

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh systému chlazení pro vůz kategorie formula student

Autor: **Matěj Linhart**
Vedoucí práce: **Prof. Ing. Václav Uruba, Csc.**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Matěj LINHART**

Osobní číslo: **S16B0312P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Stavba energetických strojů a zařízení**

Název tématu: **Návrh systému chlazení pro vůz kategorie formula student**

Zadávací katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

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

Máte za úkol provést:

- rešerši používaných systémů formula student,
- specifikaci požadavku,
- stávající řešení,
- návrh nového řešení.

Požadavky:


- znalost termomechaniky,
- znalost angličtiny pro studium literatury,
- znalost výpočetního programu Matlab výhodou,
- možnost vypracovat práci v cizím jazyce.

Rozsah grafických prací: 1 výkres, obrázky
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

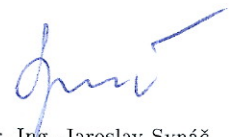
- Valkenburgh Paul Van: Race Car Engineering & Mechanics, Published by Author, 2000
- McKenzie A. B.: Axial flow fans and compressors: aerodynamic design and performance, Ashgate, 2007
- Çengel Yunus A.: Heat and Mass Transfer: a practical approach, McGraw-Hill, 2007
- Formula SAE Rules, 2017
- William Milliken: Race Car Vehicle Dynamics. Warrendale. Society of Automotive Engineers, 1995
- Vlk F.: Stavba motorových vozidel, Brno, nakl. VLK, 2003

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Václav Uruba, CSc.
Katedra energetických strojů a zařízení
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jan Uher
Katedra energetických strojů a zařízení

Datum zadání bakalářské práce: 30. října 2017
Termín odevzdání bakalářské práce: 21. května 2018



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Dr. Ing. Jaroslav Synáč
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2017

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

**.....
podpis autora**

Poděkování

Rád bych poděkoval za podporu při vypracovávání mé bakalářské práce svému vedoucímu práce, panu prof. Ing. Václavu Urubovi, CSc. za ochotu a podporu při vypracovávání mé práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Františkovi Sedláčkovi a Ing. Michalu Skovajsovi za podporu a poskytnuté konzultace. V poslední řadě bych chtěl poděkovat rodině za podporu a trpělivost po celou dobu mého bakalářského studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | | |
|----------------------|--|-------------------|
| AUTOR | Příjmení Linhart | Jméno Matěj |
| STUDIJNÍ OBOR | 2301R016 / Stavba energetických strojů a zařízení | |
| VEDOUcí PRÁCE | Příjmení (včetně titulů) Prof. Ing. Uruba, CSc. | Jméno Václav |
| PRACOVIŠTĚ | ZČU - FST - KKE | |
| DRUH PRÁCE | DIPLOMOVÁ | BAKALÁŘSKÁ |
| NÁZEV PRÁCE | Nehodící se škrtněte | |

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

| | | | | | |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|
| CELKEM | 53 | TEXTOVÁ ČÁST | 30 | GRAFICKÁ ČÁST | 23 |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|

| | |
|--|--|
| STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY | Bakalářská práce je zaměřena na problematiku chladicího systému závodního vozu. Mezi hlavní témata patří rešerše používaných systémů a návrh nového systému chlazení. Přínosem této práce je zvýšení efektivity chladicího systému vozu UWB05. |
| KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE | FSAE, chladicí systém, chladič, návrh chladiče |

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

| | | |
|--------------------------|--|---|
| AUTHOR | Surname Linhart | Name Matěj |
| FIELD OF STUDY | 2301R016 / Stavba energetických strojů a zařízení | |
| SUPERVISOR | Surname (Inclusive of Degrees) Prof. Ing. Uruba, CSc. | Name Václav |
| INSTITUTION | ZČU - FST - KKE | |
| TYPE OF WORK | DIPLOMA | BACHELOR Delete when not applicable |
| TITLE OF THE WORK | | |

| | | | | | |
|----------------|------------------------|-------------------|--|---------------------|------|
| FACULTY | Mechanical Engineering | DEPARTMENT | Design of Power Machines and Equipment | SUBMITTED IN | 2018 |
|----------------|------------------------|-------------------|--|---------------------|------|

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

| | | | | | |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|
| TOTALLY | 53 | TEXT PART | 30 | GRAPHICAL PART | 23 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|

| | |
|---|--|
| BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS | The bachelor sheet is focused on the problema of cooling system of a racecar. The main topics include research of the commonly used systems and design of a new system. Substantial benefit is improved efficiency of cooling systém of UWB05 racecar. |
| KEY WORDS | FSAE, cooling system, radiator, radiator design |

Použité symboly

| Symbol | Jednotka | Význam |
|-------------------|--|---|
| V | [l] | Objem |
| ΔV | [l] | Přírůstek objemu |
| S_{UWB04} | [mm ²] | Teplosměnná plocha chladiče vozu UWB04 |
| S_{UWB05} | [mm ²] | Teplosměnná plocha chladiče vozu UWB05 |
| n | [-] | Počet trubiček chladiče |
| l | [mm] | Délka trubiček chladiče |
| h | [mm] | Délka strany trubičky |
| R | [mm] | Poloměr zaoblení trubičky chladiče |
| \dot{V} | $\left[\frac{l}{s}\right] \left[\frac{l}{min}\right] \left[\frac{m^3}{h}\right]$ | Objemový průtok |
| \dot{Q}_{UWB04} | [kW] | Tepelný tok mezi vodou chladicím médiem a okolním prostředím u vozu UWB04 |
| \dot{Q}_{UWB05} | [kW] | Tepelný tok mezi vodou chladicím médiem a okolním prostředím u vozu UWB05 |
| α | $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$ | Součinitel přestupu tepla |
| t_{UWB04} | [°C] | Střední teplota chladicího média u vozu UWB04 |
| t_{UWB05} | [°C] | Střední teplota chladicího média u vozu UWB05 |
| t_{vzduch} | [°C] | Teplota okolního prostředí |
| ρ_1 | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ | Hustota vody při 20°C |
| ρ_2 | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ | Hustota vody při 100°C |

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam Obrázků | 10 |
| Seznam tabulek | 11 |
| Seznam příloh..... | 12 |
| Úvod..... | 13 |
| 1 Chlazení spalovacích motorů | 14 |
| 1.1 Přímé chlazení | 14 |
| 1.1.1 Náporové | 14 |
| 1.1.2 Nucené..... | 14 |
| 1.2 Nepřímé chlazení..... | 15 |
| 1.2.1 Systém nuceného chlazení | 15 |
| 1.2.2 Systém gravitačního chlazení..... | 15 |
| 1.3 Komponenty chladicího systému..... | 16 |
| 1.3.1 Chladič | 16 |
| 1.3.2 Čerpadlo chladicí kapaliny..... | 19 |
| 1.3.3 Ventilátor..... | 20 |
| 1.3.4 Expanzní nádoba | 21 |
| 2 Rešerše používaných systémů chlazení formou student | 22 |
| 2.1 Příklady umístění chladiče různých týmů | 22 |
| 3 Stávající řešení | 26 |
| 3.1 Pohonná jednotka | 26 |
| 3.2 Chladič..... | 26 |
| 3.2.1 Výpočet teplosměnné plochy | 27 |
| 3.3 Čerpadlo..... | 27 |
| 3.4 Ventilátor..... | 28 |
| 3.5 Zástavbový prostor chladiče | 30 |
| 3.6 Expanzní nádoba..... | 32 |
| 3.7 Měření průtoku | 32 |
| 3.8 Měření tlakové ztráty vzduchu při průchodu chladičem | 33 |
| 4 Specifikace požadavku | 35 |
| 5 Návrh nového řešení..... | 36 |
| 5.1 Pohonná jednotka | 36 |
| 5.2 Chladič..... | 36 |
| 5.2.1 Metodika obecného postupu výpočtu..... | 36 |
| 5.2.2 Návrh chladiče UWB05 | 36 |
| 5.3 Čerpadlo..... | 37 |

| | | |
|-----|--|----|
| 5.4 | Ventilátory..... | 37 |
| | VA07-AP12/C-31A..... | 38 |
| | VA75-A101-90A..... | 38 |
| | VA81A-AP7/C-34A..... | 38 |
| 5.5 | Expanzní nádoba..... | 39 |
| 5.6 | Sací náfuhy | 39 |
| 5.7 | Chladicí systém..... | 40 |
| 5.8 | Zástavbový prostor chladiče | 41 |
| | 5.8.1 Systém sklopného předního křídla | 43 |
| | Závěr..... | 45 |
| | Použitá literatura | 46 |
| | PŘÍLOHA č.1 | 48 |

Seznam Obrázků

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1: Přímé chlazení a) náporové b) nucené</i> | 14 |
| <i>Obr. 2: Nepřímé chlazení</i> | 15 |
| <i>Obr. 3: Gravitační chlazení</i> | 16 |
| <i>Obr. 4: Radiátor chladiče</i> | 17 |
| <i>Obr. 5: Mřížka chladiče</i> | 17 |
| <i>Obr. 6: Downflow radiátor</i> | 18 |
| <i>Obr. 7: Single pass crossflow radiátor</i> | 18 |
| <i>Obr. 8: Double pass radiátor</i> | 19 |
| <i>Obr. 9: Triple pass radiátor</i> | 19 |
| <i>Obr. 10: Čerpadlo chladičí kapaliny</i> | 20 |
| <i>Obr. 11: Ventilátor</i> | 21 |
| <i>Obr. 12: Schématické znázornění chladiče na levé straně vozu</i> | 22 |
| <i>Obr. 13: Umístění chladiče v levé kapse [13]</i> | 22 |
| <i>Obr. 14: Schématické umístění chladiče na pravé straně vozu</i> | 23 |
| <i>Obr. 15: Umístění chladiče vpravo od kokpitu</i> | 23 |
| <i>Obr. 16: Schéma umístění chladiče vzadu za motorem</i> | 24 |
| <i>Obr. 17: Umístění chladiče za motorem</i> | 24 |
| <i>Obr. 18: Použití dvou chladičů umístěných na difuzoru</i> | 25 |
| <i>Obr. 19: Umístění chladiče v nosu formule</i> | 25 |
| <i>Obr. 20: Motor Yamaha R6 2013</i> | 26 |
| <i>Obr. 21: Trubička chladiče</i> | 27 |
| <i>Obr. 22: Čerpadlo chladičí kapaliny vozu UWB04</i> | 28 |
| <i>Obr. 23: Ventilátor VA07-API2/C-31A</i> | 28 |
| <i>Obr. 24: Ventilátory na voze UWB04</i> | 29 |
| <i>Obr. 25: Boční pohled na chladič vozu UWB04</i> | 30 |
| <i>Obr. 26: Čelní pohled na chladič vozu UWB04 v kapse</i> | 31 |
| <i>Obr. 27: Přední pohled na zástavbový prostor s křídlem</i> | 31 |
| <i>Obr. 28: Expanzní nádoba vozu UWB04</i> | 32 |
| <i>Obr. 29: Přípravek pro měření tlaku připevněný na chladiči UWB04</i> | 33 |
| <i>Obr. 30: Schéma zapojení měření</i> | 34 |
| <i>Obr. 31: Zóny možnosti umístění chladiče</i> | 35 |
| <i>Obr. 32: Model sacího náfuku UWB05</i> | 39 |
| <i>Obr. 33: Model sacího náfuku UWB05 s ventilátorem</i> | 40 |
| <i>Obr. 34: Chladičí systém</i> | 40 |
| <i>Obr. 35: Zástavbový prostor chladiče</i> | 41 |
| <i>Obr. 36: Umístění chladiče v zástavbovém prostoru formule</i> | 41 |
| <i>Obr. 37: Umístění chladiče v zástavbovém prostor - boční pohled</i> | 42 |
| <i>Obr. 38: Umístění chladiče v zástavbovém prostoru - boční pohled</i> | 42 |
| <i>Obr. 39: Umístění chladiče – půdorys</i> | 42 |
| <i>Obr. 40: Přední pohled na vozidlo se zavřeným profilem předního křídla</i> | 43 |
| <i>Obr. 41: Přední pohled na vozidlo s otevřeným profilem předního křídla</i> | 44 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| <i>Tabulka 1: Tlak v jednotlivých odběrových bodech</i> | 34 |
| <i>Tabulka 2: Parametry porovnávaných ventilátorů</i> | 38 |

Seznam příloh

- Příloha 1 – Technické listy porovnávaných ventilátorů
- Příloha 2 – Výkres měřicího bloku
- Příloha 3 – Výkres chladiče UWB04
- Příloha 4 – Výkres chladiče UWB05

Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na chladicí systém studentské formule týmu UWB Racing. Bakalářská práce obsahuje popis systémů používaných v automobilovém průmyslu, rešerši systémů používaných ostatními týmy soutěže a popis systému použitého na voze UWB04.

Cílem této bakalářské práce je návrh systému pro vůz UWB05 s kterým tým Západočeské Univerzity v Plzni bude soutěžit v sezóně 2018. Tento systém by měl vycházet ze systému použitého na voze UWB04.

Očekávaným přínosem této bakalářské práce je snížení hmotnosti chladicího systému za pomoci zvýšení jeho účinnosti. Zvýšení teploty chladicího média cirkulujícího v oběhu, aby nedocházelo k podchlazování motoru.

1 Chlazení spalovacích motorů

Pro správnou funkci jednotlivých dílů a konstrukčních skupin spalovacího motoru musí být zajištěna odpovídající provozní teplota. Požadovanou teplotu zajišťuje chladicí systém, který odvádí přebytečné teplo především ze stěn pracovního prostoru, pístu, stěny válce, hlavy motoru, ložisek a dílů rozvodového mechanismu do okolního prostředí. Vedení tepla je zajišťováno buď přímo prostřednictvím materiálu vhodně uzpůsobených stěn válce, hlavy a klikové skříně motoru, nebo nepřímo prostřednictvím teplotnosného média (chladicí kapaliny), které předává teplo do okolního prostředí pomocí výměníků tepla. V některých případech se používá kombinace obou systémů. Oba dva způsoby chlazení musí být u vozidlových motorů vyšších výkonů regulovatelné, neboť příliš vysoká teplota motoru snižuje výrazně výkon a ekonomičnost práce motoru a vede k jeho havárii. Dlouhodobá práce motoru v podchlazeném stavu vede k výraznému nárůstu opotřebení pístní skupiny. Prakticky nezávisle na způsobu chlazení motoru je pro zajištění jeho normálního teplotního stavu potřeba do okolí rozptýlit cca 30 % tepla získaného spalováním paliva.[1]

1.1 Přímé chlazení

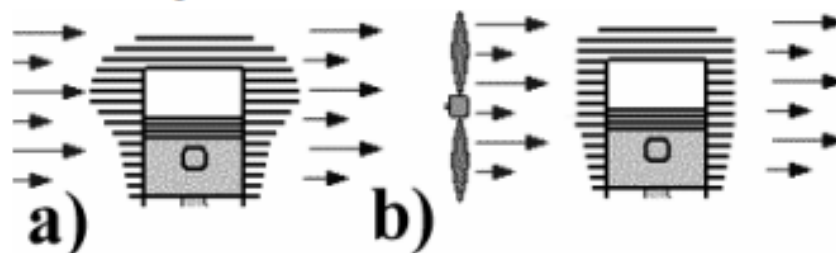
Přímé chlazení motoru je zajišťováno přímým odvodem tepla ze stěn povrchu válců do okolního prostředí. Pro zvýšení účinnosti je teplosměnná plocha motoru zvětšována chladicími žebry. Výhodou přímého chlazení motoru je snížení hmotnosti a vyšší spolehlivost chlazení. Využívá se u motocyklů, letadel, nákladních automobilů zemědělských a stavebních strojů.

1.1.1 Náporové

Jedná se o nejjednodušší systém chlazení. Motor je ochlazován samovolným proudem okolního média. Nevyžaduje téměř žádnou údržbu. Nevýhodou je, že není možné kontrolovat chlazení a může dojít např. k přehřátí motoru při vysokém výkonu a malé rychlosti vozidla (při jízdě do kopce), nebo naopak k podchlazení motoru při nízkém výkonu a vysoké rychlosti vozidla (při jízdě z kopce).

1.1.2 Nucené

K chlazení se využívá proud vzduchu vytvořený ventilátorem (radiálním, nebo axiálním) a jeho usměrněním na stěny motoru. Tento typ chlazení je možné ovlivnit regulací průtoku vzduchu.



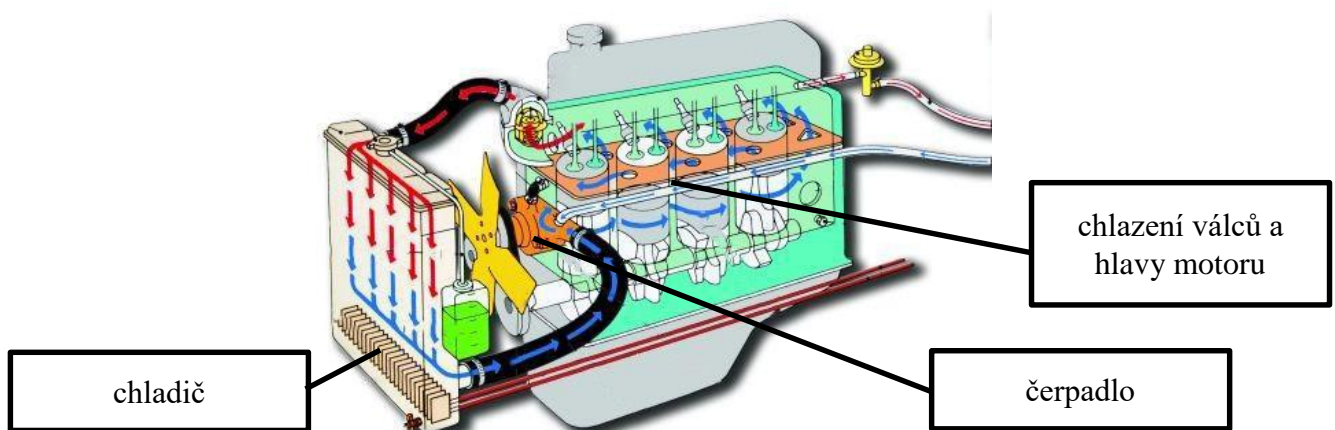
Obr. 1: Přímé chlazení a) náporové b) nucené

1.2 Nepřímé chlazení

U okruhu nepřímého chlazení je teplo odváděno chladicím médiem do tepelného výměníku (chladiče), ze kterého je pak dále odváděno do okolního prostředí. U takto chlazeného motoru je dostačující nižší rozteč válců, a proto je potřeba menší zástavbový prostor motoru. Dalšími výhodami jsou: snížení hluku a vyšší dosažitelný litrový výkon motoru. Dnes již jediným druhem je chlazení s nucenou cirkulací chladicí kapaliny, kdy je kapalina v oběhu poháněna čerpadlem.

1.2.1 Systém nuceného chlazení

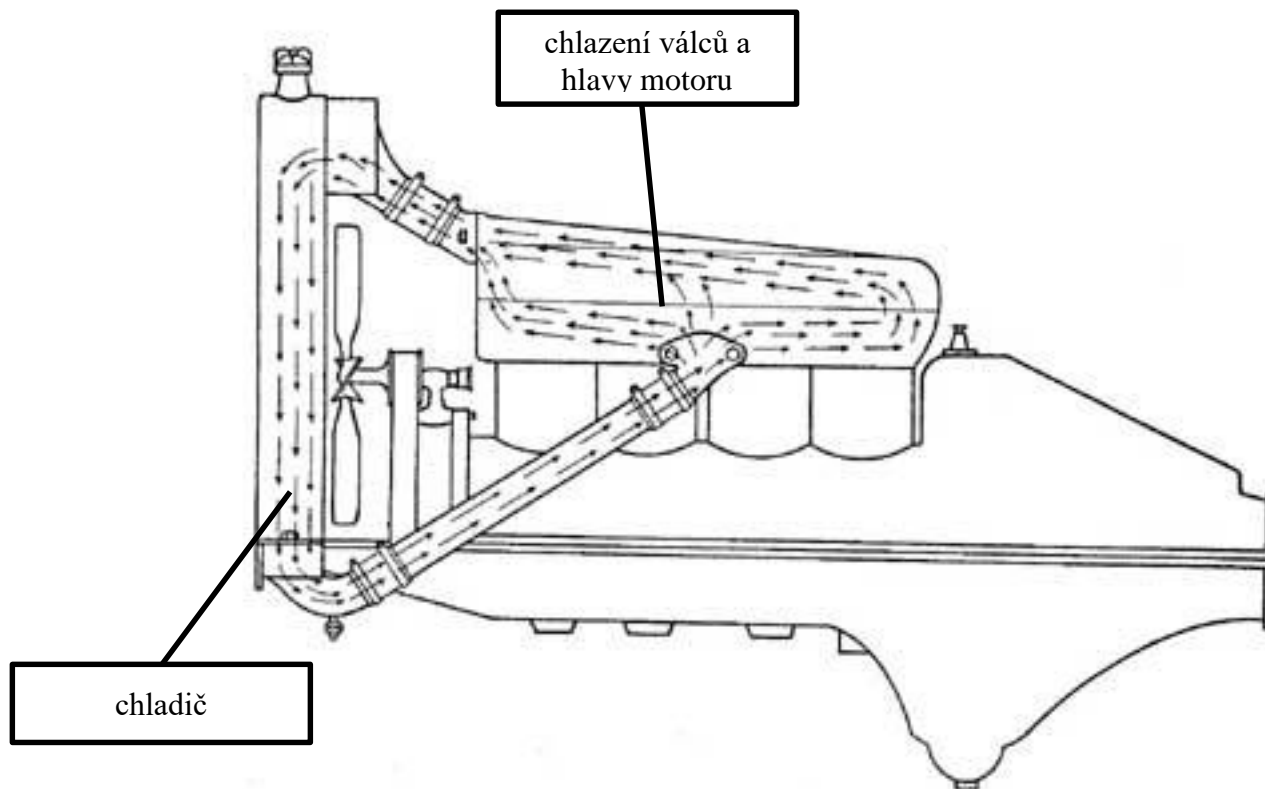
U systému nuceného chlazení je médium poháněno oběhovým čerpadlem. Z něj chladicí médium putuje do rozváděcího kanálu, kde ochlazuje jednotlivé válce. Poté putuje do hlavy motoru, odkud je odváděno sběrným kanálem ven z hlavy motoru. Následně je hnáno do chladiče motoru, kde je z něho odváděno teplo do okolního prostředí. Z chladiče je médium odsáváno čerpadlem a cyklus se opakuje.



Obr. 2: Nepřímé chlazení

1.2.2 Systém gravitačního chlazení

U tohoto systému je využíváno rozdílné hustoty teplé a studené kapaliny. Pro jeho funkčnost je potřeba zajistit vysoký teplotní spád, k tomu je ale důležité použít vysoký a objemný chladič. Z těchto důvodů se tento systém přestal používat již ve čtyřicátých letech 20. století.



Obr. 3: Gravitační chlazení [6]

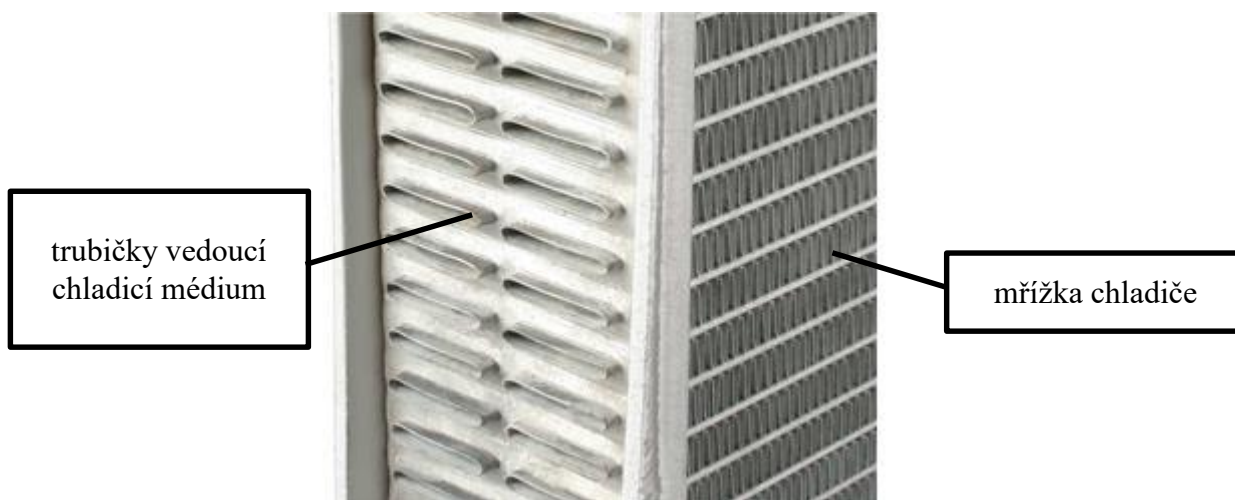
1.3 Komponenty chladicího systému

1.3.1 Chladič

Chladič spalovacího motoru se skládá ze vstupní komory, výstupní komory a chladicí mříže. Kapalina vstupuje do chladiče vstupní komorou, dále proudí skrz chladicí mříž, kde se odvádí teplo, do výstupní komory. Nejdůležitější částí chladiče je chladicí mříž. Trubky vedoucí kapalinu jsou orientovány kolmo na proud vzduchu procházející chladičem a pro zvýšení teplosměnné plochy jsou spojeny tenkými plechy orientovanými rovnoběžně s proudem vzduchu. Trubky vedoucí kapalinu jsou kvůli snížení aerodynamického odporu oválného průřezu a jsou orientovány zaoblenou stranou ve směru jízdy.



Obr. 4: Radiátor chladiče [3]

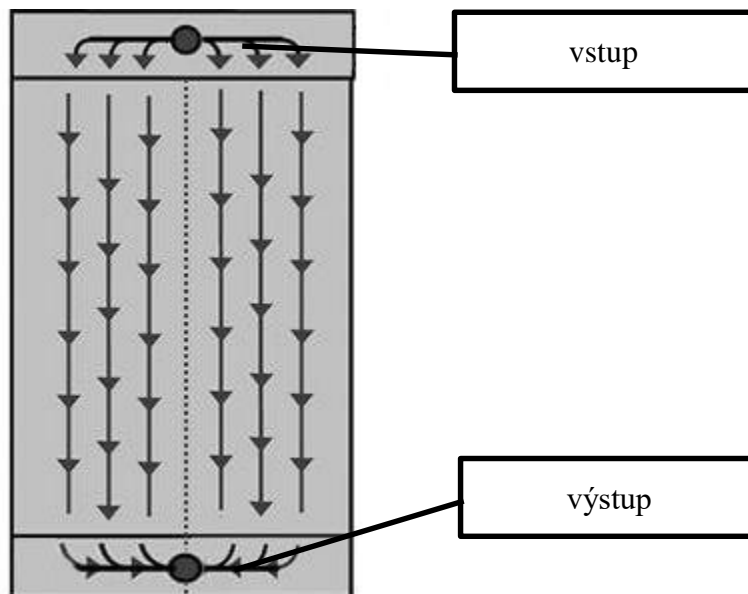


Obr. 5: Mřížka chladiče [4]

Chladiče se rozdělují podle směru vedení média a umístění vstupního a výstupního otvoru.

- **Rozdělení typů radiátorů**
- Downflow radiátor

U typu downflow je vstup na horní straně chladiče a výstup na spodní straně. Chladicí médium je tedy vedeno shora dolů.



Obr. 6: Downflow radiátor

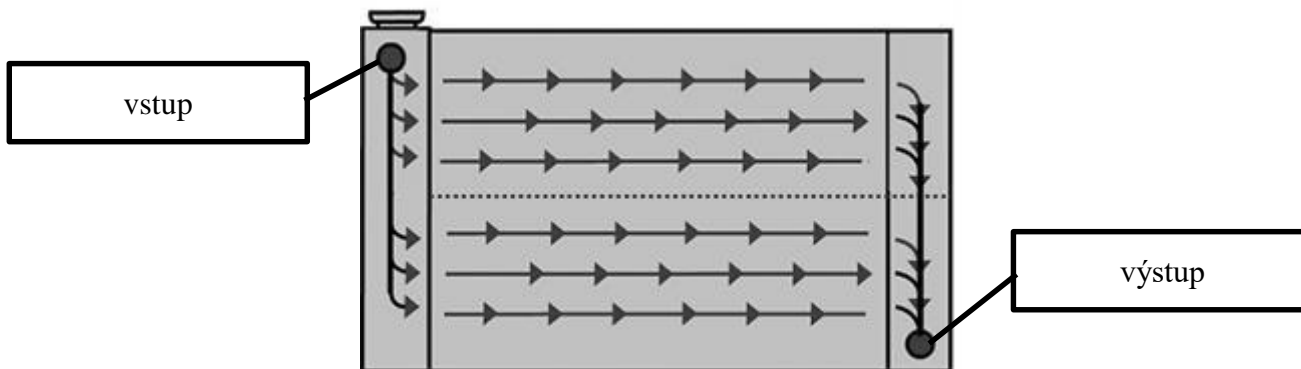
- Crossflow radiátor

U typu crossflow je vstup a výstup křížem v protějších rozích chladiče.

Chladicí účinnost obou těchto typů je stejná, používají se v závislosti na možnostech zástavbového prostoru.

- Single pass radiátor

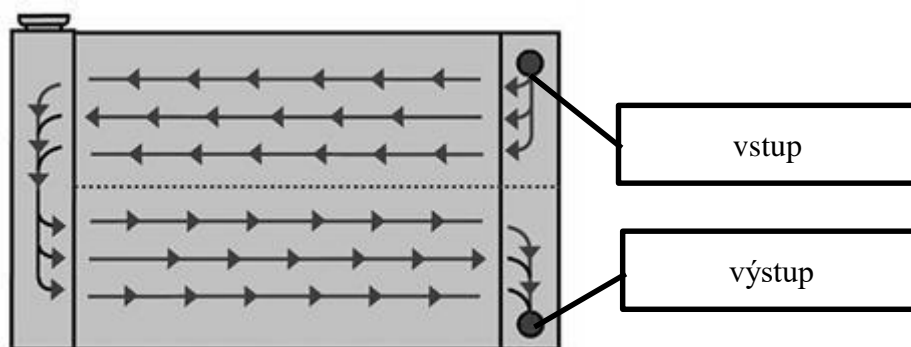
U typu single pass radiátor je vstup na opačné straně než výstup a médium proudí v celé mřížce stejným směrem.



Obr. 7: Single pass crossflow radiátor [7]

- Double pass radiátor

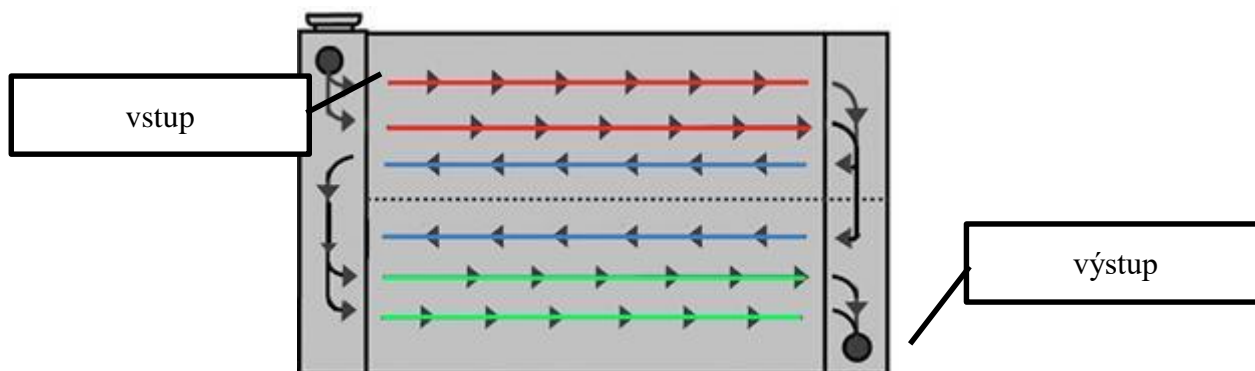
U double pass radiátoru je vstup a výstup na stejné straně chladiče. Médium proudí nejprve polovinou chladiče na jednu stranu a poté druhou polovinou chladiče zpět k výstupu.



Obr. 8: Double pass radiátor [10]

- Triple pass radiátor

U triple pass radiátoru je vstup na opačné straně než výstup. Médium proudí chladičem třikrát.



Obr. 9: Triple pass radiátor

Multiple pass radiátory zvyšují chladicí účinnost. Jsou vhodnější pro závodní aplikace, protože mají větší chladicí výkon při menší velikosti a hmotnosti.

1.3.2 Čerpadlo chladicí kapaliny

Čerpadlo chladicí kapaliny zajišťuje správnou cirkulaci chladicí kapaliny v chladicím okruhu. Pro tento účel jsou používána jednostupňová odstředivá čerpadla. Tato čerpadla jsou poháněna z hřídele motoru nebo samostatným elektromotorem.



Obr. 10: Čerpadlo chladicí kapaliny [10]

1.3.3 Ventilátor

Ventilátor zabezpečuje dostatečný průtok vzduchu chladičem při malých pojzdových rychlostech vozidla. U osobních automobilů bývá ventilátor poháněn elektromotorem, protože při vysokých výkonech motoru dosahuje automobil vysokých rychlostí a náporový průtok vzduchu je pro chlazení motoru dostačující. Z tohoto důvodu bývá ventilátor většinou vypnutý. U nákladních automobilů bývá ve většině případů ventilátor napojený přímo na hřídel motoru.



Obr. 11: Ventilátor [11]

1.3.4 Expanzní nádoba

Z důvodu teplotní rozpínivosti chladicího média je v chladicím okruhu (v nejvyšším bodě) umístěna expanzní nádoba. Při zvýšení teploty chladicího média vzroste jeho objem a přírůstek objemu ΔV má možnost se vlít do expanzní nádoby. Expanzní nádoba je umístěna v nejvyšším bodě kvůli zachytávání vzduchu a výparů v chladicím okruhu.

2 Rešerše používaných systémů chlazení formula student

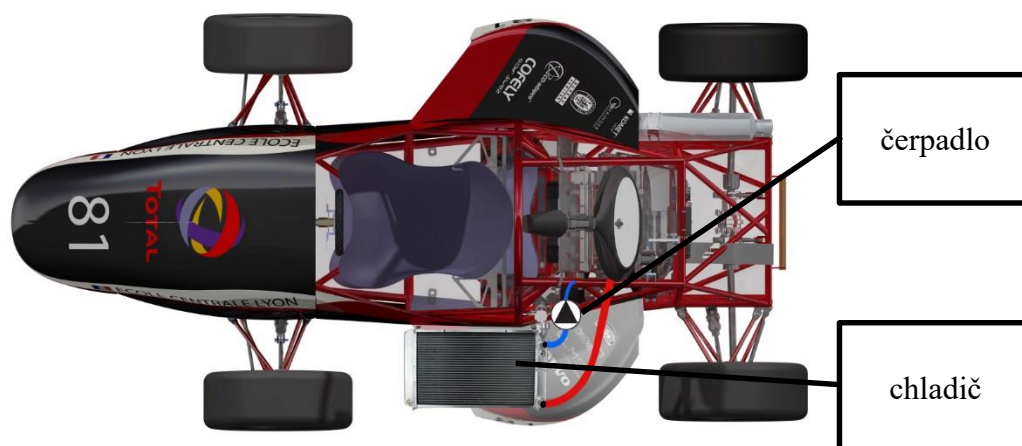
Všechny týmy v soutěži formula student kategorie spalovacích motorů používají systém nuceného nepřímého chlazení. Systémy chlazení různých monopostů se liší velikostí chladičů zejména z důvodu použití různých motorů a umístěním chladiče.

2.1 Příklady umístění chladiče různých týmů

Nejčastějším umístěním chladiče formule je prostor na straně vozu vedle kokpitu.

- **Chladič vlevo**

Na Obr. 12 je schematicky znázorněno umístění chladiče.



Obr. 12: Schématické znázornění chladiče na levé straně vozu

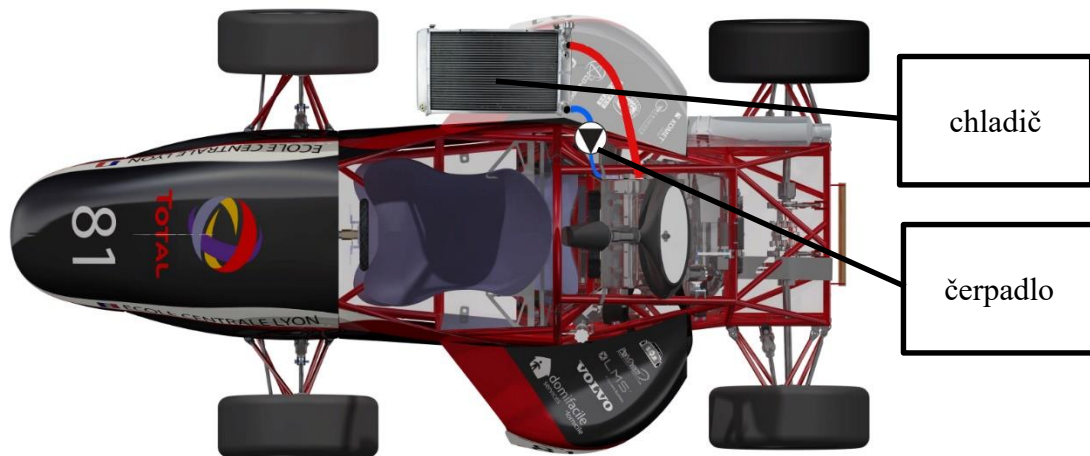
Na Obr. 13 níže je vidět formule týmu Delft pro sezónu 2017 s chladičem umístěným v levé boční kapse.



Obr. 13: Umístění chladiče v levé kapse [13]

- **Chladič vpravo**

Další možností je umístění chladiče na pravou stranu. Příkladem zde je tým South Dakota State University na Obr. 15.



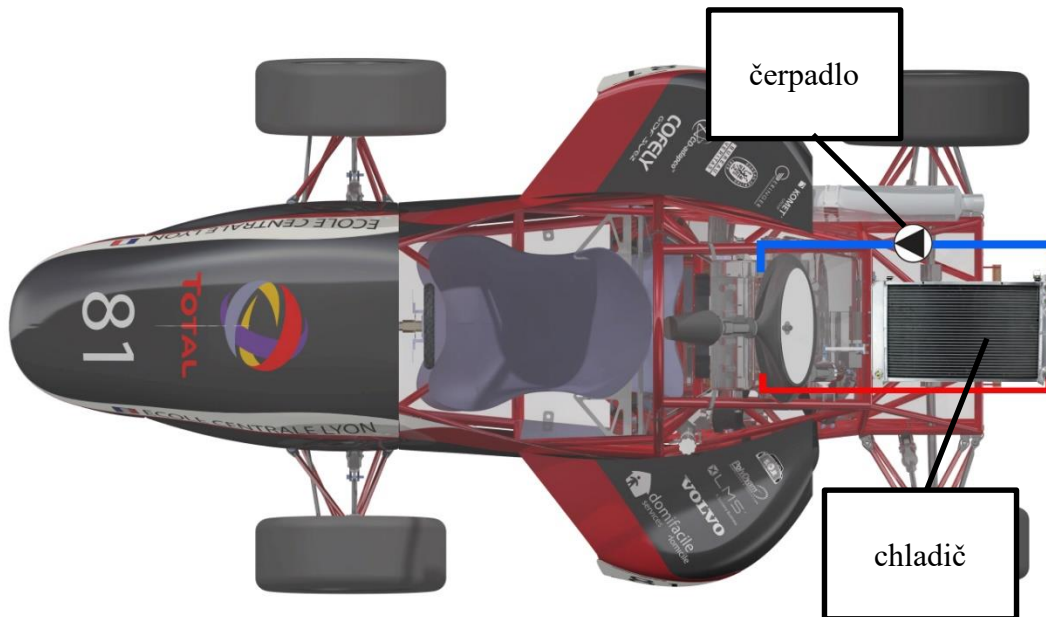
Obr. 14: Schématické umístění chladiče na pravé straně vozu



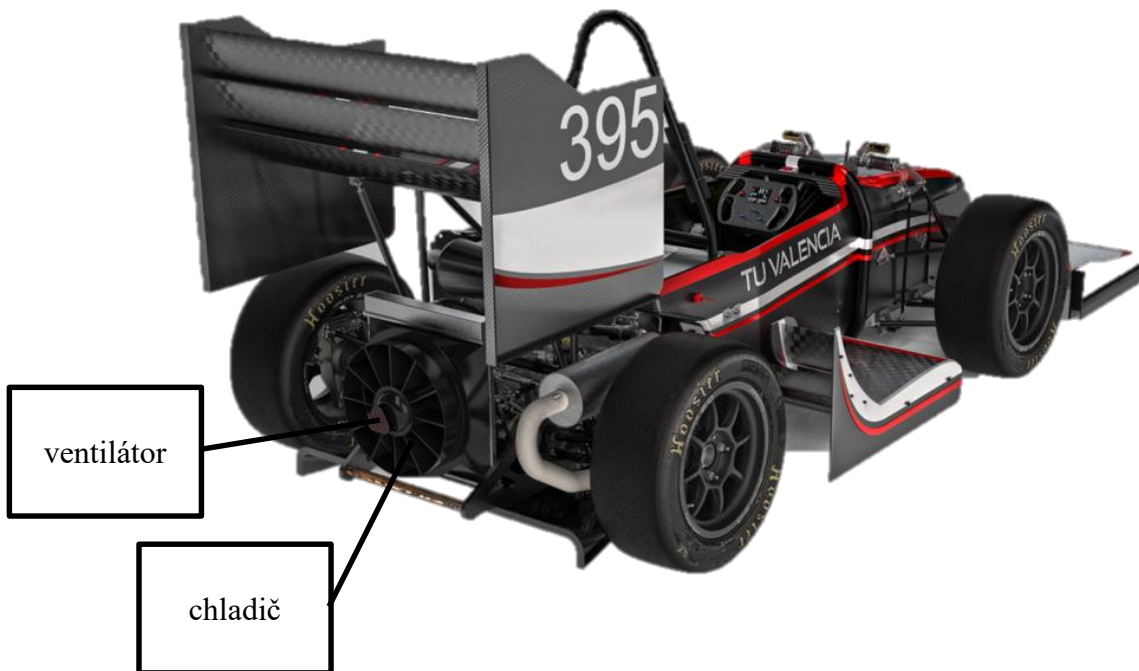
Obr. 15: Umístění chladiče vpravo od kokpitu [14]

- **Alternativní umístění chladiče**

Na dalším obrázku je monopost týmu TU Valencia, který má chladič umístěný vzadu za motorem.



Obr. 16: Schéma umístění chladiče vzadu za motorem



Obr. 17: Umístění chladiče za motorem [15]

Další možností je použití dvou chladičů namísto jednoho v zadním prostoru za motorem.



Obr. 18: Použití dvou chladičů umístěných na difuzoru [16]

Umístění chladiče v přední části vozidla týmu Illinois 2007.



Obr. 19: Umístění chladiče v nosu formule [17]

3 Stávající řešení

Na formuli UWB04 je použitý systém nepřímého chlazení, kde použitým chladicím médiem je voda. Chladicí systém na tomto voze je předimenzovaný, a proto dochází k podchlazování motoru. Toto tvrzení je rozvedeno v kapitole 5.2.

3.1 Pohonná jednotka

Vůz UWB04 je poháněn motorem Yamaha R6 modelový rok 2013. Jedná se o zážehový, čtyřtaktní, čtyřválcový motor o objemu 600 cm³. U vozu UWB04 je použitý systém nepřímého vstřikování paliva na sání v prostoru mezi airboxem a hlavou motoru. Motor je šestnáctiventilový, tj. 4 ventily na 1 válec. Výkon motoru vozu UWB04 je 103 hp, čili 76 kW. Tento motor je uzpůsoben pro nepřímé chlazení vodou.



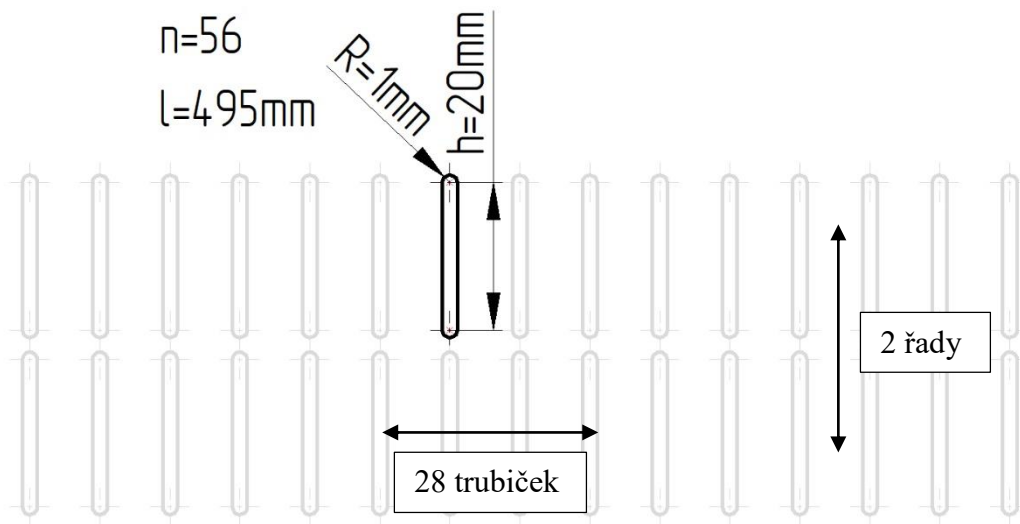
Obr. 20: Motor Yamaha R6 2013 [11]

3.2 Chladič

Na formuli UWB04 je jako chladič použitý tepelný výměník voda-vzduch. Chladič typu double pass flow je vyrobený z hliníku. Je složený ze dvou řad po 28 oválných trubičkách (viz Obr. 21) o rozměrech 22x2mm, dlouhých 495 mm, kterými protéká chladicí médium. Mezi trubičkami se nachází mřížka z tenkého hliníkového plechu pro zvýšení teplosměnné plochy. Vstup i výstup média z chladiče je umístěn na spodní straně, kdy médium proudí nejdříve jednou polovinou trubiček nahoru a poté druhou polovinou dolů do výstupu. Toto řešení je použito z důvodu úspory hmotnosti a prostoru, protože připojovat hadici k horní straně chladiče by bylo problematické. V Příloze 3 se nachází výkres chladiče vozu UWB04.

3.2.1 Výpočet teplosměnné plochy

Pro návrh chladiče bylo potřeba spočítat teplosměnnou plochu chladiče vozu UWB04.



Obr. 21: Trubička chladiče

$$S_{UWB04} = n * l * (2h + 2\pi R) \quad (3.1)$$

$$S_{UWB04} = 56 * 495 * (2 * 20 + 2 * \pi * 1) = 1\,282\,970 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.2)$$

Výpočtem (3.1 a 3.2) byl zjištěn povrch (teplosměnná plocha) všech trubek chladiče, kterými proudí chladicí médium.

3.3 Čerpadlo

Čerpadlo chladiče je na voze UWB04 poháněno elektromotorem kvůli zajištění stabilní cirkulace kapaliny i při nízkých otáčkách případně při dochlazování motoru po jeho vypnutí. Pro zjištění průtoku vody chladicím okruhem bylo provedeno měření průtoku, (viz kap. 3.7)



Obr. 22: Čerpadlo chladicí kapaliny vozu UWB04

3.4 Ventilátor

Na chladiči vozidla UWB04 jsou připevněny dva ventilátory VA07-AP12/C-31A (viz kap. 5.4) podporující proudění vzduchu chladičem. Oba jsou umístěny přímo na zadní straně chladiče, kde odsávají vzduch z chladiče. Tím, že jsou kruhového průřezu a jsou připevněny přímo na chladiči, však snižují plochu chladiče, ze které odsávají vzduch.



Obr. 23: Ventilátor VA07-AP12/C-31A



Obr. 24: Ventilátory na voze UWB04

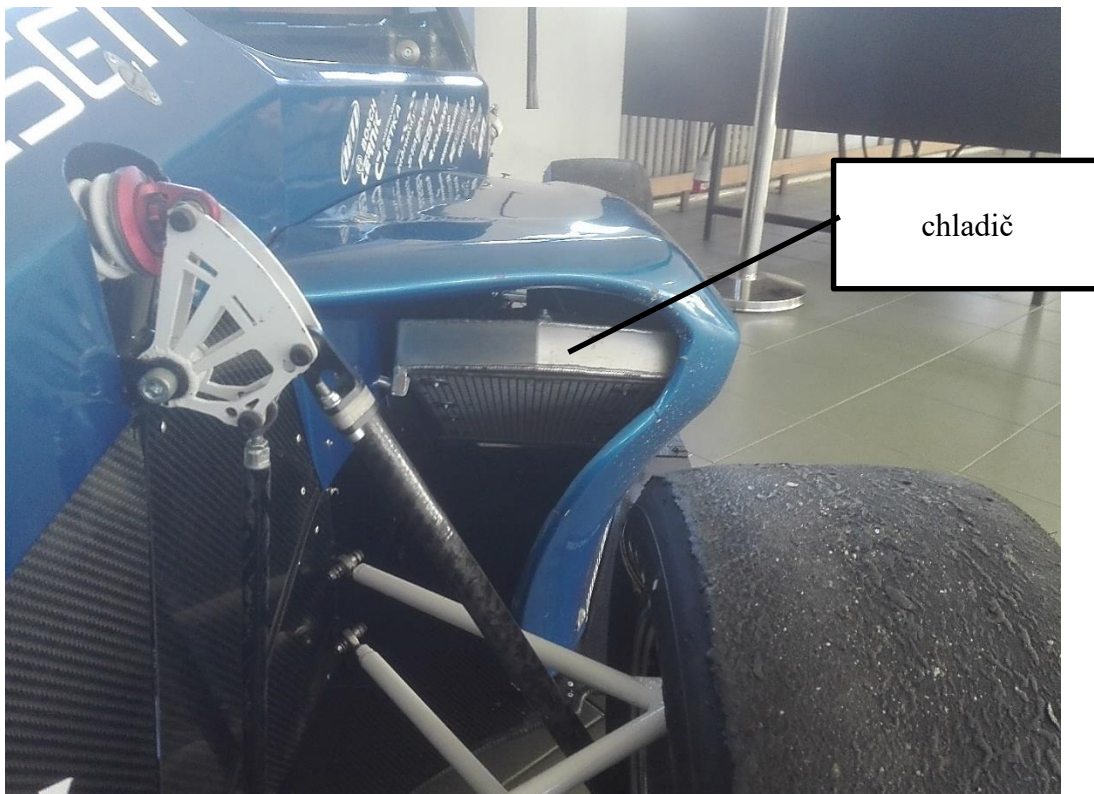
3.5 Zástavbový prostor chladiče

Chladič na voze UWB04 je umístěn v boční kapse (levé) vedle kokpitu. Chladič je skloněn pod úhlem 30° dopředu ve směru jízdy. Je uchycen přímo k rámu vozidla svojí boční hranou. Spodní hranou je umístěn souběžně s podlahou vozidla a boční hranou na stěně kokpitu.

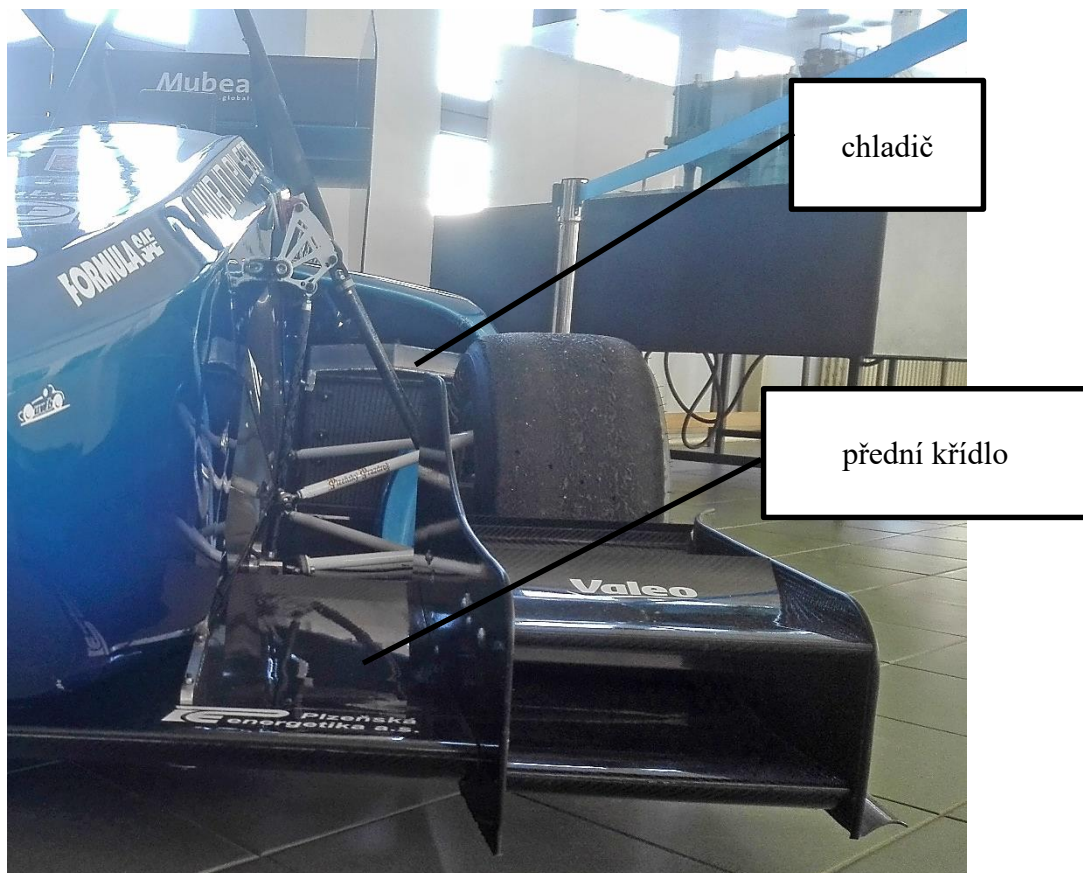


Obr. 25: Boční pohled na chladič vozu UWB04

Kapsa je oblého tvaru, proto nekopíruje obrys chladiče a mezi chladičem a vnitřní stěnou kapsy vzniká mezera na horní i boční straně chladiče. Tato mezera snižuje účinnost chladičeho systému, protože náporový vzduch má možnost proudit touto mezerou a tím je snižuje průtok vzduchu chladičem. Na předku vozidla je umístěno přední křídlo. Před vstupem do chladiče je však křídlo zredukováno jen na hlavní profil, aby zbytečně neodklánělo proud vzduchu směřující do chladiče.



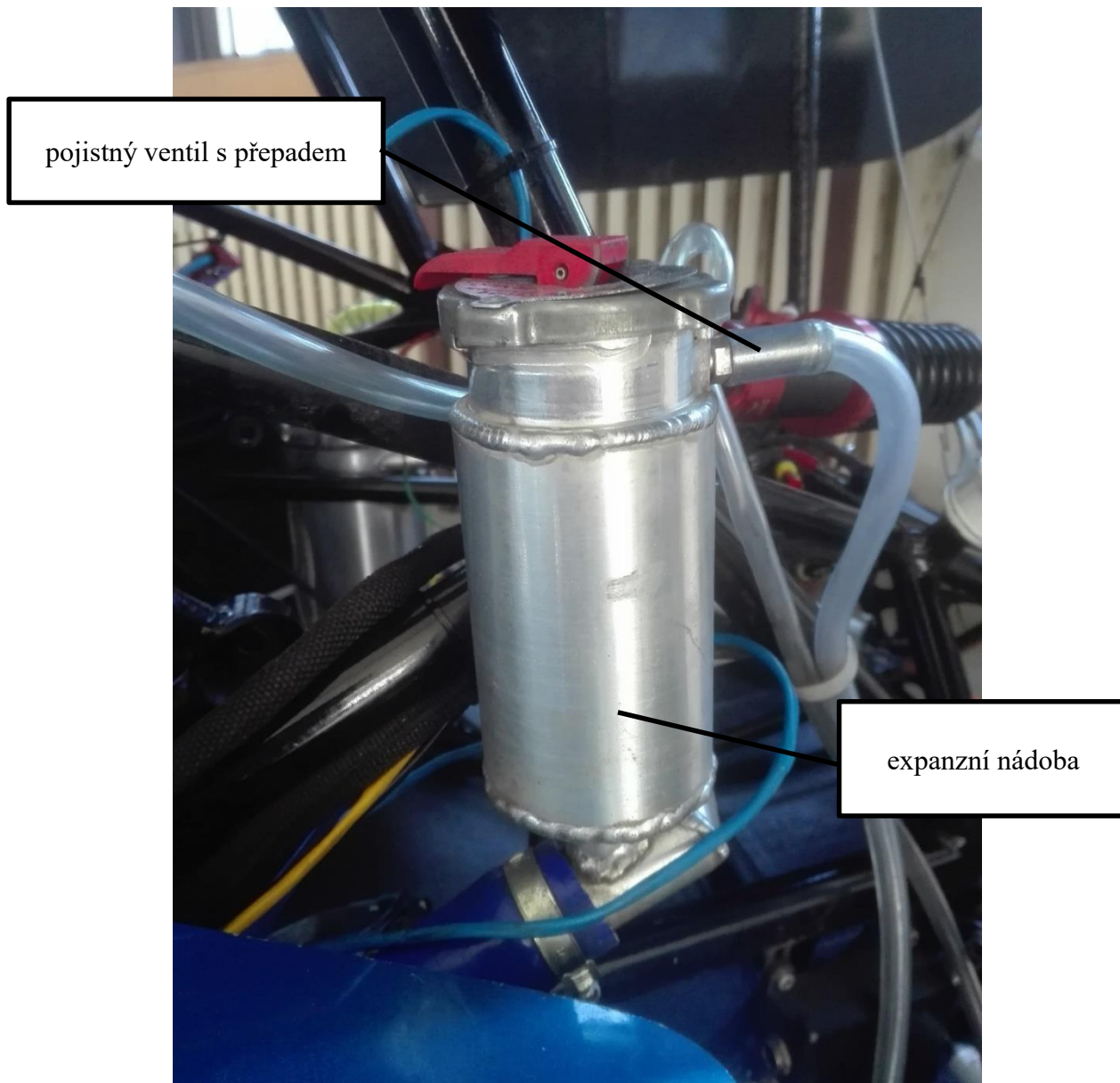
Obr. 26: Čelní pohled na chladič vozu UWB04 v kapse



Obr. 27: Přední pohled na zástavbový prostor s křídlem

3.6 Expanzní nádoba

Expanzní nádoba je připojena v místě, kde ohřáté médium vystupuje z bloku motoru a je vyrobena z hliníku. Na expanzní nádobě je také umístěn pojistný ventil, kterým uniká pára v případě přehřátí motoru a překročení maximálního tlaku v chladicím okruhu.



Obr. 28: Expanzní nádoba vozu UWB04

3.7 Měření průtoku

Pro zjištění chladicího výkonu chladiče je důležité znát skutečný průtok chladicího média chladičem, proto bylo provedeno měření průtoku. Měření průtoku chladicí kapaliny chladicím okruhem bylo provedeno průtokoměrem na vodu, který byl připojen do okruhu chlazení. Po zapnutí čerpadla chladicí kapalina začala cirkulovat okruhem, do kterého byl zapojen průtokoměr. Po ustálení proudění byla z vodoměru odečtena výchozí hodnota a po jedné minutě druhá hodnota. Odečtením obou hodnot byl získán objem, který protekl za 1 minutu. Viz výpočet (3.3). Vydělením šedesáti byl získán sekundový objemový průtok. Viz výpočet (3.4).

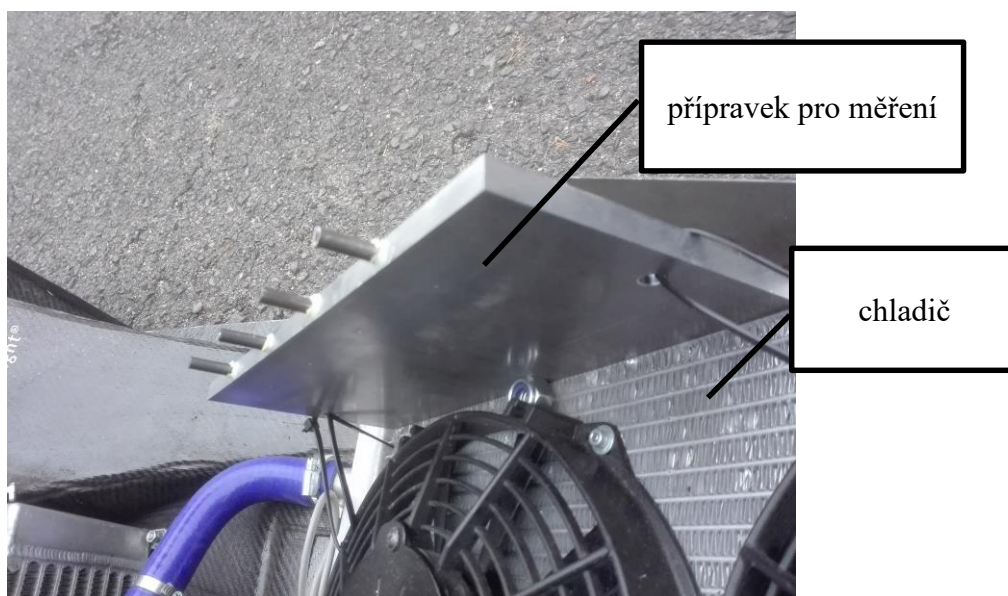
$$\dot{V} = 2135 - 1988 = 47 \left[\frac{l}{min} \right] \quad (3.3)$$

$$\dot{V} = \frac{47}{60} = 0,783 \left[\frac{l}{s} \right] \quad (3.4)$$

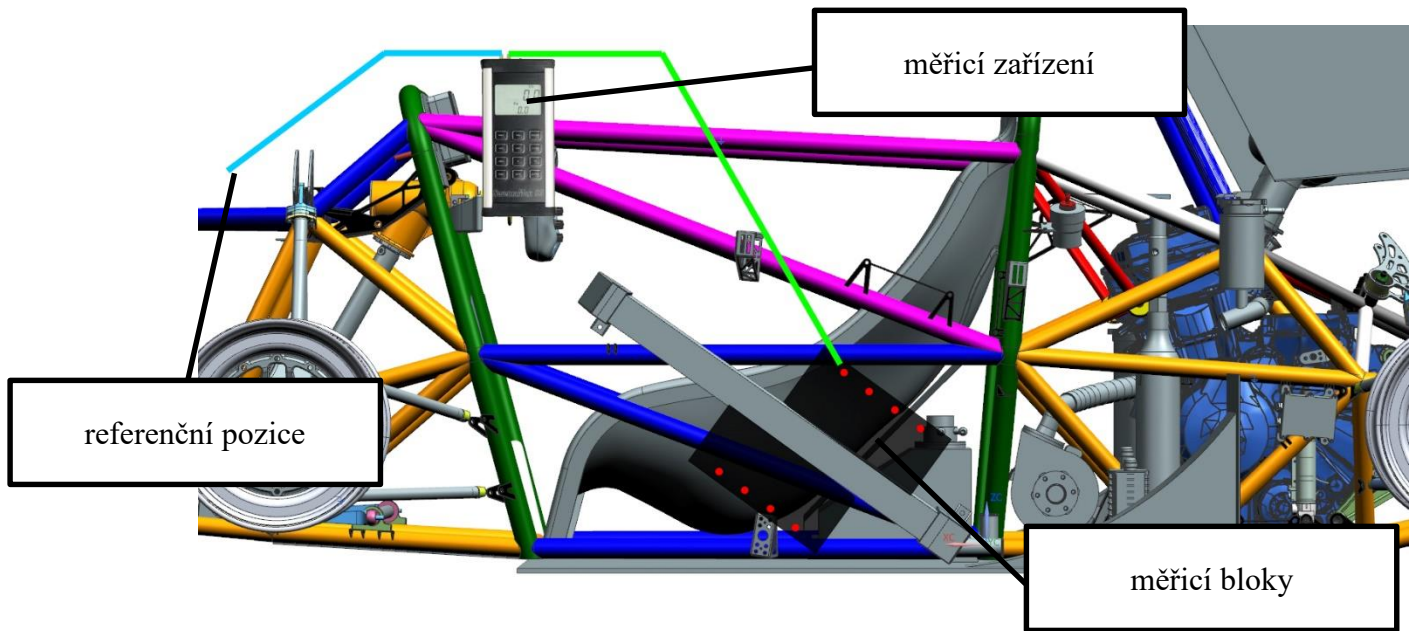
3.8 Měření tlakové ztráty vzduchu při průchodu chladičem

Pro návrh ventilátorů chladiče je důležité znát tlakový spád vzduchu při průchodu mřížkou chladiče. Nejlepším způsobem zjištění této hodnoty byl shledán praktický experiment. Experiment byl proveden na letištní ploše Lhota u Plzně. Experiment byl proveden měřicím přístrojem TECTRA SwemaMan 80. Tento měřicí přístroj funguje na principu měření diference tlaku na měřeném a referenčním místě. Při experimentu byly ucpány mezery mezi chladičem a kapsou formule pro znemožnění obtékání vzduchu okolo chladiče. Pro experiment bylo vybráno 8 odběrových pozic tlaku, 4 na vstupu vzduchu a 4 na výstupu vzduchu z chladiče (viz Obr. 30). Referenční pozice byla umístěna do kokpitu, kde je minimální proudění vzduchu kvůli přesnosti měření. Pro měření byly vyrobeny dva přípravky s odběrovými pozicemi. Pro odběr tlaku tímto přístrojem je odběrovým místem díra o průměru 0,5 až 1 mm, která je k měřicímu přístroji připojena hadičkou 6x4mm. V našem případě byl tlak odebíráán dírou 0,5 mm (viz. Výkres – Příloha 2).

Experiment byl prováděn při rychlosti, pro kterou je vůz dimenzován, tj. 80 km/h. Při experimentu byl měřen tlak postupně na všech osmi odběrových pozicích vždy v jednom směru jízdy a následně v opačném směru za konstantní rychlosti. Při experimentu byly odpojeny oba ventilátory.



Obr. 29: Přípravek pro měření tlaku připevněný na chladiči UWB04



Obr. 30: Schéma zapojení měření

Při experimentu byly naměřeny tyto hodnoty:

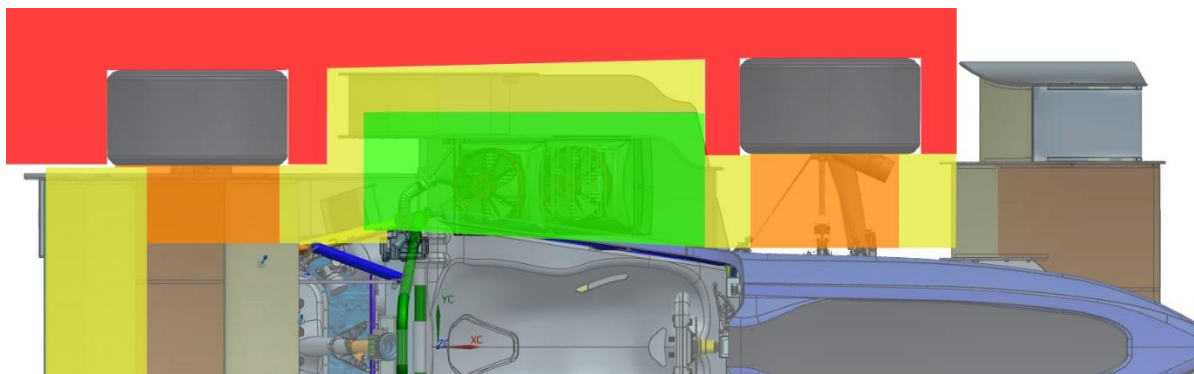
| Odběrové místo | Relativní tlak během první jízdy [Pa] | Relativní tlak během druhé jízdy [Pa] |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Pozice 1 | 119 | 130 |
| Pozice 2 | 117 | 136 |
| Pozice 3 | 113 | 123 |
| Pozice 4 | 122 | 132 |
| Průměrná hodnota | 124 | |
| Pozice 5 | 14 | 18 |
| Pozice 6 | 16 | 15 |
| Pozice 7 | 14 | 16 |
| Pozice 8 | 8 | 10 |
| Průměrná hodnota | 13,8 | |
| Tlakový spád | $124 - 13,8 = 110,2$ | |

Tabulka 1: Tlak v jednotlivých odběrových bodech

4 Specifikace požadavku

Cíle pro návrh chladiče pro závodní sezónu 2018 jsou:

- Snížení chladicího výkonu, aby nedocházelo k podchlazování motoru (viz kap.5).
- Zvýšení účinnosti ventilátorů za použití sacích náfuků před ventilátorem.
- Zvýšení účinnosti chlazení zlepšením zástavbového prostoru chladiče.
- Snížení hmotnosti chladicího systému.
- Nízké náklady na výrobu
- Použití ventilátorů s nižší hmotností a nižším příkonem.
- Dle pravidel formula student (pravidlo T8.1) jako chladicí médium smí být použita pouze voda. Jakékoliv jiné kapaliny nebo příměsi jsou přísně zakázány.[2]
- Na Obr. 31 jsou zobrazeny zóny, ve kterých může být chladič umístěn. Červená – zde chladič nesmí být umístěn z důvodu dodržení pravidel, oranžová – zde nemůže být chladič umístěn kvůli jiným částem vozidla, např. zavěšení, žlutá – v tomto prostoru může chladič být umístěn, je to ovšem nevhodné, zelená – vhodný prostor pro umístění chladiče.



Obr. 31: Zóny možnosti umístění chladiče

5 Návrh nového řešení

5.1 Pohonná jednotka

Pohonná jednotka vozu UWB05 zůstává stejná jako na voze UWB04 (viz kap. 3.1)

5.2 Chladič

Tato kapitola se zabývá návrhem chladiče vozu UWB05.

5.2.1 Metodika obecného postupu výpočtu

Při běžném výpočtu potřebné velikosti chladiče se nejprve určí přebytečné teplo, které je potřeba odvádět z motoru [8][9]. Tato hodnota se určuje na základě maximálního výkonu motoru a součinitele odváděného tepla chlazením (u benzinových motorů 0,8 až 1,4). V dalším kroku je na základě hmotnostního průtoku vody a odváděného tepla vypočten potřebný teplotní spád vody v chladiči. Poté je určen potřebný hmotnostní průtok vzduchu a na základě návrhové rychlosti proudění vzduchu mřížkou chladiče je vypočtena čelní plocha chladiče.

5.2.2 Návrh chladiče UWB05

Bylo rozhodnuto, že pro vůz UWB05 bude použita stejná chladičí mřížka jako na voze UWB04 kvůli vyhovujícím parametrům. Na voze UWB04 bylo změřeno, že za normálních podmínek prostředí, při plné zátěži motoru je teplota vody vstupující do chladiče 82 °C. Výstupní teplota je 75 °C. Pro použitý motor jsou ovšem ideální teploty o 10 °C vyšší (čili 85 °C na vstupu do motoru a 90-92 °C na výstupu z motoru). Teplo odváděné z motoru zůstává stejné, tudíž zůstává stejné i teplo, které je třeba odvádět chladičem. Na základě těchto údajů a velikosti teplosměnné plochy chladiče vozu UWB04 byl proveden výpočet teplosměnné plochy chladiče pro vůz UWB05.

$$\dot{Q}_{UWB04} = S_{UWB04} * \alpha * (t_{mUWB04} - t_{vzduch}) \quad (5.1)$$

$$\dot{Q}_{UWB05} = S_{UWB05} * \alpha * (t_{mUWB05} - t_{vzduch}) \quad (5.2)$$

$$\dot{Q}_{UWB04} = \dot{Q}_{UWB05} \quad (5.3)$$

Teplo odváděné chladičem UWB04 je vypočteno v rovnicích (5.4) a (5.5), vychází z teplotního rozdílu na vstupu do chladiče, výstupu z chladiče a hmotnostním průtokem vody.

$$\dot{Q}_{UWB04} = \dot{V} * \rho_{H2O80^{\circ}C} * \Delta t * c_{H2O} \quad (5.4)$$

$$\dot{Q}_{UWB04} = 0,783 * 0,972 * 7 * 4180 = 22,26 \text{ [kW]} \quad (5.5)$$

Rovnice 5.1 a 5.2 jsou závislosti tepelných výkonů chladičů UWB04 a UWB05 na teplosměnné ploše, součiniteli přestupu tepla a teplotním spádu. Rovnice 5.3 a 5.6 uvádí předchozí dvě hodnoty do rovnosti.

$$S_{UWB04} * \alpha * (t_{mUWB04} - t_{vzduch}) = S_{UWB05} * \alpha * (t_{mUWB05} - t_{vzduch}) \quad (5.6)$$

V rovnici 5.7 je odvozena teplosměnná plocha chladiče UWB05, která je následně vypočtena v rovnici 5.8.

$$S_{UWB05} = S_{UWB04} * \frac{t_{mUWB04} - t_{vzduch}}{t_{mUWB05} - t_{vzduch}} \quad (5.7)$$

$$S_{UWB05} = 1\,282\,970 * \frac{78,5 - 35}{88,5 - 35} = 1\,043\,162 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (5.8)$$

S ohledem na konstrukci rámu byla zvolena výška chladiče 495 mm. Na základě tohoto rozhodnutí byl vypočten počet trubiček.

$$n * l * (2h + 2\pi R) = S_{UWB05} \quad (5.9)$$

$$n = \frac{S_{UWB05}}{l * (2h + 2\pi R)} \quad (5.10)$$

$$n = \frac{1\,043\,162}{495 * (2 * 20 + 2 * \pi * 1)} = 45,5 \quad (5.11)$$

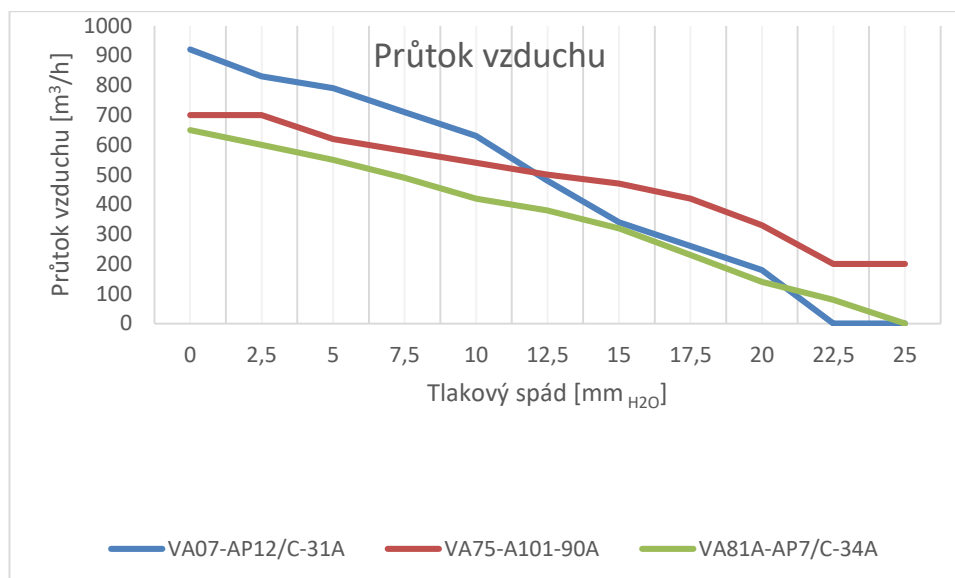
Dle výpočtu v rovnici 5.11 je požadovaný počet trubiček 45,5, po zaokrouhlení 46. Navržený chladič tedy má 2 řady po 23 trubičkách. V příloze 4 se nachází výkres navrženého chladiče.

5.3 Čerpadlo

Na voze UWB05 bylo ponecháno stejné čerpadlo jako na voze UWB04, protože splňovalo všechny požadavky a nebyl tudíž důvod ho měnit.

5.4 Ventilátory

Při návrhu ventilátorů se vycházelo z hodnot naměřených experimentem tlakové ztráty. Každý ventilátor má svoji specifickou charakteristiku průtoku vzduchu, kdy při daném tlakovém spádu zajišťuje určitý průtok vzduchu. Tyto charakteristiky jsou vidět v grafu 1. Z experimentu vyplývá, že při návrhové rychlosti je tlakový spád vzduchu na mřížce chladiče 110 [Pa]. Z důvodu obdélníkového tvaru chladiče budou použity 2 ventilátory. Pro návrh byly vybrány 3 varianty ventilátorů značky SPAL. Ventilátor VA07-AP12/C-31A (použitý na voze UWB04), dále pak VA75-A101-90A a VA81A-AP7/C-34A.



Graf 1: Závislost průtoku vzduchu na tlakovém spádu

V technických listech jednotlivých ventilátorů se nenachází hodnota průtoku přímo pro námi požadovaný tlakový spád 110 [Pa] (11 [mm_{H₂O}]). Tyto hodnoty byly doloženy za použití linearizace z jednotlivých charakteristik.

VA07-AP12/C-31A

Průtok ventilátoru použitého na voze UWB04:

$$\dot{V}_{11\text{mmH}_2\text{O}} = 630 - \frac{630 - 480}{2,5} = 570 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (5.12)$$

VA75-A101-90A

Průtok tohoto ventilátoru:

$$\dot{V}_{11\text{mmH}_2\text{O}} = 540 - \frac{540 - 500}{2,5} = 524 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (5.13)$$

VA81A-AP7/C-34A

Průtok nejmenšího z porovnávaných ventilátorů:

$$\dot{V}_{11\text{mmH}_2\text{O}} = 420 - \frac{420 - 380}{2,5} = 404 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (5.14)$$

| Typ | Průtok [m ³ /h] | Průměr [mm] | Hmotnost [kg] | Proud [A] |
|-----------------|----------------------------|-------------|---------------|-----------|
| VA07-AP12/C-31A | 570 | 225 | 1,00 | 6,8 |
| VA75-A101-90A | 524 | 182 | 0,45 | 4,7 |
| VA81A-AP7/C-34A | 404 | 190 | 1,04 | 4,7 |

Tabulka 2: Parametry porovnávaných ventilátorů

Po zhodnocení všech hodnot viditelných v Tabulce 2 byl vybrán typ VA75-A101-90A.

5.5 Expanzní nádoba

Pro vůz UWB05 bylo také potřeba navrhnout novou expanzní nádobu. Objem expanzní nádoby je vypočten z objemového rozdílu chladného média v okruhu při běžné teplotě (20 °C) a při teplotě varu (100 °C) (viz rovnice 5.15).

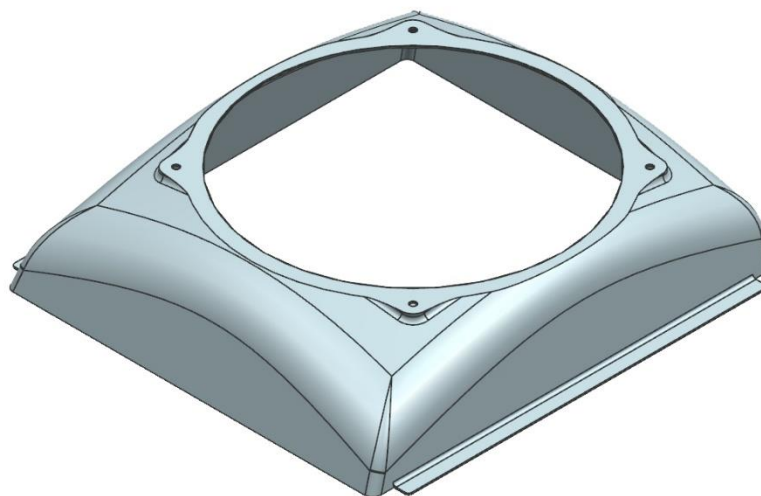
Hodnoty:

| | |
|---------------------------------------|---|
| $V = 2,3$ [l] | předpokládaný objem média v chladicím okruhu |
| $\rho_1 = 998,2$ [kg/m ³] | hustota vody při 20°C |
| $\rho_2 = 958,4$ [kg/m ³] | hustota vody při 100°C |
| $\Delta V = ?$ | objemový rozdíl chladného a teplého média [5] |

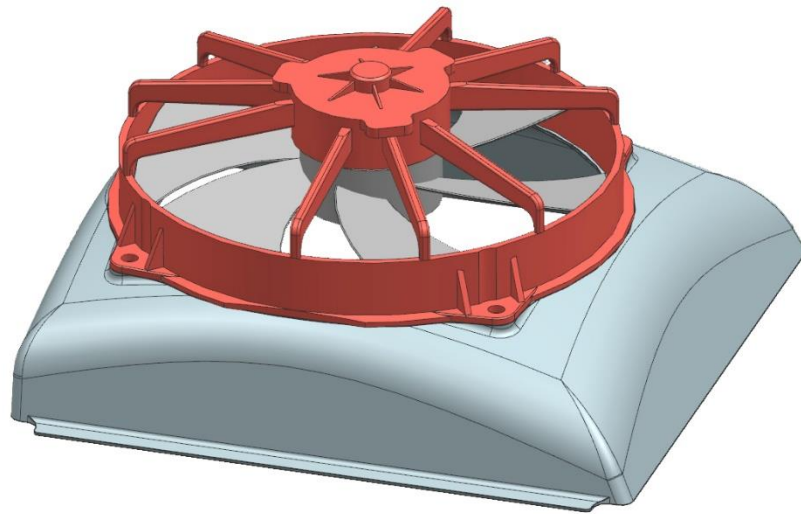
$$\Delta V = V * \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right) = 2,6 * \left(\frac{998,2}{958,4} - 1 \right) = 0,096$$
 [l] (5.15)

5.6 Sací náfuky

Pro zlepšení průtoku vzduchu mřížkou chladiče a pro zvýšení plochy, ze které ventilátory aktivně odsávají vzduch, jsou na voze UWB05 použity sací náfuky. Oba náfuky jsou stejné tvarově i velikostí a jsou vyrobeny z uhlíkových vláken. Jejich výška (vzdálenost ventilátoru od chladiče) je 51 mm. Kdyby nebylo použito těchto náfuků, ventilátory by aktivně odsávaly vzduch pouze z plochy dvou kruhů (průměry ventilátorů) což je přibližně jen 78 % plochy chladiče. Na Obr. 32 a Obr. 33 je vidět model samotného sacího náfuku a v sestavě s ventilátorem. Sestava sacích náfuků na chladiči je vidět na obrázcích v kapitole 5.7



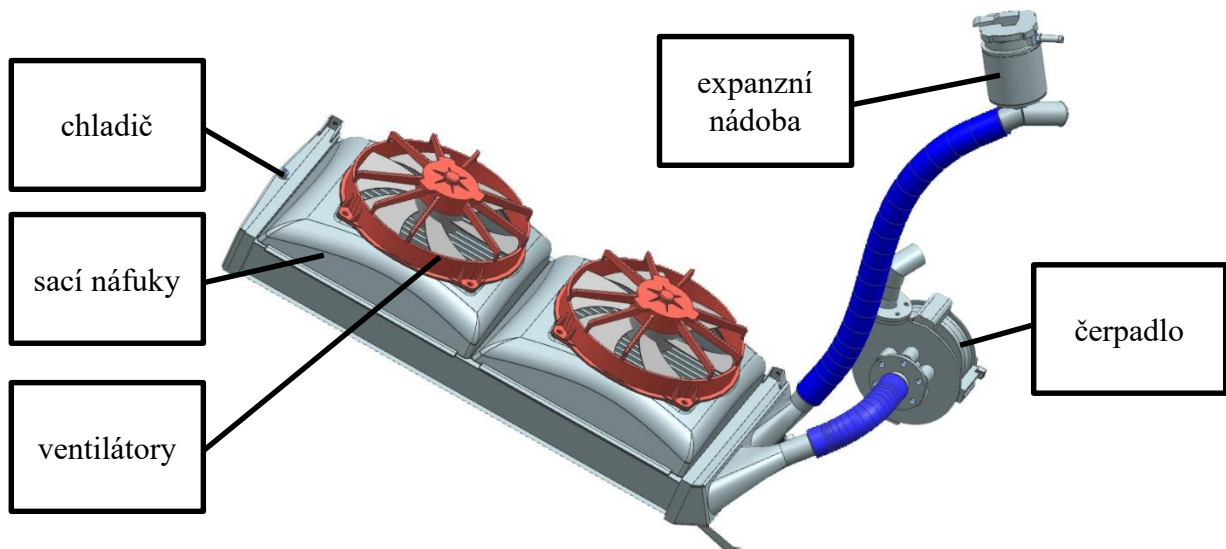
Obr. 32: Model sacího náfuku UWB05



Obr. 33: Model sacího náfuku UWB05 s ventilátorem

5.7 Chladicí systém

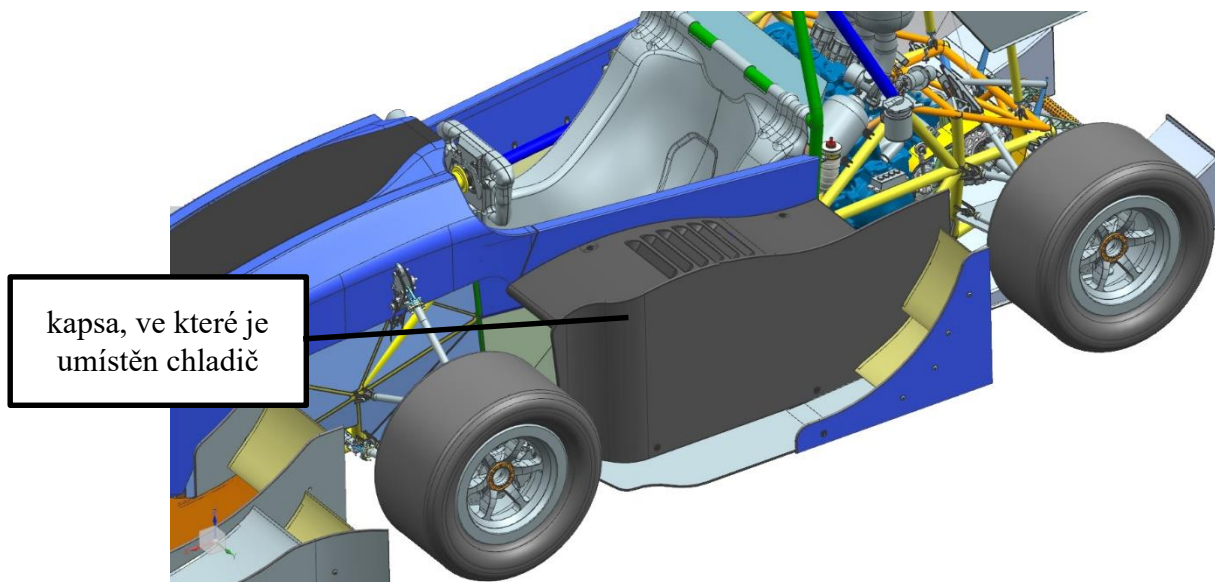
Na obr. 34 je znázorněn model chladicího systému.



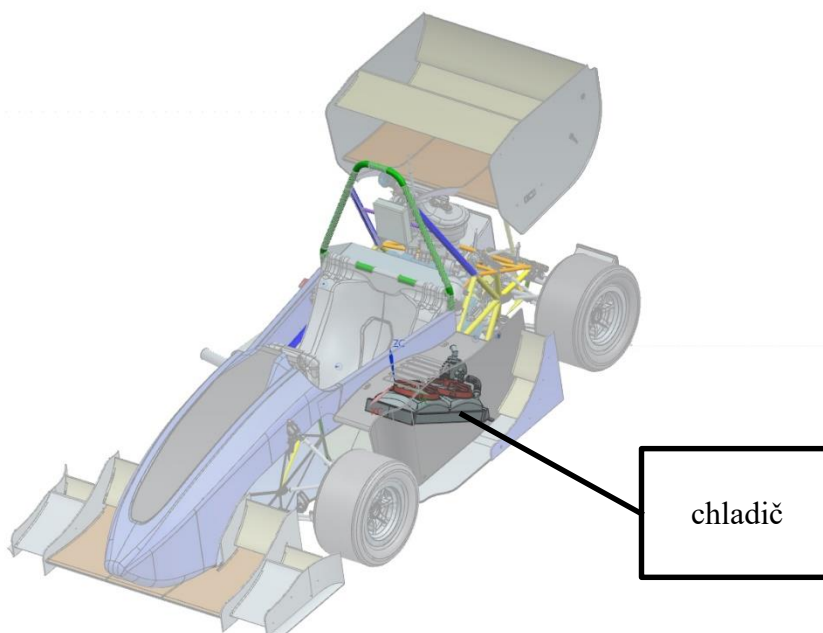
Obr. 34: Chladicí systém

5.8 Zástavbový prostor chladiče

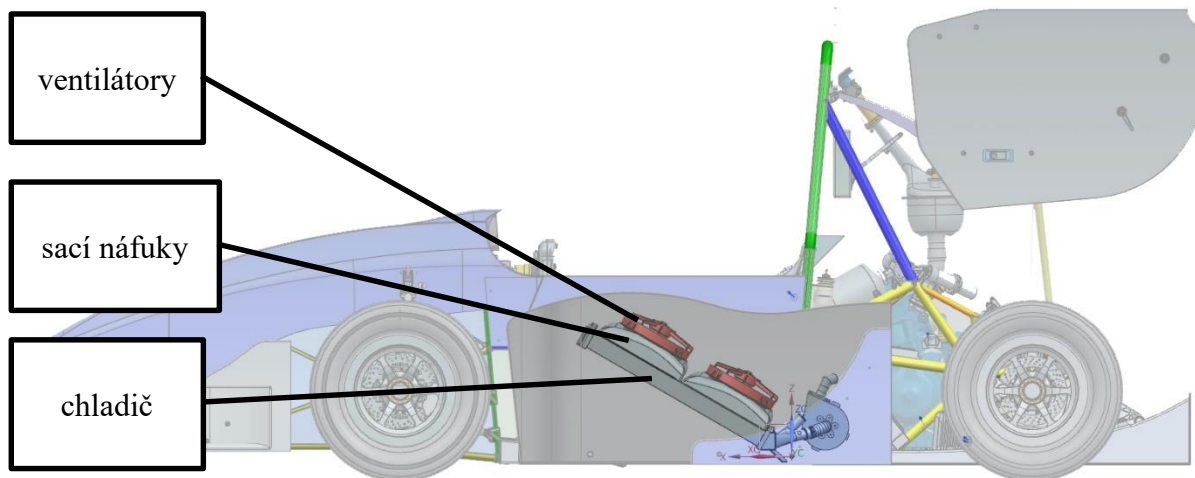
Chladič vozu UWB05 je opět umístěn v levé boční kapse vedle kokpitu pod úhlem 30° ve směru jízdy. Pravou stranou lemuje obálku kokpitu, spodní stranou dosedá na podlahu vozu a z pravé a horní strany je obklopen kapsou vozu. Kapsa je navržena tak, že mezi stěnou a chladičem nevzniká mezera, kterou by mohl výrazně proudit vzduch. Vzduch, který projde chladičem, odchází buď zadní stranou, kde je kapsa otevřená, nebo prolisy s dírami na její horní straně.



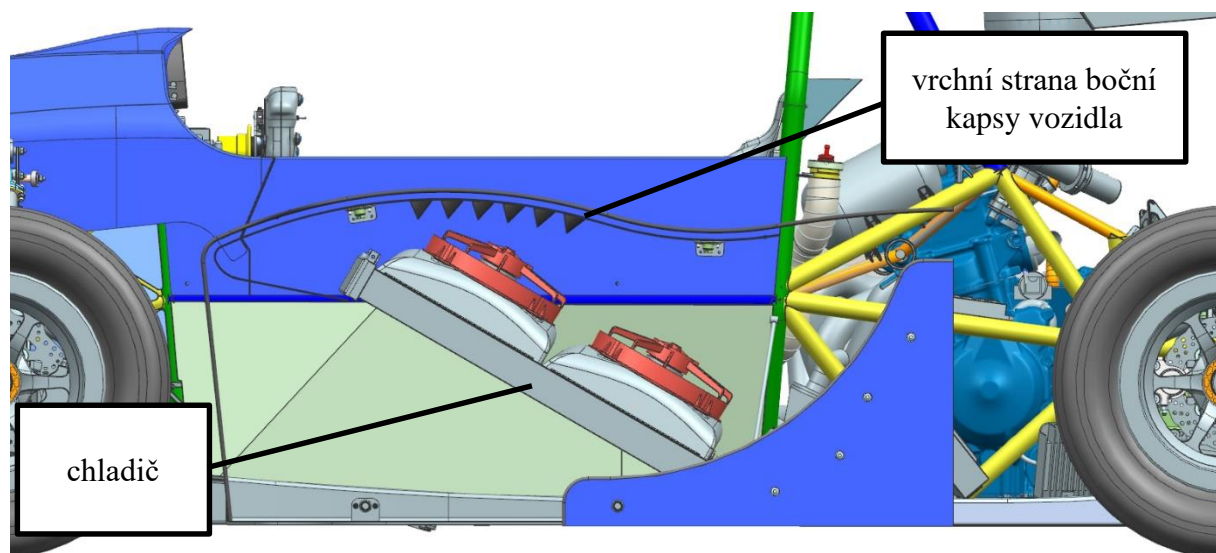
Obr. 35: Zástavbový prostor chladiče



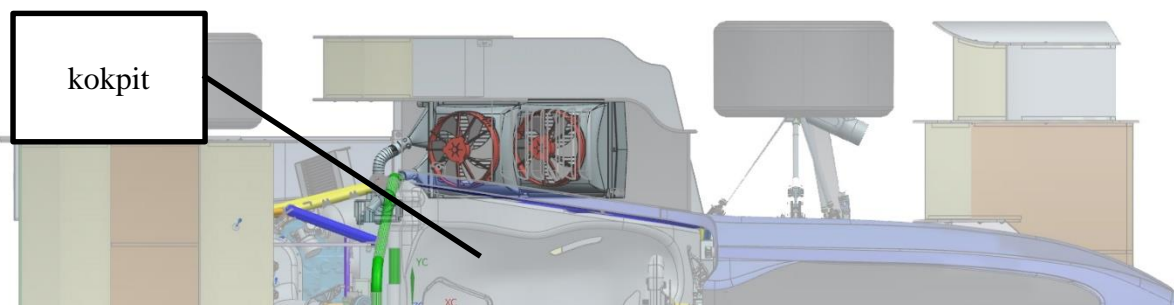
Obr. 36: Umístění chladiče v zástavbovém prostoru formule



Obr. 37: Umístění chladiče v zástavbovém prostoru - boční pohled



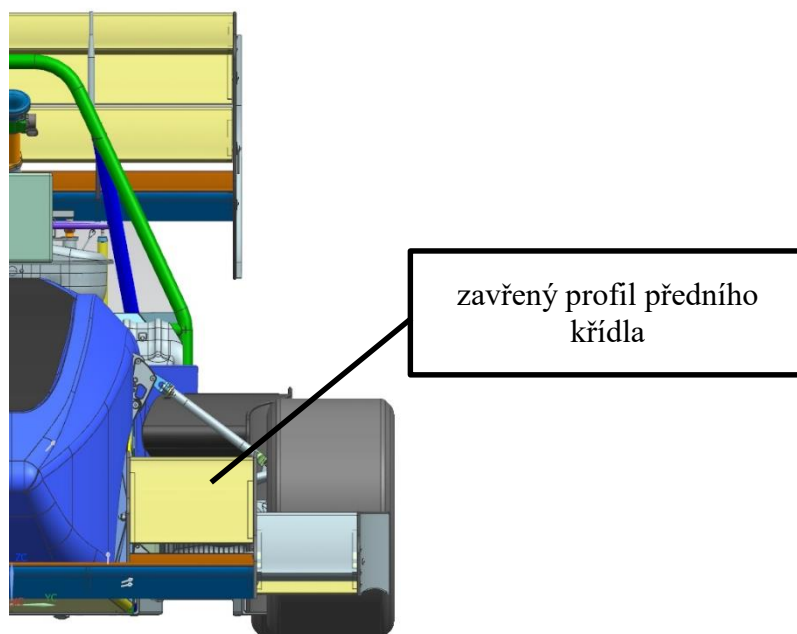
Obr. 38: Umístění chladiče v zástavbovém prostoru - boční pohled



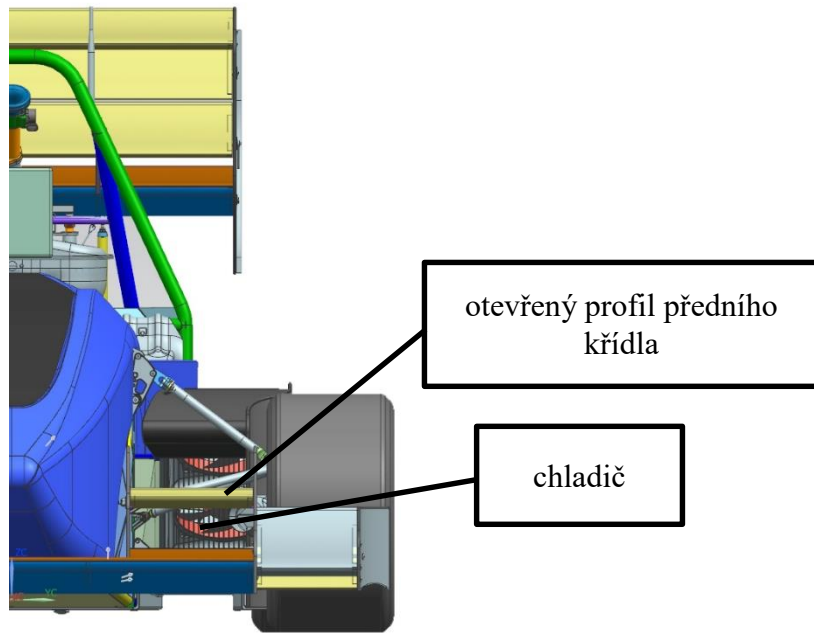
Obr. 39: Umístění chladiče - půdorys

5.8.1 Systém sklopného předního křídla

Na voze UWB05 došlo oproti vozu UWB04 k rozšíření předního křídla i před kapsu s chladičem. K této úpravě došlo kvůli nízkému aerodynamickému přítlaku na přední nápravě. Protože ale byly přidány profily před nasávací prostor chladiče, hrozilo riziko nedostatečného přísunu vzduchu do chladiče a snížení jeho účinnosti. Z tohoto důvodu byly tyto profily navrženy tak, aby bylo možné je sklopit a tím zajistit dostatečný přísun vzduchu do chladiče. Tento systém je ovládán servomotorem v každém profilu (levém i pravém) a řídicí jednotkou. Řídicí jednotka je nastavena tak, že otevře profily v případě, že vůz je rovně s plným plynem a opět je zavře v případě, že vůz začne zatáčet nebo brzdit. Na obrázcích níže je vidět srovnání předních pohledů s otevřeným a zavřeným sklopným profilem předního křídla. Tento systém je navržen tak, aby bylo možné jej jednoduše optimalizovat během testování.



Obr. 40: Přední pohled na vozidlo se zavřeným profilem předního křídla



Obr. 41: Přední pohled na vozidlo s otevřeným profilem předního křídla

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout chladicí systém pro vůz UWB05 pro sezónu 2018. V úvodu řešené problematiky je popsána funkce chladicích systému a jejich komponent.

Obsahem druhé kapitoly je rešerše používaných systémů. V této kapitole jsou představena provedení systémů chlazení používaná ostatními týmy.

Ve třetí kapitole je detailní popis stávajícího řešení na voze UWB04 a komponent v něm použitých. Dále jsou v této kapitole popsána provedená měření (tj. průtoku a tlakového spádu).

Čtvrtá kapitola popisuje požadavky pro návrh nového řešení. V této kapitole se také nachází cíle nového návrhu.

V páté kapitole se nachází návrh řešení všech komponent systému chlazení pro vůz UWB05. V tomto návrhu došlo ke snížení hmotnosti chladicího systému díky použití menšího chladiče, čímž se zmenšil i objem vody v chladicím systému. Taktéž byly použity ventilátory s méně než poloviční hmotností než na voze UWB04. Systém byl navržen tak aby jeho výroba byla jednoduchá a levná. Díky zmenšení chladiče by již nemělo docházet k podchlazování motoru během jízdy. V návrhu se počítá s použitím sacích náfuků ventilátorů pro zvýšení účinnosti nuceného chlazení. Byl vylepšen zástavbový prostor chladiče, aby nedocházelo k obtékání chladiče, navíc byl navržen systém sklopného profilu na předním křídle pro jednoduchou optimalizaci během testování vozu.

V současné době probíhá výroba vozu UWB05 s chladicím systémem dle návrhu v této bakalářské práci. Proto tento systém nemohl být zatím otestován. Testování proběhne po dokončení stavby vozu, aby bylo možné ověřit navržený systém.

Použitá literatura

[1] MAREK, Vlastimil. Něco v síti: fejetony, které vycházely od roku 1997 na internetu na adrese <http://svet.namodro.cz>. Praha: Dharma Gaia, 1999. ISBN 80-86013-57-X. ISSN <http://www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/ramik/files/spalovaci%20motory%202005.pdf>

[2] Copyright © [cit. 12.05.2018]. Dostupné z: <https://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf>

[3] ECS Tuning [online]. Dostupné z: <https://www.ecstuning.com/b-genuine-bmw-parts/engine-radiator-manual/17117558480/>

[4] Single Pass, Double Pass, Triple Pass radiators; what's the difference?. Free Shipping @ Speedway Motors, The Racing and Rodding Specialists [online]. Copyright © 2018 Speedway Motors, Inc. All Rights Reserved [cit. 14.05.2018]. Dostupné z: <https://www.speedwaymotors.com/the-toolbox/single-pass-double-pass-triple-pass-radiators-what-s-the-difference/28862>

[5] Water - Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficient. Engineering ToolBox [online]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d_595.html

[6] Technical - Coolant moving too fast through radiator to cool? | Page 2 | The H.A.M.B.. The Jalopy Journal | Preaching the gospel of traditional hot rods and kustoms to hoodlums worldwide... The Jalopy Journal [online]. Copyright © 1995 [cit. 14.05.2018]. Dostupné z: <https://www.jalopyjournal.com/forum/threads/coolant-moving-too-fast-through-radiator-to-cool.1034655/page-2>

[7] Radiators [online]. Dostupné z: <http://www.speedwaymotors.com/the-toolbox/single-pass-double-pass-triple-pass-radiators-what-s-the-difference/28862>

[8] Modernizace studijního oboru Silniční a městská automobilová doprava [online]. Copyright © [cit. 12.05.2018]. Dostupné z: http://oppa-smad.tf.czu.cz/?q=system/files/10.cv_.ppt

[9] Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright ©. [cit. 12.05.2018]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66391

[10] Supercharger coolant pump - Jaguar-Shop.com. Jaguar-Shop.com - Original Ersatzteile zu unschlagbaren Preisen! [online]. Dostupné z: <https://www.jaguar-shop.com/Supercharger-coolant-pump>

[11] Ventilátor chladiče na Arctic Cat 400/700/1000 | Náhradní díly | Chladiče | TOMICO centrum čtyřkolek | . | TOMICO centrum čtyřkolek |[online]. Copyright © 2007 [cit. 12.05.2018]. Dostupné z:

<http://www.vyberctyrkolku.cz/cz/eshop/k/nahradni-dily/chladice/ventilator-chladice-na-arctic-cat-400-700-1000/3274/>

[12] Yamaha R6 [online]. Copyright © [cit. 14.05.2018]. Dostupné z:
<http://www.angelfire.com/ia/z/images/R6partengine11.jpg>

[13] Eurocircuits – Online PCB Prototype and small series specialist [online]. Dostupné z:
<https://www.eurocircuits.com/wp-content/uploads/FSTD1-705x469.jpg>

[14] [online]. Copyright © [cit. 12.05.2018]. Dostupné z:
<https://static.carthrottle.com/workspace/uploads/posts/2015/06/whr15-5579eccac5629.jpg>

[15] Google [online]. Dostupné z:
https://www.google.cz/imgres?imgurl=https://fsupv2017.webs.upv.es/wp-content/uploads/2017/11/FSUPV-04-LastVersionB.11hjq-1024x724.png&imgrefurl=https://fsupv2017.webs.upv.es/index.php/fsupv-04/&h=724&w=1024&tbnid=4sy6ISCoZW0cKM&tbnh=189&tbnw=267&usg=__eoPuK-7vRwLcCmbnPK2zXUm6jRw=&hl=cs&docid=8istXPIr7XTBKM

[16] eRacing Magazine - WEC & Formula E News [online]. Copyright © 2018 eRacing Magazine [cit. 12.05.2018]. Dostupné z:
<http://www.e-racingmag.com/single-post/2016/08/16/How-good-are-Formula-Student-cars>

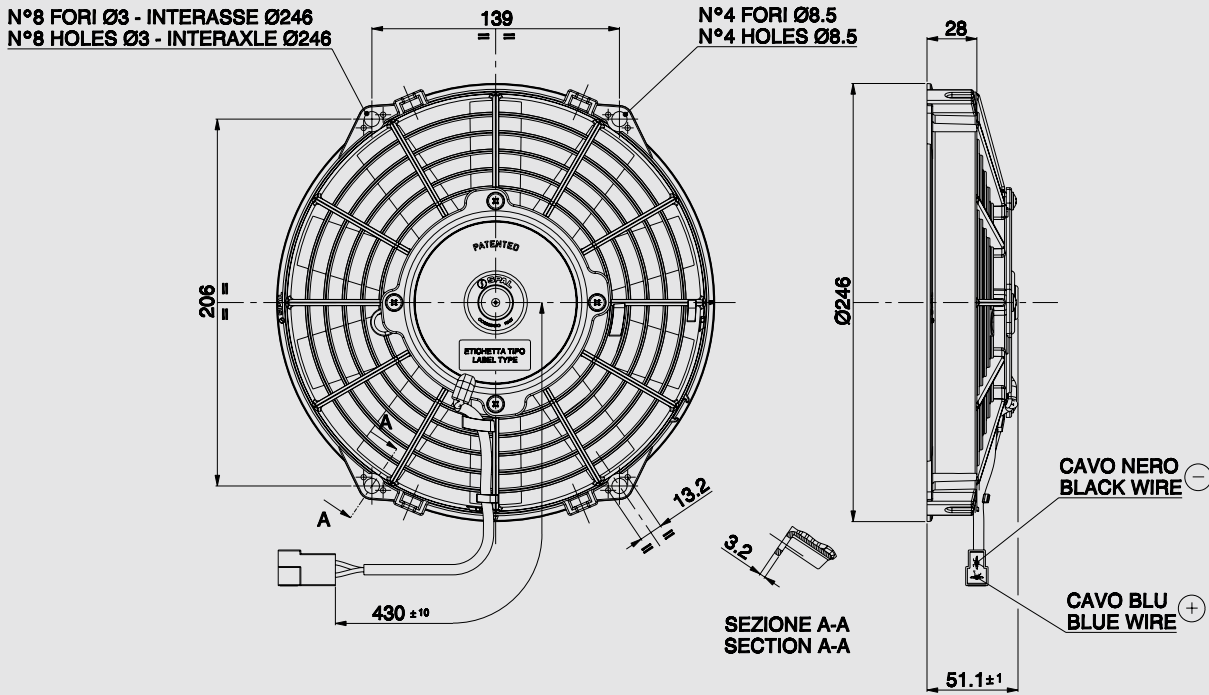
[17] IDEALS @ Illinois [online]. Copyright © [cit. 12.05.2018]. Dostupné z:
https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/14676/1_Korczak_Paul.pdf

PŘÍLOHA č. 1

Technické listy porovnávaných ventilátorů

12V C.C. - D.C.

VA07-AP12/C-31A
VA07-AP12/C-31S



AMP connector Code 180908
AMP terminal Code 42098-2
Suggested mounting torque: 3(+1/-0) Nm with screw M5
Weight 1,00 Kg. approx.

Connettore AMP Cod. 180908
Terminali AMP Cod. 42098-2
Coppia di serraggio consigliata: 3(+1/-0) Nm con vite M5
Peso 1,00 Kg. circa

$\varnothing 225$ mm
 $\varnothing 9''$

suction / aspirante

blowing / soffiante

PRODUCT FEATURES
CARATTERISTICHE PRODOTTO

| Static pressure Pressione statica mm H ₂ O | suction / aspirante | | | blowing / soffiante | | | Static pressure Pressione statica inH ₂ O |
|---|--------------------------------------|--|------------------------|--------------------------------------|--|------------------------|--|
| | Airflow Portata m ³ /h | Current input Corrente assorbita A | Airflow Portata CFM | Airflow Portata m ³ /h | Current input Corrente assorbita A | Airflow Portata CFM | |
| 0 | 920 | 5,2 | 543 | 1030 | 6,1 | 608 | 0 |
| 2,5 | 830 | 5,6 | 490 | 980 | 6,3 | 578 | 0,1 |
| 5 | 790 | 5,8 | 466 | 910 | 6,5 | 537 | 0,2 |
| 7,5 | 710 | 6,2 | 419 | 800 | 6,6 | 472 | 0,3 |
| 10 | 630 | 6,2 | 372 | 640 | 6,8 | 378 | 0,4 |
| 12,5 | 480 | 6,0 | 283 | 490 | 6,7 | 289 | 0,5 |
| 15 | 340 | 6,0 | 201 | 360 | 6,9 | 212 | 0,6 |
| 17,5 | 260 | 6,0 | 153 | 270 | 6,8 | 159 | 0,7 |
| 20 | 180 | 6,2 | 106 | 160 | 6,9 | 94 | 0,8 |
| 22,5 | 0 | 6,3 | 0 | 0 | 6,8 | 0 | 0,9 |

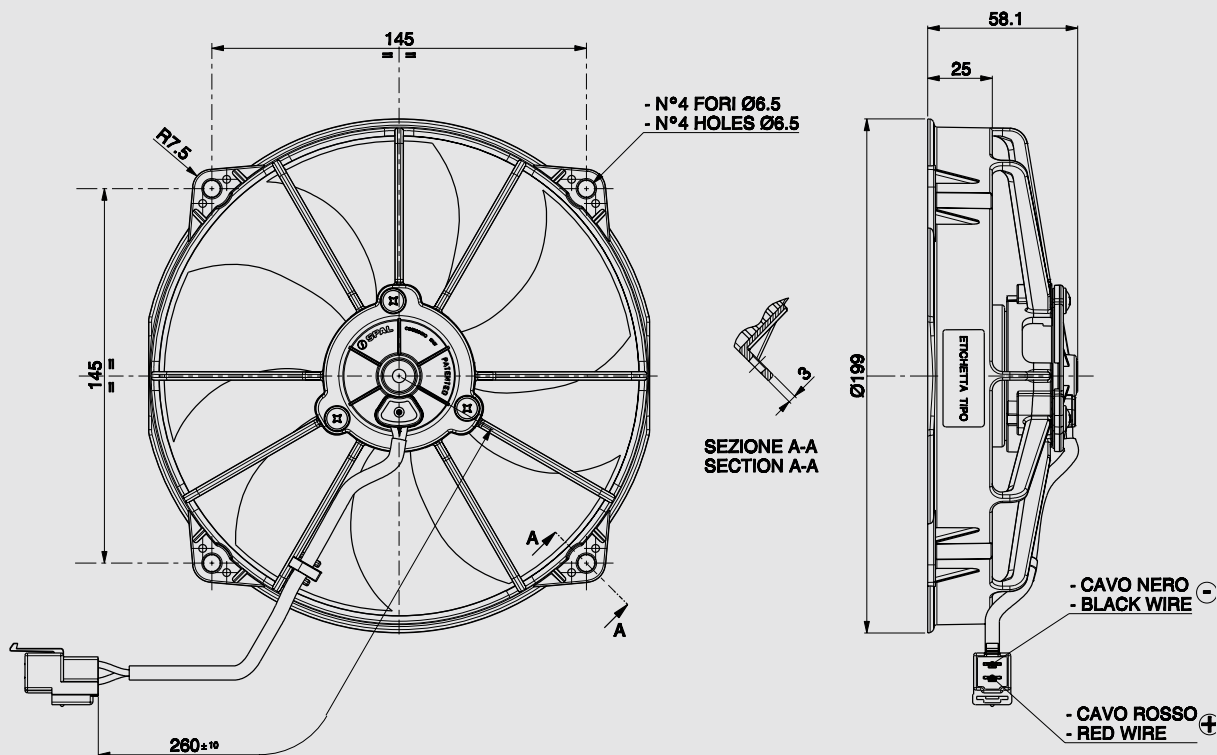
| | |
|---|---|
| Waterproof motor, IP 68 Motore chiuso, IP 68 | ✓ |
| Long life / Lunga durata | ✓ |
| LL and VLL version* Versione LL e VLL* | ✓ |
| Waterproof connector Connettori a tenuta stagna | ✓ |
| Accessories: all the fixing kits Accessori: tutti i kit di fissaggio | ✓ |

* for OEM applications only.
* per applicazioni OEM

✓ = Standard feature
Caratteristiche standard
✓ = Available upon request
Disponibile su richiesta

Test voltage 13 V. d.c. - Tensione di prova 13 V. c.c.

12V C.C. - D.C. VA75-A101-90A



Connector SUMITOMO Code 6010-2802
SUMITOMO terminal Code 1800-2093
Suggested mounting torque: 3(+1/-0) Nm with screw M5
Weight 0,45 Kg. approx.

Connettore SUMITOMO Cod. 6010-2802
Terminali SUMITOMO Cod. 1800-2093
Coppia di serraggio consigliata: 3(+1/-0) Nm con vite M5
Peso 0,45 Kg. circa

Ø 182 mm
Ø 7,3"

suction / aspirante

| Static pressure Pressione statica mm H ₂ O | Airflow Portata m ³ /h | Current input Corrente assorbita A | Airflow Portata CFM | Static pressure Pressione statica in H ₂ O |
|---|---|--|---------------------------|---|
| 0 | 700 | 4,3 | 413 | 0 |
| 5 | 620 | 4,5 | 366 | 0,2 |
| 7,5 | 580 | 4,6 | 342 | 0,3 |
| 10 | 540 | 4,7 | 319 | 0,4 |
| 12,5 | 500 | 4,9 | 295 | 0,5 |
| 15 | 470 | 5,0 | 277 | 0,6 |
| 17,5 | 420 | 5,1 | 248 | 0,7 |
| 20 | 330 | 5,3 | 195 | 0,8 |
| 25 | 200 | 5,7 | 118 | 1,0 |
| 30 | 130 | 5,9 | 77 | 1,2 |
| 35 | 0 | 6,3 | 0 | 1,4 |

PRODUCT FEATURES
CARATTERISTICHE PRODOTTO

| | |
|---|---|
| Waterproof motor, IP 68 Motore chiuso, IP 68 | ✓ |
| Low noise / Bassa rumorosità | ✓ |
| Waterproof connector Connettori a tenuta stagna | ✓ |
| Accessories: all the fixing kits Accessori: tutti i kit di fissaggio | ✓ |

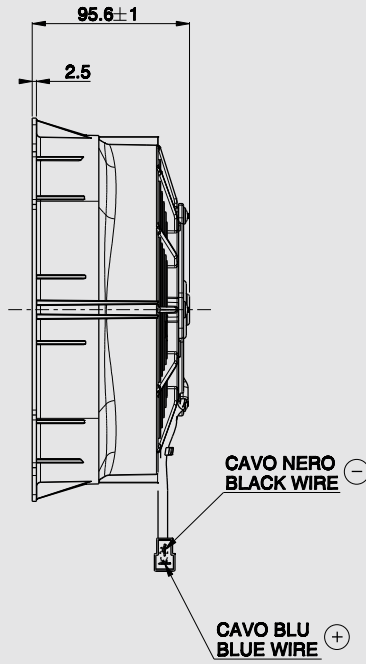
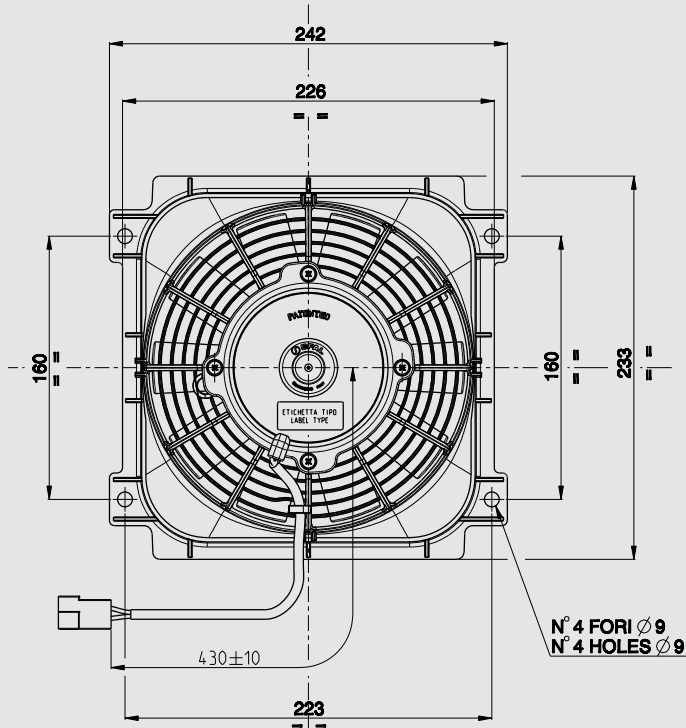
* for OEM applications only. ✓ = Standard feature
* per applicazioni OEM Caratteristiche standard

✓ = Available upon request
Disponibile su richiesta

Test voltage 13 V. d.c. - Tensione di prova 13 V. c.c.

12V C.C. - D.C.

VA81A-AP7/C-34A
VA81A-AP7/C-34S



AMP connector Code 180908 -
AMP terminal Code 42098-2
Suggested mounting torque: 3(+1/-0) Nm with screw M8
Weight 1,04 Kg. approx.

Connettore AMP Cod. 180908
Terminali AMP Cod. 42098-2
Coppia di serraggio consigliata: 3(+1/-0) Nm con vite M8
Peso 1,04 Kg. circa

Ø 190 mm
Ø 7,5"

suction / aspirante

blowing / soffiante

PRODUCT FEATURES
CARATTERISTICHE PRODOTTO

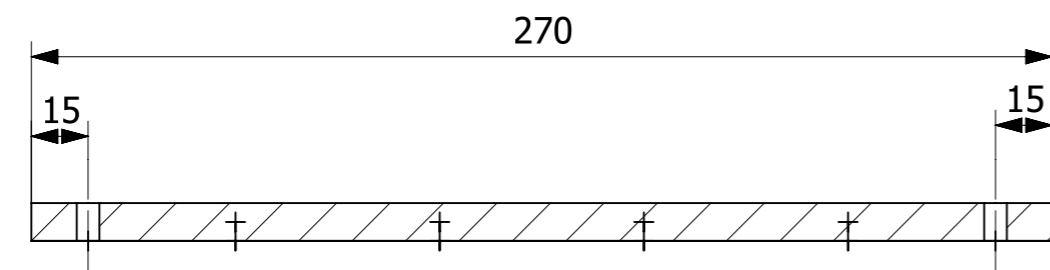
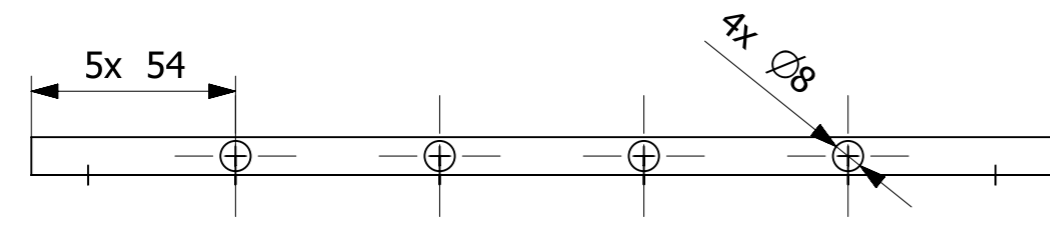
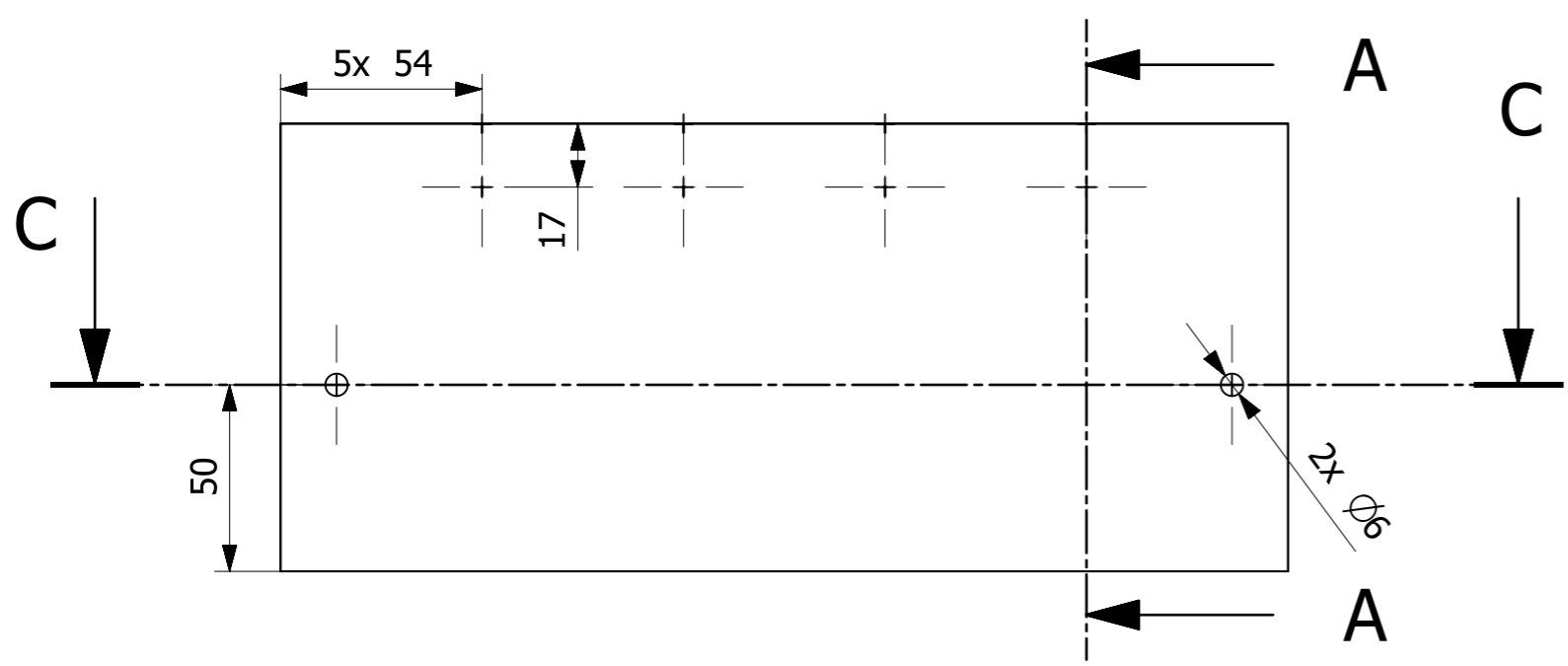
| Static pressure Pressione statica mm H ₂ O | suction / aspirante | | | blowing / soffiante | | | Static pressure Pressione statica inH ₂ O |
|---|--------------------------------------|--|------------------------|--------------------------------------|--|------------------------|--|
| | Airflow Portata m ³ /h | Current input Corrente assorbita A | Airflow Portata CFM | Airflow Portata m ³ /h | Current input Corrente assorbita A | Airflow Portata CFM | |
| 0 | 650 | 4,5 | 384 | 620 | 4,5 | 366 | 0 |
| 2,5 | 600 | 4,5 | 354 | 570 | 4,6 | 336 | 0,1 |
| 5 | 550 | 4,7 | 325 | 520 | 4,7 | 307 | 0,2 |
| 7,5 | 490 | 4,7 | 289 | 450 | 4,7 | 266 | 0,3 |
| 10 | 420 | 4,7 | 248 | 360 | 4,6 | 212 | 0,4 |
| 12,5 | 380 | 4,8 | 224 | 310 | 4,7 | 183 | 0,5 |
| 15 | 320 | 4,9 | 189 | 280 | 4,9 | 165 | 0,6 |
| 17,5 | 230 | 5,0 | 136 | 190 | 4,9 | 112 | 0,7 |
| 20 | 140 | 5,0 | 83 | 100 | 5,0 | 59 | 0,8 |
| 22,5 | 80 | 5,1 | 47 | 40 | 5,2 | 24 | 0,9 |
| 25 | 0 | 5,3 | 0 | 0 | 5,4 | 0 | 1 |

| | |
|--|---|
| Waterproof motor, IP 68 Motore chiuso, IP 68 | ✓ |
| LL and VLL version* Versione LL e VLL* | ✓ |
| Waterproof connector Connettori a tenuta stagna | ✓ |

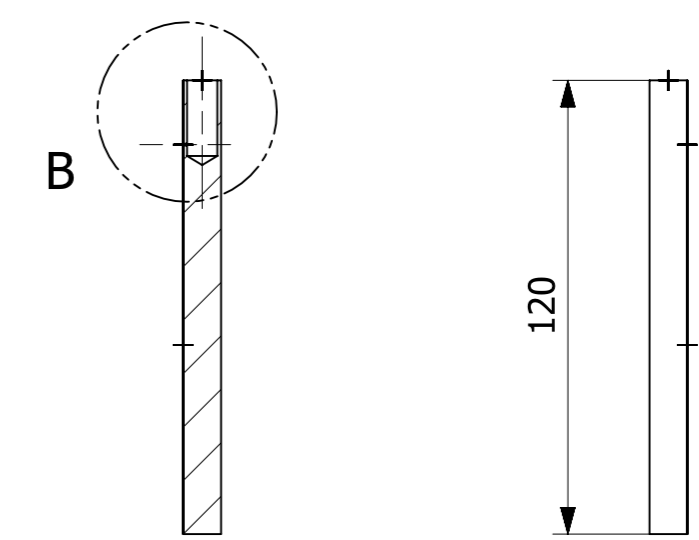
* for OEM applications only.
* per applicazioni OEM

✓ = Standard feature
Caratteristiche standard
✓ = Available upon request
Disponibile su richiesta

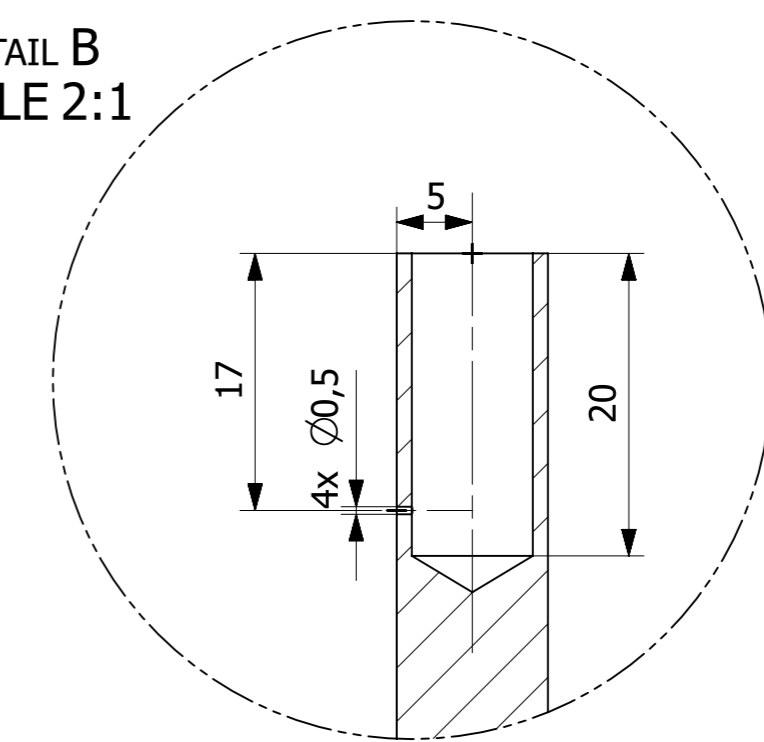
Test voltage 13 V. d.c. - Tensione di prova 13 V. c.c.






SECTION A-A

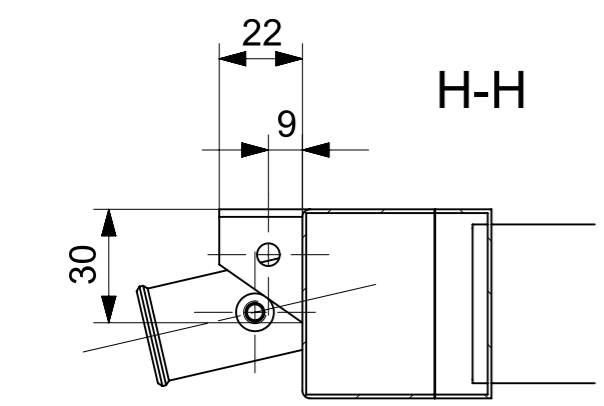
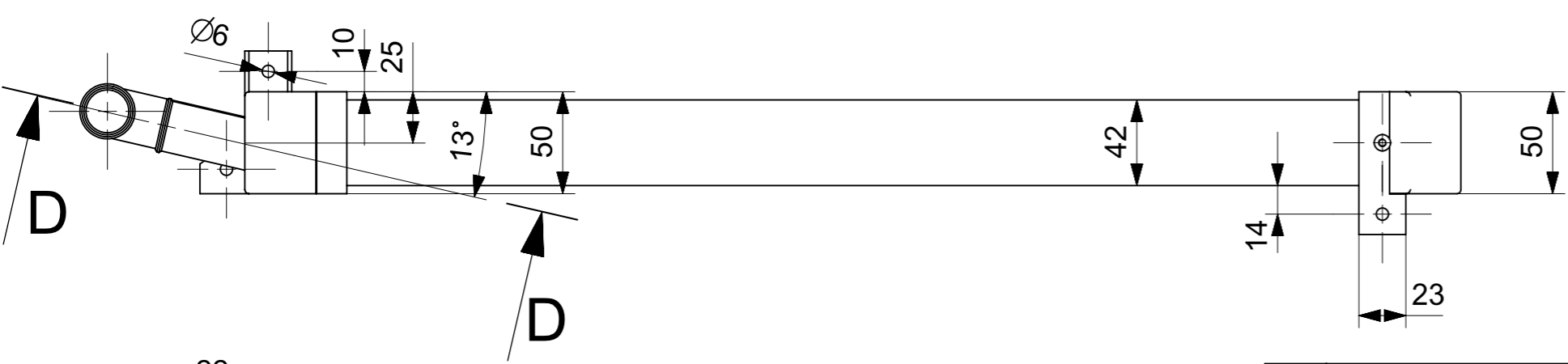
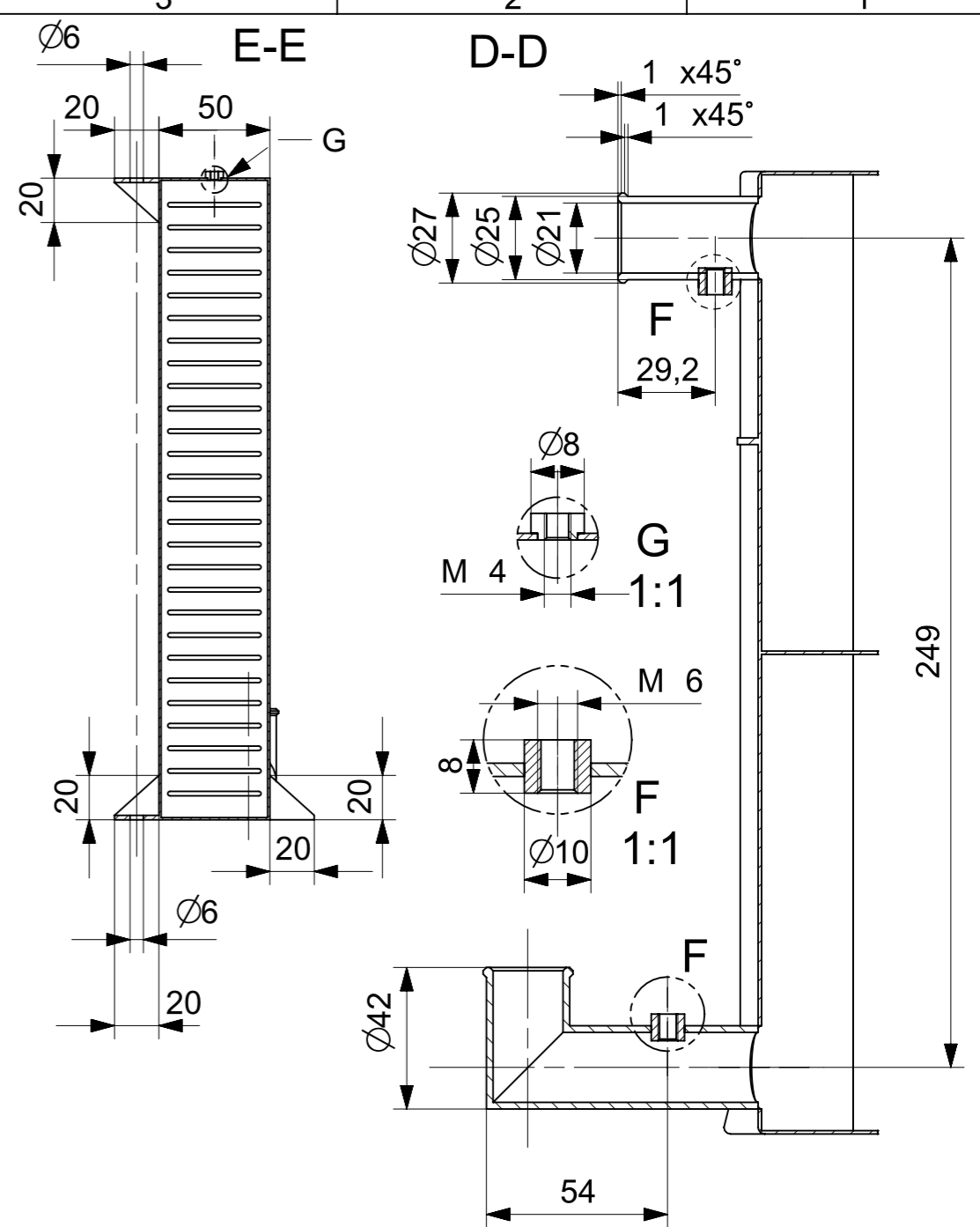
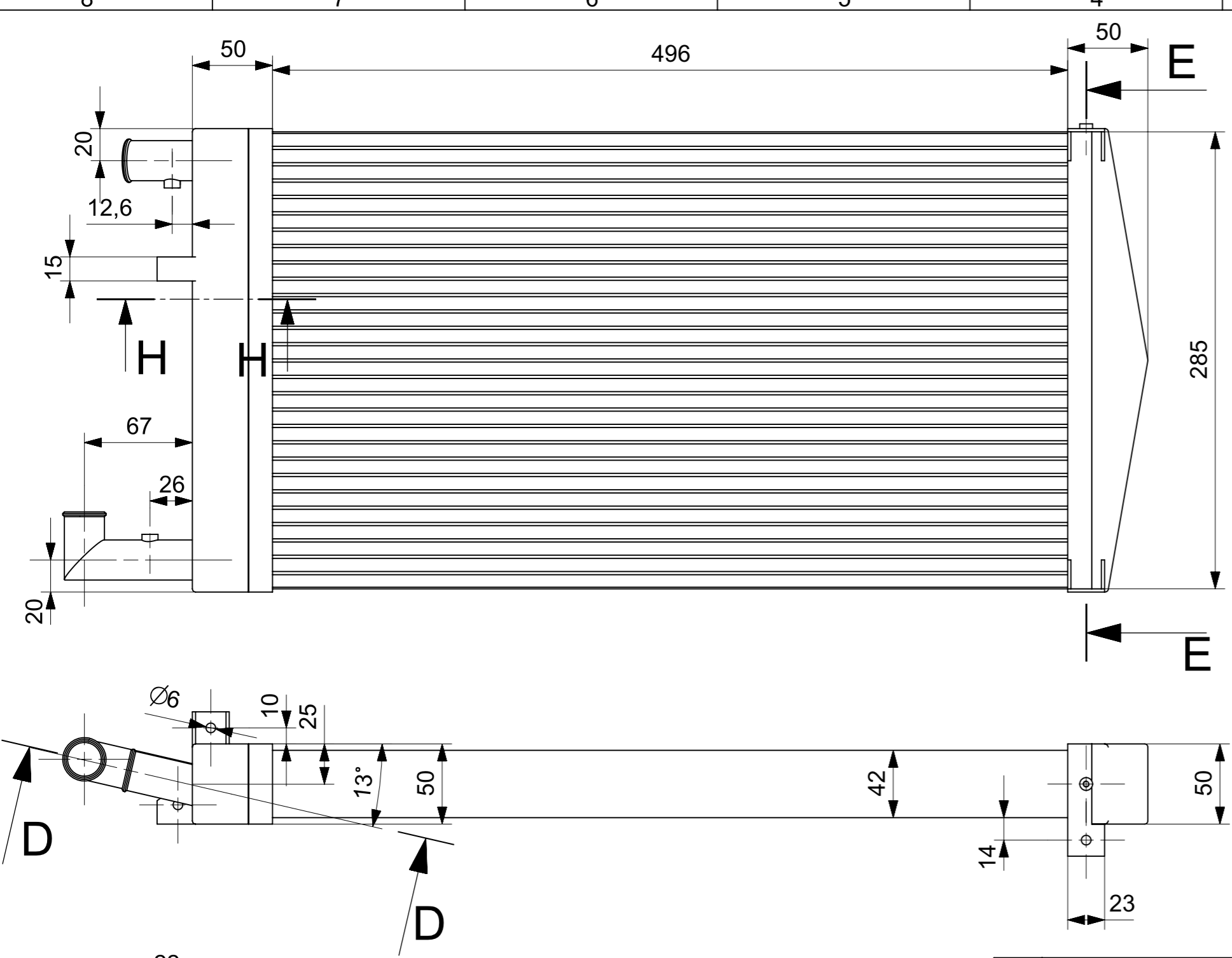


DETAIL B
SCALE 2:1



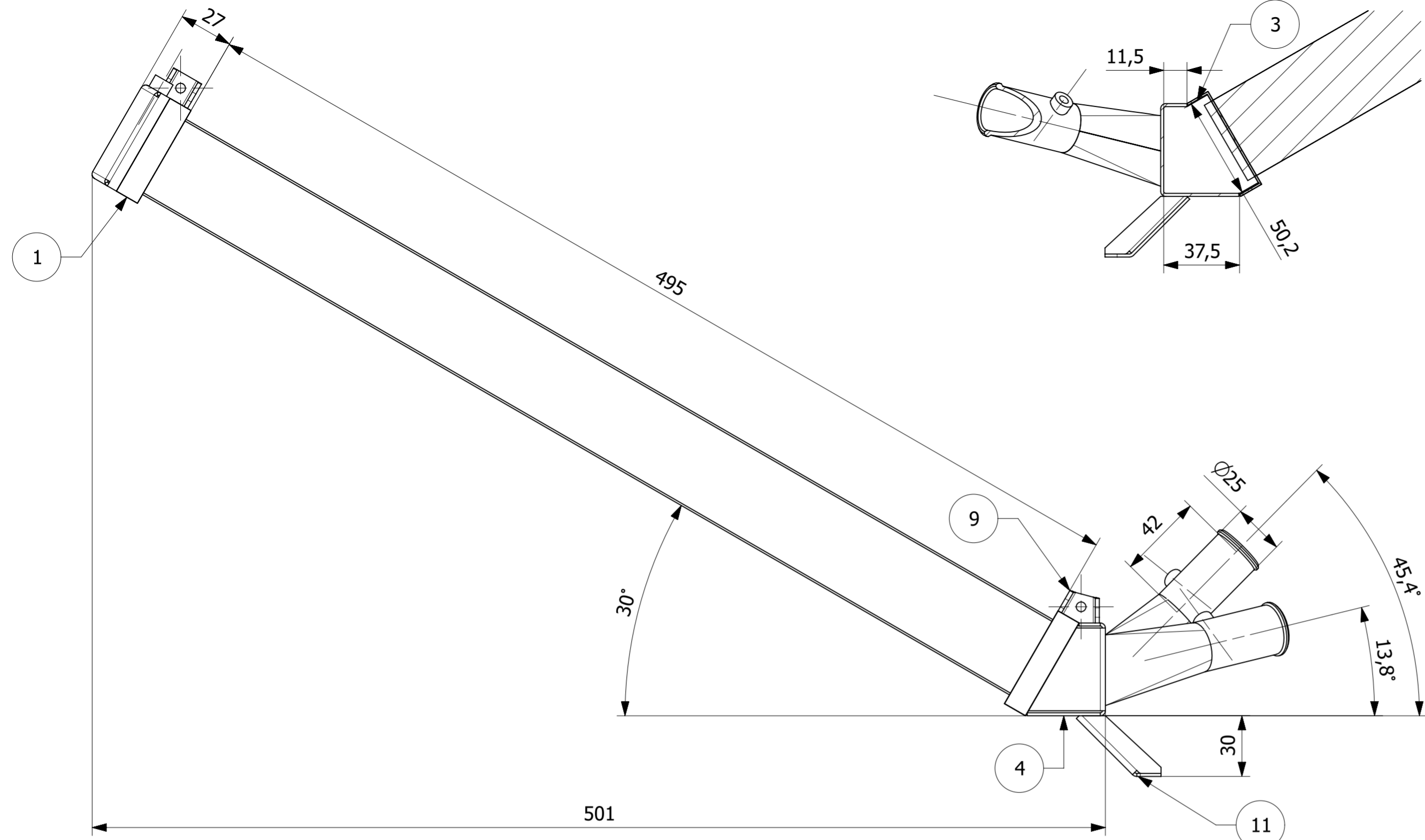
2ks

| | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|--------------|--------------------|---|----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------|
| | | ALU 270x120x10 | | | | | | | |
| Pocet ks. | Nazev - rozmer | Polotovar | Material | T.O. | C.hmot. | Hr.hmot. | Cislo vykresu sestavy | Poz. | |
| Quant. | Title - size | Blank | Material | C.W. | Weight | R. weight | Assembly drawing no. | Pos. | |
| CAD 1 | Datum / Date | Jmeno / Name | | | | | | | |
| Kreslil / Drawn by | 12.10.2018 | Matěj Linhart | | | | | | | |
| Prezkoušel / Checked by | | | | |   <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small> | | | | |
| Schválil / Approved by | | | | | | | | | |
| Index zmeny | Popis zmeny / change description | Schval. / APP | Datum / Date | Podpis / Signature | Poznamka / Note: | | | | |
|  Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK | | Soubor-model / ASM-file merici_blok | | | Projekt / Project: | | | Meritko / Scale | |
| | | Soubor-vykres / DRW-file merici_blok | | | C.sestavy / Assembly No. | | | 1:2 | |
| Nazev / Title měřicí blok | | | | Rev. | Cislo vykresu / Drawing No. UWB05-100-1 | | | | Format A3 |
| | | | | List / sheet no. | 1 | Pocet listu / sheets | 1 | | |

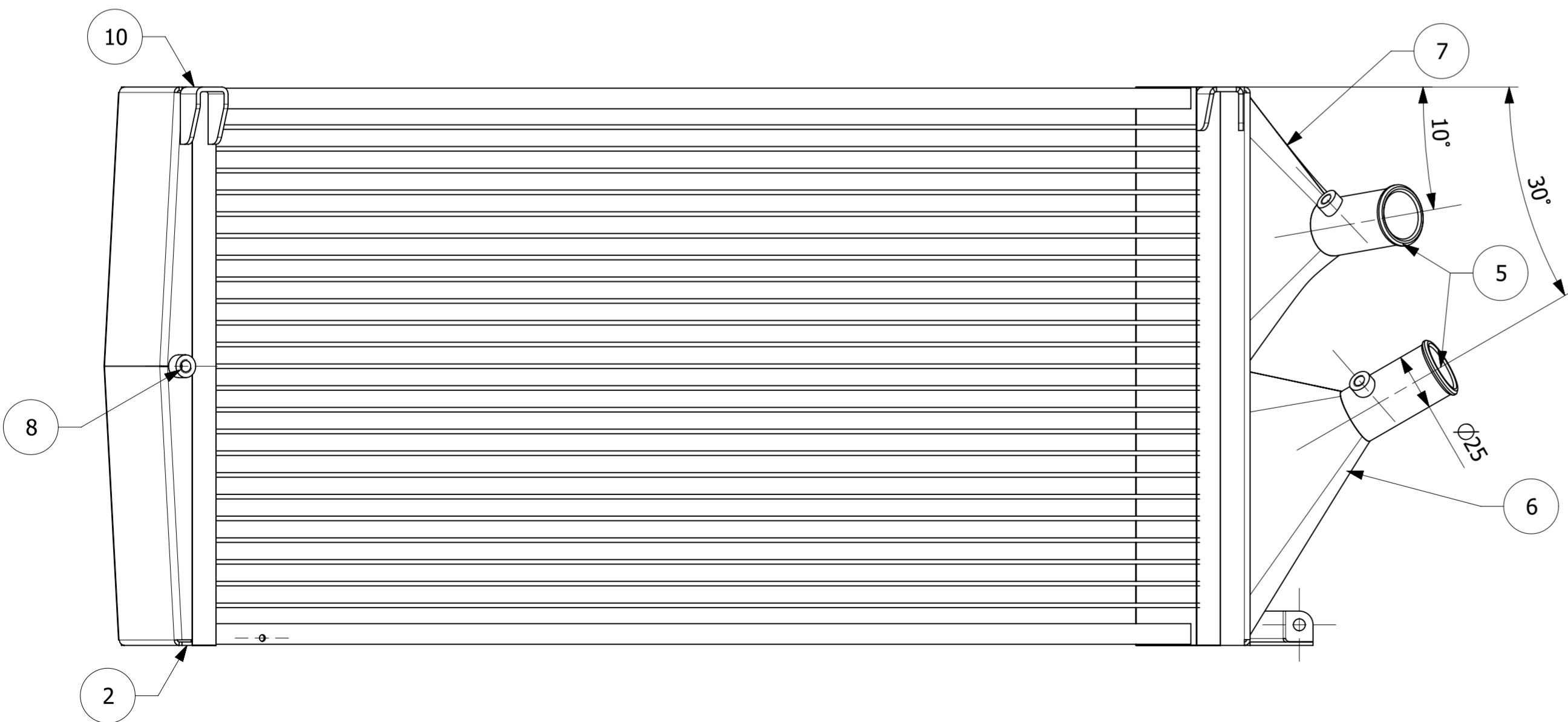
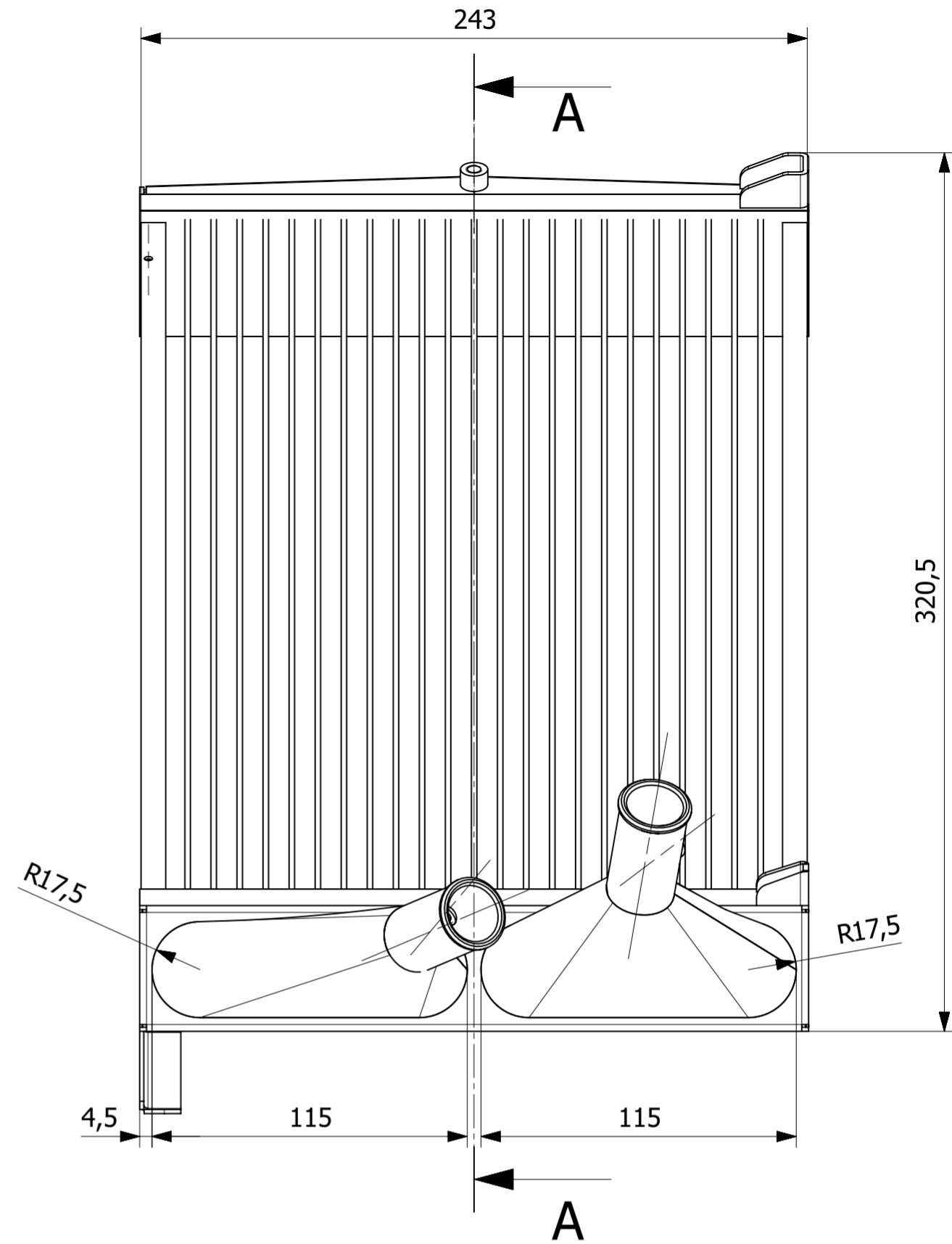
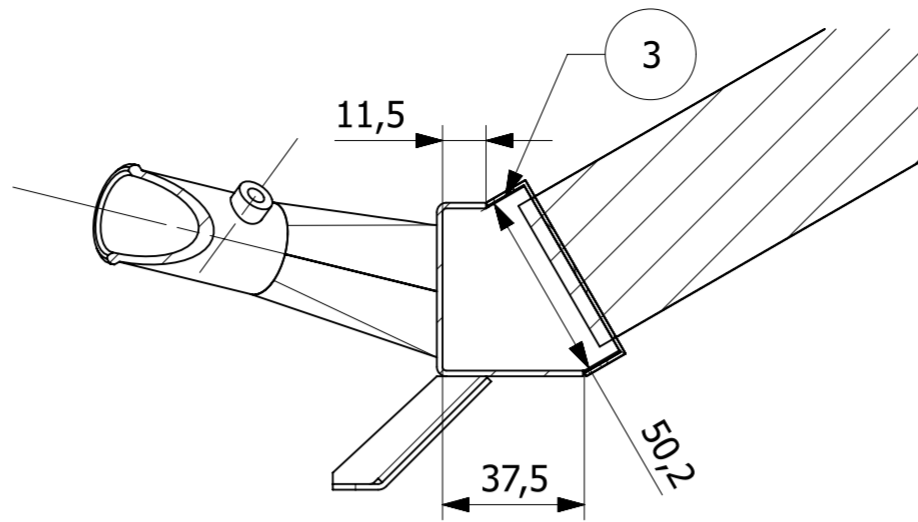


| | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------------|--|-----------------|-----------------------------|------------------|-----------|-----------------------|-----------------|--|
| 1 | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | |
| Pocet ks. | Nazev - rozmer | Polotovar | Material | T.O. | C.hmot. | Hr.hmot. | Cislo vykresu sestavy | Poz. | |
| Quant. | Title - size | Blank | Material | C.W. | Weight | R. weight | Assembly drawing no. | Pos. | |
| CAD 1 | Datum / Date | | Jmeno / Name | | | | | | |
| Kreslil / Drawn by | | | Martin Kocourek | | | | | | |
| Prezkousel / Checked by | | | | | | | | | |
| Schvalil / Approved by | 13.3.2017 | | M.Mrázek | | | | | | |
| Index zmeny | Popis zmeny / change description | Schval. / APP | Datum / Date | Podpis / Signature | Poznamka / Note: | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | Tolerance / Tolerovani | Soubor-model / ASM-file | | Projekt / Project: | | | | Meritko / Scale | |
| | ISO 8015 | UWB04-05-11-000_Powertrain_Cooling_System_Radiator_DRW | | | | | | 1:3 | |
| | ISO 128 | UWB04-05-11-000_Powertrain_Cooling_System_Radiator_DRW | | C.sestavy / Assembly No. | | | | | |
| Nazev / Title | | | Rev. | Cislo vykresu / Drawing No. | | | | Format | |
| Radiator | | | | UWB04-05-11-000 | | | | A3 | |
| List / sheet no. | | Pocet listu / sheets | | | | | | | |
| 1 | | 1 | | | | | | | |





SECTION A-A



| Poz. | Název | Polotovár | Material | Hmotnost | Pocet ks. |
|------|---|-----------|----------|----------|-----------|
| Pos. | Title | Blank | Material | Weight | Quant. |
| 11 | UWB05-05-11-010_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_FLOOR-HOLDER | | | | 1 |
| 10 | UWB05-05-11-009_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_UPPER_RADIATOR_HOLDER | | | | 1 |
| 9 | UWB05-05-11-008_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_LOWER_RADIATOR_HOLDER | | | | 1 |
| 8 | UWB05-05-11-007_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_THREADED-INSERT-M6 | | | 3,7 | 3 |
| 7 | UWB05-05-11-006_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_TUBE-EXPANSION-RIGHT | | | | 1 |
| 6 | UWB05-05-11-005_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_TUBE-EXPANSION-LEFT | | | | 1 |
| 5 | UWB05-05-11-004_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_TUBE | | | 50,7 | 2 |
| 4 | UWB05-05-11-003_0_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_LOWER-CAP | | | | 1 |
| 3 | UWB05-05-11-003-01_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_LOWER_CAP-PARTITION | | | | 1 |
| 2 | UWB05-05-11-002_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_UPPER-CAP | | | | 1 |
| 1 | UWB05-05-11-001_POWERTRAIN_COOLING-SYSTEM_RADIATOR_COOLING-AREA | | | | 1 |

| Číslo / No. | Datum / Date | Jméno / Name |
|-------------------------|--------------|--------------|
| Kreslil / Drawn by | 15.3.2018 | M. Linhart |
| Prezkoušel / Checked by | | |
| Schválil / Approved by | | |

| Index změny | Popis změny / change description | Schvál. / APP | Datum / Date | Podpis / Signature | Poznámka / Note: |
|-------------|----------------------------------|---------------|--------------|--------------------|------------------|
| | | | | | |

| Tolerance / Tolerování | | Soubor-model / ASM-file | Projekt / Project: | Meritko / Scale |
|------------------------|------------------------|--|-----------------------------|------------------------|
| ISO 128 | ISO 8015 ISO 2768mK | UWB05-05-11-000_Powertrain_Cooling-System_Radiator_DRW | FS - UWB05 | 1:2 |
| | | Soubor-vykres / DRW-file | C./hmot.sestavy | Format |
| | | UWB05-05-11-000_Powertrain_Cooling-System_Radiator_DRW | Rev. | A2 |
| | | | Císlo vykresu / Drawing No. | |
| | | | UWB05-05-11-000 | |
| | | | List / sheet no. 1 | Pocet listu / sheets 1 |



Všetchna práva vyhrazena / All rights reserved.