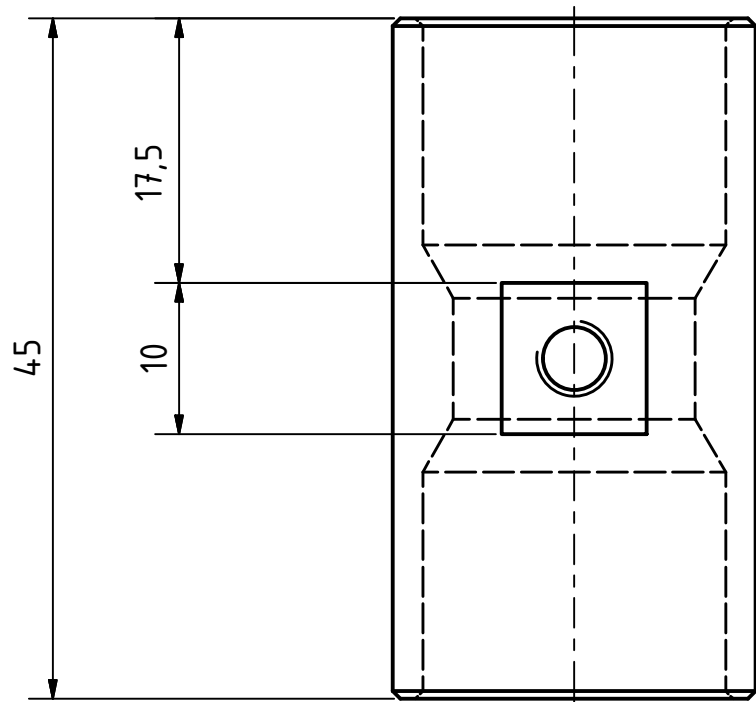
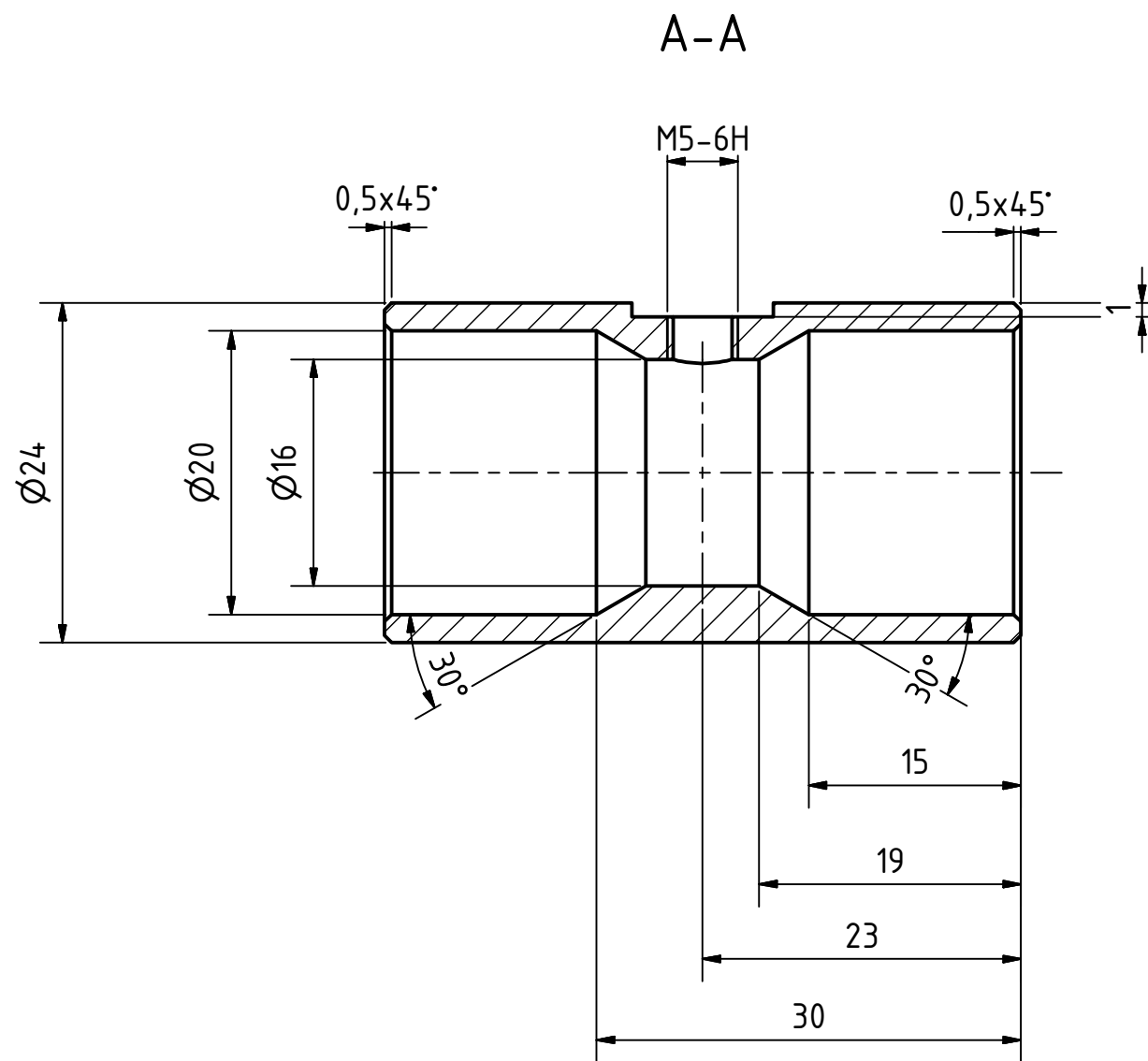
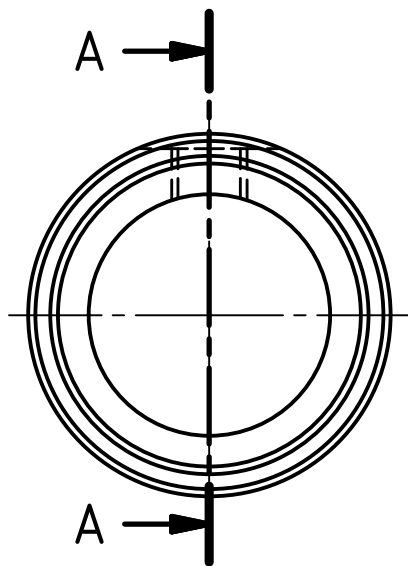
ROZVINUTÁ DÉLKA 640mm

Rozm.-Polot.		PLECH 5 X 122 X 640 ČSN 42 5315				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	W.-Nr.14404	Tř. odp.	075
		b)		Č. hm.	2,977 kg	Hr. hm.	kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
				PROMÍTÁNÍ			
Změna		Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci		
Měřítko	Pozn.	Navrhl					
1 : 2		Kreslil	Ondřej Dufek		Název		
		Přezkoušel			Obvod		
Č.seznamu		Technolog			Typ		
Č.sestavy		Normaliz.			Čís.výkresu		
Starý výkr.		Schválil			3 - KVM - 1 - 3 - 2 List		
Nový výkr.		Datum	13.5.2017				



$\sqrt{Ra\ 6,3}$ ($\sqrt{Ra\ 3,2}$)

Rozm.-Polot.		Ø 75 X 60 DIN 671		PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	W.-Nr.14404 Tř. odp. 075
		b)		Č. hm.	0,451 kg Hr. hm. kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
				PROMÍTÁNÍ	
Změna		Datum	Index	Podpisy	
Měřítko	Pozn.	Navrhl			
2 : 1		Kreslil	Ondřej Dufek		
Č.seznamu		Přezkoušel			
Č.sestavy		Technolog			
Starý výkr.		Normaliz.			
Nový výkr.		Schválil			
		Datum	13.5.2017		
				Název Příklad Nádrže	
				Typ Čís.výkresu	
				3 - KVM - 1 - 3 - 3	
				Liš 3	



√ Ra 6.4

Rozm.-Polot.	Ø 25 ČSN EN 754-1			PŘESNOST	ISO 2768-mK
		c)		Mater.	EN AW-2030 T3 Tř. odp.
		b)		Č. hm.	0,020 kg Hr. hm. kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
				PROMÍTÁNÍ	
Změna		Datum	Index	TU v Liberci	
Měřítko	Pozn.	Navrhl	Podpisy		
2 : 1		Kreslil	Ondřej Dufek	Směšovač	
Č.seznamu		Přezkoušel			
Č.sestavy		Technolog		Typ	
Starý výkr.		Normaliz.		Čís.výkresu	
Nový výkr.		Schválil		3 - KVM - 2	
		Datum	10.5.2017	List	