

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ A KOLEJOVÝCH VOZIDEL

**MOŽNOSTI MĚŘENÍ EMISÍ OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ
V REÁLNÉM PROVOZU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

ŠIMON SCHREIBER

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora: Šimon

Příjmení autora: Schreiber

Název práce česky: Možnosti měření emisí osobních automobilů v reálném provozu

Název práce anglicky: Possibilities for measurements of emissions from passenger cars under real-world operation conditions

Rozsah práce: počet stran: 56
počet obrázků: 31
počet tabulek: 5
počet příloh: 1

Akademický rok:2015/2016

Jazyk práce:český

Ústav: Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program:TZSI

Vedoucí práce:Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.

Oponent:

Konzultant práce: Ing. Vojtěch Klír, Ph.D

Zadavatel:Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.

ANOTACE

Předkládaná bakalářská práce se zabývá možnostmi měření emisí osobních automobilů a homologačními testy pro nové modely. Úvodní pasáž práce je věnována dnes platné legislativě pro měření emisí. Práce se věnuje i zkušebním jízdám a hodnotí výhody a nevýhody laboratorního měření. Druhá část práce pojednává o měření emisí v reálném provozu, principu PEMS a připravované legislativě pro zkoušení emisí v reálném provozu. Praktická část obsahuje návrh univerzálně použitelného nosiče PEMS. Návrh obsahuje konstrukční řešení, použití materiálu a pevnostní výpočty.

KLÍČOVÁ SLOVA

Emisní limity, homologační zkoušky, testovací jízdny cykly, PEMS

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with possibilities for measurements of emissions and new cars type approval. The further part of thesis describes actual legislation for measurement of emissions. Thesis talks about test driving cycles and evaluate pros and cons of laboratory measurement. Second part deals with measurements of emissions under real-world operation conditions, principles of PEMS and legislation for measurements of emissions under real-life operation conditions. Practical part of thesis contains design solution of universal PEMS carrier.

KEYWORDS

Emission limits, Approval tests, Test driving cycles, PEMS

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Vojtěchu Klírovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	10
1 PROBLEMATIKA ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ.....	11
1.1 EMISE V DOPRAVĚ.....	11
2 EVROPSKÉ EMISNÍ LIMITY	12
2.1 NORMA EURO	12
2.2 HOMOLOGAČNÍ MĚŘENÍ.....	13
2.2.1 ZKOUŠKA TYPU I (SIMULACE PRŮMĚRNÝCH EMISÍ Z PO STUDENÉM STARTU)	13
2.2.2 ZKOUŠKA TYPU II (ZKOUŠKA EMISÍ OXIDU UHELNATÉHO ZA VOLNOBĚHU)	14
2.2.3 ZKOUŠKA TYPU III (OVĚŘENÍ EMISÍ PLYNŮ Z KLIKOVÉ SKŘÍŇĚ)	14
2.2.4 ZKOUŠKA TYPU IV (STANOVENÍ EMISÍ ZPŮSOBENÝCH VYPAŘOVÁNÍM)	15
2.2.5 ZKOUŠKA TYPU V (ŽIVOTNOST ZAŘÍZENÍ PROTI ZNEČIŠŤUJÍCÍM LÁTKÁM)	15
2.2.6 ZKOUŠKA TYPU VI (OVĚŘENÍ PRŮMĚRNÝCH EMISÍ OXIDU UHELNATÉHO A UHLOVODÍKŮ PO STUDENÉM STARTU PŘI NÍZKÝCH OKOLNÍCH TEPLOTÁCH)	16
3 TESTOVACÍ JÍZDNÍ CYKLY	17
3.1 JÍZDNÍ CYKLUS NEDC	17
3.2 JÍZDNÍ CYKLUS WLTP	18
3.3 PROBLEMATIKA LABORATORNÍHO ZKOUŠENÍ	19
4 PEMS.....	21
4.1 AVL GAS M.O.V.E IS[6].....	21
4.2 PRINCIP MĚŘENÍ PEMS	22
5 TEST RDE	23
6 HARMONOGRAM ZAVEDENÍ RDE DO PROVOZU	24
ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	26
7 UNIVERZÁLNĚ POUŽITELNÝ NOSIČ PEMS	27
8 UNIVERZÁLNĚ POUŽITELNÝ NOSIČ PEMS	28
8.1 NÁVRH UCHYCENÍ ZA PÁTÉ DVEŘE.....	29
8.1.1 Uchycení spodní.....	29
8.1.2 Uchycení horní.....	30
8.2 ROZMĚRY UNIVERZÁLNÍHO NOSIČE PEMS	31
8.3 POSTUP MONTÁŽE	31
8.4 POUŽITÍ NA KAROSERII TYPU „COMBI“	32
8.5 POUŽITÍ NA KAROSERII TYPU „SEDAN“	33
8.6 ZATÍŽENÍ.....	35
8.7 VOLBA MATERIÁLU	36
8.8 PEVNOSTNÍ VÝPOČTY	36
8.8.1 Materiál a průřezové charakteristiky.....	37
8.9 PRUTOVÁ SOUSTAVA.....	38
8.9.1 Převod na prutovou soustavu.....	38
8.9.2 Rovnice rovnováhy.....	39
8.9.3 Uvolnění a deformační podmínka	39
8.9.4 Průběh momentů	40
8.9.5 Průběh jednotkových momentů	41
8.9.6 Rovnice rovnováhy od zatížení jednotkovým momentem	41
8.9.7 Kontrola na ohyb	44
8.9.8 Kontrola na tah.....	45
8.1 ČEP KLOUBU	46
8.1.1 Kontrola čepu na střih:	46
8.1.2 Kontrola pevnosti svaru.....	47
9 ALTERNATIVNÍ ŘEŠENÍ UNIVERZÁLNĚ POUŽITELNÉHO NOSIČE PEMS	- 48 -
9.1 KONSTRUKCE RÁMU.....	- 49 -
9.2 MATERIÁL.....	- 49 -
9.3 SPOJOVACÍ ČÁSTI	- 50 -

9.4	VÝPOČTY	- 53 -
10	ZÁVĚR PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	- 54 -
	POUŽITÁ LITERATURA.....	- 55 -

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Kategorie vozidel [5]	12
Tabulka 2: Mezní hodnoty emisí při zkoušce typu I	14
Tabulka 3: Faktory zhoršení pro zkoušku typu V	15
Tabulka 4: Mezní hodnoty CO a HC při zkoušce se startem za studena	16
Tabulka 5: Harmonogram zavedení RDE do provozu [12]	24

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Rychlostní profil ECE (Městská část NEDC cyklu)	17
Obrázek 2: Rychlostní profil EUDC (mimoměstská část cyklu NEDC)	18
Obrázek 3: Rychlostní profil EUDC pro vozidla s nízkým výkonem	18
Obrázek 4: Rychlostní profil jízdního cyklu WLTP	19
Obrázek 5: Zařízení AVL M.O.V.E PEMSis[11]	22
Obrázek 6: Univerzální nosič PEMS	29
Obrázek 7: Detail spodního uchycení	30
Obrázek 8: Detail horního nastavitelného uchycení	30
Obrázek 9: Rozměry zasunutého nosiče (použití na karoserii sedan)	31
Obrázek 10: Rozměry vysunutého nosiče (použití na karoserii kombi)	31
Obrázek 11: Karoserie typu Combi (model ŠKODA Octavia II Combi)	32
Obrázek 12: Použití nosiče na karoserii typu Combi (rozměry vychází z modelu ŠKODA Octavia II Combi)	32
Obrázek 13: Použití nosiče na karoserii typu Combi (rozměry vychází z modelu ŠKODA Octavia II Combi)	33
Obrázek 14: Karoserie typu sedan (model ŠKODA Octavia III)	33
Obrázek 15: Použití nosiče na karoserii typu sedan (model ŠKODA Octavia III)	34
Obrázek 16: Použití nosiče na karoserii typu sedan (model ŠKODA Octavia III)	34
Obrázek 17: Použití nosiče na karoserii typu sedan (model ŠKODA Octavia III)	35
Obrázek 18: PEMS AVL MOVE připevněné na tažném zařízení	36
Obrázek 19: Tyč čtvercový profil	37
Obrázek 20: Trubka vnitřní	37
Obrázek 21: Spodní nosník	37
Obrázek 22: Kloubové spojení	46
Obrázek 23: Alternativní konstrukce nosiče PEMS	- 48 -
Obrázek 24: Alternativní konstrukce nosiče PEMS	- 49 -
Obrázek 25: Nastavitelné spojení trubek 30mm (2x)	- 50 -
Obrázek 26: Popruhy s přezkou pro utažení 150cm (4x)	- 51 -
Obrázek 27: Popruhy s háky 100cm (2x)	- 51 -
Obrázek 28: Přezky (4x)	- 51 -
Obrázek 29: Háky - zinkový plech (6x)	- 52 -
Obrázek 30: Plastové krytky háků (6x)	- 52 -
Obrázek 31: Ochrana karoserie (4x)	- 52 -

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AECC	Asociace pro kontrolu emisí pomocí katalyzátoru
CF	Faktor shody
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
ECE	Městský jízdní cyklus
EUDC	Mimoměstský jízdní cyklus
UNECE	Hospodářská komise OSN
HC	Uhlovodíky
ICCT	Mezinárodní organizace pro čistou dopravu
LPG	Liquefied Petrol Gas (Zkapalněný ropný plyn)
NDIR	Nedisperzivní infračervený analyzátor
NEDC	New European Driving Cycle (Nový evropský jízdní cyklus)
NG	Natural Gas (Zemní plyn)
NH _x	Oxidy dusíku
NMHC	Uhlovodíky neobsahující metan
NO _x	Oxidy dusíku
OSN	Organizace spojených národů
PEMS	Přenosný systém pro měření emisí
PM	Pevné částice vyjádřené hmotností
PN	Pevné částice vyjádřené počtem
RDE	Předpis pro měření emisí v reálném provozu
SCR	Selektivní katalytická redukce
THC	Uhlovodíky celkem

ÚVOD

Trend znečištění ovzduší je pro moderní, průmyslovou dobu charakteristický a je s ním spojeno mnoho závažných problémů, jako jsou problémy zdravotní a ekologické. Ze strany vládních a mezinárodních organizací po celém světě je tak snaha emisní zatížení do maximální možné míry redukovat pomocí emisních limitů a nařízení a minimalizovat tak jeho dopady.

Cílem práce je prezentovat možnosti měření emisí výfukových plynů, jakými způsoby je možné dnes emise měřit, jaká legislativa je pro měření určena a proč je snižování emisí škodlivých látek tak důležité. Práce se výrazně zabývá i budoucím vývojem měření emisí a novou připravovanou legislativou.

1 PROBLEMATIKA ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

Hospodářský rozvoj měl ve 20. století za následek rapidní nárůst emisí škodlivých plynů a znečištění ovzduší v globálním měřítku. Znečištění ovzduší je přitom závažný problém, který je příčinou řady nemocí např. dýchacích cest, výskytu rakoviny, nebo srdečního onemocnění. Podle Světové zdravotnické organizace jako následek znečištění ovzduší zemřelo na rakovinu dýchacích cest v roce 2010 na 223 tisíc lidí. Tento problém se týká především nejhustěji osídlených oblastí, velkých měst a městských aglomerací. Z globálního hlediska je pak notoricky známý fenomén globálního oteplování, který nepříznivě ovlivňují skleníkové plyny, především oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄) a oxid dusný (N₂O). Ze zdravotních a ekologických důvodů je proto snaha tomuto trendu zabránit a růst podílu škodlivin v našem ovzduší snižovat. [\[1\]\[2\]](#)

1.1 EMISE V DOPRAVĚ

Hlavní zdroje polutantů jsou spalování různých druhů fosilních paliv, jako je uhlí, benzin a s ním spojená rafinace ropy. Kromě tepelných elektráren, průmyslové činnosti, těžby rud, uhlí, kamene, minerálů, vypalování lesů a dalších jsou jedním z nejvýznamnějších zdrojů znečištění motorová vozidla.

Evropské emisní limity definují přijatelné množství emisí výfukových plynů nových typů automobilů prodávajících se v Evropské unii a Evropském hospodářském prostoru. Emisní standardy jsou definovány pomocí série Evropských směrnic.

V rámci Evropské unie je silniční doprava odpovědná za 20% emisí CO₂, přičemž lehká užitková vozidla – osobní automobily a dodávky se podílejí patnácti procenty.

Jako cíl stanovený v Kjótském protokolu je 8% redukce emisí CO₂ ve všech ekonomických odvětvích ve srovnání s rokem 1990. V roce 2004 relativní podíl emisí CO₂ vzrostl už na 28% oproti 21% v roce 1990. Z toho důvodu se EU snaží zmírnit dopad silniční dopravy na životní prostředí a napomoci přechodu na nízkouhlíkové hospodářství. Doprava v Evropské unii způsobuje 3,5% z globálních emisí CO₂. [\[3\]](#)

2 EVROPSKÉ EMISNÍ LIMITY

Evropské emisní limity pro silniční vozidla jsou zpracovány do několika úrovní EURO 1 až EURO 6. Někdy značené římskými číslicemi EURO I až EURO VI. Aktuálně platná norma EURO podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.715/2007 a ECE-R-83 se týká osobních a lehkých užitkových vozidel s referenční hmotností nepřekračující 2610Kg kategorií M₁, M₂, N₁ blíže specifikovaných níže.

2.1 NORMA EURO

První norma limitující emise výfukových plynů vznikla v Kalifornii v roce 1968. V Evropě vešla v platnost první emisní norma EHK 15 v roce 1971. První norma EURO vyšla v roce 1992. Od té doby přichází přibližně každé čtyři roky nová, přísnější norma EURO. Emisní norma EURO zavazuje výrobce nových modelů silničních vozidel dodržovat limity výfukových exhalací. Hodnoty jsou uváděny v miligramech na ujetý kilometr. Aktuálně platná norma EURO 6 předepisuje přípustné množství emisí oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NH_x) a pevných částic (PM). [\[4\]](#)

Aktuální norma EURO 6 vešla v platnost v září roku 2014 a navazuje na normu EURO 5. Pro účely měření emisí jsou vozidla rozdělena do kategorií, pro které platí shodné technické podmínky. Kategorie osobních a nákladních vozidel jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Kategorie vozidel[\[5\]](#)

Kategorie	Popis
M	Motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly určená pro přepravu osob
M1	Vozidla určená pro přepravu osob s nejvýše osmi sedadly kromě řidiče
M2	Vozidla určená pro přepravu osob s více než osmi sedadly kromě řidiče a maximální hmotností 5 tun
M3	Vozidla určená pro přepravu osob s více než osmi sedadly kromě řidiče a maximální hmotností vyšší než 5 tun
N	Motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly určená pro přepravu zboží
N1	Motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly určená pro přepravu zboží s maximální hmotností nepřevyšující 3,5 tuny
N2	Motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly určená pro přepravu zboží s maximální hmotností vyšší 3,5 tuny, ale nižší než 12 tun

2.2 HOMOLOGAČNÍ MĚŘENÍ

Pro provoz automobilů v Evropské unii je každý výrobce povinen dodržet limity emisí výfukových plynů dle aktuálně platné normy EURO 6. Podle aktuálně platné legislativy je možné emisní zkoušky provádět pouze laboratorním způsobem za pomoci vozidlových dynamometrů. Existuje 6 typů zkoušek:

Zkouška typu I (simulace průměrných emisí z výfuku po studeném startu)

Zkouška typu II (zkouška emisí oxidu uhelnatého za volnoběhu)

Zkouška typu III (ověření emisí plynů z klikové skříně)

Zkouška typu IV (stanovení emisí způsobených vypařováním)

Zkouška typu V (životnost zařízení proti znečišťujícím látkám)

Zkouška typu VI (ověření průměrných emisí oxidu uhelnatého a uhlovodíků z výfuku po studeném startu při nízkých okolních teplotách)[\[6\]](#)

2.2.1 ZKOUŠKA TYPU I (SIMULACE PRŮMĚRNÝCH EMISÍ Z PO STUDENÉM STARTU)

Zkouška je prováděna na vozidlovém dynamometru opatřeném zařízením pro simulaci zatížení a setrvačné hmotnosti. Bez přerušení se provede zkouška, která trvá 19 minut a 40 vteřin a skládá se ze dvou částí.

První část zkoušky se skládá ze 4 základních městských cyklů. Každý základní městský cyklus obsahuje 15 fází (volnoběh, zrychlení, stálá rychlost, zpomalení, atd.)

Druhá část zkoušky je tvořena jedním cyklem mimo město, která obsahuje 13 fází (volnoběh, zrychlení, stálá rychlost, zpomalení, atd.)

Při zkoušce se ředí výfukové plyny a v jednom nebo více vacích se shromažďuje proporcionální vzorek. U vozidel vybavených vznětovými motory se musí změřit emise nejen oxidu uhelnatého, uhlovodíků a oxidů dusíku, ale také emise znečišťujících částic.

Zkouška se opakuje nanejvýš třikrát. Výsledné hodnoty plynných emisí, případně emisí znečišťujících látek u vozidel se vznětovými motory musí být nižší než mezní hodnoty uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2: Mezní hodnoty emisí při zkoušce typu I

Mezní hodnoty		Ref. hmotnost (RM)	CO		THC		NMHC		NO _x		THC + NO _x		PM		PN	
			[kg]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[num/km]			
Kategorie	Třída		P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P*	C	P	C
M	-	všechny	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	4,5	4,5	-	6x10 ¹¹
N1	I	RM < 1305	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	4,5	4,5	-	6x10 ¹¹
	II	1305 < RM < 1760	1810	630	130	-	90	-	75	235	-	295	4,5	4,5	-	6x10 ¹¹
	III	1760 < RM	2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	4,5	4,5	-	6x10 ¹¹
N2	-	všechny	2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	4,5	4,5	-	6x10 ¹¹

Legenda: P – zážehové motory, C – vznětové motory

* U zážehových motorů se mezní hodnoty hmotnosti částic vztahují pouze na motory s vnitřním vstřikováním

Jsou-li zkoušky prováděny s vozidly na plynná paliva, musí být naměřené hodnoty emisí nižší, než jsou mezní hodnoty pro vozidla s benzínovým motorem uvedené v tabulce výše.[\[6\]](#)

2.2.2 ZKOUŠKA TYPU II (ZKOUŠKA EMISÍ OXIDU UHELNATÉHO ZA VOLNOBĚHU)

Tato zkouška se vykonává pro všechna vozidla se zážehovým motorem. V případě vozidel s možností pohonu na benzin a LPG, nebo NG/biometan je vozidlo podrobena zkoušce při použití obou druhů paliv.

Maximální objem emisí oxidu uhelnatého by neměl překročit 0,3% objemu ve výfukových plynech. Objem oxidu uhelnatého ve výfukových plynech při vysokých otáčkách nesmí překročit 0,2%, přičemž otáčky musí dosahovat minimálně 2000 min⁻¹.[\[6\]](#)

2.2.3 ZKOUŠKA TYPU III (OVĚŘENÍ EMISÍ PLYNŮ Z KLIKOVÉ SKŘÍNĚ)

Této zkoušce nepodléhají vozidla se vznětovými motory. Vozidla s pohonem na benzin a LPG, nebo NG/biometan se zkouší pouze při pohonu na benzin. Při zkoušce nesmí větrací systém klikové skříně umožňovat únik plynů do ovzduší.[\[6\]](#)

2.2.4 ZKOUŠKA TYPU IV (STANOVENÍ EMISÍ ZPŮSOBENÝCH VYPAŘOVÁNÍM)

Zkoušce nepodléhají vozidla se vznětovými motory a vozidla poháněná LPG, nebo NG/Biometanem. Vozidla poháněná benzinem i LPG nebo NG/Biometanem by měla být zkoušena s benzinem. Při zkoušce musí být emise způsobené vypařováním nižší než 2 gramy.[\[6\]](#)

2.2.5 ZKOUŠKA TYPU V (ŽIVOTNOST ZAŘÍZENÍ PROTI ZNEČIŠŤUJÍCÍM LÁTKÁM)

Zkouška představuje zkoušku životnosti na 160000km ujetých na zkušební dráze, na silnici, nebo na vozidlovém dynamometru.

Vozidla jezdící na benzin a LPG či NG, by měla být zkoušena při pohonu na benzin. V tomto případě se faktor zhoršení bezolovnatého benzínu použije také pro LPG nebo NG.

Výrobce může jako alternativu ke zkoušce typu V použít zhoršující faktory z uvedené tabulky.

Tabulka 3: Faktory zhoršení pro zkoušku typu V

Kategorie motorů	Přiřazené faktory zhoršení						
	CO	THC	NMHC	NO _x	HC+NO _x	Pevné částice (PM)	Částice
Zážehový	1,5	1,3	1,3	1,6	-	1,0	1,0
Vznětový	1,5	-	-	1,1	1,1	1,0	1,0

Na žádost výrobce může technická zkušebna provést zkoušku typu I ještě před dokončením zkoušky typu V při použití faktorů zhoršení z výše uvedené tabulky. Po dokončení zkoušky typu V může technická zkušebna změnit výsledky schválení typu zaznamenané v příloze tak, že nahradí faktory zhoršení z výše uvedené tabulky faktory naměřenými při zkoušce typu V.[\[6\]](#)

2.2.6 ZKOUŠKA TYPU VI (OVĚŘENÍ PRŮMĚRNÝCH EMISÍ OXIDU UHELNATÉHO A UHLOVODÍKŮ PO STUDENÉM STARTU PŘI NÍZKÝCH OKOLNÍCH TEPLOTÁCH)

Zkouška musí být provedena u všech vozidel typu M1 a N1 se zážehovým motorem, kromě vozidel pouze na plynný pohon LPG nebo NG/Biometan. Vozidla na benzin i LPG nebo NG se podrobí zkoušce pouze s benzinovým pohonem.

Vozidlo se umístí na vozidlový dynamometr opatřený zařízením na simulaci přidavné zátěže a setrvačné hmotnosti.

Zkouška se skládá ze 4 základních jízdních městských cyklů části 1 zkoušky typu I. Zkouška za nízkých teplot celkově trvá 760vteřin a provádí se bez přerušení a začíná startem motoru.

Zkouška za nízkých teplot se provádí při teplotě -7°C . Během zkoušky se výfukové plyny ředí a jsou odebírány proporcionalní vzorky. U zředěných výfukových plynů se analyzuje oxid uhelnatý a uhlovodík.

Zkouška se provede třikrát. Výsledné hmotnosti oxidu uhelnatého a uhlovodíků nesmějí překročit mezní hodnoty, podle následující tabulky.

Tabulka 4: Mezní hodnoty CO a HC při zkoušce se startem za studena

Kategorie	Třída	CO [g/km]	HC [g/km]
M1 ⁽¹⁾	-	15	1,8
N1	I	15	1,8
N2 ⁽²⁾	II	24	2,7
	III	30	3,2

⁽¹⁾ Kromě vozidel určených k přepravě více než šesti osob a vozidel, jejichž max. hmotnost přesahuje 2500kg.

⁽²⁾ A vozidla kategorie M1 uvedená v ⁽¹⁾[\[6\]](#)

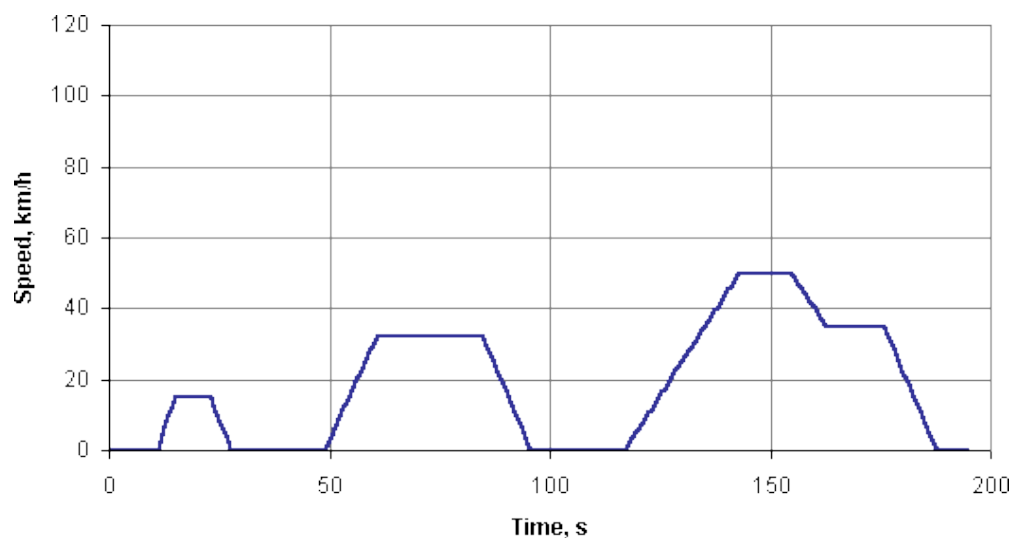
3 TESTOVACÍ JÍZDNÍ CYKLY

Testovací jízdní cykly jsou rychlostní profily, které při emisním testování vozidel na vozidlovém dynamometru předepisují určitou rychlost v určitém čase. Jízdní cykly mají simulovat rychlostní profil podobný profilu v reálném provozu. Z důvodu proveditelnosti a opakovatelnosti testu jsou rychlostní profily značně zjednodušeny.

3.1 JÍZDNÍ CYKLUS NEDC

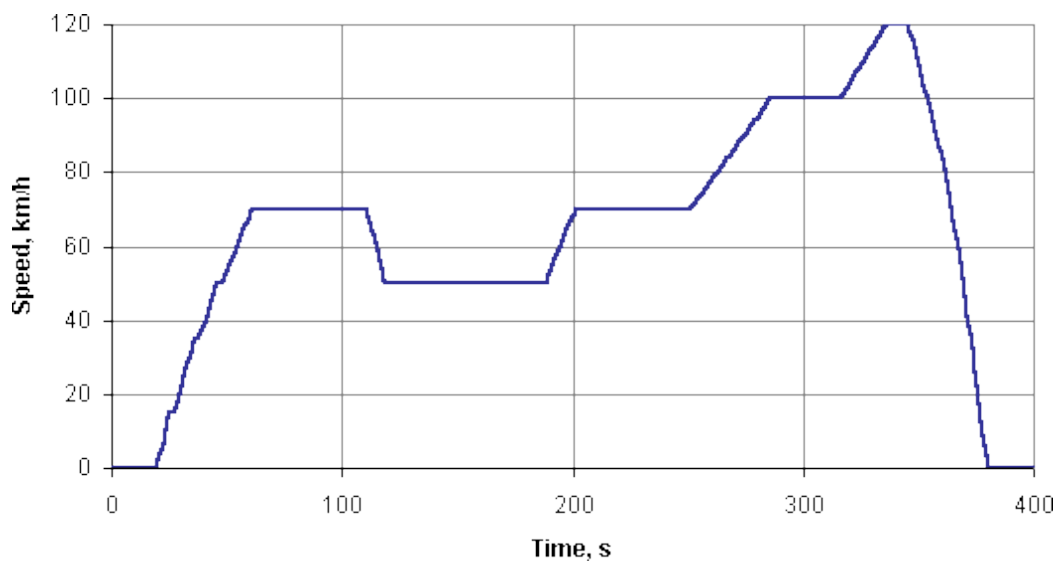
Jízdní cyklus NEDC, neboli New European Driving Cycle je v současnosti dle evropské legislativy využíván k homologaci nových typů osobních vozidel pro měření spotřeby paliva a měření emisí výfukových plynů. Celý jízdní cyklus zahrnuje čtyři ECE městské části, opakované bez přerušení, které jsou následovány jednou mimoměstskou EUDC částí. Test je prováděn za teploty 20 – 30°C. Po nastartování motoru je povolen 40vteřin režim volnoběhu.

Celý test začíná čtyřikrát opakováním části ECE. ECE je městský cyklus, známý také jako UDC. ECE reprezentuje jízdní městské podmínky, pro které jsou charakteristické nízké jízdní rychlosti, nízké zatížení motoru a nízké teploty výfukových plynů.[\[7\]](#)

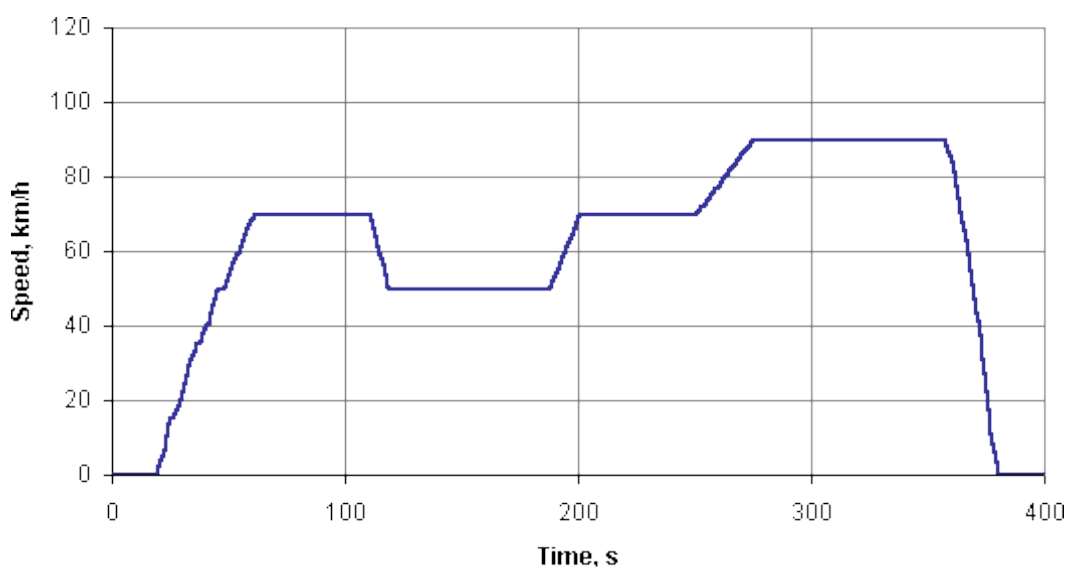


Obrázek 1: Rychlostní profil ECE (Městská část NEDC cyklu)

EUDC, neboli mimoměstský jízdní cyklus byl přidán po čtyřech ECE cyklech, aby byl zohledněn agresivnější styl jízdy s vysokorychlostním režimem. Maximální rychlost EUDC cyklu je 120km/h. Alternativní EUDC pro vozidla s nízkým jízdním výkonem má omezenou maximální rychlost na 90km/h.[\[7\]](#)



Obrázek 2: Rychlostní profil EUDC (mimoměstská část cyklu NEDC)



Obrázek 3: Rychlostní profil EUDC pro vozidla s nízkým výkonem

Celý test trvá 1220 vteřin s průměrnou rychlostí 33,6km/h a celkovou ujetou vzdáleností 11023m. Vůz zastaví 14krát celkem na 23,7 % času, zrychluje 20,9 % času, jede konstantní rychlostí 40,3 % a zpomaluje 15,1 % času. Vzorky emisí jsou během cyklu sbírány, analyzovány a vyjádřeny v jednotkách g/km pro každý polutant. [\[7\]](#)

3.2 JÍZDNÍ CYKLUS WLTP

World-harmonized Light-duty Vehicles Test Procedure, tedy Světově harmonizovaný testovací cyklus lehkých vozidel je nový jízdní cyklus připravovaný Evropskou unií, Japonskem a Indií pod vedením UNECE, Ekonomické komise OSN pro Evropu.

Vozidla jsou rozdělená do tří kategorií dle poměru výkonu na hmotnost.

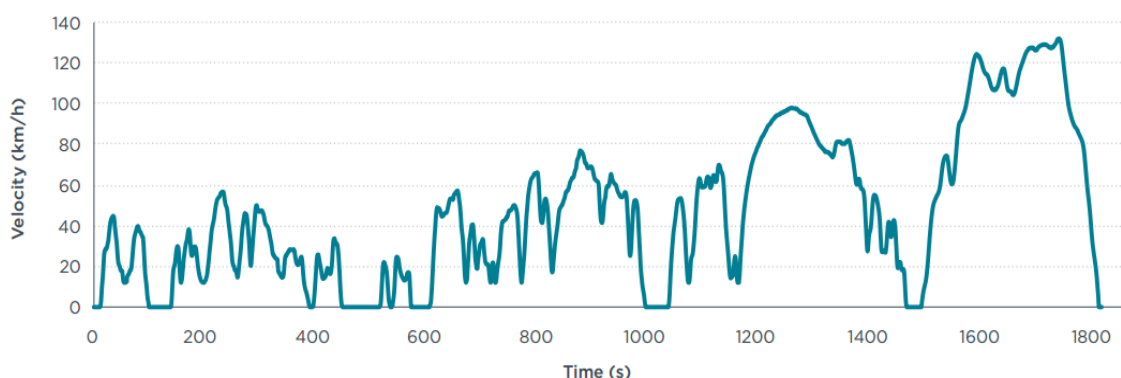
Třída 1: slabá vozidla 22 kW (29,9 PS) na tunu

Třída 2: středně silná vozidla od 22 do 34 kW (43,2 PS) na tunu

Třída 2: silná více než 34 kW na tunu

Většina dnešních automobilů se pohybuje mezi 40-70kW/t a patří tak do 3. výkonnostní třídy.

WLTP jízdní cyklus je rozdělen do čtyř částí pro nízkou, střední, vysokou a extra vysokou rychlost.[\[8\]](#)



Obrázek 4: Rychlostní profil jízdního cyklu WLTP

Test WLTP trvá 30 minut, maximální rychlost je 131,3 km/h a vůz ujede 23,27 km průměrnou rychlostí 46,5 km/h. Zastaví 9krát na 12,6 % času, zrychluje 43,8 %, jede konstantní rychlostí 3,7 % a zpomaluje 39,9 % času.

Pneumatiky nesmějí být přehuštěny, musí v nich být předepsaný tlak, tedy takový, který je uveden na štítku na dveřích, nesmějí být předem zahřáté. Geometrie náprav musí být v produkčním stavu. Také brzdy musí být v produkčním stavu.[\[8\]](#)

3.3 PROBLEMATIKA LABORATORNÍHO ZKOUŠENÍ

Mnohé nezávislé zdroje poukazují, že zpřísnování regulačních emisních limitů pro osobní automobily za poslední desetiletí vedlo k značné redukci celkových emisí, což mělo za následek zlepšení kvality ovzduší napříč Evropou.

Nicméně nejnovější redukční emisní limity pro NO_x a pevné částice PM nepřinesly další zlepšení. Nedávné studie zabývající se kvalitou ovzduší ukazují značné překročení limitů těchto polutantů, zejména pak v urbanizovaných oblastech, kde se na znečištění

podílí nejvíce silniční doprava. Dnešní osobní automobily jsou stále certifikovány na emisní testovací cykly, které byly navrženy více než před dvaceti lety. Nedávné srovnávací studie jasně ukazují, že emise z reálného provozu mnohonásobně překročí regulační emisní limity, které jsou využívány pro simulační testovací cykly. Podle studie ICCT (International Council on Clean Transportation) se nejvíce liší emise oxidů dusíku u dieselových motorů, kde hodnoty NO_x dosahují v některých případech až 700% hodnot povolených normou EURO 6. Bylo zjištěno, že se rozdíl mezi laboratorním měřením a měřením v reálném provozu dokonce zvyšoval v průběhu uplynulého desetiletí. [\[9\]](#)

4 PEMS

PEMS (Portable Emission Measurement System) jsou relativně malá kompaktní zařízení sloužící k měření emisí v reálném provozu. Cílem PEMS je zajistit, aby se měření blížilo přesnosti a spolehlivosti měření laboratornímu. PEMS tedy musí obsahovat všechny senzory a detektory pro všechny měřené polutanty, zařízení pro ředění odebíraných vzorků, zařízení pro udržení stálé teploty vzorků, zdroj energie a software pro vyhodnocení měření a další podpůrná zařízení.

4.1 AVL GAS M.O.V.E iS[6]

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových současně využívá PEMS od společnosti AVL – GAS PEMS iS.

GAS PEMS iS zařízení může být jednoduše instalováno na tažné zařízení/ přívěs/ nosič na kola, nebo může být uloženo v kufru vozidla. Pro použití na osobní automobily nejsou nutné přídavné tlumiče vibrací, protože zařízení je již vlastním tlumením opatřeno.

Centrální distributor energie (E-Box) poskytuje rozvod elektrické energie, ovládá zapojení baterií a obsahuje ethernet switch konektory pro připojení síťových zařízení. Jednotka E-box je uložena mezi články baterie a vnější kryt. Tento nový koncept umožňuje velice rychlou montáž na vozidlo, protože již není třeba zvlášť odpojovat/zapojovat síťová zařízení. Chytré LED nastavení poskytuje informace o tom, jaký zdroj energie je právě využíván a informace o stavu baterií. Sonda na odebírání vzorků je upevněna na rámu blízko koncovky výfukového vedení.

GAS PEMS iS systém je dimenzován na operační teploty v rozsahu od -10°C do $+45^{\circ}\text{C}$ bez jakýchkoli přídavných topících, či chladících zařízení díky vlastnímu vnitřnímu klimatizačnímu systému. Klimatizační a topící systém chrání důležité elektrické součástky a analyzátoři při práci ve velmi nízkých teplotách. Toto umožňuje, aby GAS PEMS iS systém pracoval přesně a spolehlivě v širokém teplotním rozmezí.

GAS PEMS iS systém je ovládán pomocí externí řídicí jednotky AVL M.O.V.E Systém Control Software. Data z testů jsou vyhodnocována a zpracovávána "M.O.V.E CONCERTO POST PROCESSING" softwarem.[10]

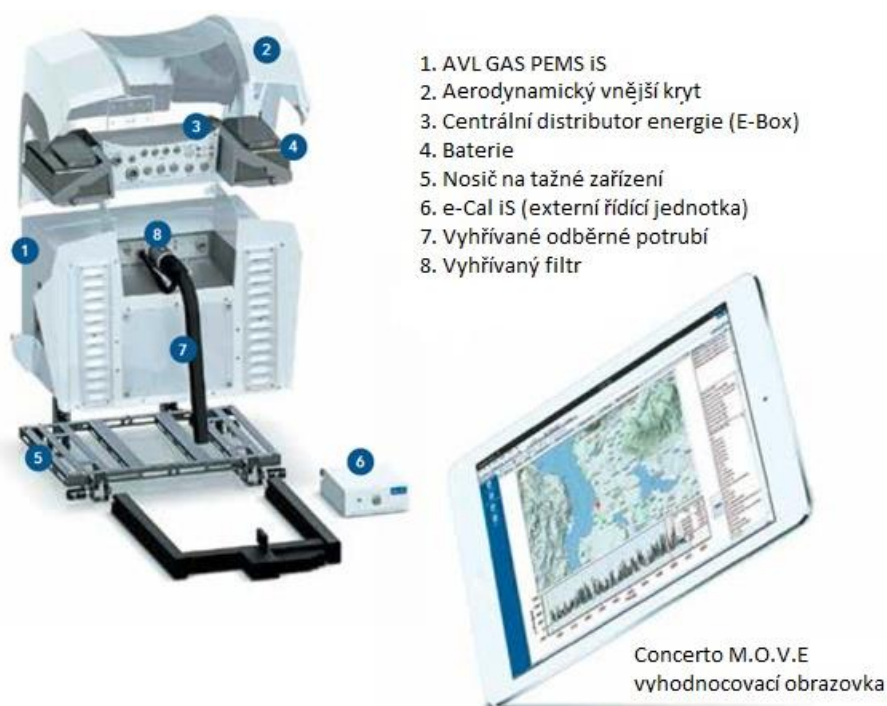
4.2 PRINCIP MĚŘENÍ PEMS

Vysoká přesnost měření je zajištěna použitím ověřených testovacích analyzátorů, které jsou optimalizovány pro použití uvnitř vozu.

Měření NO/NO₂ je realizováno použitím UV analyzátoru, který dokáže měřit NO a NO₂ souběžně a přímo bez potřeby využití konvertoru.

Měření CO/CO₂ je prováděno infračerveným (NDIR) analyzátozem, který byl speciálně upraven pro vysokou přesnost měření CO při nízkých koncentracích.

Všechny analyzátory jsou namontovány uvnitř tepelně izolovaného krytu kvůli zajištění stabilních podmínek a vysoký stupeň přesnosti měření dokonce i při náhlých změnách okolních podmínek.[\[10\]](#)



Obrázek 5: Zařízení AVL M.O.V.E PEMS iS[\[11\]](#)

5 TEST RDE

Nadcházející emisní předpis EURO6c bude zahrnovat RDE (emisní test v reálném provozu) jako další typ homologační zkoušky osobních automobilů. Nová zkouška bude využívat přenosné měřicí systémy emisí PEMS.

RDE legislativa přidává silnice jako nové prostředí pro testování emisí a certifikaci nových modelů. Ve srovnání s laboratorním prostředím, kde je testování navrženo a optimalizováno odstraněním vnějších vlivů, aby bylo možné testy opakovat, testování v reálném provozu nebude nikdy 100% opakovatelné. Vliv silničního profilu, nestálé podmínky, dopravní situace, nebo chování řidiče značně ovlivní výsledky testu. Nebude tedy možné přímé srovnání výsledků. Místo toho bude nezbytné zpracovat a vyhodnotit data z testu za použití statistických metod. Legislativa navrhuje uvést takzvané faktory shody (CF) pro zvýšení povolených limitů. To umožní využití RDE a zároveň umožní započítat nejistoty zkušební procedury ve srovnání s laboratorním měřením. CF je násobek, o který je možné překročit zavedené limity dle platné normy EURO 6 pro případ zkoušky RDE (např. pro hodnotu $CF=2$ budou limity $80 \cdot 2 = 160 \text{mg/km NO}_x$).[\[12\]](#)

Plánovaná zkouška RDE by měla mít tyto parametry:

Doba jízdy:	90 – 120 minut.
Jízda v městském provozu:	34 % jízdy
Jízda v mimoměstském provozu:	33 % jízdy
Jízda po dálnici:	33 % jízdy
Teplota při jízdě zkoušce:	0 °C – 30°C (-7°C – 35°C) (Studený start bude zaznamenáván, ale nebude zahrnut do vyhodnocení)
Teplota chladicí kapaliny:	> 70°, nebo teplota 5 min. po startu motoru
Nadmožská výška:	< 700 m
Průměrná rychlost v městském provozu:	15 – 30 km/h (včetně volnoběhu)

Rychlost vozidla by neměla překročit 145km/h +15% (160km/h) a vozidlo by mělo touto rychlostí jet méně než 3% jízdy. Ve vozidle by měly být zapnuty spotřebiče používané za „normálního“ provozu.

6 HARMONOGRAM ZAVEDENÍ RDE DO PROVOZU

Do budoucnosti by měly být vyřešeny všechny otázky související s měřením všech polutantů, které se komise zavázala limitovat dle následujícího harmonogramu. Už nyní je ale jasné, že se uvedené termíny nepodaří komisi splnit.

Tabulka 5: Harmonogram zavedení RDE do provozu[\[12\]](#)

Datum	Událost	Pozn.
2015	Zahájení RDE testu pro měření NO _x u dieselových motorů	1
2016	Dokončení testů metody pro měření počtu pevných částic (PN). Procedura pro počítání PN při startech za studena a začlenění do procedury RDE	2 3
2017	Fáze 1: faktor shody CF=1,5 pro měření emisí NO _x nově homologovaných osobních automobilů a dodávek s dieselovými a měření pevných částic (PN) všech typů vozidel. Dokončení testu procedury RDE pro měření CO ₂ a dalších polutantů.	4 5
2018	Fáze 1: použití faktoru shody pro měření NO _x všech registrovaných osobních automobilů a dodávek s dieselovými a měření pevných částic všech registrovaných vozidel.	3
2019	Fáze 2: faktor shody CF=1 pro měření emisí NO _x nově homologovaných osobních automobilů a dodávek s dieselovými a měření pevných částic (PN) všech typů vozidel. Testování procedury RDE pro měření všech polutantů nově homologovaných vozidel.	4
2020	Fáze 2: použití faktoru shody CF=2 pro měření NO _x všech registrovaných osobních automobilů a dodávek s dieselovými a měření pevných částic všech registrovaných vozidel. Testování procedury RDE pro měření všech polutantů všech nově registrovaných vozidel. Návrh nové normy EURO 7/VII pro snížení limitů pro osobní automobily, dodávky, nákladní automobily s dieselovými a benzinovými motory.	5
2025	Uvedení EURO 7/VII limitů pro všechna nově homologovaná	6

	vozidla.	
2026	Uvedení EURO 7/VII limitů pro všechna nově registrovaná vozidla.	6

Poznámky:

1. Všechny výsledky testů by měly být od roku 2015 zveřejňovány pro všechny modely.
2. Automobiloví výrobci měli od zavedení normy EURO 6/VI 10 let k dosažení požadovaných výsledků. Další zpoždění je neakceptovatelné.
3. Vyloučení těchto faktorů by vedlo k podcenění emisí z RDE testů.
4. AECC ukazuje, že tyto limity mohou být splněny SCR systémy bez hardwarových úprav. Všechny dieselové automobily by měly být vybaveny SCR systémy – jediný systém vyhovující RDE testům pro Euro 6 limity. Volba výrobců automobilů nedostatečných, levných výfukových systémů není důvod pro oddalování RDE testů, nebo zvyšování faktoru shody.
5. RDE testy musí být rozšířeny, aby zajistily hodnoty všech polutantů a emisí CO2 pod úrovní EURO 6.
6. Norma Euro 7/VII by měla zajistit limity stanovené WHO po celé Evropské unii.

ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Výsledkem mé rešeršní bakalářské práce je studie emisních limitů a možností emisního měření.

V uplynulých dekádách se ekologické problémy a zdravotní důsledky spojené se znečišťováním ovzduší přehlížely. Mezi hlavní politická témata se emise dostaly až posledních dvacet let, kdy byla zavedena řada norem a mezinárodních smluv limitující vypouštění polutantů do ovzduší. Ve vyspělých zemích, kde byla tato opatření zavedena, došlo k značnému zlepšení kvality vzduchu, nicméně se stav zdaleka nepřiblížil k ideálnímu. Je tedy tendence tyto normy zpřísnovat a zároveň je vyvíjen tlak na rozvojové země, které se na znečištění podílí čím dál větším dílem.

Dnes platné emisní normy a způsoby měření jsou však značně zkreslující a proto je jejich účinek omezený. Zavedení měření v reálném provozu je jedním krokem, jak tato opatření zefektivnit.

7 UNIVERZÁLNĚ POUŽITELNÝ NOSIČ PEMS

Úkolem praktické části je zpracovat návrh univerzálně použitelného nosiče pro upevnění zařízení PEMS (AVL MOVE) na vozidlo.

Ve své praktické části bakalářské práce věnuji většinu obsahu nekonvenční konstrukci nosiče. Nekonvenčnost konstrukce je dána tím, že jsem se snažil přijít s vlastním originálním řešením, které splňuje všechny zadané podmínky. Tato konstrukce vyniká svoji univerzálností a zároveň tuhostí, což je důležité jak při statickém, ale především i dynamickém namáhání. S odstupem času jsem si uvědomil, že má tato konstrukce i své negativní stránky. Vzhledem k tomu, že konstrukce má sloužit pouze Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel a tedy bude pravděpodobně vyroben pouze jeden kus, tak by byla výroba příliš technologicky náročná a tedy i drahá.

Z tohoto důvodu jsem připravil i alternativní řešení konstrukce, tentokrát už více konvenční. Inspiraci jsem čerpal u zavedených výrobců nosičů na páté dveře na jízdní kola. Snažil jsem se také použít co nejvíce částí, které je možné běžně zakoupit. Alternativní řešení ovšem vzhledem k omezenému rozsahu bakalářských prací a časové tísně dodávám pouze informativně a tedy nezabíhám do detailů jako u první konstrukce.

8 UNIVERZÁLNĚ POUŽITELNÝ NOSIČ PEMS

Při konstrukci jsem zohlednil univerzálnost použití na téměř všechny typy dnes sériově vyráběných karosérií. Konstrukce je navržena tak, aby bezpečně nesla zařízení PEMS vážící 50Kg a široké 56cm.

Základem je plošina, která nese PEMS a je připevněna k nosníku, na které jsou přivařeny úchyty univerzálně nastavitelné pro pevné, tuhé, svěrné uchycení za různé tloušťky plechů okrajových lemů pátých dveří. Plošina je uprostřed z důvodu eliminace momentového zatížení na spodní úchyty a na páté dveře podepřena nosníkem, který je kloubově spojen dvěma páry do sebe zasunutelných trubek, pro nastavení potřebné délky nosiče pro ideální horní uchycení. Výsuvné trubky jsou nahoře pevně propojeny nosníkem, ke kterému jsou kloubově připojeny tyče, na jejichž konci je kloubové spojení úchytů nastavitelných do všech směrů z důvodu různého zakřivení a vyřiznutí karoserie pátých dveří. Zasunutelné trubky jsou ohnuté, což umožňuje montáž přes hranu pátých dveří u karoserie typu sedan, aniž by bylo zapotřebí další kloubové spojení. Toto řešení konstrukci zjednodušuje.

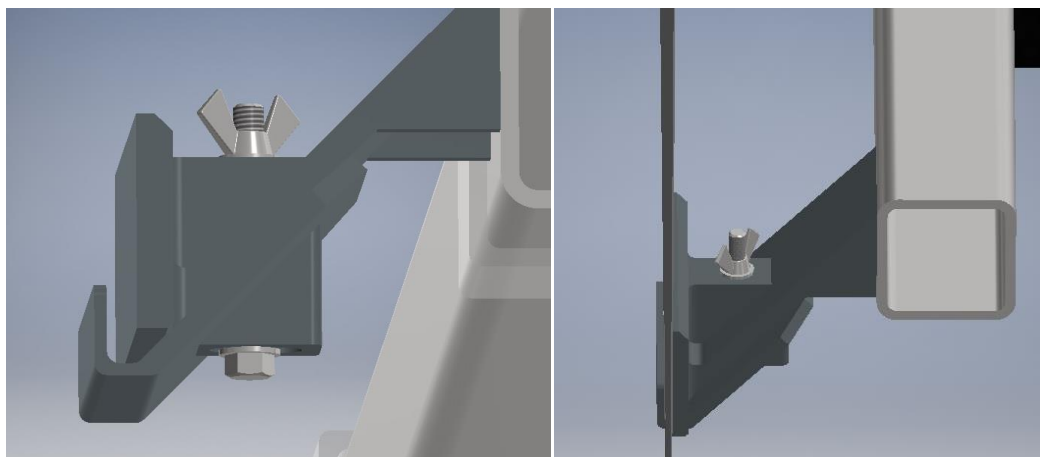


Obrázek 6: Univerzální nosič PEMS

8.1 Návrh uchycení za páté dveře

8.1.1 Uchycení spodní

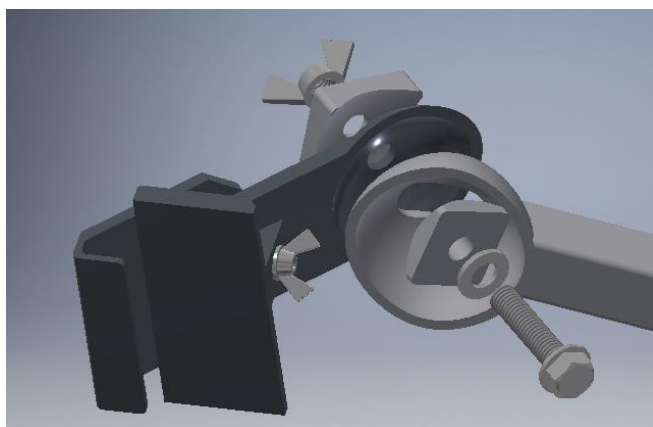
Spodní uchycení zajišťuje pevné svěrné spojení se spodní částí pátých dveří a zároveň vyrovnává plošinu nesoucí PEMS do potřebné vodorovné polohy. Dotažením šroubu, který je uložen v drážce je možné nosič připevnit za různé tloušťky lemů pátých dveří. Styčné plochy jsou opatřeny pryžovým povrchem pro ochranu proti poškrábání laku auta a proti prokluzu. Spodní úchyty jsou ke spodnímu nosníku přivařeny.



Obrázek 7: Detail spodního uchycení

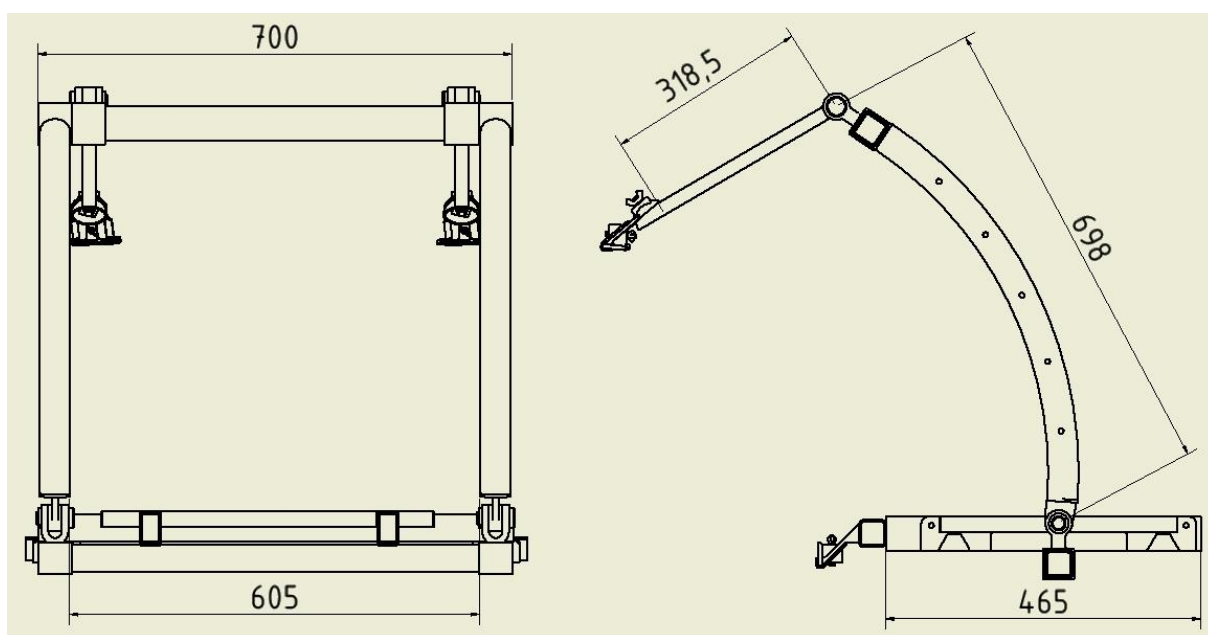
8.1.2 Uchycení horní

Horní přichycení za lem pátých dveří je shodné s dolními úchyty, ovšem z důvodů vyduté karoserie a různého vyříznutí, či zakřivení pátých dveří většiny typů vozidel jsem navrhl kloubové spojení horních úchyťů a to takové, aby bylo nastavitelné do všech směrů. Kloubové spojení se skládá z úchyťů, na jejichž konci je kulová plocha, která dosedá na kulovou plochu zakončení tyče, ve které je drážka pro pohyb šroubu. Tyto plochy jsou připevněny šroubem, podložkami s kulovou plochou, klasickou podložkou a křídlovou maticí. Systém umožňuje nastavení úhlů úchyťů do všech stran.

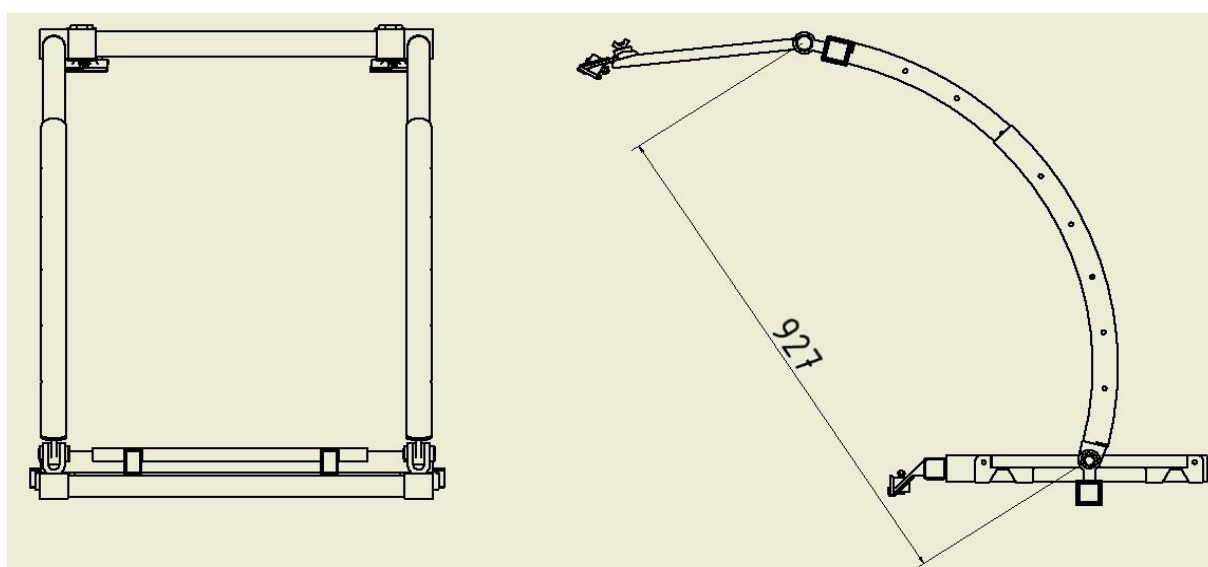


Obrázek 8: Detail horního nastavitelného uchycení

8.2 Rozměry univerzálního nosiče PEMS



Obrázek 9: Rozměry zasunutého nosiče (použití na karoserii sedan)



Obrázek 10: Rozměry vysunutého nosiče (použití na karoserii kombi)

8.3 Postup montáže

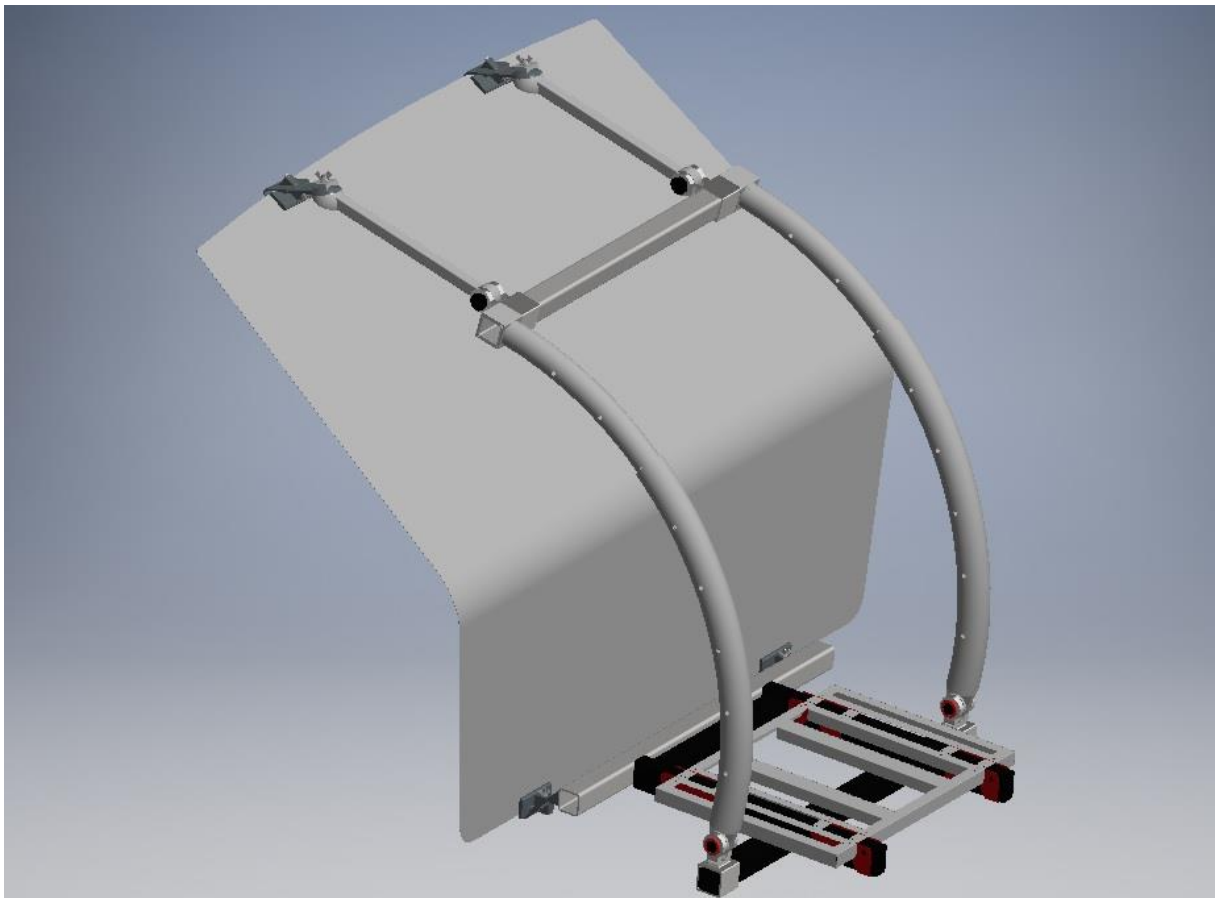
Ještě před samotnou montáží zvolte podle karoserie vozidla ideální vysunutí zakřivených trubek a zajistěte je pomocí čepů. Pootevřete páte dveře vozidla, tak abyste mohli zasunout spodní úchyty za lem dveří a utáhněte šrouby úchyťů obou spodních úchyťů. Na horní straně opět zasuňte úchyty za lem dveří a utáhněte šrouby. Poté utáhněte šrouby nastavitelných kloubů. Nakonec se ujistěte, že jsou všechny šrouby pevně dotaženy. Na závěr umístěte PEMS na plošinu a zajistěte je.

8.4 Použití na karoserii typu „COMBI“

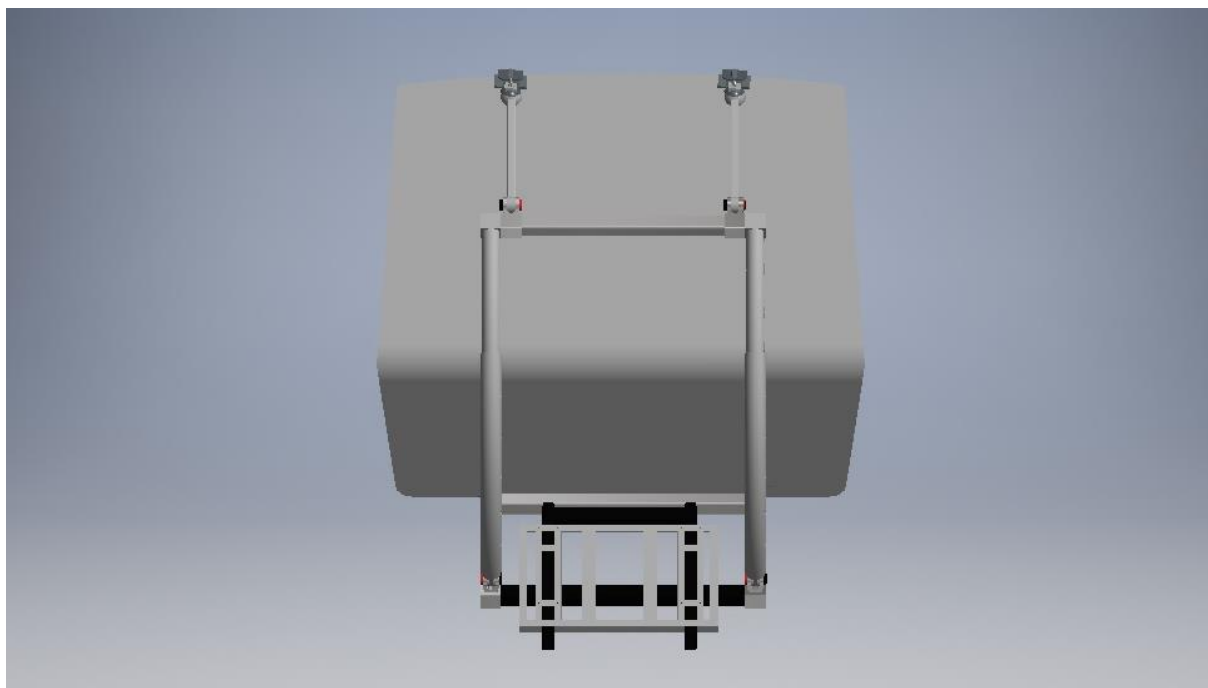
Rozměry modelových pátých dveří přibližně odpovídají karoserii Škoda Octavia II Combi.



Obrázek 11: Karoserie typu Combi (model ŠKODA Octavia II Combi)



Obrázek 12: Použití nosiče na karoserii typu Combi (rozměry vychází z modelu ŠKODA Octavia II Combi)



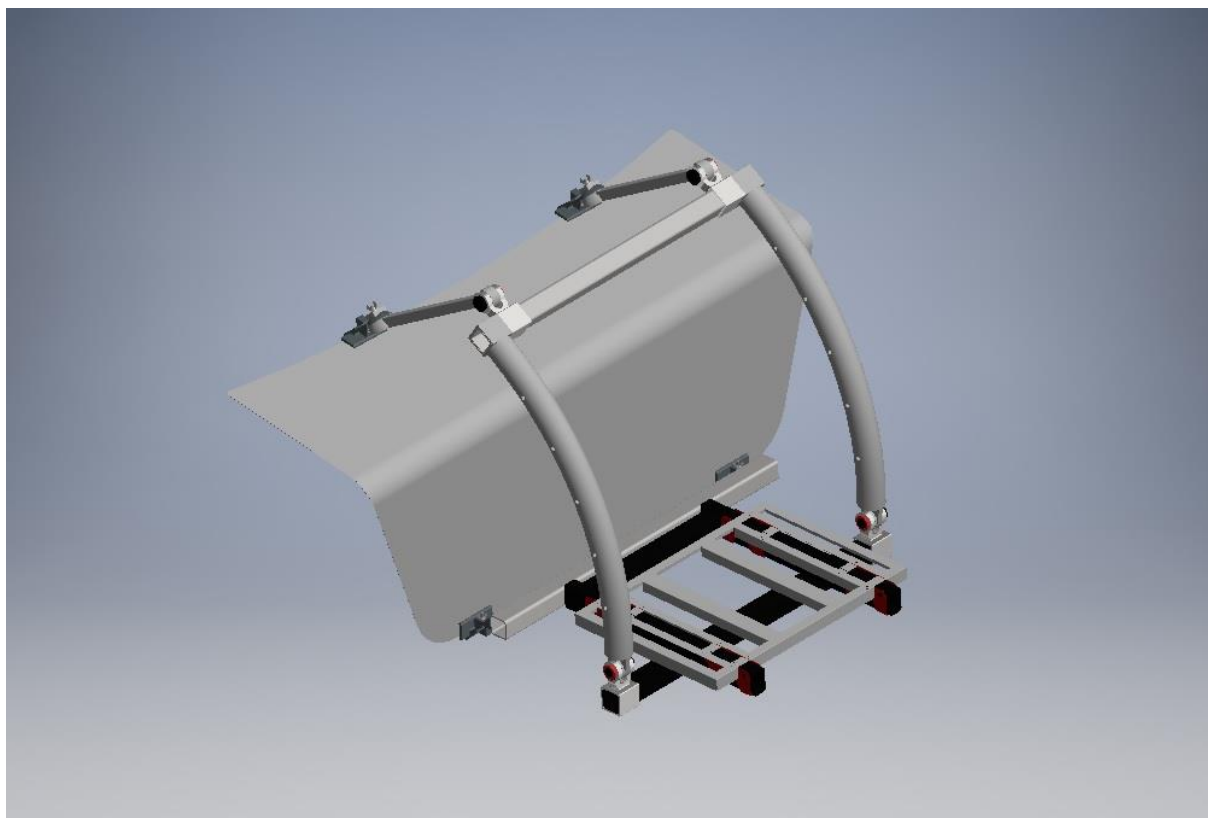
Obrázek 13: Použití nosiče na karoserii typu Combi (rozměry vychází z modelu ŠKODA Octavia II Combi)

8.5 Použití na karoserii typu „SEDAN“

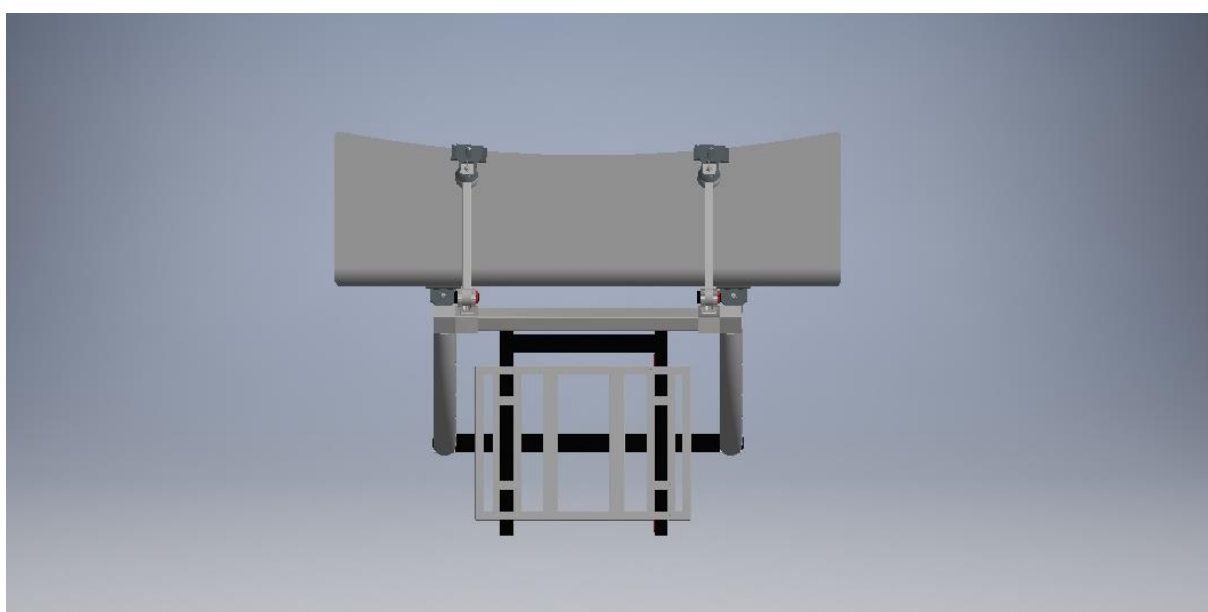
Rozměry modelových zadních dveří přibližně odpovídají karoserii Škoda Octavia III.



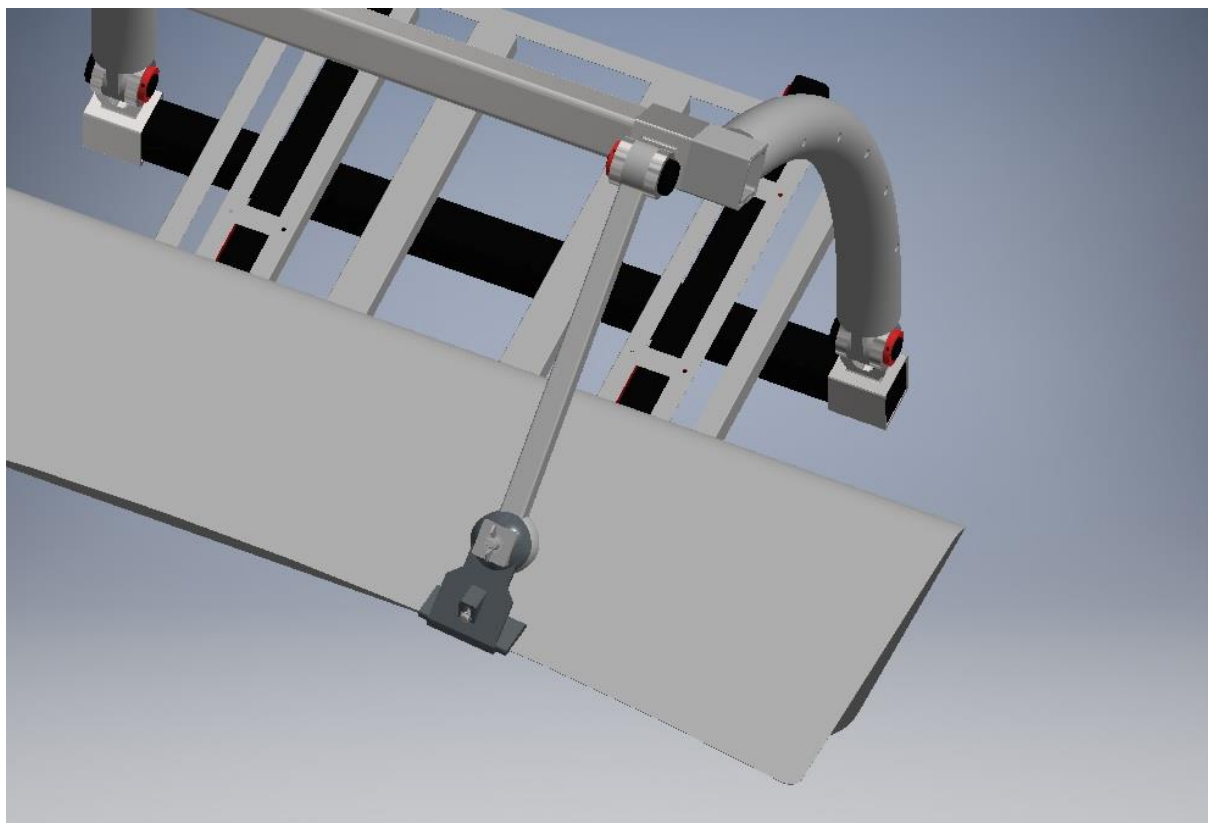
Obrázek 14: Karoserie typu sedan (model ŠKODA Octavia III)



Obrázek 15: Použití nosiče na karoserii typu sedan (model ŠKODA Octavia III)



Obrázek 16: Použití nosiče na karoserii typu sedan (model ŠKODA Octavia III)



Obrázek 17: Použití nosiče na karoserii typu sedan (model ŠKODA Octavia III)

8.6 Zatížení

Univerzální nosič PEMS je navržen tak, aby spolehlivě unesl tzv. přenosný měřicí systém emisí PEMS a odolal zatížení i při jízdě, změnách rychlosti na nerovném povrchu vozovky. Nosič je proto dimenzován s velkými bezpečnostními koeficienty, aby odolal i dynamické zátěži.

Váha PEMS: $m = 40\text{Kg} + \text{vlastní váha nosiče}$
 $m_{\text{celková}} = 50\text{Kg}$



Obrázek 18: PEMS AVL MOVE připevněné na tažném zařízení

8.7 Volba materiálu

Materiál jsem zvolil takový, aby vyhovoval konstrukčnímu řešení, zatížení působící na konstrukci a vlivům, kterým bude vystaven. Samotná konstrukce by měla odolat statickému i dynamickému zatížení, měla by být svařitelná a dobře obrobitelná.

Na konstrukci jsem tedy použil konstrukční ocel 11 375. Kritické komponenty jsem podrobil pevnostním výpočtům uvedeným v další kapitole.

Materiál	Ocel 11 375
Modul pružnosti v tahu:	$E = 2,1 \times 10^5 M$
Mez pevnosti v tahu:	$\sigma_{Pt} = 370 - 450 \text{ MPa}$
Mez únavy v ohybu	$\sigma_{oc} (0,43 \sigma_{pt}) = 160 - 195 \text{ MPa}$

DOVOLENÉ HODNOTY

Tah/tlak statický:	$\sigma_{Dt} = 100 - 140 \text{ MPa}$
Ohyb statický:	$\sigma_{Do} = 110 - 155 \text{ MPa}$

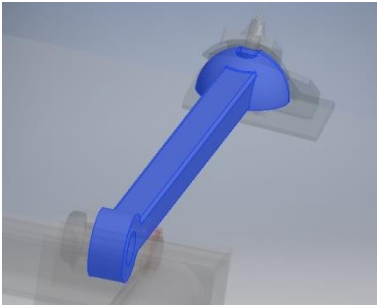
8.8 Pevnostní výpočty

Na základě konzultací jsem provedl pevnostní výpočty kritických částí na tah, ohyb a střih. Pevnostní kontrole jsem podrobil i kritické svary.

8.8.1 Materiál a průřezové charakteristiky

Pro kontrolní pevnostní výpočet si nejdříve musíme určit kvadratický moment průřezu a modul pružnosti v tahu. Pro potřeby pevnostních výpočtů si určíme hodnoty tyče čtvercového profilu, obloukovou trubku a dolní nosník.

TYČ ČTVERCOVÝ PROFIL



Obrázek 19: Tyč čtvercový profil

Materiál: Ocel 11 375
Rozměry: a = 20 mm

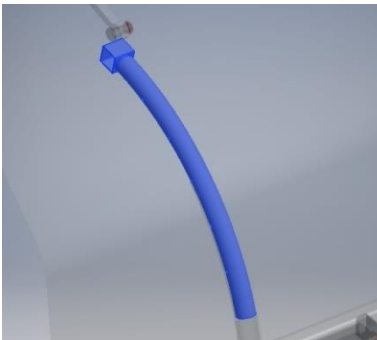
Kvadratický moment průřezu:

$$J_{z2} = \frac{a^4}{12}$$
$$J_{z2} = 13\,333\,mm^4$$

Modul pružnosti v tahu:

$$E = 2,1 \times 10^5\,MPa$$

TRUBKA VNITŘNÍ



Obrázek 20: Trubka vnitřní

Materiál: Ocel 11 375
Rozměry: D = 40 mm

$$d = 36\,mm$$

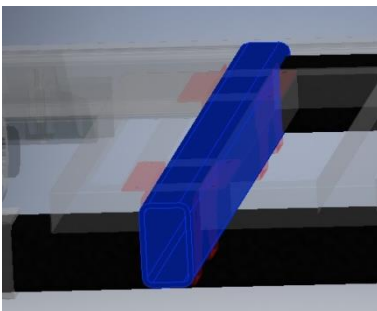
Kvadratický moment průřezu:

$$J_{z3} = \frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right) \right]$$
$$J_{z3} = 43215,7\,mm^4$$

Modul pružnosti v tahu:

$$E = 2,1 \times 10^5\,M$$

SPODNÍ NOSNÍK



Obrázek 21: Spodní nosník

Materiál: Ocel 11 375
Rozměry: B = 30 mm

$$H = 50\,mm$$

mm

$$b = 24\,mm$$

$$h = 44\,mm$$

Kvadratický moment průřezu:

$$J_{z3} = \frac{1}{12} (B \cdot H^3 - b \cdot h^3)$$
$$J_{z3} = 61\,812\,mm^4$$

Modul pružnosti v tahu:

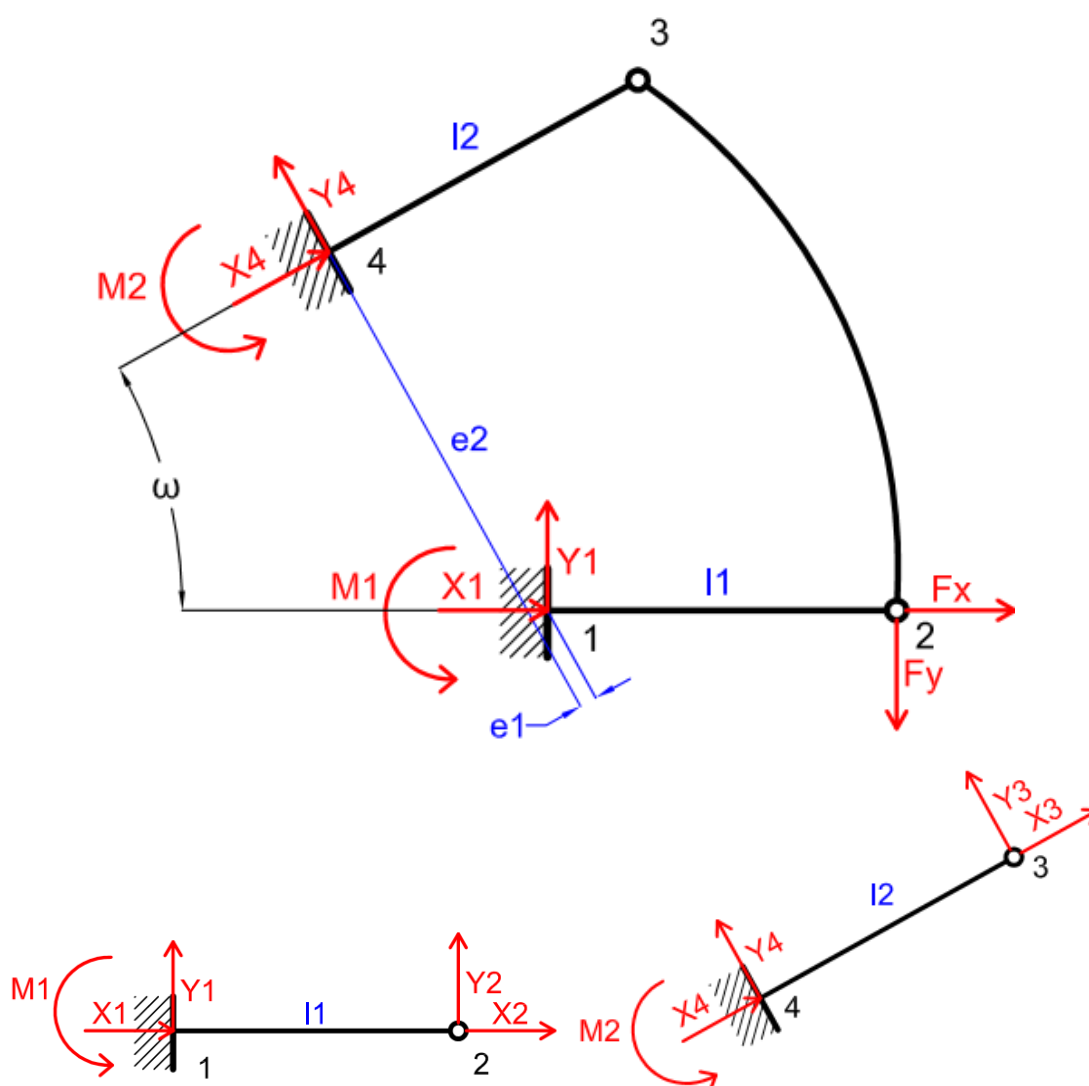
$$E = 2,1 \times 10^5\,MPa$$

8.9 Prutová soustava

8.9.1 Převod na prutovou soustavu

Sestavu jsem převedl na prutovou soustavu, kde uvažuji, že spodní nosník a horní tyč je díky pevnému svěrnému spojení vetknutá. Prostřední prut je spojen s nosníkem a horní tyčí kloubově.

Soustava je 1x staticky neurčitá. Od Zátížení F_x , F_y určíme reakční síly a momenty soustavy, ze kterých dále vytvoříme rovnice rovnováhy.

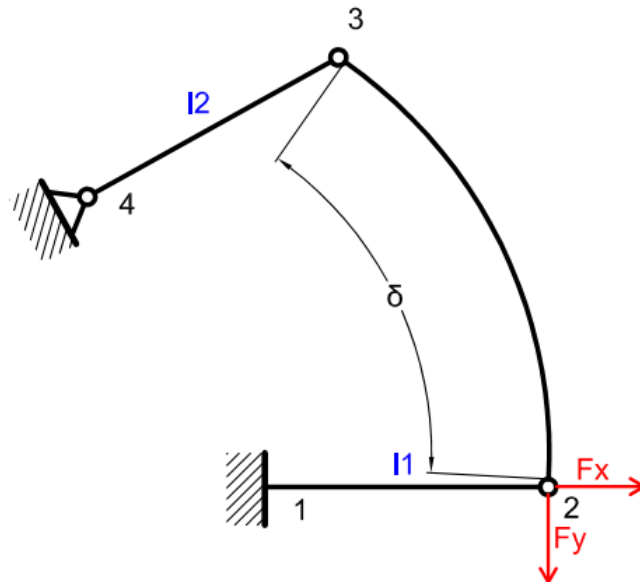


8.9.2 Rovnice rovnováhy

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1) $F_x + X_1 + X_4 \cdot \cos \omega - Y_4 \cdot \sin \omega = 0$ | 6) $-Y_2 \cdot l_1 + M_1 = 0$ |
| 2) $-F_y + Y_1 + Y_4 \cdot \cos \omega - X_4 \cdot \sin \omega = 0$ | 7) $Y_4 + Y_3 = 0$ |
| 3) $M_1 + M_2 - Y_4 \cdot e_1 - X_4 \cdot e_2 = 0$ | 8) $X_4 + X_3 = 0$ |
| 4) $Y_2 + Y_1 = 0$ | 9) $Y_3 \cdot l_2 + M_2 = 0$ |
| 5) $X_2 + X_1 = 0$ | |

8.9.3 Uvolnění a deformační podmínka

Vetknutí nosníku 2 nahradíme rotační vazbou. Z této operace vyplývá deformační podmínka, kde natočení prutu 2 musí být rovno nule.



DEFORMAČNÍ PODMÍNKA:

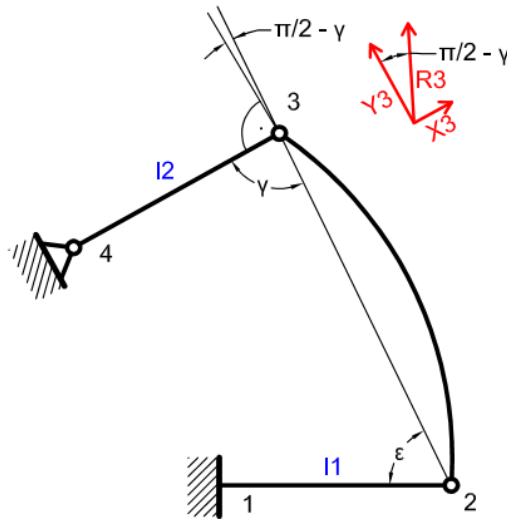
$$\varphi_4 = 0$$

MOHRŮV INTEGRÁL:

$$\varphi_4 = \int M \cdot m \cdot ds$$

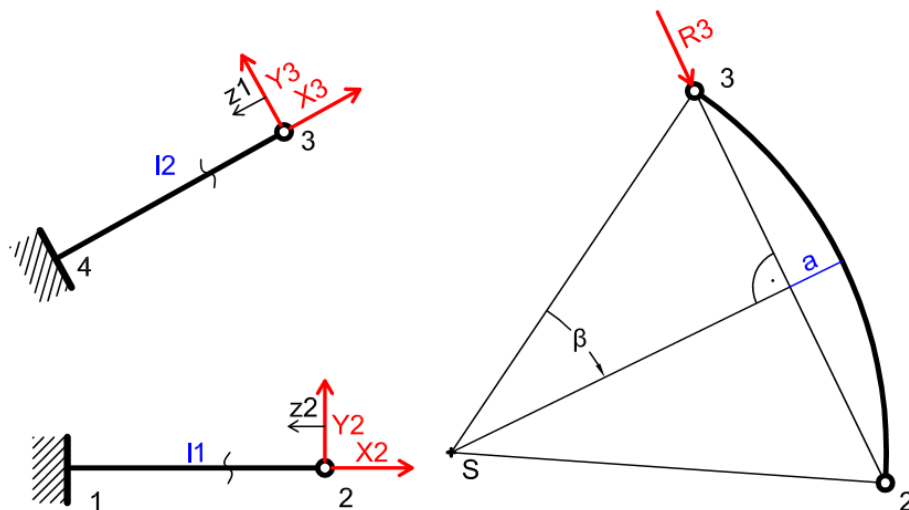
8.9.4 Průběh momentů

Pro vyšetření průběhu momentu v prutu 3 musíme z reakcí Y_3 a X_3 vypočítat R_3 , která je součtem těchto reakcí. Dále víme, že reakční síla R_3 musí působit stejným směrem, jaký má spojnice bodů 2,3, tedy sečna oblouku prutu 3. Díky znalosti této reakce budeme dále moci zjistit potřebný moment působící přes délku prutu 3 a sestavit Mohrův integrál. Známe úhel γ a tedy směr působení R_3 .



$$X_3 = Y_3 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)$$

$$R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2}$$



$$M_1 = Y_2 \cdot z_2$$

$$M_2 = Y_3 \cdot z_1$$

$$M_2 = R_3 \cdot a$$

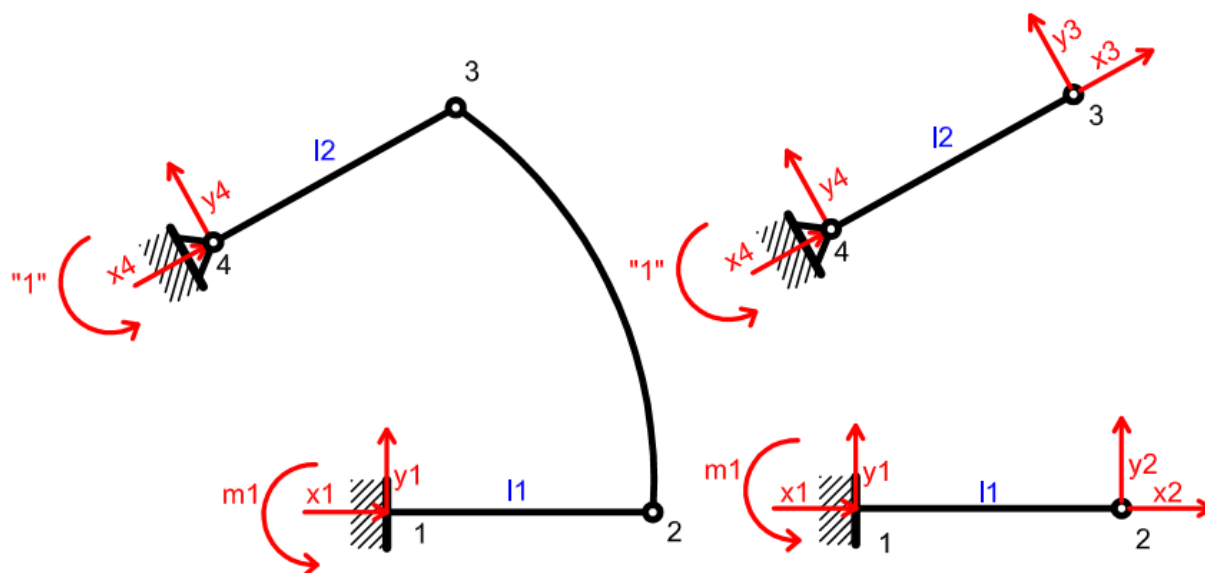
Kde a je funkcí β :

$$a = r \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \beta\right) - r \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)$$

$$a = r \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \beta\right) - q$$

8.9.5 Průběh jednotkových momentů

Pro sestavení Mohrova integrálu musíme určit reakce od jednotkového momentu v místě nahrazení vetknutí rotační vazbou (podobně, jako u výpočtu reakcí od zatížení od síly F). Z těchto reakcí sestavíme jednotlivé jednotkové momenty pro všechny tři pruty.



8.9.6 Rovnice rovnováhy od zatížení jednotkovým momentem

- | | | |
|--|-------------------------------|---|
| 1) $x_1 + x_4 \cdot \cos \omega - y_4 \cdot \sin \omega = 0$ | 5) $x_2 + x_1 = 0$ | 9) $y_3 \cdot l_2 + 1 = 0$ |
| 2) $y_1 + y_4 \cdot \cos \omega - x_4 \cdot \sin \omega = 0$ | 6) $-y_2 \cdot l_1 + m_1 = 0$ | 10) $y_3 - r_3 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) = 0$ |
| 3) $m_1 + 1 - y_4 \cdot e_1 - x_4 \cdot e_2 = 0$ | 7) $y_4 + y_3 = 0$ | |
| 4) $y_2 + y_1 = 0$ | 8) $x_4 + x_3 = 0$ | |

POUŽITÉ ROZMĚRY:

$$l_1 = 355 \text{ mm}$$

$$\omega = 30^\circ$$

$$l_2 = 360 \text{ mm}$$

$$\gamma = 85,7^\circ$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$r = 600 \text{ mm}$$

$$e_2 = 560 \text{ mm}$$

Pro výpočet reakcí od jednotkového momentu jsem použil program Matlab&Simulink.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \omega & -\sin \omega & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin \omega & \cos \omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -e_2 & -e_1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -l_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \\ m_1 \\ r_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Z programu Matlab&Simulink dostáváme řešení:

$$x = -0.0029 \ 0.0007 \ 0.0029 \ -0.0007 \ -0.0011 \ -0.0028 \ 0.0011 \ 0.0028 \ -0.2488$$

$$\begin{aligned} x_1 &= -0,0029 \\ y_1 &= 0,0007 \\ x_2 &= 0,0029 \\ y_2 &= -0,0007 \\ x_3 &= -0,0011 \\ y_3 &= -0,0028 \\ x_4 &= 0,0011 \\ y_4 &= 0,0028 \\ m_1 &= -0,02488 \end{aligned}$$

Známe reakce x_3 a y_3 a snadno dopočítáme reakci r_3 .

$$r_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2} = 0,003$$

Známe deformační podmínku, reakce a ramena, na kterých reakce vytváří momentová zatížení. Můžeme tedy sestavit Mohrův integrál.

$$\varphi_4 = 0$$

$$\begin{aligned} \varphi_4 &= \frac{1}{E \cdot J_2} \int_0^{l_2} (Y_3 \cdot z_1)(y_3 \cdot z_1) dz_1 + \frac{1}{E \cdot J_1} \int_0^{l_1} (Y_2 \cdot z_2)(y_2 \cdot z_2) dz_2 + \\ &\frac{1}{E \cdot J_3} \int_0^{\pi} (R_3 \cdot a)(r_3 \cdot a) \cdot r \cdot d\beta \\ 0 &= \frac{1}{E \cdot J_2} \int_0^{l_2} (Y_3 \cdot z_1)(y_2 \cdot z_1) dz_1 + \frac{1}{E \cdot J_1} \int_0^{l_1} (Y_2 \cdot z_2)(y_2 \cdot z_2) dz_2 \\ &+ \frac{1}{E \cdot J_3} \int_0^{\pi} R_3 \cdot \left(r \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \beta\right) - q \right) \left(r_3 \cdot \left(r \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \beta\right) - q \right) \right) \cdot r \cdot d\beta \end{aligned}$$

Výpočtem Mohrova integrálu získáváme desátou rovnici a můžeme vypočítat soustavu 10 rovnic o 10 neznámých.

10. Rovnice:

$$0 = Y_3 \cdot \frac{y_3 \cdot l_2^3}{3 \cdot E_2 \cdot J_2} + Y_2 \cdot \frac{y_2 \cdot l_1^3}{3 \cdot E_1 \cdot J_1} + R_3 \cdot \frac{r_3 \left(\frac{r^3}{2} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot r^3 - 2r^2 \cdot m + r \cdot m^2 \right)}{E_3 J_3}$$

Reakci R_3 popíšeme jako funkcí kosinus známé reakce Y_3 .

$$R_3 = \frac{Y_3}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)}$$

ROVNICE ROVNOVÁHY A MOHRŮV INTEGRÁL:

1) $F_x + X_1 + X_4 \cdot \cos \omega - Y_4 \cdot \sin \omega = 0$

2) $-F_y + Y_1 + Y_4 \cdot \cos \omega - X_4 \cdot \sin \omega = 0$

3) $M_1 + M_4 - Y_4 \cdot e_1 - X_4 \cdot e_2 = 0$

4) $Y_2 + Y_1 = 0$

5) $X_2 + X_1 = 0$

6) $-Y_2 \cdot l_1 + M_1 = 0$

7) $Y_4 + Y_3 = 0$

8) $X_4 + X_3 = 0$

9) $Y_3 \cdot l_2 + M_2 = 0$

10) $Y_3 \cdot \frac{y_3 \cdot l_2^3}{3 \cdot E_2 \cdot J_2} + Y_2 \cdot \frac{y_2 \cdot l_1^3}{3 \cdot E_1 \cdot J_1} + Y_3 \cdot \frac{r_3 \left(\frac{r^3}{2} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot r^3 - 2r^2 \cdot m + r \cdot m^2 \right)}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) \cdot E_3 J_3} = 0$

$$Y_3 \cdot (-1,55524 \times 10^{-5}) + Y_2 \cdot (-8,04209 \times 10^{-7}) + Y_3 \cdot (-3,51091 \times 10^{-6}) = 0$$

$$Y_3 \cdot (-1,90633 \times 10^{-5}) + Y_2 \cdot (-8,04209 \times 10^{-7}) = 0$$

POUŽITÉ ROZMĚRY A HODNOTY:

$l_1 = 355 \text{ mm}$

$r = 600 \text{ mm}$

$l_2 = 360 \text{ mm}$

$q = 519,6 \text{ mm}$

$e_1 = 40 \text{ mm}$

$E_1 = E_2 = E_3 = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$

$e_2 = 560 \text{ mm}$

$J_{z1} = 61\,812 \text{ mm}^4$

$\omega = 30^\circ$

$J_{z2} = 13\,333 \text{ mm}^4$

$\gamma = 85,7^\circ$

$J_{z3} = 43\,215 \text{ mm}^4$

MATICOVÝ ZÁPIS

b. $X = A$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \omega & -\sin \omega & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin \omega & \cos \omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -e_2 & -e_1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -l_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1,55524 \times 10^{-5} & 0 & -8,04209 \times 10^{-7} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ X_3 \\ Y_3 \\ X_4 \\ Y_4 \\ M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} -F_x \\ F_y \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$X_1 = 220.8426 \text{ N}$$

$$Y_1 = 393.8094 \text{ N}$$

$$X_2 = -220.8426 \text{ N}$$

$$Y_2 = -393.8094 \text{ N}$$

$$X_3 = 258.8437 \text{ N}$$

$$Y_3 = 16.6133 \text{ N}$$

$$X_4 = -258.8437 \text{ N}$$

$$Y_4 = -16.6133 \text{ N}$$

$$M_1 = -139.8024 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$M_2 = -5.8147 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

8.9.7 Kontrola na ohyb

Jednotlivé části podrobím kontrole na ohyb.

TYČ ČTVERCOVÝ PROFIL

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_o} \leq \sigma_{Do}$$

$$\sigma_o = \frac{Y_3 l_2}{\frac{1}{6} a^3} \leq \sigma_{Do}$$

$$\sigma_o = 4,4823 \leq 110 \quad \leftarrow \quad \text{vyhovuje}$$

TRUBKA VNITŘNÍ

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_o} \leq \sigma_{Do}$$

$$\sigma_o = \frac{R_3 \cdot a_{\max}}{\frac{\pi D^3}{32} \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)} \leq \sigma_{Do}$$

$$\sigma_o = 0,6194 \leq 110 \quad \leftarrow \quad \text{vyhovuje}$$

8.9.8 Kontrola na tah

TYČ ČTVERCOVÝ PROFIL

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \sigma_{Dt}$$

$$\sigma = \frac{X_3}{a^2} \leq \sigma_{Dt}$$

$$\sigma = 0,6345 \leq 100 \quad \leftarrow \text{vyhovuje}$$

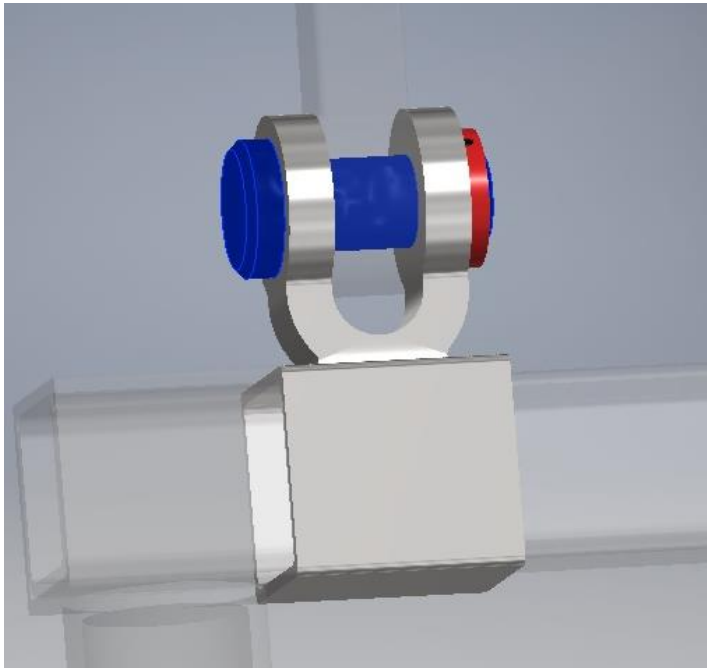
TRUBKA VNITŘNÍ

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \sigma_{Dt}$$

$$\sigma = \frac{R_3}{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)} \leq \sigma_{Dt}$$

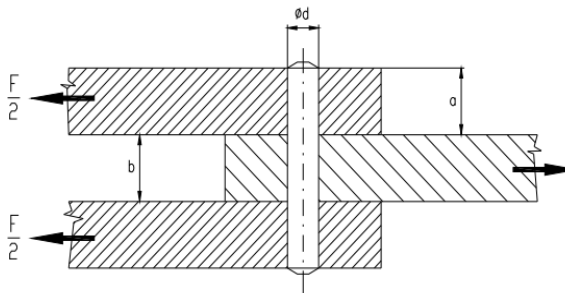
$$\sigma = 1,0272 \leq 100 \quad \leftarrow \text{vyhovuje}$$

8.1 Čep kloubu



Obrázek 22: Kloubové spojení

8.1.1 Kontrola čepu na stříh:



MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT:

$$M_{o \max} = \frac{F_{Ra}}{2} \times \frac{L_{\check{c}a}}{2} = \frac{F_{Ra} \cdot L_{\check{c}a}}{4}$$

$$M_{o \max} = \frac{245 \cdot 30}{4} = 1837 Nmm$$

F_{Ra} = výsledná reakční síla

$L_{\check{c}a}$ = délka čepu

DOVOLENÉ OHYBOVÉ NAPĚTÍ:

Materiál čepu: 11 375

$$\sigma_{DO} = 100 MPa$$

$$\tau_{DS} = 40 MPa$$

$$\sigma_O = \frac{M_{o \max}}{W_o} \leq \sigma_{DO}$$

$$\sigma_{DO} = \frac{M_{o \max}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}a}^3}{32}} \Rightarrow d_{\check{c}a} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o \max}}{\pi \cdot \sigma_{DO}}}$$

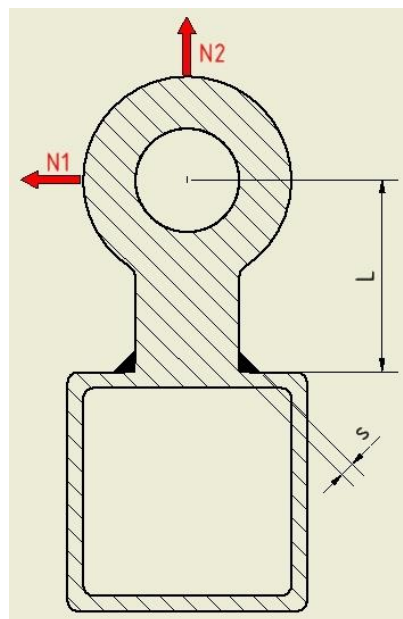
$$d_{\check{c}a} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1837}{\pi \cdot 100}} = 5,67 \text{ mm}$$

Volím průměr čepu: $d_{\check{c}a} = 20 \text{ mm}$

Návrh průměru čepu:

8.1.2 Kontrola pevnosti svaru

Pevnost svaru jsem provedl pro krajní případy nastavení konstrukce, kdy na prvek působí největší zatížení. A to zatížení při působení síly N_2 , která vyvolá pouze smykové napětí v kolmém směru a případ při působení síly N_1 , která vyvolá normálové napětí kolmé na směr svaru a smykové napětí kolmé na směr svaru. Zátěžovou sílu volím $N = 250\text{N}$



CHARAKTERISTIKA SVARU:

Délka svaru:	$l = 28\text{mm}$
Charakteristická výška svaru:	$s = 4\text{mm}$
σ_{kt} svaru (= σ_{kt} zákl. materiálu):	$\sigma_{kt} = 300\text{Mpa}$

Materiál: Ocel 11 375

Součinitel tloušťky koutového svaru: $\beta = 1,2$

Součinitel bezpečnosti: $n = 1,5$

PŘÍPAD ZATÍŽENÍ POUZE OD N_2 :

$$\tau_{\perp} = \frac{N_2}{2 \cdot s_{sv} \cdot \alpha} \leq \beta \frac{\sigma_{kt}}{n}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{N_2}{2 \cdot s \cdot l \cdot \alpha} \leq \beta \frac{\sigma_{kt}}{n}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{250}{2 \cdot 4 \cdot 28 \cdot 0,7} \leq 1,2 \frac{300}{1,5}$$

$1,59 \leq 240$ ← vyhovuje

PŘÍPAD ZATÍŽENÍ POUZE OD N_1 :

$$\sigma_o = \sigma_{\perp} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{s \cdot l^2}{6}} ; M_o = N_1 \cdot L$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{10000}{2 \cdot \frac{4 \cdot 28^2}{6}} = 9,57 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{N_1}{2 \cdot s \cdot l} = 1,11 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\perp}}{\alpha_{\sigma_{\perp}}}\right)^2} \leq \beta \frac{\sigma_{kt}}{n}$$

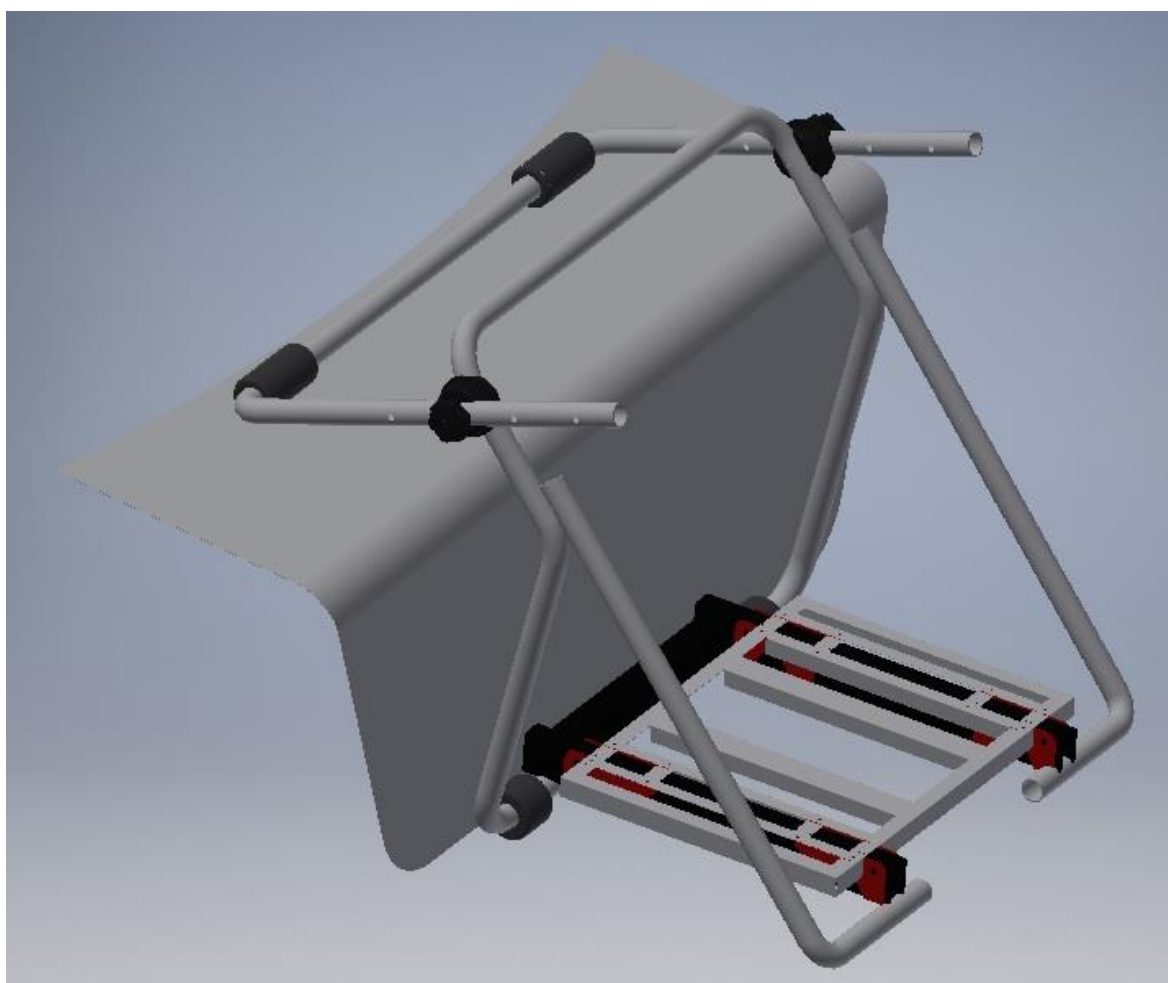
$$\sqrt{\left(\frac{1,11}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{9,57}{0,65}\right)^2} \leq 1,2 \frac{300}{1,5}$$

$14,79 \leq 240$ ← vyhovuje

9 ALTERNATIVNÍ ŘEŠENÍ UNIVERZÁLNĚ POUŽITELNÉHO NOSIČE PEMS

U alternativního řešení konstrukce nosiče PEMS jsem se inspiroval u výrobců nosičů na páté dveře na jízdní kola. Snažil jsem se také použít co nejvíce částí, které je možné zakoupit.

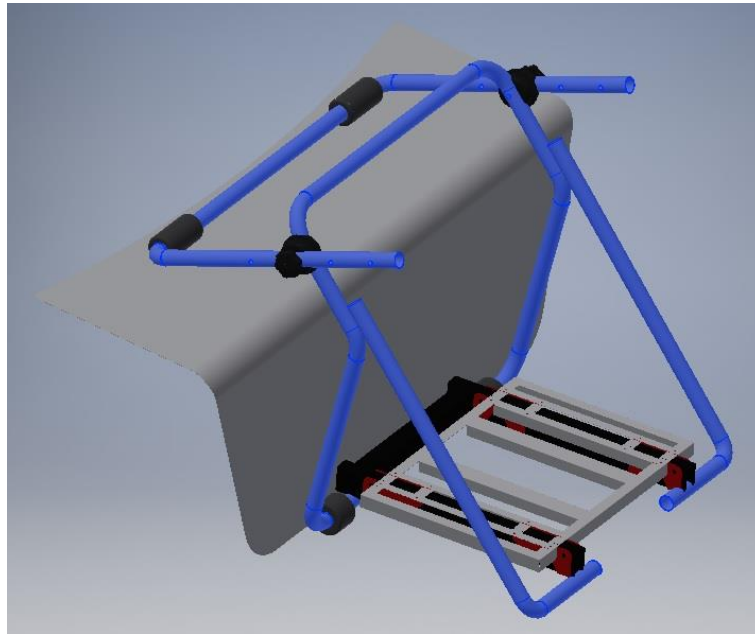
Základem je rám, který nese nosnou plošinu pro PEMS. Rám je zhotoven ze tří přivařených ohýbaných trubek a je kloubově spojen s horním opřením.



Obrázek 23: Alternativní konstrukce nosiče PEMS

Konstrukce je o páté dveře pouze opřena a k autu je připevněna pomocí šesti popruhů na karabinách, které se pomocí háků zaháknou do spár pátých dveří a dotáhnou přezkami.

9.1 Konstrukce rámu



Obrázek 24: Alternativní konstrukce nosiče PEMS

Celá konstrukce se skládá ze 4 ohýbaných trubek profilu TR 30x2. Konstrukce rámu vychází z konstrukce nosiče na kola. K této praxi ověřené konstrukci jsem přidal 2 trubky, které podepírají nosnou plošinu v dalších 2 bodech.

9.2 Materiál

Materiál

Ocel 11 375

Modul pružnosti v tahu: $E = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$

Mez pevnosti v tahu: $\sigma_{Pt} = 370 - 450 \text{ MPa}$

Mez únavy v ohybu $\sigma_{oc} (0,43 \sigma_{pt}) = 160 - 195 \text{ MPa}$

DOVOLENÉ HODNOTY

Tah/tlak statický: $\sigma_{Dt} = 100 - 140 \text{ MPa}$

Ohyb statický: $\sigma_{Do} = 110 - 155 \text{ MPa}$

9.3 Spojovací části

Rám je ke karoserii pátých dveří připevněn třemi páry popruhů. Popruhy jsou přichyceny háky a dotaženy přezkami.

Koncepce tohoto řešení stojí na možnosti zakoupení jednotlivých částí. Protože výrobci nosičů na kola často využívají stejné komponenty, tak jsem neočekával, že bude problém tyto sehnat. Skutečnost ale byla taková, že jsou samostatné části velice obtížně vyhledatelné. Zejména potom nastavitelné spojení trubek nebylo nikde k dostání. Rozhodl jsem se to řešit kontaktováním italského výrobce nosičů Peruzzo, zda je u nich možné jednotlivé součástky pro potřeby bakalářského projektu zakoupit zvlášť. Odpověděli mi kladně a zde je kompletní seznam potřebných součástí, které je výrobce Peruzzo ochoten poskytnout. V Peruzzo mi vyčíslili objednávku následujících komponent na 35,90 Euro včetně poštovného.



Obrázek 25: Nastavitelné spojení trubek 30mm (2x)



Obrázek 26: Popruhy s přezkou pro utažení 150cm (4x)



Obrázek 27: Popruhy s háky 100cm (2x)



Obrázek 28: Přezky (4x)



Obrázek 29: Háky - zinkový plech (6x)



Obrázek 30: Plastové krytky háků (6x)



Obrázek 31: Ochrana karoserie (4x)

+ 6x oko pro uchycení k trubkám

9.4 Výpočty

Výpočty této prutové soustavy jsem konzultoval na Ústavu mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, kde mi podle očekávání bylo sděleno, že je prakticky nemožné tuto soustavu vypočítat analyticky a je zapotřebí použít metodu MKP. S metodou MKP jsem se do této chvíle nesetkal, a proto při návrhu používám materiál a konstrukci velice podobnou existujícím a osvědčeným nosičům jízdních kol.

10 ZÁVĚR PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části bakalářské práce jsem se věnoval konstrukci nosiče PEMS. Jak jsem se již v úvodu zmínil, první konstrukce by byla značně náročnější na výrobu, což by se promítlo i na celkové ceně. Po zamyšlení se nad tímto problémem jsem vytvořil rychlý koncept konstrukce jednodušší s využitím nakoupených komponent. Nicméně jsem zcela neupustil od myšlenky výroby první konstrukce. Zaměřil jsem se na vyrobitelnost některých komponent, jako jsou například 2 páry ohnutých trubek, které se pro rozšíření dosahu konstrukce do sebe zasouvají. Kontaktoval jsem společnost MECHANIKA Králův Dvůr s.r.o., kde jsem se informoval, zda je možné trubky vyrobit tak, aby deformace vzniklá ohybem neznemožnila jejich zasunutí. Díky silnější stěně, malému poloměru ohybu a metodě ohýbání pomocí kladek prý není problém trubky s dostatečnou přesností vyrobit. Dostal jsem i cenový odhad a náklady mi byly vyčísleny na 3000Kč včetně materiálu za 4 kusy ohnutých trubek.

Z pevnostní kontroly je patrné, že konstrukce je předimenzována a to z důvodu velké odolnosti proti dynamickému namáhání, kterému je zatížená konstrukce jízdou vozidla po terénních nerovnostech vystavena.

Konečná varianta konstrukce nebyla vybrána a z toho důvodu práce není doplněna výkresovou dokumentací. Práce, návrhy dat a 3d modely jsou uvedeny v příloze na disku DVD.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] WHO. *WorldHealthOrganization: Outdoor Air Pollution Causes Cancer* 17.11.2013. [cit. 12.6.2016]. Dostupné z www: <<http://www.cancer.org/cancer/news/world-health-organization-outdoor-air-pollution-causes-cancer>>
- [2] Adamec, V. *Vliv emisí pevných částic z dopravy na zdraví obyvatel* [online]. 5.2005 [cit. 12.6.2016]. Dostupné z www: <<http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/0299A788-AA82-498F-A459-E847CD68749E/0/Emiseazdraviweb505.pdf>>
- [3] European Commission. *Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicles*. [online]. Akt. 9.10.2015 [cit. 14.6.2016]. Dostupné z www: <http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm>
- [4] Autolexikon. *Emisní norma EURO* [online]. 24.5.2016 [cit. 15.6.2016]. Dostupné z www: <<http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>>
- [5] Evropský parlament. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/46/ES* [online]. Akt. 5.9.2007 [cit. 19.6.2016]. Dostupné z www: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32007L0046>>
- [6] EHK OSN. *Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 83* [online]. Akt. 22. ledna 2015 [cit. 26.6.2016]. Dostupné z www: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2015.172.01.0001.01.CES#document1>
- [7] Dieselnet. *Emission Test Cycles*. [online]. 1.7.2013 [cit. 2.7.2016]. Dostupné z www: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php>

- [8] ICCT. *The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU* [online]. 10. 2014 [cit. 2.7.2016]. Dostupné z www: <http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_WLTP_EffectEU_20141029.pdf>
- [9] ICCT. *Real-world exhaust emissions from modern diesel cars* [online]. october 2014 [cit. 6.7.2016]. Dostupné z www: <http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_PEMS-study_diesel-cars_20141010.pdf>
- [10] AVL List GmbH. *AVL M.O.V.E GAS PEMS iS* [online]. 12.4.2015 [cit. 6.7.2016]. Dostupné z www: <<https://www.avl.com/web/guest/-/avl-m-o-v-e-gas-pems-is>>
- [11] AVL. *AVL+MOVE+iS* [online]. 9.2014 [cit. 12.7.2016]. Dostupné z www: <<https://www.avl.com/documents/10138/885965/AVL+M.O.V.E+iS+Information>>
- [12] Transport & environment. *Realistic real-world driving emission tests: the last chance for diesel cars?* [online]. 7.2015 [cit. 12.7.2016]. Dostupné z www: <<https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2015%2007%20RDE%20position%20paper%20FINAL.pdf>>