
Obsah

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 9 |
| 2 | CÍL PRÁCE | 10 |
| 3 | REŠERŠNÍ STUDIE | 11 |
| 3.1 | Historie termoelektrických jevů | 11 |
| 3.2 | Termoelektrické jevy | 12 |
| 3.2.1 | Seebeckův jev | 12 |
| 3.2.2 | Peltierův jev | 14 |
| 3.2.3 | Thomsonův jev..... | 15 |
| 3.2.4 | Vztahy mezi termoelektrickými koeficienty | 15 |
| 3.3 | Konstrukce termoelektrických modulů | 16 |
| 3.4 | Termoelektrické materiály | 18 |
| 3.5 | Tepelné výměníky | 20 |
| 3.5.1 | Typy tepelných výměníků | 20 |
| 3.5.2 | Součinitel prostupu tepla..... | 21 |
| 3.5.3 | Metody pro navrhování výměníků..... | 22 |
| 4 | VOLBA PARAMETRŮ GENERÁTORU | 24 |
| 5 | MODEL TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU | 29 |
| 6 | NÁVRH ZAŘÍZENÍ | 34 |
| 6.1 | Konstrukce | 34 |
| 6.2 | Technická dokumentace | 42 |
| 6.3 | Elektronika – DC/DC měniče..... | 42 |
| 6.3.1 | LMR61428 | 45 |
| 6.3.2 | LM2623 | 47 |
| 6.3.3 | XL6009 | 49 |
| 6.3.4 | MT3608..... | 51 |
| 6.3.5 | Výsledná volba elektroniky..... | 52 |
| 6.4 | Celkové sestavení..... | 56 |
| 7 | ZÁVĚREČNÉ TESTOVÁNÍ A ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ | 58 |
| 8 | ZÁVĚR | 61 |
| 9 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 62 |
| 10 | SEZNAM TABULEK | 64 |
| 11 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 65 |
| 12 | SEZNAM PŘÍLOH | 67 |

Pokud budeme uvažovat válcovou stěnu trubky (obr. 12b), musí se vztah pro součinitele prostupu tepla poněkud pozměnit. Následující vztah platí pro součinitele prostupu tepla vztaženého k vnějšímu poloměru trubky:

$$k = \frac{1}{\frac{r_0}{r_1} \cdot \frac{1}{\alpha_1} + \frac{r_0}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_0}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right], \quad (16)$$

kde:

| | | |
|-------|-----|---------------------------------|
| r_0 | [m] | vnější poloměr válcové trubky |
| r_1 | [m] | vnitřní poloměr válcové trubky. |

3.5.3 Metody pro navrhování výměníků

Vývoj metod výpočtu přenosu tepla ve dvoulátkových výměnících se začal systematicky rozvíjet na počátku 20. století. Nejčastěji používaná různá průtoková schémata byla přepracována do formy aplikovatelné v běžné konstrukční praxi. Proto se ve většině literatur hovoří o dvou různých přístupech návrhu.

Metoda LMTD (Logarithmic mean temperature difference)

U této metody je problém v určení teplotního rozdílu, protože se teploty obou tekutin (horké a studené) mění polohou. Tudiž se zavede nějaká střední teplotní diference tj. střední logaritmický teplotní spád [14]:

$$\overline{\Delta T} = \frac{(T_{h-in} - T_{c-out}) - (T_{h-out} - T_{c-in})}{\ln \frac{T_{h-in} - T_{c-out}}{T_{h-out} - T_{c-in}}} \quad [\text{K}], \quad (17)$$

kde:

| | | |
|-----------------------|-----|---------------------------------------|
| $\overline{\Delta T}$ | [K] | střední logaritmický teplotní spád |
| T_{h-in} | [K] | teplota vstupující horké tekutiny |
| T_{h-out} | [K] | teplota vystupující horké tekutiny |
| T_{c-in} | [K] | teplota vstupující studené tekutiny |
| T_{c-out} | [K] | teplota vystupující studené tekutiny. |

Pak přenesený tepelný tok ve výměníku pro metodu LMTD a pro případ, že obě tekutiny proudí souproudem nebo protiproudem, platí:

$$q_{12} = k \cdot S \cdot \overline{\Delta T} \quad [\text{W}]. \quad (18)$$

Pro úplnost zbývá ještě zmínit střední logaritmický spád pro křížový proud, popřípadě konstrukční a výkonnostní výpočty pro tuto metodu. Jelikož tato metoda v práci nebyla použita, nebude zde rozvedena. Tato metoda je velmi dobře popsána v [14], [15].

Metoda ϵ -NTU

„V případě, že při návrhu tepelného výměníku známe pouze vstupní teploty obou látek, je možné použít výpočet pomocí středního logaritmického spádu, ale byl by nutný iterační postup (řešení nelineární rovnice). Proto je vhodnější použít

4 Volba parametrů generátoru

Základním parametrem pro volbu termoelektrického modulu je dosažení co nejvyššího teplotního rozdílu mezi studenou a teplou stranou. Z tohoto parametru se pak dále odvíjí výkonnostní parametry celého modulu. Jak už bylo řečeno, cílem je experimentální využití generátoru pro získání tepelné energie z odpadního tepla, resp. ze spalin unikajících z kotle na tuhá paliva prostřednictvím komínového odvodu do okolí. Odpadní teplo přeměněné na elektrickou energii bude využito pro napájení periferního axiálního ventilátoru o výkonu 2,9 W.

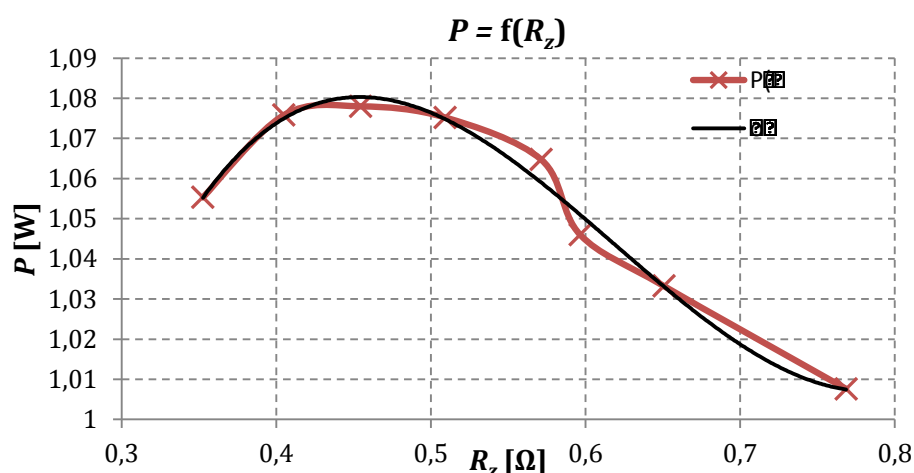
Pro danou aplikaci byly dle jednotlivých technických dokumentací určeny 2 vhodné termoelektrické moduly od společnosti *thermalforce.de*, jelikož tyto moduly byly dříve použity v laboratořích školy pro jiné experimentální aplikace a měření. Tyto moduly nesou označení:

- TEG 127-175-26;
- TEG 127-250-38.

Z těchto námi zvolených modulů se experimentálním měřením (obr. 17) a vyhodnocením výsledků určí modul vhodnější pro tuto aplikaci.

Tab. 3 Parametry termoelektrického modulu TEG 127-175-26 [16]

| Parametry TEG 127-175-26 | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Veličina | Hodnota | Jednotka |
| Délka | 30 | mm |
| Šířka | 30 | mm |
| Výška | 2,8 | mm |
| Maximální teplota modulu | 175 | °C |
| Maximální přitlak na modul | 195 | N/cm ² |
| Teplota studené strany | 150 | °C |
| Teplota teplé strany | 50 | °C |
| Teplotní rozdíl | 100 | °C |
| Seebeckův koeficient | 0,068 | V/K |
| Napětí naprázdno | 5,735 | V |
| Proud nakrátko | 2,867 | A |
| Maximální výkon modulu | 4,107 | W |
| Účinnost modulu | 4,266 | % |
| Tepelný odpor modulu | 1,429 | K/W |
| Elektrický odpor modulu | 1,36 | Ω |
| Tepelná vodivost modulu | 0,7 | W/mK |
| Tepelná vodivost keramiky | 15 | W/mK |
| Počet termoelektrických dvojic | 127 | - |
| Materiál termoelektrických dvojic | Bi ₂ Te ₃ | |
| Materiál keramických desek | Al ₂ O ₃ | |



Obr. 16 Závislost výkonu modulu na zátěži pro TEG 127-250-38

Po ustálení teploty horké strany modulu na hodnotě 83 °C a studené strany 50,5 °C byl udržován tento rozdíl a experimentálně ověřena výkonnostní závislost na zátěžném odporu R_z . Dle technického dokumentu k modulu [17], kde se uvádí hodnota elektrického vnitřního odporu 0,35 Ω, se experimentálním ověřením (obr. 16) získala hodnota přibližně 0,45 Ω. Tento rozdíl se mnoho neliší od technického listu k modulu (datasheetu).

Vzhledem k výkonovým charakteristikám ($P=f(\Delta T)$) obou modulů byl zvolen modul druhý, tudíž TEG 127-250-38 [17]. Pro námi vybraný napájený ventilátor o výkonu 2,9 W a k němu podpůrná elektronika v podobě zvyšujícího napěťového měniče bude potřeba minimálně 3,2 W výkonu.

Předpokládaná teplota studené strany, tudíž i okolí, bude cca 20 °C a teplota spalin v odvodu z kotle ohřeje teplotu teplé strany na předpokládaných cca 60 °C. Tento teplotní rozdíl bude pro jeden modul generovat elektrickou energii o výkonu 1,6 W (tab. 5). Poněvadž jsou nároky na požadovaný výkon vyšší, bude nutno tyto moduly zdvojnásobit, tudíž použít dva moduly zapojené v sérii.

Pro tento vybraný termoelektrický modul (TEG 127-250-38) byla sestavena tabulka pro orientační výpočet parametrů, kterých by se mělo v této aplikaci při daných podmínkách dosáhnout.

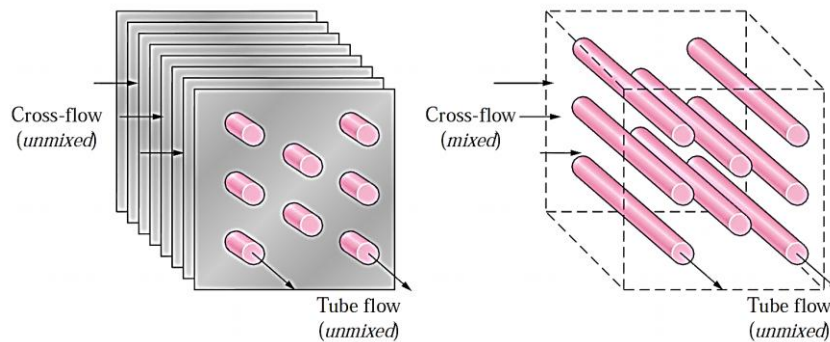
Tab. 5 Výpočet parametrů modulu TEG 127-250-38 ze zadaných hodnot

| Předpokládané zadané hodnoty | | |
|------------------------------|---------|----------|
| Veličina | Hodnota | Jednotka |
| Teplota teplé strany | 60 | °C |
| Teplota studené strany | 20 | °C |
| Zátěž | 0,35 | Ω |

5 Model tepelného výměníku

Při návrhu modelu tepelného výměníku, jak už bylo řečeno v kap. 3.5.3, byla použita metoda ε - NTU . Tato metoda byla použita z důvodu toho, že jsou nám známy pouze vstupní teploty obou látek. V tomto případě se jedná o vstupní teplotu spalin T_{h-in} (horká strana) odváděných z kotle a vstupní teplotu vzduchu nasávaného ventilátorem T_{c-in} (studená strana). Tyto známé parametry je nutno ještě rozšířit o velikost teplosměnné plochy výměníku a o tepelné kapacity teplé i studené látky. Úkolem tohoto přístupu je určit výstupní teploty obou látek vystupujících z výměníku.

V poslední řadě je také nutno si zvolit určitý typ (uspořádání) tepelného výměníku. V našem případě se jedná o křížový tepelný výměník s jednostranným směřováním na straně teplých spalin (obr. 18). Dle těchto zvolených parametrů lze namodelovat **výpočet výkonnosti tepelného výměníku**, tudíž určit výstupní teploty T_{c-out} a T_{h-out} obou látek.



Obr. 18 Rozdílné konfigurace křížových tepelných výměníků [18]

Abychom mohli definovat výstupní teploty obou látek odcházejících z výměníku, musíme nejprve určit ze vztahu (22) veličinu NTU a poměr tepelných kapacit obou látek R :

$$R = \frac{c_{min}}{c_{max}} \quad [-], \quad (20)$$

kde c_{min} je menší tepelná kapacita jedné z látek c_h , c_s a c_{max} je větší tepelná kapacita.

$$c_h = \rho_h \cdot C_h \cdot Q_h \quad c_s = \rho_s \cdot C_s \cdot Q_s \quad \left[\frac{W}{K} \right], \quad (21)$$

kde:

| | | |
|----------|----------------------|--------------------------------------|
| c_h | [W/K] | tepelná kapacita horké látky |
| c_s | [W/K] | tepelná kapacita studené látky |
| ρ_h | [kg/m ³] | hustota horké látky |
| ρ_s | [kg/m ³] | hustota studené látky |
| C_h | [J/kg.K] | měrná tepelná kapacita horké látky |
| C_s | [J/kg.K] | měrná tepelná kapacita studené látky |
| Q_h | [m ³ /s] | objemový průtok horké látky |
| Q_s | [m ³ /s] | objemový průtok studené látky. |

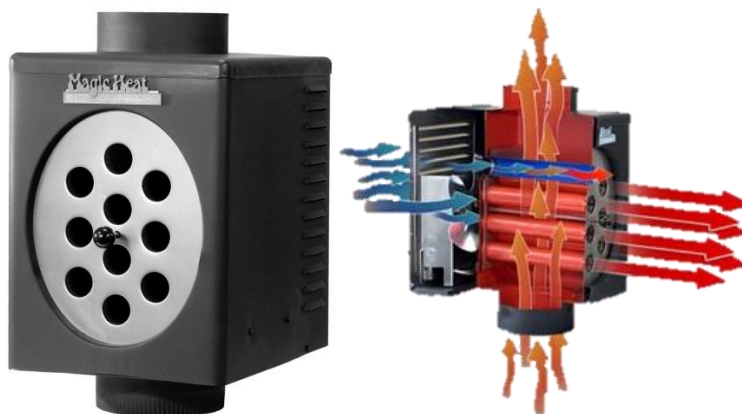
Tab. 6 Výpočet výkonnosti tepelného výměníku dle zadaných hodnot

| Zadané hodnoty | | | |
|--|---------------|----------------|---------------------|
| Veličina | Značka | Hodnota | Jednotka |
| Vstupní teplota horké látky | T_{h-in} | 160 | °C |
| Vstupní teplota studené látky | T_{c-in} | 20 | °C |
| Měrná tepelná kapacita horké látky | C_h | 1030 | J/kg.K |
| Měrná tepelná kapacita studené látky | C_s | 1010 | J/kg.K |
| Hustota horké látky | ρ_h | 0,8 | kg/m ³ |
| Hustota studené látky | ρ_s | 1,2 | kg/m ³ |
| Objemový průtok horké látky | Q_h | 0,019 | m ³ /s |
| Objemový průtok studené látky | Q_s | 0,016 | m ³ /s |
| Konstanta pro střední teplotu chladiva | k | 3,6 | - |
| Součinitel přestupu tepla vedením trubek | λ | 70 | W/m.K |
| Šířka tepelného výměníku | a | 0,2 | m |
| Hloubka tepelného výměníku | b | 0,2 | m |
| Výška tepelného výměníku | c | 0,45 | m |
| Vnější průměr trubek výměníku | d_{tr} | 0,03 | m |
| Tloušťka stěny trubek | t_{tr} | 0,0015 | m |
| Délka trubek | l_{tr} | 0,2 | m |
| Počet trubek ve výměníku | n_{tr} | 24 | - |
| Vypočtené hodnoty | | | |
| Veličina | Značka | Hodnota | Jednotka |
| Tepelná kapacita horké látky | c_h | 15,73 | W/K |
| Tepelná kapacita studené látky | c_s | 18,85 | W/K |
| Poměr tepelných kapacit obou látek | R | 0,834 | - |
| Součinitel přestupu tepla konvekcí na horké straně | α_1 | 6,397 | W/m ² .K |
| Součinitel přestupu tepla konvekcí na studené straně | α_2 | 8,187 | W/m ² .K |
| Součinitel prostupu tepla pro válcovou stěnu trubky | k | 3,38 | W/m ² .K |
| Teplosměnná plocha všech trubek | S_{tr} | 0,452 | m ² |
| Suma průřezů jednotlivých trubek v jedné řadě | S_{k1} | 0,014 | m ² |
| Suma průřezů jednotlivých mezer v jedné řadě | S_{k2} | 0,016 | m ² |
| Suma obvodů jednotlivých trubek v jedné řadě | U_{k1} | 0,036 | m |
| Obvod obdélníku, který je sestaven z mezer mezi trubkami | U_{k2} | 0,56 | m |
| Hydraulický průměr všech trubek | D_{h1} | 0,027 | m |
| Hydraulický průměr všech mezer mezi trubkami | D_{h2} | 0,114 | m |
| Rychlost proudění horké látky | v_h | 1,193 | m/s |
| Rychlost proudění studené látky | v_s | 1,132 | m/s |
| Number of transfer unit | NTU | 0,097 | - |
| Efektivita tepelného výměníku | ε | 0,089 | - |
| Maximálně možný přenášený tepelný tok | q_{max} | 2201,7 | W |
| Skutečný přenášený tepelný tok | q_{12} | 192,3 | W |
| Výstupní teplota horké látky | T_{h-out} | 147,5 | °C |
| Výstupní teplota studené látky | T_{c-out} | 30,4 | °C |

Dle zadaných hodnot při výkonnostním výpočtu modelu tepelného výměníku v tab. 6 bude v kap. 6 popsána konstrukce reálného výměníku. Výpočet hodnot probíhal v programu *MATLAB*. Skript tohoto výpočtu je uveden v přílohách.

6 Návrh zařízení

Při návrhu zařízení, které přispěje k větší elektivnosti vytápění v domácnostech bylo vycházeno z konceptu komerčně dostupného zařízení zvaného *Magic Heat Reclaimer*, viz [19]. Toto zařízení není avšak tak autonomní (pro svůj stálý provoz ventilátoru je nutno dodávat elektrickou energii ze sítě) jak zařízení, o kterém pojednává tato práce. Reálná podoba a funkčnost tohoto komerčně dostupného zařízení je zobrazena na obr. 22.



Obr. 22 *Magic Heat Reclaimer* [19]

Toto komerční zařízení bude proto předěláno na systém autonomní, tudíž nebude potřeba externího zdroje napájení. Zařízení, o kterém pojednává tato práce (jako celek takový), se bude skládat z jednotlivých dílčích částí:

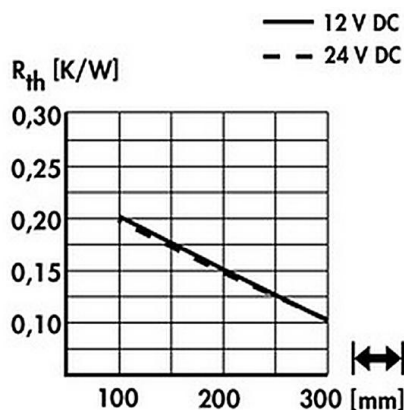
- termoelektrický modul – v tomto případě se bude jednat o provoz v režimu generátoru (TEG),
- mezikus horké strany modulu;
- chladič studené strany modulu,
- tepelný výměník – slouží k přenosu tepla z horké látky (spaliny) do studené látky (okolní vzduch),
- ventilátor – zajišťuje nucenou konvekci přes chladič studené strany modulu a zároveň i přes tepelný výměník.

6.1 Konstrukce

Aby byl tento systém autonomní, je nutno tedy použít výše zmíněný (kap. 4) termoelektrický modul *TEG 127-250-38* v režimu generátoru. Už zde bylo zmíněno, že pro dostatečné napájení ventilátoru budou použity dva termoelektrické generátory a to v zapojení sériovém. Volba zdroje elektrické energie je proto považována za hotovou.

Další důležitou dílčí částí celé soustavy je mezikus horké strany termoelektrického generátoru. Tento mezikus by měl být ideálně umístěn na takovém místě, na kterém se soustřeďuje největší tepelná energie (tepelný tok),

Jednotlivé parametry tohoto chladiče jsou uvedeny v tab. 7. Délka tohoto chladiče byla zvolena záměrně z důvodu zmenšení tepelného odporu, ale také z důvodu větší plochy pro umístění dvou termoelektrických generátorů. Z toho vyplývá, že tepelný odpor chladiče je závislý na délce a také na použitém ventilátoru (obr. 25).



Obr. 25 Závislost tepelného odporu chladiče LA 6 na délce a použitém ventilátoru [20]

Tab. 7 Technické parametry hliníkového chladiče fisherelektronik LA 6 [20]

| Parametry chladiče LA 6 studené strany modulu | | |
|---|---------|----------|
| Veličina | Hodnota | Jednotka |
| Délka | 150 | mm |
| Šířka | 62 | mm |
| Výška | 74 | mm |
| Tepelný odpor | 0,175 | K/W |
| Materiál | Al | |

Pro úplnost je zde nutno popsat vztah mezi tepelným odporem mezikusu horké strany generátoru, tepelným odporem chladiče studené strany generátoru a tepelným odporem samotného generátoru. Tyto všechny jmenované odpory se dosadí do vztahu uvedeného níže (34), ze kterého se určí bezrozměrná veličina m (tepelný koeficient). Tato bezrozměrná veličina je však závislá na výstupním generovaném elektrickém výkonu, na tepelném toku ale také i na výsledné účinnosti modulu. Z obr. 26 je patrné, že by se tento koeficient měl ideálně rovnat nebo být větší než hodnota 1:

$$m = \frac{R_{TEG,th}}{HSR + CSR} \quad [\geq 1], \quad (34)$$

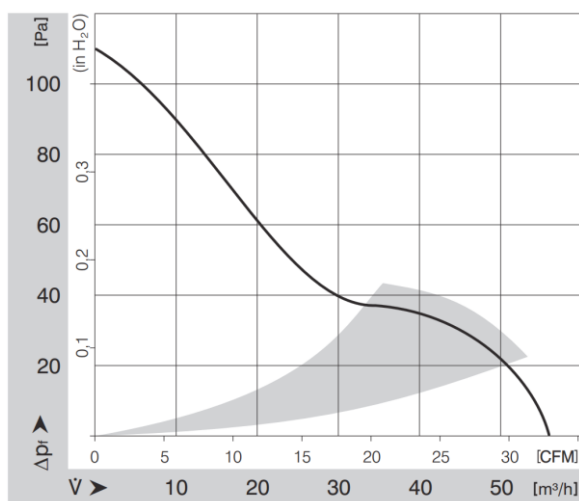
kde:

| | | |
|--------------|------------|---|
| m | $[\geq 1]$ | tepelný koeficient |
| $R_{TEG,th}$ | [K/W] | tepelný odpor termoelektrického modulu |
| HSR | [K/W] | tepelný odpor mezikusu horké strany modulu |
| CSR | [K/W] | tepelný odpor chladiče studené strany modulu. |

Tab. 8 Technické parametry axiálního ventilátoru Emb-papst 612 NHH-118 [22]

| Parametry ventilátoru 612 NHH-118 | | |
|-----------------------------------|---------|-------------------|
| Veličina | Hodnota | Jednotka |
| Výška x šířka | 60 x 60 | mm |
| Hloubka | 25 | mm |
| Typ napětí | DC | |
| Jmenovité napětí | 12 | V |
| Napěťový provozní rozsah | 6–15 | V |
| Otáčky | 6800 | min ⁻¹ |
| Příkon | 2,9 | W |
| Rozsah provozních teplot | -20–70 | °C |
| Objemový průtok vzduchu | 56 | m ³ /h |
| Hlučnost | 41 | dB |

Na obr. 29 je znázorněna tlaková charakteristika. Z této závislosti lze vyčíst hodnotu tlaku naprázdno při nulovém objemovém průtoku vzduchu. Dosahuje hodnoty 110 Pa, která je pro provoz plně postačující. Pro případné zvýšení tlaku ventilátoru bychom museli použít zřejmě ventilátor radiální, který je znám většími tlaky, ale naopak i menším průtokem. Z důvodu toho, že byl výše uvedený axiální ventilátor součástí hliníkového chladiče studené strany generátoru, bude použit právě on.



Obr. 29 Tlaková charakteristika ventilátoru 612 NHH-118 s vyznačeným pracovním bodem [22]

Předposlední konstrukční dílčí částí celkové soustavy je křížový tepelný výměník. Dle všech zadaných a vypočtených hodnot v kap. 5 byla sestrojena grafická podoba reálného tepelného výměníku v programu *SolidWorks* včetně vyznačení proudění jednotlivých médií (obr. 30). Hlavním požadavkem při výrobě je zhotovit tuto část z nerezové oceli, aby nedocházelo k případné korozi materiálu vlivem působení spalin a okolních podmínek.

izolujícími měniči, bez transformátorů jsou označovány jako neizolující měniče. Pronaši problematiku není potřeba oddělovat výstup měniče od jeho vstupu“ [8].

Typy jednotlivých neizolujících stejnosměrných (DC/DC) měničů se dělí na:

- buck nebo step-down (snižovač napětí),
- boost nebo step-up (zvyšovač napětí),
- buck-boost (zvyšuje i snižuje napětí),
- neinvertující buck-boost,
- Ćuk (zvyšuje i snižuje napětí),
- SEPIC (zvyšuje i snižuje napětí).

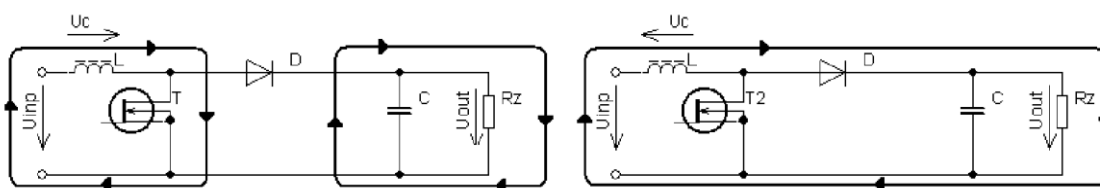
Dalším známým typem stejnosměrného měniče může být také H-můstek apod. Vodicím parametrem pro volbu typu měniče je také přenosová funkce, tj. poměr konverze. Přenos u jednotlivých zapojení závisí na hodnotě střídavy.

Tab. 9 Přenosové funkce vybraných neizolujících stejnosměrných měničů [7]

| Typ měniče | Přenosová funkce |
|----------------------------|------------------|
| buck | s |
| boost | $\frac{1}{1-s}$ |
| buck - boost | $-\frac{s}{1-s}$ |
| neinvertující buck - boost | $\frac{s}{1-s}$ |
| Ćuk | $-\frac{s}{1-s}$ |
| SEPIC | $\frac{s}{1-s}$ |

Protože požadujeme, aby bylo výstupní napětí vyšší než vstupní, je nutno vybrat pro správnou funkci ventilátoru zvyšující (boost) stejnosměrný měnič napětí. V této práci bude sestrojena dvojice zvyšujících měničů (kap. 6.3.1, 6.3.2) a dále pořízena další dvojice z komerčně dostupných zvyšujících měničů jako celek (kap. 6.3.3, 6.3.4). Celá čtveřice těchto převodníků bude podrobena zatěžovací zkoušce a výsledkem z tohoto experimentálního měření (obr. 45) budou zatěžovací charakteristiky. Dle těchto charakteristik se poté vyhodnotí nejhodnější zvyšující stejnosměrný měnič napětí, který se pro danou aplikaci použije.

„Princip zvyšujícího měniče lze popsat pomocí obr. 34. Měnič pracuje ve dvou cyklech. V prvním cyklu je tranzistor sepnutý a proud teče pouze jím a cívkou. V druhé fázi se tranzistor rozezne. Cívka se tak stává zdrojem energie zapojeným do série spolu s napájecím zdrojem. Proud teče ze vstupního zdroje přes cívku, na které se zánikem jejího magnetického pole obrátila polarita, napětí o vyšší hodnotě než vstupní teče přes diodu do zátěže“ [24].



Obr. 34 Zapojení zvyšujícího měniče popisující princip činnosti [24]

V následujících čtyřech kapitolách se zde uvedou různé varianty stejnosměrných zvyšujících měničů daných pro tuto aplikaci. Poté se zvolí optimální varianta.

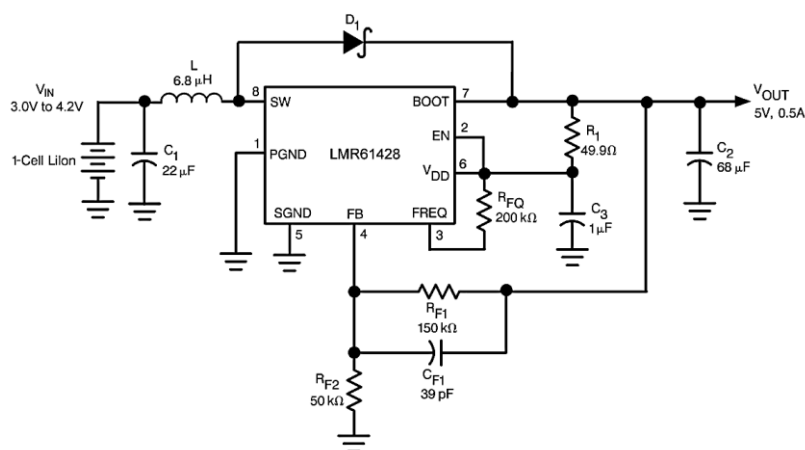
6.3.1 LMR61428

První volbou stejnosměrného měniče napětí byl typ *LMR2623* od výrobce *Texas Instruments*. Jedná se o zvyšující měnič, který byl nalezen dle parametrů především vstupních a výstupních napětí, které bude dodávat termoelektrický generátor popřípadě potřebovat axiální ventilátor ke svému stálému provozu. Dalším důležitým parametrem byl také maximální spínací proud, který při nízkém vstupním napětí a vysokém požadavku na výkon bude vysoký. Parametr neboli informace, která je při této aplikaci velmi důležitá se nazývá dle výrobce *Special Features: Enable*, tj. že tento zvyšující měnič napětí obsahuje interní speciální funkce. Nejdůležitější parametry tohoto obvodu jsou vypsány v tab. 10, přičemž zbylé parametry včetně různých závislostí účinnosti lze vyčíst z datasheetu, viz [25].

Tab. 10 Parametry zvyšujícího DC/DC měniče LMR61428 [25]

| Parametry LMR61428 | | |
|-------------------------------------|---------|----------|
| Veličina | Hodnota | Jednotka |
| Vstupní napětí | 1,2-14 | V |
| Výstupní napětí (nastavitelné) max. | 14 | V |
| Spínací proud max. | 2,85 | A |
| Spínací frekvence tranzistoru max. | 2 | MHz |
| Účinnost max. | 90 | % |
| Pouzdro | 8VSSOP | |

Nedílnou součástí každého takového obvodu stejnosměrného měniče musí být základní schéma zapojení periferních elektronických součástek. Proto nestačí pořídit samotný obvod jako takový, ale pro plnou funkčnost je potřeba tyto periferní součástky vhodně spojit s obvodem. Na obr. 35 je znázorněno typické zapojení obvodu *LMR61428*. Toto zapojení obsahuje čtyři hlavní součásti zvyšujícího měniče. Jedná se o vstupní cívku, o diodu, o výstupní kondenzátor a poslední částí je spínací prvek, který je v tomto případě obsažen přímo v integrovaném obvodu.



Obr. 35 Typické zapojení obvodu LMR61428 [25]

Na výše uvedeném obrázku si lze však všimnout, že se výstupní napětí nerovná našemu požadavku, který je 12 V. Toto napětí lze podle tab. 10 upravit až na hodnotu 14 V. Úprava spočívá v nastavení zpětnovazebních rezistorů R_{F1} a R_{F2} , respektive ve změně těchto hodnot. Doporučená hodnota pro rezistor R_{F1} je dle technického listu výrobce 150 kΩ. Pro určení rezistoru R_{F2} je nutno dosadit do vztahu (49) hodnotu požadovaného výstupního napětí a hodnotu rezistoru R_{F1} . Hodnota 130 kΩ pro rezistor R_{F1} byla úmyslně zvolena tak, aby rezistor R_{F2} zapadal do odporové řady E24. Výpočet je tedy dán vztahem:

$$R_{F2} = \frac{R_{F1}}{\left(\frac{V_{OUT}}{1,24} - 1\right)} = \frac{130000}{\left(\frac{12}{1,24} - 1\right)} \approx \mathbf{15 \text{ k}\Omega}, \quad (49)$$

kde:

| | | |
|-----------|-----|-------------------------|
| R_{F1} | [Ω] | zpětnovazební rezistor |
| R_{F2} | [Ω] | zpětnovazební rezistor |
| V_{OUT} | [V] | žádané výstupní napětí. |

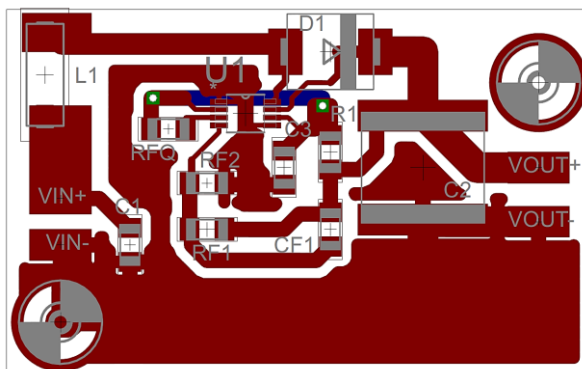
Dalším důležitým faktorem pro tento obvod je maximální možný poměr mezi vstupním a výstupním napětím. Tento zvyšující poměr je dán vnitřním oscilátorem a přesněji vztahem:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{1}{0,3'} \quad (50)$$

kde:

| | | |
|----------|-----|-----------------|
| V_{IN} | [V] | vstupní napětí. |
|----------|-----|-----------------|

Všechny tyto elektronické prvky (typ SMD) byly dle typického zapojení vloženy a poskládány do programu Eagle, ve kterém byla vygenerována deska plošných spojů (obr. 36). Celá samotná deska má poněkud malé rozměry, přesněji cca 48 x 30 mm.



Obr. 36 LMR61428 - Pohled ze strany součástek desky plošného spoje

Následně bylo nutno z této vygenerované desky vytvořit fotocestou desku reálnou (obr. 37). Zde si lze všimnout rozdílné hodnoty vstupní cívky typického zapojení obvodu a reálného zapojení.



Obr. 37 LMR61428 - Reálná deska plošného spoje včetně součástek

Takto zkonstruovaná deska plošného spoje je schopna provozu a při přivedení vstupního napětí by měla generovat napětí výstupní. Samozřejmě musíme brát v úvahu zvyšující poměr mezi vstupem a výstupem (50). Při vstupním napětí, v našem případě 2 V, by výstupní napětí mělo dosáhnout hodnoty 6 V, tudíž pak ventilátor dosahuje polovičních jmenovitých otáček. Pro dosažení otáček jmenovitých je nutno dodat na vstup zvyšujícího měniče napětí alespoň napětí o hodnotě 4 V (při zachování zvyšujícího poměru), které by bylo vygenerováno větším rozdílem teplot horké a studené strany termoelektrického generátoru.

Poslední dílčí částí této desky se zvyšujícím měničem napětí je chladič samotného spínacího prvku, tudíž obvodu *LMR61428*. Ten byl dodatečně zkonstruován z hliníkového materiálu a pevně přichycen. Na obr. 37 nebyl tento chladič úmyslně znázorněn z důvodu znázornění samotného obvodu.

6.3.2 LM2623

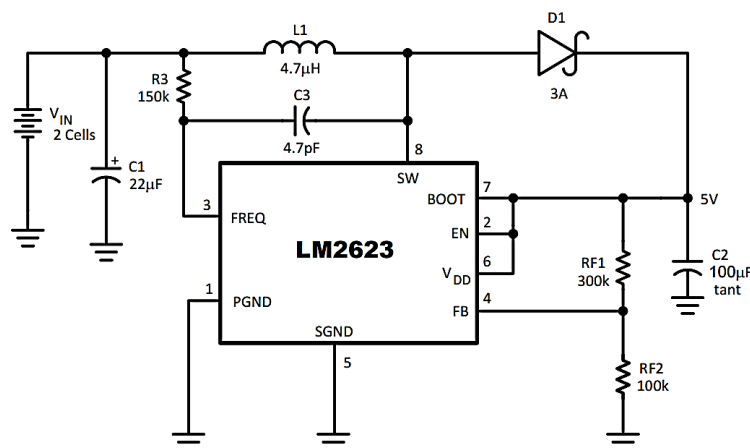
Druhým zvoleným testovacím obvodem stejnosměrného zvyšujícího měniče napětí byl také typ od výrobce *Texas Instruments*, přesněji *LM2623*. Oproti předchozímu výše uvedenému obvodu má lepší vlastnosti v hodnotách vstupního

napětí, ale naopak menší spínací proud, což může způsobovat přehřívání samotného obvodu. *LM2623* se dodává ve dvou různých pouzdrech, tudíž je možno vybrat mezi dvěma, v našem případě byla vybrána jednodušší varianta pouzdra *8VSSOP*. V tab. 11 jsou vybrány ty nejdůležitější parametry, detailnější jsou uvedeny v technickém listu k obvodu, viz [26].

Tab. 11 Parametry zvyšujícího DC/DC měniče *LM2623* [26]

| Parametry LM2623 | | |
|-------------------------------------|----------------|----------|
| Veličina | Hodnota | Jednotka |
| Vstupní napětí | 0,8–14 | V |
| Výstupní napětí (nastavitelné) max. | 14 | V |
| Spínací proud max. | 2 | A |
| Spínací frekvence tranzistoru max. | 2 | MHz |
| Účinnost max. | 90 | % |
| Pouzdro | 8VSSOP, 14WSON | |

Stejně jako u obvodu *LMR61428* je i zde potřeba určitých periferních elektronických prvků. Tyto prvky budou v každém stejnosměrném měničích napětí podobné, protože vycházíme vždy ze základního zapojení zvyšujícího měniče (obr. 34).



Obr. 38 Typické zapojení obvodu *LM2623* [26]

V typickém zapojení si opět lze všimnout výstupního napětí 5 V. Tato hodnota byla upravena rezistory R_{F1} a R_{F2} . V technickém listu k tomuto obvodu je dána doporučená hodnota rezistoru R_{F2} v intervalu 50 k Ω až 100 k Ω . Proto byl zvolen rezistoru o hodnotě 51 k Ω a poté přepočítána hodnota rezistoru R_{F1} tak, aby výstupní napětí odpovídalo požadovanému napájecímu pro axiální ventilátor, tj. 12 V. Výpočet je dán vztahem:

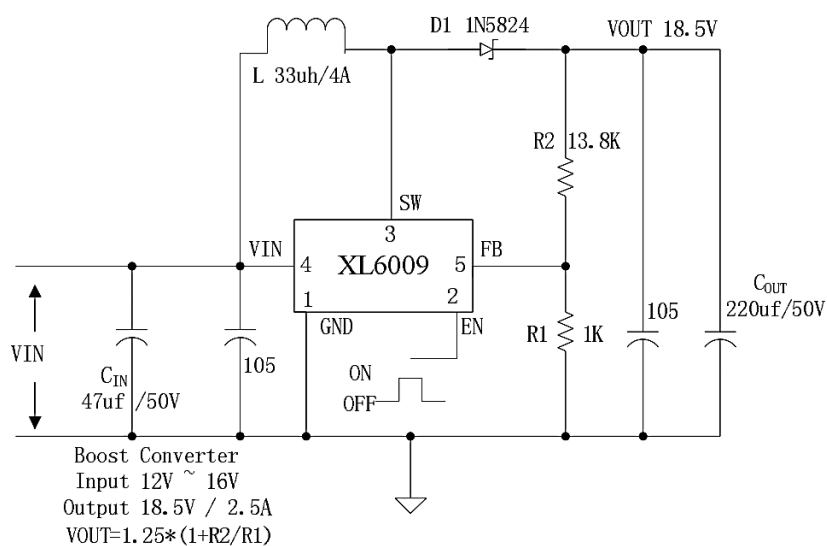
$$R_{F1} = R_{F2} \cdot \left(\frac{V_{OUT}}{1,24} - 1 \right) = 51000 \cdot \left(\frac{12}{1,24} - 1 \right) \approx 430 \text{ k}\Omega. \quad (51)$$

Dle návrhu výše byla navržena deska plošných spojů. Zde jde o princip stejný jako u předchozího popisovaného obvodu. Na obr. 40 je pak znázorněna reálná

Tab. 12 Parametry zvyšujícího DC/DC měniče XL6009 [27]

| Parametry XL6009 | | |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Veličina | Hodnota | Jednotka |
| Vstupní napětí | 3-32 | V |
| Výstupní napětí (nastavitelné) max. | 60 | V |
| Spínací proud max. | 4 | A |
| Spínací frekvence tranzistoru max. | 400 | kHz |
| Účinnost max. | 94 | % |
| Pouzdro | TO263-5L | |

U obvodu *XL6009* se hodnota výstupního napětí nastavuje interním odporovým trimrem, který v typickém zapojení (obr. 41) nahrazuje rezistor R_1 a R_2 . Plynule lze takto jednoduše nastavit požadované výstupní napětí.



Obr. 41 Typické zapojení obvodu XL6009 [27]



Obr. 42 XL6009 - Reálná deska plošného spoje včetně součástek

Reálná deska plošného spoje (43 x 21 mm) tohoto typu měniče byla pořízena na serveru *eBay*. Jde tedy o poněkud velmi levnou záležitost z hlediska finanční náročnosti na pořízení. Kdyby tento konkrétní měnič vykazoval dobré experimentální výsledky měření, byl by zřejmě nejlepší volbou po stránce tzv. poměr cena/výkon. Je tu ale omezení, jak už bylo řečeno výše, ve vyšší minimální hodnotě vstupního napětí pro start obvodu.

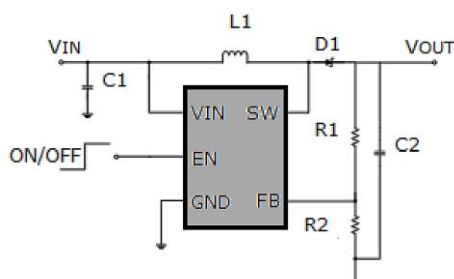
6.3.4 MT3608

Posledním typem obvodu vhodným pro tuto aplikaci je obvod *MT3608* od výrobce *AEROSEMI*. V tomto případě jde o další komerčně dostupnou kompletní desku z čínského trhu. Když bychom porovnali maximální spínací proud 2 A a rozměry samotného obvodu, bude nejspíš docházet k přehřívání. Na druhou stranu dle tab. 13 dosahuje obvod velmi velké účinnosti. Závislosti účinnosti na výstupním proudu a jiné detailnější parametry jsou podrobněji uvedeny v [28].

Tab. 13 Parametry zvyšujícího DC/DC měniče *MT3608* [28]

| Parametry MT3608 | | |
|-------------------------------------|---------|----------|
| Veličina | Hodnota | Jednotka |
| Vstupní napětí | 2–24 | V |
| Výstupní napětí (nastavitelné) max. | 28 | V |
| Spínací proud max. | 2 | A |
| Spínací frekvence tranzistoru max. | 1,2 | MHz |
| Účinnost max. | 97 | % |
| Pouzdro | SOT23-6 | |

Na obr. 43 je znázorněno typické zapojení obvodu *MT3608*. Výrobce zde však neudává jednotlivé hodnoty k samotným elektronickým prvkům okolo obvodu. Víme naopak, že rezistory R_1 a R_2 jsou nahrazeny odporovým trimrem pro regulaci výstupního napětí 2–24 V.



Obr. 43 Typické zapojení obvodu *MT3608* [28]

Ke všem třem výše uvedeným obvodům byla znázorněna deska plošných spojů, tudíž nebude chybět i k tomuto obvodu. Deska jako celek byla nejmenší ze všech zde uvedených. Přesné rozměry proto jsou 36 x 17 mm.

Ze čtveřice uvedených obvodů DC/DC zvyšujících měničů bylo nutno především dle teplotního a stabilního hlediska určit nejvhodnější obvod pro tuto aplikaci. V tab. 14 níže jsou uvedeny hlavní výhody, či nevýhody. Dle těchto uvedených kladů a záporů byl vybrán obvod **LMR41628**. Obvod dosahuje především optimálních teplot a je poměrně tvrdým zdrojem. Jediná nevýhoda spočívá v omezení zvyšujícího poměru měniče, avšak námi instalovaný ventilátor se bez problému rozběhne. Při vyšším vstupním napětí toto omezení lze zanedbat.

Tab. 14 Porovnání uvedených DC/DC měničů – výhody, nevýhody

| | + | - |
|-----------------|--|---|
| LMR61428 | optimální teplota v zátěži, tvrdší zdroj | omezeno zvyšujícím poměrem |
| LM2623 | - | nestabilita, potřeba většího U_{IN} , vysoká teplota v zátěži |
| XL6009 | nízká teplota v zátěži, tvrdý zdroj | minimální $U_{IN} = 3\text{ V}$ |
| MT3608 | tvrdý zdroj | příliš vysoká teplota v zátěži |

6.4 Celkové sestavení

Na základě návrhu (obr. 31) a modelu samotného tepelného výměníku v kap. 5 byl zkonstruován reálný tepelný výměník (obr. 50). Jak už bylo řečeno výše, použitým materiálem pro tuto realizaci byla nerezová ocel. Jednotlivé dílčí části byly dle technické dokumentace vyřezány laserovým paprskem a to z důvodu dosažení velmi vysoké přesnosti. Spojení částí pak probíhalo v domácím prostředí technologií svařování TIG.



Obr. 50 Reálná podoba navrženého tepelného výměníku

Tab. 15 Naměřené a vypočtené hodnoty experimentálního měření

| T_{spalin} [°C] | T_{h-TEG} [°C] | T_{c-TEG} [°C] | ΔT_{TEG} [°C] | U_{IN} [V] | I_{IN} [A] | P_{IN} [W] | U_{OUT} [V] | t [min] | POZN. |
|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------|---------------------------------------|
| 13 | 13,7 | 13,7 | 0,0 | 0,005 | 0 | 0 | - | 0 | $T_{AMB} = 13\text{ °C}$ |
| 55 | 14,2 | 13,7 | 0,5 | 0,018 | 0,001 | 0 | - | 2 | |
| - | 16,4 | 14,4 | 2,0 | 0,225 | 0,002 | 0 | - | 4 | |
| 180 | 19,5 | 16,0 | 3,5 | 0,413 | 0,008 | 0,003 | - | 6 | |
| - | 22,4 | 17,5 | 4,9 | 0,551 | 0,012 | 0,007 | 0,45 | 8 | |
| 187 | 26,0 | 20,0 | 6,0 | 0,680 | 0,022 | 0,015 | - | 10 | |
| - | 30,6 | 23,9 | 6,7 | 0,760 | 0,024 | 0,018 | - | 12 | |
| 203 | 35,5 | 28,6 | 6,9 | 0,787 | 0,024 | 0,019 | 0,68 | 14 | |
| 238 | 41,3 | 34,3 | 7,0 | 0,814 | 0,024 | 0,020 | - | 16 | |
| 249 | 47,0 | 40,0 | 7,0 | 0,798 | 0,026 | 0,021 | - | 18 | |
| - | 57,0 | 50,0 | 7,0 | 0,836 | 0,028 | 0,023 | - | 20 | |
| - | 65,0 | 53,0 | 12,0 | 1,350 | 0,031 | 0,042 | - | 22 | |
| - | 64,1 | 50,2 | 13,9 | 1,560 | 0 | 0 | - | 24 | |
| - | 62,2 | 46,5 | 15,7 | 1,770 | 0 | 0 | - | 26 | |
| 247 | 60,3 | 43,8 | 16,5 | 1,850 | 0 | 0 | - | 28 | |
| - | 55,5 | 39,1 | 16,4 | 1,840 | 0 | 0 | - | 30 | Úprava ext. zdroje - 6V |
| 272 | 56,0 | 41,6 | 14,4 | 1,640 | 0 | 0 | - | 32 | |
| 246,2 | 60,4 | 45,0 | 15,4 | 1,740 | 0 | 0 | - | 34 | |
| 313 | 65,8 | 48,3 | 17,5 | 2,010 | 0 | 0 | - | 36 | |
| - | 67,9 | 49,7 | 18,2 | 2,110 | 0 | 0 | - | 38 | Vent. připojen na DC/DC |
| - | 78,5 | 59,5 | 19,0 | 1,920 | 0,350 | 0,672 | 5,47 | 40 | |
| - | 79,9 | 60,5 | 19,4 | 1,890 | 0,340 | 0,643 | 5,36 | 42 | |
| 280 | 78,5 | 60,7 | 17,8 | 1,790 | 0,310 | 0,555 | 5,00 | 44 | |
| - | 80,5 | 61,4 | 19,1 | 1,890 | 0,350 | 0,662 | 5,49 | 46 | |
| 264,6 | 83,3 | 62,7 | 20,6 | 2,040 | 0,400 | 0,816 | 5,99 | 48 | |
| 256,9 | 81,7 | 62,5 | 19,2 | 1,860 | 0,330 | 0,614 | 5,25 | 50 | |
| 263,1 | 82,3 | 63,3 | 19,0 | 1,840 | 0,320 | 0,589 | 5,13 | 52 | $T_{kouřovod} = 237\text{ °C}$ |
| - | 85,0 | 65,5 | 19,5 | 1,860 | 0,330 | 0,614 | 5,25 | 54 | |
| 325 | 89,4 | 67,8 | 21,6 | 2,120 | 0,430 | 0,912 | 6,39 | 56 | Nucené provzdušňování ohně v kotli |
| 313 | 91,1 | 68,3 | 22,8 | 2,190 | 0,460 | 1,007 | 6,69 | 58 | |
| 310 | 90,6 | 66,9 | 23,7 | 2,220 | 0,480 | 1,066 | 6,74 | 60 | Ukončení experimentu |
| 256 | 89,8 | 66,0 | 23,8 | 2,160 | 0,450 | 0,972 | 6,45 | 62 | |
| - | 86,1 | 65,1 | 21,0 | 2,040 | 0,400 | 0,816 | 5,99 | 64 | |
| 231 | 81,4 | 63,3 | 18,1 | 1,780 | 0,300 | 0,534 | 4,87 | 66 | |
| 222 | 76,9 | 61,0 | 15,9 | 1,590 | 0,220 | 0,350 | 4,20 | 68 | |
| 222 | 77,3 | 63,4 | 13,9 | 1,460 | 0,040 | 0,058 | 4,10 | 70 | |

Experiment byl ukončen přesně po jedné hodině od počátečního zatopení v kamnech. Pokud si ale všimneme rozdílné průměrné teploty spalin T_{spalin} a maximální teploty teplé strany modulů T_{h-TEG} , došlo přinejmenším k předčasnému ukončení před kompletním prohřátím mezikusy (velká tepelná kapacita), přičemž časová konstanta ohřevu τ byla spočtena až dodatečně po měření, s výsledkem cca $\tau = 1900$ s. Z tohoto výpočtu a experimentálního měření je nutno dodat, že měření mělo být podrobena alespoň dvojnásobnému času kustálání všech teplot. Dalším možným nedostatkem měření byl velký kontaktní tepelný odpor mezi kouřovodem a mezikusem.

10 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Seebeckovy koeficienty nejpoužívanějších materiálů [7]..... | 13 |
| Tab. 2 Pracovní teploty termoelektrických polovodičových materiálů [3]..... | 19 |
| Tab. 3 Parametry termoelektrického modulu TEG 127-175-26 [16]..... | 24 |
| Tab. 4 Parametry termoelektrického modulu TEG 127-250-38 [17]..... | 26 |
| Tab. 5 Výpočet parametrů modulu TEG 127-250-38 ze zadaných hodnot | 27 |
| Tab. 6 Výpočet výkonnosti tepelného výměníku dle zadaných hodnot..... | 33 |
| Tab. 7 Technické parametry hliníkového chladiče fisherelektronik LA 6 [20]..... | 36 |
| Tab. 8 Technické parametry axiálního ventilátoru Emb-papst 612 NHH-118 [22] | 40 |
| Tab. 9 Přenosové funkce vybraných neizolujících stejnosměrných měničů [7]..... | 44 |
| Tab. 10 Parametry zvyšujícího DC/DC měniče LMR61428 [25]..... | 45 |
| Tab. 11 Parametry zvyšujícího DC/DC měniče LM2623 [26] | 48 |
| Tab. 12 Parametry zvyšujícího DC/DC měniče XL6009 [27] | 50 |
| Tab. 13 Parametry zvyšujícího DC/DC měniče MT3608 [28]..... | 51 |
| Tab. 14 Porovnání uvedených DC/DC měničů – výhody, nevýhody | 56 |
| Tab. 15 Naměřené a vypočtené hodnoty experimentálního měření..... | 60 |

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] BRÁZDIL, M. *Peltierovy články pro výrobu elektrické energie*. Brno, 2011, 69 s. . Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [2] LOKAJ, J. *Termoelektrický generátor malého výkonu*. Brno, 2013, 73 s. . Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Marian Brázdil.
- [3] ROWE, D.M. *Thermoelectrics handbook: macro to nano*. Boca Raton: CRC/Taylor, 2006, 1014 s. ISBN 08-493-2264-2.
- [4] Ferrotec. In: *Thermoelectric Technical Reference - Introduction to Thermoelectric Cooling* [online]. c2001-2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <https://www.ferrotec.com/technology/thermoelectric/thermalRef01/>
- [5] REICHL, J. a M. VŠETIČKA. Encyklopedie fyziky. In: *Seebeckův jev* [online]. 2009 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/index.php/main.article/view/910-seebeckuv-jev>
- [6] GOLDSMID, H. *Introduction to thermoelectricity*. New York: Springer, 2010, 242 s. ISBN 9783642007156.
- [7] MOLAN, Li. *Thermoelectric-Generator-Based DC DC Conversion Network for Automotive Applications: Master of Science Thesis*. Stockholm, Sweden, 2011.
- [8] ŠTĚTINA, J. *Termoelektrický generátor*. Brno, 2012, 50 s. . Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Radek Vlach, Ph.D.
- [9] ROWE, D.M. *CRC handbook of thermoelectrics*. 1st ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995, 701 s. ISBN 978-0849301469.
- [10] Micropelt. In: *Thermogenerators* [online]. c2006-2015 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.micropelt.com/>
- [11] thermalforce.de. In: *Thermogeneratoren* [online]. c2006-2015 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://thermalforce.de/>
- [12] MCCARTY, R. In: *Optimized, Low ΔT Thermoelectric Energy Harvesters for Water, Air or Solid Heat Sources and Sinks: sensor expo & conference* [online]. Rosemont IL, 2011 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.sensorsmag.com/sensors-expo/symposium2optimizedlowthermoelectricenergyharvesters>
- [13] BRÁZDIL, M. *Peltierův článek pro chlazení malých výkonů*. Brno, 2009, 57 s. . Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [14] VLACH, R. *Tepelné procesy v mechatronických soustavách*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 94 s. ISBN 9788021439764.

-
- [15] HLAVAČKA, V. *Termická účinnost výměníků tepla*. 1. vyd. Praha: SNTL / Publikace St. výzkum. ústavu pro stavbu strojů, 1988, 132 s.
- [16] Thermalforce.de. In: *Thermo electric power generator TEG 127-175-26: datasheet* [online]. c2014 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://thermalforce.de/de/product/thermogenerator/TG127-175-26c.pdf>
- [17] Thermalforce.de. In: *Thermo electric power generator TEG 127-250-38: datasheet* [online]. c2014 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://thermalforce.de/de/product/thermogenerator/TG127-250-38h.pdf>
- [18] ÇENGEL, Yunus A, Robert H TURNER a John M CIMBALA. *Fundamentals of thermal-fluid sciences*. 3rd edition. Boston: McGraw-Hill, 2008, 1055 s. ISBN 9780071266314.
- [19] Magic Heat Reclaimer. In: [online]. c2015 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.magicheatreclaimer.com/magic-heat-reclaimers/>
- [20] Fischerelektronik. In: *Ventilátorový agregát s axiálním ventilátorem LA 6* [online]. c2015 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: http://www.fischerelektronik.de/web_fischer/cs/heatsinks/index.xhtml
- [21] E SIMONS, R. Electronics Cooling. In: *Estimating Parallel Plate-Fin Heat Sink Thermal Resistance* [online]. 2003 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.electronics-cooling.com/2003/02/estimating-parallel-plate-fin-heat-sink-thermal-resistance/>
- [22] Ebm-papst. In: *DC axial compact fan 612 NHH-118: datasheet* [online]. c2015 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://img.ebmpapst.com/products/datasheets/DC-axial-fan-612NHH118-ENG.pdf>
- [23] KOESTER, D. Electronic design. In: *Use Thermal Energy Harvesting To Supply Your Sensor's Power* [online]. 2011 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://electronicdesign.com/energy/use-thermal-energy-harvesting-supply-your-sensor-s-power>
- [24] TŘINÁCTÝ, J. *Termoelektrický generátor pro spalínový tah kotle*. Brno, 2013. . Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Marian Brázdil.
- [25] Texas Instruments. In: *LMR61428: datasheet* [online]. 2013 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmr61428.pdf>
- [26] Texas Instruments. In: *LM2623: datasheet* [online]. 2014 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2623.pdf>
- [27] XLSEMI. In: *XL6009: datasheet* [online]. c2015 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.xlsemi.com/datasheet/XL6009%20datasheet.pdf>
- [28] Aerosemi. In: *MT3608: datasheet* [online]. c2015 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.mikrocontroller.net/attachment/212877/MT3608.pdf>
-

12 Seznam příloh

Příloha A

Obrazová příloha – technická dokumentace k jednotlivým dílčím částem soustavy

Příloha B

CD s následujícími soubory:

model_vykonnostni_navrh_tepelneho_vymeniku_krizovy.m

výpočtový model tepelného výměníku v programu Matlab

priklad_vypoctu_odporu_chladice_paralelni_zebra.m

příklad výpočtu tepelného odporu chladiče s paralelními žebry v programu Matlab

Eagle_LMR61428.brd

návrh desky plošného spoje pro obvod LMR61428 v programu Eagle

Eagle_LM2623.brd

návrh desky plošného spoje pro obvod LM2623 v programu Eagle

Tepelny vymenik - technicka dokumentace.pdf

kompletní technická dokumentace jednotlivých částí navrženého tep. výměníku

Datasheet - TEG127-250-38.pdf

datasheet k použitému termoelektrickému generátoru TEG 127-250-38

Datasheet - DC axial fan 612NHH118.pdf

datasheet axiálního ventilátoru Emb-papst 612 NHH-118

Datasheet - DCDC LMR61428.pdf

datasheet k obvodu LMR61428

Datasheet - DCDC LM2623.pdf

datasheet k obvodu LM2623

Datasheet - DCDC XL6009.pdf

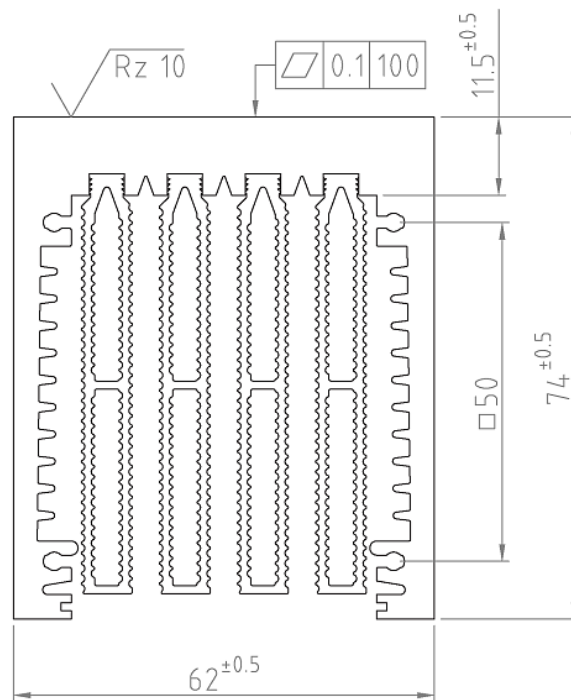
datasheet k obvodu XL6009

Datasheet - DCDC MT3608.pdf

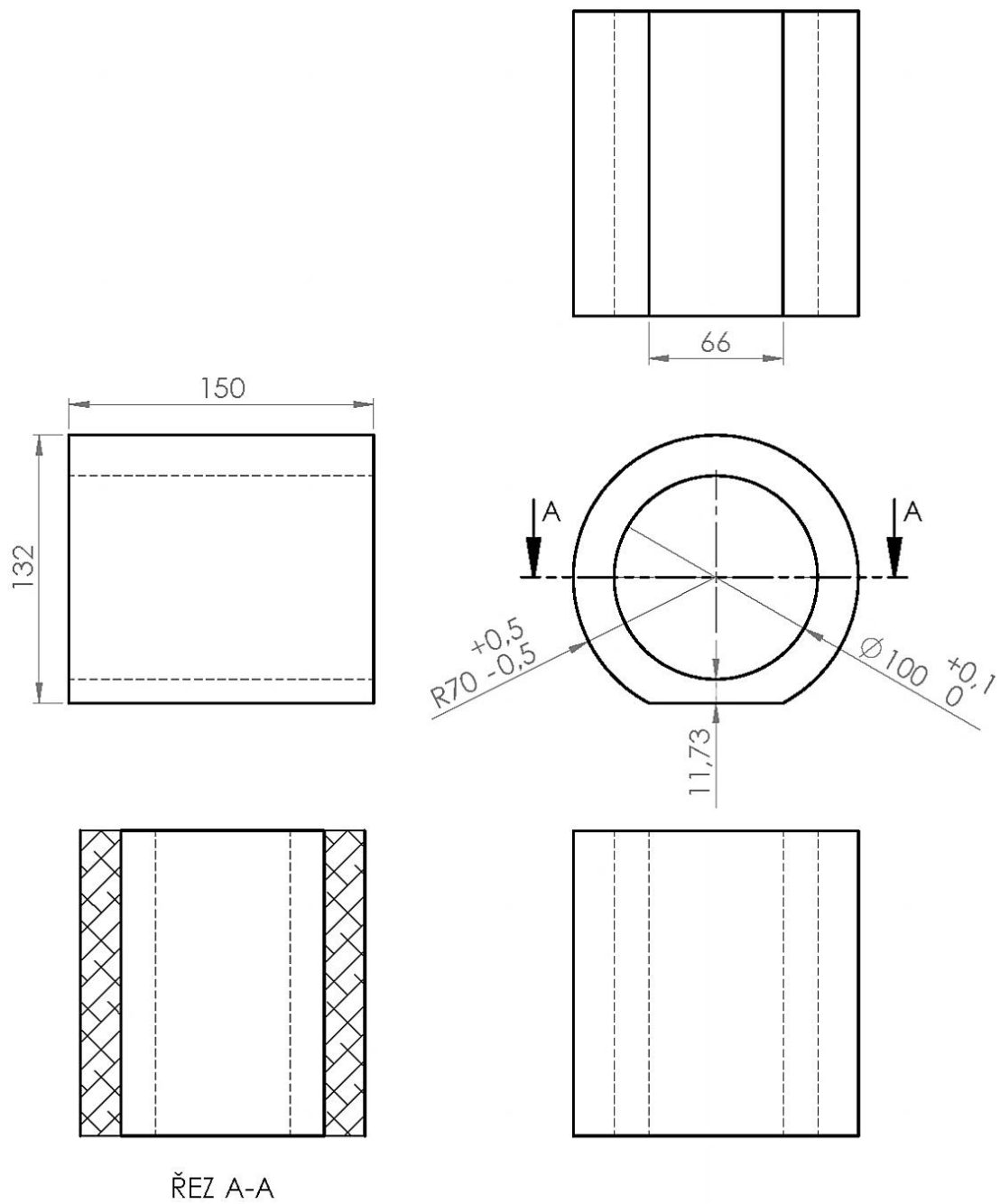
datasheet k obvodu MT3608

Příloha A

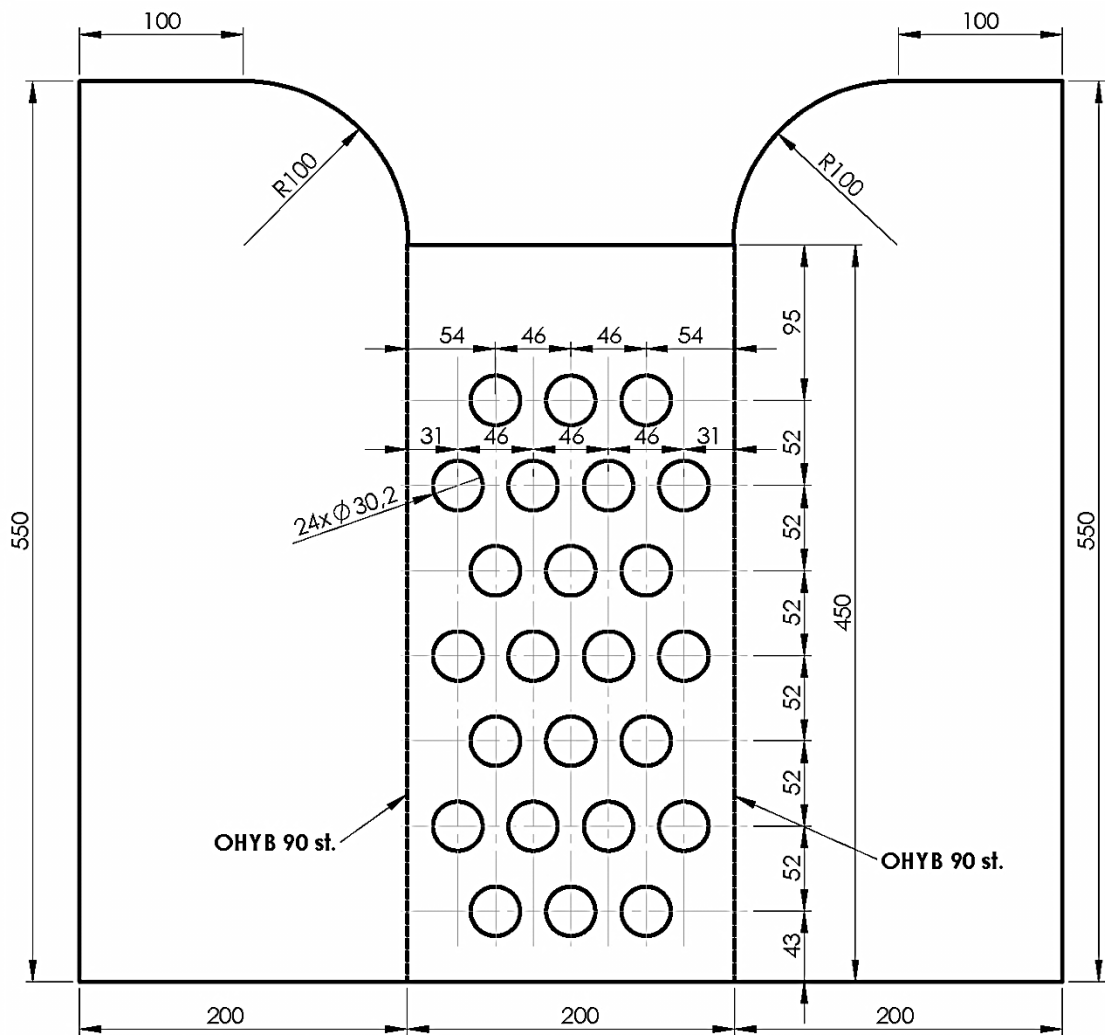
Obrazová příloha – technická dokumentace k jednotlivým dílům částem soustavy



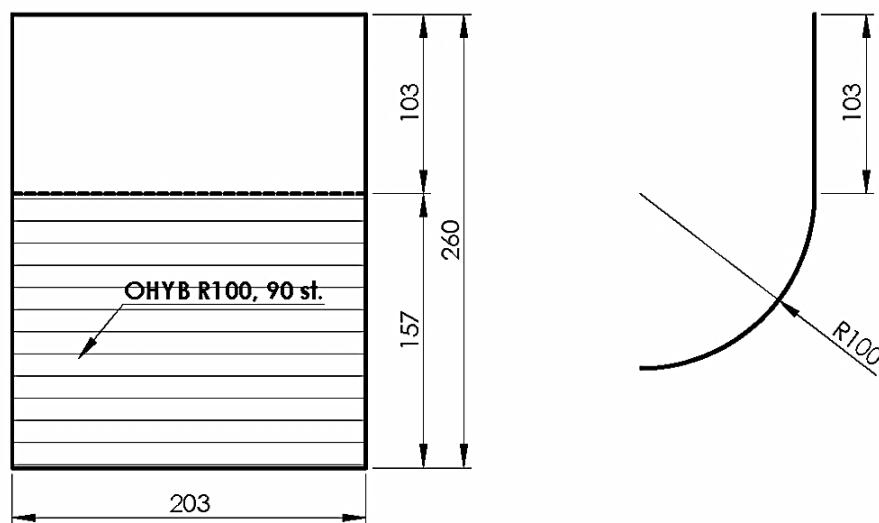
Obr. A1 Výkres včetně rozměrů chladiče studené strany generátoru, upraveno z [20]



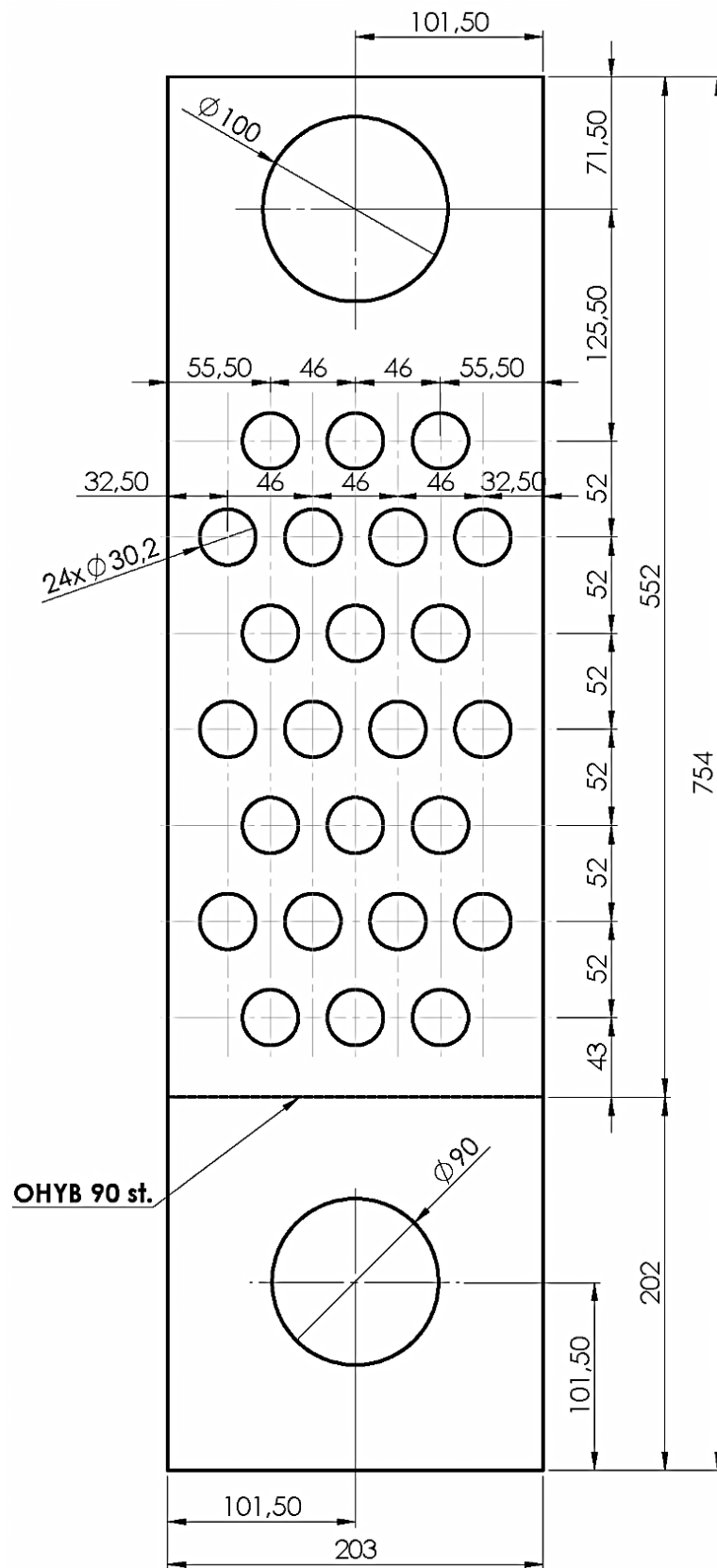
Obr. A2 Technický výkres hliníkového mezikusu na kouřovod – horká strana modulů



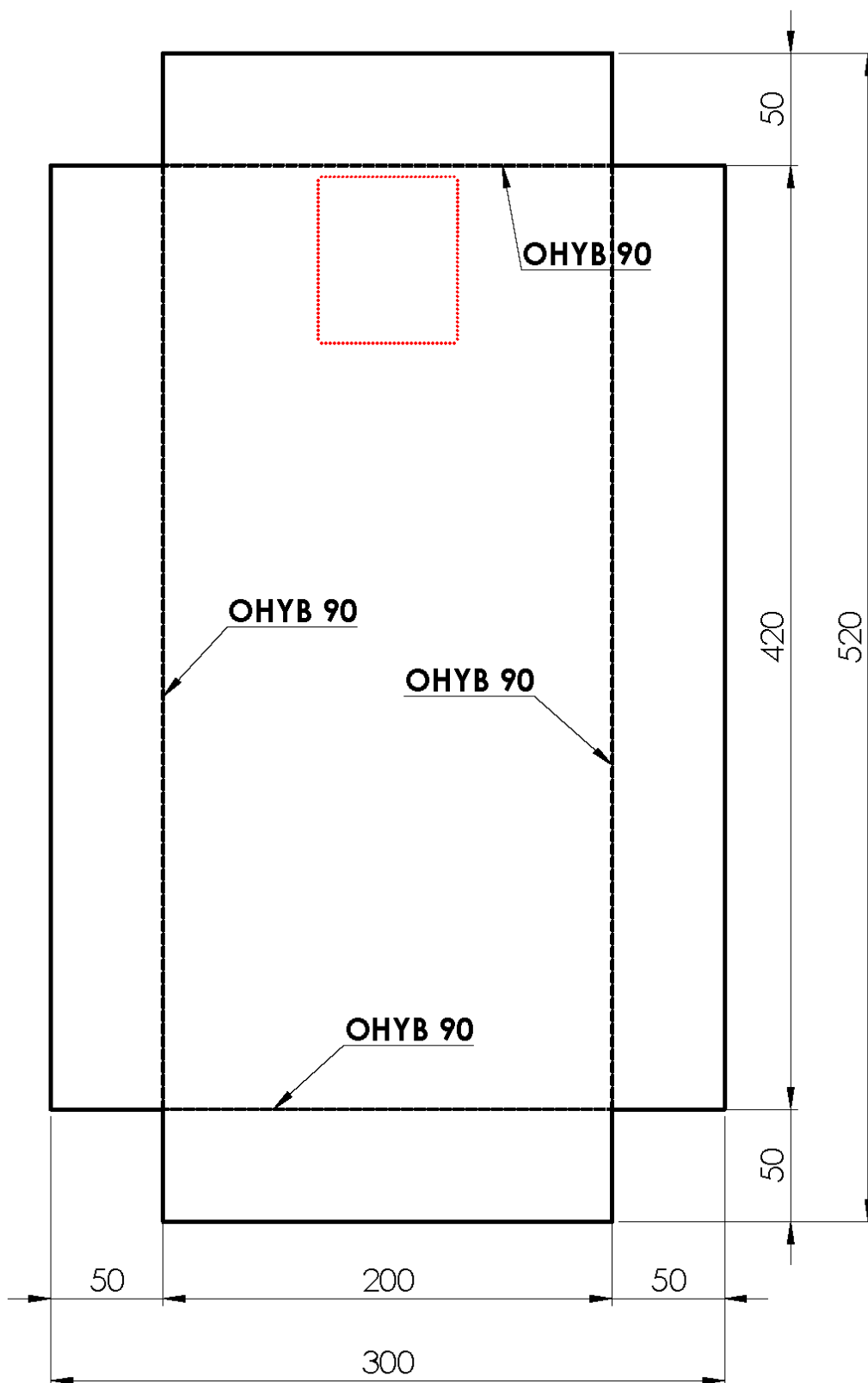
Obr. A3 Výkres rozloženého tvaru tepelného výměníku přední a boční části



Obr. A4 Rozměry horního víka tepelného výměníku



Obr. A5 Výkres rozloženého tvaru tepelného výměníku dolní a zadní části



Obr. A6 Výkres rozloženého tvaru vstupního víka pro tepelný výměník s naznačeným vstupním otvorem