

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2010

Milan Heide

**UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ A DIAGNOSTIKY**

**POČÍTAČOVÁ STUDIE ROHOVÉHO REFLEKTORU
AUTOMOBILOVÉHO SVĚTLOMETU**

Milan Heide

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Milan HEIDE**
Osobní číslo: **D08708**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**
Název tématu: **Počítačová studie rohového reflektoru automobilového světlometu**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

1. Úvod - popis úlohy.
2. Teoretický rozbor řešení úlohy.
3. Popis vstupních parametrů, geometrické parametry, použitý materiál, způsob zatížení okrajové podmínky, atd.
4. Porovnání praktického měření s výpočtovými analýzami
5. Žebrování na vytipovaných místech tělesa, výpočtové analýzy.
6. Finální vyhodnocení výsledků z hlediska rozložení teplot v ustáleném stavu, porovnání s výsledky měření.
7. Závěr - výsledek práce, vlastní přínos.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] Zienkiewicz O.C. (1971) *The Finite Element Method in Engineering Science. The second edition.* McGRAW-HILL, London, 07 094138 6.
- [2] FEM Computer program COSMOS/M, Version 2.5 (1999) *Theoretical Manual - Nonlinear Module NSTAR.* By SRAC (Structural Research and Analysis Corporation), Los Angeles, California.
- [3] FEM Computer program COSMOSWorks 2007 *Advanced Professional.* SolidWorks Corporation.
- [4] Hoyt C. Hotel / A.F.Sarofim (1979) *Přenos tepla zářením SNTL,* nakladatelství technické literatury. Praha 1979.
- [5] Černoš S. (1977). *Strojně technická příručka. SNTL,* nakladatelství technické literatury. Praha.
- [6] Petruška. J. (). *Počítačové metody mechaniky II. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav mechaniky těles.*

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Petr Paščenko, Ph.D.

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce:

26. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

24. května 2010

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 16. 05. 2010

Milan Heide

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat doc. Petru Paščenkovi a ing. Dušanu Mrázkovi za odbornou pomoc, přátelské vystupování, cenné rady a podklady poskytnuté pro zpracování diplomové práce. Děkuji svým rodičům a prarodičům, kteří mi umožnili studium a byly mojí velkou oporou v dosavadním životě.

SOUHRN

Práce se zabývá numerickým řešením zahřívání rohového reflektoru ve světlometu osobního automobilu. Pro ověření výpočtového modelu se provedlo měření světlometu v klimatické komoře. Měření zahrnovalo snímání teploty pomocí termočlánků na vybraných místech rohového reflektoru. V poslední části práce řeším, o kolik se sníží teplota na reflektoru pomocí ochlazovacích žeber.

KLÍČOVÁ SLOVA

teplotní studie, rohový reflektor, měření, termočlánky, MKP, tepelná energie, záření

TITLE: The Computer study of corner head-lamp car searchlight

ABSTRACT

The work engages in numeric solution of warming corner head-lamp in searchlight of person car. I did measurement of searchlight in climatic chamber for attestation of calculation model. The measurement included recording temperature by means of thermoelements in choiced places of corner head-lamp. I solve in the last part of my work, how much falls the temperature on head-lamp by means of cooling ribs.

KEYWORDS

Temperature study, corner head-lamp, measurement, (thermoelement), MPK, thermal energy, radiation

Počet stran: 57, počet obrázků: 43, počet tabulek: 8

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Teoretická část.....	9
2.1 Osvětlovací a návěstní zařízení.....	9
2.1.1 Rozdělení automobilových světel.....	9
2.1.2 Historie osvětlení automobilů.....	9
2.1.3 Zdroj světla.....	10
2.1.4 Reflektor.....	12
2.2 Podstata záření - tepelná energie.....	14
2.2.1 Sdílení tepla.....	14
2.2.2 Numerické vyjádření úlohy vedení tepla.....	18
2.3 Dotykové měření teploty drátovými termočládky.....	20
2.3.1 Princip a použití termočládků a Seebeckův jev	20
2.3.2 Typy termočládků.....	21
3. Experimentální a výpočtová část.....	23
3.1 Měření teploty na rohovém reflektoru drátovými termočládky.....	23
3.1.1 Postup měření.....	25
3.1.2 Výsledky měření.....	28
3.1.3 Vyhodnocení měření	29
3.2 Úprava výkonu zářiče pro stálé svícení reflektoru pomocí zjednodušeného modelu.....	30
3.3 Porovnání fyzického měření s výpočtem na 3D modelu pomocí MKP.....	33
3.3.1 Část 1. Původní parametry a výkon zářiče.....	39
3.3.2 Část 2. Upravení výkonu zářiče.....	43
3.4 Simulace za úkolem snížení teploty pomocí úprav na reflektoru.....	45
3.4.1 Simulace skořepiny bez žebry a skořepiny se žebry pro emisivitu reflektoru 0,9...46	
3.4.2 Simulace skořepiny bez žebry a skořepiny se žebry pro emisivitu reflektoru 0,1.. 48	
4. Závěr.....	51
5. Seznam zkratk a symbolů.....	53
6. Informační zdroje.....	54
7. Seznam tabulek.....	55
8. Seznam obrázků.....	56

1. Úvod

Pomocí metody konečných prvků, dále už MKP, lze řešit mnoho technických úkolů, mezi než patří výpočty jednoduchých nosníků, teplotních zatížení součástí či velice náročné simulace deformování součástí. Pro správné výpočty a simulace je velice důležité rozumět dané problematice. Nezbytné je rovněž přesně a správně zadat vstupní parametry do programu a v neposlední řadě vědět, zda zvolený program dokáže požadované úkoly řešit. Při zpracování diplomové práce byl použit program COSMOSWORKS a SOLIDWORKS [15]. Z hlediska pravdivosti a jistoty výpočtů je zapotřebí ověření výsledků na fyzickém modelu. Poté lze s vysokou jistotou považovat numerické výsledky za pravdivé a je možné dále rozvíjet řešený úkol.

Diplomová práce se zabývá simulováním tepelného zatížení rohového reflektoru, který se nachází ve světlometu vozu Opel Zafira.

Teoretická část je věnována terminologii automobilového osvětlení a technickému řešení světlometu, kde jsou popsány zdroje světla a odrazové plochy. Práce se dále zabývá tepelnou energií. Hlavní pozornost je věnována pochopení pochodů sdílení tepla vedením, přestupem, zářením a numerickým vyjádřením těchto jevů. Poslední část teorie popisuje principy dotykového měření teploty drátovými termočládky.

Praktická část popisuje postup měření pomocí termočládků na rohovém reflektoru. Zjišťují se teploty na stanovených místech reflektoru, která budou později porovnávána se stejnými místy na 3D modelu. Následující část řeší úpravu výkonu zářiče pro stálé svícení reflektoru, protože výpočet pro přerušované svícení není z hardwarového hlediska možný. Následuje výpočet 3D modelu reflektoru, postup řešení, porovnání výsledků s měřením a popis těchto výsledků. V předposlední části se ladil řešený model, aby výsledky odpovídaly skutečnému reflektoru měřenému v klimatické komoře. Na závěr se vytvořil model opatřený žebry, aby se zkusilo, o kolik stupňů se sníží teplota v reflektoru. Výpočty se provedly pro doladěnou hodnotu výkonu zářiče a různé emisivity reflektoru.

Výsledkem diplomové práce je vytvoření postupu pro řešení teplotního zatížení reflektoru. Součástí řešení je navrhnutí chlazení reflektoru pomocí chladících žebry a následný výpočet, který udává o kolik se sníží teplota v reflektoru.

2. Teoretická část

2.1 Osvětlovací a návěstní zařízení

2.1.1 Rozdělení automobilových světel

Podle prostoru, kde se nachází u motorových vozidel, rozlišujeme světla nebo osvětlení na:

- ❖ **vnější,**
- ❖ **vnitřní [1].**

Podle účelu:

- ❖ **osvětlovací světla** – světla vyzařovaná světlomety určená k osvětlování jízdní dráhy na vzdálenost vyhovující provedení vozidla. Osvětlovací světla jsou dálková, tlumená (potkávací) a světla do mlhy.
- ❖ **návěstní světla** – světla vyzařovaná svítilnami určená k zajištění jeho viditelnosti, k upozornění na zpomalení jízdy při brzdění, na změnu směru jízdy apod. Návěstní světla jsou světla obrysová, koncová, brzdová a směrová [1].

Podle typu světelného zařízení:

- ❖ **světlomety** – svítidla se zdrojem spojeným s optickou soustavou, takže vysílají světlo do určeného vymezeného prostoru,
- ❖ **svítilny** – svítidla zpravidla s menším světelným výkonem, vydávající světlo usměrněné i neusměrněné,
- ❖ **odrazky** – záření se sklem (odrazivá skla) upravená opticky tak, aby za předepsaných podmínek odrážela světlo vysílané cizím zdrojem [1].

2.1.2 Historie osvětlení automobilů

První světlomety se začaly používat v automobilovém průmyslu po roku 1900. Byly to jednoduché plynové lampy nezávislé na zdroji elektrické energie (obr. 2.1). V lampě hořel acetylenový plamen, který obsahuje vysoké množství uhlíku. Jejich největší předností byly malé rozměry a nezávislost na potrubí jako u svítiplynu. Návěstní světla se v té době ještě nepoužívala. Pro změnu směru jízdy se případně používalo ruky jako při jízdě na kole.

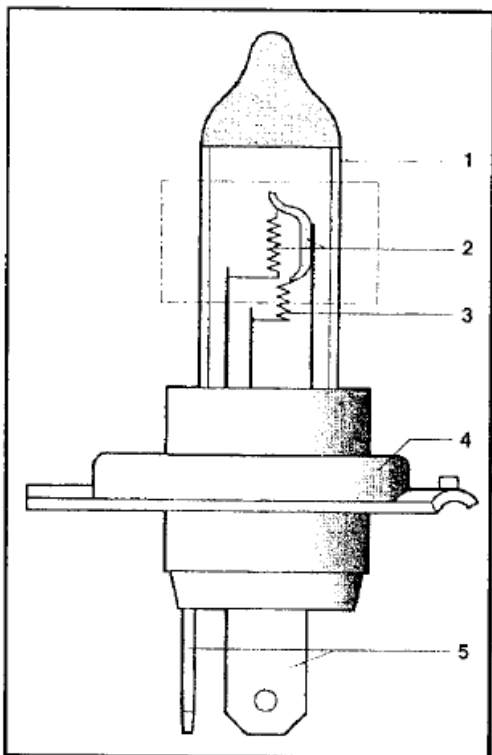


Obr. 2.1. První automobilové světlo [1]

2.1.3 Zdroj světla

Už před desítkami let se představily žárovky jako zdroj světla pro motorová vozidla a s určitými změnami a úpravami se hojně používají dodnes. Žárovky patří mezi žárové zdroje světla, u nichž je vznik světla podmíněn vysokou teplotou svítící látky. Žárovky mají spojité spektrum tzn., že vyzařované světlo obsahuje všechny barvy od červené až po fialovou. Protože teplota vlákna žárovky je velmi vysoká, převládá vyzařování tepla nad světlem, což znamená velmi nízkou účinnost zdroje.

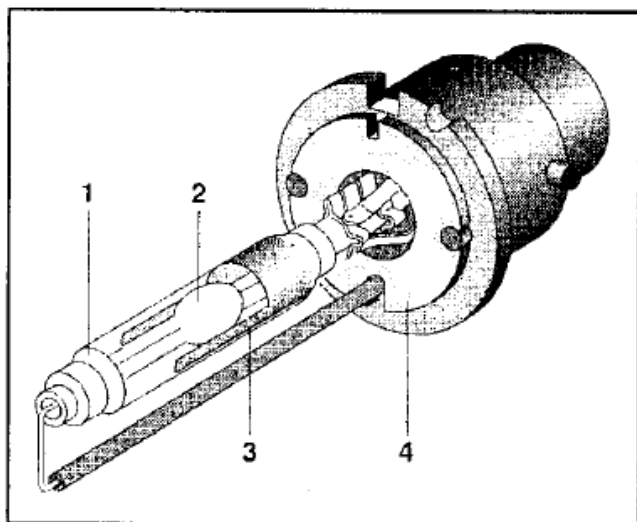
Ve světlometech se používají jako zdroj světla pro jejich vyšší svítivost a delší dobu životnosti *halogenové žárovky* místo konvenčních (obr. 2.2). Doba životnosti halogenových žárovek je asi dvojnásobná a svítivost dosahuje až dvojnásobku světelného toku oproti obyčejné žárovce. Halogenová žárovka dosahuje velmi vysokých teplot, a proto je velmi citlivá na znečištění povrchu především mastnotou (lidský pot). Baňka žárovky je plněna skupinou vzácných plynů.



Obr. 2.2. Halogenová žárovka H4 [1]

- 1 - baňka
- 2 - žhavená spirála pro tlumené světlo s krytem
- 3 - žhavená spirála pro dálkové světlo
- 4 - patice
- 5 - elektrický kontakt

Další možností zdrojů světla pro motorová vozidla jsou **výbojky** a **xenonové výbojky** (obr. 2.3).



Obr. 2.3. Xenonová výbojka D2R [1]

- 1. skleněná baňka
- 2. prostor pro hoření výboje
- 3. spínač
- 4. patice

Výhody těchto výbojek ve srovnání s halogenovou žárovkou spočívají v dvojnásobném světelném toku. Vyzařované světlo je podobné dennímu a zajišťuje lepší osvětlení krajnic.

Nevýhody spočívají ve složité konstrukci, ve vyšší pořizovací ceně a nutnosti použít složité řídicí jednotky pro regulaci střídavého napětí.

V minulosti se vyráběl zpravidla světlomet s jedním světlem a dvouvláknovou žárovkou pro potkávací a dálkové světlo, nebo byly vedle sebe dvě paraboly – jedna pro potkávací a druhá pro dálkové svícení. Směrové světlo bylo zpravidla umístěno v okrajích nárazníků nebo při okraji světlometu (obr. 2.4). Dnes se vyrábí světlometry, kde se nachází v jednom „domečku“ potkávací (hlavní), dálkový světlomet a směrové světlo (obr. 2.5).



Obr. 2.4. Vůz škoda 105 [13]

Světlo s dvouváknovou
žárovkou

Směrové světlo



Obr. 2.5. Volkswagen Golf Gti [14]

Přídavné dálkové světlo

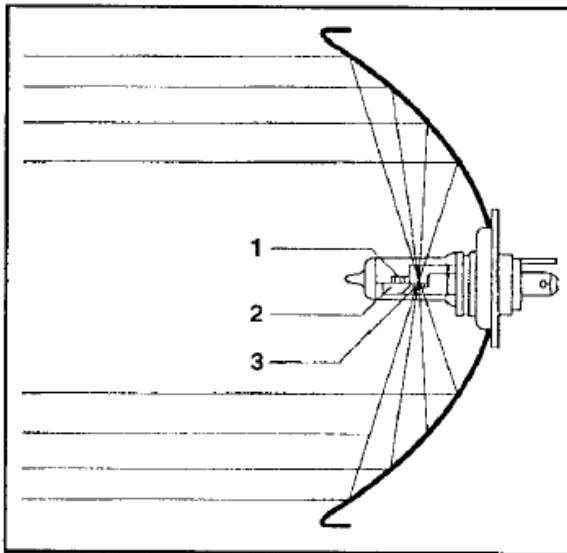
Směrové světlo

Hlavní světlomet

2.1.4 Reflektor

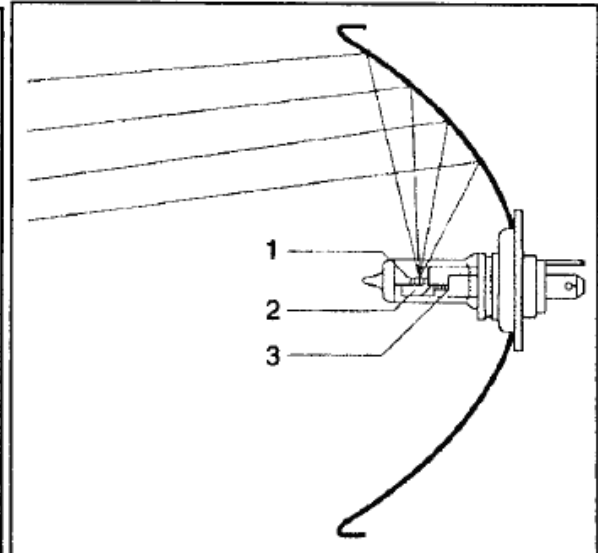
Reflektor (obr. 2.6, 2.7) je velice tvarově složitá součást, jejíž vnitřní část povrchu je opatřena hliníkovým povlakem pro co nejvyšší odrazivost paprsků. Hliníkový povlak je velice citlivý na poškození a znečištění, proto se ho nedotýkáme.

Dříve se odrazová plocha vyráběla z ocelového plechu. Dnes se využívají plasty pro svoji dobrou tvarovatelnost a vyšší odolnost oproti plechu. Světelná účinnost závisí nejen na tvaru odrazové plochy, ale také na jejím povrchu, který musí být hladký, trvanlivý s malou pohltivostí a musí dobře odrážet světelné paprsky. Dříve užívané postříbřené a leštěné odrazové plochy jsou dnes nahrazovány plochami s hliníkovou vrstvou napařenou ve vakuu, na které je nanesen ochranný lakový nebo křemenný povlak.



Obr. 2.6. Dálkové světlo (Bosch):

1 – vlákno pro tlumené světlo, 2 – krytka,
3 – spirála pro dálkové světlo v ohnisku [1].



Obr. 2.7. Dálkové světlo (Bosch):

1 – vlákno pro tlumené světlo, 2 – krytka,
3 – vlákno pro dálkové světlo [1].

2.2 Podstata záření – tepelná energie

Záření představuje přenos elektromagnetické energie ve formě vln s příčnou vibrací vzhledem ke směru jejich šíření. Svůj původ má v přívodu energie nebo ve vybuzení (excitaci) částic. Návrat této částice do nižší energetické hladiny je provázen emisí fotonů záření. Excitační proces se může lišit a podle jeho výsledků je vysílaná energie označována jako fosforescence, fluorescence, atd.. Jestliže excitace pochází od srážek s molekulami, které charakterizují teplotu, záření je označováno jako tepelné [2].

2.2.1 Sdílení tepla

Sdílení tepla je samovolný proces, kde dochází k přenosu tepla z teplejšího na chladnější těleso. Podle způsobu přenosu se rozlišuje:

- ❖ Vedení tepla (kondukce) – sdílení tepla uvnitř látek mezi molekulami, které navzájem nemění polohu (nemísí se);
- ❖ Přestup tepla (konvekce) – sdílení tepla na rozhraní dvou látek různého skupenství, které je způsobeno míšením tekutiny současně doprovázené vedením tepla;
- ❖ Tepelné záření (radiace) – sdílení tepla prostřednictvím elektromagnetického vlnění [2].

Všechny tyto způsoby se společně podílejí v technických případech na přenosu tepla. Mechanismus tepelného záření a druhotně přestup tepla se podílí na zahřívání reflektoru.

Kondukce - sdílení tepla vedením

Přenos tepla vedením se uskutečňuje prostřednictvím pohybu molekul. Z toho důvodu bývá vedení tepla mnohem intenzivnější u látek tuhých než např. u plynů, v nichž jsou molekuly daleko od sebe, a jejichž styk závisí na počtu jejich vzájemných srážek. Množství tepla je úměrné teplotnímu rozdílu ve směru toku energie. Zároveň je přímo úměrné ploše kolmé na směr toku a nepřímo úměrné vzdálenosti teplotních rovin [6].

Jedná se o tzv. Fourierův zákon:

$$\dot{Q} = -\lambda * S * \frac{dt}{dx} \quad (1) \quad \dot{Q} \dots \text{tepelný tok [W]},$$

λ ... měrná tepelná vodivost [$\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$],

S ... plocha kolmá ke směru tepelného toku [m^2]; $-dt/dx$... teplotní gradient.

Konvekce – sdílení tepla prouděním

Sdílení tepla prouděním se uskutečňuje pohybem makroskopických částic látky. Týká se tedy jen *kapalin a plynů (tekutin)*. Rozlišuje se konvekce přirozená a nucená. *Přirozená konvekce* probíhá samovolně změnou teploty, a tím i změnou hustoty dané látky. *Nucená konvekce* je vyvolaná např. míchacím zařízením, ventilátorem, čerpadlem, apod. V technické praxi probíhá nejčastěji sdílení tepla ze stěny do tekutiny a naopak. Teplo předané ze stěny o teplotě t_s do tekutiny teploty t je dáno *Newtonovým zákonem*:

$$\dot{Q} = \alpha_p S (t_s - t) \quad (2) \quad S \dots \text{plocha kolmá ke směru toku /m}^2/$$

$\alpha_p \dots$ součinitel přestupu tepla /Wm⁻²K⁻¹/ [2].

Součinitel přestupu tepla α_p se těžko stanovuje výpočtem, protože závisí na mnoha fyzikálních vlastnostech (teplota, tlak), na stavu tekutiny, na tvaru obtékané stěny (kanály, změny průřezů) a na druhu proudění (laminární, turbulentní). Součinitel přestupu tepla se většinou určuje pomocí bezrozměrných čísel, kde základní bezrozměrná čísla jsou Nusseltovo číslo, Reynoldsovo číslo, Prandlovo číslo a Grashoffovo číslo.

Časté případy v praxi bývají *průchod tepla stěnou*, kdy se jedná o sdílení tepla z teplejší do chladnější tekutiny oddělených stěnou. Teplo se sdílí nejprve přestupem z teplejší tekutiny na stěnu, dále vedením stěnou a nakonec přestupem ze stěny do chladnější tekutiny.

Radiace – sdílení tepla zářením

Mezi dvěma deskami nebo libovolnými plochami se vyskytuje zářící a pohlcující plyn, kde je teplota tak vysoká, že lze vedení tepla v porovnání se zářením zanedbat. Přímá výměna tepla zářením mezi plochami je snižována o pohltivost plynu a naopak zvyšována zářivostí plynu. Je zřejmé, že každá tenká vrstva plynu září na obě strany stejně, avšak tato vrstva není z obou stran sousedními vrstvami stejně ozařována a ani nepohlcuje záření z obou stran stejně. Tato vrstva tedy přispívá ke zvýšení výsledného toku tepla zářením mezi teplým a studeným povrchem desek tehdy, jestliže záření plynu je větší než jeho zeslabovací účinek na přímý přenos tepla zářením mezi oběma povrchy [2].

Sálání tepla se opírá o vlnovou teorii, kde tepelné sálání je příčným vlněním v rozmezí vlnových délek 0,4 - 40 nm, tzn. vlnových délek, které jsou pohlcovány tělesy a mění se opět na energii tepelnou [2]. Jiný přístup v teorii záření představuje přenos elektromagnetické energie ve formě vln s příčnou vibrací vzhledem ke směru jejich šíření, které vzniká

přeměnou převážně tepelné energie. Svůj původ má v přívodu energie nebo ve vybuzení částice (excitaci).

Teplo vydané, přenesené, nebo přijaté zářením se nazývá zářivá energie W_e . Příslušný tepelný tok přenášený zářením se označuje jako zářivý tok [2].

$$\Phi_e = dW_e / d\tau \quad (3)$$

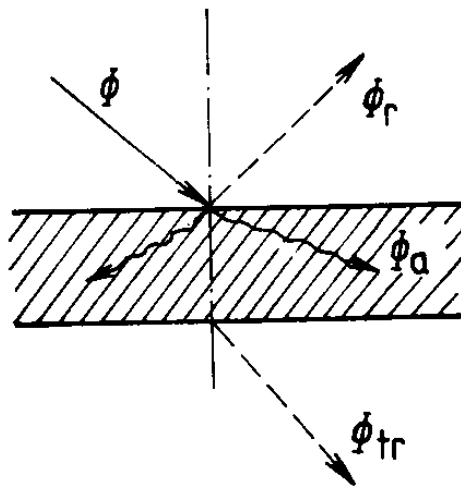
Schopnost tělesa vyzařovat energii charakterizuje intenzita vyzařování, kde A je plocha povrchu záření [2].

$$M_e = d\Phi_e / dA \quad (4)$$

Vlastnosti těles při dopadání zářivého toku Φ určuje množství pohlcené (index **a**), odražené (index **r**) a tělesem procházející (index **tr**) energie (obr. 2.8), kde zákon zachování energie záření má tvar:

$$\Phi = \Phi_a + \Phi_r + \Phi_{tr} \quad (5) [2].$$

$$\text{Bezrozměrné vyjádření } 1 = \Phi_a / \Phi + \Phi_r / \Phi + \Phi_{tr} / \Phi = \alpha_e + \rho_e + \tau_e \quad (6)$$



Obr. 2.8. Schéma odrazu, pohlcování a propouštění dopadajícího záření [2].

Vlastnosti těles z hlediska záření:

- ❖ pohltivost (absorpce) α_e vyjadřuje schopnost pohlcovat dopadající záření,
- ❖ odrazivost (reflektance) ρ_e vyjadřuje schopnost odrážet dopadající záření,
- ❖ propustnost (transmitance) τ_e vyjadřuje schopnost tělesa propouštět dopadající záření [3].

V praxi se běžná tělesa označují jako šedá. Jejich hraniční vlastnosti definují dokonalá (ideální) tělesa:

- ❖ dokonale černé těleso pohlcuje veškeré dopadající záření, proto $\alpha_e = 1, \rho_e = \tau_e = 0$;
- ❖ dokonale bílé (zrcadlové) těleso doráží veškeré dopadající záření, a proto $\rho_e = 1, \alpha_e = \tau_e = 0$;
- ❖ dokonale propustné těleso, jímž prochází dopadající záření, pak platí $\tau_e = 1, \alpha_e = \rho_e = 0$ [3].

Základní zákony

Základní zákony jsou odvozeny pro dokonale černé těleso.

a) Intenzitu vyzařování dokonale černého tělesa v závislosti na jeho povrchu vyjadřuje *Stefanův-Boltzmannův zákon*

$$M_{eo} = \sigma_o T^4 = C_o (T/100^4) \quad (7)$$

$\sigma_o \dots$ *Stefanův-Boltzmannůva konstanta*; $\sigma_o = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

$C_o = \sigma_o \cdot 10^{-8} \dots$ součinitel dokonale černého tělesa;

Pro šedá tělesa platí analogický vztah, kde emisivita ε je funkcí teploty pro různé materiály a charakter jejich povrchu.

$$M_e = C_o (T/100^4) = \varepsilon C_o (T/100)^4 \quad (8)$$

Podle vzorce (8) je patrné, že vyzařovaná energie roste se čtvrtou mocninou teploty [2].

b) *Kirchhoffův zákon* vyjadřuje závislost mezi energií vyzařovanou dokonale černým tělesem a šedým tělesem při téže teplotě vztahem

$$M_e = \alpha_e M_{eo} \quad (9)$$

z kterého na základě rovnic (8) a (9) plyne, že pro šedá nepropustná tělesa je emisivita rovna pohltivosti $\varepsilon = \alpha_e$ [2].

c) *Lambertův zákon* určuje intenzitu vyzařování ve směru svírajícím s normálou k ploše zářiče úhel φ

$$M_{e\varphi} = M_{en} \cos \varphi \quad (10), \quad (\text{index } n) \text{ značí intenzitu vyzařování ve směru normály}$$

[2].

$$M_{en} = M_o / \pi = \varepsilon_n C_o (T/100)^4 \quad (11), \text{ ze vztahu vyplývá, že emisivita plošného}$$

zářiče ve směru normály je $\varepsilon_n = \varepsilon/\pi$. (12)

Tato modifikace odvození platí pro šedé těleso do úhlu $\varphi \leq 60^\circ$ [2].

2.2.2 Numerické vyjádření úlohy vedení tepla

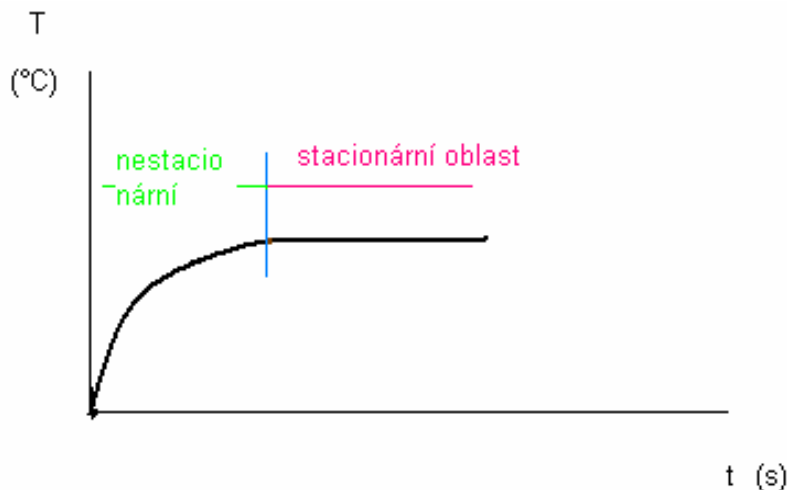
Nestacionární vedení tepla pevnými látkami je popsáno diferenciální rovnicí. Jedná se o případ, kdy je nárůst teploty v čase nelineární.

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (13)$$

Q ... měrný tepelný výkon /Wm-3/,
 T ... teplota /K/,
 J ... měrný tepelný tok /Wm-2/,
 τ ... čas /sec/,
 α ... součinitel přestupu tepla /Wm-2K-1/,
 c ... tepelná kapacita /Jkg-1K-1/,
 λ ... tepelná vodivost /Wm-1K-1/,
 ρ ... hustota materiálu /kgm-3/ [6].

Stacionární, časově neproměnný problém vedení tepla, se získá vypočtením pravé strany z rovnice (obr. 2.9). Jedná se o případ, kdy je nárůst teploty v čase lineární.

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q = 0 \quad [6]. \quad (14)$$



Obr. 2.9. Ukázka stacionární a nestacionární oblasti

V metodě konečných prvků je třeba sestavit pro úlohu vedení tepla následující funkcionál, který se skládá z *tepla vedeného tělesem*, z *tepelné kapacity materiálu*, z *vnitřních a vnějších zdrojů tepla* (tepelný tok povrchem tělesa). Rovnice je platná pouze pro kondukcí, není zde zohledněn vliv konvekce [6].

$$\Pi_T = \frac{1}{2} \int_V (T'^T \lambda T' + 2\rho c \dot{T} T - 2QT) dV - \int_S \dot{q} T ds_q \quad (15)$$

Ze vzorce je patrné, že se z časové změny teploty: $\dot{T} = N * \dot{\Delta}_T$ (16),

a podle derivace teploty podle prostorových souřadnic se získá: $T' = B * \Delta_T$ (17), kde B je matice parciálních derivací matice tvarových funkcí [6].

V souladu s aproximací posuvů je aproximace teploty, jakožto primární neznámé veličiny následující:

$$T = N * \Delta_T \quad (18) \quad N \dots \text{je matice tvarových funkcí prvku,}$$

$\Delta_T \dots$ vektor neznámých uzlových teplot.
 $T \dots$ teplotní pole [6].

Teplota je skalár a je popsána pouze jedním parametrem v uzlu. Dosazením vztahů (15,16,17) vede k výsledné podobě funkcionálu:

$$\Pi_T = \frac{1}{2} \Delta_T^T k \Delta_T + \Delta_T^T c \dot{\Delta}_T - \Delta_T^T (f_Q + f_q) \quad (19)$$

kde: $k \dots$ prvková matice tepelné vodivosti,
 $c \dots$ prvková matice tepelné kapacity,
 f_Q a $f_q \dots$ matice tepelného zatížení od vnitřních a vnějších zdrojů [6].

Z tohoto lze nyní sestavit výslednou diskrétní podobu rovnice nestacionárního vedení tepla: $C_T * \dot{\Delta}_T + K_T * \Delta_T = F_T$ (20)

$C_T \dots$ matice tepelné kapacity,
 $K_T \dots$ matice tepelné vodivosti,
 $F_T \dots$ matice tepelného zatížení,
 $\Delta_T \dots$ neznámé teploty v uzlech [6].

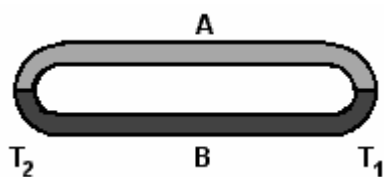
2.3 Dotykové měření teploty drátovými termočládky

2.3.1 Princip a použití termočládků a Seebeckův jev

Termočládky se používají především na měření teploty jako čidla. Lze je též využít jako zdroj elektrické energie, ale účinnost takovýchto zařízení a výkon je malý. Termoelektrický článek je tvořen dvěma vodiči z různých kovových materiálů, které jsou na obou koncích spolu vodivě spojeny. Když je tento spoj dvou kovů zahříván nebo chlazen, vzniká termoelektrické napětí a obvodem prochází termoelektrický proud. Termočlánek bývá obvykle vyroben z tenkého vodiče o průměru 0,1 – 0,5 mm. Vodiče jsou na konci svařené.

Materiály termočládku by měly mít vysokou odolnost proti chemickým a mechanickým vlivům, přesto je nutno při měření termočlánek chránit. Nejčastěji se používá keramická ochrana (korund) a dále je obalen ochranným pláštěm z kovu NiCr nebo Ni. Je dobré vědět, že časem plášť sondy nevydrží celý teplotní rozsah daného typu termočládku.

Funkce termočládku je založena na Seebeckovu jevu. Jev se projevuje u dvou vodičů A a B, u nichž je nutno udržet rozdílnou teplotu jejich spojů $T_1 > T_2$ (obr. 2.10).



Obr. 2.10. Dva různé polovodiče o rozdílné teplotě (termočlánek) [4].

V obvodě (obr. 2.10) při změně teploty na spojených drátkách vzniká malé napětí v řádu (mV) a začne jím protékat proud. Seebeckův jev se tedy projeví vznikem termoelektrického napětí.

Pro elektromotorické napětí E_{ab} a absolutní teploty spojů platí experimentálně zjištěný vztah:
$$E_{AB} = (a_A - a_B)(T_2 - T_1) + 0,5(b_A - b_B)(T_2 - T_1)^2 \quad (21)$$

E_{AB} – elektromotorické napětí

a, b – Seebeckovy koeficienty

T – teplota [4].

2.3.2 Typy termočlánků

Termočlánky se skládají z vhodné dvojice materiálů, jsou normalizovány včetně písmenného a barevného označení, např.:

- ❖ K (niklchrom-niklhlíník / žlutá),
- ❖ T (měď-konstantan / oranžová),
- ❖ J (železo-měďnikl / černá),
- ❖ E (chromel-konstantan / hnědá),
- ❖ R (platinarhodium-platina / zelená).

Protože termočlánek měří v širokém rozsahu teplot a může být relativně robustní, jsou termočlánky používány velmi často v průmyslu. Pro výběr termočlánku se používají následující kritéria:

- ❖ Teplotní rozsah
- ❖ Chemická odolnost termočlánku nebo materiálu pláště
- ❖ Odolnost proti abrazi a vibracím
- ❖ Požadavky instalace (potřeba kompatibility s existujícím přístrojem, existující otvory mohou určovat průměr sondy) [5].

Opláštěvané termočlánekové sondy jsou k dodání ve třech typech měřicího konce: uzemněný, neuzemněný nebo nechráněný. U uzemněného měřicího konce sondy jsou termočlánekové dráty fyzicky spojeny s vnitřní stěnou pláště termočlánku. To má za následek dobrý přenos tepla z vnějšku přes stěnu pláště sondy k termočlánekovému spoji. V neuzemněné (izolované) sondě je termočlánekový spoj oddělen od stěny pláště sondy. Odezva u tohoto termočlánku je pomalejší než u typu uzemněného, ale poskytuje se zde elektrická izolace. Termočlánek s nechráněným spojem má spoj vystrčený vně z konce pláště a je tak vystaven okolní atmosféře (obr. 2.11). Tento typ nabízí nejlepší odezvu, avšak použití je omezeno na suché nekorozivní a beztlakové aplikace [4].

Provedení měřícího konce termočlánu



Uzemněný
termočlánek



Neuzemněný
termočlánek



Nechráněný
termočlánek

Obr. 2.11. Ukončení termočlánu [4]

Doba odezvy je časová konstanta definovaná jako čas potřebný pro snímač, aby dosáhl 63,2% ze skokové změny teploty za definovaných podmínek. Je zapotřebí pět časových konstant, aby snímač dosáhl 100% skokové změny teploty. Nejrychlejší odezvu má nechráněný termočlánekový spoj. Na rychlost odezvy má výrazný vliv menší průměr pláště sondy, ale maximální teplota může být nižší.

3. Experimentální a výpočtová část

3.1 Měření teploty na rohovém reflektoru drátovými termočlánky

Cíl měření

Provedlo se měření teploty na vybraných místech reflektoru, které sloužilo pro ověření numerického výpočtu. Podle firemních norem se zkouší celý světlomet se všemi svítícími reflektory (potkávací, směrový, obrysový a rohový reflektor). Jelikož se v diplomové práci řeší pouze rohový reflektor, bylo nutné provést druhé měření, při kterém byl zapojen pouze rohový reflektor. Simuluje se pouze svícení samostatného reflektoru, který má minimální počet prvků oproti simulaci celého světlometu. Výpočet je časově méně náročný. Podle velikosti rozdílu naměřených teplot v jednotlivých měřeních se bude uvažovat o korekci vstupních parametrů v simulaci.

1. **Měření:** svítí pouze rohový reflektor podle předepsané frekvence blikání uvedené v postupu měření. Na ostatní žárovky reflektorů není přiváděno napětí.
2. **Měření:** do všech žárovek ve světlometu je přiváděno napětí a měření probíhá podle norem firmy popsanych v postupu měření.

Předmět zkoušky – rohový reflektor světlometu

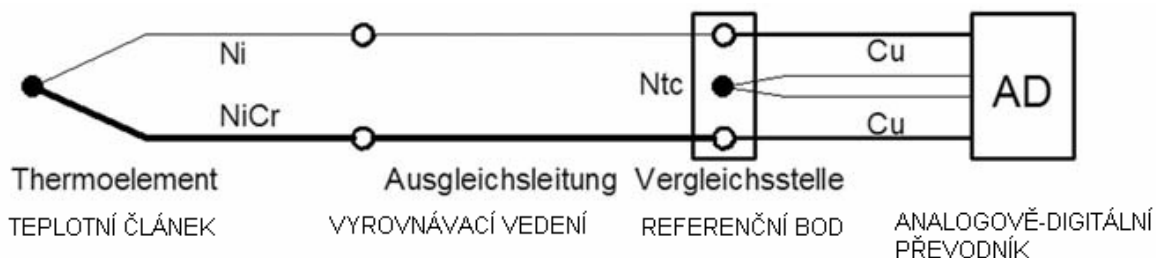
Zkušební zatížení – teplota okolí 50°C (ve zkušební komoře), relativní vlhkost 40 %, napájecí napětí 55 W žárovky je 13,9 V, doba svícení 2 hodiny, zatěžovací cyklus svícení reflektoru je 180s svícení a 180s nesvícení.

Použité přístroje a zařízení:

- klimatická komora Vötsch Industrietechnik VCS4100-5
- zdroj TDK-Lambda
- měřicí zařízení Ahlborn 2890-9
- analogově-digitální převodník
- drátkové termočlánky Ni-Cr
- ruční frézka
- dvousložkové lepidlo X 60 Schnellklebstoff
- výkon žárovky u měřeného rohového reflektoru je 55 W

Princip měřicího systému

Na konci termočlánku jsou propojeny drátky z odlišného materiálu (obr. 3.1). Působení tepla v tomto bodě vyvolá ve vodičích vznik nízkého napětí, které je pomocí vodiče vedeno do A-D převodníku a do měřicího přístroje. Pro použitý NiCr termočlánek jsou níže zobrazeny základní parametry (tab. 3.1).

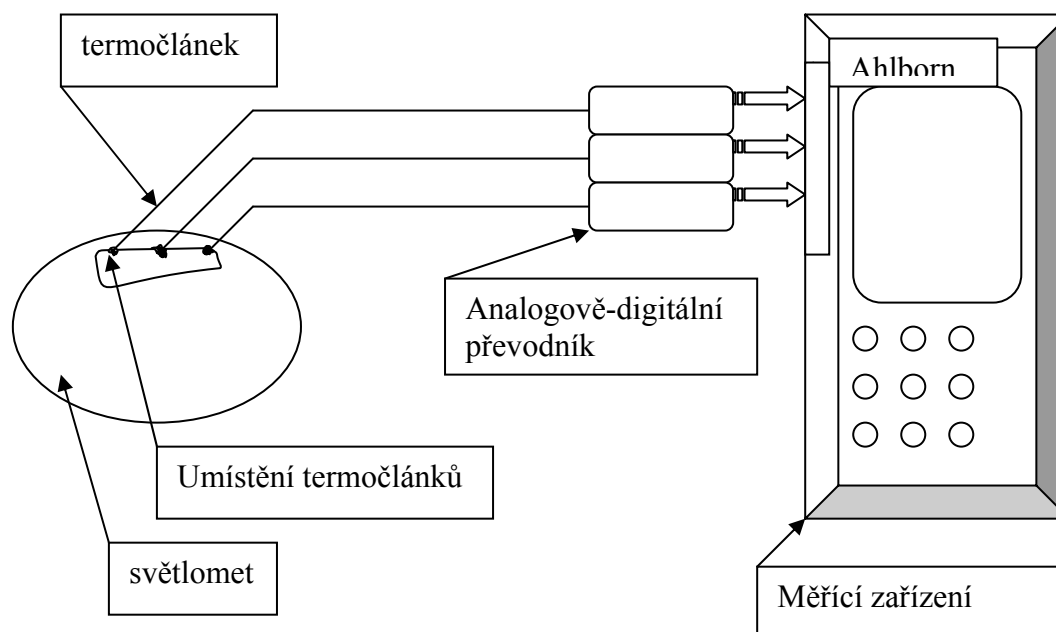


Obr. 3.1. Schéma zapojení do AD převodníku [7]

Tab. 3.1. Teplotní rozsah použitého termočlánku NiCr-Ni, typ K [7]

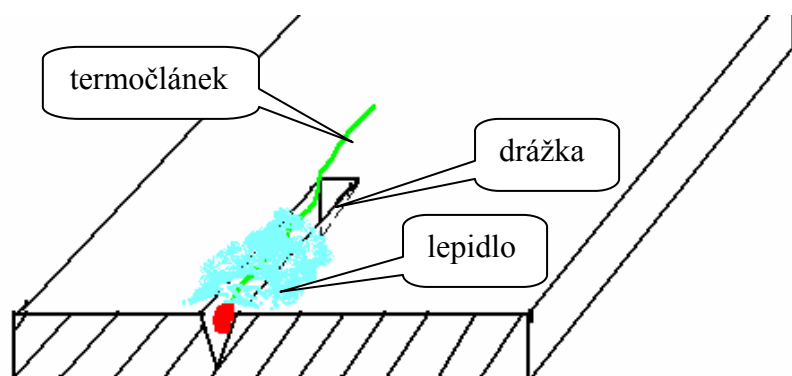
hodnoty podle IEC 584-1:1995 (IT S90)								
Teplota [°C]	-270	-200	-100	0	100	200	300	400
NiCr-Ni, typ K [mV]	...	-5,891	-3,554	0	4,096	8,138	12,209	16,397
[°C]	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
[mV]	20,644	24,905	29,129	33,275	37,326	41,276	45,119	48,838

Schéma měření

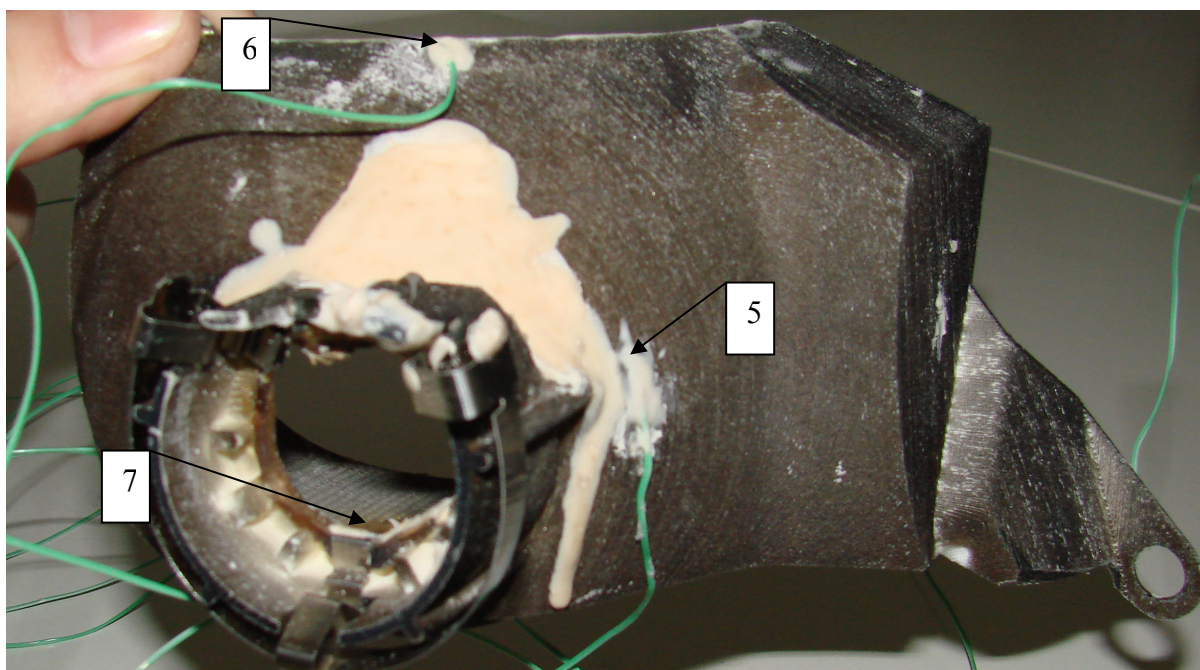


3.1.1 Postup měření

- 1) Odmontovaly se přední části světlometu a odšrouboval se rohový reflektor.
- 2) Na (obr. 3.2) je vyobrazeno správného uložení termočlánků. Pro přesné měření teploty je velice důležité dodržet přesné uložení termočlánků do drážky. Po zalití drážky lepidlem je nutné nepohnout s drátkem asi 2 min., aby se nezměnila poloha termočlánků ve drážce před zatuhnutím lepidla. Čas tuhnutí vícesložkového lepidla je závislý na správném poměru tužidla a základního prášku.
- 3) Na popsáných vytypovaných místech se vyfrézovala drážka (obr. 3.3). Postupně se do ní vlepily termočlánky a označily se číslicemi.
- 4) Po výše uvedených úkonech následovalo zpětné přišroubování rohového reflektoru do světlometu (obr. 3.4). Důležitým úkonem bylo pečlivé přitmelit přední část světlometu „domečku“, aby neutíkal teplo netěsnostmi.
- 5) Světlomet se vložil do klimatické komory a připojil se zdroj napětí.
- 6) Nastavily se parametry klimatické komory – teplota 50 °C a relativní vlhkost 40 %.
- 7) Napětí na zdroji u všech žárovek dosahovalo 13,9 V. Frekvence svícení u rohového reflektoru je 180s svícení a 180s pauza pro obě měření:
 1. měření – svítí pouze žárovka rohového reflektoru
 2. měření – svítí všechny žárovky
- 8) Následně se ověřilo stejné napětí na žárovkách a na zdroji. Případné odchylky se doladily.
- 9) Zapojily se seřazené termočlánky podle čísel do Ahlbornu, aby se jednoznačně definovala místa měření.
- 10) Nastavil se přístroj k měření teploty (Ahlborn).
- 11) Uzavřela se klimatická komora a spustilo se měření na předepsanou dobu 2 hodin.
- 12) Po ukončeném 1. měření se stáhla naměřená data do počítače a vytvořil se graf průběhů teplot.
- 13) Po ukončeném 2. měření se opět stáhla naměřená data do počítače a vytvořil se graf průběhů teplot.
- 14) Porovnal se grafy z prvního a druhého měření.

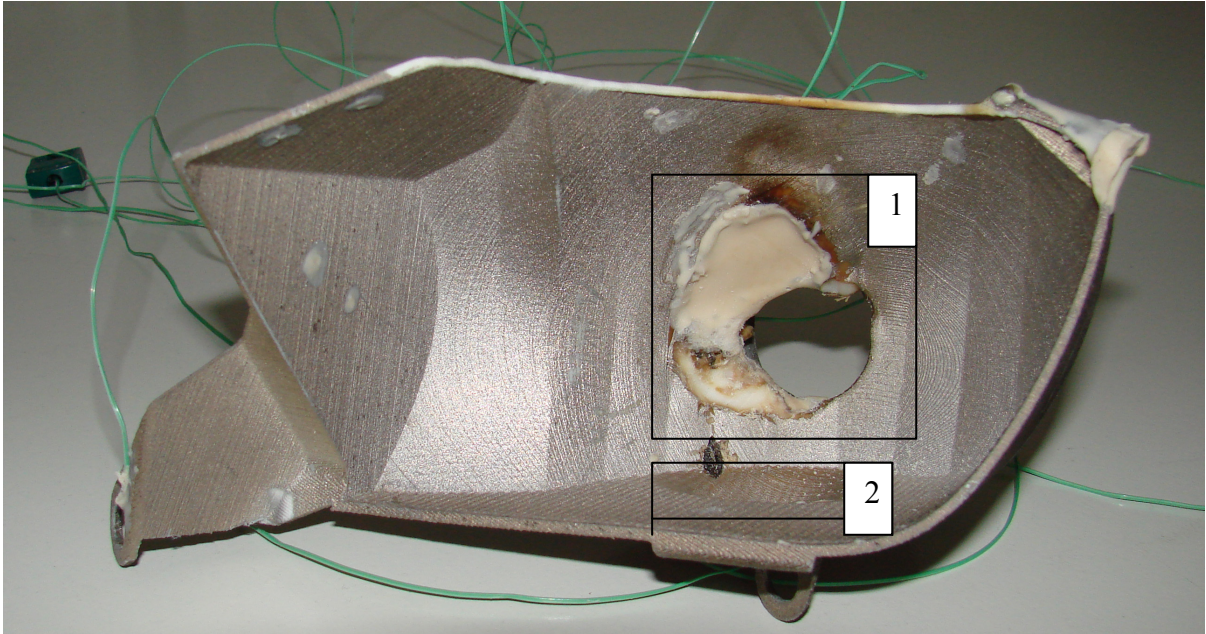


Obr. 3.2. Uložení termočlánku do drážky



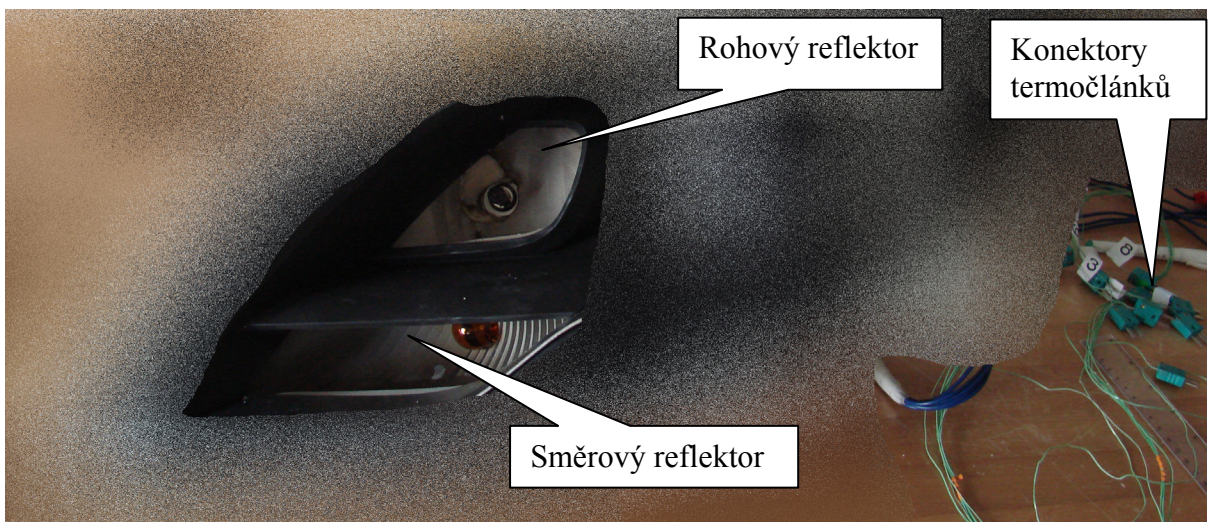
Obr. 3.3. Vyznačená místa umístění článků; pozn. Umístění článku 7 je ze zdola. (Číselné označení míst odpovídá číslům termočlánků na (obr. 3.5 a 3.6)).

Při dříve prováděných firemních testech docházelo k postupnému poškozování reflektoru. Toto poškozování spočívalo v tavení nejvíce ohřátých míst. Na (obr. 3.3 a obr. 3.3a) je viditelná oprava už protaveného místa, která musela proběhnout po prvním měření. Protavené místo se vybrousilo a vyplnilo lepidlem.



Obr. 3.3a. Pohled na reflektor zepředu

V označené oblasti 1 došlo až k protavení stěny (oblast s nejvyššími teplotami v reflektoru).
 V oblasti 2 došlo z důvodů vysokých teplot k propadu stěny reflektoru.

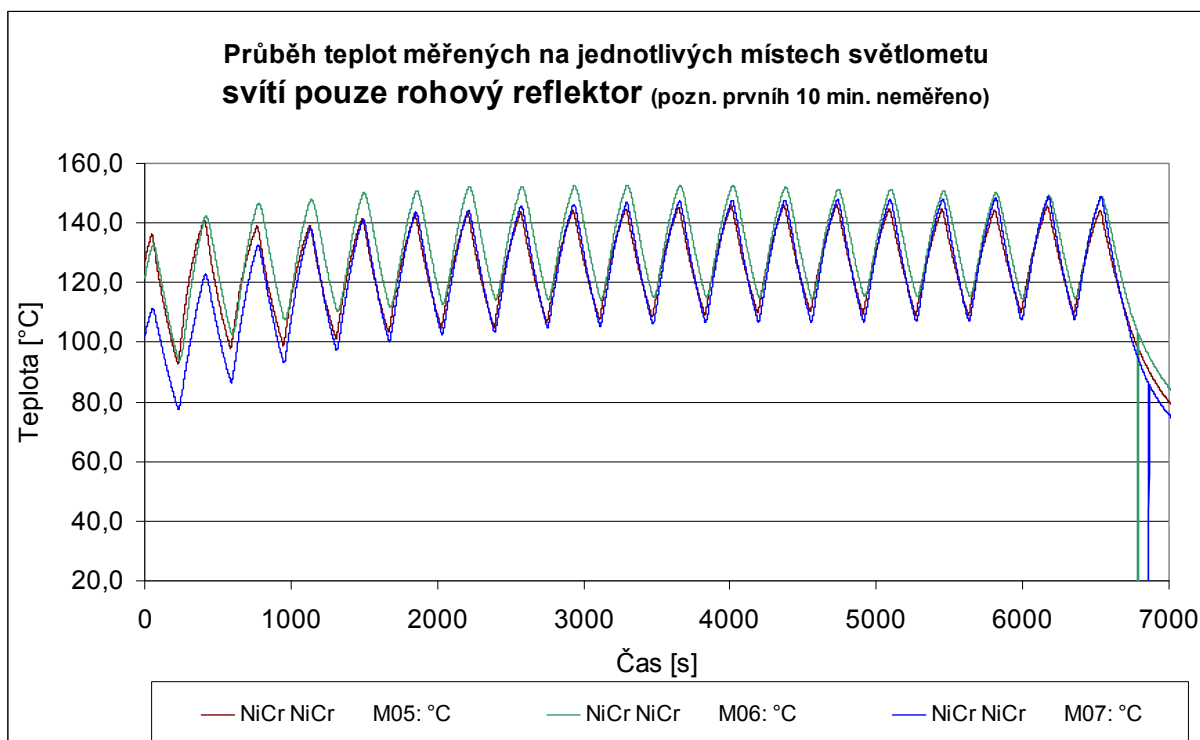


Obr. 3.4. Umístění rohového reflektoru ve světlometu; pozn. Z důvodu utajení, je obraz světlometu zastíněn.

3.1.2 Výsledky měření

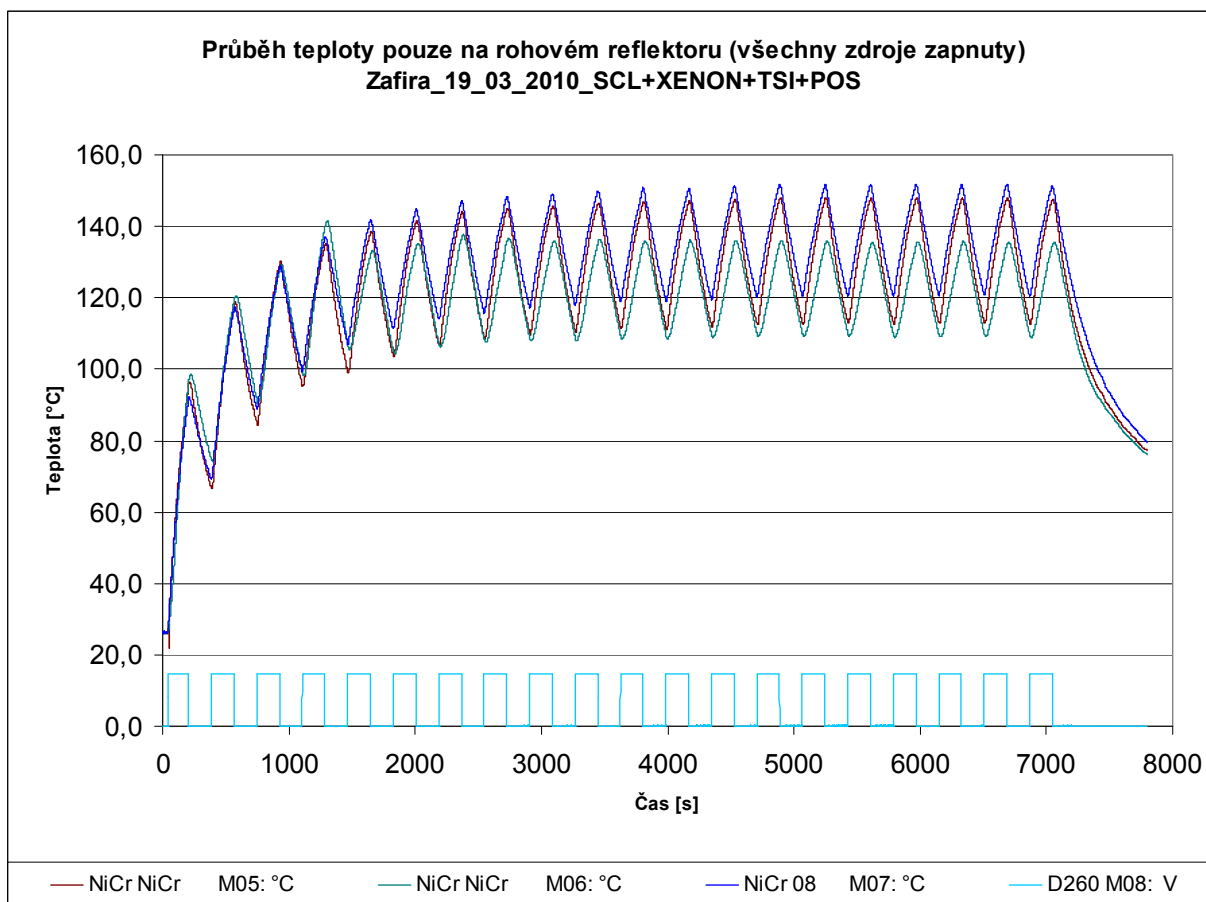
Měření č.1.: Zapojen pouze rohový reflektor

Na (obr. 3.5) jsou zobrazeny teplotní průběhy, které snímaly jednotlivé termočláanky. Každé barevné křivce odpovídá daný očíslovaný termočláanek.



Obr. 3.5. Průběh teploty na reflektoru měřený termočláanky

Měření č. 2.: Na (obr. 3.6) je zobrazen průběh zahřívání stěn rohového reflektoru, kde opět každá barevná křivka odpovídá snímání teploty daným termočlánkem.



Obr. 3.6. Průběh teploty na reflektoru (napětí přiváděno na všechny žárovky celého světloometu), D260M08 – funkce svícení rohového reflektoru

3.1.3 Vyhodnocení měření

Porovnáním těchto grafů se zjistil pokles teplot asi o 5 °C u měření, kde svítil pouze rohový reflektor. Pro zohlednění poklesu teplot je zapotřebí udělat korekci teploty v okolí reflektoru u numerického výpočtu. Odlišné teplotní průběhy naměřené na termočlánku č. 7, mohla ovlivnit oprava vzniklé protavené části reflektoru.

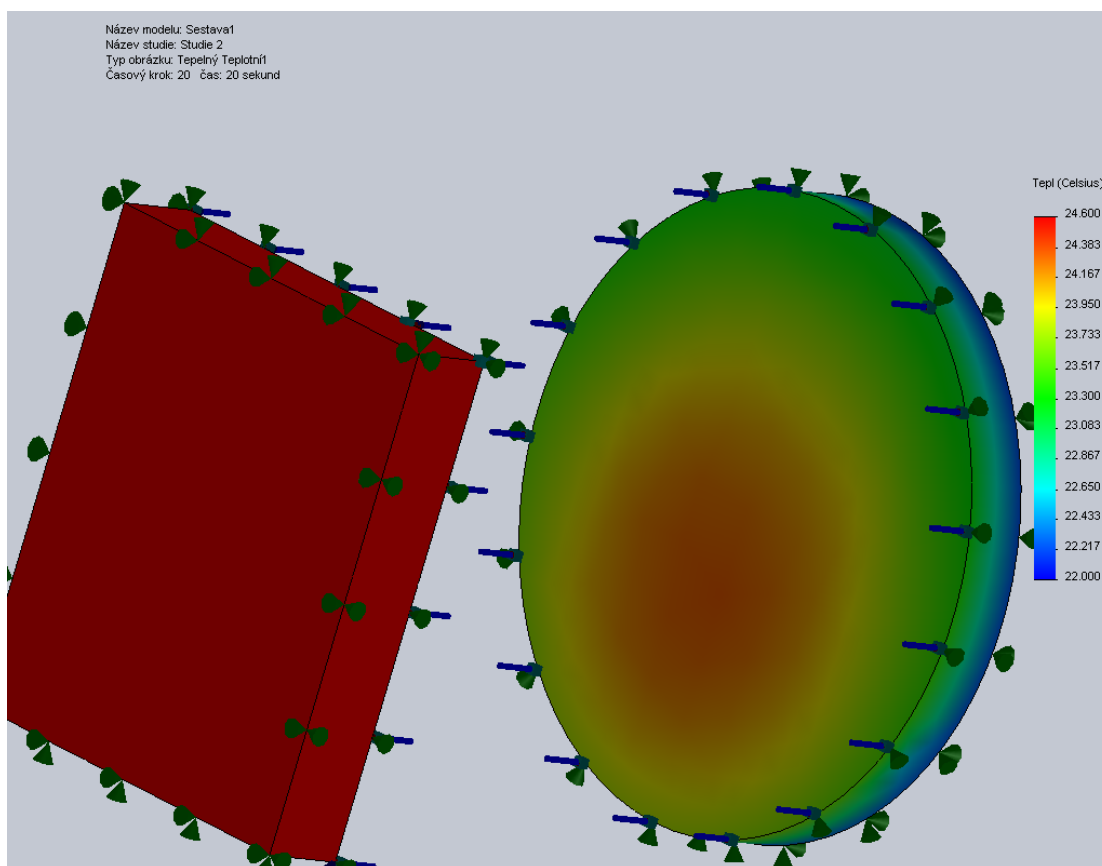
3.2 Úprava výkonu zářiče pro stálé svícení reflektoru pomocí zjednodušeného modelu

Praktické měření probíhalo za podmínek, kdy rohový reflektor 180s svítil a 180s nesvítil. Po naprogramování funkce průběhu svícení a po následném spuštění výpočtu se ukázalo, že je výpočet nereálný z důvodu neúměrné časové náročnosti výpočtu (cca stovky hodin). Nelze tudíž počítat průběh svícení žárovky jako u praktické zkoušky (přerušované svícení).

Vytvořil se postup pro upravení hodnoty výkonu zářiče 55 W, který byl použit u praktického měření u přerušovaného svícení. Udělal se první výpočet pro výkon zářiče 55 W. Následně byly zkoušeny další hodnoty výkonu zářiče pro simulaci provedenou za stálého svícení reflektoru. Nelze očekávat, že by šlo o poloviční hodnotu výkonu 55W z důvodu, že ve skutečnosti reflektor svítí poloviční dobu.

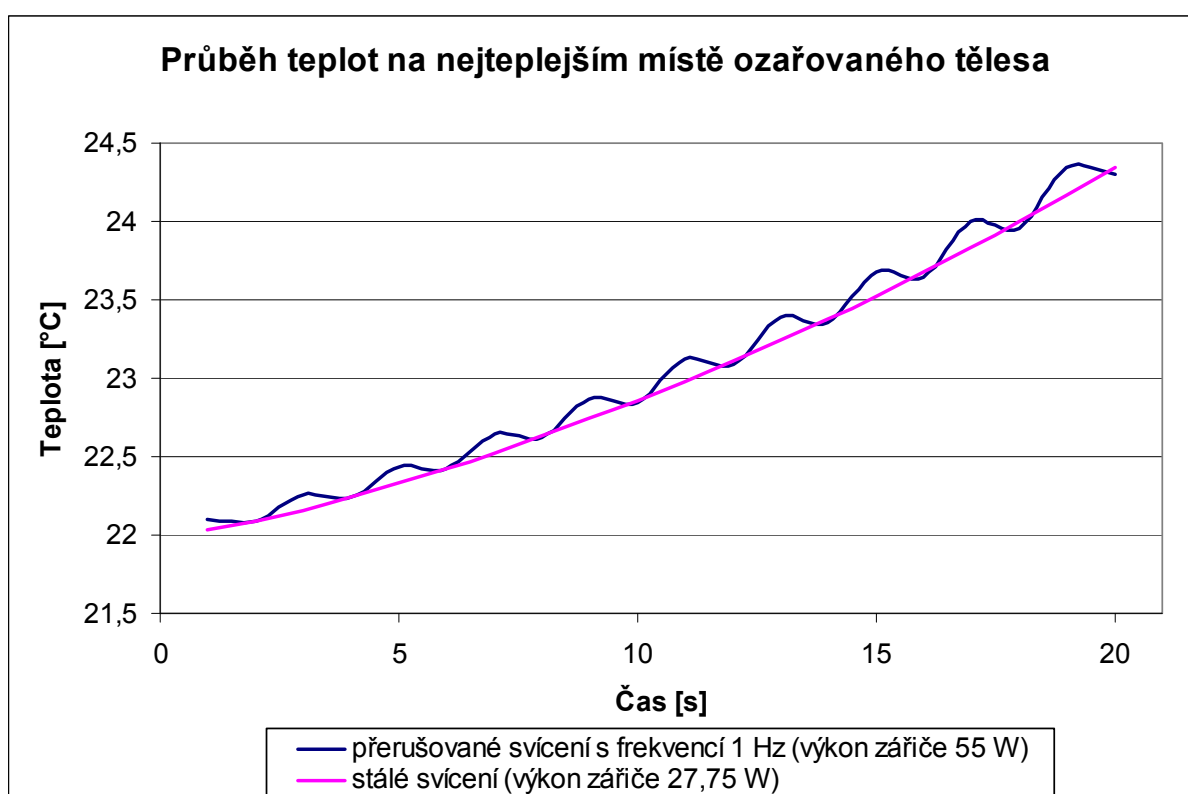
Postup řešení

- Vytvořil se zjednodušený model, který se sestával z ploché hranaté desky – zářiče a kulaté desky – ohřívaná plocha (obr. 3.7).



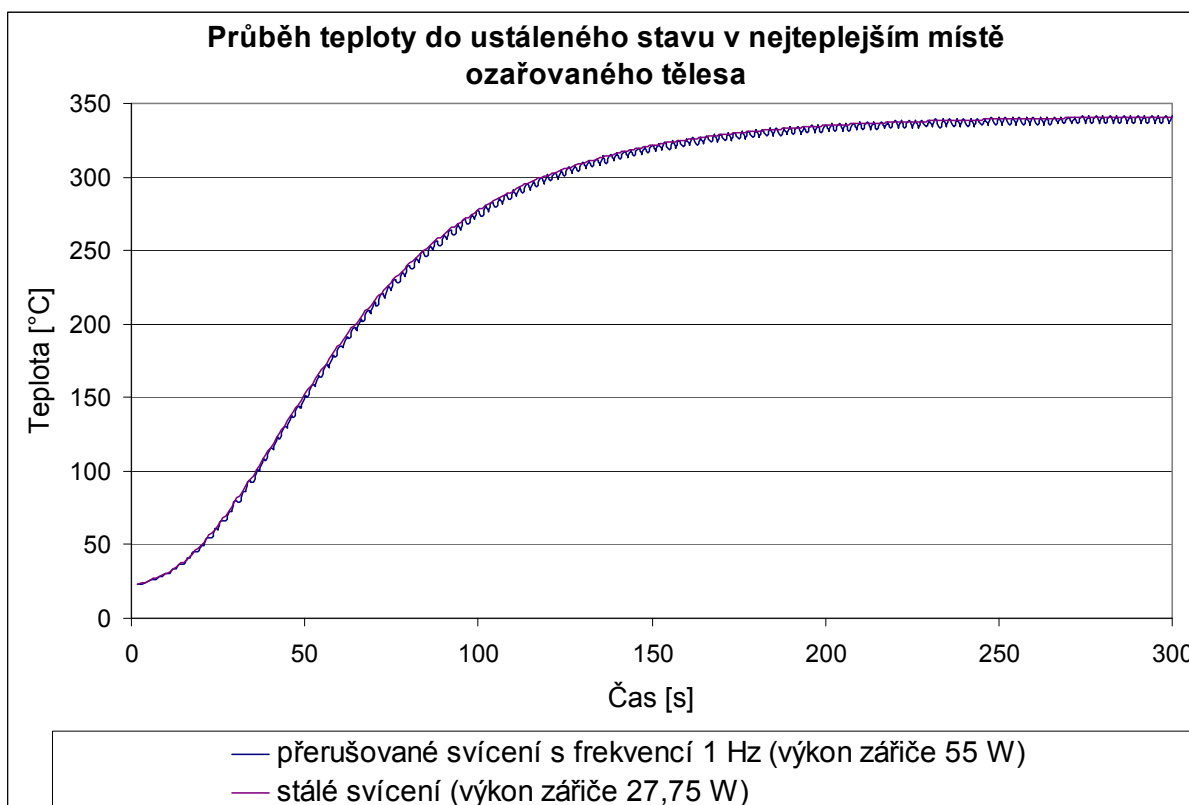
Obr. 3.7. Pomocný model teplotně zatížen

- b) U jednotlivých simulací se volily stejné podmínky zatížení a materiál jako u simulace rohového reflektoru. Zjednodušení oproti následně řešenému 3D modelu rohového reflektoru spočívala v podobě jednoduchých tvarů těles, jiné frekvenci svícení, jiné vzdálenosti mezi zářičem a ozařovaným tělesem.
- c) U první simulace byl definován výkon zářiče 55 W, který zářil na protilehlé těleso o předepsané frekvenci svícení 1Hz po dobu 20s. Tento čas a frekvence se stanovila proto, aby byl výpočet a korekce výkonu v následujících simulacích rychlý. Výsledný teplotní průběh představuje modrá křivka na (obr. 3.8a).
- d) Druhá simulace představovala stálé svícení zářiče po dobu 20s. Při prvním pokusu se zvolila hodnota výkonu zářiče 22,5 W. Získaný teplotní průběh měl nižší tepelné hodnoty oproti první simulaci. To znamenalo provést další výpočty, kde se zvyšovaly teploty zářiče. Výsledné teplotní průběhy se neustále porovnávaly s první studií, dokud se křivky nezačaly shodovat.
- e) U výpočtu konečné studie, kde tepelné průběhy začaly korespondovat, byl nastaven výkon zářiče na 27,75 W. Teplotní průběh představuje růžová křivka na (obr. 3.8a).



Obr. 3.8a. Růst teplot na protilehlé stěně v nejteplejším místě (detail)

f) Na závěr se provedly dvě ověřovací studie. První studie, viz. bod c), probíhala do ustáleného stavu. Druhá studie o výkonu zářiče 27,75 W, viz. bod e), probíhala rovněž do ustáleného stavu. Porovnáním tepelných průběhů se zjistilo, že křivka pro stálé svícení kopíruje křivku přerušovaného svícení (obr. 3.8b). Z křivek na (obr. 3.8a) je patrné, že na začátku časového úseku se průběh křivky pro stálé svícení pohybuje na dolní hranici křivky pro přerušované svícení. Na (obr. 3.8b) je znázorněn opačný jev, který by měl odpovídat skutečnosti.



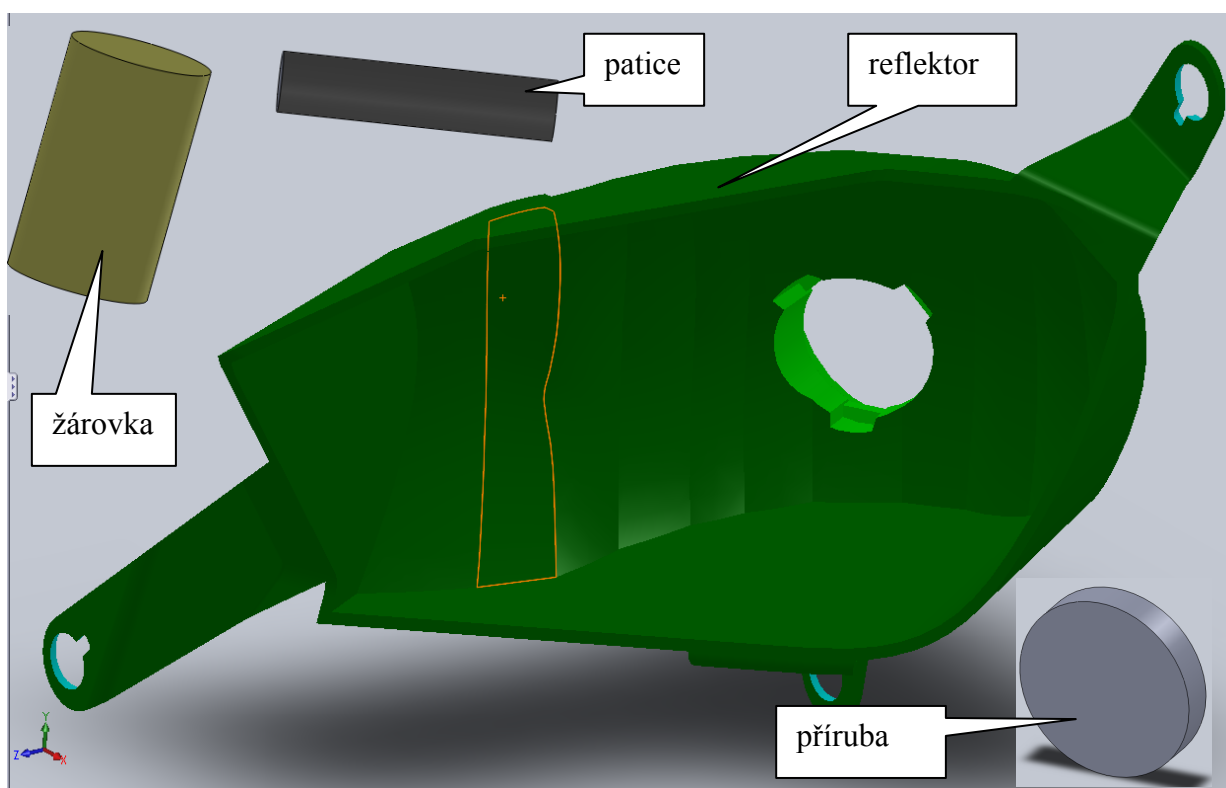
Obr. 3.8b. Růst teplot do ustáleného stavu

Závěr provedené studie

Zjednodušení použítá v této kapitole byla nezbytná pro úpravu výkonu zářiče pro stálé svícení reflektoru. Zjištěná hodnota 27,75 W může být použita pro výpočet 3D modelu rohového reflektoru. Tato hodnota však nemusí být správná.

3.3 Porovnání fyzického měření s výpočtem na 3D modelu pomocí MKP

Simulace byla řešena v programu COSMOSWORKS a SOLIDWORKS [15]. Jednotlivé komponenty ve studii byly vymodelovány v takové velikosti, aby geometrické usazení dílů odpovídalo geometrii zkoušeného reflektoru. Toto nedodržení by vedlo k nesprávným výsledkům v podobě posunutého teplotního pole a různým teplotám. 3D model se skládal ze čtyř samostatných dílů (obr. 3.9): reflektor (skořepina), který byl poskytnut firmou Automotive Lighting, patice žárovky (tyčka), žárovka (váleček) a příruba, která byla následně připojena ke skořepině jako jeden díl, což umožnilo provést jednodušší výpočet.



Obr. 3.9. Ukázka jednotlivých dílů, ze kterých se skládá sestava 3D modelu

Před samotným řešením simulace se musel model skořepiny upravit, protože se měření provádělo už na pozměněném tvaru reflektoru, ke kterému došlo při předchozích pokusech firmy. Proto se provedlo odfrézování části materiálu na 3D modelu, aby tvar modelu odpovídal skutečnému reflektoru. Druhá změna spočívala ve vytvoření jakési záslepky, aby bylo možné v sestavě spojit žárovku s tyčkou a skořepinou. Následně se vytvořila sestava z jednotlivých dílů pro budoucí výpočet.

Postup řešení

- a) Zvolila se teplotní úloha v programu Cosmosworks.
- b) Následně bylo zapotřebí nadefinovat vlastnosti materiálu u jednotlivých dílů. Od firmy nebyly předány parametry k materiálu skořepiny, která byla vyrobena z tepelně odolného plastu. Z tohoto důvodu se zvolil střední typ plastu z knihovny materiálu, kterou disponuje použitý program. Pro tyčku se zvolil plastový materiál z knihovny materiálu. Některé parametry tyčky byly upraveny tak, aby byla co nejméně vodivá. Jako materiál pro žárovku se zvolilo sklo z knihovny materiálu. Podrobnosti a navolené parametry materiálů jsou uvedeny v (tabulce 3.2a,b,c).

Tab. 3.2a. Vlastnosti materiálu skořepiny

Vlastnost	Hodnota	Jednotky	Závislost na teplotě
Modul pružnosti	2410000000	N/m ²	Konstanta
Poissonova konstanta	0.3825	NA	Konstanta
Modul pružnosti ve smyku	866700000	N/m ²	Konstanta
Hustota	1300	kg/m ³	Konstanta
Pevnost v tahu	40700000	N/m ²	Konstanta
Pevnost v tlaku		N/m ²	Konstanta
Mez kluzu	142559000	N/m ²	Konstanta
Součinitel tepelné roztažnosti	3e-005	/Kelvin	Konstanta
Tepelná vodivost	0.147	W/(m.K)	Konstanta
Měrné teplo	1355	J/(kg.K)	Konstanta
Poměr tlumení materiálu		NA	Konstanta

Tab. 3.2b. Vlastnosti materiálu tyčky

Vlastnost	Hodnota	Jednotky	Závislost na teplotě
Modul pružnosti	1070000000	N/m ²	Konstanta
Poissonova konstanta	0.4101	NA	Konstanta
Modul pružnosti ve smyku	377200000	N/m ²	Konstanta
Hustota	952	kg/m ³	Konstanta
Pevnost v tahu	22100000	N/m ²	Konstanta
Pevnost v tlaku		N/m ²	Konstanta
Mez kluzu	142559000	N/m ²	Konstanta
Součinitel tepelné roztažnosti	3e-005	/Kelvin	Konstanta
Tepelná vodivost	1e-017	W/(m.K)	Konstanta
Měrné teplo	1796	J/(kg.K)	Konstanta
Poměr tlumení materiálu		NA	Konstanta

Tab. 3.2c. Vlastnosti materiálu žárovky

Vlastnost	Hodnota	Jednotky	Závislost na teplotě
Modul pružnosti	6.8935e+010	N/m ²	Konstanta
Poissonova konstanta	0.23	NA	Konstanta
Modul pružnosti ve smyku	2.8022e+010	N/m ²	Konstanta
Hustota	2457.6	kg/m ³	Konstanta
Pevnost v tahu		N/m ²	Konstanta
Pevnost v tlaku		N/m ²	Konstanta
Mez kluzu		N/m ²	Konstanta
Součinitel tepelné roztažnosti	9e-006	/Kelvin	Konstanta
Tepelná vodivost	0.74976	W/(m.K)	Konstanta
Měrné teplo	834.61	J/(kg.K)	Konstanta
Poměr tlumení materiálu		NA	Konstanta

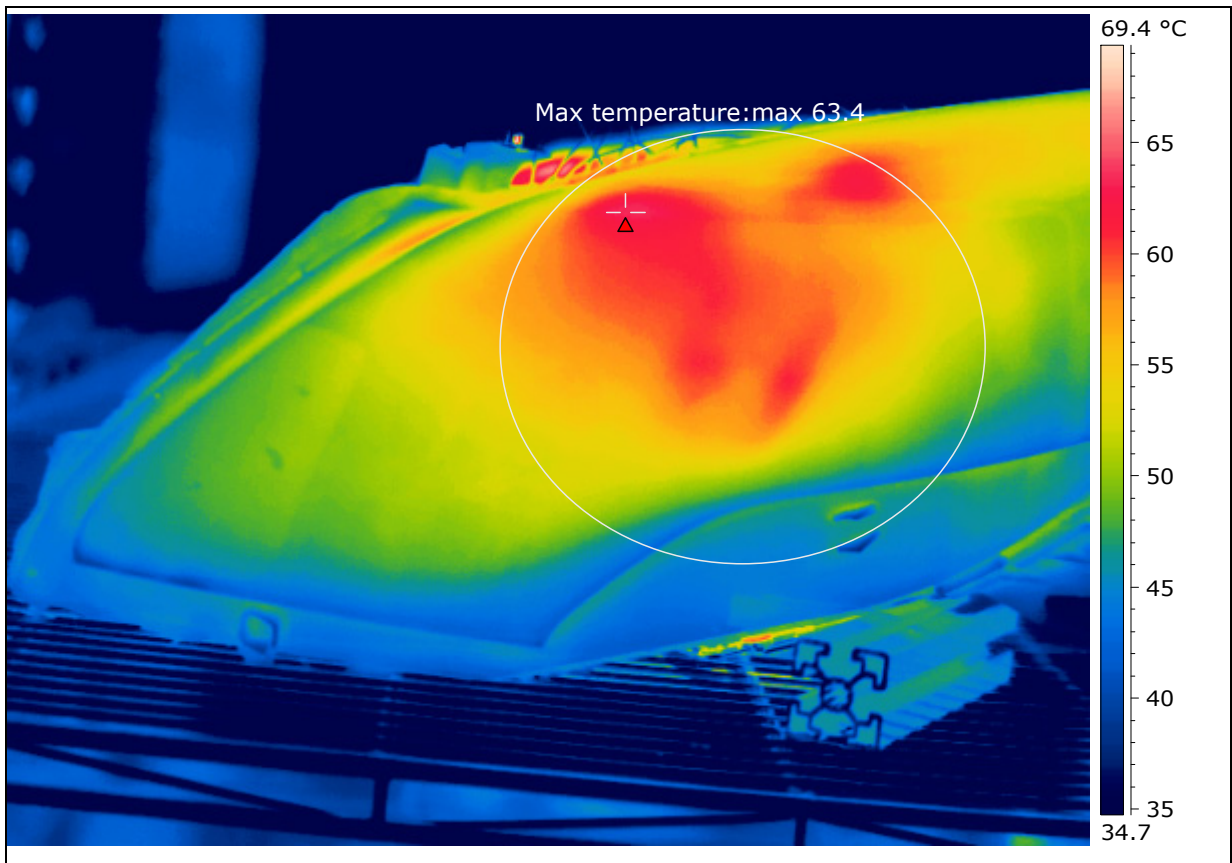
- c) Následovalo zvolení vstupních podmínek a zatížení. Jednotlivé parametry a hodnoty jsou uvedeny v tabulce (tab. 3.3).

Tab. 3.3. Podmínky zatížení

Navolené vstupní podmínky	
teplota těles	22 °C
teplota okolí	70 °C
počáteční teplota	22 °C
konvekce - souč. přestupu tepla ve vzduchu	10 W/m ² K
emisivita vnitřní plochy skořepiny ϵ	0,9
síla tepla (výkon žárovky)	55 W
emisivita žárovky ϵ	0,9

Teplota okolí v klimatické komoře je nastavena na 50 °C. Jak už bylo výše uvedeno, rohový reflektor se testuje ve světlometu, kde působí další 3 zdroje tepla (potkávací světlo, obrysově světlo a směrový reflektor).

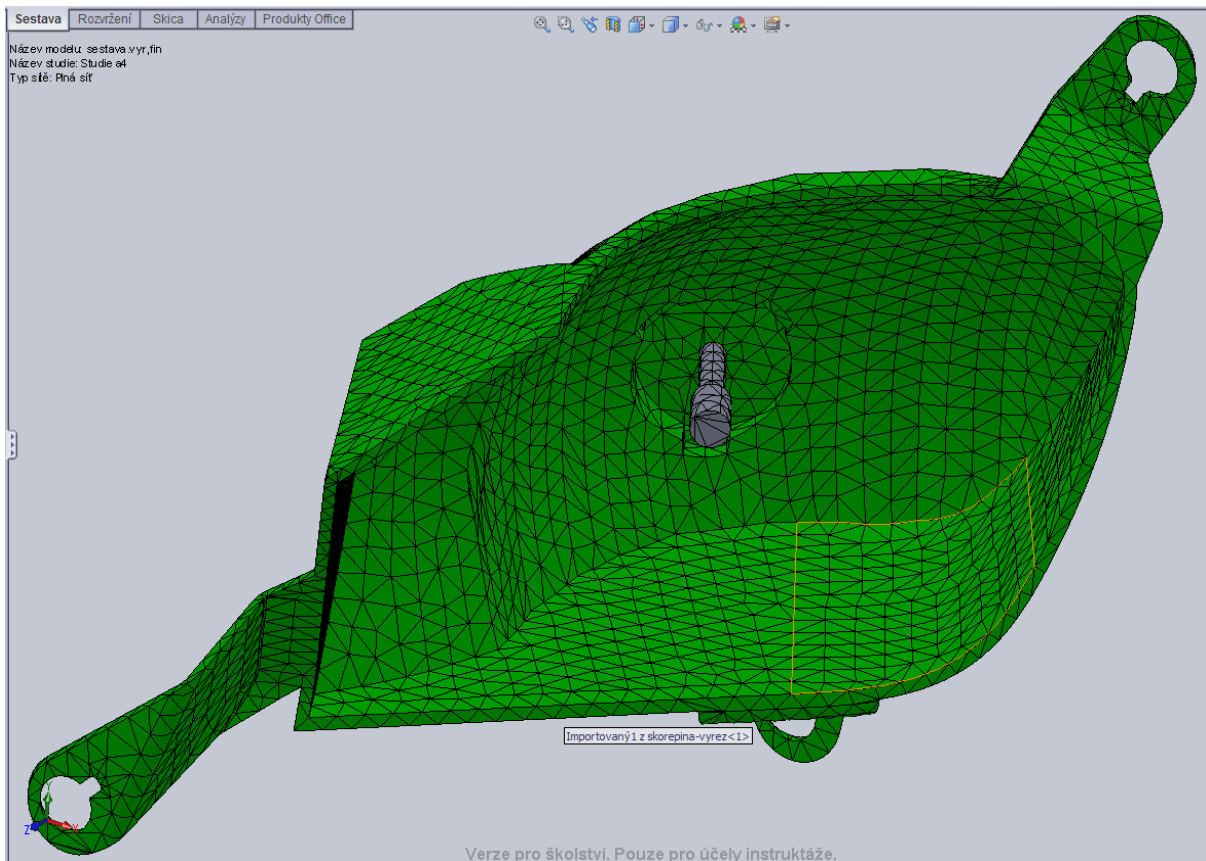
Při praktickém měření pomocí termočlánků se zjistil rozdíl teplot 5 °C. Bylo řečeno, že tento rozdíl se vykompenzuje změnou teploty okolí reflektoru. Z tohoto důvodu se provedlo měření infrakamerou (obr. 3.10), při kterém se zjistily teploty na povrchu světlometu.



Obr. 3.10. Snímek z infракamery

Po odečtení teploty z infракamery se zvolila teplota okolí testovaného rohového reflektoru 70 °C. Tato nejvyšší teplota byla stanovena s ohledem na budoucí řešení pro snižování teploty pomocí žeber. Zvolená vyšší hodnota teploty představuje nejhorší variantu, což znamená nižší možnost ochlazování stěn, než při teplotě okolí 60 °C, která převládá. V případě vyrobení žebrovaného reflektoru a změření teploty pomocí termočlánků by mohla být teplota ještě o něco nižší, než jakou teplotu budou vykazovat budoucí studie.

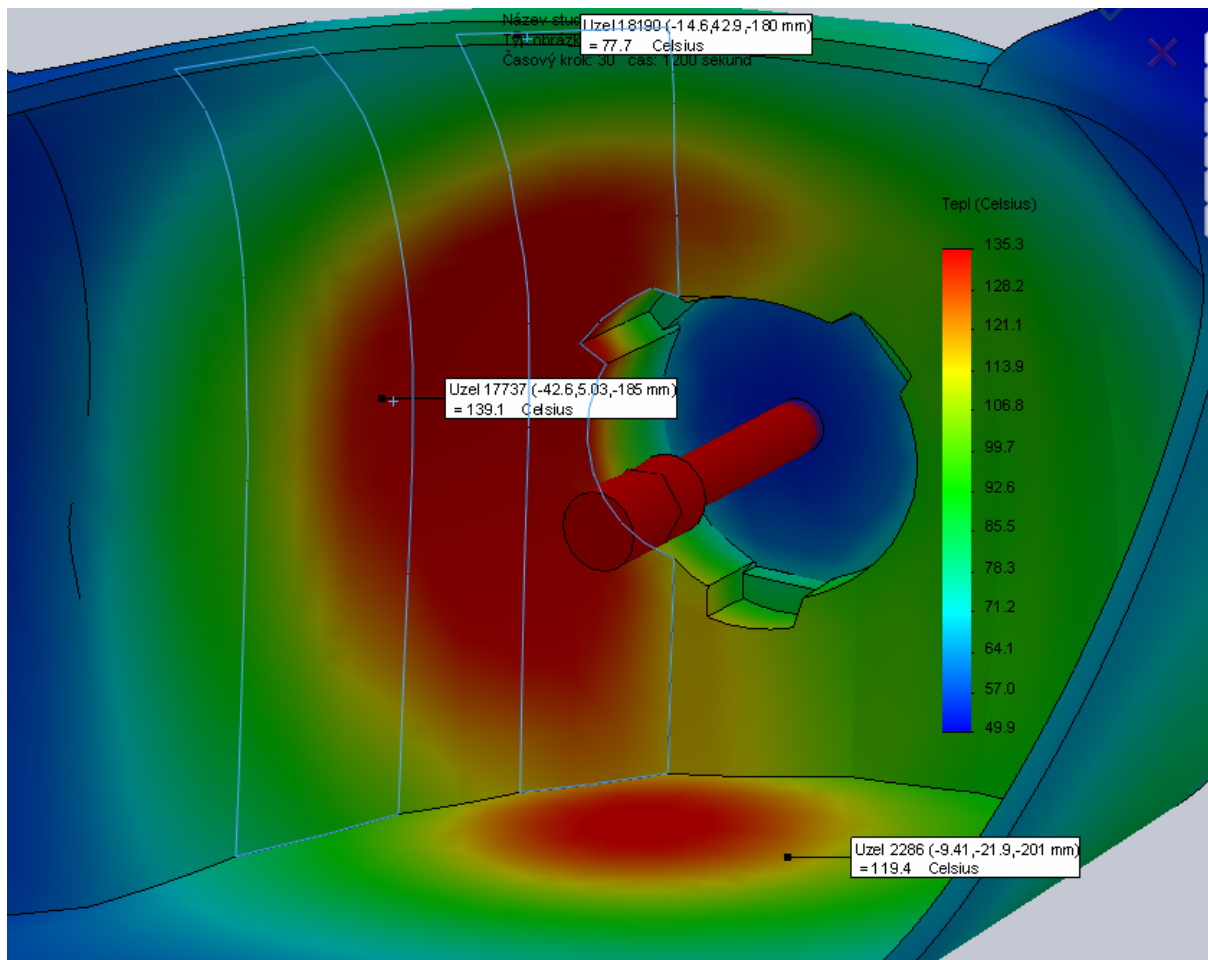
- d) Další krok spočíval ve vysítování 3D modelu (obr. 3.11) a případné úpravě velikosti sítě. Za předpokladu, že se zvolí příliš hrubá síť, nedojde k vysítování 3D modelu. Pokud se provede vysítování příliš hrubou sítí, zjištěná teplota na 3D modelu by se mohla lišit i o několik stupňů celsia, protože intenzita tepla se vzdáleností od zdroje velice mění. Tato skutečnost byla zjištěna při testovacích výpočtech. Když se zvolila příliš hustá síť, výpočty byly přesné, ale čas výpočtu byl velice prodloužen. Proto se zvolila velikost sítě $4,28 \text{ mm}^2$, jež vyhovovala potřebám výpočtu.



Obr. 3.11. Ukázka vysíťovaného modelu

Výpočtová studie pro upravený výkon zářiče 27,75 W

Výpočtem reflektoru v ustáleném stavu bylo zjištěno, že teploty v definovaných místech neodpovídají naměřeným teplotám zjištěným při měření (obr. 3.12). Teploty byly přibližně o 15 °C nižší při porovnání s praktickým měřením.



Obr. 3.12. Obrázek teplot z prvotní simulace o výkonu zářiče 27,75 W

Z výsledků této studie lze usuzovat, že uvedené zjednodušení, které je popsáno v odstavci 3.2, by nemuselo být pravdivé, protože po dvou hodinách při ustáleném stavu je možné, že rozdíl v teplotách bude nepatrný. V tomto případě by snížení výkonu zářiče znamenalo hrubou chybu. Veškeré výpočtové studie uvedené v diplomové práci nezohledňují proudění vzduchu. Při zohlednění tohoto předpokladu by měly být vypočtené teploty vyšší oproti naměřeným, což (obr. 3.6) nepotvrzuje.

S ohledem na zjištěnou okolnost se zvolily dva přístupy dalšího řešení. První část výpočtu bude realizovaná pro původní parametry a výkon zářiče, aby se zjistily rozdíly teplot mezi teplotním měřením pomocí termočlánků a numerickým výpočtem.

Provedly se dva výpočty:

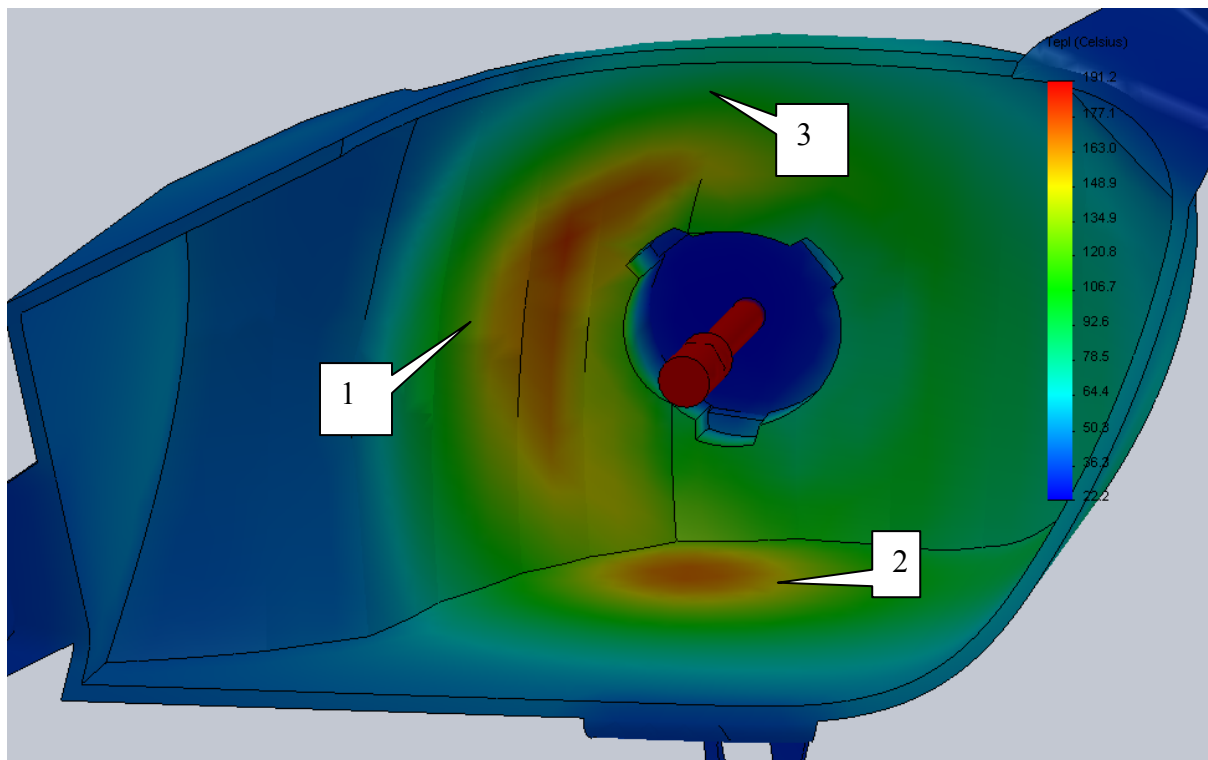
- a) Stálé svícení prvních 180s, kdy jsou podmínky u praktického měření a numerického výpočtu stejné.

b) Stálé svícení do ustáleného stavu

V druhé části výpočtů se upravila hodnota výkonu tak, aby křivky pro prvních 180s korespondovaly s praktickým měřením. Jak bylo výše uvedeno, na výsledky numerických výpočtů má významný vliv proudění. Bylo by možné vliv proudění vykompenzovat změnou hodnoty proudění, které má pro vzduch hodnotu $10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Toto zjednodušení s ohledem na budoucí řešení, nelze využít pro výpočet žebrovaného reflektoru, protože by žebra odváděly jiné množství tepla než ve skutečnosti.

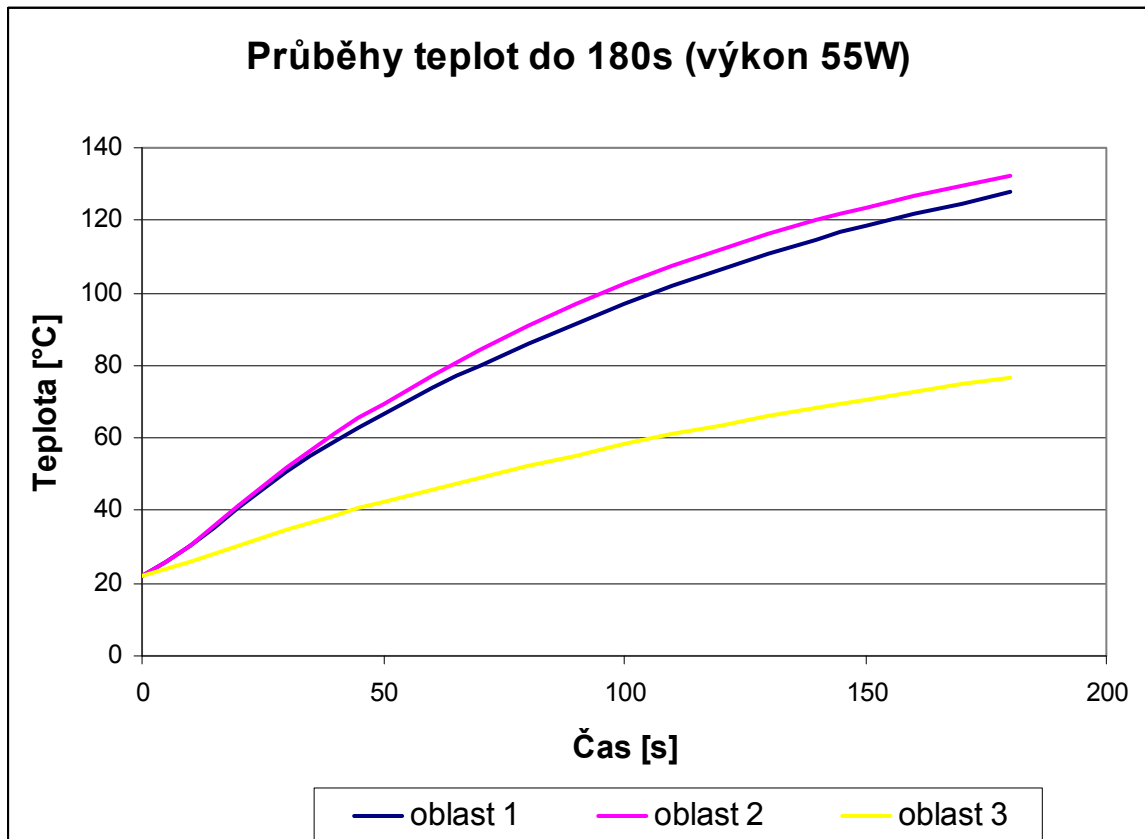
3.3.1 Část 1. Původní parametry a výkon zářiče

a) Výpočet se provedl do prvních 180s. Na (obr. 3.13) jsou znázorněná místa, kde se měřily teploty. Umístění těchto sond odpovídalo umístění termočlánků na měřeném modelu.

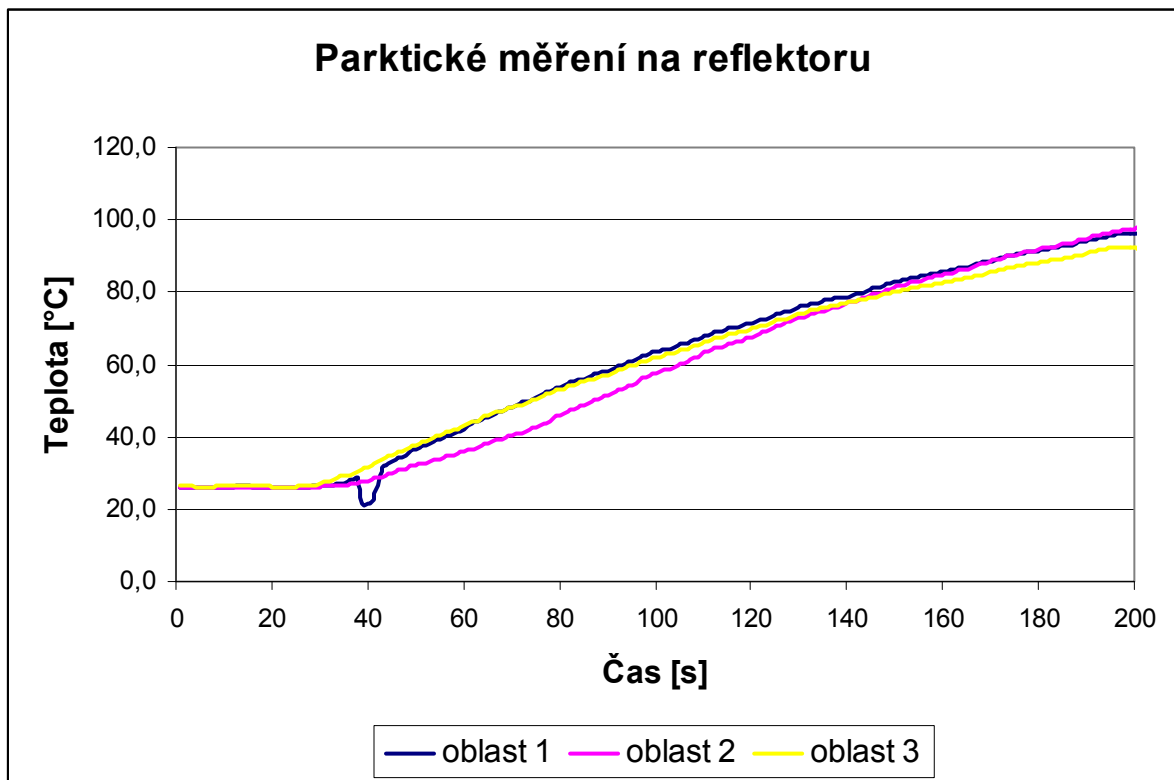


Obr. 3.13. Zobrazení teplotního pole za dobu svícení 180s, výkon zářiče 55 W, ϵ skořepiny je 0,9

Následující (obr. 3.14) znázorňuje průběh naměřených teplot v jednotlivých místech na výše uvedeném obrázku. Na (obr. 3.15.) jsou zobrazeny teplotní průběhy změřené na rohovém reflektoru pomocí termočlánků. Pro jednodušší porovnání těchto teplotních průběhů je stanovena stejně dlouhá časová osa 180s.



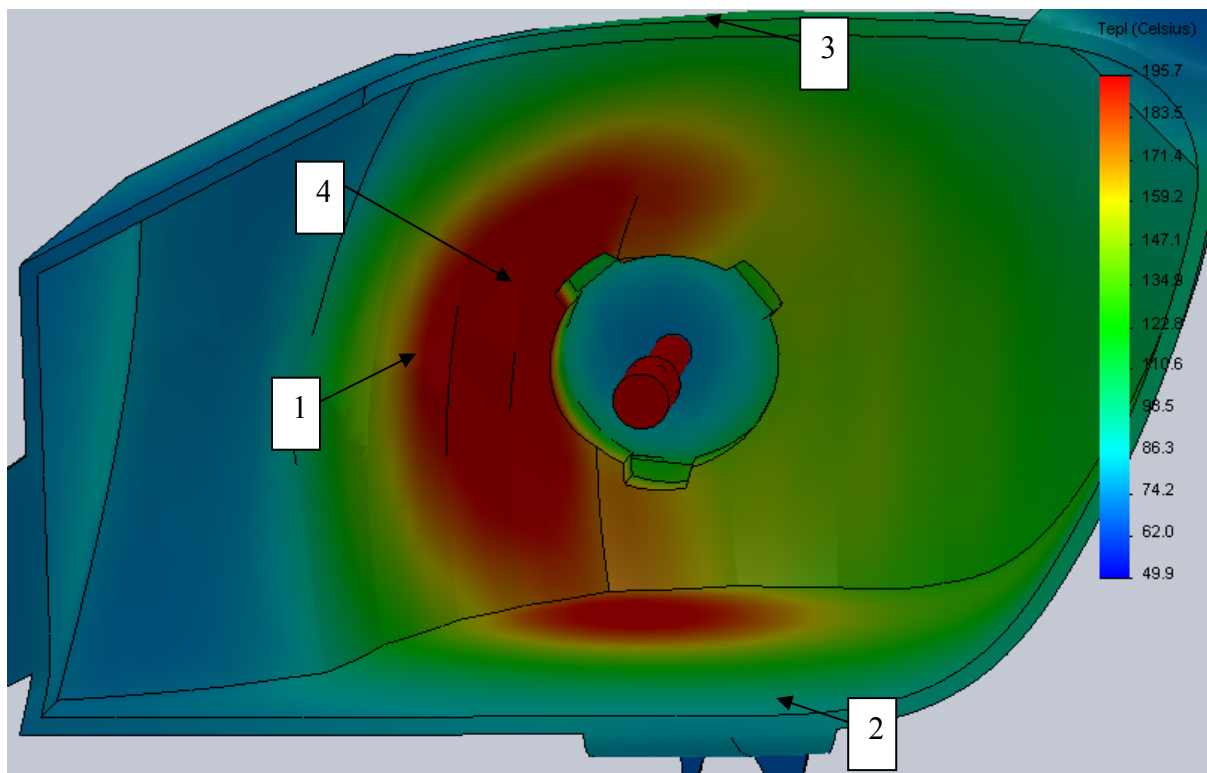
Obr. 3.14. Průběhy teplot modelu na vyznačených místech



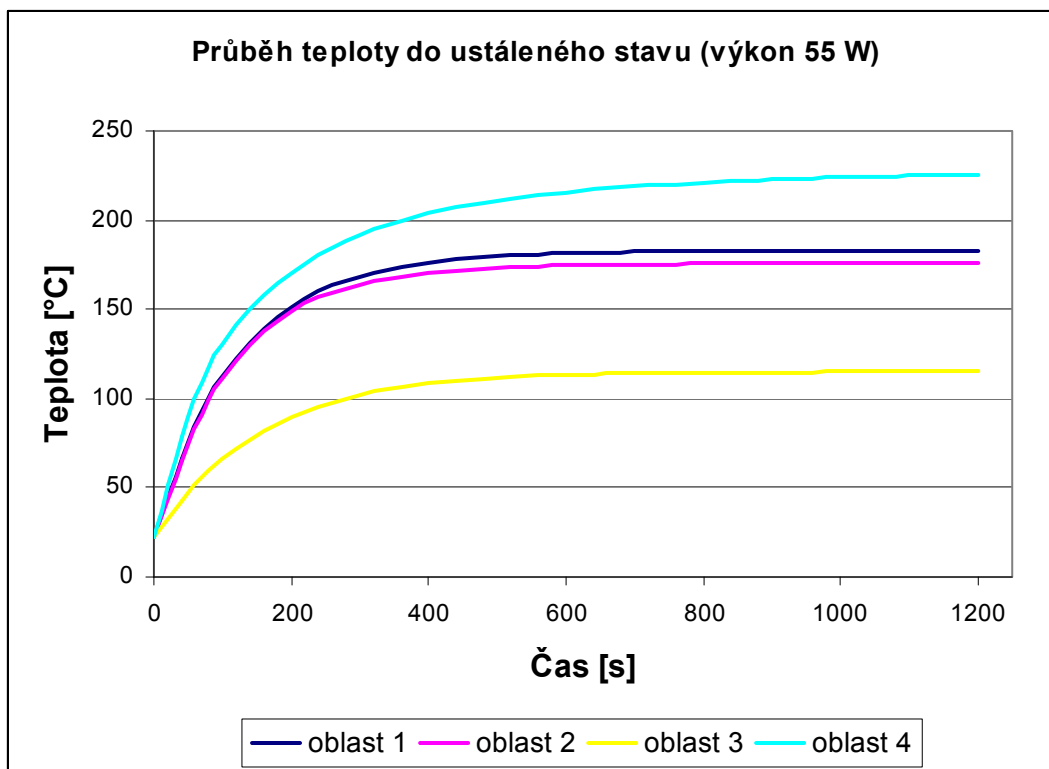
Obr. 3.15. Průběh teplot naměřených na reflektoru v klimatické komoře

Porovnáním grafu (obr. 3.14 a obr. 3.15) se zjistily rozdíly teplot v oblasti 1 a oblasti 2 cca o 30 °C. V oblasti 3 je rozdíl menší, protože v krátkém časovém úseku 180s není vliv proudění tolik významný.

b) Druhý výpočet se provedl do ustáleného stavu, kdy už teplota neroste. Pro zjištění doby do ustáleného stavu u reflektoru se provedlo několik testovacích výpočtů. Ustálení teplot bylo zjištěno v čase 1200s, tj. 20 min. Z obrázku (obr. 3.16) jsou patrné vyšší teploty oproti teplotám naměřeným přímo na reflektoru v klimatické komoře (obr. 3.6). Po prozkoumání teplotních průběhů v této studii na (obr. 3.17) zjistíme maximální teploty v oblasti 1 - 180°C, v oblasti 2 – 175 °C a v oblasti 3 - 117 °C. Pro přehlednost se vytvořila tabulka s porovnáním teplot ze studie a praktického měření (tab. 3.4).



Obr. 3.16. Zobrazení teplotního pole za dobu svícení 1200s = 20 min., doba ustáleného stavu, výkon zářiče 55 W, emisivita skořepiny je 0,9



Obr. 3.17. Průběhy teplot modelu na vyznačených místech

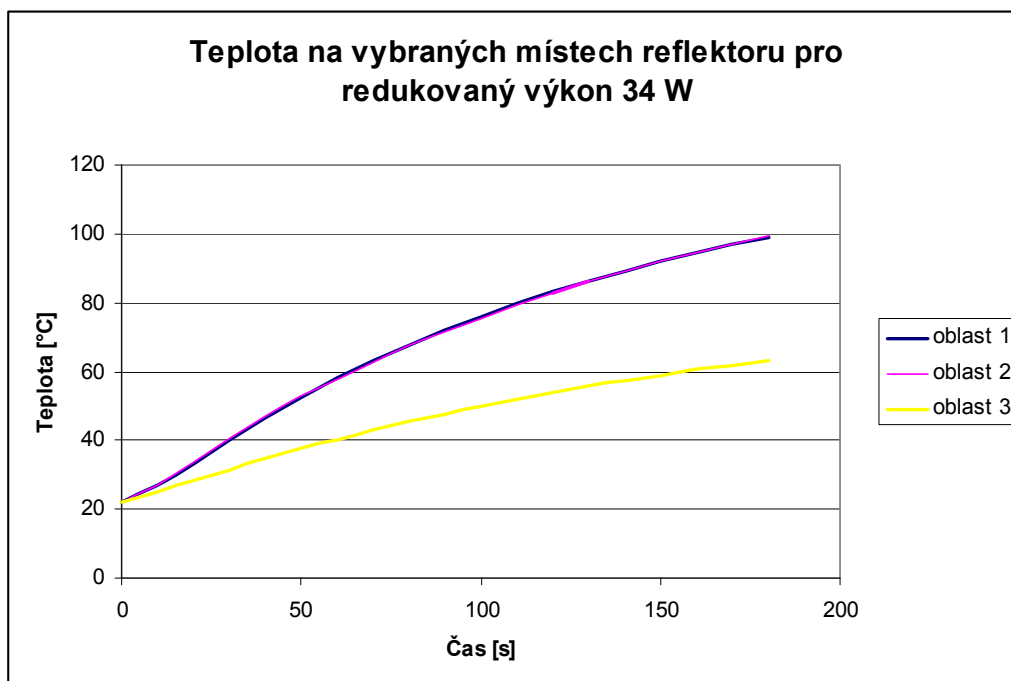
Tab. 3.4. Naměřené teploty

Porovnání naměřených a vypočtených teplot			
Oblasti	Naměřené teploty °C	Vypočtené teploty °C	Rozdíly °C
1	152	180	-28
2	148	175	-27
3	140	117	23

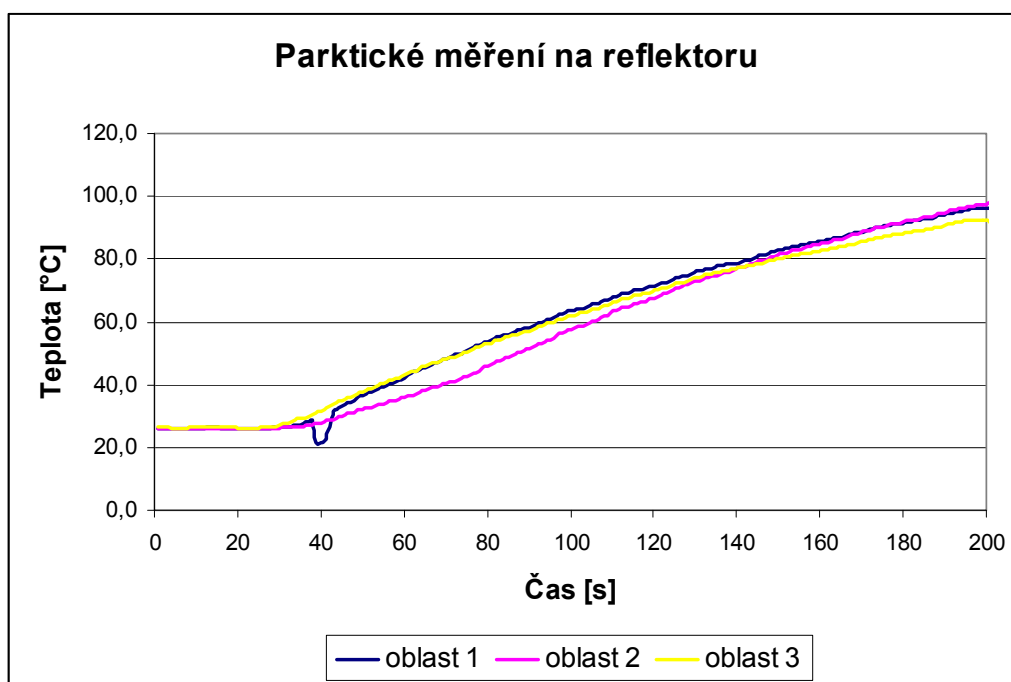
Oblast 3 je ve výpočtové studii chladnější, protože se ve výpočtu neuvažuje vliv proudění. Proudění žene teplý vzduch do horní části reflektoru a obtéká kolem horní hrany reflektoru.

3.3.2 Část 2. Upravení výkonu zářiče

a) Výpočet se provedl do prvních 180s. Snižováním výkonu u modelu se zjistilo, že teploty z výpočtů a měření korespondují při výkonu zářiče 34 W. Oblast 3 nekoresponduje, protože se v horní části reflektoru intenzivně projevuje vliv proudění zahřátého vzduchu viz. (obr. 3.18, obr. 3.19).

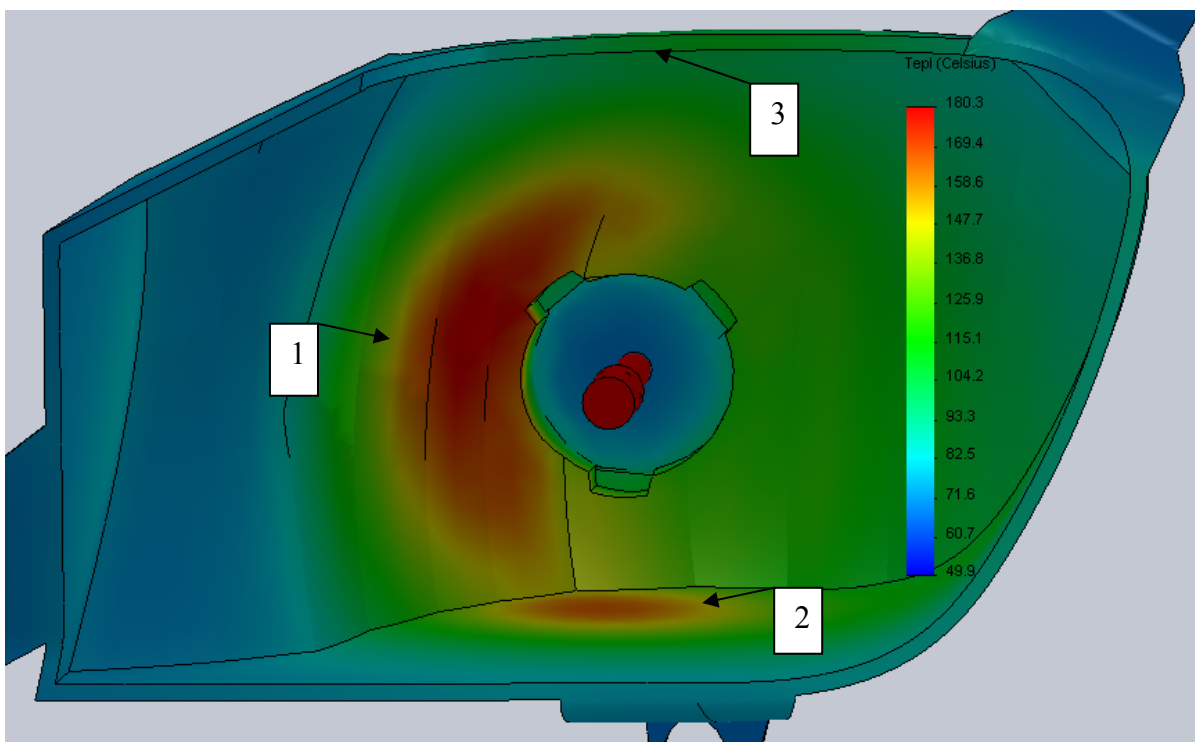


Obr. 3.18. Průběh teplot na modelu pro vyladěný výkon 34 W

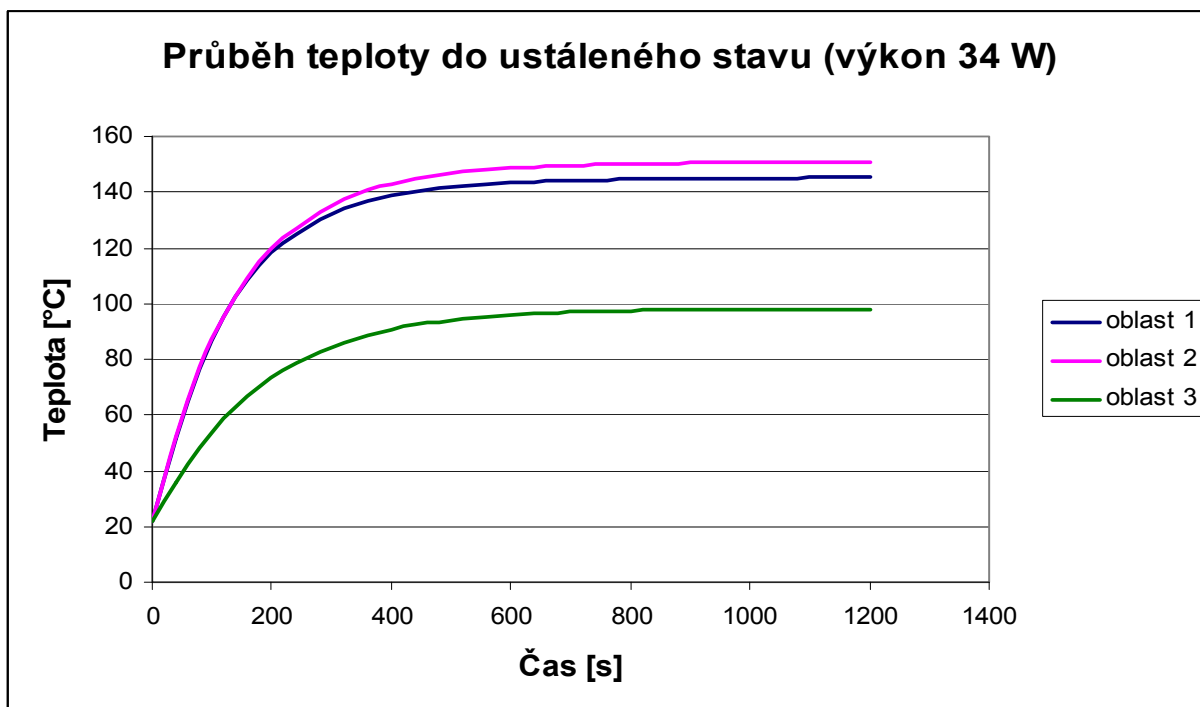


Obr. 3.19. Průběh teplot naměřených na reflektoru v klimatické komoře

b) Druhý výpočet se provedl pro ustálený stav a již upravený výkon zářiče pro hodnotu 34 W (obr. 3.20). Doba působení tepla je 20 min. do ustáleného stavu. Následující (obr.3.21) vyobrazuje teplotní průběhy ve sledovaných oblastech.



Obr. 3.20. Zobrazení teplotního pole pro ustálený stav, výkon zářiče 34 W, emisivita skořepiny je 0,9



Obr. 3.21. Průběhy teplot z numerického výpočtu

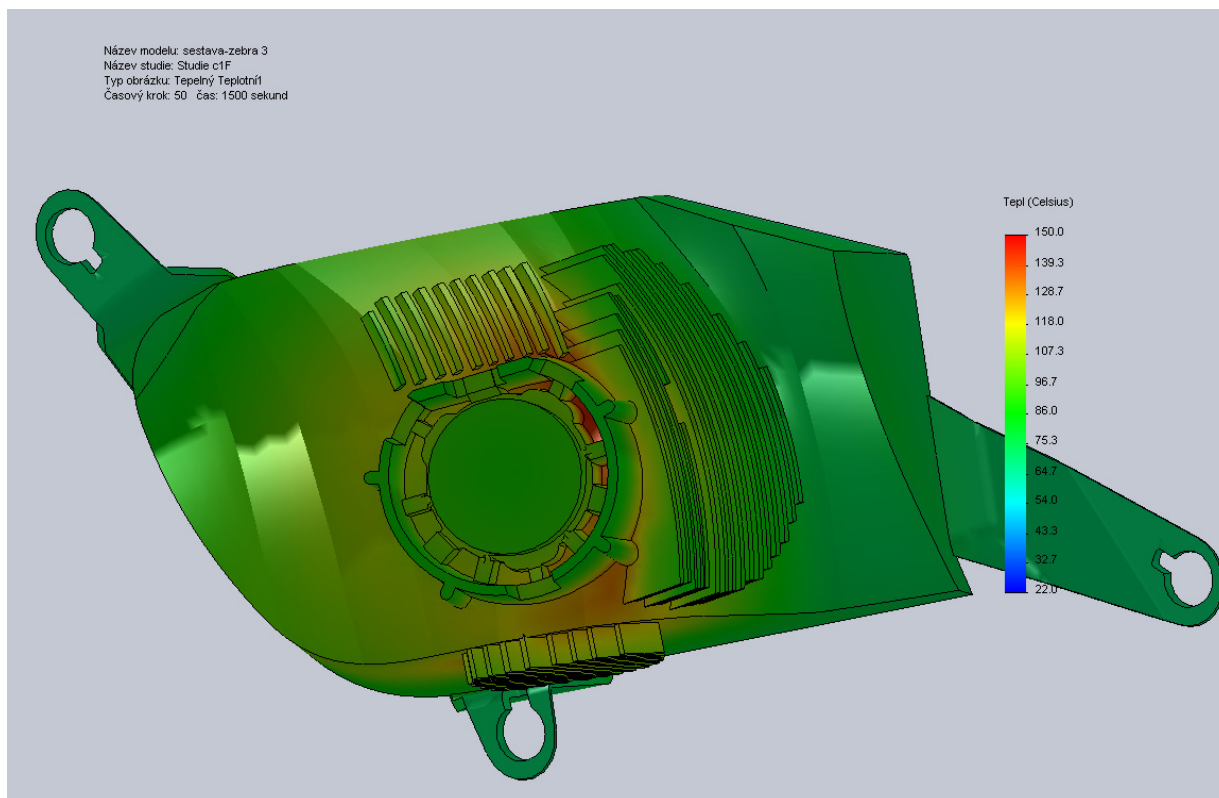
Porovnáním teplotních průběhů (obr. 3.21) a (obr. 3.6) je zřejmé, že:

- ✓ Oblast 1 koresponduje
- ✓ Oblast 2 koresponduje
- ✓ Oblast 3 nekoresponduje – důvod je již výše zmíněný, jedná se o absenci proudění

3.4 Simulace za účelem snížení teploty pomocí úpravy na reflektoru

Pomocí čtyř studií se zjišťovalo, o kolik klesne teplota na stěnách reflektoru pro emisivitu skořepiny 0,9 a 0,1 u původního tvaru reflektoru bez vyfrézování a u reflektoru opatřeného žebry. Důvodem další studie pro hodnotou $\varepsilon = 0,1$ bylo, že tuto hodnotu vyráběné reflektory mají.

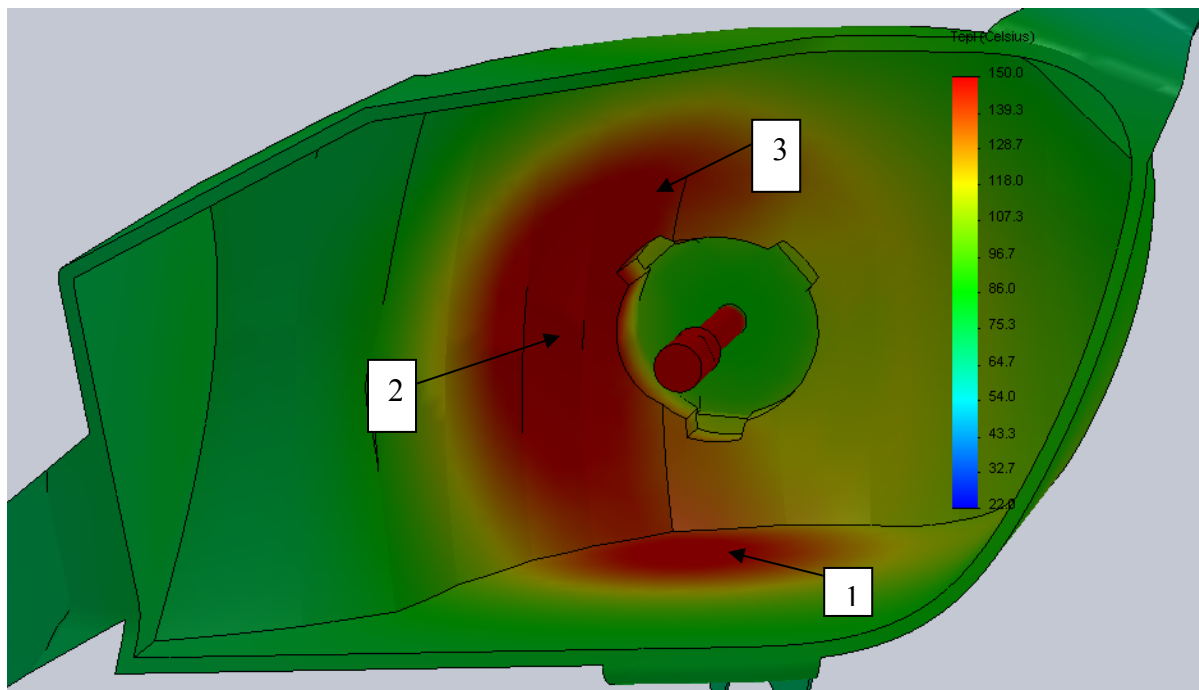
Úprava reflektoru spočívá v tom, že se jeho vnější část opatřila žebry 1mm širokými a řazenými vedle sebe ve vzdálenosti 1mm (obr. 3.22). Materiál žeber se volil stejný jako u reflektoru, aby byla zachována jednoduchost výroby. Je jisté, že pokud by žebra byla vyrobena z plechu, odváděla by podstatně více tepla.



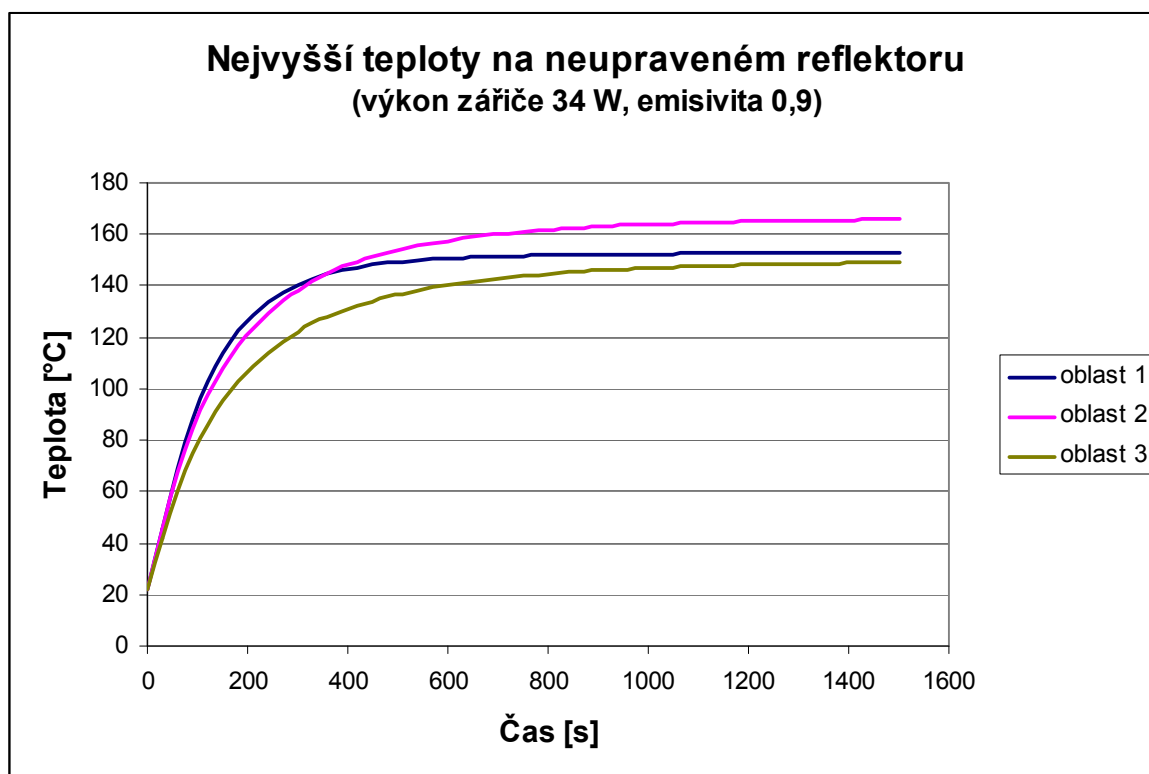
Obr. 3.22. Ukázka vytvořeného žebrování na 3D modelu

3.4.1 Simulace skořepiny bez žebry a skořepiny se žebry pro emisivitu reflektoru 0,9

a) Provedl se výpočet pro reflektor bez žebry (obr. 3.23), kde je rozsah teploty 150 °C. Tento rozsah je zachován pro následující studii, aby byl zřetelně vidět rozdíl teplotního pole. Teplotní průběhy na jednotlivých místech jsou vyobrazeny na (obr. 3.24)

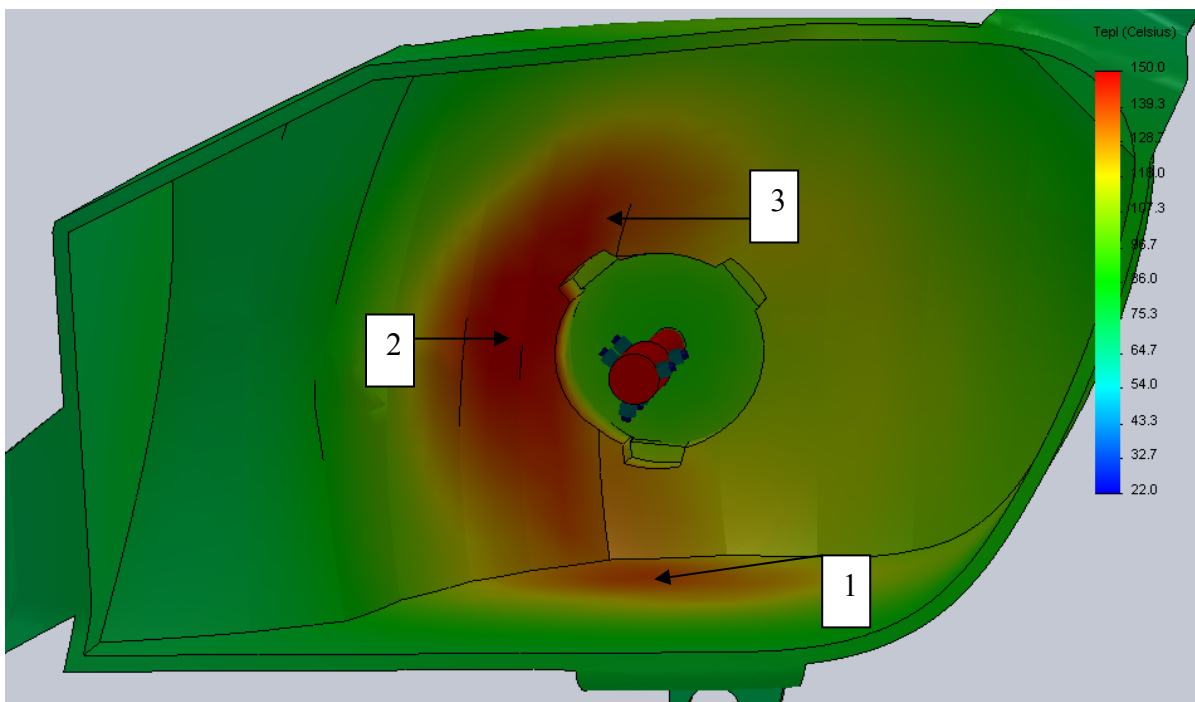


Obr. 3.23. Teplotní pole u originálního tvaru reflektoru bez žebry

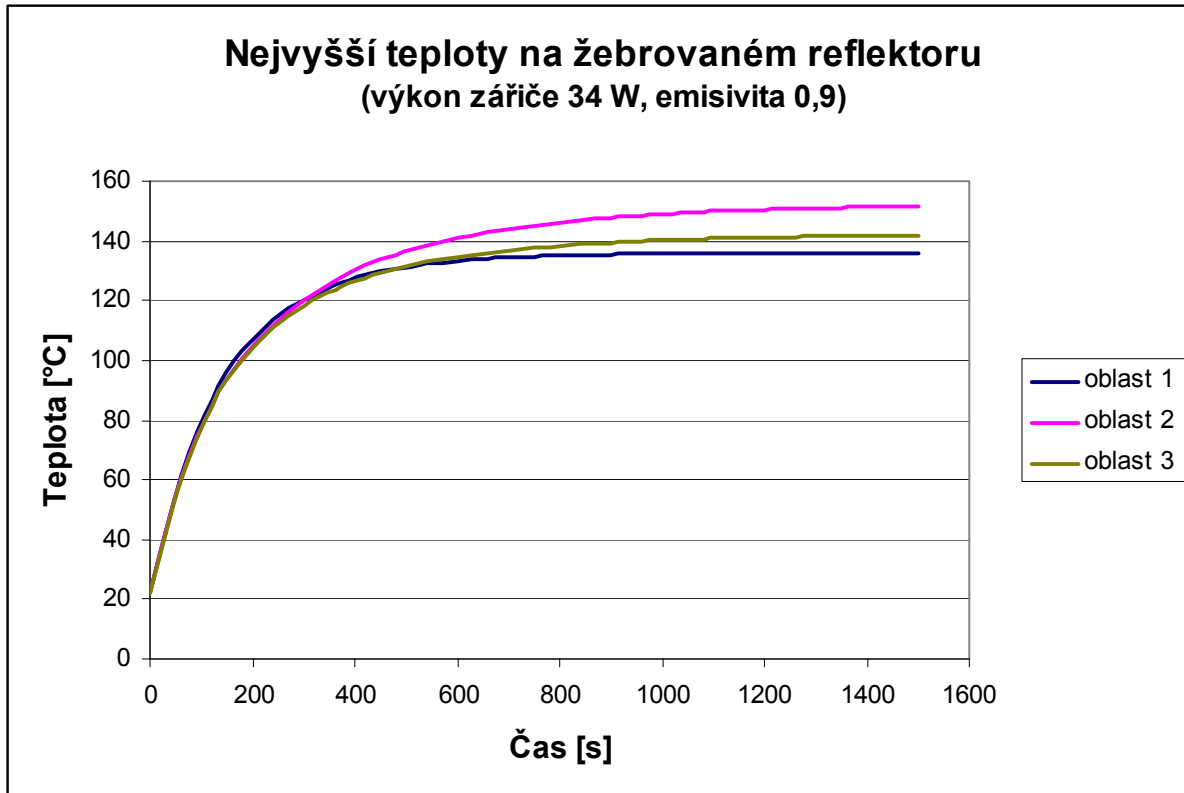


Obr. 3.24. Průběh teplot na označených oblastech obrázku

b) Výpočet žebrovaného reflektoru, kde (obr. 3.25) zobrazuje teplotní pole s rozsahem 150 °C a zobrazení teplotního průběhu (obr. 3.26).



Obr. 3.25. Teplotní pole reflektoru



Obr. 3.26. Průběh teplot na označených oblastech obrázku

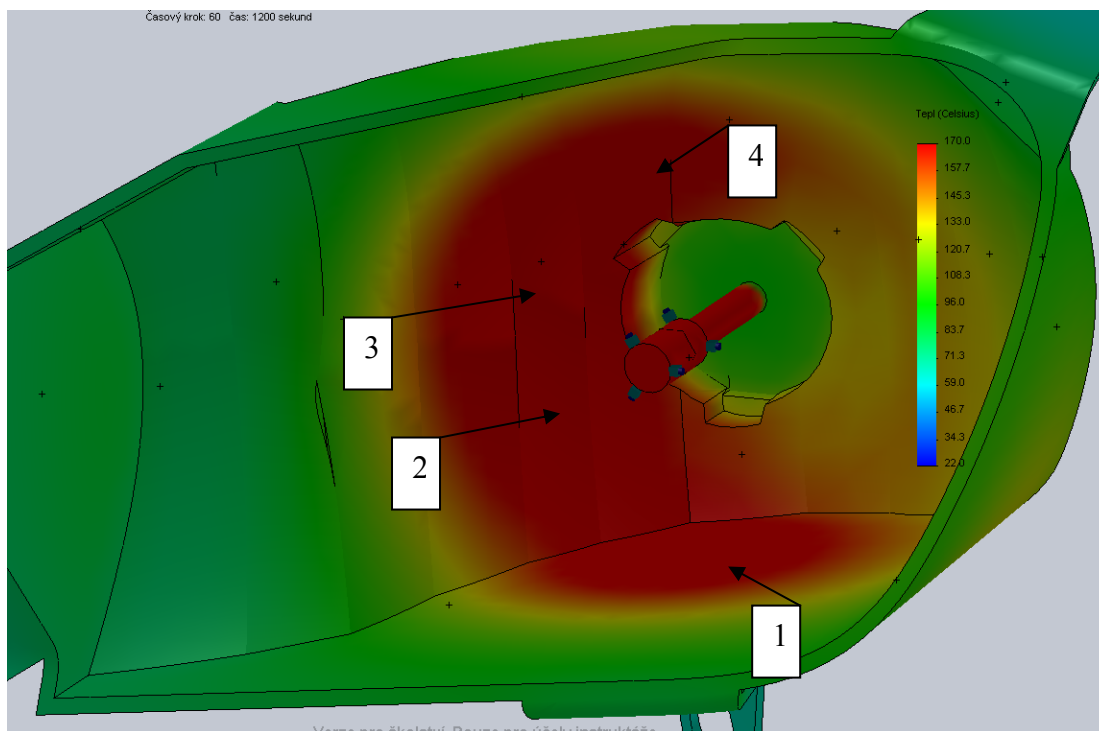
Porovnáním předchozích obrázků reflektorů se zjistil nepatrný úbytek teplotního pole u žebrovaného reflektoru. Porovnáním předchozích grafů zjistíme úbytky teplot v jednotlivých oblastech (tab. 3.5).

Tab. 3.5. Naměřené teploty u studie 3.4.1 (ϵ skořepiny 0,9 a výkon 34 W)

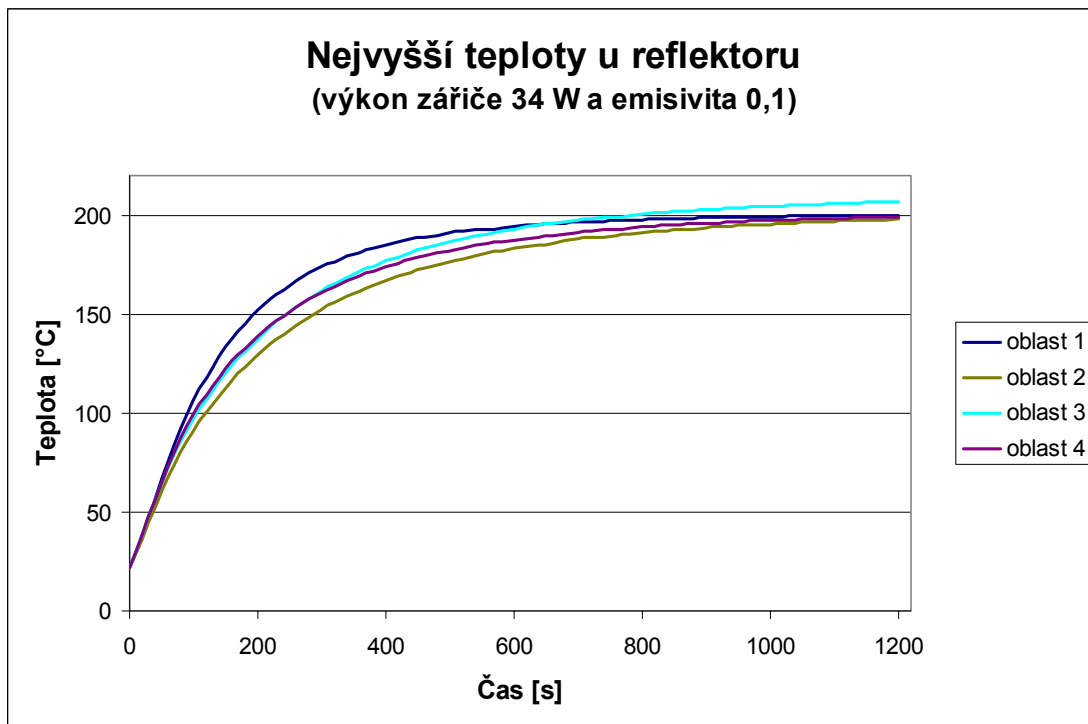
Tvar reflektoru	Tepoty [°C] v oblasti 1	Tepoty [°C] v oblasti 2	Tepoty [°C] v oblasti 3
Neupravený tvar	153	166	149
Žebrování	137	153	142
Úbytek teploty [°C]	-16	-13	-7

3.4.2 Simulace skořepiny bez žebber a skořepiny se žebry pro emisivitu reflektoru 0,1

a) Provedl se výpočet pro reflektor bez žebber (obr. 3.27), kde je rozsah teploty 170 °C. Tento teplotní rozsah je zachován pro následující studii, aby byl zřetelně vidět rozdíl teplotního pole. Teplotní průběhy na jednotlivých místech jsou znázorněny na (obr. 3.28).

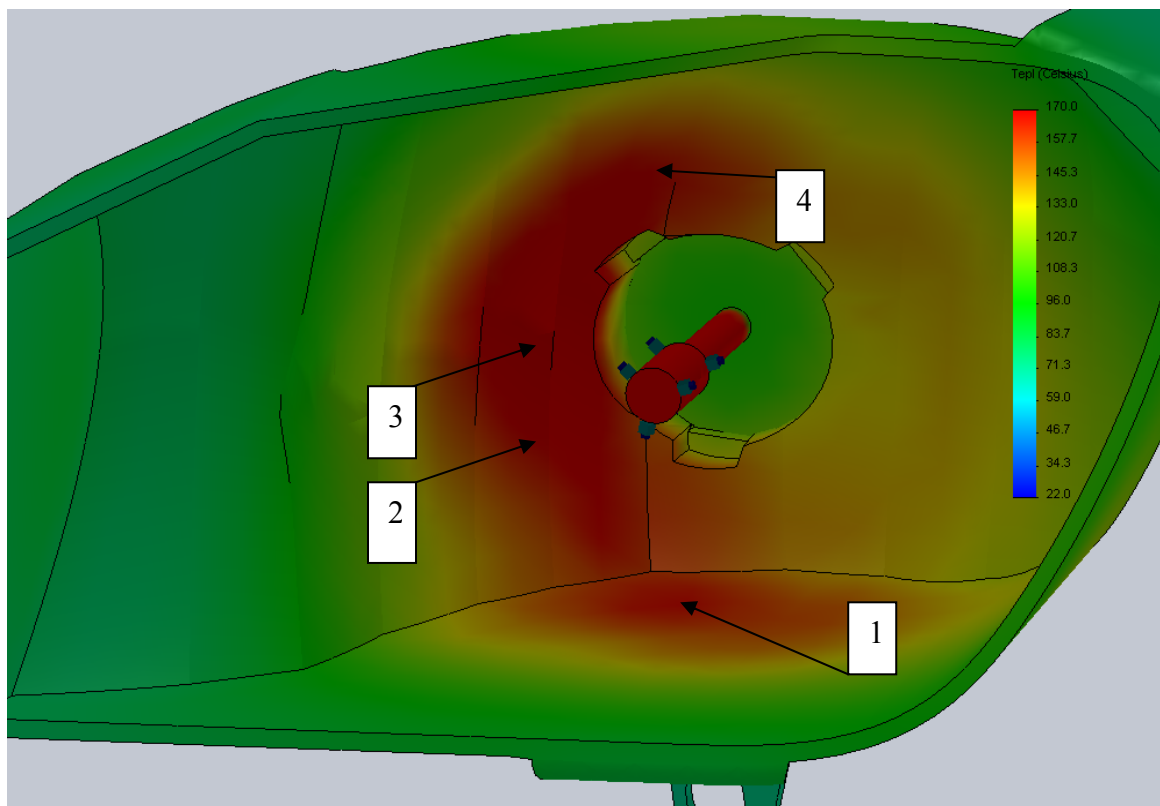


Obr. 3.27. Maximální teploty v reflektoru převyšují 200 °C.

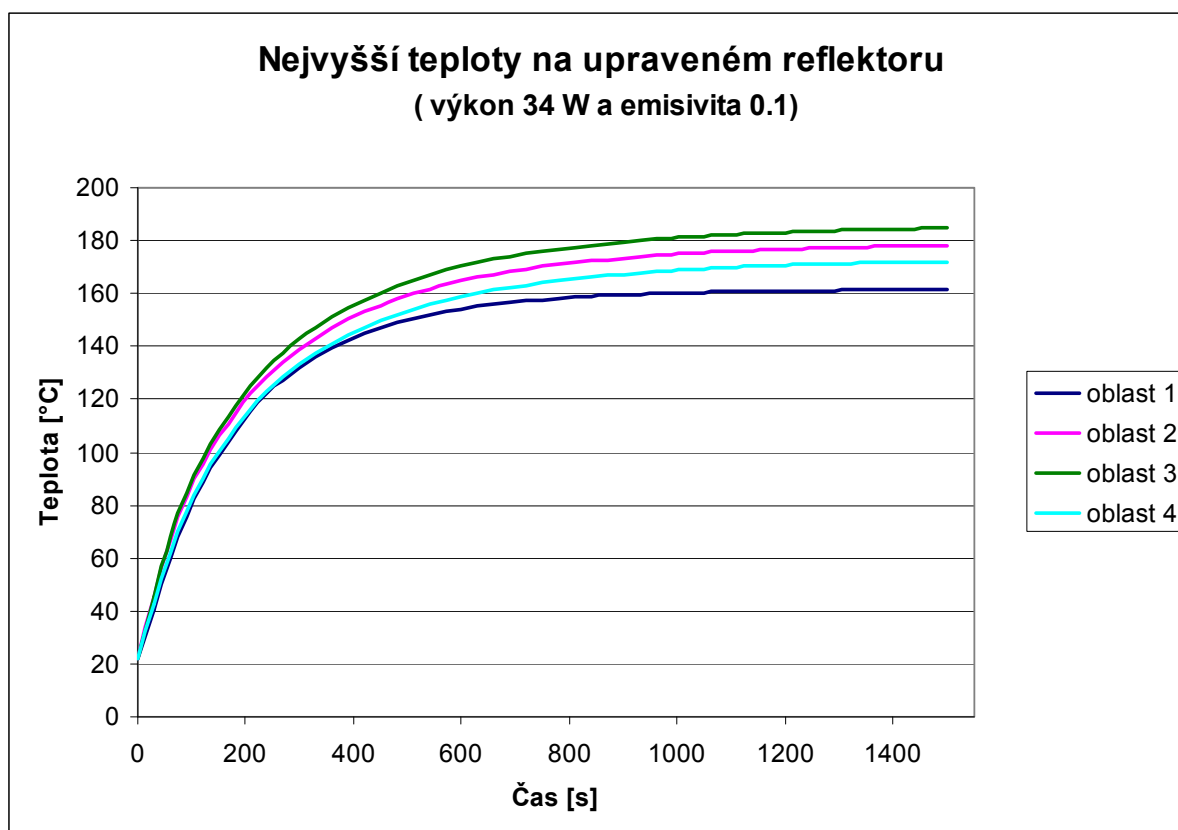


Obr. 3.28. Průběh teplot ve vybraných bodech z předchozího obrázku

b) Výpočet žebrovaného reflektoru, kde (obr. 3.29) zobrazuje teplotní pole s rozsahem 170 °C a zobrazení teplotního průběhu (obr. 3.30).



Obr. 3.29. Maximální teploty reflektoru převyšují nepatrně 180 °C.



Obr. 3.30. Průběh teplot ve vybraných bodech z předchozího obrázku

Při porovnání předchozích obrázků reflektorů je viditelný úbytek teplotního pole u žebrovaného reflektoru. Porovnáním grafů zjistíme úbytky teplot v jednotlivých oblastech (tab. 3.6).

Tab. 3.6. Naměřené teploty u studie 3.4.2 (ϵ skořepiny 0,1 a výkon 34 W)

Tvar reflektoru	Tepoty [°C] v oblasti 1	Tepoty [°C] v oblasti 2	Tepoty [°C] v oblasti 3	Tepoty [°C] v oblasti 4
Neupravený tvar	200	198	185	199
Žebrování	161	178	142	172
Úbytek teploty [°C]	-39	-20	-43	-27

4. Závěr

Diplomová práce se zabývala simulováním tepelného zatěžování rohového reflektoru v automobilovém světlometu. Pro použití numerických výpočtů a jejich ověření se provedlo měření na rohovém reflektoru v klimatické komoře, který je součástí celého světlometu. Podstatou měření bylo nainstalovat termočlánky na vytipovaná místa reflektoru a po určitý časový úsek snímat teploty. Pro další práci a porovnávání s numerickým výpočtem se zhotovily grafy průběhů teplot z jednotlivých termočlánků. Při numerickém řešení reflektoru vzniklo mnoho komplikací, které se musely pomocí různých zjednodušení a úvah vyřešit.

Zásadní omezení představovaly možnosti zvoleného výpočetního programu. V programu bylo možné řešit pouze záření, přestup tepla stěnou a ochlazování stěny okolním vzduchem. Proudění ohřátého vzduchu v reflektoru nelze programem COSMOSWORKS [15] řešit, což se před měřením a numerickým řešením zdálo zanedbatelné. Při měření reflektoru v klimatické komoře a porovnání výsledků z první simulace se zjistilo, že proudění má významný vliv na chování teplot v reflektoru. Tato skutečnost způsobila, že teploty nad žárovkou v reflektoru při výpočtu modelu jsou nižší oproti naměřeným hodnotám.

Další problém se vyskytl při výpočtu pro naprogramovanou frekvenci napájení žárovky reflektoru. Pro tak dlouhý dvouhodinový průběh nebyl výpočet kvůli hardwarovému vybavení počítače možný. Na základě tohoto omezení byla použita jistá zjednodušení pro nahrazení přerušovaného svícení stálým svícením a snížením výkonu 27,75 W na zářiči. Po následném ověřování a úvahách se zjistilo, že výše uvedená zjednodušení nevedou k očekávaným výsledkům.

Na základě výše uvedených zjištění se provedl nový výpočet, při kterém byla zachována původní hodnotu výkonu zářiče 55W. Při porovnání výpočtu s měřením se zjistil velký rozdíl mezi vypočtenými a naměřenými teplotami. Na základě předešlých výpočtů se rozhodlo, že se provede úprava výkonu zářiče, aby se dosáhlo shody mezi výsledky z výpočtů a měření. Pouze za tohoto předpokladu lze provést správným způsobem výpočet snížení teploty u reflektoru opatřeného žebry.

Další část práce je věnována porovnávání rozdílů teplot mezi žebrovaným reflektorem a reflektorem s původním tvarem. Při výpočtu pro emisivitu skořepiny $\varepsilon = 0,9$ se v jednotných oblastech zjistil rozdíl teplot, který se pohyboval v rozmezí od 7 do 16 °C. V následujícím výpočtu se změnila hodnota emisivity na $\varepsilon = 0,1$. Rozdíl snížených teplot v jednotlivých nejteplejších oblastech se tak pohyboval v rozmezí od 20 do 39 °C. Velký rozdíl ve výpočtu

je zapříčiněn pouze hodnotou emisivity, která při nižší hodnotě působí na nárůst teplot v reflektoru. Při vyšší teplotě reflektoru, je vyšší účinnost odvodu tepla pomocí žeber. Ze zjištěných výsledků, lze usoudit, že volba ochlazovacích žeber nebude příliš účinná. Další skutečnost je, že mezi žebry bude vznikat napětí, které by mohlo deformovat reflektor.

Pro přesnější výpočty by bylo zapotřebí zvolit jiný program, kde lze zohlednit vliv proudění. Další úkol by znamenal ovládnutí teoretické metodiky proudění a znalost materiálových vlastností skořepiny reflektoru.

Účinné řešení pro snížení teploty navazujících dílů představuje použití stínících plechů, které velmi dobře odvádí teplo. Změnami jejich tvarů lze usměrnit teplotní tok do určených míst ve světlometu. Další možnost pro snížení teploty v reflektoru představuje vytvoření otvorů v nejteplejších místech reflektoru. Toto řešení není pro reflektor nejvhodnější, protože by se snížila svítivost reflektoru a design světlometu by byl tímto zásahem narušen. Další alternativou je změnit tvary skořepiny pomocí výřezů a prohlubní. V této práci se uvedené možnosti neřešily s ohledem na vlivy proudění teplého vzduchu v reflektoru, protože využitý program tyto vlivy nepostihne.

5. Seznam zkratek a symbolů

MKP – metoda konečných prvků

ε - emisivita

Ni-Cr – chromniklový termočlánek

pohltivost - α_e

odrazivost - ρ_e

propustnost - τ_e

6. Informační zdroje

- [1] Vlk, F.: Systémy řízení podvozku a komfortní systémy. Vydavatelství Brno 2006. ISBN 80 – 239 – 7062 - 3
- [2] Hotel, Hoyt C. Sarofim, Adel F.: Přenos tepla záření. Vydavatelství Praha 1979.
- [3] Kříž R., Vávra P.: Strojírenská příručka – svazek 4. Vydavatelství Scientia, spol s.r.o 1994. ISSN 80 – 85827 – 57 - 1
- [4] Termočlánky. [Cit. 2. 11 2009]. Dostupné na: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>
- [5] Termočlánky. [Cit. 2. 11 2009]. Dostupné na: <http://www.converter.cz/tabulky/seebeck.htm>
- [6] Petruška. J. (). Počítačové metody mechaniky II. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav mechaniky těles.
- [7] Termočlánky. [Cit. 19. 2. 2010]. Dostupné na: http://www.ahlborn.com/flash_ok.htm
- [8] Zienkiewicz O.C. (1971) The Finite Element Method in Engineering Science. The second edition. McGRAW-HILL, London, 07 094138 6.
- [9] FEM Computer program COSMOS/M, Version 2.5 (1999) Theoretical Manual - Nonlinear Module NSTAR. By SRAC (Structural Research and Analysis Corporation), Los Angeles, California.
- [10] FEM Computer program COSMOSWorks 2007 Advanced Professional. SolidWorks Corporation.
- [11] Enenkl V., Hloušek J., Janotková E. (1983), Termomechanika. Vysokoškolskiskriptum. Vysoké učení v Brně.
- [12] Černoš S. (1977). Strojně technická příručka. SNTL – nakladatelství technické literatury. Praha.
- [13] Vůz škoda 105. [Cit. 15. 11 2009]. Dostupné na: <http://filipovsky.ic.cz/Skoda%20105%20-%201977.jpg>
- [14] Obrázek Volkswagen Golf Gti. [Cit. 15. 11 2009]. Dostupné na: http://img.auto.cz/autofun_cz/plakaty/2008-03/8vw_golf_gti_edition_30.jpg
- [15] FEM Computer program COSMOSWORKS, SOLIDWORKS, Verze 2008 SP5.0

7. Seznam tabulek

Tab. 3.1. Teplotní rozsah použitého termočlánku NiCr-Ni, typ K	24
Tab. 3.2a. Vlastnosti materiálu skořepiny.....	34
Tab. 3.2b. Vlastnosti materiálu tyčky.....	34
Tab. 3.2c. Vlastnosti materiálu žárovky.....	35
Tab. 3.3. Podmínky zatížení.....	35
Tab. 3.4. Naměřené teploty.....	42
Tab. 3.5. Naměřené teploty u studie 3.4.1 (ϵ skořepiny 0,9 a výkon 34 W).....	48
Tab. 3.6. Naměřené teploty u studie 3.4.2 (ϵ skořepiny 0,1 a výkon 34 W).....	50

8. Seznam obrázků

Obr. 2.1. První automobilové světlo.....	10
Obr. 2.2. Halogenová žárovka H4.....	11
Obr. 2.3. Xenonová výbojka D2R.....	11
Obr. 2.4. Vůz škoda 105.....	12
Obr. 2.5. Volkswagen Golf Gti.....	12
Obr. 2.6. Dálkové světlo (Bosch).....	13
Obr. 2.7. Dálkové světlo (Bosch).....	13
Obr. 2.8. Schéma odrazu, pohlcování a propouštění dopadajícího záření.....	16
Obr. 2.9. Ukázka stacionární a nestacionární oblasti.....	18
Obr. 2.10. Dva různé polovodiče o rozdílné teplotě (termočlánek).....	20
Obr. 2.11. Ukončení termočlánků.....	22
Obr. 3.1. Schéma zapojení do AD převodníku.....	24
Obr. 3.2. Uložení termočlánku do drážky.....	26
Obr. 3.3. Vyznačená místa umístění článků; pozn. Umístění článku 7 je ze zdola.....	26
Obr. 3.3a. Pohled na reflektor ze předu.....	27
Obr. 3.4. Umístění rohového reflektoru ve světlometu.....	27
Obr. 3.5. Průběh teploty na reflektoru měřený termočlánky.....	28
Obr.3.6. Průběh teploty na reflektoru (napětí přiváděno na všechny žárovky celého světlometu), D260M08 – funkce svícení rohového reflektoru.....	29
Obr. 3.7. Pomocný model teplotně zatížen.....	30
Obr. 3.8a. Růst teplot na protilehlé stěně v nejteplejším místě (detail).....	31
Obr. 3.8b. Růst teplot na protilehlé stěně v nejteplejším místě do ustáleného stavu.....	32
Obr. 3.9. Ukázka jednotlivých dílů, ze kterých se skládá sestava 3D modelu.....	33
Obr. 3.10. Snímek z infrakamery.....	36
Obr. 3.11. Ukázka vysítovaného modelu.....	37

Obr. 3.12. Obrázek teplot z prvotní simulace o výkonu zářiče 27,75 W.....	38
Obr. 3.13. Zobrazení teplotního pole za dobu svícení 180s, výkon zářiče 55 W, ϵ skořepiny je 0,9.....	39
Obr. 3.14. Průběhy teplot modelu na vyznačených místech	40
Obr. 3.15. Průběh teplot naměřených na reflektoru v klimatické komoře.....	40
Obr. 3.16. Zobrazení teplotního pole za dobu svícení 1200s = 20 min., doba ustáleného stavu, výkon zářiče 55 W, emisivita skořepiny je 0,9.....	41
Obr. 3.17. Průběhy teplot modelu na vyznačených místech.....	42
Obr. 3.18. Průběh teplot na modelu pro vyladěný výkon 34 W.....	43
Obr. 3.19. Průběh teplot naměřených na reflektoru v klimatické komoře.....	43
Obr. 3.20. Zobrazení teplotního pole pro ustálený stav, výkon zářiče 34 W, emisivita skořepiny je 0,9.....	44
Obr. 3.21. Průběhy teplot z numerického výpočtu.....	44
Obr. 3.22. Ukázka vytvořeného žebrování na 3D modelu.....	45
Obr. 3.23. Teplotní pole u originálního tvaru reflektoru bez žeber.....	46
Obr. 3.24. Průběh teplot na označených oblastech obrázku.....	46
Obr. 3.25. Průběh teplot na označených oblastech obrázku.....	47
Obr. 3.26. Průběh teplot na označených oblastech obrázku.....	47
Obr. 3.27. Maximální teploty reflektoru převyšují 200 °C	48
Obr. 3.28. Průběh teplot ve vybraných bodech z předchozího obrázku.....	49
Obr. 3.29. Maximální teploty reflektoru převyšují nepatrně 180 °C.....	49
Obr. 3.30. Průběh teplot ve vybraných bodech z předchozího obrázku.....	50