

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh konstrukce spojení expanzního ventilu a výparníkových
trubek

Autor: **Jakub Albl**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.**

Akademický rok 2017/2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

| | | | | |
|---------------|--|-------------------|----------------------|--|
| AUTOR | Příjmení Albl | Jméno Jakub | | |
| STUDIJNÍ OBOR | B2301 - „Dopravní a manipulační technika“ | | | |
| VEDOUcí PRÁCE | Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Němec, CSc. | Jméno Ladislav | | |
| PRACOVISTĚ | ZČU - FST - KKS | | | |
| DRUH PRÁCE | DIPLOMOVÁ | BAKALÁŘSKÁ | Nehodící se škrtněte | |
| NÁZEV PRÁCE | Návrh konstrukce spojení expanzního ventilu a výparníkových trubek | | | |

| | | | | | |
|---------|---------|---------|-----|-------------|------|
| FAKULTA | strojní | KATEDRA | KKS | ROK ODEVZD. | 2018 |
|---------|---------|---------|-----|-------------|------|

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

| | | | | | |
|--------|----|--------------|----|---------------|---|
| CELKEM | 40 | TEXTOVÁ ČÁST | 40 | GRAFICKÁ ČÁST | 0 |
|--------|----|--------------|----|---------------|---|

| | |
|---|--|
| <p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p> | <p>Navrhnout nový design spojení expanzního ventilu a výparníkových trubek. Nadefinovat spojovací možnosti / varianty zabezpečující těsné spojení s maximální hodnotou úniku dle OEM automobilových standardů. Toto spojení má mít mechanickou pevnost a časovou stabilitou, výběr materiálu s ohledem na OEM automobilové standardy. Nový design spojení by měl být nadefinován s ohledem na snadnou, rychlou montáž a demontáž, opakované použití.</p> |
| <p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p> | <p>Spojení, výparník, trubky, expanzní ventil</p> |

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

| | | | | |
|-------------------|--|------------------|----------------------------|--|
| AUTHOR | Surname Albl | Name Jakub | | |
| FIELD OF STUDY | B2301 - "Transport and handling machinery" | | | |
| SUPERVISOR | Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. Němec, CSc.. | Name Ladislav | | |
| INSTITUTION | ZČU - FST - KKS | | | |
| TYPE OF WORK | DIPLOMA | BACHELOR | Delete when not applicable | |
| TITLE OF THE WORK | Alternative design of expansion valve and evaporator | | | |

| | | | | | |
|---------|---------------------------|------------|-------------------|--------------|------|
| FACULTY | Mechanical Engineering | DEPARTMENT | Machine Design | SUBMITTED IN | 2018 |
|---------|---------------------------|------------|-------------------|--------------|------|

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

| | | | | | |
|---------|----|-----------|----|-------------------|---|
| TOTALLY | 40 | TEXT PART | 40 | GRAPHICAL PART | 0 |
|---------|----|-----------|----|-------------------|---|

| | |
|--|---|
| BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS | <p>This thesis dissert on connection design of expansion valve and evaporator pipes. Define connection options securing tight, durable and firm connection with maximal leakage according to OEM car manufacturer standards. The new design is required to be quickly and easily assembled and dissassembled and also reusable.</p> |
| KEY WORDS | <p>Connection, evaporator, pipes, expansion valve</p> |

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc. za profesionální a konstruktivní vedení práce, podnětné poznámky a chytré připomínky, které mě navedli tím správným směrem. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Janu Forstovi za nekonečnou trpělivost, podporu při generování nových myšlenek a směrů při hledání řešení této bakalářské práce a za sdílení svých znalostí. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za psychickou, ale i materiální podporu v průběhu mého studijního života.

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod | 8 |
| 2. Představení společnosti..... | 9 |
| 2.1. Chladicí oběh | 10 |
| 2.2. Chladicí oběh s dvoufázovým médiem..... | 11 |
| 2.3. Uspořádání chladicího oběhu v automobilu | 12 |
| 3. Současný stav..... | 13 |
| 3.1. Požadavky na spojení | 13 |
| 3.2. Vlastní spojení | 14 |
| 4. Produktové návrhy..... | 15 |
| 4.1. Spojení se sponou | 15 |
| 4.2. Spojení s jedním šroubem..... | 17 |
| 4.3. Model se strunou..... | 18 |
| 4.3.1. Možnost A | 18 |
| 4.3.2. Možnost B..... | 19 |
| 4.4. Rychlospojka | 21 |
| 4.4.1. Možnost A | 21 |
| 4.4.2. Možnost B..... | 22 |
| 4.4.3. Ochranný patent rychlospojky | 23 |
| 5. Dimenzování metodou konečných prvků | 23 |
| 5.1. Dimenzování modelů..... | 24 |
| 5.1.1. Okrajové podmínky | 24 |
| 5.1.2. Síťování modelů | 24 |
| 5.2. Napětí uvnitř současného modelu..... | 25 |
| 5.3. Model se sponou | 27 |
| 5.4. Model se strunou..... | 29 |
| 5.5. Model se strunou 2..... | 30 |
| 5.6. Model s jedním šroubem | 32 |
| 5.7. Rychlospojka | 33 |
| 5.8. Porovnání posunutí a napětí v jednotlivých modelech | 35 |
| 6. Výběr optimálního spojení | 35 |
| 7. Závěr..... | 38 |
| 8. Použité zdroje | 40 |

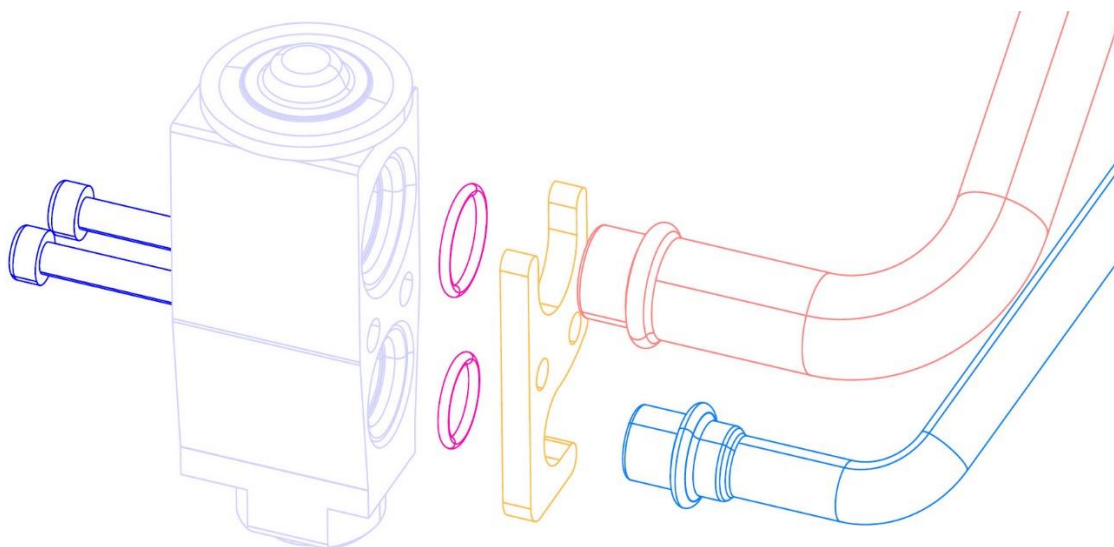
Přehled použitých zkratk a symbolů

| | |
|-----------------|--|
| CO ₂ | Oxid uhličitý |
| GWP | Global warming potential – potenciál globálního oteplování |
| HVAC | Heating, ventilation and air conditioning - vzduchová jednotka klimatizace |
| OEM | Original equipment manufacturer – výrobce originálních dílů |
| TXV | Thermal expansion valve – termostatický ventil |

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na nalezení nového designu pro spojení mezi expanzním ventilem a trubkami výparníku, které bude splňovat OEM automobilové standardy. Cílem práce je navrhnout několik alternativních řešení současného spojení, porovnat je a pomocí rozhodovací matice vybrat to nejvhodnější. Hlavní důraz se klade na to, aby spojení bylo lehce smontovatelné, levné a splňovalo nároky na úniky. Tato kritéria jsou velmi důležitá pro automobilový průmysl, kde hrají velkou roli v konkurenceschopnosti podniku. Výsledkem práce je konstrukční návrh spojení, ověření jeho pevnosti pomocí lineární simulace a výběr řešení, které bude splňovat všechna kritéria a bude ekonomicky nejvýhodnější na výrobu.

V první části práce je představena firma Valeo s.r.o., jako zadavatel bakalářské práce a v krátkosti popsána její historie. Následně je popsán chladicí oběh a principy, na kterých funguje klimatizační okruh uvnitř automobilu, jehož součástí je i expanzní ventil a výparník. V další části práce je popsána současná podoba spojení, její výhody a nevýhody, ale také požadavky, které jsou na spojení kladeny ze strany společnosti Valeo. Následně jsou zde popsány jednotlivé části současného spojení a jejich umístění v celkové sestavě. Další část práce obsahuje konstrukční návrh několika možných řešení tohoto spojení, opět včetně výhod a nevýhod konkrétních konstrukčních návrhů. V předposlední části je popsáno, jakým způsobem byly jednotlivé modely dimenzované. Při dimenzování modelů bylo využito metody konečných prvků, tato kapitola také popisuje výsledky těchto simulací a porovnává je mezi sebou. V poslední části práce je za pomoci rozhodovací matice vyobrazené pořadí v jakém jsou jednotlivé modely vhodné k implementaci do sériové výroby.



Obrázek 1 - současný stav spojení

2. Představení společnosti

Valeo je francouzská společnost dodávající široký sortiment dílů pro automobilový průmysl. Společnost se zrodila roku 1923 pod jménem Ferodo. V roce 1980 se přejmenovala na Valeo a díky velkému rozvoji automobilismu se vyvinula do dnešní podoby. Nadnárodní společnost působí ve 32 zemích světa se 155 výrobními závody a 58 výzkumnými centry a je zaměřena na vývoj a výrobu součástí, integrovaných systémů a modulů pro automobilový průmysl. Společnost dále vyrábí náhradní díly, které tvoří menšinový podíl prodeje.

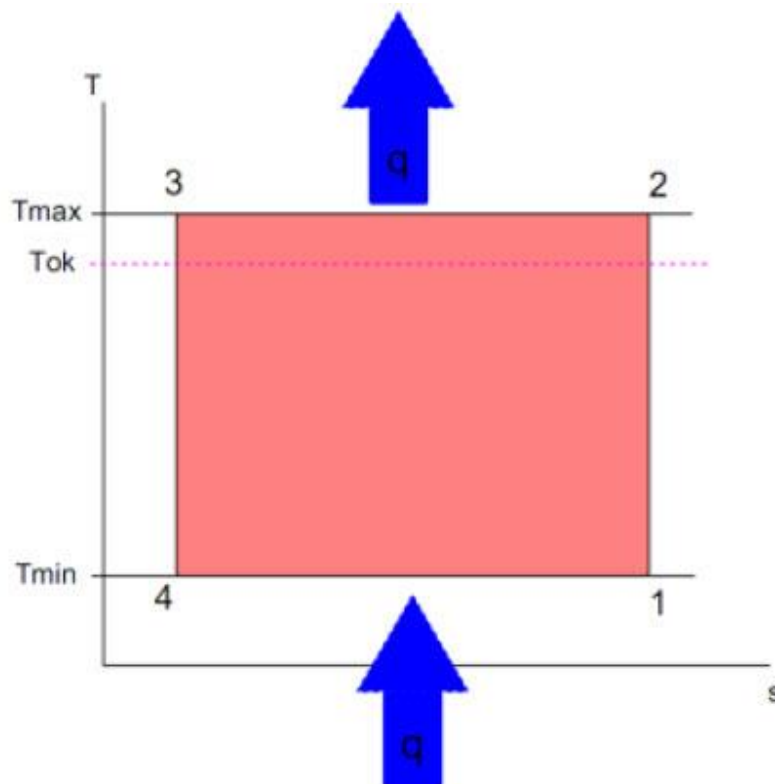
Dlouhodobým cílem společnosti je snížení obsahu CO₂ v atmosféře, toho se Valeo snaží dosáhnout několika způsoby. Prvním způsobem je vývoj dílů s menší váhou, a to díky využití alternativních materiálů, jako například karbonová vlákna, nebo plastové materiály. Dalším směrem vývoje je tvoření dílů s lepší aerodynamikou a v neposlední řadě celková kontrola a management tepla v automobilu. Jiným cílem Valeo je vývoj umělé inteligence pro autonomní vozidla a také vývoj senzorů, které tento systém využívá. Společnost Valeo se dělí na 4 základní divize:

- Systémy asistence jízdy – Vytváří chytré senzory, které slouží jako parkovací systémy anebo systémy kontroly jízdy za normální rychlosti při autonomním řízení vozidla. Tímto senzory poskytují zvýšenou bezpečnost a komfort uvnitř vozidla.
- Pohonné systémy - nabízí pohonné systémy určené ke snížení CO₂ emisí a celkové spotřeby pohonných hmot.
- Tepelné systémy – Vytváří a vyrábí moduly a komponenty určené ke kontrole a řízení tepla uvnitř vozidla.
- Systémy viditelnosti – Vytváří systémy zlepšující komfort vozidla v oblasti viditelnosti, patří sem vývoj osvětlení a stěračů vozidla. [1]

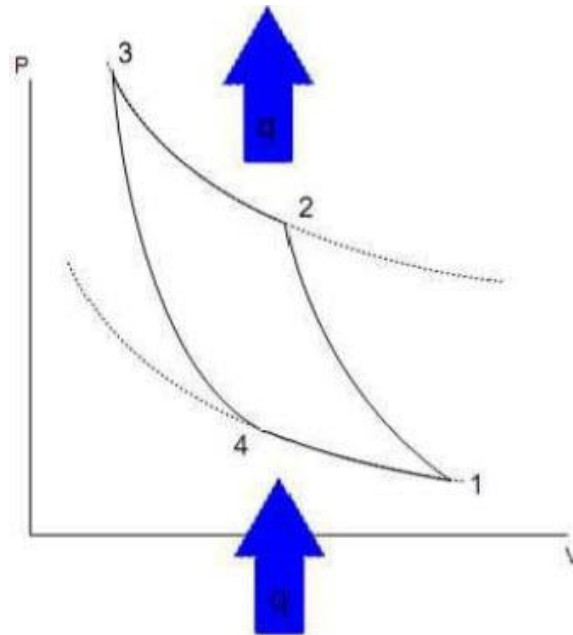
2.1. Chladicí oběh

Klimatizace je dnes nedílnou součástí každodenního života. Jedná se o zařízení, které upravuje kvalitu vzduchu. Moderní budovy jsou dnes projektovány s klimatizačním zařízením, které kontroluje a samo upravuje kvalitu vzduchu. Za kvalitu vzduchu se dá považovat jeho teplota, vlhkost, směr, rychlost proudění a obsah škodlivých mikročástic. Nejen budovy jsou vybaveny zařízeními na úpravu vzduchu. S vyvíjecím se automobilovým průmyslem se zvyšují požadavky na celkový komfort ve vozidle a tím i kvalitu vzduchu v něm. Klimatizační zařízení v novém automobilu je považováno za základní výbavu. V našem případě se tedy zaměříme na klimatizační zařízení právě v automobilu.

Teoretický chladicí oběh získáme z oběhu tepelného motoru obrácením jeho směru běhu, tedy z pravoběžného na levoběžný. Hlavním rozdílem mezi tepelným motorem a chladicím strojem je, že do chladicího oběhu musíme práci přivádět, kdežto v oběhu tepelného motoru práci odebíráme. Práci do oběhu musíme přivést, aby bylo možné chladivo čerpat na vyšší tlakovou hladinu. Chlazení chlazeného média probíhá ve výparníku. Zde dochází k varu chladiva, přičemž z okolí odebírá velké množství tepla, odpovídající výparnému skupenskému teplu chladiva. Teplota varu je závislá na tlaku uvnitř výparníku. Samotný okruh můžeme rozdělit na nízkotlakou větev a vysokotlakou větev. Využívá se tlak vyšší, než atmosférický aby bylo zabráněno vniku vzduchu do chladiva. V nízkotlaké větvi je zpravidla tlak do 3 barů, ve vysokotlaké může být až 20 barů v závislosti na druhu chladiva. Tekuté chladivo proudí z kondenzátoru do výparníku přes expanzní ventil. Ten zajišťuje, aby chladivo změnilo skupenství z kapalného na plyno-kapalné. Nežli vstoupí chladivo do kompresoru, musí mít čistě plynné skupenství, což zajišťuje výparník, kde dochází k vypaření zbytku kapalné fáze. To je zajištěno zaškrcením průtoku chladiva a odebráním tlakové energie. Vlastní princip je vysvětlen na příkladu Carnotova cyklu. [2]



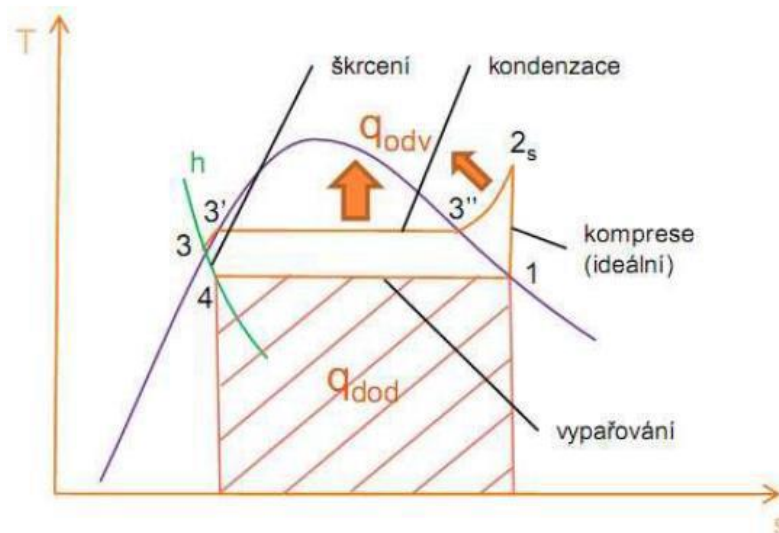
Obrázek 2-Obrácený Carnotův cyklus [3]



Obrázek 3 - Obrácený Carnotův cyklus - P-V diagram [3]

2.2. Chladicí oběh s dvoufázovým médiem

V klimatizaci ve všech automobilech se využívá Rankin – Clausiova cyklu, kde je médium s kapalnou a plynnou fází. Ve výparníku se vypařuje chladivo při tlaku p_1 . Vypařování je v T-s diagramu znázorněno křivkou 4-1. Z výparníku putuje pára do kompresoru a to buď ve stavu syté, nebo mokré páry. V kompresoru je pára stlačena na tlak p_2 což je znázorněno křivkou 1-2, tento děj je v teoretickém případě adiabatický. V praktickém případě se dá adiabatickému jevu přiblížit při použití rychloběžného kompresoru, kdy se dá zanedbat přestup tepla ze stěny válce. Z kompresoru postupuje stlačené chladivo do kondenzátoru, v němž se páry za stálého tlaku zkondenzují 2-3. Chladivo v kapalně fázi se hromadí před škrťacím ventilem, který propustí jen určité množství a tím se sníží tlak z p_2 na p_1 – křivka 3-4. Tím se oběh uzavře a dál se periodicky opakuje. [4]



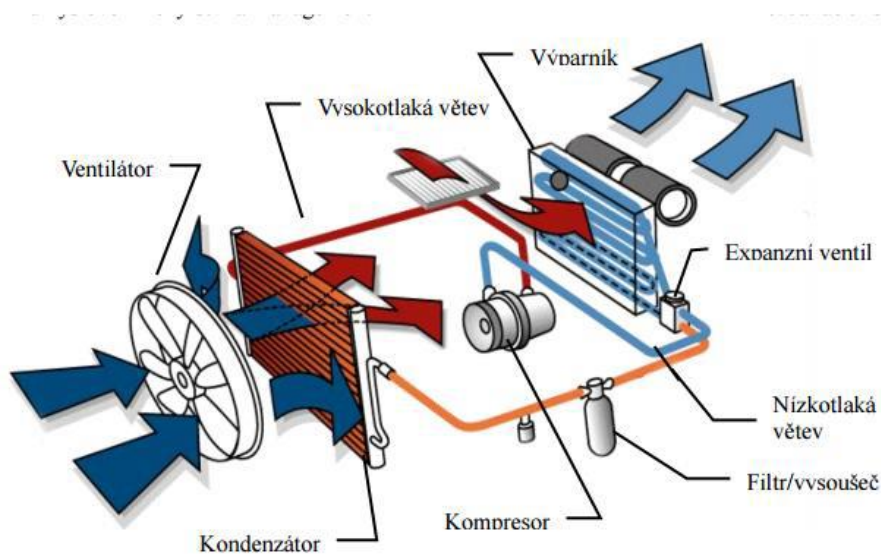
Obrázek 4 - Rankin-Clausiov cyklus [5]

2.3. Uspořádání chladicího oběhu v automobilu

Klimatizační oběh v automobilu se skládá z výparníku, kompresoru, kondenzátoru, filtru chladicího média, vysoušeče a expanzního ventilu. V tomto systému proudí chladicí kapalina. Existují tři široce využívané druhy kapaliny. První z nich je označena R-134a, ta je od roku 2017 zakázána, další možností je modernější R-1234yf, která má značně menší GWP (potenciál globálního oteplování). Chladivo R134a bylo zakázáno zejména z toho důvodu, že jeho GWP je 1430 což je 335 krát vyšší než GWP chladiva R1234yf. Dle Evropské směrnice z roku 2006 musí být všechna nová vozidla vyrobená od roku 2017, vybavena klimatizačním chladivem, které nepřesahuje GWP 150. Posledním druhem chladicího média je CO₂, které má potenciál globálního oteplování roven jedné. Tato technologie je prozatím jen v počátečních fázích vývoje a využívá jí jen malá část automobilů.

Cyklus chladiva začíná v kompresoru, který je poháněným klínovým řemenem klikového hřídele automobilu. Zde se médium v plynném stavu stlačuje na tlak okolo 20 barů a je dále vedeno do kondenzátoru. Stlačením se plyn zahřeje a poté je ochlazován proudícím vzduchem v kondenzátoru, to zapříčiní její kondenzaci. Chladivo v kapalném stavu proudí přes filtr, který odstraňuje nečistoty a případně i plynnou fázi která nestačila zkondenzovat. Další komponentou v uzavřeném okruhu je expanzní ventil, před kterým se nachází zkapalněné, stlačené a filtrované chladivo. Za ventilem je výparník s několikanásobně nižším tlakem. Médium se v něm začne rozpínat, což zapříčiní odebrání tepla z okolí, čímž výparník ochlazuje vzduch, který skrz něj proudí.

Takto ochlazený vzduch je vháněn do kabiny soustavou kanálů, klapek a ventilátorů. Všechny jmenované komponenty, a to včetně filtrů vzduchu, čidel a kontrolní jednotky klimatizace jsou uzavřené v takzvaném HVAC. HVAC je plastová skříň, ukryta pod palubní deskou vozu ve které se mísí teplý a studený vzduch a pomocí klapek a vzduchodůů je distribuován do vozidla. Hlavní funkcí této jednotky je upravit kvalitu vzduchu a rovnoměrně ho rozvádět do kabiny automobilu v závislosti na požadavku pasažérů.



Obrázek 5- schematické uspořádání – chladicího oběhu [6]



Obrázek 6 - jednotka HVAC [6]

3. Současný stav

3.1. Požadavky na spojení

Okruh klimatizace, kterého je spojení expanzní ventil – trubky k výparníku součástí, je ukryto uvnitř HVAC jednotky. Jednotka HVAC je v automobilu umístěna mezi motorem a palubní deskou v kabině automobilu, kam z HVAC vycházejí vzduchovody. Tím, že je tento systém velice blízko k řidiči automobilu, je jedním z požadavků jeho hlučnost. Pro zaručení komfortu uvnitř automobilu nesmí spojení nijak vibrovat. To znamená, že jeho součástí nesmí být žádné volné části, na kterých by mohlo k vibraci dojít, nebo které by mohli rezonovat s vibracemi od motoru nebo jiných vnějších zdrojů. Hlavním požadavkem na spojení je ale jeho těsnost. Zaručení průtoku chladícího media bez jakýchkoli úniků, nebo ztráty tlaku je tím nejdůležitějším kritériem spoje. Dalším požadavkem na spojení je jeho časová stálost, nárok na tělo výparníku je 15 let a 6000 pracovních hodin. Je tedy důležité, aby spojení vydrželo po stejnou dobu.

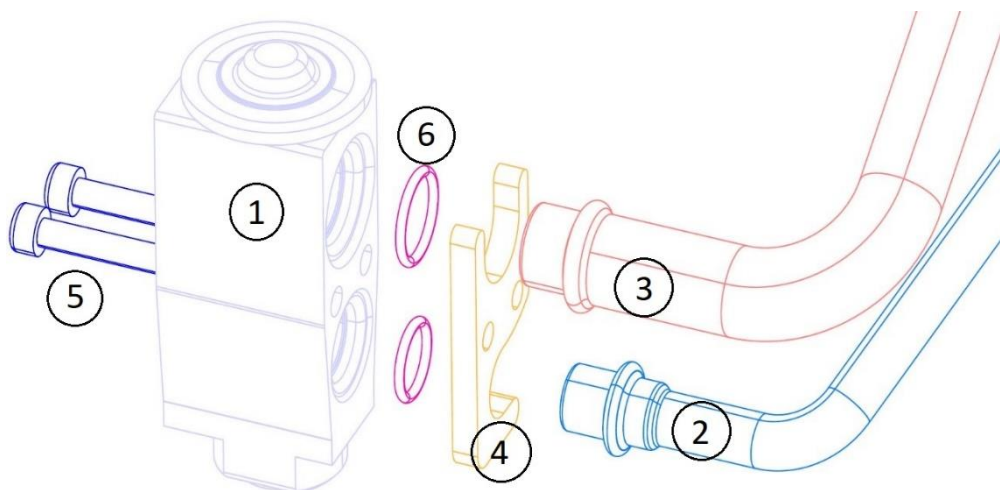
V neposlední řadě je požadavek na jednoduchost spojení, tím se zajistí rychlá montáž a demontáž. Pro rychlou demontáž je požadavek na přístup ke spojení ze strany od motorové části vozidla, tak aby bylo možné spoj kdykoli rozebrat a případně vyměnit expanzní ventil. Tato podmínka je také dána konstrukčním uspořádáním systému HVAC. Požadavek na rychlou montáž je dán z důvodu urychlení výroby, a tím zvýšení produktivity práce výrobní linky.

3.2. Vlastní spojení

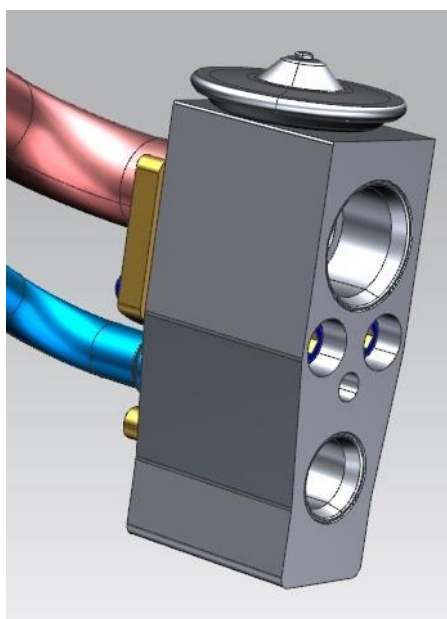
Současný stav spojení viz obr. 7 se skládá z osmi dílů. Expanzní ventil (1) je spojen s přívodovou (2) a odvodovou (3) trubicí za pomoci podložky (4) a dvou ocelových šroubů (5). Těsnost spoje zajišťují dva gumové těsnící kroužky (6), které jsou vloženy mezi dosedací plochu trubky a expanzního ventilu.

Trubky s nasunutými těsnícími kroužky jsou umístěny do předvrtaných děr v těle expanzního ventilu. Dále je nasunuta podložka, která je zaháknuta za fixační límeček na těle trubek. Skrz tělo TXV jsou prosunuty dva šrouby, které přitáhnou podložku k tělu expanzního ventilu a uzamknou celé spojení dohromady.

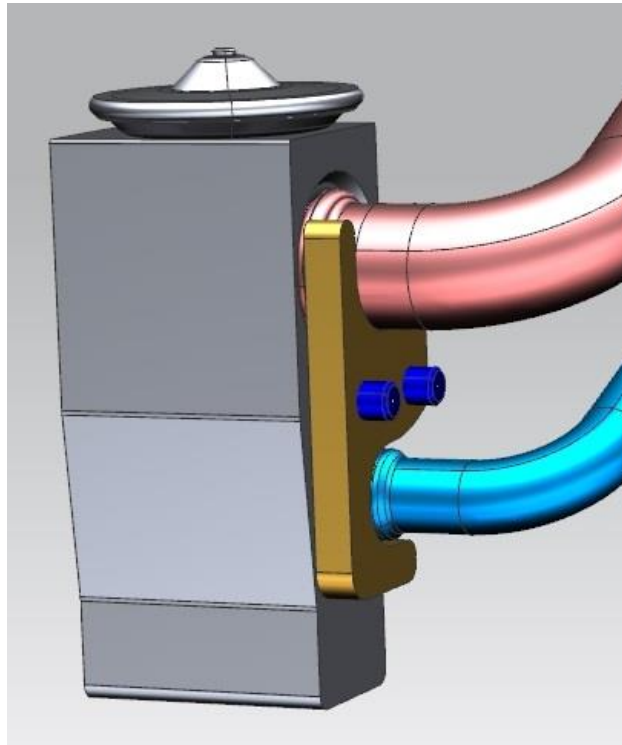
Předností současného spojení je jeho jednoduchost a s jednoduchostí souvisí i rychlost s jakou se dá spojení montovat a demontovat. Díky rychlé montáži se na výrobní lince ušetří značné množství zdrojů a tím i peněz. S jednoduchostí celého spoje také souvisí nízká náročnost na výrobu jednotlivých komponentů spojení.



Obrázek 7 - současný stav



Obrázek 8 - současný stav spojení - pohled zepředu



Obrázek 9 - současný stav - pohled zezadu

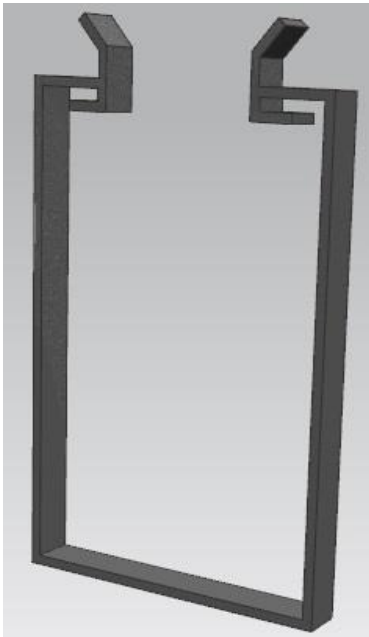
4. Produktové návrhy

4.1. Spojení se sponou

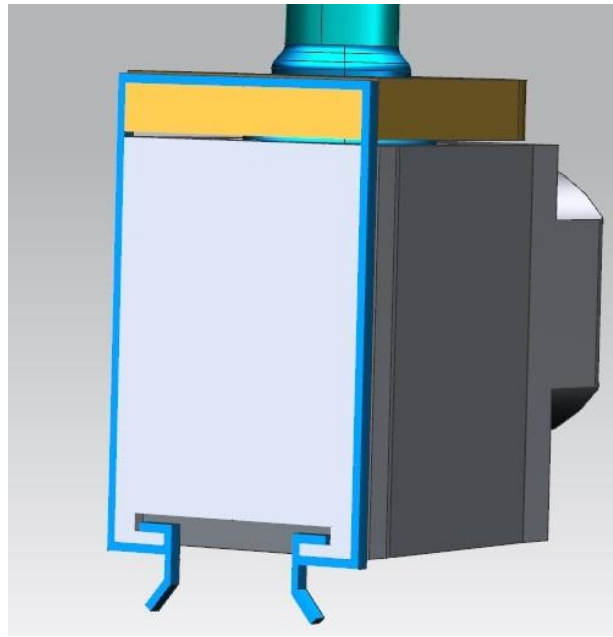
Základem tohoto spojení je ocelová spona, ta díky svému tvaru a předepjetí působí silou na ocelovou podložku, která přitlačuje hliníkové trubky k expanznímu ventilu. Přenos sil mezi podložkou a trubkou je zajištěn pomocí fixačního límce, který je součástí těla hliníkové trubky. Těsnost spoje je zajištěna gumovými těsnicími kroužky navlečenými na hrdla trubek, stejně jako tomu je u současného řešení spojení.

Velkou výhodou tohoto spojení je jeho rychlá demontáž. Spoj jde jednoduše rozebrat tak, že se zatlačí na krajní části spony, to uvolní její předepjetí a spona se pak může sundat z expanzního ventilu. Za další výhodu se dá považovat spona jako taková. Ta je konstrukčně velice jednoduchá a tím i vhodná pro sériovou výrobu, což zajistí nízkou cenu spojení. Spona je vyrobena z odolného materiálu, který dokáže, udržet větší napětí. Za nevýhodu by se dala považovat složitější montáž spojení. Nasazení a především předepnutí spony bude vyžadovat jemnou motoriku, a to se neobejde bez strojního zásahu. Další nevýhodou je definování předepnutí spony s ohledem na časovou a teplotní stabilitu.

Prvním návrh tvaru spony je zobrazen na obrázcích číslo 10 a 11. Tento model se bohužel neosvědčil, jelikož by bylo velice náročné sponu tohoto tvaru vyrobit. Další překážkou je tvar drážky, do které spona zapadá. Tím, že je drážka celá ukryta v těle expanzního ventilu, by bylo velice náročné jí vyrobit.

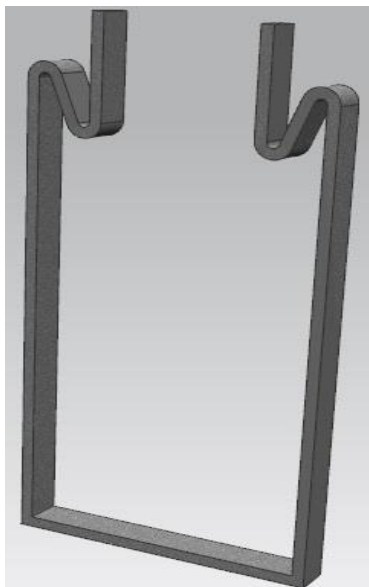


Obrázek 10 - spona 1 – řez

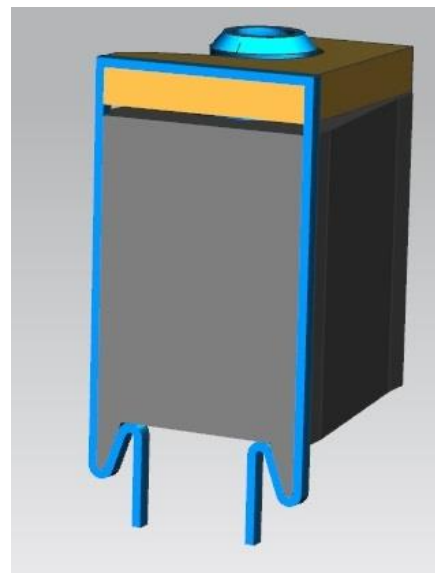


Obrázek 11 – spona návrh 1

Druhý návrh spony je už daleko lépe vyrobitelný a spojení zajištěné sponou tohoto typu se dá jednoduše rozebrat. Spona je vytvořena z ocelového plechu tloušťky jednoho milimetru. Tvaru spony se docílí ohýbáním tohoto plechu a zastřížením na příslušnou hloubku. Připevnění spony k tělu TXV je zajištěno tvarem spony, která má tvar přesně takový, jako je negativní část na těle TXV. Tento druh spojení je vyobrazen na obrázku číslo 12.

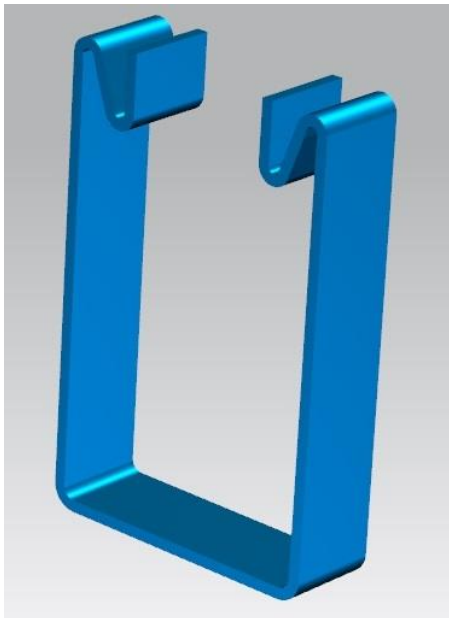


Obrázek 12 - spona návrh 2

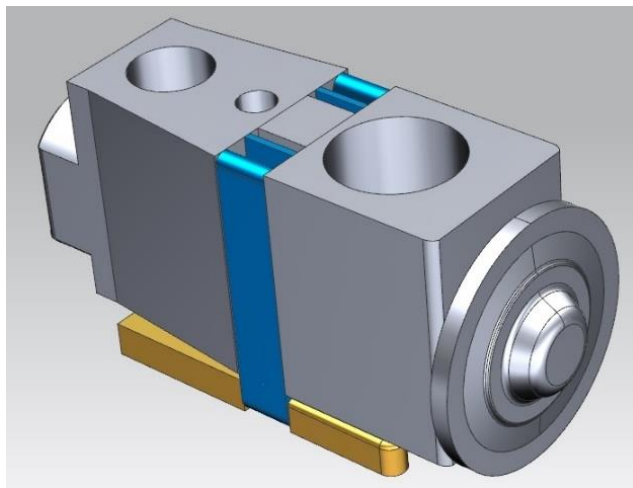


Obrázek 13 - spona 2 - sestava

Ve třetí a finální verzi tohoto modelu je spona ukryta v těle TXV. Docílili jsme připojení, které nebude nijak bránit přidání další části okruhu na expanzní ventil. Tvar spony liší od předchozího návrhu zaoblením hran na jejím konci. Změna se také týká její celkové délky, šířky a jejího zapaštění do těla TXV.



Obrázek 14 - spona návrh 3

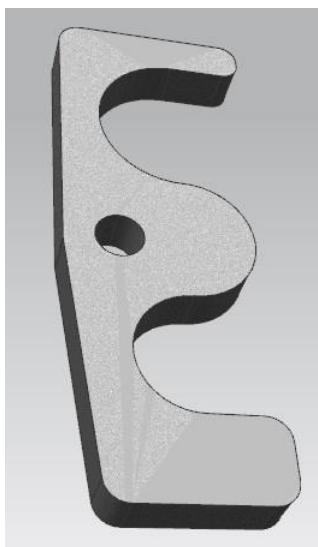


Obrázek 15 - spona 3 - sestava

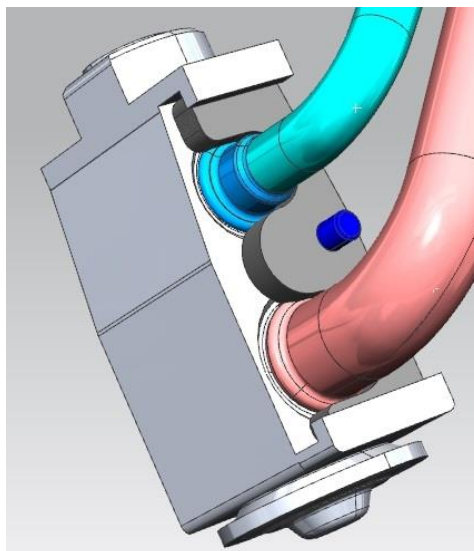
4.2. Spojení s jedním šroubem

Spojení se skládá z podložky s jedním závitem (obr. č. 16), dvou trubek, dvou těsnících kroužků, ocelového šroubu a samotného expanzního ventilu. Speciálně tvarovaná podložka se zasune do lože uvnitř TXV, čímž uzamkne pozici výparnickových trubek ve dvou směrech. Za pomoci šroubu se zajistí pozice podložky i ve třetím směru. Těsnost spojení je zaručena za pomoci dvou těsnících kroužků, stejně jako tomu je u současného řešení spojení.

Velkou výhodou tohoto spojení je jednoduchost montáže a demontáže. Díky tvaru a úkosům na TXV je velice jednoduché tyto díly vůči sobě polohovat, jeho další výhodou je jednoduchost na výrobu dílů jako podložka anebo šroub. Tyto dvě vlastnosti ušetří čas při montáži a tím i peníze. Nespornou výhodou spoje je také možnost přenosu velkých sil. Masivní tělo lože na expanzním ventilu a velký průměru šroubu poskytují značný potenciál pro udržení daleko větších zatížení než předchozí model se sponou. Nevýhodou je ale právě tvar lože, do kterého se zasunuje podložka. Vzhledem k tomu, že se tělo expanzního ventilu vyrábí kontinuálním litím, bude lože představovat velkou plochu na frézování a tím ovlivní finální cenu výrobku.



Obrázek 16 – podložka



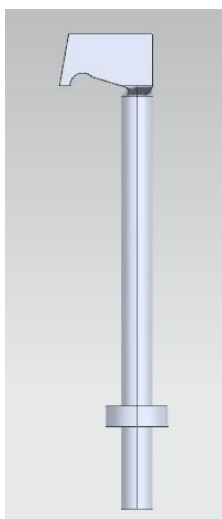
Obrázek 17 - spojení s jedním šroubem

4.3. Model se strunou

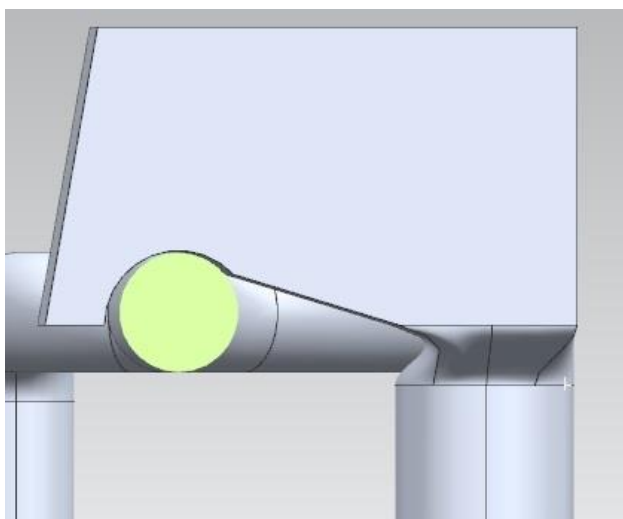
Model se strunou je složen z expanzního ventilu a výparníkových trubek. Geometrie trubek a geometrie děr, do nichž trubky dosedají, zůstává z původního návrhu. Těsnost spoje je opět zajištěna těsnícím kroužkem. Přítlačnou sílu u tohoto návrhu zajišťují dvě struny, které obepínají trubky z obou stran a tím zajišťují jejich pozici ve vertikálním i horizontálním směru. Udržení pozice strun a jejich následné rozepnutí je dvojího druhu. Možnost A a možnost B jsou popsány v následujících kapitolách.

4.3.1. Možnost A

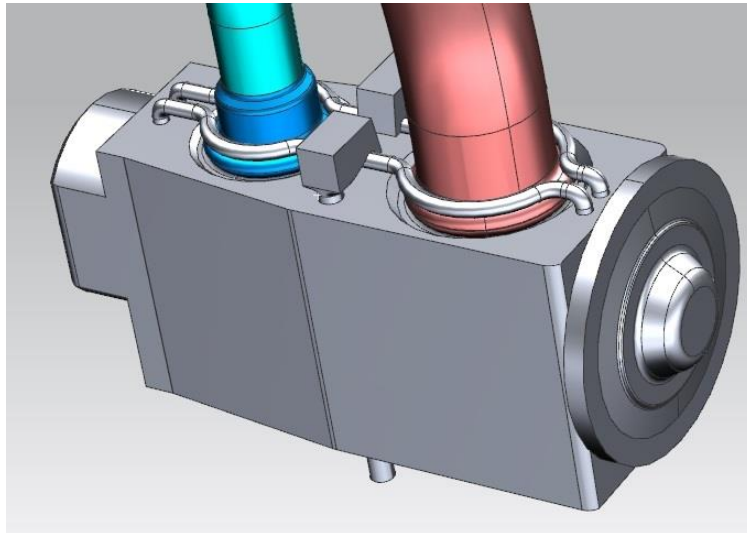
Udržení pozice struny na místě je zajištěno pomocí dvou táhel, které prochází skrz díru v TXV. Tato táhla mají na svém konci tvarovanou část, která přesně kopíruje rádius struny a doléhá na něj. Pro možnost zasunutí vyhazovačů do těla TXV jsou vyrobené ze dvou dílů. Přítlačnou sílu tyče vyvíjí pružina, která je ukryta uvnitř těla TXV. Pro uvolnění spojení je nutné zatlačit na tyče z druhé strany spojení. Tím dojde k uvolnění struny a je možné trubky vysunout z TXV.



Obrázek 18 – vyhazovací tyč



Obrázek 19 – usazení vyhazovače

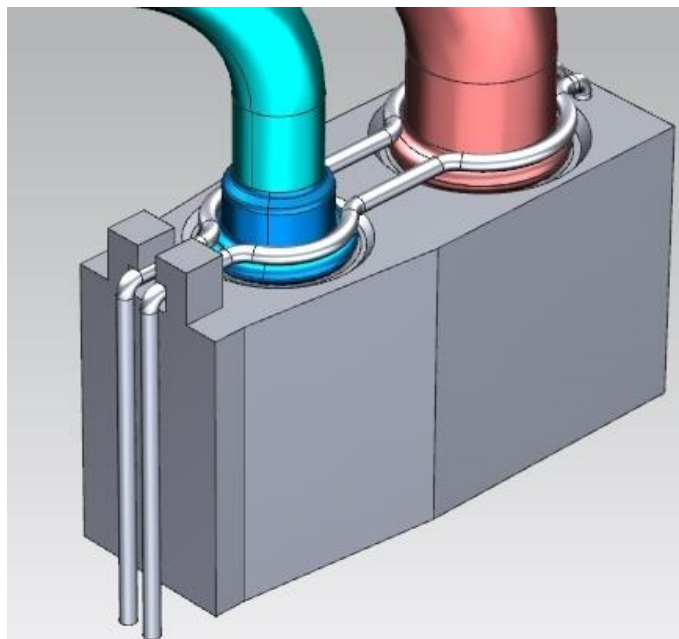


Obrázek 20 - model se strunou A

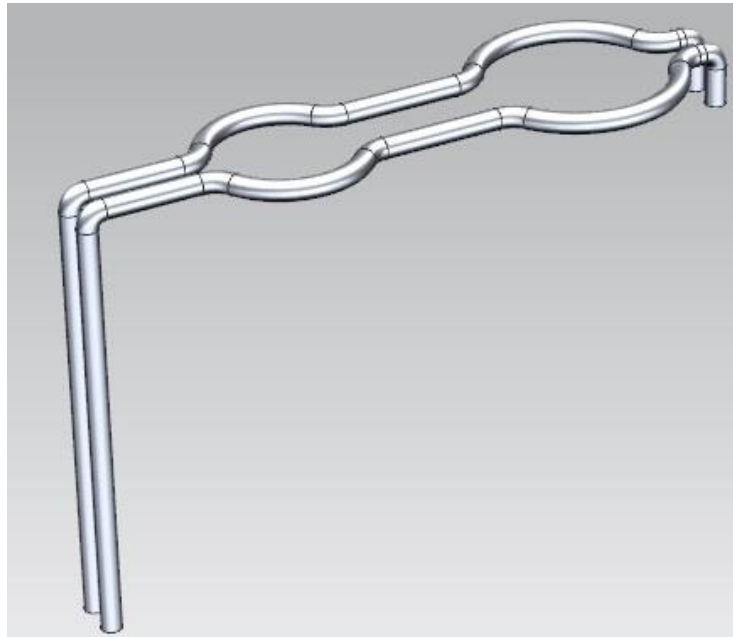
4.3.2. Možnost B

Možnost B je založena na stejném principu jako možnost A. Pozice trubek je zajištěna pomocí dvou strun. Rozdíl je ale v tom, že u této možnosti jsou struny zalisované na jedné straně a na druhé straně se uzamknou do jistícího prvku, kterým se zajistí jejich nehybnost. Pro uvolnění spojení se zatáhne za prodloužené konce strun, tím se struna vysune z jistícího prvku a celé spojení se povolí.

Nevýhodou tohoto spojení je, že struny nejsou zajištěny uprostřed spojení tj. mezi trubkami, ale na kraji. Je tím zhoršena stabilita celého spoje a může se stát, že se struna vysmýkne a tím se trubky uvolní. Na druhou stranu, velkou výhodou je jednoduchost mechanismu uzamčení strun. Jistící prvek na konci těla TXV je oproti řešení A daleko lépe vyrobitelný.



Obrázek 21 - model se strunou B

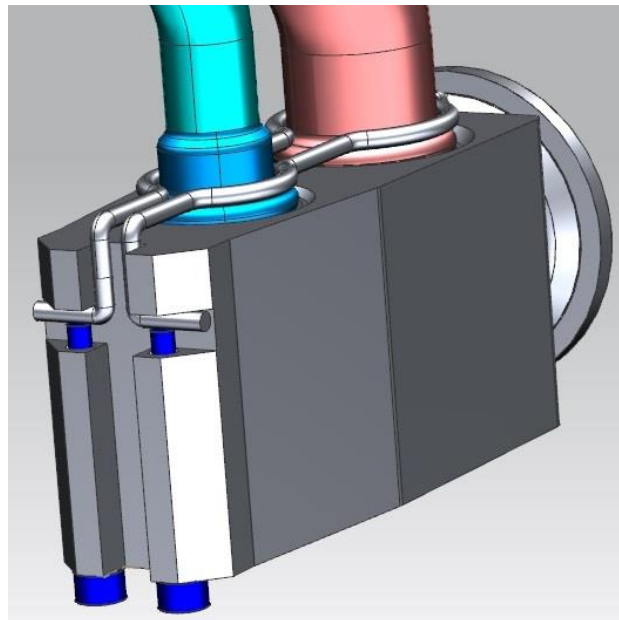


Obrázek 22 - struna B

Další nevýhodou možnosti B je, že část struny, která vede mimo tělo expanzního ventilu je volná a není nijak zajištěná proti možnému vysmeknutí. To by mohlo vytvářet uvnitř HVAC jednotky vibrace a tím narušit komfort uvnitř vozidla. Druhý návrh možnosti B tento problém eliminuje tím, že se struna zahákne za vyfrézovanou drážku a její poloha se zajistí dvěma šrouby procházejícími tělem TXV. Rozepnutí struny by se provádělo pomocí uvolnění dvou šroubů a vyháknutí struny z drážky pomocí speciálního nástroje.



Obrázek 23 - struna B



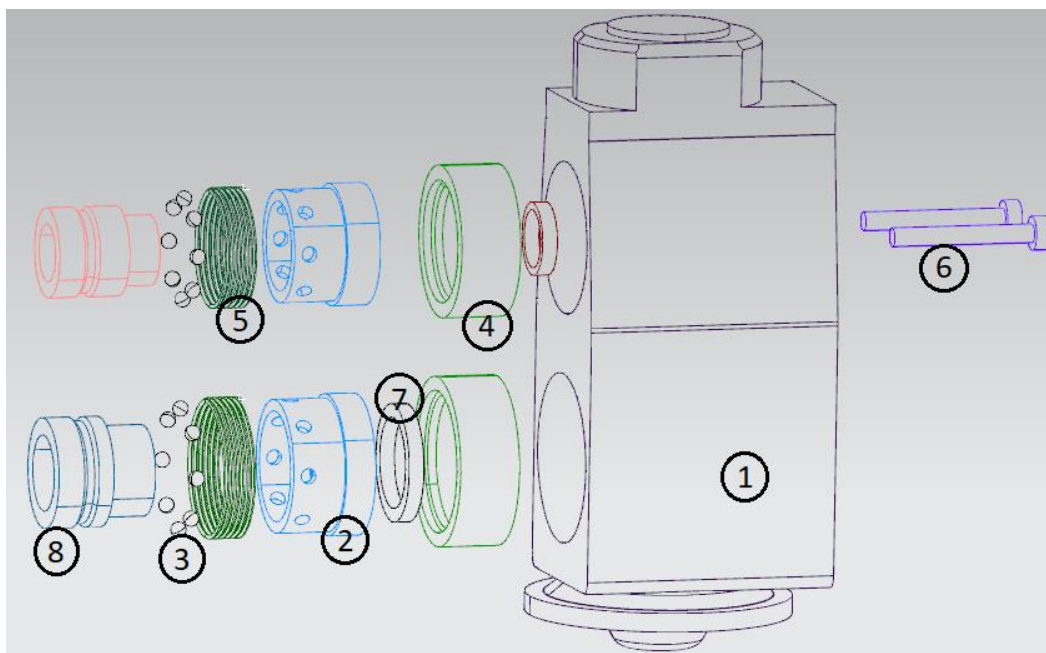
Obrázek 24 - struna B – sestava

4.4. Rychlospojka

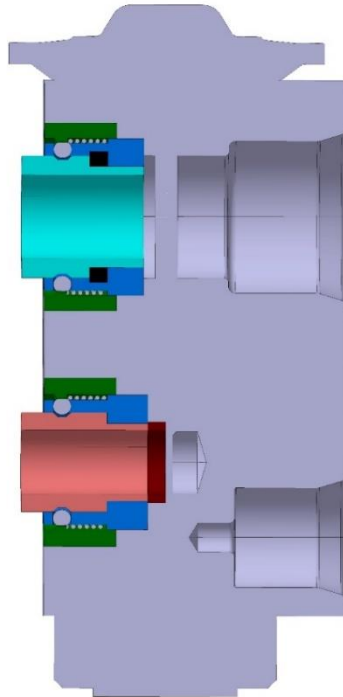
4.4.1. Možnost A

Model s názvem rychlospojka je založen na spojení tlakových hadic pomocí rychlospojky s tím rozdílem, že celý uzavírací mechanismus tzv. „samice“ je implementována do samotného těla expanzního ventilu. Samice se skládá ze 7 párových komponentů a expanzního ventilu (1). Perforovaný kroužek (2) v němž jsou ukryté ložiskové kuličky (3) je zasazen do kroužku s větším průměrem (4) s extrudovanou částí, která zadržuje kuličky uvnitř spojení. Proti samovolnému posuvu těchto dvou kroužků přes sebe brání pružina (5), která je umístěna v prostoru mezi kroužky. Pro uvolnění mechanismu je třeba zatlačit na perforovaný kroužek pomocí dvou šroubů (6), které jsou ukryty v těle TXV. Posunutím perforovaného kroužku se uvolní pozice kuliček, které drží samce uvnitř spojení a ten se poté dá vysunout ven. Těsnost spojení zajišťují těsnicí kroužky (7). Pro odvodovou část spoje je těsnící kroužek vložen mezi perforovaný kroužek a samce, kdežto pro přívodovou trubku je těsnění vloženo do těla expanzního ventilu, tak aby na něj dosedalo hrdlo samce (8) viz obr. 26.

Velkou výhodou rychlospojky je rychlost s jakou se dá spojení uvolnit a zase spojit, bez odpojování nebo odepínání jakýchkoli volných částí spojení. Celý komplexní mechanismus je ukryt uvnitř těla expanzního ventilu. Za nevýhodu se dá označit právě komplexnost „samice“. Velký počet dílů, z kterého se samice skládá, je nevýhodný pro kompletování spojení dohromady. Velký počet dílů a delší čas kompletování spojení s největší pravděpodobností zapříčiní vyšší cenu tohoto druhu spoje.



Obrázek 25 - rychlospojka A

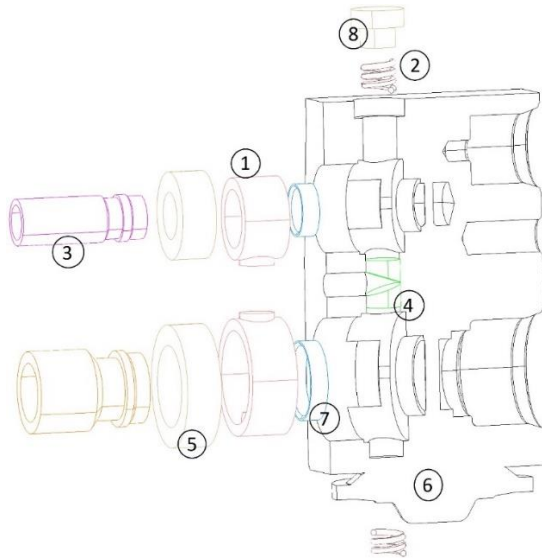


Obrázek 26 - rychlospojka A - řez

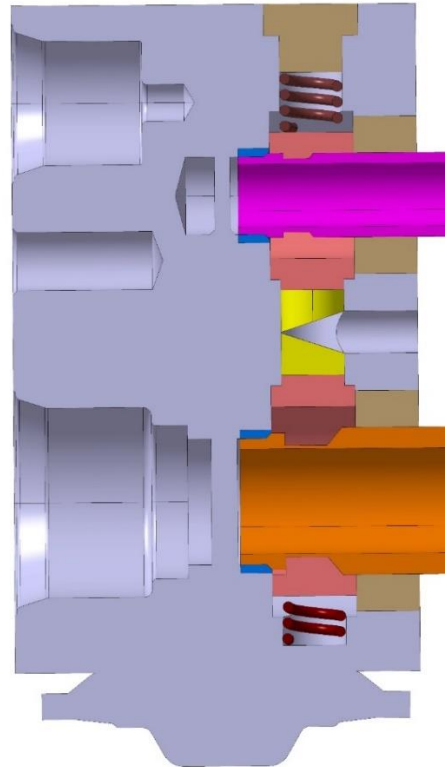
4.4.2. Možnost B

Možnost B je zlepšena tím, že není zapotřebí dvou šroubů, které vedou skrz tělo TXV. Tento druh spojení je opět založen na spojení rychlospojky tlakových hadic se vsazením „samice“ do těla TXV. Spojení se skládá z pěti párových součástí, samce, expanzního ventilu a záslepky se závitem. Uzamykací mechanismus se skládá ze speciálně tvarovaného uzamykacího kroužku (1) a pružiny (2). Samec (3) se vsune do spojení a díky tvarovému elementu (4) a předepnutí od pružiny je zajištěn proti vysunutí ven. Uzavírací kroužek s vnějším závitem (5), udržuje všechny součásti uvnitř těla expanzního ventilu (6) a zároveň vystředí pozici samce uvnitř spojení. Utěsnění spoje je zajištěno těsnícím kroužkem (7), který je nasunut na samotného samce. Pro uvolnění mechanismu je nutné zatlačit na speciální tvarové části, které přenesou sílu skrz zamykací kroužek na pružinu, tím se vysune uzamykací element kroužku z tvarového elementu na samci a ten je poté možné vysunout. Proto, aby bylo možné spojení vyrobít, musí být uvnitř těla vyvrtána díra, která je uzavřena pomocí ocelové záslepky se závitem (8).

Výhodou tohoto spoje je opět rychlost s jakou je spojení možné uvolnit a skutečnost, že se při jeho rozebírání nemusí odebrat žádná volná část. Vše je ukryto uvnitř těla expanzního ventilu. Nevýhodou je počet součástek, z kterých se spojení skládá. Velký počet součástí a malé tolerance rozměrů děr a jednotlivých součástí pro zajištění funkčnosti spojení tvoří komplikace, které zpomalí sestavení celého spojení jako celku na výrobní lince. A také složitost jednotlivých dílů, zapříčiní vyšší cenu spoje.



Obrázek 27 - rychlospojka B - sestava



Obrázek 28 - rychlospojka B – řez

4.4.3. Ochranný patent rychlospojky

Po prohledání patentové databáze PatBase bylo zjištěno, že na model zapojení rychlospojky se vztahuje ochranný patent. [7]

5. Dimenzování metodou konečných prvků

K dimenzování prvků, které udržují spojení pohromadě, jsem se rozhodl využít metodu konečných prvků v programu Siemens NX 11.

Jelikož jsou výpočty lineárního typu. Je důležité mít na vědomí, že:

- všechny materiály splňují Hookeův zákon, to znamená, že napětí je přímo úměrné namáhání
- způsobená posunutí jsou dostatečně malá na to, aby bylo možné ignorovat změnu tuhosti způsobenou zatížením
- mezní podmínky se během použití zatížení nemění. Zatížení musí mít konstantní velikost, směr a rozložení.

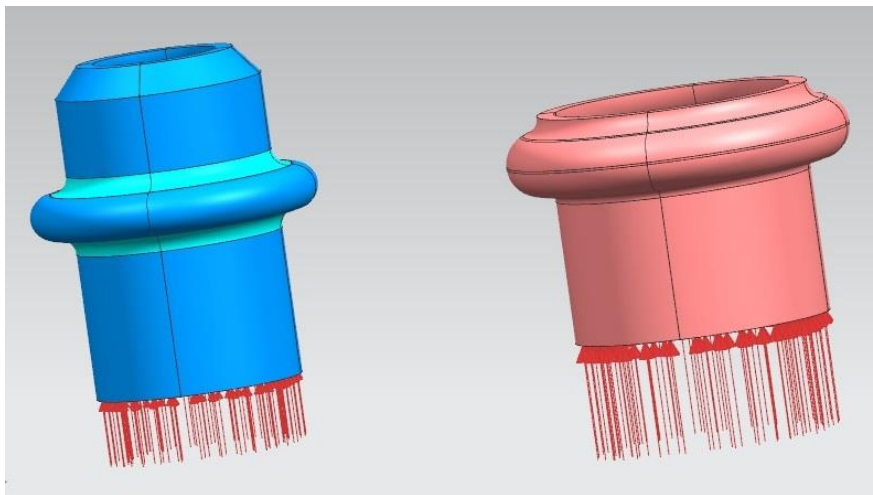
Lineární povahu úlohy jsem se rozhodl využít z toho důvodu, aby se ověřilo, zda zvolené tloušťky materiálů a velikosti komponentů vydrží zadaný tlak. Pro přesnější výsledky napětí a posunutí v modelech by se muselo využít nelineární povahy úlohy. Jelikož je tento druh úlohy velice náročný na výpočetní kapacitu, rozhodl jsem se ho nevyužít.

5.1. Dimenzování modelů

5.1.1. Okrajové podmínky

Expanzní ventil je součástí větší soustavy komponentů, která je uložena v jednotce HVAC. V prostoru je expanzní ventil zajištěn napojením na trubky, které vedou do výparníku. Z druhé strany je ventil připojen ke kompresoru nejčastěji pomocí dvou závitových tyčí, které vycházejí z těla TXV. Pro zjednodušení výpočtů jsem se rozhodl změnit tyto dva uchycovací kolíky na díru se závitem, na kterou se přišroubují další části systému. Na díru je tedy aplikovaná funkce fix, tím se expanznímu ventilu odebere všech šest stupňů volnosti.

Spojení musí vydržet pracovní tlak 30 bar, přepočítal jsem tedy dle vzorce $P = \frac{F}{S}$ jaká síla bude působit na plochu trubek a zatížil jsem s ní spojení. Plocha trubek, na kterou síla působí je pro výstupní trubku 41 mm^2 a pro vstupní trubku 52 mm^2 . Po přepočtu podle uvedeného vzorce jsem na výstupní trubku aplikoval sílu 156 N a na vstupní trubku 123 N. Směr působení sil je v axiálním směru trubek.



Obrázek 29 - aplikování sil

5.1.2. Síťování modelů

Při síťování modelů bylo využito jak tetrahedrálních sítí, tak i sítí typu brick. Velikost jednotlivých elementů je od 0,3 mm v kritických místech až po velikost 4 mm v místech, kde působí nepatrné síly a není důležité dostat v těchto místech tak přesné výsledky. Pro ilustraci jsem vybral model se sponou. Na sponu je použita síť typu brick o velikosti 1 mm.

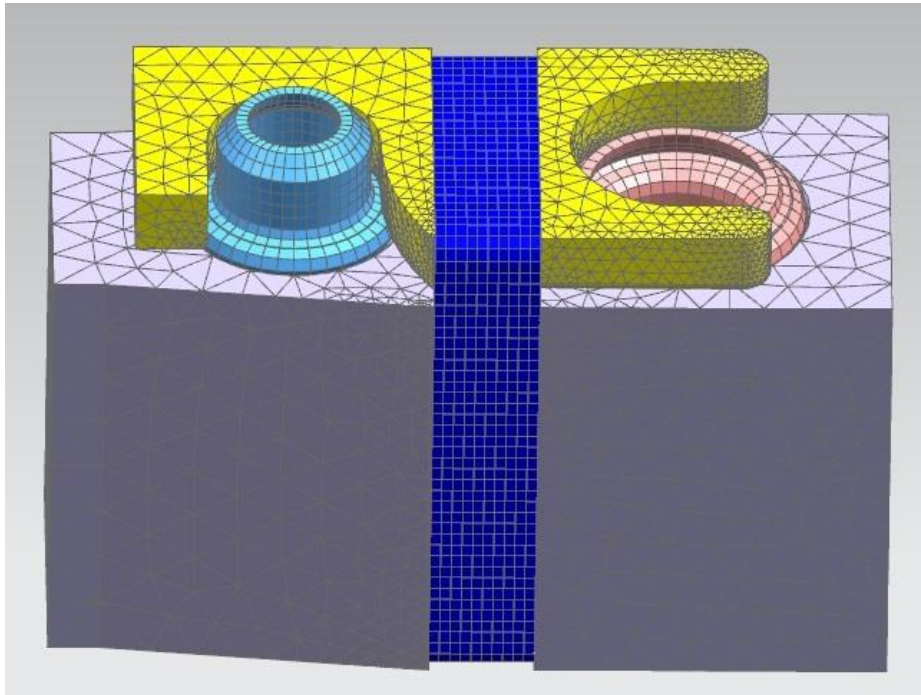
V kritických místech, tedy v koncentrátoch napětí, je síť ještě zjemněna, tak aby byly výsledky v těchto místech co nejpřesnější.

Délka trubek byla zmenšena na velikost, aby byla zachována místa, která přenášejí sílu a části nepotřebné pro výpočet, byly odseknuty. Síť aplikována na trubky je opět typu brick o velikosti elementu 1 mm.

Plochy podložky byly rozděleny na plochy přenášející zatížení na sponu, kde jsem aplikoval síť typu brick s velikostí elementu 1 mm a plochy vedlejší, kde jsem aplikoval tetrahedrální síť s velikostí elementu 2,5 mm. Stejným způsobem bylo síťováno i tělo expanzního ventilu. Plochy, které jsou v dotyku se sponou, mají síť typu brick s velikostí elementu 1 mm a zbylé plochy mají tetrahedrální síť s velikostí elementu 4 mm. Pro zjednodušení výpočtů byly zanedbány nefunkční plochy. To znamená, že plochy nepřenášející žádné síly byly odstraněny, jsou to například krajní části na expanzním ventilu. Pro zlepšení kvality sítí byly

také odstraněny nefunkční rádce.

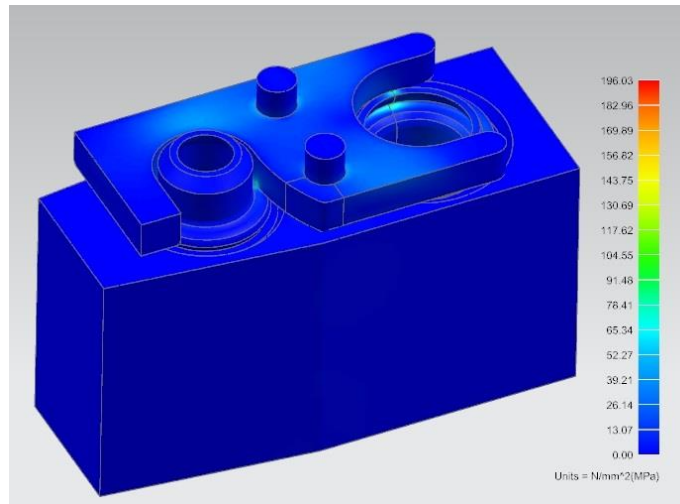
Důvodem aplikace sítě typu brick na plochy které jsou v dotyku se sponou a samotnou sponou je ten, že tento druh sítě daleko lépe snáší čárové dotyky, kterých jsem se v úloze nedokázal vyvarovat. Současná úroveň vědomostí jakou jsem do teď získal, není taková, abych se dokázal čárovým dotykům vyvarovat. Tato bakalářská práce může sloužit jako podklad pro další rozvoj v tomto směru v navazujícím studiu.



Obrázek 30 - síťování modelu

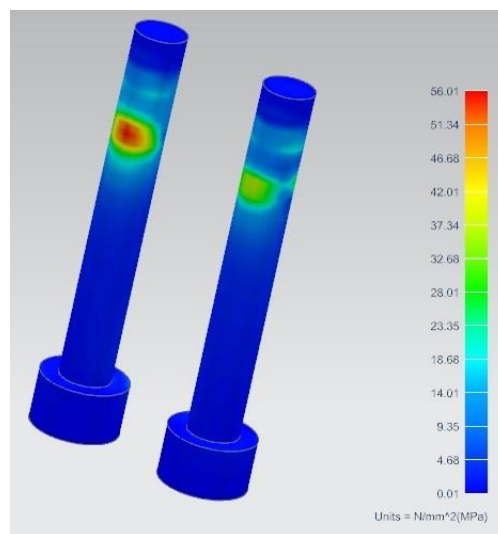
5.2. Napětí uvnitř současného modelu

Pro porovnání s alternativními formami spojení jsou v této kapitole vyobrazeny napětí a posunutí, které se objevují v současném spojení. Model byl síťován stejným stylem, jako bylo popsáno v předchozí kapitole. Okrajové podmínky jsou taktéž stejné. Na obrázku č. 31 jsou vyobrazeny výsledky po zatížení modelu. Stupnice ukazuje, že maximální napětí metodou von Miseses v modelu je 196 MPa. Tato hodnota je daná tím, že jsou v modelu bodové a čárové dotyky a vzhledem k tomu, že jsou simulace lineárního typu, nedokáže se materiál deformovat a tak vznikají extrémně vysoká napětí. Tyto napětí jsou, nereálná a můžeme je zanedbat.



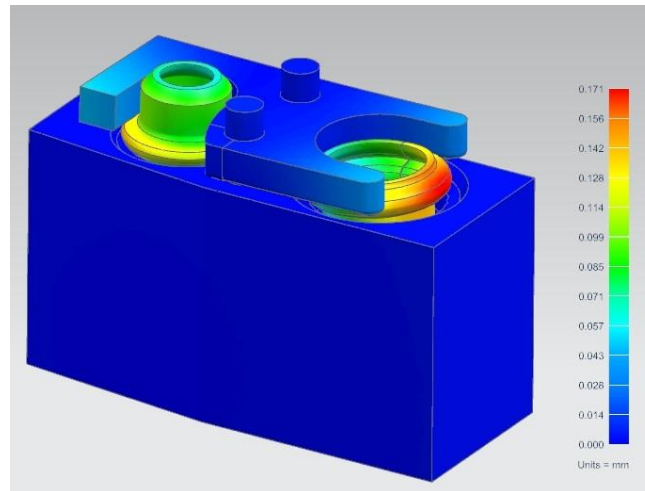
Obrázek 31 - základní model - napětí

Elementy přenášející napětí jsou v případě současného spojení dva šrouby. Na obrázku 32 je vidět, že maximální napětí je 56 MPa, tato hodnota je opět způsobena bodovým dotykem. Za reálnou hodnotu se dají považovat hodnoty mimo ohnisko tohoto dotyku. V šroubu tedy působí napětí okolo 25 MPa. Vzhledem k tomu, že materiál použitý na výrobu spojovacích šroubů je ocel třídy 8.8 s mezí kluzu 640 MPa, není takto nízké napětí žádným problémem.



Obrázek 32 - šrouby - napětí

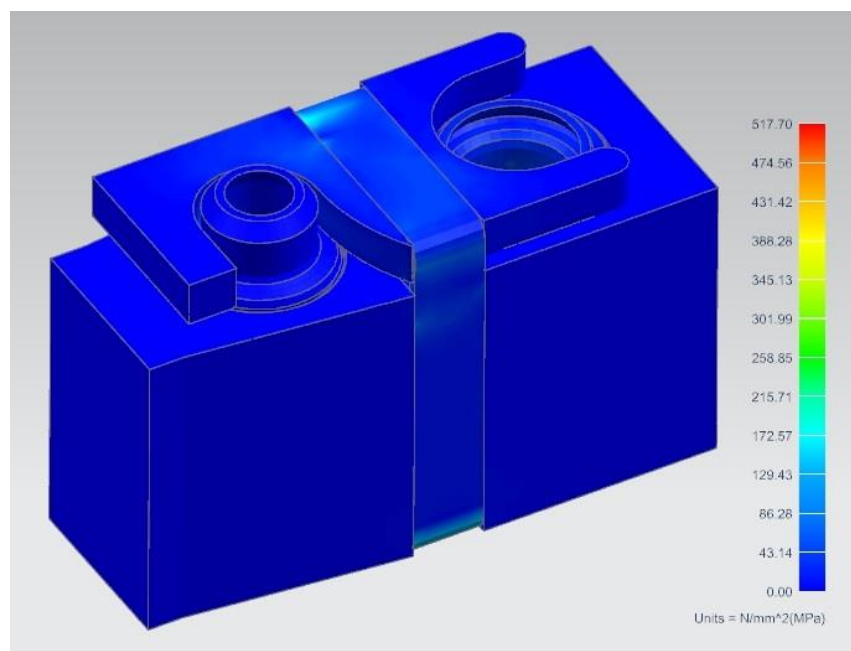
Síly působící na spojení také způsobují pohyb jednotlivých prvků. V současném spojení způsobí tlak 30 bar maximální posun 0,17 mm, takto vysoká dislokace se nachází na výstupní trubce, viz obr. 33



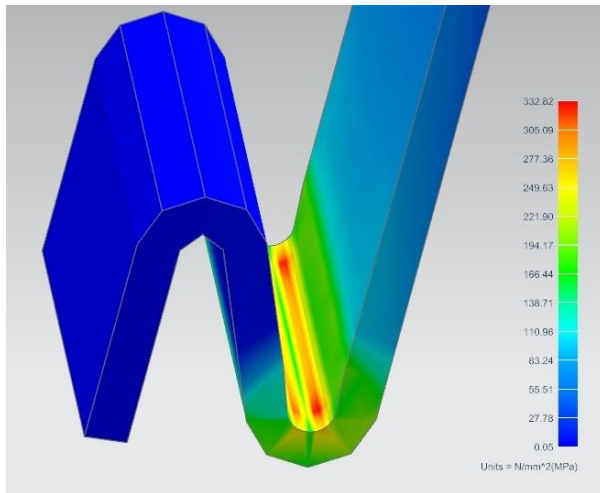
Obrázek 33 - základní model - posunutí

5.3. Model se sponou

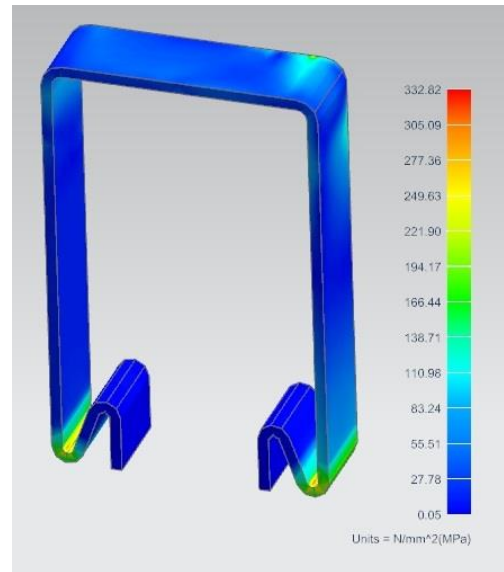
V modelu se sponou byly aplikovány stejné okrajové podmínky jako u základního modelu. Na obrázku 34 je vidět rozložení napětí uvnitř modelu. Nejvyšší hodnota napětí je 518 MPa, tato hodnota je způsobena bodovým dotykem a nemůžeme ji tedy považovat za relevantní.



Obrázek 34 - model se sponou - napětí

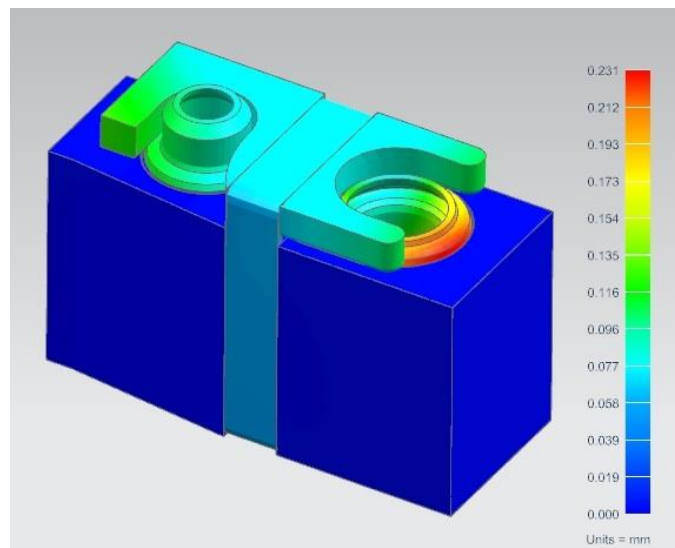


Obrázek 35 – Spona detail



Obrázek 36 - Spona - napětí

Maximální napětí na sponě, která je klíčovým komponentem spojení, je rovno 333 MPa, tato hodnota je způsobena čárovým dotykem a za reálné hodnoty se dají považovat čísla v zelených oblastech, tedy okolo 200 MPa. Při takovémto napětí navrhuji použít ocel třídy 13 pro její výborné vlastnosti v oblasti cyklického namáhání a vysokou mez kluzu v tahu, která se pohybuje v rozmezí od 650 do 850 MPa. Takto vysoké hodnoty meze napětí zajistí dostatečně vysoký koeficient bezpečnosti.

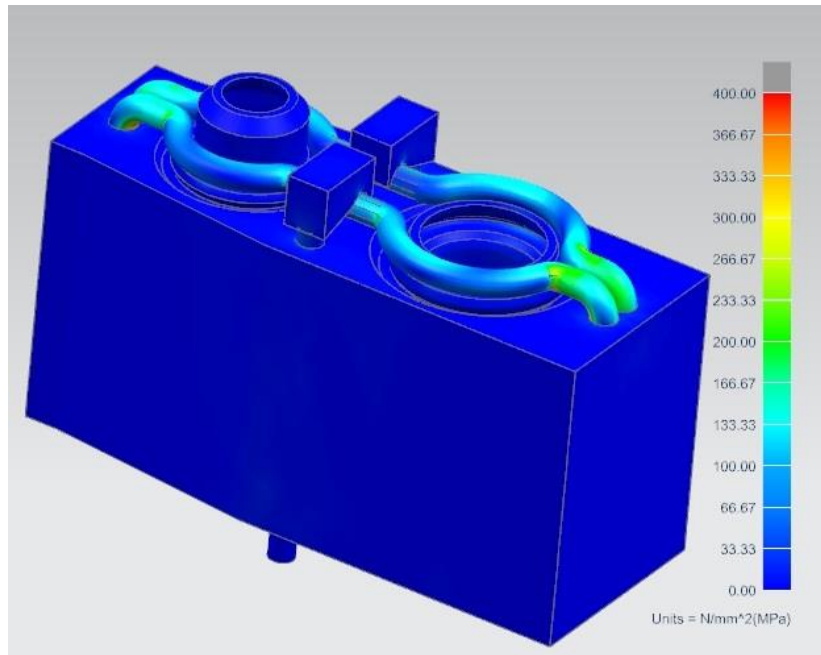


Obrázek 37 - model se sponou – posunutí

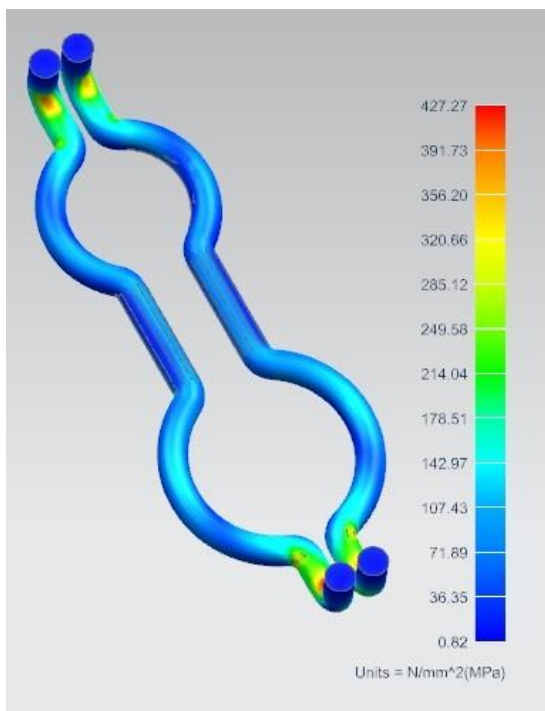
Obrázek číslo 37 zobrazuje posunutí dílů v modelu se sponou. Maximální hodnota posunutí je 0,23 mm. Toto posunutí se vyskytuje na výstupní trubce a je zřejmě způsobeno tím, že není výstupní trubka v těchto místech zafixovaná. Při porovnání hodnoty posunu 0,23 mm s hodnotou posunutí na současném modelu, tedy 0,17 mm, je výsledek posunutí velice dobrý a neměl by mít špatný vliv na spojení.

5.4. Model se strunou

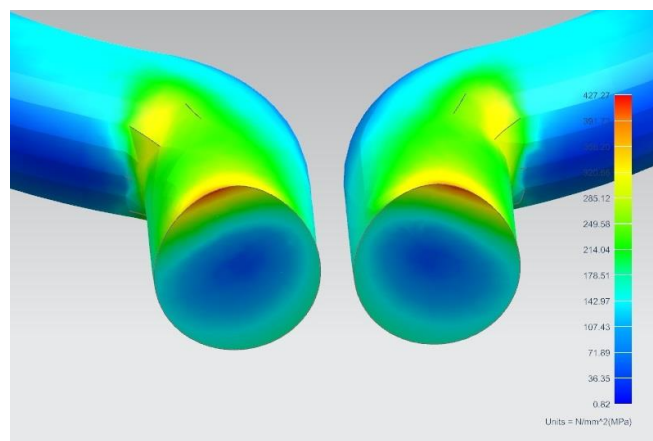
Při pohledu na rozložení napětí v modelu se strunou na obrázku vidíme, že síly působící na model jsou rovnoměrně rozloženy mezi dvě struny, přesně jak k tomu byly určeny. Pokud se blíže zaměříme na výsledky je vidět, že největší napětí je v přirozených koncentrátoch napětí na strunách. Koncentrátory napětí se nacházejí v krčku struny. V těchto místech je povrchové napětí až 427 MPa. Po provedení řezu rovinou kolmou na tělo struny, viz obr. 40 je vidět, že uvnitř struny působí napětí okolo 200 MPa. Při použití oceli číslo 13 je tato hodnota přijatelná. Meze kluzu této oceli pohybují v rozmezí 650 – 850 MPa, tím pádem by se hodnota koeficientu bezpečnosti pohybovala od 3,25 do 4,25.



Obrázek 38 - model se strunou - napětí

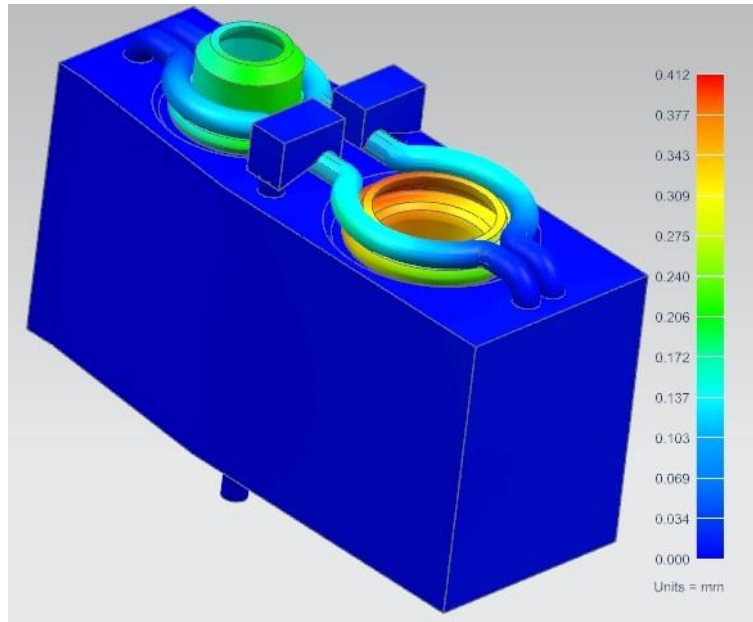


Obrázek 39 – struna - napětí



Obrázek 40 – struna napětí - detail

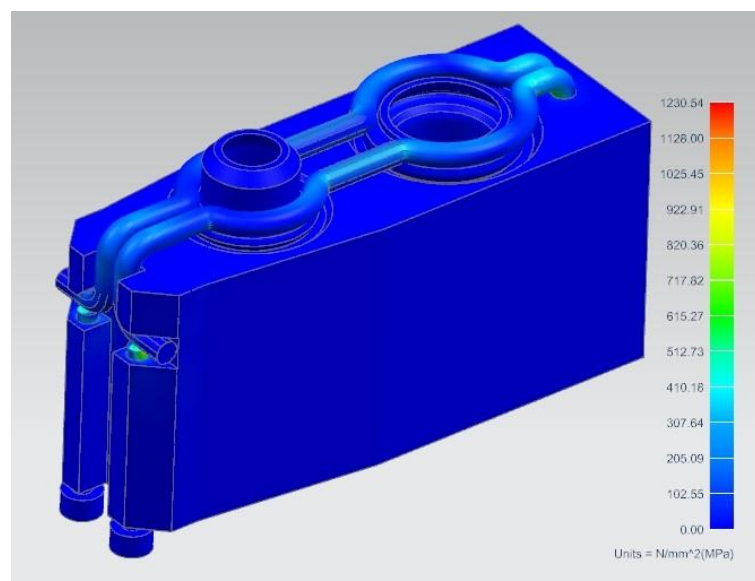
Výsledky dislokace zobrazují maximální posun na výstupové trubce a to o 0,41 mm. Při srovnání s posunutím na současném modelu je tato hodnota vyšší o 0,24 mm. Posunutí o této velikosti je přijatelné.



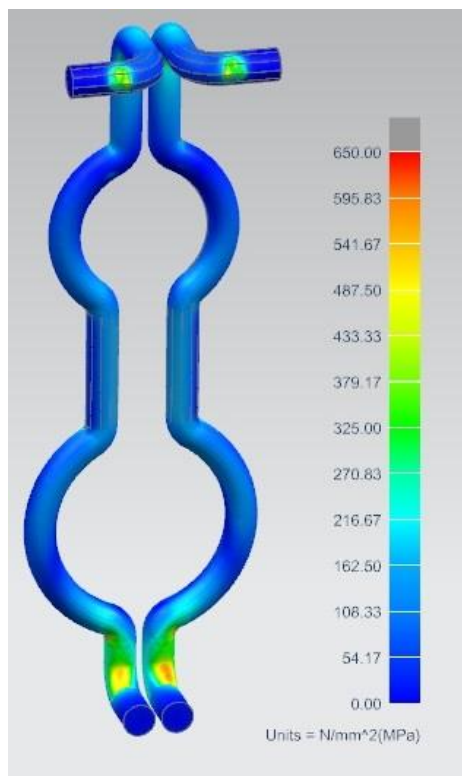
Obrázek 41 - model se strunou - posunutí

5.5. Model se strunou 2

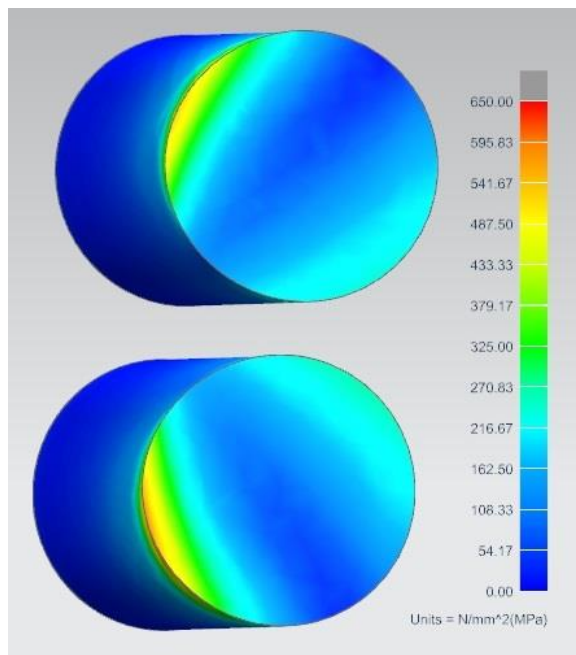
Při pohledu na druhou možnost modelu se sponou je zřejmé, že maximální napětí o hodnotě 1230 MPa je způsobené bodovým dotykem mezi strunou a šroubem, který zajišťuje její pozici uvnitř expanzního ventilu. Toto napětí je opět nereálné a při bližším zaměření se na výsledky napětí na struně je vidět, že největší hodnoty jsou opět v přirozených koncentrátorech napětí. Ty se nachází na koncích struny v místě ohybu. Při zanedbání povrchového napětí můžeme říci, že velikost napětí v nejvíce namáhaném místě spony je okolo 270 MPa. Při takto vysokém napětí navrhuji použít jako materiál struny ocel třídy 13.



Obrázek 42 – Model se strunou 2 - napětí



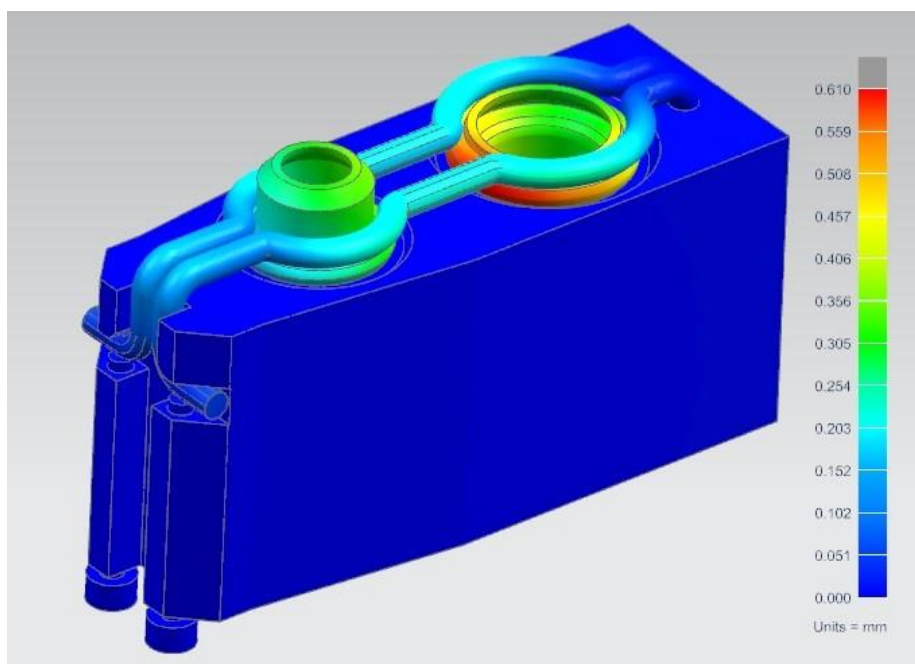
Obrázek 43 – struna 2 - napětí



Obrázek 44 – struna 2 napětí – detail

Na obrázku číslo 43 jsou vidět již zmíněné přirozené koncentrátoři napětí nacházející se v místě ohybu na konci strun. Obrázek číslo 44 zobrazuje řez struny v místech koncentrátorů napětí.

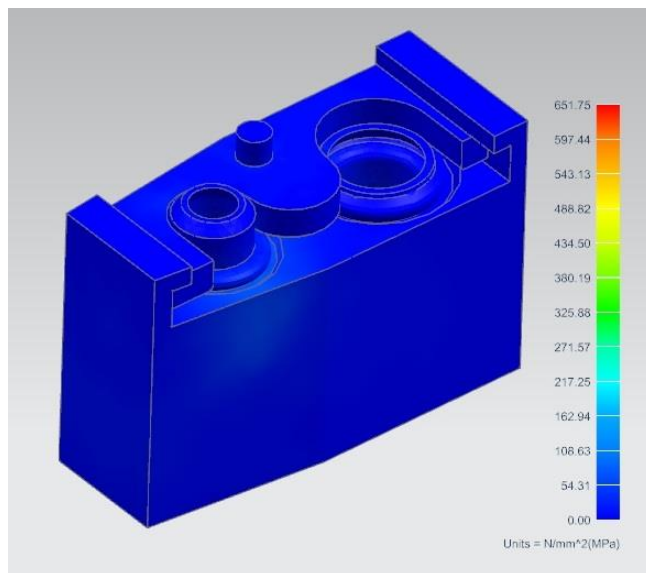
Dislokace modelu se strunou 2 je největší na výstupové trubce, která se od původní pozice přemístila o 0,61 mm. Maximální hodnota dislokace v těchto místech je způsobena tím, že tam trubka už není fixována strunou a má možnost se posunout. Oproti současnému modelu je dislokace v modelu se strunou 2 větší o 0,44 mm.



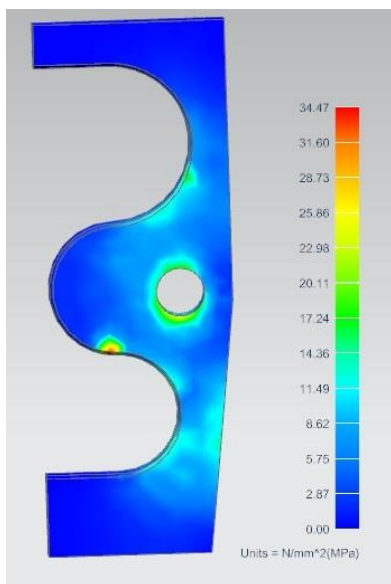
Obrázek 45 - model se strunou 2 - posunutí

5.6. Model s jedním šroubem

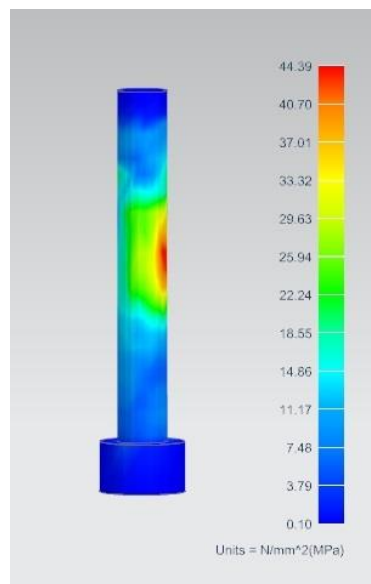
Model s jedním šroubem má z hlediska napětí na elementech přenášejících síly ty nejlepší výsledky. Díky mohutnosti jednotlivých komponentů se síly velice dobře rozloží do celého těla jednotlivých prvků, a tím je maximální hodnota napětí ve spojení jako celku poměrně malá. Maximální napětí, vypočtené metodou von Mises uvnitř šroubu a podložky je 44,4 MPa. Při takto nízké hodnotě napětí můžeme použít i méně kvalitní materiál na šroub a podložku, a tím snížit cenu spojení.



Obrázek 46 - model s jedním šroubem - napětí

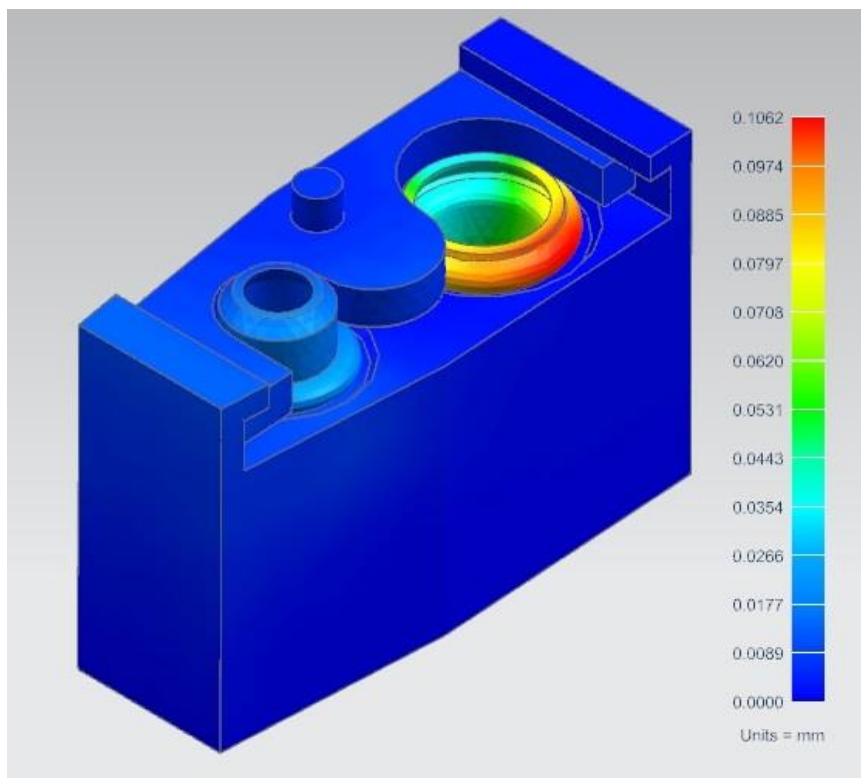


Obrázek 47 – napětí v podložce



Obrázek 48 – napětí v šroubu

Díky své masivnosti jsou jednotlivé díly méně náchylné k dislokaci. Maximální hodnota dislokace v tomto modelu je 0,1 mm, a to v místech výstupní trubky, tam kde není trubka fixována podložkou. Ve srovnání se základním modelem a s ostatními návrhy spojení, je velikost posunu v tomto modelu nejmenší.



Obrázek 49 - model s jedním šroubem - posunutí

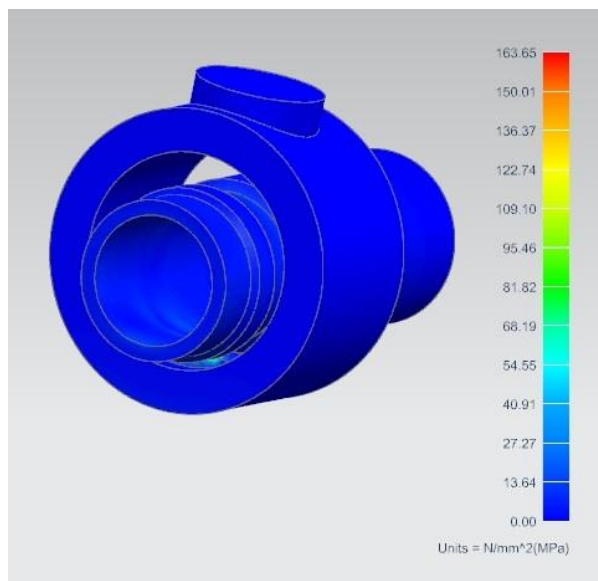
5.7. Rychlopojka

Pro model rychlopojky byla úloha zjednodušena na čtyři elementy, které přímo přenášejí zatížení. Těmito elementy jsou koncovka vstupní a výstupní trubky a uzamykací kroužky, na které koncovky tlačí.

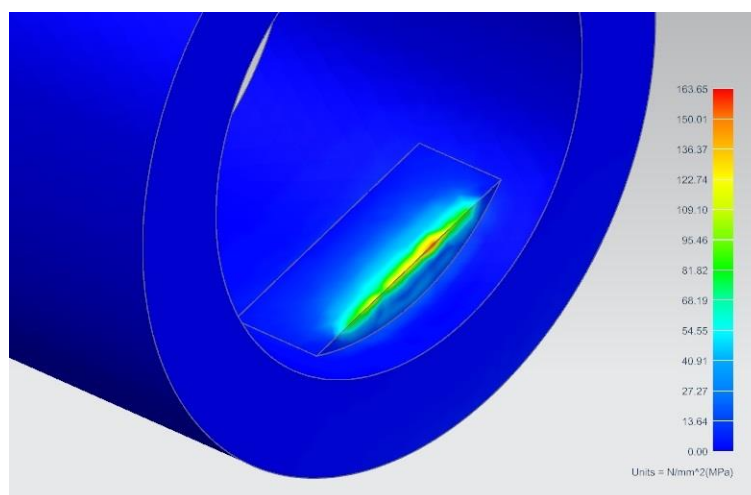
Jednotlivé komponenty v této úloze byly síťovány tetrahedrální sítí o rozměru elementu 1 mm. Pohyb koncovky trubky byl omezen jen na posun v ose trubky, tak jak tomu je ve skutečnosti uvnitř těla expanzního ventilu. Také byla na koncovku trubky aplikována síla v axiálním směru. Po přepočítání tlaku 30 bar na sílu působící na plochu trubky vyjde, že na vstupní trubku působí síla 44,1 N a na výstupní trubku působí síla 103,5 N. Body volnosti uzamykacího kroužku byly odebrány ve všech směrech, tak aby se tento komponent nemohl nijak pohybovat.

Maximální hodnota napětí v uzamykacím kroužku je v místě dotyku s koncovkou vstupní a výstupní trubky. Vysoké hodnoty napětí v tomto místě jsou způsobeny čárovým dotykem mezi trubkou a kroužkem. Za reálné se dají považovat hodnoty v zelených polích, kde není oblast tolik ovlivněna čárovým dotykem.

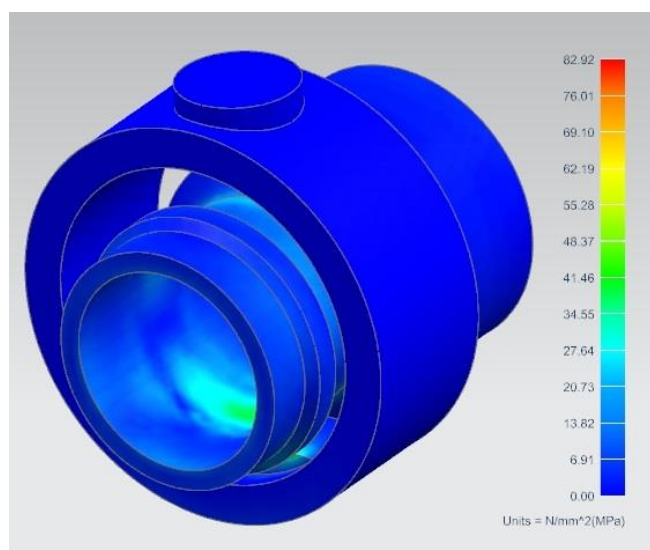
Pro uzamykací kroužek vstupní trubky je napětí okolo 110 MPa a u výstupní trubky to je to okolo 55 MPa.



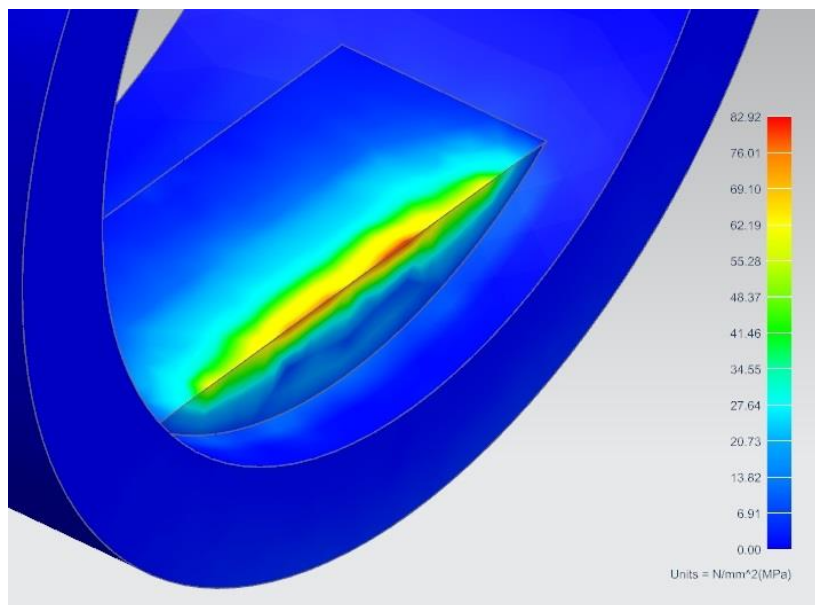
Obrázek 50 - Vstupní trubka - napětí



Obrázek 51 - - Vstupní trubka napětí - detail



Obrázek 52 - výstupní trubka - napětí



Obrázek 53 - výstupní trubka napětí - detail

Na obrázcích 51 a 53 je detailní pohled na rozložení napětí uvnitř uzamykacích kroužků pro vstupní a výstupní trubky. Je zřejmé, že červené oblasti modelu jsou ovlivněny čárovým dotykem mezi uzamykacím kroužkem a příslušnou trubkou. Vzhledem k nízkým napětím působícím uvnitř těchto součástí navrhuji použít jako materiál na jejich výrobu ocel třídy 10 pro její nízkou cenu a přijatelné vlastnosti.

5.8. Porovnání posunutí a napětí v jednotlivých modelech

Pro přehled a porovnání posunutí a napětí v jednotlivých slouží tabulka číslo jedna.

| - | Maximální napětí [MPa] | Maximální dislokace [mm] |
|------------------------|------------------------|--------------------------|
| Základní model | 25 | 0,17 |
| Model se sponou | 200 | 0,23 |
| Model se strunou | 200 | 0,41 |
| Model se strunou 2 | 270 | 0,61 |
| Model s jedním šroubem | 44 | 0,1 |
| Rychlospojka | 110 | 0 |

Tabulka 1 - porovnání výsledných hodnot

Při porovnání napětí a dislokací, které se vyskytují v alternativních modelech spojení, si můžeme povšimnout, že v modelech se strunou jsou tyto hodnoty největší. Naopak nejmenších hodnot dosáhli modely s masivnějšími komponenty.

6. Výběr optimálního spojení

K výběru optimálního druhu spojení jsem se rozhodl využít rozhodovací matice. Pro stanovení vah kritérií je využita metoda bodování.

Nejvyšší váha byla přiřazena časové stálosti spojení z toho důvodu, že toto kritérium je klíčové pro zajištění dlouhodobé tuhosti spojovacích dílů, a tím i zajištění těsnosti spojení. Tomuto kritériu bylo přiřazeno 25 bodů.

Jiným velice důležitým kritériem je, jak moc je spojení náchylné k vibracím. Jakékoli volné nebo nedotažené díly by mohly rezonovat s vibracemi přicházejícími od vnějších zdrojů, to by mohlo být příčinou uvolnění spoje. Dalším nežádoucím důsledkem by mohlo být narušení

komfortu uvnitř kabiny auta. Z těchto důvodů jsem kritériu přiřadil 20 bodů.

Z hlediska modelu je rychlost sestavení spojení v montážní hale ovlivněna dvěma faktory. Prvním je počet dílů, čím více dílů je nutné skládat dohromady, tím více času to zabere. Proto je nejlepší když model má co nejmenší počet nesložitéch dílů. Druhým faktorem je samotná rychlost montáže. Ta je závislá na složitosti jednotlivých dílů a konceptu konkrétního modelu. Udaná dvě kritéria jsou důležitá, jelikož s rychlostí výroby jde ruku v ruce i cena spojení. Těmto dvěma kritériím bylo přiřazeno 15 bodů.

Náročnost výroby jednotlivých dílů je kritérium, které přímo ovlivňuje cenu koncového produktu. Proto je důležité, aby byli jednotlivé součásti spojení co nejjednodušší a tím pádem snadno vyrobitelné.

Jako poslední kritérium byla vybrána náročnost demontáže. V případě nutnosti rozebrání spojení a výměny nějaké součásti uvnitř jednotky HVAC, je důležité, aby se spojení dalo snadno rozpojit a znovu spojit a při tom nedošlo k poškození ostatních součástí spojení. Tomuto kritériu bylo přiřazeno 5 bodů. Jednotlivá kritéria a jejich bodové ohodnocení jsou popsána v tabulce číslo 2.

| | Počet bodů | Váha |
|---------------------------------------|------------|-------------|
| Časová stálost | 30 | 0,3 |
| Rychlost montáže | 15 | 0,15 |
| Náchylnost k vibracím | 25 | 0,25 |
| Počet dílů | 15 | 0,15 |
| Náročnost demontáže | 5 | 0,05 |
| Náročnost na výrobu jednotlivých dílů | 10 | 0,1 |

Tabulka 2- Bodové hodnocení kritérií

Následujícím krokem výběru optimálního spojení je vlastní rozhodovací matice. Každému modelu byl přiřazen určitý počet bodů v závislosti na jednotlivých kritériích. Maximální počet pěti bodů byl přiřazen modelu, který obstál v závislosti na určitém kritériu nejlépe a jeden bod byl přiřazen modelu s nejhorsími výsledky.

Body se následovně vynásobí s váhou, která byla přiřazena specifickému kritériu. Tyto násobky jsou v červeném sloupci a reprezentují výhodnost daného modelu. Násobky těchto dvou hodnot se poté sečtou dohromady a výsledkem je výhodnost jednotlivých variant v závislosti na daných kritériích. V poslední části tabulky je vidět pořadí výhodnosti daných spojení.

| Kritéria/Varianty | K1 (0,3) | | K2 (0,15) | | K3 (0,25) | | K4 (0,15) | | K5 (0,05) | | K6 (0,1) | | Výhodnost | Pořadí |
|------------------------|----------------|-----|------------------|------|-----------------------|------|------------|-------|---------------------|------|---------------------------------------|-----|--------------|-----------|
| | Časová stálost | | Rychlost montáže | | Náchylnost k vibracím | | Počet dílů | | Náročnost demontáže | | Náročnost na výrobu jednotlivých dílů | | | |
| Model se sponou | 3 | 0,9 | 4 | 0,6 | 5 | 1,25 | 4,5 | 0,675 | 3 | 0,15 | 5 | 0,5 | 4,075 | 1. |
| Model se strunou | 1 | 0,3 | 2 | 0,3 | 1 | 0,25 | 3 | 0,45 | 1 | 0,05 | 4 | 0,4 | 1,75 | 5. |
| Model se strunou 2 | 2 | 0,6 | 1 | 0,15 | 2 | 0,5 | 2 | 0,3 | 2 | 0,1 | 3 | 0,3 | 1,95 | 4. |
| Rychlospojka | 4 | 1,2 | 5 | 0,75 | 3 | 0,75 | 1 | 0,15 | 5 | 0,25 | 2 | 0,2 | 3,3 | 3. |
| Model s jedním šroubem | 5 | 1,5 | 3 | 0,45 | 4 | 1 | 4,5 | 0,675 | 4 | 0,2 | 1 | 0,1 | 3,925 | 2. |

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat současnou formu spojení výparnickových trubek a expanzního ventilu a nalézt alternativní směry, kterými by se mohlo spojení ubírat. V předchozích kapitolách bylo popsáno pět alternativ se svými přednostmi a zápory. Nejbližší současnému spojení je model s jedním šroubem. Tento druh spojení využívá podložky, úložného lože, do kterého se podložka vsune a jeden šroub, kterým se pojistí její poloha. Nejkomplexnější z navržených spojení je model rychlospojky, který má velkou výhodu v rychlosti spojení a rozpojení systému. Avšak jeho nevýhodou je, již zmiňovaná složitost uzavíracího mechanismu, který využívá velkého počtu součástí.

Části přenášející zatížení byly dimenzovány metodou konečných prvků. Každý z modelů byl zasíťován a otestován zda dokáže přenést požadované zatížení bez toho, aby materiál navržený k jeho konstrukci, překročil mez kluzu. Všechny modely obstáli tento test a mohli by být potencionálně využity namísto současného spojení.

Poslední částí zadání byl výběr nejlepšího řešení v závislosti na zadaných kritériích pomocí rozhodovací matice. Základní požadavky na spojení, jako například jeho těsnost za určitého tlaku byly z kritérií rozhodovací matice vyloučeny, jelikož toto kritérium je základním požadavkem na model a musí být v každém případě splněno. Ostatní kritéria zvolená pro výběr řešení jsou spíše kvalitativního charakteru. Jejich dosažení je pro řešení podstatné, ale není zásadní. Výsledkem rozhodovací matice vyšlo, že nejlepší možné řešení je model se sponou. Tato alternativa má nespornou výhodu v malém počtu a jednoduchosti individuálních součástí. V případě tohoto modelu, zůstává podložka a límce na trubkách. Rozdíl je ale v tom, že element přenášející zatížení je spona, která obepíná tělo expanzního ventilu a podložky, a tím udržuje spojení pohromadě. Tento model byl nejlepší možnou variantou ve třech z šesti kritérií rozhodovací matice.

Jako druhá nejlepší možnost vyšel model s jedním šroubem. Toto spojení využívá všech výhod současného spojení, a to při použití menšího počtu dílů. Pro zvýšení tuhosti spoje a zamezení prohybu přenášejícího elementu je podložka zasunuta do lože, které zajistí jeho pozici ve dvou směrech a zamezí její rotaci. Pro zamezení pohybu ve třetím směru je podložka pojištěna jedním šroubem. Spojení toho druhu má vysoké bodové ohodnocení u všech navržených kritérií. Jediným velkým záporem je vlastní lože v těle expanzního ventilu. Objem materiálu, který je nutný odstranit pro výrobu lože, by mohl mít negativní vliv na cenu spojení.

Na třetím místě se umístil model rychlospojky. Nespornými výhodami tohoto spojení jsou rychlost, s jakou jde spojení uvolnit a taky skutečnost, že všechny funkční součásti spojení jsou ukryty v těle expanzního ventilu. To zamezuje možnosti, že by nějaká součást zvenčí mohla spojení poškodit anebo ho uvolnit. Rychlost spojení a rozpojení trubek a expanzního ventilu je výhodou nejen při případné výměně nějakého dílu v autoservise, ale také při samotné montáži spojení ve výrobní hale, při jeho zasazení do jednotky HVAC.

Model se strunou a model se strunou číslo dva se umístili na posledních dvou místech v rozhodovací matici. Oba dva modely využívají struny, která není tím nejlepším způsobem jak fixovat trubky k tělu TXV. Struna je náchylná k vibracím a celkově by byl tento model náročný na sestavení jednotlivých dílů dohromady. Na druhou stranu tyto dva modely mají velký potenciál ke zlepšení.

Jedním způsobem jak zajistit větší stabilitu spoje by mohlo být překřížení strun v prostoru mezi vstupní a výstupní trubicí. Tímto způsobem by se zvětšila kontaktní plocha mezi strunou a límcem na těle trubky. Dalším možným zlepšením by mohlo být záměna fixačního límce za drážku, která by se vybrousila do těla trubek. Struna by do ní přesně zapadla a tím by se ještě o něco zvětšila kontaktní plocha mezi trubicí a strunou.

Všechny navržené modely splňují základní požadavky na spojení a je možné je dále rozvíjet a potencionálně využít jako nástupce současného spoje.

8. Použité zdroje

- [1] Valeo, „<http://www.valeo.com>,“ 28 10 2017. [Online]. Available: <http://www.valeo.com/en/our-activities/>.
- [2] J. Chyský a K. Hemzal , Větrání a klimatizace 3. vyd., Praha: Bolit-B, 1993, p. 490.
- [3] J. CHYSKÝ, Klimatizace, Praha: ČVUT, 1987.
- [4] J. Kalčík a K. Sýkora, Termomechanika, Praha: Československá akademie věd, 1972, p. 540.
- [5] J. NOŽIČKA, Základy termomechaniky, Praha: ČVUT, 2004.
- [6] J. JIRSA, *Implementace prvků interní čistoty výrobního systému s ohledem na požadavky zákazníka*, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní. Vedoucí práce Milan EDL., 2013.
- [7] A. A. Ewald, „Quiet Action Coupling“. Spojené Státy Americké Patent 343838, 18 11 1941.