



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PALIVOVÝ SYSTÉM FORMULE STUDENT

FORMULA STUDENT FUEL SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kamil Šebela

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Janoušek, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Kamil Šebela**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Michal Janoušek, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

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

Palivový systém Formule Student

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést rešerši možných možných řešení palivového systému vozů Formule Student. Na základě rešerše provést konstrukční návrh palivového systému pro vozidlo Dragon 7.

Cíle bakalářské práce:

Úvod do problematiky.
Rešerše možných provedení palivového systému.
Konstrukční návrh palivového systému.
Ukázka aplikace palivového systému do vozidla.

Seznam literatury:

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily III: Motory. 4. přepracované. Brno: Avid, 2007. ISBN 978-80-903671-7-3.

2017-18 Formula SAE Rules. September 2, 2016. Michigan: SAE International, 2016, 175 s. Rev A. Dostupné také z: <http://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf>

Formula Student Germany All FSAE Teams. Formula Student Germany [online]. 2016 [cit. 2016-09-29]. Dostupné z: <http://www.formulastudent.de/fsc/>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 22. 11. 2016



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá konstrukcí palivového systému pro vozidlo Formula Student. Práce je rozdělena na tři části, kdy první část se věnuje rešerši o soutěži Formula Student, materiálech pro nádrže, hlavních komponentech palivového systému a pravidel vztahujících se na palivový systém. Druhá část se zabývá testováním odolnosti pryskyřic a tmelů proti palivu E85. Poslední část se věnuje výrobě kompozitní nádrže, hlavním částem palivového systému a aplikací palivového systému do vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Palivový systém, Formula Student, testování pryskyřice, kompozitní palivová nádrž

ABSTRACT

This thesis deals with construction fuel system for Formula Student vehicle. Thesis is divided into three parts, where first part deals about research about Formula Student competition, materials for fuel tanks, fuel system main parts and rules for fuel system. Second part deals about testing endurance for resin and filler against E85 fuel. Third part deals about manufacturing composite fuel tank, fuel system main parts and application fuel system into vehicle.

KEYWORDS

Fuel system, Formula Student, resin testing, composite fuel tank

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠEBELA, K. *Palivový systém formule student*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 37 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Janoušek, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michala Janouška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Kamil Šebela

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. Michal Janoušek Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při vypracování této práce. Dále děkuji své rodině za podporu během studia a všem členům týmu TU Brno Racing.

1 OBSAH

Úvod	10
2 Formula student	11
2.1 Historie.....	11
2.2 Tým TU Brno Racing	11
3 Pravidla pro palivový systém	13
4 Konstrukční provedení palivových systémů.....	16
4.1 poloha nádrže	16
4.2 Materiály nádrží	16
4.2.1 Hliník	16
4.2.2 Rapid prototyping	17
4.2.3 Kompozitní materiál	17
4.2.4 Pružný vak	17
4.3 Palivová čerpadla.....	18
4.3.1 Palivové čerpadlo externí	18
4.3.2 Palivové čerpadlo interní	18
4.3.3 Nízkotlaká podávací čerpadla.....	19
4.3.4 Vysokotlaká čerpadla	19
4.3.5 Vysokotlaká čerpadla pro přímý vstřík paliva.....	19
4.3.6 Charakteristiky čerpadel	19
4.4 Filtry.....	20
4.4.1 Hrubý filtr	20
4.4.2 Jemný filtr	20
4.5 Regulátory tlaku.....	20
5 Ukázka aplikace palivového systému do vozidla	21
5.1 Tvar nádrže	21
5.2 Uchycení nádrže na rám	22
6 Konstrukce palivového systému	24
6.1 Testování odolnosti pryskyřic.....	24
6.1.1 Změna pryskyřice	24
6.1.2 Laminování vzorků.....	25
6.1.3 Podmínky testování	25
6.1.4 Výsledky testování	25
Zhodnocení testování	29
6.1.5	29
6.2 Konstrukce nádrže	30

6.2.1	Výroba a příprava formy	30
6.2.2	Laminování	31
6.2.3	Příprava před lepením a lepení	32
6.3	Hlavní části palivové nádrže	32
6.3.1	Laminované části	33
6.3.2	Příruba, držák čerpadla a skříň regulátoru	33
	Závěr	35
	Seznam použitých zkratk a symbolů	37

ÚVOD

Palivový systém se stará o rozvod paliva z nádrže palivovým čerpadlem přes regulátor tlaku ke vstřikovačům, kde je palivo vstřikováno do kolena sání podle potřeby motoru. Palivo je umístěno uvnitř nádrže, kde je vystaveno podélným i příčným zrychlením od pohybu vozu. Pro zabránění pění a pohybu paliva v nádrži je uvnitř umístěna měkká polyuretanová pěna s otevřenými buňkami a kolem palivového čerpadla je vytvořena ohrádka s dvířky pro zachycení paliva u palivového čerpadla. Na zachycení sil od pohybu paliva a síly od ostatních komponent musí být dimenzována jak palivová nádrž, tak i jednotlivé držáky. Nádrž je z kompozitního materiálu složeného z pryskyřice a karbonových, nebo aramidových vláken. Strukturální pryskyřice není odolná proti palivu a je potřeba jí chránit povrchovou pryskyřicí odolnou proti palivu E85.

Palivo je čerpáno přes hrubý filtr čerpadlem do jemného filtru a dále do regulátoru tlaku paliva, kdy je část paliva vrácena zpět do nádrže a část paliva je vedena ke vstřikovačům. Vedení se větví na dvě větve k jednotlivým vstřikovačům. Vstřikovače jsou umístěny v sacím kolenu a starají se o dávkování paliva podle potřeby motoru. Pro regulaci objemu vstřikovaného paliva je snímán tlak paliva a teplota nasávaného paliva.

2 FORMULA STUDENT

2.1 HISTORIE

Formula student je soutěž založená roku 1978 ve Spojených státech amerických pod záštitou SAE. První evropské závody se konaly roku 1998 ve Velké Británii na testovací dráze společnosti MIRA v Warwickshire. Tohoto závodu se zúčastnily tři Americké týmy a čtyři Anglické týmy. Tento závod se roku 2007 přesunul na okruh Silverstone v Northampton, kde se závody konají dodnes. Další významný evropský závod se uskutečnil v roce 2006 v Německém Hockenheimringu. Tento závod je považován za jeden z neprestižnějších závodů na světě. První český závod se uskutečnil v roce 2013 v Hradci Králové, odkud se později přesunul na Mostecký polygon. [1]

V roce 2010 byla vytvořena kategorie elektrických formulí s prvním závodem v Německu, kdy se současně koná závod spalovacích i elektrických formulí. [1] V roce 2016 přicházejí němečtí organizátoři s nápadem formulí řízených na základě senzorů namísto člověka. První závod se uskuteční pro pozvané týmy v Německu 2017 současně se závodem spalovacích a elektrických formulí.

Aktuálně vznikají stále nové závody a počet registrovaných univerzit a studentů stále roste. Celosvětově je registrovaných více než 660 univerzit s tisíci registrovanými studenty. V České republice je aktuálně pět týmů stavících formuli s klasickým pohonem a jeden tým stavící elektrickou formuli.



Obrázek 1. Panoramatické foto z FSG 2016 [2]

2.2 TÝM TU BRNO RACING

Tým TU Brno Racing působí již sedmým rokem v soutěži Formula Student. V týmu je více než 40 členů, kdy většina studuje strojírenské obory. Tým je veden studenty, nejčastěji magisterského studia, kdy jsou definované pozice týmového vedoucího a vedoucích jednotlivých sekcí. Vedoucí týmu se stará o chod týmu, jednání s univerzitou a sponzory. Za technickou část je zodpovědný technický vedoucí, který má na starost technickou část a pro letošní rok i rám s monokokem. Za každou sekci je zodpovědný jeden vedoucí, který se stará o hlavní sestavy na autě, jako je třeba motor, podvozek a rám. Tito vedoucí mají tým studentů,

kterým rozdělují práci a stanovují celkový koncept dané skupiny. Neméně důležitou sekcí týmu je business sekce, která se stará o sponzory, propagaci a organizaci týmových akcí. Podstatnou součástí našeho týmu jsou i fakultní zástupci, kteří se starají o spolupráci mezi univerzitou a týmem a o finance a smlouvy.

3 PRAVIDLA PRO PALIVOVÝ SYSTÉM

Palivový systém je stavěn podle německých pravidel, podle kterých se konají evropské závody. Tato pravidla se výrazně neliší od celosvětových pravidel FSAE. Jedinou výraznou změnou je zde přidání pravidla na minimální vzdálenost nádrže od výfukového systému a nutnou tepelnou izolaci. Toto pravidlo bylo přidáno začátkem prosince v době, kdy palivový systém měl již finální podobu a začalo se pracovat na výrobě. Pro splnění pravidel bylo nutné výrazně upravit model nádrže a posunout výfukové plenum co nejbližší rámu pro získání potřebných 70 mm.

1) PALIVO

- 1.1) Dostupná paliva budou bezolovnatý benzín 98 oktanů, měřený metodou RON a E85.
- 1.2) Vozidlo musí být provozováno s palivy dodanými organizátory.
- 1.3) Jiné látky než benzín, nebo E85 a vzduch nesmí být spalovány.
- 1.4) Teplota paliva nesmí být ovlivňována za účelem snížení spotřeby. [3]

2) PALIVOVÁ NÁDRŽ

- 2.1) Palivová nádrž je definována jako ta část palivového systému, která je v kontaktu s palivem. Může být z pevného, nebo flexibilního materiálu.
- 2.2) Palivová nádrž vyrobená z pevného materiálu nesmí přenášet zatížení rámu a musí být uložena bezpečně k rámu vozidla tak, aby dovozovala pohyb nádrže a zabránila tak zatížení nádrže rámem.
- 2.3) Jakákoliv palivová nádrž, která je vyrobená z flexibilního materiálu, například měchýřová nádrž, nebo vak, musí být uzavřena v pevné schránce, která je bezpečně uchycena na rám. Takováto schránka (obsahující měchýř, nebo vak) může přenášet zatížení od rámu.
- 2.4) Palivový systém musí mít možnost vyprázdnění palivové nádrže, pokud je pořadatelem vyžadováno.
- 2.5) Palivová nádrž nesmí být navržena tak, aby měla proměnlivý objem. [3]

3) VEDENÍ PALIVA NÍZKOTLAKÉ

- 3.1) Vedení paliva mezi nádrží a tlakovým zásobníkem a zpětná větve musejí mít:
 - zpevněné gumové hadice, nebo hadice s ochranou proti prodření vybavené sponami, které jsou kolem celého obvodu hadice, mají šroub a matici pro utahování a zakulacené hrany pro zabránění proříznutí hadice, nebo
 - železné pletené hadice se zalisovanými fitinky, nebo fitinky se šroubením [3]

4) VEDENÍ PALIVA KE VSTŘIKOVAČŮM

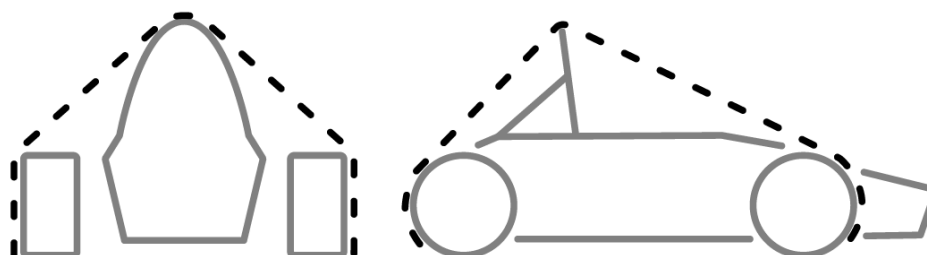
4.1) Nízkotlaké systémy vstřikování paliva jsou takové systémy, které fungují s tlakem menším než 10 barů a vysokotlaké systémy vstřikování paliva jsou takové systémy, které fungují s tlakem 10 barů, nebo nad tímto tlakem.

4.2) Na nízkotlaký systém jsou kladeny tyto požadavky:

- tento systém musí splňovat pravidlo 3.
- tlakový zásobník paliva musí být bezpečně uchycen k bloku motoru, hlavě motoru, nebo sání mechanickým spojovacím materiálem. Šroubový spojovací materiál použitý na uchycení zásobníku je považován za nebezpečný spojovací materiál a musí splňovat pravidla pro nebezpečný spojovací materiál
- použití tlakových zásobníků vyrobených z plastu, karbonu nebo metodou rapid prototyping z hořlavých materiálů jsou zakázány. Ačkoliv použití originálních dílů vyrobených výrobcí tlakových zásobníků z těchto materiálů je možné použít [3]

5) POLOHA PALIVOVÉHO SYSTÉMU

5.1) Všechny části palivové nádrže a vedení paliva musí ležet uvnitř plochy definované nejvyšším místem hlavního oblouku a vnějším hranou všech čtyř pneumatik (obrázek 3). Z bočního pohledu žádná část palivového systému nesmí ležet pod spodní hranicí rámu.



Obrázek 2. Obálka vozu [3]

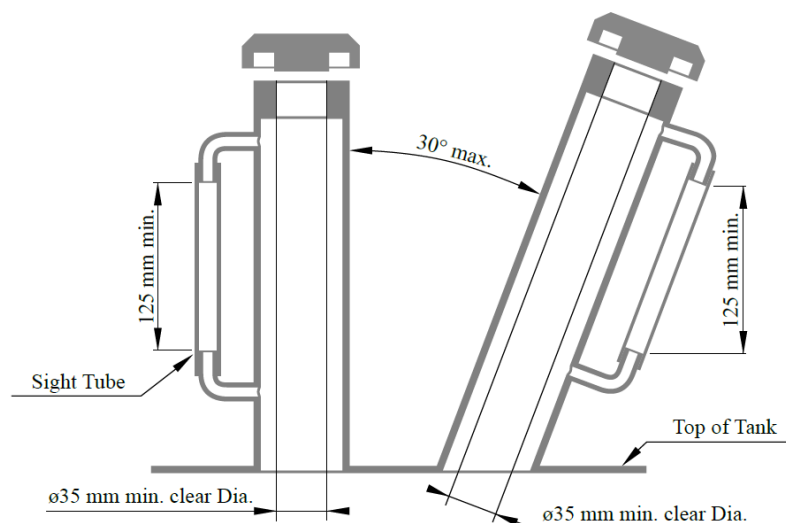
5.2) Všechny palivové nádrže musejí být chráněny proti bočnímu, nebo zadnímu nárazu. Jakákoliv část palivové nádrže, která leží mimo boční nárazovou zónu musí být chráněna konstrukcí splňující pravidla pro boční nárazovou zónu. Všechny části palivové nádrže, které jsou pod 350 mm od země musejí ležet uvnitř primární struktury.

5.3) Všechny části palivového systému musejí být adekvátně chráněny proti jakémukoliv zdroji tepla a vzdáleny minimálně 70 mm od jakékoliv části výfukového systému. [3]

6) PLNICÍ HRDLO A VODOZNAK

6.1) Všechny nádrže musejí mít plnicí systém, který má:

- minimální průměr 35 mm mezi nádrží a plnicím hrdlem v jakémkoliv bodě
- délku plnicího systému minimálně 125 mm, měřeného vodorovně
- maximální úhel mezi svislicí a plnicím systémem 30°
- průhlednou trubici (vodoznakem) s délkou minimálně 125 mm vertikálně pro odečtení výšky hladiny paliva (obrázek 4)



Obrázek 3. Poloha a rozměry plnicího hrdla [3]

6.2) Průhledná plnicí hadice a plnicí hrdlo mohou být použity jako vodoznak.

6.3) Stálá, nepohyblivá, dobře a lehce viditelná ryska označující hladinu musí být umístěna mezi 12 až 25 mm pod hrdlem. Tato ryska bude použita pro plnění nádrže, pro náklonový test a pro plnění nádrže před a po vytrvalostním závodě.

6.4) Nalévací hrdlo musí být lehce dostupné bez nutnosti oddělování jakýchkoliv částí vozu kromě víčka hrdla.

6.5) Plnicí hrdlo musí mít víčko, které odolá vibracím, nebo vysokému tlaku způsobeným převrácením vozidla. [3]

7) PLNĚNÍ NÁDRŽE

7.1) Palivová nádrž musí být schopná plnění bez manipulace s vozidlem v jakémkoliv směru. Palivový systém musí být navržen tak, aby při plnění vzniklé bubliny a ostatní jevy ovlivňující výšku hladiny byly eliminovány (kromě pohlcování).

7.2) Plnicí systém musí být navržen tak, aby při plnění a rozlití paliva nedošlo ke kontaktu s řidičem, výfukovým systémem, horkými částmi motoru a zapalováním.

7.3) Pod nádrží musí být ohrádka zabraňující uniklému palivu v hromadění. Minimálně dvě díry o minimálním průměru 25 mm musejí být vyvrtány ve spodní části struktury pro zabránění hromadění uniklého paliva. [3]

8) ODVĚTRÁVACÍ SYSTÉM

8.1) Odvětrávací systém musí být navržen tak, aby při prudké akceleraci, nebo v zatáčce nedocházelo k únikům paliva.

8.2) Všechny odvětrávací systémy musejí být vybaveny jednosměrným ventilem pro zabránění únikům paliva, když je nádrž převrácená. Všechny odvětrávací systémy musejí ústít mimo kapotáž vozu. [3]

4 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ PALIVOVÝCH SYSTÉMŮ

4.1 POLOHA NÁDRŽE

Nádrž je u většiny týmů, jak ve formuli student, tak ve formuli 1, umístěna za sedačkou řidiče. Toto umístění je dáno hmotností nádrže a snahou o vyplnění prostoru mezi motorem a sedačkou řidiče. Nádrž je umístěována co nejnižší pro snížení těžiště a co nejbližší těžišti pro co nejmenší moment setrvačnosti. S polohou nádrže souvisí také poloha nalévacího hrdla, které musí být lehce dostupné pro plnění a odpovídající délka plnicí hadice pro sledování hladiny v nádrži. Nalévací hrdo je umístěné na pravé straně formule ve výšce řidičových ramen.

4.2 MATERIÁLY NÁDRŽÍ

V použitých materiálech nejsou kladeny žádné meze. Nejčastěji jsou u začínajících týmů použity hliníkové nádrže. Jak je kladen stále větší důraz na hmotnost a spolehlivost přechází týmy na kompozitní nádrže, popřípadě pružné vaky. Vak má velkou výhodu v tom, že není studenty většinou vyráběn, ale je kupován. Nevýhodou je jeho cena a doba dodání od externího dodavatele. U kompozitní nádrže je potřeba vyřešit chemickou odolnost a spolehlivost nádrže jako celku.

4.2.1 HLINÍK

Hliník je často používaný materiál při výrobě nádrží. Je lehký, dobře se svařuje a je chemicky odolný proti palivům. Hliníková nádrž byla používána při předchozích generacích vozu Dragon 1 až 4. Hliníkové plechy jsou použitelné od 2 mm tloušťky, takže nádrž je přirozeně těžší oproti ostatním řešením. Naopak výroba a cena nádrže je dobrá, tudíž ji používá mnoho týmů. Problematické zde byly svarové spoje, které mohly být špatně svařené a vést k netěsnostem, k prasknutí svaru, nebo jeho okolí.



Obrázek 4. Hliníková nádrž z Dragona 4

4.2.2 RAPID PROTOTYPING

Touto metodou je možné vytvořit celou nádrž i s plnicím hrdlem. Výroba je jednoduchá a výrobek se od modelu minimálně liší. Jsou zde minimální omezení na tvarovou složitost a dochází zde k eliminaci spojů, které mohou být potenciálním problémem. Materiál je volen podle typu paliva a podle možností výrobce. Nádrž umístěná blízko výfuku, ve snaze o zmenšení zástavbových rozměrů, má problém s vysokou teplotou, tudíž plast není vhodný pro stávající koncept. Dalším rizikem je použití tisknutých věcí na nosné součásti, kdy díky vibracím od motoru docházelo k odlepování jednotlivých vrstev od sebe.



Obrázek 5. Nádrž vytvořená 3D tiskem z nylonu [4]

4.2.3 KOMPOZITNÍ MATERIÁL

Kompozitní materiál je materiál složený minimálně ze dvou látek, které po spojení vytvoří nový materiál s požadovanými vlastnostmi. Jako pojivo se používají epoxydové pryskyřice, které po vytvrnutí spojí vlákna. Pro dodání potřebné pevnosti a tuhosti se přidávají do kompozitu vlákna karbonu, skla, nebo aramidu. Karbon je často používán pro svojí pevnost vzhledem k malé hmotnosti. Skelná vlákna se používají méně, jelikož jsou křehčí a méně pevná než karbon. Aramid je používán na místech, kde předpokládáme možné narušení součásti a chceme zabránit jejímu prodření, nebo proražení. Má dobrou odolnost proti opotřebení a je houževnatější než karbon. Kompozitní materiál má hustotu zhruba $1\,500\text{ kg/m}^3$ (záleží podle výroby a typu vláken). Při této hustotě má velkou pevnost, která závisí na použité pryskyřici, materiálu vláken, směru vláken a tepelné úpravě. Výpočet takovýchto kompozitních materiálů je náročný a pro nosné části rámu se musejí dělat vzorky pro dostatek vstupních dat a splnění pravidel.

4.2.4 PRUŽNÝ VAK

Pružný vak se používá ve Formuli 1. Jedná se o celek vytvořený firmou ATL podle parametrů schránky. Tento vak je odolný proti proražení a proti požáru. Pro použití benzínu jako paliva je vak použitelný s tloušťkou $0,327\text{ mm}$ a měrnou hmotností $0,367\text{ kg/m}^2$. Pro vak na E85 jsou parametry horší s tloušťkou $0,754\text{ mm}$ a měrnou hmotností $1,105\text{ kg/m}^2$ je vak mnohem těžší a vyžaduje zároveň stále ochrannou schránku pro vyhovění pravidlům. [5] Výhodou by zde mohlo být použití monokoku jako schránky a využít nádrž jako nosný prvek rámu.



Obrázek 6. Pružný vak od firmy ATL [6]

4.3 PALIVOVÁ ČERPADLA

Palivová čerpadla můžeme dělit podle umístění na čerpadla externí čerpadla tzv. „in-line“ a čerpadla určená pro použití uvnitř nádrže, tzv. „in-tank“. Dalším možným dělením je dělení podle dodávaného tlaku, kdy čerpadla dodávající palivo s velkým průtokem a tlakem do 0,15MPa jsou čerpadla nízkotlaká podávací a čerpadla vysokotlaká dodávají palivo s tlakem vyšším jak 0,5MPa. Další skupina čerpadel podle dodávaného tlaku jsou čerpadla vysokotlaká pro systémy s přímým vstřikováním s tlaky přesahujícími 1MPa. [7]

4.3.1 PALIVOVÉ ČERPADLO EXTERNÍ

Palivová čerpadla externí jsou umístěna mimo nádrž, kdy mají přivedené sání paliva z nejnižšího místa v nádrži. Tato čerpadla mohou být jak nízkotlaká, tak vysokotlaká. Výhodou těchto čerpadel je snadná dostupnost a lehká servisovatelnost. Nevýhodou je v případě selhání hadice rozstřík paliva mimo nádrž a s tím spojené nebezpečí požáru. Kavitace vzhledem k malým dopravním vzdálenostem, mezi sáním čerpadla a dnem nádrže je zanedbatelná, tudíž by zde neměly být problémy s životností rotoru čerpadla. [7]

4.3.2 PALIVOVÉ ČERPADLO INTERNÍ

Palivová čerpadla umístěná uvnitř nádrže, tzv. „in-tank“ jsou umístěna uvnitř nádrže, nejčastěji ve středu nádrže s vytvořeným prostorem pro stálý přísun paliva. Tato čerpadla jsou vybavena na spodní části úchytem pro připevnění hrubého filtru pro zabránění zadření čerpadla. Celé čerpadlo musí být chemicky odolné proti palivu a mít zajištěnou dodávku elektrické energie pro chod motoru pohánějícího rotor. Výhody jsou zde v bezpečném umístění čerpadla uvnitř nádrže a ochraně proti selhání hadice, kdy palivo zůstane uvnitř nádrže a nehrozí riziko požáru. Další výhodou je přímé sání čerpadla, kdy není nutná žádná přívodní hadice. Nevýhodou je zde špatná servisovatelnost a nutnost vytvoření dobrého uložení čerpadla, které nedovolí axiální posun, čím by se zmenšil prostor na sání a čerpadlo by nemuselo dodávat dostatečný tlak do systému. [7]

4.3.3 NÍZKOTLAKÁ PODÁVACÍ ČERPADLA

Tato čerpadla slouží pro dodávku paliva pro karburátor, nebo jako podávací čerpadla pro přímé vstřikování. Vyznačují se vysokým průtokem až 300 litrů za hodinu při tlaku do 0,15MPa. Starají se o dodávku paliva do karburátoru, nebo o přívod paliva pro vysokotlaké čerpadlo, které bývá umístěno nejčastěji na bloku motoru a je poháněno od rozvodového mechanismu. [7]

4.3.4 VYSOKOTLAKÁ ČERPADLA

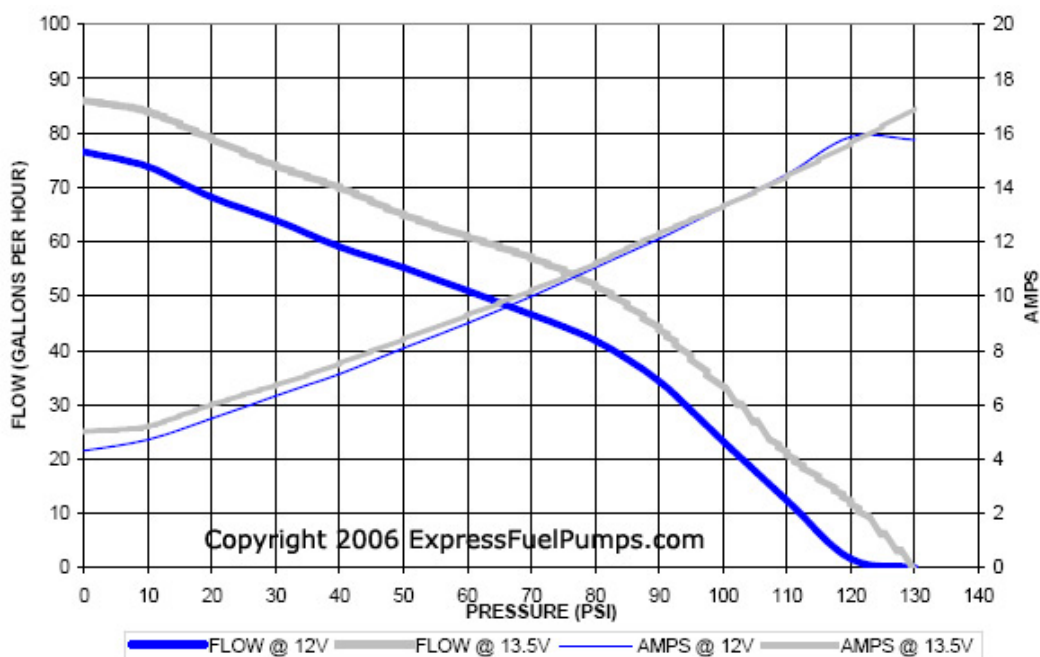
Vysokotlaká čerpadla dodávají palivo o vyšším tlaku jak 0,5MPa a průtoku alespoň 50l/hod. Palivo od čerpadla se vede přes jemný filtr do regulátoru, kde se reguluje tlak paliva na požadovanou hodnotu a dále je palivo vedeno ke vstřikovačům. Tato čerpadla se používají při nepřímém vstřikování paliva. [7]

4.3.5 VYSOKOTLAKÁ ČERPADLA PRO PŘÍMÝ VSTŘIK PALIVA

Tato čerpadla dodávají palivo do tlakového zásobníku, tzv. „rail“, odkud se rozvádí palivo k jednotlivým vstřikovačům. Tlakový zásobník slouží pro uklidnění pulzací, které vznikají otíráním a zavíráním vstřikovačů a jako zásoba paliva. Takovýto zásobník musí mít pojistný ventil a regulátor, který snímá tlak v systému a upravuje podle toho dobu otevření vstřikovačů. Jsou poháněny mechanicky, na rozdíl od předchozích čerpadel, která používají elektrický pohon. [7]

4.3.6 CHARAKTERISTIKY ČERPADEL

Pro čerpadlo se nejčastěji tvoří graf závislosti průtoku na požadovaném tlaku. Tento graf je důležitý pro správný návrh čerpadla vzhledem k požadovanému průtoku a tlaku na výstupu čerpadla. Graf je možné doplnit o další křivku zobrazující závislost proudu na průtoku. Na grafu 1. je charakteristika pro používané čerpadlo od firmy Walbro model GSS340. Dodávaný průtok paliva při 5 barech je 211 l/hod při napětí 13,5V. [8]



Graf 1. Charakteristika čerpadel Walbro GSS340, GSS341 a GSS342 [8]

4.4 FILTRY

Filtry slouží pro filtrování nečistot v palivu. Rozeznáváme dva druhy filtrů, kdy podle polohy a maximálního rozměru nečistoty v palivu dělíme filtry na hrubé a jemné. [7]

4.4.1 HRUBÝ FILTR

Hrubý filtr se umísťuje před čerpadlo a chrání čerpadlo od větších nečistot. Čerpadlo je celkově méně náchylné na malé nečistoty, než regulátor a vstřikovač. Maximální velikost částic, které projdou přes tento filtr by neměla přesáhnout 100 μ m. Tento filtr nemůže být moc jemný, jelikož by způsobil velký odpor na sání čerpadla a také by mohlo docházet k častému ucpávání tohoto filtru. Pokud by byl tento filtr byl moc hrubý, docházelo by ke špatné filtraci paliva a hrozilo by zadření čerpadla. [7]

4.4.2 JEMNÝ FILTR

Jemný filtr se umísťuje za čerpadlo, kde má palivo dostatečný tlak a tudíž malá tlaková ztráta ničemu nevádí. Filtr slouží pro zachycení drobných nečistot v řádech mikrometrů. Takovéto filtry bývají často typu „in-line“, kdy leží vstup a výstup v jedné rovině a palivo prochází přes vložku filtru na výstup. Tyto filtry se používají často v automobilním průmyslu pro svojí jednoduchou aplikaci a výměnu. Druhý typ filtru je filtr s výměnou vložkou. Takový filtr potřebuje schránku, kde těsní nejčastěji na o-kroužku a palivo prochází skrz vložku na výstup z filtru. Zde se mění jen vložka filtru a tělo filtru zůstává na konstrukci. [7]



Obrázek 7. a) Jemný filtr "in-line", b) Vyměnitelná vložka jemného filtru [9,10]

4.5 REGULÁTORY TLAKU

Regulátory tlaku slouží k regulování tlaku paliva. Tlak paliva regulují pružinou, kdy po překročení nastavené hranice začne regulátor část paliva vracet zpět do nádrže. Regulátor může být doplněn o možnost upravení výstupního tlaku na základě referenčního tlaku v sání. Pro regulátor jsou důležité dva parametry. Prvním parametrem je rozsah, ve kterém je schopen regulovat tlak, a druhým parametrem je maximální průtok, který je regulátor schopen zregulovat. [7]



Obrázek 8. Regulátor tlaku paliva Bosch [11]

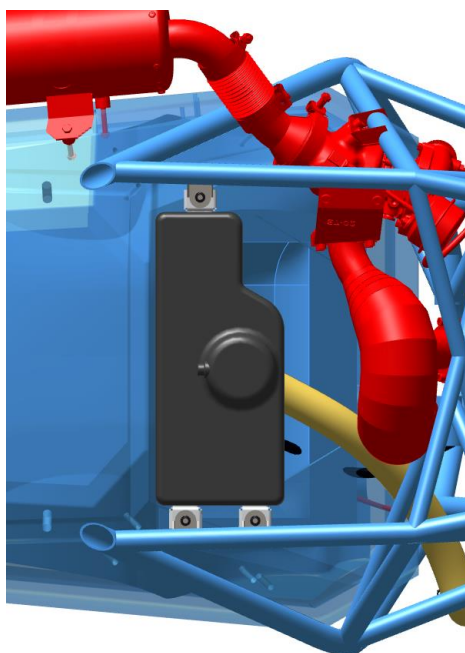
5 UKÁZKA APLIKACE PALIVOVÉHO SYSTÉMU DO VOZIDLA

Umístit dobře nádrže je složité díky malému prostoru mezi monokokem, sedačkou řidiče a výfukovým systémem, kdy každá část palivové nádrže musí být vzdálena minimálně 70 mm od jakékoliv části výfukového systému. Prostor pro nádrž je tedy vymezen šířkou zadního trubkového rámu, kdy nádrž i držáky musí být uvnitř pomyslné obálky tvořené vnější plochou trubkového rámu. Nejnižší bod nádrže musí být taktéž umístěn uvnitř trubkového rámu, aby při selhání podvozku nedošlo k zatížení nádrže a nehrozilo proražení. Výškově je nádrž omezená jen monokokem a sedačkou řidiče, kdy mezi nádrží a sedačkou musí být ochranná přepážka zvaná „firewall“, která při požáru ochrání řidiče před plameny. Všechna tato omezení vytvářejí prostor pro nádrž, kde je možné nádrž umístit a splňovat tak pravidla a rozumné zástavbové rozměry.

Objem nádrže je volen 5,8 l, kdy po zkušenostech z minulé sezóny měl vůz při vytrvalostním závodě spotřebu 5,5 l na 22 km. Spotřeba paliva by mohla být vyšší pro požadavek maximálního výkonu, ale vzhledem k bodované spotřebě ve vytrvalostním závodě je snaha o co nejnižší spotřebu. Spotřeba se odvíjí od nastaveného plnicího tlaku, kdy s rostoucím plnicím tlakem roste výkon, ale i spotřeba. Pro všechny disciplíny kromě vytrvalostního závodu je tedy nastaven plnicí tlak na 1,7 baru. Při vytrvalostním závodě probíhá nastavení plnicího tlaku jednotlivě pro každý závod vzhledem ke konkurenci a co nejvyššímu možnému zisku bodů.

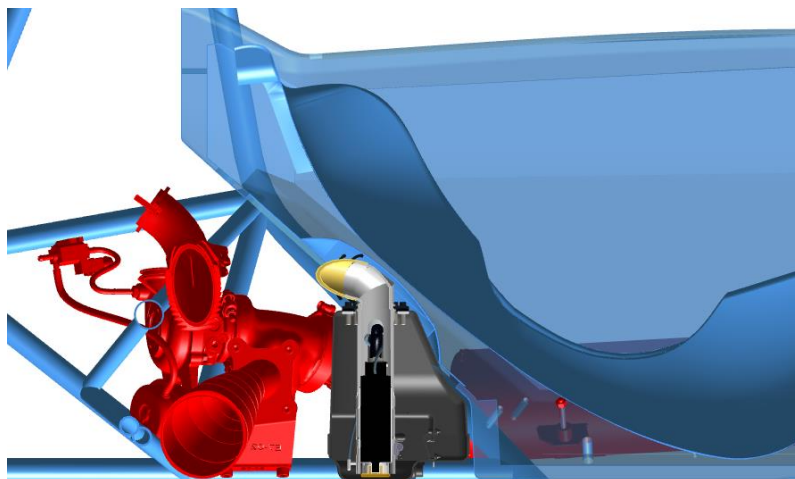
5.1 TVAR NÁDRŽE

Na obrázku 18. je model celého vozu při pohledu zdola. Nádrž je usazená za monokokem a mezi výfukové plénium. Na levé straně po směru jízdy je zřetelná změna tvaru pro zachování minimální vzdálenosti mezi nádrží a skříní turbíny.



Obrázek 9. Spodní pohled na umístění nádrže

Obrázek 19. je podélný řez formulí. Pro co nejmenší moment setrvačnosti a snížení výšky těžiště je nádrž umístěna co nejbližší monokoku. Umístěním blízko monokoku vznikne důležitý prostor mezi výfukovým plénem a nádrží. Dále je patrný omezený prostor mezi přírubou a sedačkou, kdy řidič je více položený, než v předchozích letech. V takto omezeném prostoru je nutné vyvést plnicí hadici, umístit konektor na kabeláž a zabudovat regulátor tlaku.



Obrázek 10. Podélný řez formulí

5.2 UCHYCENÍ NÁDRŽE NA RÁM

Nádrž je uchycena na rám pomocí tří přivařených držáků. Tyto držáky byly ustaveny podle polohy držáků na nádrži, vzdálenosti nádrže od monokoku a prostorem mezi výfukovým systémem a nádrží.



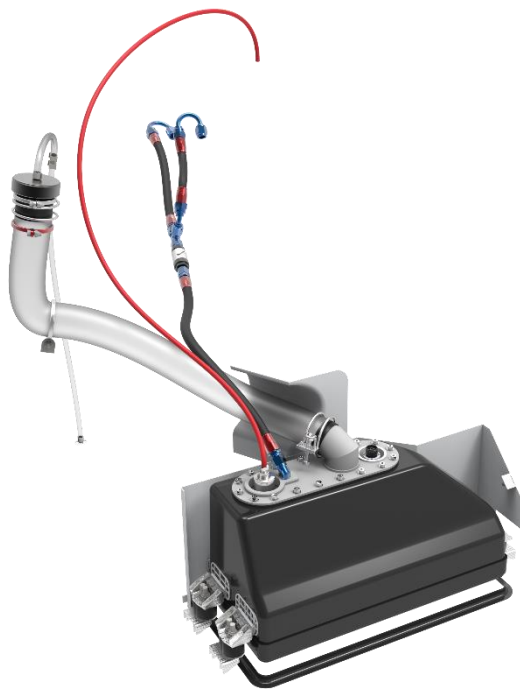
Obrázek 11. Uchycení nádrže na levé straně

Držáky nádrže umístěné na nádrži jsou laminované z karbonu. Pro laminování sloužila jednoduchá hliníková forma se zaoblenými rohy a zbrošeným povrchem. Po vylaminování následuje ořezání a navrtání děr pro finální usazení. Mezi karbonovými držáky a držáky na rámu je vložen silentblok pro eliminaci vibrací od rámu a zamezení namáhání nádrže od sil přenášených rámem.

Pro uchycení nádrže na karbonový držák je použit inert tvořený ocelovým výpalkem s navařenými šrouby. Tento inert je vlamínován v horní části nádrže, kdy po usazení je zakrácena přebytečná část šroubu.

6 KONSTRUKCE PALIVOVÉHO SYSTÉMU

Palivový systém se skládá z mnoha dílů, kdy jsou zde zastoupeny laminované díly, obráběné díly a svarky. Jako celek musí palivový systém vydržet minimálně čtyři měsíce provozu, nebo 1000 km testování.



Obrázek 12. Sestava palivového systému

6.1 TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI PRYSKYŘIC

Pro kompozitní materiál je důležitá stálost základních materiálů. Jelikož palivo E-85 leptá dříve používanou strukturní pryskyřici je nutné najít řešení tohoto problému. V minulých dvou sezónách byl tento problém řešen tmelem AC-380 B-2 od firmy 3M. Vzhledem k ukončení podpory od firmy 3M a špatné dostupnosti tmelu v malém množství je nutné najít jiné řešení.

6.1.1 ZMĚNA PRYSKYŘICE

První možností jak zamezit leptání pryskyřice je použití odolné pryskyřice. Jako vhodná strukturní pryskyřice se jeví epoxydová pryskyřice C od firmy Havel Composites CZ s.r.o.. Tato pryskyřice je podle popisu odolná proti chemikáliím a je vhodná na stavbu nádrží, cisteren a potrubí.

Následující možností je použít odolnou povrchovou pryskyřici, která bude chránit strukturní pryskyřici proti palivu. Pro testování jsem vybral dva vzorky od firmy Transtech Tooling s.r.o. které by měly být odolné proti chemikáliím. Prvním je povrchová pryskyřice Biresin® S12 (šedá barva), která je odolná proti abrazi, rozpouštědlům a zároveň má dobré mechanické vlastnosti. Druhou povrchovou pryskyřicí je Biresin® S15 (zelená barva). Má taktéž vysokou odolnost proti chemikáliím a zároveň je odolná proti vyšším teplotám.

Dále jsou testovány dva tmely od firmy LIQUI MOLY. První je černý těsnící silikon určený pro těsnění motorových prostorů a částí vozu. Druhým je plošné těsnění 5910 určené pro těsnění spár a přírub. Tyto těsnící hmoty jsou testovány za účelem těsnění příruby nádrže a nemají sloužit primárně jako ochranná vrstva.

Do testování byla zařazena také strukturní pryskyřice CR 82 a povrchová pryskyřice GR T30F použitá na minulých dvou nádržích. Vzorky slouží hlavně pro porovnání vlastností standardních pryskyřic s pryskyřicemi odolnými proti chemikáliím.

6.1.2 LAMINOVÁNÍ VZORKŮ

Pro otestování pryskyřic a tmelů je potřeba vylaminovat vzorky, kdy jsou testovány kombinace jednotlivých povrchových pryskyřic a strukturních pryskyřic. U některých vzorků je otestováno i vytvrzení za vyšší teploty, kdy podle materiálových listů jednotlivých pryskyřic by měli mít vzorky vyšší chemickou odolnost. V tabulce jsou popsány kombinace pryskyřic a jejich tepelná úprava.

6.1.3 PODMÍNKY TESTOVÁNÍ

Vzorky byly nechány týden vytvrdit při pokojové teplotě a získaly tak chemickou odolnost a dobrou pevnost. Následně byly zváženy a zapsány počáteční hmotnosti. Do každého vzorku bylo nalito palivo E-85 a utěsněno proti interakci s vzdušnou vlhkostí. Poté byla každý týden po dobu šesti týdnů měřena jejich hmotnost a zapsána do tabulky. V následujícím období se vážení uskutečňovalo každé dva týdny. Poslední měření bylo provedeno dvanáctý týden, kdy byl každý vzorek otestován na tuhost a pevnost a měření bylo ukončeno.



Obrázek 13. Vylaminované vzorky

6.1.4 VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ

Porovnání je provedeno pro jednotlivé povrchové pryskyřice, kdy jsou zřetelně viditelné rozdíly mezi pryskyřicí vytvrzenou za zvýšené teploty a vytvrzenou za pokojové teploty. Dále

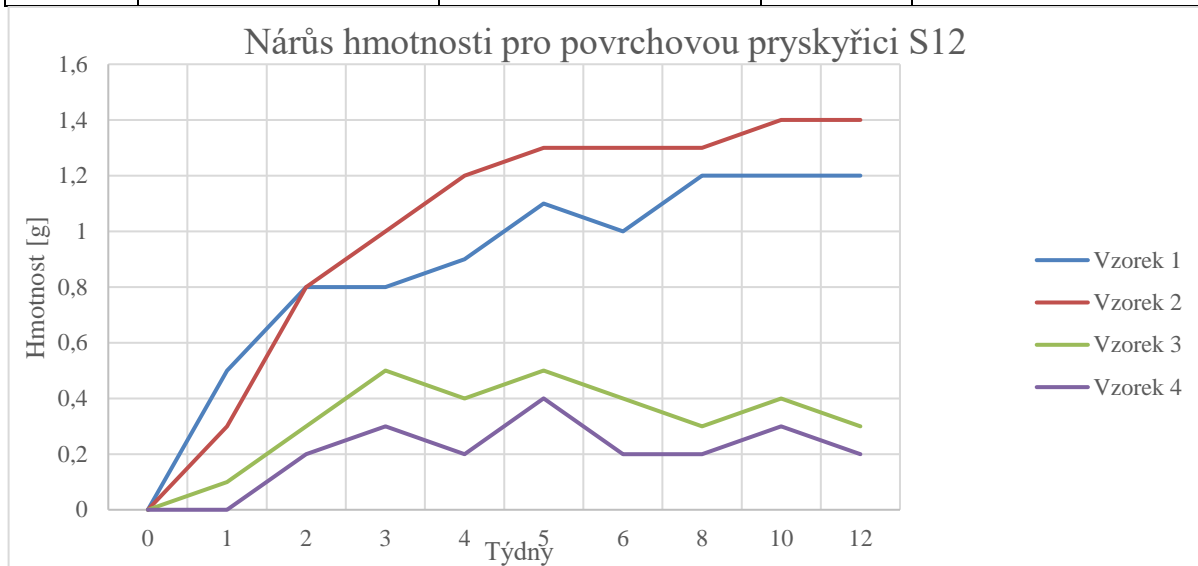
jsou porovnány jednotlivé tmely a nakonec ukázkový příklad postupné degradace a ztráty pevnosti.

POVRCHOVÁ PRYSKYŘICE S12

Při testování této pryskyřice byly vyzkoušeny varianty s rozdílnou strukturní pryskyřicí a rozdílnou teplotou vytvrzení. Všechny vzorky prošly testováním a žádný vzorek nebyl po testování naleptaný. V tabulce 1. jsou uvedeny kombinace pryskyřic a teplota vytvrzení.

Tabulka 1. Parametry vzorků s povrchovou pryskyřicí S12

Číslo	Povrchová pryskyřice	Strukturní pryskyřice	Tmel	Tepelná úprava
1	S12	CR 82	Ne	Ano
2	S12	C	Ne	Ano
3	S12	CR 82	Ne	Ne
4	S12	C	Ne	Ne



Graf 2. Nárůst hmotnosti pro povrchovou pryskyřicí S12

Z grafu je patrné podobný růst pro vzorky vytvrzené za vyšší teploty a pokojové teploty. Vzorky vytvrzené za vyšší teploty vykazují v prvních 6 týdnech vyšší nárůst hmotnosti, než vzorky vytvrzené při pokojové teplotě. Po 6 týdnech se vzorky ustalují a jejich hmotnost zůstává skoro konstantní až do konce testování. Z grafu je taktéž patrný malý rozdíl mezi strukturními pryskyřicemi, kdy pryskyřice CR 82 použitá na vzorcích 1. a 3. vykazuje vyšší nárůst hmotnosti oproti strukturní pryskyřici C.

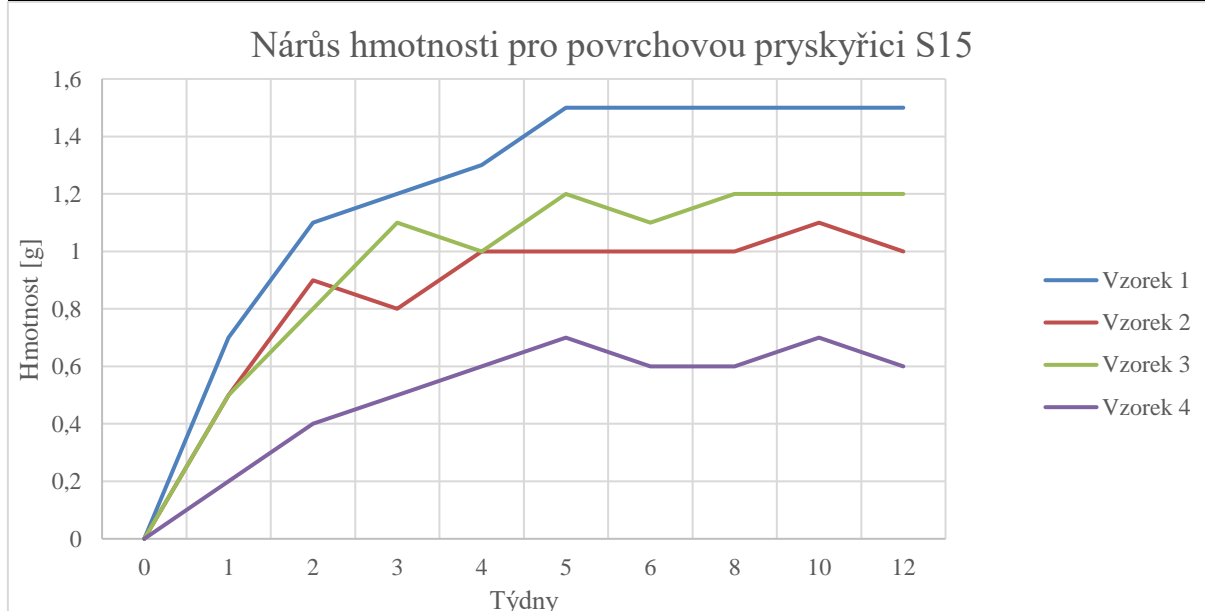
Vzorky s povrchovou pryskyřicí S12 podle testu vyšly dobře, oproti strukturní pryskyřici S15 nedosahují stejné houževnatosti a vzhledem k horší pevnosti, teplotní odolnosti a stavu vzorků je tato povrchová pryskyřice horší v porovnání s S15.

POVRCHOVÁ PRYSKYŘICE S15

Tato pryskyřice je podle materiálového listu chemicky odolná a odolná proti vyšším teplotám, kdy bude zároveň houževnatější než S12. Houževnatost je důležitá pro lepený spoj a primárně pro odolávání vibracím a tvarovým změnám nádrže způsobeným změnami tlaku během jízdy. V tabulce 2. jsou kombinace pryskyřic a tepelná úprava.

Tabulka 2. Parametry vzorků s povrchovou pryskyřicí S15

Číslo	Povrchová pryskyřice	Strukturní pryskyřice	Tmel	Tepelná úprava
1	S15	C	Ne	Ano
2	S15	CR 82	Ne	Ano
3	S15	C	Ne	Ne
4	S15	CR 82	Ne	Ne



Graf 3. Nárůst hmotnosti pro povrchovou pryskyřicí S15

Graf 3. je velice podobný předchozímu grafu, kdy po 6. týdnech dochází k ustálení hmotnosti a vzorky mají konstantní hmotnost. Rozdíl mezi teplotním vytvrzením a normálním vytvrzením je zde minimální oproti povrchové pryskyřici S12.

Povrchová pryskyřice S15 nabývá více na hmotnosti než povrchová pryskyřici S12, tuto vlastnost kompenzují vyšší teplotní odolností, pevností a houževnatostí, které jsou důležité pro cyklicky zatížené součásti, kdy nehrozí oddělení povrchové pryskyřice od základního laminátu. Pro tyto vlastnosti byla zvolena kombinace povrchové pryskyřice S15 a strukturní pryskyřice CR 82. Tento vzorek po testování měl dobrou tuhost a houževnatost.

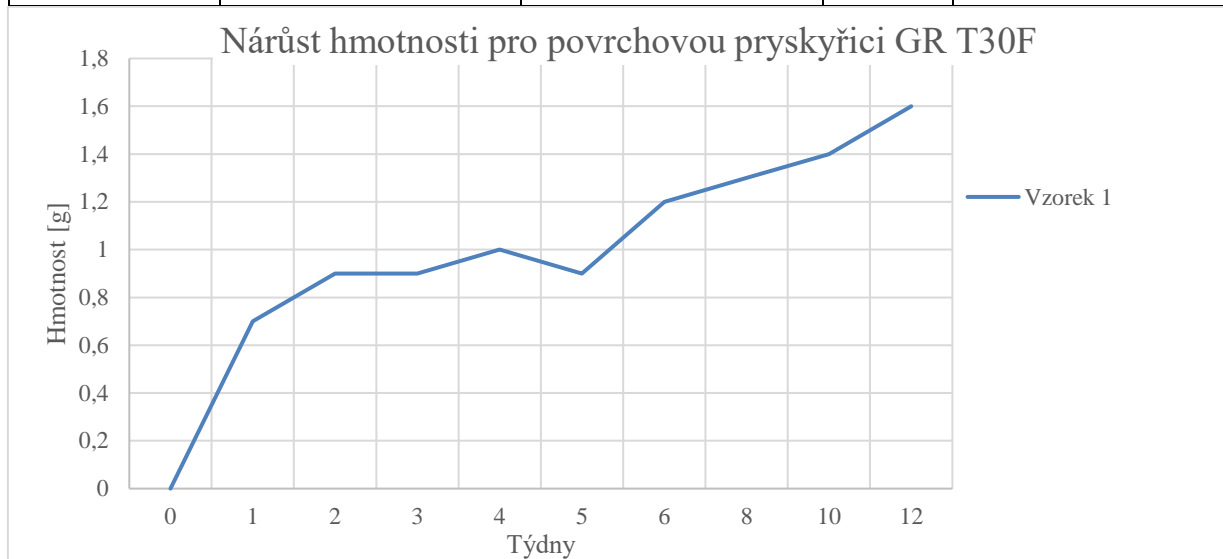
POVRCHOVÁ PRYSKYŘICE GR T30F

Pro porovnání byla testována i povrchová pryskyřice GR T30F, která byla použita na předchozích dvou nádržích. Dříve byla chráněna tmelem od firmy 3M AC 380-B-2, který je

odolný proti E-85. Tento tmel je špatně dostupný v malém množství a je další vrstvou navíc, která nemusí nutně být v nádrži, proto nebyl testován.

Tabulka 3. Parametry vzorků s povrchovou pryskyřicí GR T30F

Číslo	Povrchová pryskyřice	Strukturní pryskyřice	Tmel	Tepelná úprava
1	GR T30F	CR 82	Ne	Ne
2	GR T30F	C	Ne	Ne



Graf 4. Nárůst hmotnosti pro povrchovou pryskyřicí GR T30F

Z grafu 4. je patrný postupný nárůst hmotnosti, kdy ve 12. týdnu vzorek ztratil pevnost a pryskyřice byla naleptána. Vzorek se ukázal jako nepoužitelný.

Druhý vzorek nevydržel ani jeden týden, kdy došlo k oddělení povrchové pryskyřice od laminátu. Vzorek protekl a nebylo možné pokračovat v měření. Na obrázku 12. je vidět stav vzorku po týdnu testování.



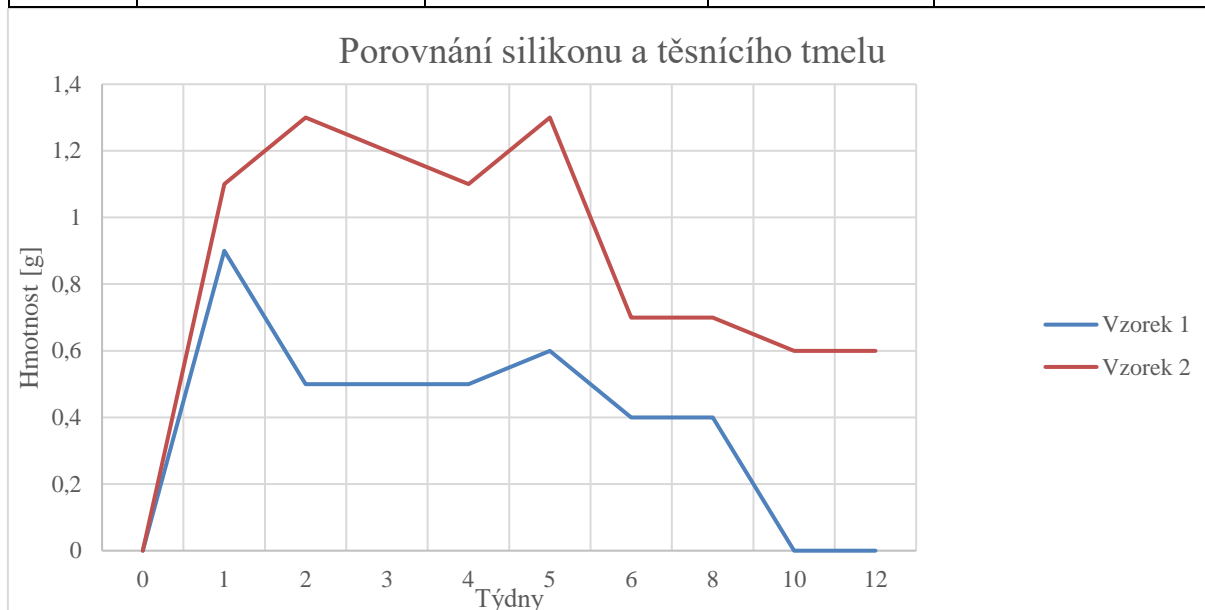
Obrázek 14. Oddělení povrchové pryskyřice u druhého vzorku

TMELY

Testování tmelů probíhalo na vzorcích, které protekly. Na těchto vzorcích nebyla povrchová pryskyřice. Netěsnost je způsobena postupem při laminování, kdy je povrchová pryskyřice natřena na formu před laminováním a zgelovatěním před laminováním zajistí konstantní vrstvu pryskyřice.

Tabulka 4. Parametry vzorků s tmely

Číslo	Povrchová pryskyřice	Strukturální pryskyřice	Tmel	Tepelná úprava
1	Ne	C	Silikon	Ne
2	Ne	CR 82	Loctite 5910	Ne



Graf 5. Nárůst hmotnosti pro tmely

Tmely byly testovány primárně pro utěsnění kroužku s nýtovacími maticemi, tudíž rozdíl hmotnosti při měření nebyl nejdůležitějším parametrem testování. Pro utěsnění je důležité aby vzorky neprotekly a tmely nereagovaly s palivem. Oba tmely nereagovaly s palivem a jsou tudíž vhodné pro použití na nádrži.

6.1.5 ZHODNOCENÍ TESTOVÁNÍ

Pro hodnocení testovaných vzorků je základním kritériem změna hmotnosti v čase. V prvních týdnech měření se očekávají největší rozdíly v hmotnosti, tudíž je měření prováděno častěji než v druhé polovině testování. Pro každý vzorek je typický nárůst hmotnosti v prvních týdnech, kdy probíhá proces vytvrzování pryskyřice a současně palivo začíná reagovat s pryskyřicí. Pokud se nárůst nezastaví a pokračuje, je očividná stálá reakce s palivem a postupně leptání pryskyřice. V případě zastavení interakce paliva a pryskyřice je patrné ustálení hmotnosti a udržení stálé hmotnosti až do konce testování. Tento stav je žádoucí pro zajištění odolnosti proti palivu.

Při testování povrchové pryskyřice S12 všechny vzorky vydržely. Mezi vytvrzením za vyšší teploty a vytvrzením při pokojové teplotě byl viditelný rozdíl, kdy vzorky vytvrzené za pokojové teploty dosáhly lepších výsledků.

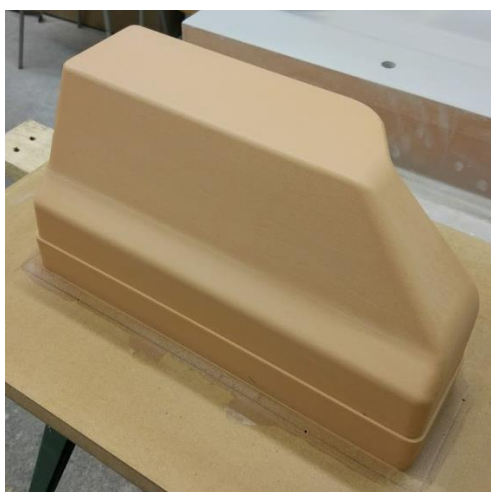
Pro povrchovou pryskyřici S15 jsou výsledky testování dosti podobné S12, kdy rozdíl mezi teplotním vytvrzením je minimální. Vzorky měly po testování dobrou pevnost a houževnatost. Pro laminování nádrže byla zvolena kombinace povrchové pryskyřice S15 a strukturní pryskyřice CR 82. Tato kombinace měla minimální nárůst hmotnosti v prvních 6. týdnech testování, v dalších týdnech se hmotnost ustálila. Strukturní pryskyřice CR 82 byla volena vzhledem k předchozím zkušenostem a jejím mechanickým vlastnostem.

Vzorky s povrchovou pryskyřicí GR T30F se ukázaly jako cesta špatným směrem. U jednoho vzorku došlo k naleptání po prvním týdnu, u druhého vzorku došlo k postupnému naleptávání a nárůstu hmotnosti po celou dobu testování. Proběhlo také testování vzorků bez povrchové pryskyřice, kdy ani jeden vzorek netěsnil a vzorky byly použity na testování tmelů. Pro testování tmelů byl použit silikon a 5910 od firmy Loctite. Oba tmely prošly testem, kdy s palivem tmely nereagovaly, tudíž pro těsnění kroužku na matice budou dostačující.

6.2 KONSTRUKCE NÁDRŽE

6.2.1 VÝROBA A PŘÍPRAVA FORMY

Pro výrobu formy je nutný 3D model. Model je vytvořen v modeláři Creo Parametric. Následně je nutné udělat z modelu formu s přídatky na laminování, podstavou a vytvořit pro formu nářezový plán s rozměry SikaBlock®. Nařezané bloky umělého dřeva se slepí a je možné začít frézovat. Takto připravenou formu dodala partnerská firma Transtech Tooling s.r.o..



Obrázek 15. Forma vrchní části nádrže

Ofrézovanou formu je potřeba dále připravit na laminování. Prvním krokem je uzavření pórů Ebalou. Po nanesení Ebalty následuje broušení, kdy se celý proces opakuje třikrát. Poté následuje stříkání plničem a broušení povrchu. Podle kvality povrchu a zkušeností brusiče je možné tento krok provést jen jednou. Pokud se ale vyskytnou nerovnosti, či vady povrchu

opakuje se broušení a stříkání plniče do té doby, než nemá povrch dobrou drsnost a jsou vybroušeny všechny vady a nerovnosti. Dalším krokem je broušení houbičkami pod vodou s rostoucí jemností houbičky. Po tomto finálním broušení nastává lapování povrchu lapovací pastou. Lapování se provádí dvakrát. Posledním krokem v přípravě formy je nanesení vosku, který vyplní drobné vady a zároveň separuje formu. Opět voskování probíhá dvakrát.

6.2.2 LAMINOVÁNÍ

Formu je nutné před samotným laminováním naseparovat a nanést povrchovou pryskyřici. Separování se provádí dvakrát postupným nastříkáním separátoru a rozleštěním. Správné separování je důležité pro sundání výrobku z formy. Pokud by byla forma špatně naseparovaná, mohlo by dojít k jejímu zničení. Po separování je možné nanést povrchovou pryskyřici, která se nechá po dobu alespoň jedné hodiny zgelovat. Po této době je možné nanést první vrstvu pryskyřice a začít pokládat tkaniny. Každou vrstvu je potřeba pečlivě položit na formu, prosytit pryskyřicí a uválečkovat. Po nanesení poslední vrstvy přichází na řadu strhací a odsávací látka. Strhací látka umožní oddělení odsávací vrstvy od kompozitu a odsávací látka odsaje přebytečnou pryskyřici z kompozitu. Posledním krokem je zavakuování celé formy a kompozit je stlačen atmosférickým tlakem, vrstvy se spojí a přebytečná pryskyřice je odsáta. Díky vakuování má kompozit lepší vlastnosti a nižší hmotnost.



Obrázek 16. Nanášení povrchové pryskyřice

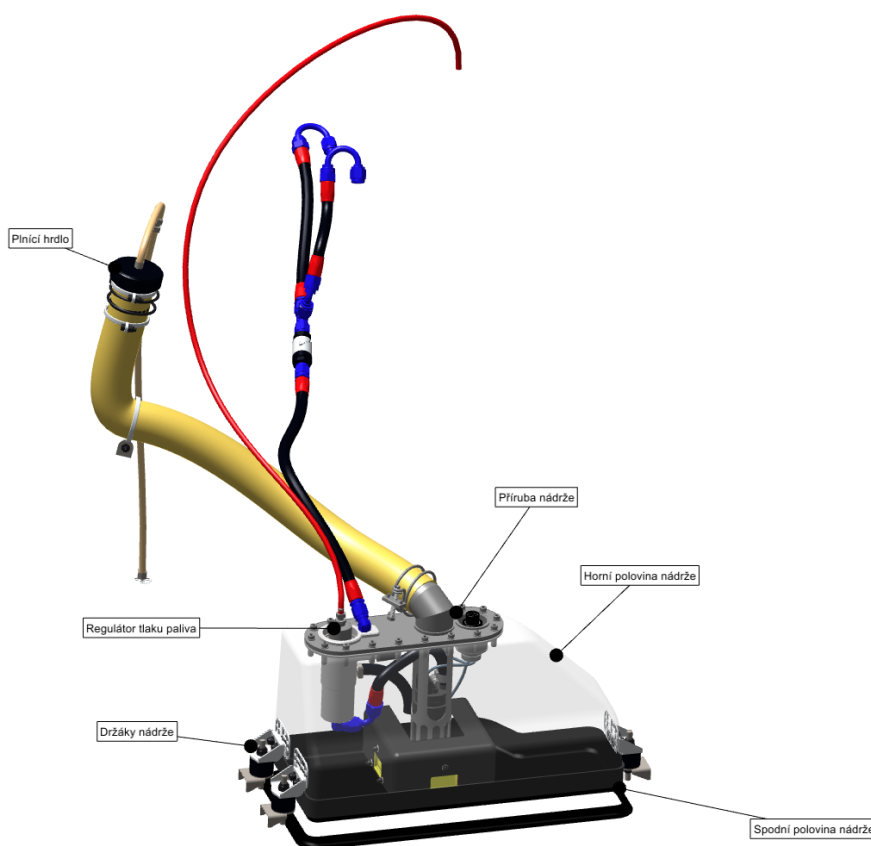
6.2.3 PŘÍPRAVA PŘED LEPENÍM A LEPENÍ

Vylaminované části nádrže je potřeba před lepením sundat z formy tak, aby nebyla poškozena forma ani výrobek. Následuje ořezání na požadovaný rozměr, kdy je na formě přídavek na laminování, jelikož se nedá laminovat přesně na potřebné rozměry.

Pokud jsou obě poloviny nádrže ořezané, je možné poloviny slepit. Před lepením je potřeba odstranit zbylý separátor po laminování z jednotlivých částí. Lepené plochy jsou zdrsňeny smirkovým papírem drsnosti 120. Poloviny jsou lepeny konstrukčním lepidlem Loctite 9492. Toto lepidlo je odolné proti palivu a spoj je dostatečně pružný, aby během provozu dokázal vyrovnávat tvarové změny nádrže.

6.3 HLAVNÍ ČÁSTI PALIVOVÉ NÁDRŽE

Karbonovou nádrž je možné rozdělit na tři základní části: vrchní a spodní polovinu a ohrádku kolem čerpadla. Horní a spodní polovina tvoří základní nosnou část nádrže, kdy ohrádka zajišťuje stálou hladinu paliva u čerpadla. Mimo laminované části nádrže jsou zde i obráběné a svařované části příruby se skříní regulátoru tlaku paliva a držákem čerpadla.



Obrázek 17. Hlavní části nádrže

6.3.1 LAMINOVANÉ ČÁSTI

Horní a spodní polovina nádrže jsou nejdůležitější části celé nádrže, pokud by byla některá část špatně vylaminovaná, nebo by na některé části byla malá vrstva karbonu, hrozilo by prasknutí a vytečení paliva na podlahu, kde by bylo palivo nejspíše zapáleno od výfukového pléna.



Obrázek 18. Horní polovina nádrže

Na obrázku 18. je horní polovina nádrže i s kroužkem na nýtovací maticce. Horní polovina s inzerty a kroužkem s maticemi váží 399 g.



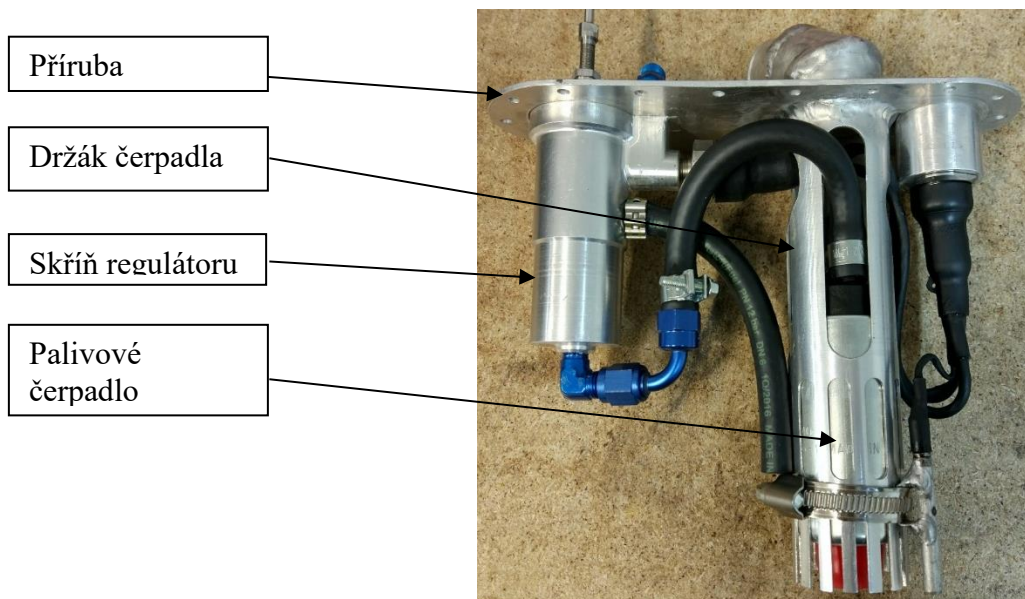
Obrázek 19. Spodní polovina nádrže s ohrádkou

Na obrázku 19 je spodní polovina nádrže, kdy v prostoru pro čerpadlo je umístěn vypouštěcí šroub, který je definován pravidly. Na spodní polovině je dále přilaminovaná ohrádka s dvířky, které zajišťují ideálně stálou hladinu u čerpadla. Dvířka jsou tištěna na 3D tiskárně ve firmě MCAE Systems s.r.o. z materiálu ULTEM 9085, který vydržel po tři měsíce v palivu a jeho vlastnosti nebyly nijak ovlivněny. Celá spodní polovina váží 242 g.

6.3.2 PŘÍRUBA, DRŽÁK ČERPADLA A SKŘÍŇ REGULÁTORU

Na přírubě je navařen držák čerpadla, plnicí hrdlo, skříň regulátoru a držák konektoru. Příruba je výpalek z hliníku tloušťky 2,5 mm. Držák čerpadla je obráběn z hliníkové trubky na vnitřní průměr pro čerpadlo, vyfrézované drážky slouží pro odlehčení. Na držák čerpadla navazuje plnicí hrdlo nádrže, které je svařené ze tří kusů pro co nejmenší výšku a současně splnění pravidel v minimálním průměru 35 mm mezi nádrží a nalévacím hrdlem.

Skříň regulátoru je obráběný díl, kdy obrábění probíhalo poprvé hrubováním vnějšího tvaru a vrtáním děr. Po prvním obrábění následuje svaření s přírubou a obrábění vnitřních částí. Uvnitř skříň je jemný palivový filtr.



Obrázek 20. Sestava příruby nádrže

ZÁVĚR

Práce je rozdělena na tři části. První část se zabývá úvodem do problematiky, rešerší o soutěži Formula Student a pravidlech vztahujících se na palivový systém. Dále jsou uvedeny používané materiály nádrží a jednotlivé prvky palivového systému.

Druhá část práce je zaměřená na polohu nádrže ve vozidle a ostatní části vozu, podle kterých je upraven tvar nádrže. Nádrž je umístěna za monokokem a sedačkou řidiče, s přední částí tvarována podle monokoku a výškově omezenou sedačkou řidiče. Dalším omezením je zde výfukové plénium a skříň turbíny, kdy je pravidly stanovena minimální vzdálenost 70 mm od výfukového systému. Posledním omezením na nádrž je zadní trubkový rám udávající maximální šířku nádrže i s držáky. Nádrž je na rám uchycená pomocí přivařených držáků, silentbloků a karbonových držáků na nádrži.

Třetí část práce je zaměřena na testování odolnosti povrchových pryskyřic, strukturních pryskyřic a tmelů. Pro jednotlivé kombinace strukturních pryskyřic, povrchových pryskyřic, tmelů a teplot vytvrzení jsou připravené vzorky. Vzorky jsou vystaveny po dobu 12 týdnů palivu E85 a je zaznamenávána jejich váha. Nárůst hmotnosti znamená nechtěnou interakci s palivem.

Při testování se projevil rozdíl mezi teplotou vytvrzení, kdy vzorky vytvrzené za vyšší teploty měly větší nárůst hmotnosti oproti vzorkům vytvrzeným za pokojové teploty. Dále byly patrné rozdíly mezi povrchovými pryskyřicemi, kdy povrchová pryskyřice S12 reagovala méně s palivem, než povrchová pryskyřice S15. Povrchová pryskyřice S15 měla vyšší nárůst hmotnosti, ale pro lepší mechanické vlastnosti, větší houževnatost a odolnost proti vysokým teplotám je vhodnější při aplikaci na nádrž. Strukturní pryskyřice byla zvolena CR82 pro předchozí zkušenosti a lepší mechanické vlastnosti než pryskyřice C.

Poznatky z testování jsou použity při výrobě nádrže a ohrádky. Je popsán postup výroby formy a postup laminování. Dále jsou popsány hlavní části palivového systému.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] History of Formula Student[online]. © 2017 Institution of Mechanical Engineers. IMechE is a registered charity in England and Wales number 206882 [cit. 12.1.2017]. Dostupné z: <https://www.imeche.org/events/formula-student/about-formula-student/history-of-formula-student>
- [2] Panoramic picture [online]. © 2016 Formula Student Germany [cit. 12.1.2017] Dostupné z: <http://media.formulastudent.de/FSG16/Hockenheim-2016/Panoramic-Picture/i-TXwsH7m/A>
- [3] Formula Student Rules 2017 Version 1.1 [online]. © 2016 Formula Student Germany [cit. 14.1.2017] Dostupné z: https://www.formulastudent.de/uploads/media/FS-Rules_2017_V1.1.pdf
- [4] Fuel cell [online] © 2013 ATL [cit. 20.1.2017] Dostupné z: http://www.atlltd.com/upload_files/504/por997.png
- [5] Fuel cells [online] © 2013 ATL [cit. 20.1.2017] Dostupné z: <http://www.atlltd.com/C/Products/Motorsport/Fuel%20Cells>
- [6] 3D printed fuel tank [online] © 2008 - 2017 NWUAV, Inc [cit. 20.1.2017] Dostupné z: <https://goo.gl/BA99aX>
- [7] RAUSCHER, J., Spalovací motory, Studijní opory VUT v Brně, 2005
- [8] Fuel pumps pressure charts [online] © 1999 - 2017 WalbroFuelPumps.com [cit. 20.1.2017] Dostupné z: <http://walbrofuelpumps.com/fuel-pumps-pressure-charts>
- [9] Fuel filter Mahle KL 97 [online] © 1996-2017, Amazon.com, Inc. [cit. 20.1.2017] Dostupné z: <https://www.amazon.com/MAHLE-Original-KL-97-Filter/dp/B0068O6L7I>
- [10] Fuel filter [online] Mancha servic center [cit. 20.1.2017] Dostupné z: <http://manchacaservicecenter.com/wp-content/uploads/2014/10/Fuel-Filter.jpg>
- [11] Fuel Pressure Regulator Mini A [online] © Robert Bosch GmbH [cit. 20.1.2017] Dostupné z: http://www.bosch-motorsport.de/en/de/produkte/catalog_products_1_794628.php

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

FSAE	Formula Society of Automotive Engineers
SAE	Society of Automotive Engineers
E85	Palivo s 85% etanolu a 15% benzínu