



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

AKTIVNÍ CHLAZENÍ AUTOMOBILOVÉHO SVĚTLOMETU

ACTIVE COOLING SYSTEM OF AUTOMOBILE HEADLAMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Žlebek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Josef Štětina Ph.D.

BRNO 2020

## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Jan Žlebek</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	<b>Prof. Ing. Josef Štětina Ph.D</b>
Akademický rok:	2019/2020

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

### Aktivní chlazení automobilového světlometu

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Chlazení světelných zdrojů v automobilových světlometech je velmi aktuální problém i vzhledem k požadavku na co nejmenší rozměry. V současné době převažují řešení založené na pasivním přístupu, tedy pomocí chladičů a přirozené konvekce. Úkolem práce je udělat studii tohoto chlazení na bázi aktivního chlazení pomocí Peltierových článků.

#### Cíle bakalářské práce:

Zpracovat přehled současného stavu chlazení světelných zdrojů u automobilových světlometů. Analyzovat problém aktivního chlazení pro konkrétní typ světlometu. Zpracovat koncepční řešení včetně provedení základních tepelných bilančních výpočtů. Provést konstrukční řešení ve formě 3D návrhu sestavy. Zhodnocení výhod navrženého řešení.

#### Seznam doporučené literatury:

WÖRDENWEBER, Burkard. Automotive lighting and human vision. New York: Springer, 2007. ISBN 978-354-0366-966.

INCROPERA, Frank, DEWITT, David, BERGMAN, Theodore, LAVINE, Adrienne. Principles of heat and mass transfer. 7th ed., international student version. Singapore: John Wiley, 2013, xxiii, 1048 s. ISBN 978-0-470-64615-1.

CROLLA, David. Encyclopedia of automotive engineering. Chichester, West Sussex, United Kingdom, 2015. ISBN 978-0-470-97402-5

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/2020

V Brně, dne

L.S.

.....  
prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

ředitel ústavu

.....  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Hlavním cílem této bakalářské práce je navrhnout chlazení světlometu pomocí Peltierova článku. První kapitola má čtenáře seznámit se způsoby přenosu tepla. Dále se práce věnuje různým druhům chladičů a používaným plošným spojům. Ve třetí kapitole je popsán princip fungování Peltierova článku. Poslední část práce obsahuje návrh sestavy chladičů a konstrukční řešení upevnění dané sestavy v pouzdře.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Chladič, Peltierův článek, světlomet, LED

## **ABSTRACT**

The main goal of this bachelor thesis is to design the cooling of the headlamp by using a Peltier module. The first chapter is to acquaint the reader with the possibility of heat transfer. Further work is focused on various types of heatsinks and printed circuit board. The third part describes the principle of functions of Peltier's module. The last part of the work contains the design of the heatsink assembly and the design solution of fixing the cooling assembly in the housing.

## **KEYWORDS**

Cooler, heatsink, Peltier module, headlamp, LED

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽLEBEK, Jan. *Aktivní chlazení automobilového světlometu*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124212>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 41 s. Vedoucí práce Josef Štětina.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. června 2020

.....

Jméno a přímení

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat prof. Ing. Josefu Šetinovi, Ph.D. za odborné rady při vypracovávání bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Hella a jejím zaměstnancům RNDr. Marku Olivíkovi Ph.D. a Pavlu Žlebkoví za cenné připomínky a poskytnuté materiály.

## OBSAH

Úvod .....	9
1 Přenos tepla .....	10
1.1 Přenos tepla vedením – kondukce .....	10
1.2 Přenos tepla prouděním – konvekce .....	13
1.3 Přenos tepla zářením – radiace .....	15
2 Chladiče .....	17
2.1 Druhy PCB .....	18
2.2 Aktivní a pasivní chlazení .....	21
3 Peltierův článek .....	27
4 Konstrukční část .....	28
4.1 Volba Peltierova článku .....	29
4.2 Návrh plochy chladiče .....	30
4.3 Tvarové zpracování chladičů .....	32
4.4 Umístění chladiče v pouzdře .....	33
4.5 Výkresová dokumentace .....	33
Závěr .....	34
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	38
Seznam příloh .....	39



## ÚVOD

V poslední době nastává výrazné nahrazování halogenových a xenonových světelných zdrojů technologií LED, popř. v luxusnějších automobilech i kombinace technologií HD a laser. Tyto stále častěji se objevující technologie je potřeba oproti klasickým halogenovým světlometům chladit pro jejich správnou funkčnost a životnost LED.

U světlometů, které využívají technologie LED Matrix, se při plném světelném výkonu koncentruje velké množství odpadního tepla na relativně malé ploše. Se současným trendem, kdy je snaha zvýšit rozlišení světlometu pomocí přidání dalších LED čipů, se stává chlazení stále náročnější a složitější problematika.

Tato bakalářská práce experimentuje s návrhem aktivního chlazení pro automobil VW Touareg, se světlometry ve verzi Full LED Pixel. Zkoumaný způsob by mohl v budoucnu nahradit současné způsoby chlazení.

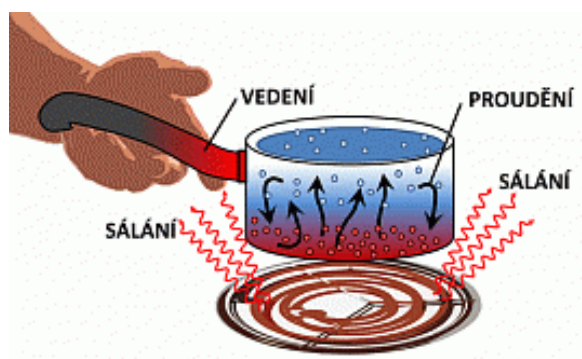


*Obrázek 1 Volkswagen Touareg [1]*

# 1 PŘENOS TEPLA

Dvě tělesa o teplotě  $T_1$  a  $T_2$ , pro která platí, že  $T_{1,2} > 0$  K a zároveň  $T_1 \neq T_2$ , dochází k přenosu tepla, jak popisuje II. termodynamický zákon. Platí, že vždy přechází teplo z tělesa teplejšího na těleso studenější. Celkem rozlišujeme 3 způsoby přenosu tepla:

1. Vedením (kondukce)
2. Prouděním (konvekce)
3. Zářením (radiace)



Obrázek 2: Přenos tepla [2]

Přičemž platí nezbytná podmínka pro přenos tepla vedením a prouděním, že musí probíhat ve hmotném prostředí. Ve vakuu se totiž nenachází částice, pomocí kterých se u těchto způsobů teplo šíří.

## 1.1 PŘENOS TEPLA VEDENÍM – KONDUKCE

Vedení tepla probíhá na molekulární, anebo atomové úrovni v závislosti na stavu látky (pro kapaliny a plyny na molekulární úrovni, pro pevné látky na úrovni atomové).

Přenos tepla kondukcí můžeme popsat jako předávání energie mezi částicemi (molekuly nebo atomy). S rostoucí teplotou mají částice vyšší rychlost a pokud tyto částice narazí do částic s rychlostí menší (tzn. tělesa s menší teplotou), předají pomalejším částicím část své kinetické energie, která se projeví jako nárůst teploty daného tělesa.

Vedení tepla podrobněji vysvětluje Fourierův zákon pro 2D tělesa:

„Hustota tepelného toku  $\dot{q}$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ), tj. tepelný tok  $\dot{Q}$  vztážený na jednotku plochy  $S$ , přenášený vedením v nějaké látce je přímo úměrný velikosti teplotního gradientu a má opačné znaménko než tento gradient<sup>1</sup>.“

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{S} = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1.1)$$

<sup>1</sup> PAVELEK, Milan. *Termomechanika*, s. 215.

$\dot{q}$  – hustota tepelného toku [ $Wm^{-2}$ ]

$\dot{Q}$  – tepelný tok [ $W$ ]

$S$  – plocha [ $m^2$ ]

$\lambda$  – tepelná vodivost [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ]

$dT$  – rozdíl teplot [ $K$ ]

$dx$  – tloušťka stěny, kterou probíhá přenos tepla [ $m$ ]

### 1.1.1 TEPELNÁ VODIVOST

Tepelná vodivost je fyzikální veličina s jednotkou  $Wm^{-1}K^{-1}$  popisující, jak “ochotně“ vede daná látka teplo. Čím větších hodnot  $\lambda$  nabývá, tím lépe probíhá proces přenosu tepla, přičemž platí:

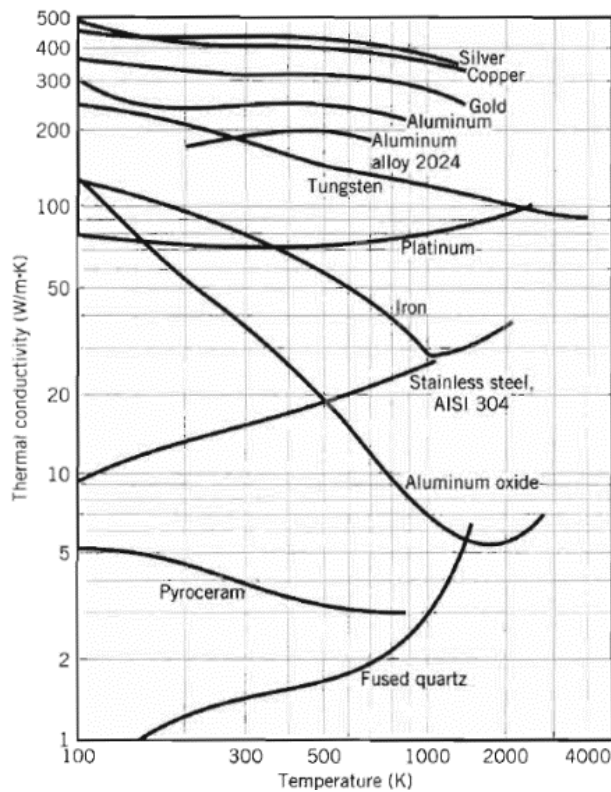
$$\lambda \in \langle 0; \infty \rangle$$

Hodnoty 0 a  $\infty$  jsou pouze teoretické. Pokud bychom dosáhli stavu, kdy  $\lambda = 0$ , získali bychom dokonalý tepelný izolant, kdežto v případě, že by nastal stav, kdy  $\lambda = \infty$ , měli bychom dokonalý tepelný vodič.

Tepelná vodivost se zjišťuje experimentálně. Pro triviální výpočty považujeme  $\lambda$  za konstantu, avšak ve skutečnosti je tepelná vodivost funkcí teploty (v homogenním tělese) a tlaku (u plynů). Platí, že (až na výjimky jako mosaz, platina, uran, nerezová ocel apod.) tepelná vodivost s rostoucí teplotou u kovů klesá<sup>2</sup>. (viz obrázek 3)

---

<sup>2</sup> PAVELEK, Milan. *Termomechanika*, s. 216-217.



Obrázek 3 Závislost tepelné vodivosti na teplotě [3]

*Thermal conductivity – tepelná vodivost*

*Temperature – teplota*

*Silver – stříbro*

*Copper – měď*

*Gold – zlato*

*Aluminum – hliník*

*Aluminum alloy – slitina hliníku*

*Tungsten - wolfram*

*Platinum – platina*

*Iron – železo*

*Stainless steel – nerezová ocel*

*Aluminum oxide – oxid hlinitý*

*Pyroceram - porcelán*

*Fused quartz – křemenné sklo*

## 1.2 PŘENOS TEPLA PROUDĚNÍM – KONVEKCE

Přenos tepla konvekcí je složen ze dvou základních přenosů, a to z kondukce a advekce. Může nastat pouze u tekutin (tj. u kapalin a plynů). Podstata přenosu tepla prouděním spočívá v přemístění částic s vyšší energií v prostoru. Pohyb těchto částic způsobuje rozdíl teplot daného média. Díky tomu se také mění hustota média. Platí, že s rostoucí teplotou klesá hustota a naopak. Výjimku tvoří anomálie vody, kdy největší hustota je při 3,98 °C.

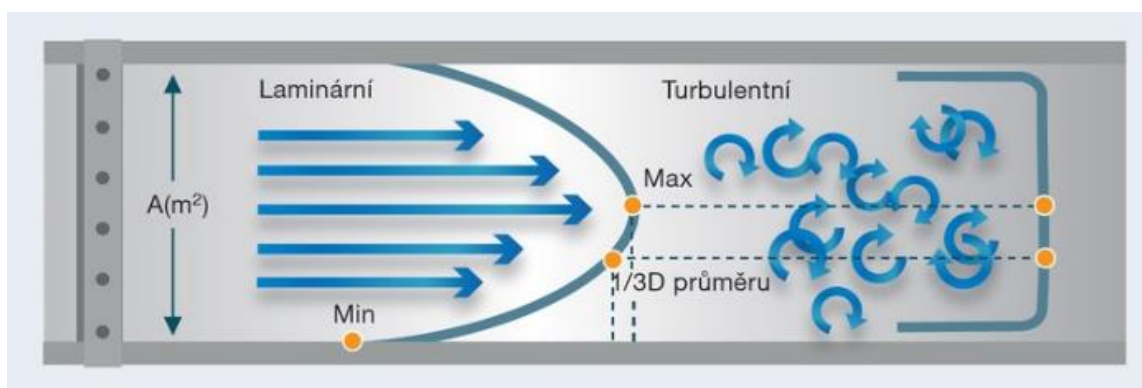
Rozlišujeme 2 základní typy proudění:

### LAMINÁRNÍ

Při laminárním proudění se částice tekutiny pohybují po proudnici, která je rovnoběžná se stěnou trubice. V mezní vrstvě je rychlost toku částic kvůli třecím ztrátám nulová. Průměrnou rychlost toku média můžeme nalézt přibližně v 1/3 průměru potrubí.<sup>3</sup>

### TURBULENTNÍ

K turbulentnímu proudění dochází především při nucené konvekci. Typickým znakem je vznik vírů a míšení proudnic. Podobně jako u laminárního proudění platí, že v blízkosti stěny je rychlost nulová. (viz obrázek 4)

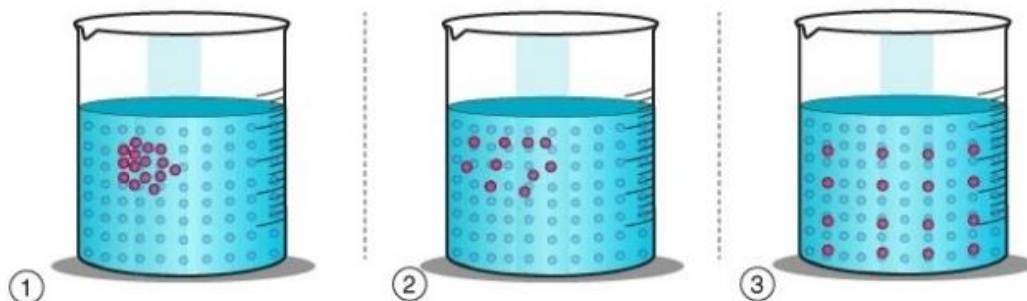


Obrázek 4 Průběh laminárního a turbulentního proudění v trubici [4]

<sup>3</sup> Testo 400 - Praktický průvodce měření proudění vzduchu v klimatizačních a ventilačních systémech: Větrání/klimatizace. Tzbinfo: Větrání /klimatizace [online].

### 1.2.1 KONDUKCE

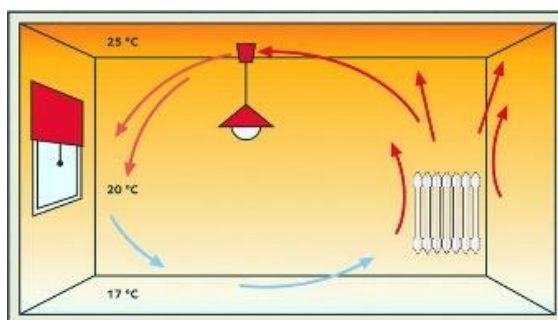
Známější pod pojmem difuze. Jedná se o samovolný přesun částic (atomů a molekul) z oblasti s vyšší koncentrací částic do oblasti nižší. Konduktce tvoří významnější složku konvekce.



Obrázek 5 Difuze v závislosti na čase [5]

### 1.2.2 ADVEKCE

Pod pojmem advekce je možné si představit velké množství molekul pohybujících se stejným směrem (např. teplý vzduch nad radiátorem).



Obrázek 6 Advekce [6]

### 1.3 PŘENOS TEPLA ZÁŘENÍM – RADIACE

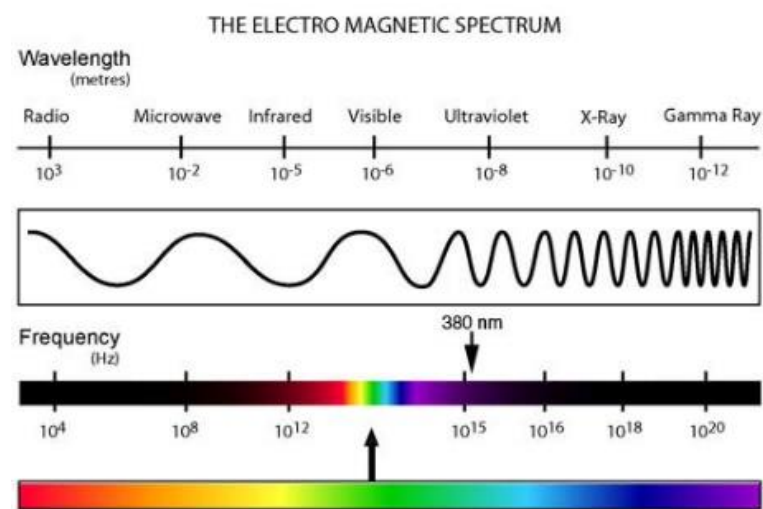
Přenos tepla radiací je druh elektromagnetického záření, které může probíhat i v dokonalém vakuu (oproti přenosu tepla pomocí konvekce a kondukce). Rychlost, kterou se teplo šíří, se rovná rychlosti světla ve vakuu, tedy  $c = 2,99 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$  a můžeme ji určit dle vztahu:

$$c = \lambda f \quad (1.2)$$

Přičemž platí:

$f$  – frekvence;  $f \in < 0; \infty >$  [Hz]

$c$  – rychlost světla;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ [ms}^{-1}\text{]}$



Obrázek 7 Rozsah vlnových délek elektromagnetického záření [7]

*Wavelength (meters) – vlnová délka v metrech*

*Radio – rádiové vlny*

*Microwave – mikrovlny*

*Infrared – infračervené vlny*

*Visible – viditelné světlo*

*Ultraviolet – ultrafialové vlny*

*X-Ray – rentgenové vlny*

*Gamma Ray – gamma vlny*

*Frequency – frekvence*

## STEFAN-BOLTZMANŮV ZÁKON

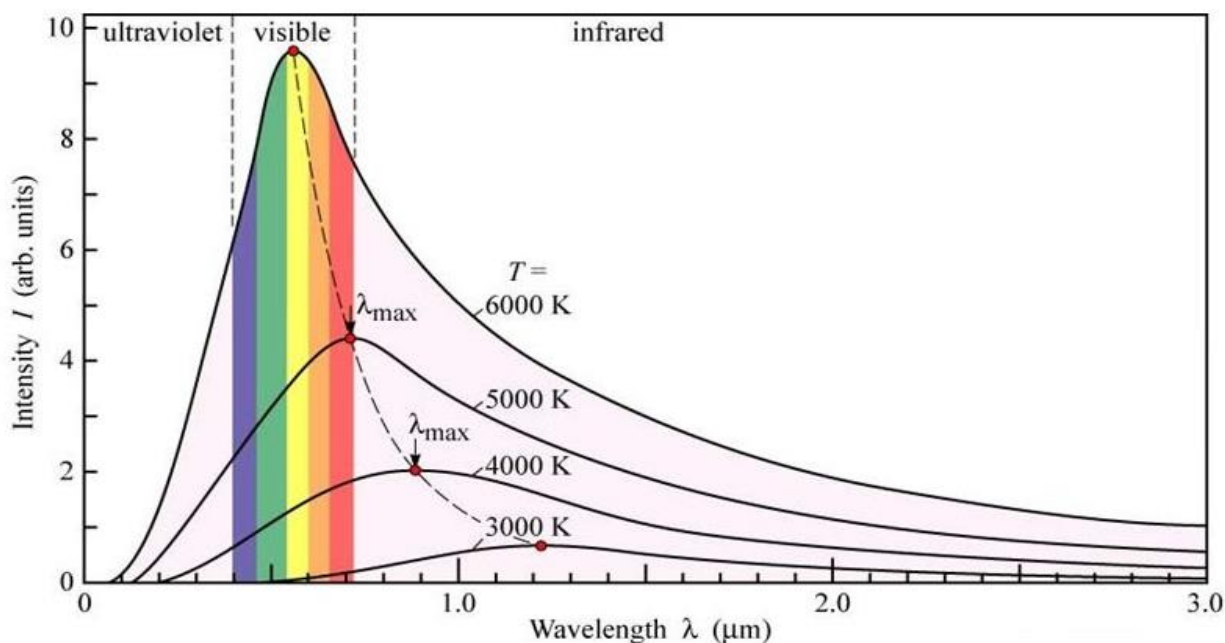
popisuje, že každé těleso, pro které platí podmínka  $T > 0$  K, emituje energii na určité ploše s danou teplotou. Pokud zavedeme ideální tepelný zářič, tzv. černé těleso, poté můžeme tuto energii popsat vztahem:

$$E = \int_0^{\infty} E_{0,\lambda} d\lambda = \sigma T^4 \quad (1.3)$$

Kde  $\sigma$  je Stefan-Boltzmanova konstanta s hodnotou  $\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-4}]$ <sup>4</sup> a  $E_{0,\lambda} \text{ [Wm}^{-3}]$  je monochromatická zářivost.<sup>5</sup>

### 1.3.1 ABSOLUTNĚ ČERNÉ TĚLESO

Černé těleso je teoretický pojem pro objekty, které disponují schopností pohltit veškerou energii dopadající na jeho povrch. Tato energie je poté vyzářena ve formě elektromagnetického vlnění do prostoru. Emitované elektromagnetické vlnění není homogenní, nýbrž je funkcí vlnové délky a teploty<sup>6</sup>.



Obrázek 8 Rozdělení energie ve spektru černého tělesa [8]

Intensity – intenzita  
 arb. Units – jednotky  
 Wavelength – vlnová délka  
 Ultraviolet – ultrafialové světlo  
 Visible – viditelné světlo  
 Infrared – infračervené světlo

<sup>4</sup> PAVELEK, Milan. *Termomechanika*, s. 251.

<sup>5</sup> Energetický ústav: *Obor termomechaniky a techniky prostředí* [online].

<sup>6</sup> REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online].



## 2 CHLADIČE









Chladič je zařízení, které slouží k akumulaci a následnému odvodu odpadního tepla od tepelného zdroje (LED čip) do okolí.

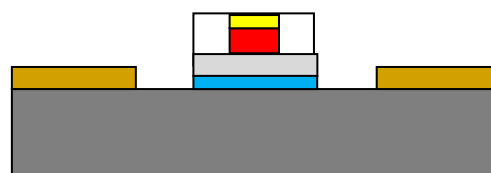
Na plochu chladiče je připevněn plošně osazený spoj s LED diodami, tzv. PCBA (printed circuit board assembly = sestava plošných spojů). Mezi PCBA a chladičem se v některých aplikacích nachází tzv. TIM (thermal interface material = termální pasta sloužící ke zvýšení tepelného přenosu).

### ZPŮSOBY PŘIPEVNĚNÍ PCBA NA CHLADIČ:

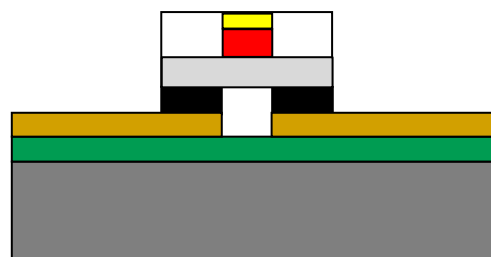
1. Lepení
2. Šroubení
3. Nýtování
4. Kombinace výše uvedených způsobů

### ZÁVISLOST TEPELNÉ VODIVOSTI NA MATERIÁLU

	Materiál	Tepelná vodivost [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ]
	Fosfor	0,2
	Čip	50
	ALU-IMS	120
	Lepidlo	1
	Cín	60
	Měď	400
	FR4	0,37
	AlSi (chladič)	170



Obrázek 9 LED čip lepený [9]



Obrázek 10 LED čip pájený [9]

## 2.1 DRUHY PCB

### FR

PCB FR (FR - Flame retardent) je druh tištěného spoje, který je vyroben z tvrdého papíru, nebo častěji ze sklolaminátové desky, která se následně může skládat do více vrstev. Jako pojivo mezi jednotlivými vrstvami slouží pryskyřice. Rozeznáváme celkem 5 základních druhů: FR1, FR2, FR3, FR4 a FR5.

FR1, FR2 jsou si velice podobné, vhodné pro jednovrstvé PCB, jako pojivo slouží fenolová pryskyřice. Jejich maximální pracovní teplota se pohybuje okolo  $T_{FR1, FR2} = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

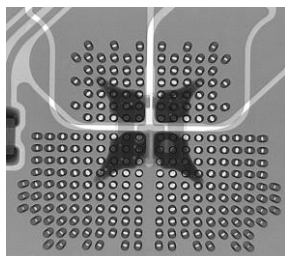
U druhů FR3, FR4 a FR5 je použita epoxidová pryskyřice s kombinací skleněného vlákna, což umožňuje vyšší pracovní teploty pohybující se okolo  $T_{FR3, FR4} = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{FR5} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$  v závislosti na tloušťce PCB.<sup>7</sup>

Pokud se tištěný spoj skládá z více vrstev, je nutné v okolí tepelného zdroje zavést tzv. prokovy pro lepší homogenitu rozložení tepla. (viz obrázek 13)

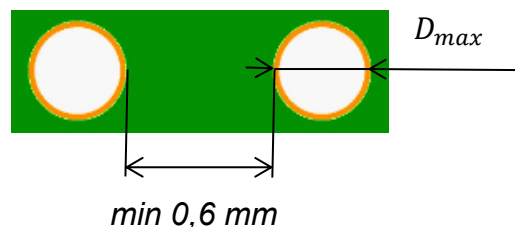
Prokov je termín označující malé díry v okolí zdroje tepla (LED čipu, odporu), které mohou být vyplněné materiálem s větší tepelnou vodivostí, nebo se materiál může nacházet pouze na stěnách prokovu, aby se teplo dostalo do vzdálenějších vrstev. Pojivo (pryskyřice) má velmi malou tepelnou vodivost, tudíž dochází k nehomogennímu rozložení teploty ve směru přidávání vrstev. Jedná se o díry rozměrech přibližně:

$$\begin{aligned} D_{max} &= 400\text{ }\mu\text{m} \\ t_{pcb} &= 1000\text{ až }1800\text{ }\mu\text{m} \\ t_{folie} &= 50\text{ }\mu\text{m} \\ h_{prok.} &= t_{pcb} - t_{folie} \end{aligned}$$

$t_{pcb}$  - tloušťka plošného spoje  
 $t_{folie}$  - tloušťka měděné fólie  
 $h_{prok.}$  - hloubka prokovu



Obrázek 12 Rentgenový snímek PCBA se 188 prokovy (BMW 3) [9]



Obrázek 11 Minimální vzdálenost prokovů [9]



Obrázek 13 Prokovy v okolí tepelných zdrojů (Citroën DS7 zadní svítidla - AL)

<sup>7</sup> PCB & MCPCB - Best technology [online].

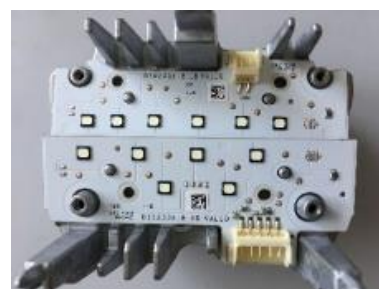
## ALU IMS

U typu ALU IMS (Aluminium insulated metal substrate) slouží jako základ hliníková deska o tloušťce přibližně 1 – 2,2 mm, na kterou jsou následně napájeny další komponenty (konektor, LED chipy, čidla teploty, apod.)

Tepelná vodivost ALU IMS se pohybuje v rozmezí  $\lambda_{ALU\ IMS} = 100-130\ Wm^{-1}K^{-1}$ .



Obrázek 14 PCBA – ALU IMS  
Samsung C series  
(Hyundai Tuscon - Mobis)



Obrázek 15 PCBA – ALU IMS  
Oscon Black Flat  
(Škoda Superb- ZKW)

## CU IMS

Jedná se o PCB s největší tepelnou vodivostí ( $\lambda_{CU\ IMS} \sim 400\ Wm^{-1}K^{-1}$ ), které je velko-sériově vyráběno. Velkou nevýhodou je oproti FR4 a ALU IMS velká pořizovací cena kvůli závislosti ceny mědi na světovém trhu. Nejčastěji bývají použity při malých rozměrech plošného spoje a při velkém tepelném výkonu (např. u dálkových světel, nebo při užití Matrix technologie).



Obrázek 16 PCBA – CU IMS  
(Kamaz 54901 - Atvose)



Obrázek 17 PCBA – CU IMS + chladič  
Matrix technologie

### KERAMICKÉ DESKY PCB

Keramické PCB jsou vyrobeny ze substrátu více materiálů, především oxidu hlinitého, nitridu hliníku, oxidu berylnatého a dalších. Velkou výhodou keramických PCB je schopnost pracovat i při daleko větším rozsahu teplot, při řádově vyšší tepelné vodivosti. V některých aplikacích je taktéž výhodná malá teplotní roztažnost ( $7,4 \times 10^{-6} \text{ mK}^{-1}$ ).

Materiál	Tepelná vodivost $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
$\text{Al}_2\text{O}_3$	24 – 28
AlN	150 – 240
BeO	220 – 250



Obrázek 18 Keramické PCB (ZKW)

### FLEX BOARD

Flex board je druh vysoce ohebného tištěného spoje, který je využíván tam, kde geometrie svítidla neumožňuje použití klasických PCB. Flex board je možné vyrobit o minimální tloušťce  $t = 0,15 \text{ mm}$  a vyrábí se v různých technických variantách:

Jednostranné – vodivá vrstva mědi je přístupná pouze z jedné strany desky

Oboustranné – PCB deska má dvouvrstvý vodič, který je přístupný z obou stran desky

Vícevrstvé – je skládáno více vrstev na sebe (až 20 vrstev)



Obrázek 19 Flex board (Flexibilní deska)  
(Hyundai Tuscon - Mobis)

## PŘEHLED TEPELNÉ VODIVOSTI DANÝCH DRUHŮ PCB

Druh PCB	Tepelná vodivost [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná kapacita [Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
FR4	0,37	-
ALU IMS	120 – 170	896
CU IMS	400	383
Keramická PCB	30 – 45	-
Flex board	-	-

## 2.2 AKTIVNÍ A PASIVNÍ CHLAZENÍ

V automobilovém průmyslu tvoří největší zastoupení pasivní chlazení, nebo kombinace pasivního a aktivního chlazení ve formě kovového chladiče, v případě aktivního chlazení je součástí systému ventilátor. (viz Aktivní chlazení)

## 2.2.1 PASIVNÍ CHLAZENÍ

Pro tento způsob chlazení je typické, že není potřeba dodávat do chladičské soustavy žádnou další energii v jakékoliv formě. Funguje na principu přirozené konvekce, kdy se přebytečná energie ve formě tepla odevzdává do okolí.

Velikou výhodou pasivního chlazení je téměř neomezená životnost.

Nevýhodou je závislost množství přeneseného tepla na rozdílu teplot  $\Delta T$  mezi teplotou chladiče  $T_T$  a teplotou okolí  $T_\infty$ , přičemž musí platit nezbytná podmínka  $T_T > T_\infty$ .

$$\dot{Q} = \lambda \cdot \frac{T_T - T_\infty}{\delta} \cdot S \quad (2.1)$$

$\dot{Q}$  – tepelný tok prostupující skrz chladič [W]

$T_T$  – Teplota tělesa [K]

$T_\infty$  – Teplota okolí [K]

$\delta$  – tloušťka stěny [m]

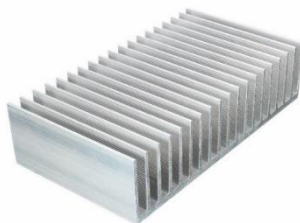
$S$  – plocha [m<sup>2</sup>]

Při špatném konstrukčním návrhu může dojít např. k mechanickému poškození chladiče vlivem dynamického zatěžování při provozu automobilu (vibrace) při nízkých teplotách, které způsobují pokles houževnatosti materiálu.

## 2.2.2 DRUHY CHLADIČŮ

### OBRÁBĚNÝ CHLADIČ

Je vyroben z jednoho monolitu materiálu, nejčastěji hliníku, který je následně obráběn. Tento způsob není pro velko-sériovou výrobu ekonomicky výhodný, jelikož by vznikalo velké množství odpadní třísky.



Obrázek 20 Hliníkový chladič obráběný [10]

### ODLÉVANÝ CHLADIČ

V současnosti jeden z nejvíce zastoupených druhů chladičů používaných především pro hlavní funkce světlometu. Jedná se o slitinu hliníku, křemíku, mědi a železa v různém poměru, v závislosti na požadovaných vlastnostech, která je následně tlakově odlita. Velkou výhodou je téměř neomezená geometrie chladiče a minimální kovový odpad (nálitky je možné opětovně tavit).



Obrázek 21 Hliníkový chladič odlévaný [11]

### NÝTOVANÝ CHLADIČ

Základem nýtovaného chladiče bývá zpravidla hliníková deska o tloušťce přibližně 4-8 mm, na kterou jsou následně přinýtována žebra. Výhodou této metody výroby je, že v případě potřeby je možné lehce změnit počet žebírek a zaručit tak jistou modularitu chladiče, což vede ke snížení ceny.



Obrázek 22 Hliníkový chladič nýtovaný (Hella)



**PLECHOVÝ CHLADIČ**

Plechový chladič bývá vyroben z hliníkového plechu o přibližné tloušťce 0,5 – 4 mm. Své využití našel především ve vedlejších světelných funkcích světlometu (poziční světlo, směrové světlo). Výhodou je výrazně nižší cena oproti chladiči odlévanému.



Obrázek 23 Plechový chladič ohýbaný  
BMW X5 (AL)



Obrázek 24 Plechový chladič ohýbaný  
Audi E-Tron (AL)

**PLASTOVÝ CHLADIČ**

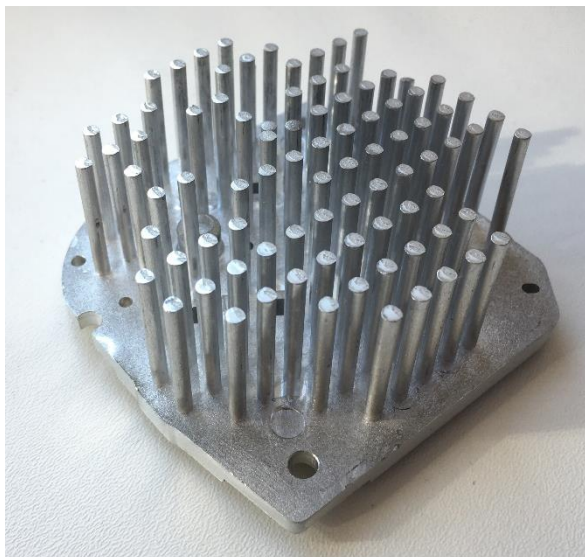
Plastové chladiče bývají vyrobeny z termoplastu s přidavkem kovových vláken, která zajišťují přenos tepla. Tento druh chladičů je z ekonomického hlediska velmi výhodný, jelikož oproti odlévanému chladiči jsou náklady na výrobu až o 40 % nižší. Velká nevýhoda plastových chladičů je v malé tepelné vodivosti oproti kovovým chladičům ( $15\text{-}30\text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) a z tohoto důvodu našly uplatnění především ve vedlejších funkcích světlometu, které neprodukují velké množství odpadního tepla.



Obrázek 25 Plastový chladič (ZKW)

**PROTLAČOVANÝ CHLADIČ**

Protlačovaný (extrudovaný) chladič je vyráběn nahřátím monolitu materiálu (nejčastěji hliníku), který je následně z části protlačen přes šablonu. Vznikají tak žebra různých tvarů, nejčastěji v kruhovém nebo hvězdicovém tvaru. Tato metoda výroby chladičů se řadí mezi nejnákladnější.



Obrázek 26 Hliníkový chladič protlačovaný

Tabulka 1 Přehled tepelné vodivosti u různých materiálů

Materiál	Tepelná vodivost [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ]
Stříbro	429
Zlato	320
Měď	386
Hliník	229
Plastový chladič	15–30

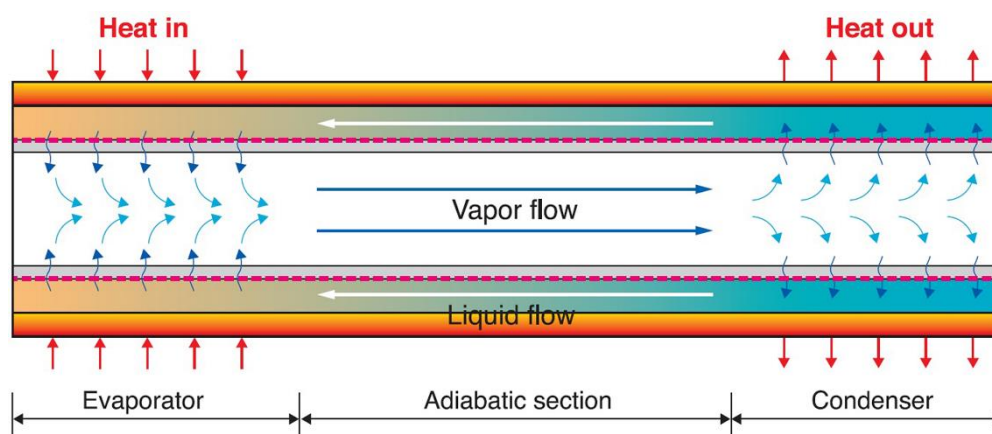


## HEATPIPE

Způsob chlazení pomocí heatpipe se nejčastěji objevuje v elektrotechnice pro chlazení CPU nebo GPU. Velkou výhodou oproti klasickému chlazení je schopnost pracovat při minimálním rozdílu teplot a přenášet velké tepelné výkony. (Maximální tepelný přenos, který byl naměřen, činil 15 kW na 1 cm<sup>2</sup> průřezu heatpipe trubice)<sup>8</sup>. Jako pracovní médium se nejčastěji využívá voda, čpavek nebo propanbutan, v méně obvyklých případech i např. lithium.

Princip fungování:

Kapalina v kapalném skupenství se nachází uvnitř vzduchotěsné tyče, jejíž jeden konec se nachází u tepelného zdroje a druhý konec v místě, kam chceme teplo odvádět. Pomocí regulace tlaku uvnitř trubky můžeme nastavit bod varu daného média a tím i dovolenou maximální teplotu. Přebytková tepelná energie od zdroje tepla je spotřebována na přeměnu kapaliny na páru, která následně putuje k výparníku (vlivem rozdílných tlaků v trubici). Ve výparnickové části pára zkondenzuje na stěnách trubice zpět do kapalného skupenství (odevzdá danou část tepelné energie, která byla potřeba ke zplynění) a putuje zpět k výparníku pomocí speciálně upravených stěn trubice.



Obrázek 27 Princip fungování heatpipe [12]

*Heat in* – vstupující teplo

*Evaporator* – výparník

*Vapor flow* – směr toku páry

*Liquid flow* – směr toku kapaliny

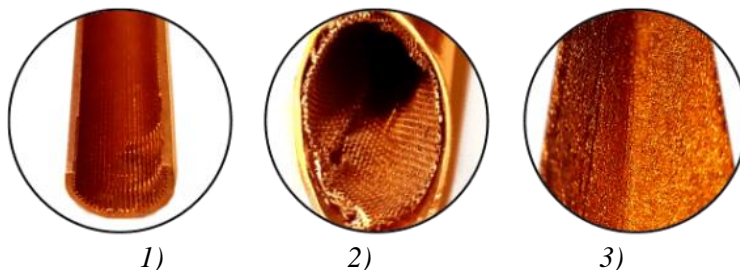
*Condenser* – kondenzátor

*Heat out* – vystupující teplo

<sup>8</sup> Svět hardware: Heat Pipe: princip a konstrukce [online].

Vnitřní povrch trubic je možné upravit 3 základními způsoby:

1. Drážkování: nejméně účinná metoda, vyžaduje umístění kondenzátoru výše než výparníku
2. Mřížkování: nejvyužívanější princip, je možné umístit kondenzátor níže než výparník
3. Porézním materiálem: nejúčinnější způsob dopravy tekutiny, nevýhodou je velká cena



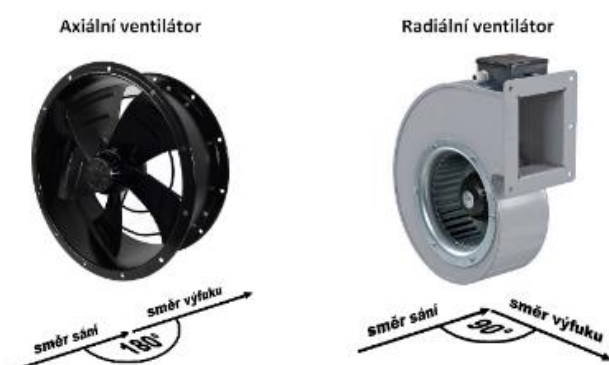
Obrázek 28 Druhy úprav vnitřního povrchu trubice [13]

- 1) Drážkování
- 2) Mřížkování
- 3) Porézní materiál

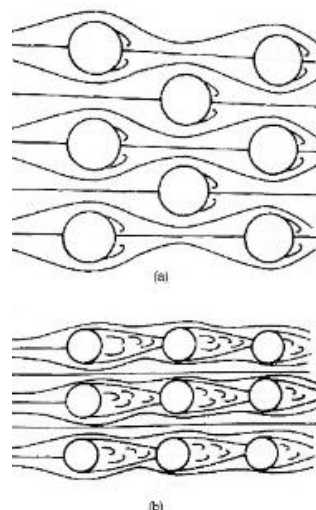
### 2.2.3 AKTIVNÍ CHLAZENÍ

Jedná se o chlazení, kdy je přirozená konvekce podpořena nucenou konvekcí. Děje se tak pomocí ventilátoru umístěného nejčastěji v blízkosti chladiče. Při použití aktivního chlazení je potřeba upravit geometrii chladiče tak, aby byl správně optimalizován průtok chladicího vzduchu. (viz obrázek 30) Při vhodném umístění je taktéž možné zajistit nucenou cirkulaci vzduchu uvnitř světlometu, vhodnou např. pro rychlejší odmlžení krycího skla u světel typu full LED.

Rozlišujeme 2 základní druhy ventilátorů – radiální a axiální.



Obrázek 29 Axiální a radiální ventilátor[15]



Obrázek 30 Uspořádání žebër chladiče [14]

### 3 PELTIERŮV ČLÁNEK

Peltierův článek je elektrické zařízení pracující na principu Peltierova jevu. Ten říká, že pokud je přivedeno elektrické napětí na Peltierův článek, jedna strana článku se začne ochlazovat a druhá zahřívát v závislosti na polaritě<sup>9</sup>. Peltierův jev vychází ze Seebeckova jevu, který popisuje děj, kdy je mezi 2 plochami termoelektrického článku nenulový rozdíl teplot  $\Delta T$ , poté dochází ke generaci elektromotorického napětí  $U_e$ <sup>10</sup>.

Pro malé teplotní rozdíly v řádek desítek stupňů Celsia můžeme daný vztah linearizovat:

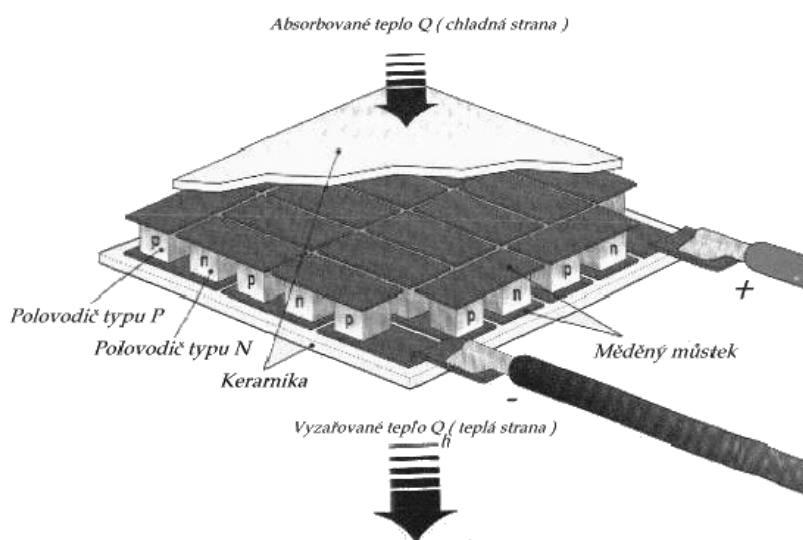
$$U_e = \alpha \Delta T$$

$U_e$  – Elektromotorické napětí [V]

$\alpha$  – Seebeckův koeficient [ $VK^{-1}$ ]

$\Delta T$  – rozdíl teplot [K]

Koeficient  $\alpha$  je tzv. relativní Seebeckův koeficient, který vyjadřuje materiálovou charakteristiku daných vodičů. Při rozdílech teploty vyšších než v řádech desítek se  $\alpha$  stává funkcí teploty.



Obrázek 31 Řez Peltierovým článkem [16]

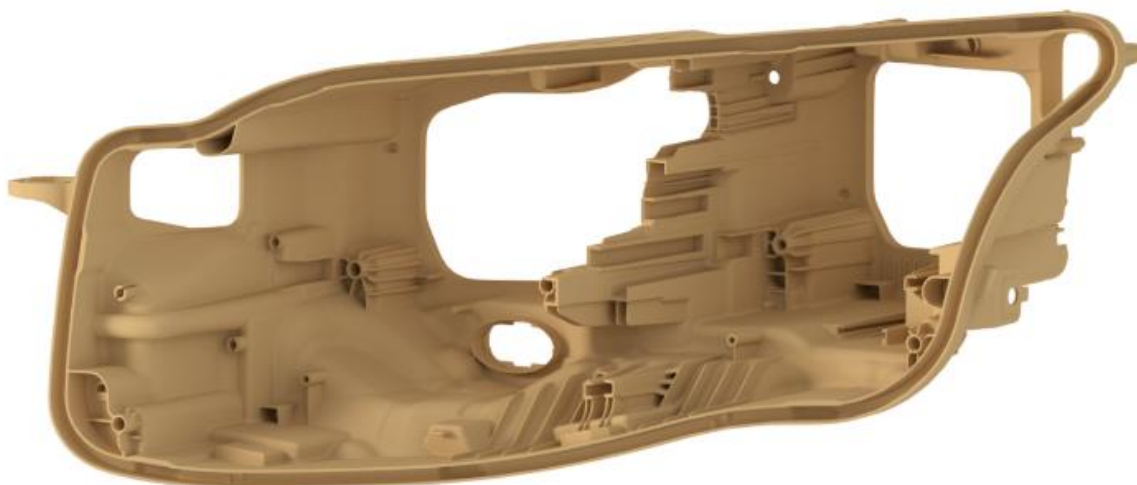
<sup>9</sup> Sbíрка fyzikálních pokusů: Elektřina a magnetismus - Peltierův jev [online].

<sup>10</sup> Sbíрка fyzikálních pokusů: Elektřina a magnetismus - Seebeckův jev [online].

## 4 KONSTRUKČNÍ ČÁST

Při navrhování umístění Peltierova článku v pouzdře je nutné zohlednit několik faktorů, které by mohly výrazně ovlivnit správnou funkčnost daného způsobu chlazení. Konstrukční část se skládá z několika částí.

1. Volba druhu Peltierova článku
  - V závislosti na tepelném výkonu světlometu, který je třeba uchládit, se zvolí dostatečný chladicí výkon, rozměry, max. teplota a druh Peltierova článku
2. Volba chladiče
  - Vnitřní a vnější chladič – druh chladiče a tvarové zpracování
3. Vhodné umístění chladičů v pouzdře světlometu a fixace Peltierova článku mezi chladiči vzhledem k jeho křehkosti



*Obrázek 32 3D model pouzdra světlometu*

#### 4.1 VOLBA PELTIEROVA ČLÁNKU

Zvolení vhodného typu Peltierova článku je nutné pro zaručení dostatečného chladicího výkonu pro uchlazení světlometu. Tepelný výkon světlometu se skládá z několika různých zdrojů, jako např. denní svícení, dálková a potkávací světla a mezi podstatný tepelný zdroj se taktéž řadí sluneční záření, které v extrémním případě produkuje přibližně 1/3 celkového odpadního tepla.

Světlomet VW Touareg LED Pixel	
Max. tepelný výkon jednotlivých funkcí a jiných vlivů	[W]
Matrix HB +LB – segmentové dálkové světlo / tlumené světlo	32
Prefield – osvětlení předpolí	17
LB – potkávací světlo	14,5
DRL PO – denní svícení	1,5
CL – přisvětlování do zatáček	1
Sluneční záření	24
Tepelný výkon celkem	91

Tepelná energie dodaná do soustavy od slunečního záření závisí na více faktorech. Pro zjednodušení výpočtu se vychází z tvrzení, že na každých  $100 \text{ cm}^2$ , které jsou promítnuty do směru paprsků, černého matného polykarbonátu, je tepelný výkon přibližně  $10 \text{ W}$ .

Pro správnou konfiguraci termočlánek je taktéž nezbytné určit maximální teplotu  $T_{MAX}$  a maximální rozdíl teplot  $\Delta T_{MAX}$  na Peltierově článku.

Termočlánek	
Sériové číslo	TEC-12710 HTS
Max. výkon	100 W
Rozměry	40 x 40 x 3,3 mm
Max. teplota teplé strany $T_{MAX}$	225 °C
Max. rozdíl teplot $\Delta T_{MAX}$	66 °C
Max. vstupní proud	10,5 A
Max. vstupní napětí	15,4 V

Za normálních okolností ( $T_{venkovní} = 25 \text{ °C}$ ) se teplota v pouzdře světlometu pohybuje okolo  $T_{vnitřní} = 40 - 50 \text{ °C}$ . Teplota v okolí samotného LED čipu dosahuje hodnoty  $T_{okolí} = 100 \text{ °C}$ . Pokud by bylo chlazení nastavené na teplotu v okolí čipu na  $T_{okolí} = 60 \text{ °C}$ , bylo by potřeba chladit teplotu uvnitř světlometu přibližně na  $T_{vnitřní} = 25 - 30 \text{ °C}$ . Mezi  $20 - 60 \text{ °C}$  dochází jen k minimálnímu deratingu, a tedy není potřeba chladit pod tuto

hodnotu. Díky nižší teplotě by také bylo možné snížit napájecí proud LEDek přibližně o 10 % a částečně tak vykompenzovat relativně velký odběr termočlánku.

## 4.2 NÁVRH PLOCHY CHLADIČE

Pro návrh plochy chladiče je použit vztah

$$Q = S\alpha\Delta T \quad (2.2)$$

$S$  – plocha [ $m^2$ ]

$\alpha$  – koeficient přestupu tepla [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]

$\Delta T$  – rozdíl teplot [ $^{\circ}C$ ]

a je nezbytné znát několik vstupních dat. Jako první je potřeba vědět koeficient přestupu tepla  $\alpha$  z pevné látky na vzduch. Ten se odvíjí od rychlosti proudění chladičím médiem a zjišťuje se experimentálně. Pro přirozenou konvekci je koeficient  $\alpha$  přibližně  $\alpha = 8 Wm^{-2}K^{-1}$ , pro nucenou konvekci se  $\alpha$  pohybuje v rozmezí od  $\alpha = 25 - 50 Wm^{-2}K^{-1}$  v závislosti na rychlosti vzduchu obtékajícího chladič.

Dále je nezbytné znát tepelný výkon zdroje a teplotní rozdíl  $\Delta T$  mezi chladičem a chladičím médiem.

### 4.2.1 VNITŘNÍ CHLADIČ

Pro návrh vnitřního chladiče světloometu je volena hodnota  $\Delta T$  mezi vzduchem a chladičem  $\Delta T = 25 ^{\circ}C$ . Ta vychází z předpokladu, že chladič bude chlazen pomocí Peltierova článku na teplotu  $T_{chladiče} = 10 ^{\circ}C$ , teplota uvnitř světloometu  $T_{vnitřní} = 30 - 35 ^{\circ}C$  a teplota v okolí LED čipu se bude pohybovat okolo  $T_{okolí} = 60 ^{\circ}C$ .

Před samotným výpočtem plochy chladiče je třeba nadefinovat tepelný výkon zdroje. Pro daný typ světloometu je zde nasimulováno několik variant z důvodu, že jednotlivé segmenty světloometu nesvítlí vždy najednou, ale jsou podmíněny okolními podmínkami – rychlosti automobilu, viditelnosti a zda-li se automobil nachází v obci, mimo obec, nebo na dálnici.

- A. Svícení za normální viditelnosti – svítí všechny segmenty kromě dálkového a denního světla, k tepelnému výkonu se připočítává i sluneční záření

Rozdíl teplot [ $^{\circ}C$ ]	Koeficient $\alpha$ [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]	Tepelný výkon [ $W$ ]
60	25	44,5
Potřebná plocha chladiče	296,67	[ $cm^2$ ]

- B. Svícení za šera – svítí všechny segmenty kromě HB a slunečního záření

Rozdíl teplot [ $^{\circ}C$ ]	Koeficient $\alpha$ [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]	Tepelný výkon [ $W$ ]
60	25	35
Potřebná plocha chladiče	233,33	[ $cm^2$ ]

C. Svícení v noci – svítí všechny segmenty, HB na 100 % a k celkovému tepelnému výkonu se nepřičítá sluneční záření

Rozdíl teplot [°C]	Koeficient $\alpha$ [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]	Tepelný výkon [W]
60	25	67
Potřebná plocha chladiče	446,67	[ $cm^2$ ]

Z předchozích výpočtů je zřejmé, že největší tepelný výkon bude mít světlo v noci, při rychlostech nad 110 km/h (dojde k zapnutí HB na 100 %), kdy může nastat situace, že budou svítit všechny segmenty světlometu najednou a budou generovat celkový tepelný výkon

$Q = 67 W$ . Pro daný tepelný výkon je potřeba mít chladič o minimální ploše  $446,67 cm^2$ .

#### 4.2.2 VNĚJŠÍ CHLADIČ

Vnější chladič bude mít teplotu  $T_{chladič\ vnějši} = 76 °C$ . Tato hodnota vyplývá z maximálního rozdílu teplot mezi teplou a studenou stranou Peltierova článku  $\Delta T_{MAX} = 66 °C \Rightarrow$  pokud je studená část chladiče chlazená na  $10 °C$ , poté bude maximální teplota teplého chladiče  $76 °C$ . Teplota v motorovém prostoru je stanovena na  $30 °C$  (homologační teplota), tudíž dostáváme rozdíl teplot mezi vnějším chladičem a vzduchem  $\Delta T = 46 °C$ .

Z kapitoly 4.2.1 vyplývá, že největší tepelný výkon nastává při svícení v noci, a proto bude vnější chladič dimenzován právě pro noční svícení. K tepelnému výkonu, který bude odváděn do okolí, je potřeba připočítat i teplo vzniklé malou účinností Peltierova článku. Pokud je uvažována účinnost 15 %, je nutné přičíst k výslednému výkonu dalších přibližně 85 W.

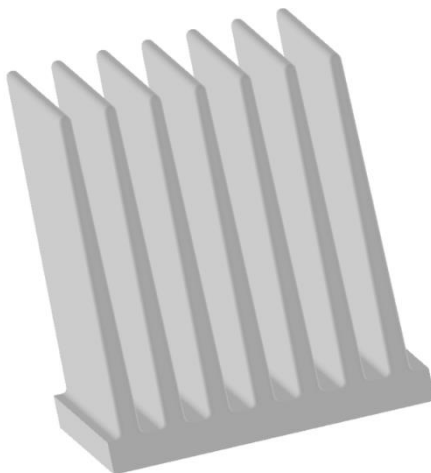
Rozdíl teplot [°C]	Koeficient $\alpha$ [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]	Tepelný výkon [W]
46	25	152
Potřebná plocha chladiče	1321,73	$cm^2$

Ze vztahu pro výpočet plochy chladiče vyplývá, že vnější chladič musí mít plochu minimálně  $1321,73 cm^2$ .

### 4.3 TVAROVÉ ZPRACOVÁNÍ CHLADIČŮ

Pro efektivní přenos tepla z chladiče do prostoru je taktéž nezbytné vhodně zvolit druh žeber. Pro zjištění nejvýhodnějšího typu chladiče je níže uveden přehled různých typů žeber. Všechny druhy chladičů vychází ze čtvercové podstavy o rozměrech 50 x 50 mm a výškou žeber 50 mm.

1. Odlévaný chladič – odlévaná žebra  
Povrch chladiče  $S = 412,16 \text{ cm}^2$
2. Protlačovaný chladič – kruhové žebro  
Povrch chladiče:  $S = 505,32 \text{ cm}^2$
3. Protlačovaný chladič – hvězdicové žebro  
Povrch chladiče:  $S = 551,03 \text{ cm}^2$
4. Nýtovaný chladič – plechová žebra  
Povrch chladiče  $S = 964,68 \text{ cm}^2$



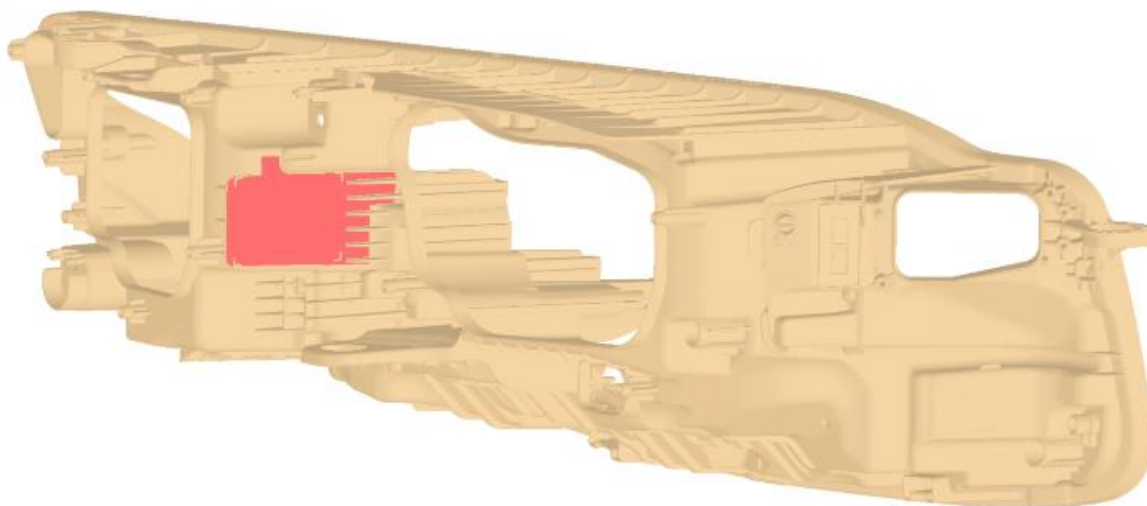
Obrázek 33 3D model odlévaného chladiče

Z předchozího přehledu nejlépe vychází chladič, který má plechová nýtovaná žebra a bude tedy použit pro chlazení světloometu. Při konstrukci soustavy chladičů je třeba taktéž počítat i s teplovodivou pastou o tloušťce  $h_{TIM} = 0,5 \text{ mm}$ , která bude rovněž sloužit jako lepidlo pro uchycení Peltierova článku mezi chladiči.



#### 4.4 UMÍSTĚNÍ CHLADIČE V POUZDŘE

Pro vhodné uchycení chladicí soustavy v pouzdře je nutné nalézt rovnou plochu, na kterou by bylo možné chladiče přišroubovat. Vhodné místo se nachází na zadní straně pouzdra na červeně vyznačené ploše (viz obrázek 34). Výhoda tohoto umístění je, že studený chladič se bude nacházet přímo vedle Matrixového modulu (největšího tepelného zdroje) a tudíž bude docházet k efektivnímu odvodu odpadního tepla z pouzdra.



*Obrázek 34 Pouzdro světlometu - zadní část, pohled na vhodnou rovinu*

#### 4.5 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Výkresová dokumentace je k dispozici v příloze č.1.

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla napsána s cílem navrhnout nový způsob chlazení světlometu pomocí Peltierova článku pro automobil VW Touareg. V teoretické části se čtenář mohl seznámit se základními principy přenosu tepla, druhy chladičů, používaných plošných spojů a také s principem fungování Peltierova článku. Dále byly v konstrukční části uvedeny základní výpočty pro návrh chladičí soustavy a volby typu Peltierova článku. Při konstrukci jednotlivých chladičů bylo postupováno iterační metodou pro zkonstruování požadovaného povrchu.

V současné době dochází k velkému rozmachu LED technologií v osvětlení automobilů. Použití LED diod s sebou přináší také nutnost řešení tepelného managementu, jelikož příliš vysoká teplota může trvale snížit světelný tok a zkracuje životnost LED zdroje, který je v mnoha případech samostatně nevyměnitelný a je tedy nutno vyměnit celý světlomet.

Na rozdíl od běžného způsobu chlazení je u chlazení pomocí Peltierova článku relativně snadné regulovat teplotu uvnitř pouzdra světlometu, byť s jistou tepelnou setrvačností. Při snížení teploty je taktéž možné u některých světelných funkcí zmenšit počet diod, nebo vyměnit LED diody za méně výkonné, a tedy levnější. Redukce teploty taktéž umožňuje zmenšit plochy chladiče a v důsledku toho i redukovat množství použitého materiálu včetně hmotnosti a dosáhnout tak nižších výrobních nákladů. Oproti tomu současné Peltierovy články disponují velmi nízkou účinností, která je závislá na rozdílu teplot, což se odráží na velké spotřebě elektrické energie při porovnání např. s kompresorovým chlazením. V důsledku malé účinnosti je taktéž potřeba, aby vnější chladič byl téměř 3krát větší než chladič umístěný uvnitř pouzdra.

V případě využití chlazení Peltierovým článkem je nutno ve světlometu vyřešit dalších několik problémů, jako např. sledování teploty na Peltierově článku, k čemuž je možné využít samotný článek jako čidlo teploty, tzv. termistor. Stejnou metodu měření teploty je možné aplikovat i na teplotu LED. V případě, že by se pouzdro nestíhalo chladit, došlo by k řízenému poklesu napájecího proudu (deraiting), a tedy i snížení tepelného výkonu. Chladičí soustava taktéž nabízí i možnost využití pro rychlejší odmlžení světlometu. Při změně směru průchodu elektrického proudu Peltierovým článkem dojde k záměně chladičí a topicí strany (teplá strana chladiče by se nacházela uvnitř světlometu) a teplý vzduch by byl pomocí ventilátoru hnán na vnitřní plochu krycího skla.

Samozřejmostí by byla nutná cenová kalkulace pro zjištění výrobních nákladů a porovnání s konvenčním způsobem chlazení. Taktéž je nezbytné, aby se s touto metodou chlazení počítalo již při samotném vývoji světlometu, a nemuselo by tak docházet k nákladným výrobním změnám, jako např. k úpravě vstřikovacích forem.

Tato bakalářská práce řeší možnou náhradu konvenčních chladičů Peltierovým článkem. Z výše provedených výpočtů a zhotoveného 3D modelu vyplývá, že z technického hlediska je záměna pro světlomet VW Touareg Full LED pixel proveditelná. Před zavedením do sériové výroby by bylo ještě nutné provést ekonomickou analýzu, která však nebyla předmětem zkoumání.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Vyd. 3. přeprac., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 284 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [2] Testo 400 - Praktický průvodce měření proudění vzduchu v klimatizačních a ventilačních systémech: *Tzbinfo: Větrání /klimatizace* [online]. 14.8.2019 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/19425-testo-400-prakticky-pruvodce-mereni-proudeni-vzduchu-v-klimatizacnich-a-ventilacnich-sytemech-i>
- [3] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Encyklopedie fyziky: Záření absolutně černého tělesa. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2011, 26.6.2011 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/538-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
- [4] PCB & MCPCB - Best technology [online]. 2016, 12.8.2016 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.bestpcbs.com/blog/2016/08/whats-the-difference-for-fr1-fr2-fr3-and-fr4-materials/>
- [5] *Energetický ústav: Obor termomechaniky a techniky prostředí* [online]. Brno [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old\\_web/files/projekty/enazp/06/IUT/179\\_Prenos\\_tepl\\_a\\_zarenim\\_P1.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/files/projekty/enazp/06/IUT/179_Prenos_tepl_a_zarenim_P1.pdf)
- [6] *Svět hardware: Heat Pipe: princip a konstrukce* [online]. 1.2.2007 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/heat-pipe-princip-a-konstrukce/15941>
- [7] *Sbírka fyzikálních pokusů: Elektrina a magnetismus - Peltierův jev* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/2086/peltieruv-jev>
- [8] *Sbírka fyzikálních pokusů: Elektrina a magnetismus - Seebeckův jev* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1863/seebeckuv-jev>

## Použité obrázkové zdroje

- [1] Volkswagen: *modely Touareg* [online]. In: . [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/modely/touareg>
- [2] What's the Difference Between Conduction, Convection, and Radiation? In: *MachineDesign* [online]. 2015 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/learning-resources/whats-the-difference-between/document/21834474/whats-the-difference-between-conduction-convection-and-radiation>
- [3] INCROPERA, DEWITT, BERGMAN a LAVINE. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6. Mishawaka, IN, U.S.A.: From Better World Books, 2012. ISBN 047176115X.
- [4] Testo 400 - Praktický průvodce měření proudění vzduchu v klimatizačních ,a ventilačních systémech. In: *Vetrani.tzb-info.cz: tzb info* [online]. 2019, 14.8.2019 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/19425-testo-400-prakticky-pruvodce-mereni-proudeni-vzduchu-v-klimatizacnich-a-ventilacnich-systemech-i>
- [5] Difuze v závislosti na čase, Diffusion. In: *BYJU'S: Diffusion* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://byjus.com/biology/diffusion>
- [6] ADVEKCE, Zdravé sálavé teplo. In: ČTK PROTEXT [online]. Praha [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://i4.cn.cz/protext/multimedia/foto/07/konvektionswaerme.jpg>
- [7] EDEN, Dan. In: *Matrix 2001: Gaia* [online]. 2009, 28.12.2009 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.matrix-2001.cz/clanek/jsou-lide-opravdu-bytostmi-svetla-analyza-prevratnych-objevu-dr-alberta-poppa-na-poli-biofotonicke-rezonance-lidske-dna-1-4107>
- [8] Intensity Planckova konstanta - ke čtení. In: *Aldebaran* [online]. Praha [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [https://www.aldebaran.cz/lab/planck/2\\_cteni\\_2.php](https://www.aldebaran.cz/lab/planck/2_cteni_2.php)
- [9] SCHLUETER, Marc. *Thermal Management SMT*. Lippstadt, 2014.
- [10] Amazon [online]. In: . 27.6.2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/ELEGIANT-7-1X3-9X1-8INCH-ALUMINUM-AMPLIFIER-TRANSISTOR/DP/B01HMCYV80>
- [11] *Sea Link: Sea Link International – Heat Sinks* [online]. In: . Florida, USA [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://sealinkinternational.com/heat-sinks/>
- [12] KOTLÍK, Václav. *Svět hardware: Heat Pipe: princip a konstrukce* [online]. In: . 1.2.2007 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/heat-pipe-princip-a-konstrukce/15941>
- [13] *Radian: What is a Heatpipe Heatsink?* [online]. In: . Santa Clara, USA [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.radianheatsinks.com/HEATPIPE/>
- [14] JANNA, William S. *Engineering heat transfer*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, c2009. Heat transfer (Boca Raton, Fla.). ISBN 978-1-4200-7202-0.
- [15] DOČKAL, JAn. *Ventilátory: Axiální, nebo radiální potrubní ventilátor?* [online]. In: . 2.7.2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/axialni-nebo-radialni-potrubni-ventilator-x31238>

- [16] *Pc.zoznam.sk: Všeobecně o Peltierovom článku* [online]. In: .[cit. 2020-06-24].  
Dostupné z: <https://pc.zoznam.sk/index.php/vseobecne-o-peltierovom-clanku>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

$U_e$	[V]	Elektromotorické napětí
$f$	[Hz]	Frekvence
$\dot{q}$	[Wm <sup>-2</sup> ]	Hustota tepelného toku
$E_{0,\lambda}$	[Wm <sup>-3</sup> ]	Monochromatická zářivost
$S$	[m <sup>2</sup> ]	Plocha
$c$	[m/s]	Rychlost světla
$\alpha$	[VK <sup>-1</sup> ]	Seebeckův koeficient
$\sigma$	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> ]	Stefan-Boltzmanova konstanta
$\lambda$	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost
$\dot{Q}$	[W]	Tepelný tok
$T, T_\infty, T_T$	[K]	Teplota
$\delta$	[m]	Tloušťka stěny
$E_0$	[Wm <sup>-2</sup> ]	Zářivost černého tělesa

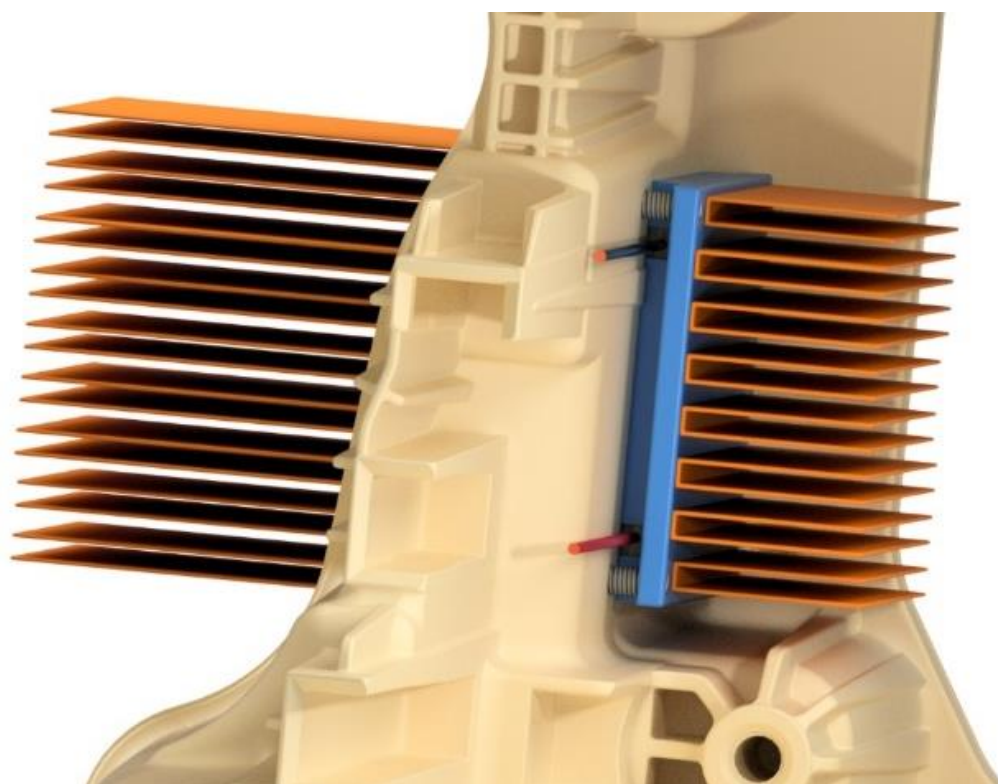
## SEZNAM PŘÍLOH

- I. Rendery sestavy
- II. Výkres sestavení



*Obrázek 1p. Chladicí sestava*





Obrázek 2p. Sestava umístěna v pouzdře světlometu



Obrázek 3p. Řez chladičí soustavou