



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

TEPELNÉ A SVĚTELNÉ POMĚRY U AUTOMOBILOVÉHO SVĚTELNÉHO ZDROJE NOVÉ GENERACE

STUDY OF THE THERMAL AND LIGHT CONDITIONS IN THE AUTOMOBILE HEADLAMP WITH BUILT-IN
LIGHT SOURCE OF THE NEW GENERATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Zachar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Raudenský, CSc.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Martin Zachar
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Energetické inženýrství
Vedoucí práce:	prof. Ing. Miroslav Raudenský, CSc.
Akademický rok:	2015/16

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 diplomové práce:

Tepelné a světelné poměry u automobilového světelného zdroje nové generace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Světelné zdroje v automobilových reflektorech prochází výraznými inovacemi a tento proces je v mnoha případech limitovaný množstvím generovaného tepla a jeho odvodem z místa zdroje. Problematika souvisí i s materiály reflektorů, kde dříve používané kovové a skleněné díly jsou zcela nahrazovány plasty. Tepelné režimy, a tím i tepelné zatížení reflektorů závisí výrazně na vnějších podmínkách provozu automobilu a proto je také nutno je studovat s ohledem na proměnnost těchto vnějších parametrů.

Zadání diplomové práce souvisí s výzkumem tepelných poměrů v reflektorech, který je prováděn v Laboratoři přenosu tepla a proudění.

Cíle diplomové práce:

1. Rešerše světelných zdrojů používaných v automobilech a způsobu implementace v reflektorech. Specifikace trendů, které je možné pozorovat v posledních letech.
2. Příprava a provedení měření světelného LED zdroje s komplexním záznamem teplot v kontrolních místech, elektrického příkonu a světelného toku. Pro záznam měřených parametrů sestavte měřicí řetězec, který bude ovládán pomocí vhodného softwaru.
3. Naměřená data budou následně podrobena analýze, která stanoví vliv okolní teploty na světelné a tepelné vlastnosti měřeného LED zdroje.

Seznam literatury:

BERGMAN, T a Frank P INCROPERA. Fundamentals of heat and mass transfer. 7th ed. / . Hoboken, NJ: Wiley, 2011, xxiii, 1048 p. ISBN 9780470501979.

THERMOCOUPLES, sponsored by ASTM Committee E-20 on Temperature Measurement and Subcommittee E20.04 on a American Society for Testing and MATERIALS. Manual on the use of thermocouples in temperature measurement. [6th printing]. Philadelphia, Pa: American Society for Testing and Materials, 1992. ISBN 08-031-0502-9.

ISAL 2013. TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT, ISAL 2013.Laboratory of Lighting Technology. Proceedings of the 10th International Symposium on Automotive Lighting. München: Utz, 2013. ISBN 978-383-1642-915.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

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

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá automobilovými svetlometmi, so zameraním na rozloženie tepelného poľa a jeho vplyvu na tepelné namáhanie materiálu, rozoberá ich históriu, druhy a v súčasnosti prebiehajúci vývoj. Práca v krátkosti popisuje svetlo a jeho vlastnosti, teplo a jeho prenos a spôsoby merania teploty.

Hlavná časť práce je venovaná meraniu predného svetlometu funkcie osvetlenia do hmly, konkrétne meraniu tepelného poľa a intenzity osvetlenia svetlometu v závislosti na teplote okolia. Práca pokrýva časti od prípravy merania, vytvorenia meracieho obvodu, grafického naprogramovania obvodu pre spracovanie nameraných dát.

Práca sa taktiež zaoberá porovnaním chladiča luxmetru, ktorého senzor bol vystavený vysokým teplotám okolia, a to medzi nameranými hodnotami a vytvorenou simuláciou.

Abstract

This thesis deals with automotive headlamps, focusing on layout of temperature field and its influence on thermal stress of used materials, describes their history, kinds and ongoing research. Thesis shortly describes light and its characteristics, heat and heat transfer and means of temperature measurement.

Main part of the thesis is dedicated to measuring front headlamp serving as a fog light, concretely measuring temperature field and illuminance depending of ambient temperature. Thesis contains everything from the first preparations, creation of measuring circuit, programming of measuring to processing acquired data.

Thesis also compares cooler used for cooling luxmeter sensor, the comparison is between measured values and created simulation.

Klíčové slová

Predný automobilový svetlomet, znižovanie výkonu LED, LED dióda, intenzita osvetlenia, tepelné zaťaženie

Key words

Automotive headlamp, LED derating, LED, illuminance, thermal stress

Bibliografická citácia

ZACHAR, M. *Tepelné a světelné poměry u automobilového světelného zdroje nové generace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 83 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Raudenský, CSc..

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému „Tepelné a světelné poměry u automobilového světelného zdroje nové generace“ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho práce a s použitím poznatkov získaných zo zdrojov uvedených na konci tejto práce.

V Brne dňa 24.5.2016

.....

Podpis

Podakovanie

Rád by som poďakoval vedúcemu svojej diplomovej práce prof. Ing. Miroslavovi Raudenskému CSc. a svojmu konzultantovi Ing. Michalovi Guzejovi za cenné rady a pripomienky a za ich ochotu. Ďalej by som sa chcel poďakovať svojej rodine za podporu počas celého môjho štúdia.

Obsah

Úvod.....	15
1 Teplota a prenos tepla.....	17
1.1 Definícia teploty.....	17
1.2 Prenos tepla.....	17
Kondukcia.....	18
Konvekcia.....	18
Radiácia.....	18
2 Metódy merania teploty.....	19
2.1 Senzor teploty.....	19
2.2 Zabudovávanie dotkových teplomerov.....	19
2.3 Kovové odporové senzory teploty.....	19
2.4 Termoelektrické články.....	20
Typy termoelektrických článkov.....	20
Názvoslovie termočlánkov.....	21
3 Svetlo a jeho vlastnosti.....	23
3.1 Základné fyzikálne vzťahy.....	23
3.2 Zákony geometrickej optiky.....	25
4 Typy osvetlenia automobilov a nové trendy v osvetľovacej technike.....	27
4.1 História automobilového osvetlenia.....	27
4.2 Bežné žiarovky.....	29
4.3 Halogénové žiarovky.....	29
4.4 Výbojky.....	30
4.5 LED diódy.....	31
4.6 Princíp P-N priechodu.....	32
4.7 Vplyv teploty na LED.....	34
4.8 Nové trendy v oblasti LED.....	36
4.9 Laser.....	37
4.10 Rozvoj LASER-ového osvetlenia.....	38
4.11 Laser/LED hybridné svetlomety.....	39
4.12 OLED.....	39
4.13 Vývoj v oblasti OLED.....	41
4.14 Holografické varovanie.....	41

5	Meranie zmeny intenzity osvetlenia svetlometu vplyvom teploty okolia.....	43
5.1	Ciele merania.....	43
5.2	Zostavenie meracieho obvodu.....	44
	Meranie teploty	45
	Meranie napätia a prúdu	48
	Meranie intenzity osvetlenia	50
5.3	Zostavenie meracieho programu	51
5.4	Simulácia chladenia luxmetru	56
5.5	Výsledky merania	62
5.6	Rozmedzie 25 °C až 105 °C	63
5.7	Rozmedzie 35 °C až 95 °C	66
5.8	Tepelné namáhanie materiálu	70
5.9	Zhnutie výsledkov.....	70
6	Záver.....	75
7	Zoznam použitých zdrojov	77
8	Zoznam použitých skratiek a symbolov	81
9	Zoznam príloh	83

Úvod

Základným cieľom automobilových svetlometov je poskytovanie postačujúceho osvetlenia na priestor vozovky pred vozidlom najmä pri nočnom šoférovaní. To je na jednej strane dostatočné osvetlenie, ktoré je schopné pomôcť užívateľovi vidieť ako za podmienok dobrého denného svetla, a na strane druhej sa však vyskytuje problém osleповania ostantých účastníkov cestnej premávky, najmä naproti idúcich vozidiel ale aj tých pred vozidlom, ktorý majú znemožnené použitie spätných zrkadiel z dôvodu, že je na ne priamo svietené diaľkovými svetlami s vysokou intenzitou svetla.

Obyčajne sa tento problém rieši používaním kombinácie stretávacích a diaľkových svetiel. Zatiaľ čo diaľkové svetlá osvetľujú celú vozovku bez väčších problémov, vyskytuje sa u nich negatívny jav osleповania ostatných účastníkov premávky. Stretávacie svetlá tento problém nemajú, avšak ostávajú pri nich veľké časti vozovky neosvetlené, osvetľujú iba bezprostredný priestor pred vozidlom.

Dnes už sa vyvíja mnoho rôznych technológií, ktoré sa snažia tento problém odstrániť, napr. osvetľovaním iba určitých časti vozovky kde sa nenachádzajú ine vozidlá, avšak ich implementácia v automobiloch je stále na pomerne nízkej úrovni. Vyskútujú sa najmä u vozidiel vyšších tried a stredným a nízkym triedam sa zatiaľ vyhýbajú, najmä z dôvodu vysokej ceny.

Okrem týchto problémov sa však osvetlenie automobilov potýka aj s problémami inými, ako napríklad tepelné zaťaženie reflektorov a následné namáhanie materiálov, tvorenie vodného kondenzátu vo vnútri svetlometu a teda jeho zarosenie, farebné spektrum osvetlenia príliš vzdialeného od prirodzeného denného spektra, ale aj účinnosť svetla, teda pomer svietivosti k príkonu.

Práca popisuje rôzne druhy základných typov zdrojov svetla užívaných v automobilovom osvetlení, ich históriu a vývoj, ďalej spomína niekoľko moderných trendov a smerov vývoja, najmä u predných svetlometov.

Hlavná časť práce je venovaná zostaveniu merania, ktoré by bolo schopné merať zároveň viacero fyzikálnych veličín (teplota, intenzita osvetlenia, napätie, prúd) na prednom svetlomete novej generácie. Jedná sa o svetlomet využívajúci ako zdroj svetla LED čip. Daný svetlomet je testovaný z dôvodu určenia tepelného namáhanie materiálov, z dôvodu overenia presnosti simulácie teplotných polí na danom svetlomete oproti reálnemu experimentu, ale najmä kvôli tzv. „LED derating-u“, čo sa dá preložiť ako „znižovanie výkonu LED“, kedy je obmedzovaný prúd idúci na svietaci LED z dôvodu jeho vysokej teploty a je teda snaha o jeho ochranu pred prehrievaním a skrátením životnosti.

V rámci tejto práce bol zostavený merací obvod určený špeciálne pre toto meranie, taktiež bol vytvorený program pre toto meranie v prostredí LabVIEW, ktorý konkrétne slúžil na spracovávanie a ukladanie nameraných veličín.

Práce dále uvádza porovnanie účinnosti chladiča použitého luxmetru, ktorý musel byť vytvorený v Laboratoři přenosu tepla a proudení (dálej iba LPTP) a to medzi experimentálne nameranými hodnotami a simuláciou vytvorenou v prostredí ANSYS Workbench.

Práce má aj špeciálne kapitoly pre spôsob prenosu tepla, meranie teploty a kapitolu popisujúcu svetlo a jeho vlastnosti, aby mohol čitateľ lepšie porozumieť riešenej problematike.

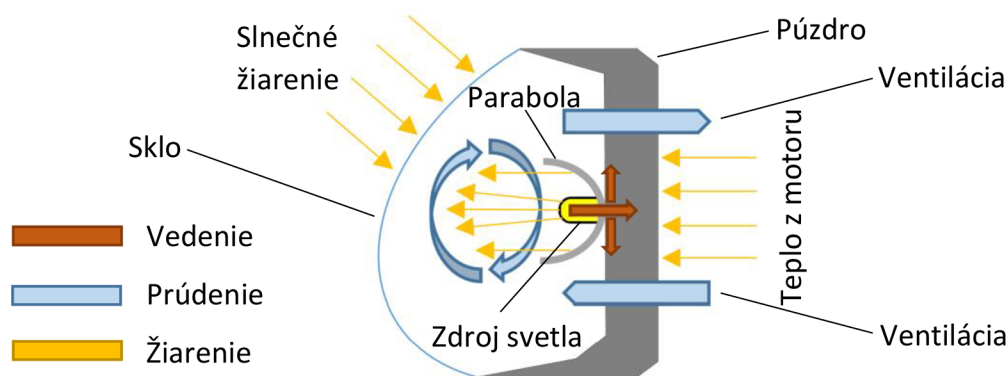
1 Teplota a prenos tepla

Následujúca kapitola sa bude zaoberať teplom, jeho prenosom a teplotou, čo je prejav množstva tepelnej energie v danej látke. Dve látky o rovnakej teplote a objeme môžu obsahovať iné množstvo tepelnej energie v závislosti od ich tepelnej kapacity. Látka s nižšou tepelnou kapacitou sa zohreje rýchlejšie, teda dosiahne požadovanej teploty skôr ako látka s vysokou tepelnou kapacitou.

1.1 Definícia teploty

Teplota je jednou z najdôležitejších termodynamických vlastností, ktoré určujú stav hmoty. Teplota je stavová veličina určujúca stav termodynamického rovnováhy t.j. stav, kedy v izolovanej sústave telies od okolného prostredia neprebiehajú žiadne makroskopické zmeny a všetky fyzikálne veličiny, ktorými je stav sústavy popísaný nezávisujú na čase. [1]

Existuje iba veľmi málo vlastností látok, ktoré nie sú od teploty závislé. Teplota je v podstate mierou kinetickej energie pohybu atómov a molekúl, pričom molekuly na seba navzájom narážajú a rýchlosť ich pohybu sa v čase mení. V pevnom skupenstve molekuly neusporiadane kmitajú okolo rovnovážnej polohy, v tekutom skupenstve je pohyb molekúl neusporiadaný v celom objeme látky. Pokiaľ na hmotu nepôsobí okolné prostredie, priemerná rýchlosť pohybu molekúl je konštantná. Táto priemerná rýchlosť je závislá na teplote a termodynamická teplota ktoréhokoľvek telesa je priamo úmerná kinetickej energii jeho molekúl. Za najnižšiu teplotu sa považuje teoretický najnižšie dosiahnutá teplota, teda absolútna nula, inak povedané nula na termodynamickom stupnici (0 Kelvinov). Pri dosiahnutí tejto teploty sa zastavuje všetok pohyb, aj ten na atomárnej úrovni. [1] Na Obr. 1 je znázornený prenos tepla vo vnútri svetlometu všetkými tromi druhmi prenosu.



Obr. 1 Prenos tepla vo vnútri svetlometu

1.2 Prenos tepla

Prenos tepla nastáva vždy pokiaľ dôjde k teplotnému rozdielu v učitom médiu, poprípade medzi dvomi médiami, ktoré sú v zájomnom kontakte, s výnimkou prenosu tepla žiarením.

Rozoznávame tri druhy prenosu tepla a to: kondukciu (vedenie), ktorá nastáva v médiu, v ktorom existuje tepelný gradient, dominuje u pevných látok ale nachádza sa aj v tekutinách bez prúdenia. Konvekciu (prúdenie), ktorá prebieha medzi povrchom a tekutinou, poprípade sa odohráva iba v tekutine kde je určitý tepelný gradient, ale môže nastať aj u tuhých látok, a to vplyvom difúzie. A tepelnú radiáciu, ktorá je emitovaná z povrchu každého telesa s nenulovou teplotou. [2] [3]

Kondukcia

Prenos tepla kondukciou (vedením) môže byť chápaný ako prenos energie z častíc (atómov, molekúl) z vyššou energiou, na častice s energiou nižšou, v látke v dôsledku interakcie medzi časticami. Kinetická energia neusporiadaného pohybu častíc sa predáva na susedné častice a tým sa prenáša tepelná energia. S kondukciou sa stretávame najmä v pevných látkach, ale existuje taktiež v tekutinách bez prúdenia. [2] [3]

Tepelný tok rovinnou stenou je možné vypočítať z rovnice: [2]

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Kde k je súčiniteľ tepelnej vodivosti, A je plocha steny, ΔT je teplotný rozdiel na oboch stranách steny a L je hrúbka steny. [2]

Konvekcia

Prenos tepla konvekciou, teda prúdením, sa skladá z dvoch mechanizmov. Prenos energie je uskutočnený náhodným molekulovým pohybom (difúziou) ale aj makroskopickým prúdením látky. Rozoznávame dva druhy konvekcie, a to prirodzenú konvekciu, kde je prúdenie spôsobené teplotným gradientom, vďaka ktorému dochádza k nerovnomerne rozloženej hustote média a nútenú konvekciu, kedy je prúdenie média spôsobené vonkajším vplyvom, napríklad vetrom, čerpadlom atď. [2] [3]

Prenos tepla konvekciou je možné vypočítať z následujúcej rovnice: [2]

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_S - T_\infty) \quad (2)$$

Kde h je súčiniteľ prestupu tepla, T_S je teplota povrchu a T_∞ je teplota tekutiny.

Radiácia

Teploto je vyžarujú všetky objekty, nie len pevné telesá ale taktiež kvapaliny a plyny.

Tento prenos je zabezpečený elektromagnetickými vlnami a teda na rozdiel od kondukcie a konvekcie nepotrebuje prítomnosť hmotného média, ale šíri sa taktiež cez vákuum. [2] [3]

Prenos tepla radiáciou je možné vypočítať zo vzťahu: [2]

$$\dot{Q} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_S^4 \quad (3)$$

Kde ε je emisivita, teda pomerná žiarivosť reálného telesa σ je Stefan-Boltzmannova konštanta, ktorá má hodnotu $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

2 Metódy merania teploty

Teplota sa sama o sebe nedá priamo stanoviť a preto sa pre jej stanovenie používajú teplotné závislosti iných fyzikálnych veličín, jedná sa teda o nepriame meranie. Volia sa fyzikálne javy, u ktorých je možné závislosť veličiny matematicky vyjadriť teplotnou stupnicou. Prvý teplomer bol vynájdený v roku 1592 talianskym fyzikom, astronómom, matematikom a filozofom Galileom Galileim. [1]

Teplotu je možné merať rôznymi spôsobmi ako napríklad: kovovými odporovými senzormi teploty, polovodičovými odporovými senzormi teploty, termistormi, polovodičovými monokryštalickými senzormi teploty, monolitickými PN senzormi, termoelektrickými článkami, dilatačnými teplomermi ale aj bezdotykovými metódami pomocou napr. pyrometrov alebo termovízie. Práca podrobne rozoberá metódy merania teploty priamo použité v tejto práci a to kovové odporové senzory a termoelektrické články.

Táto tématika je dobre rozobraná v [1] a [4] odkiaľ táto kapitola prevažne čerpá informácie.

2.1 Senzor teploty

Senzor teploty je funkčný prvok tvoriaci vstupný blok meriaceho reťazca teda blok, ktorý sa nachádza v priamom styku s meraným prostredím. Podľa fyzikálneho princípu merania sa senzory teploty delia na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN priechodom, dilatačné, optické, radiačné, chemické, šumové, akustické, magnetické a ďalšie.

Ďalej sa senzory teploty delia podľa styku s kontaktným prostredím na dotykové a bezdotykové. Podľa transformácie signálu sa senzory teploty ďalej delia na aktívne (pôsobením teploty sa chovajú ako zdroj elektrickej energie) a na pasívne (je u nich nutné elektrické napájanie pre transformáciu teploty na inú fyzikálnu veličinu, keďže meranie teploty je meraním nepriamym, okrem chemických indikátorov teplôt).

2.2 Zabudovávanie dotykových teplomerov

Meranie pomocou dotykových teplomerov vychádza z týchto niekoľkých zásad: zaistenie minimálneho tepelného odporu medzi snímačom a povrchom meraného telesa pri meraní teploty tuhých telies, zaistenie maximálneho súčiniteľa priestupu tepla z meraného prostredia do čidla teplomeru pri meraní teploty v tekutinách, zaistenie minimálneho tepelného toku zo snímača do okolia a nenarušiť teplotné pole v mieste merania.

2.3 Kovové odporové senzory teploty

Princípom odporových kovových čidiel teploty je teplotná závislosť elektrického odporu kovu. Kov je možné si predstaviť ako súbor kladných iónov umiestnených v bodoch kryštálovej mriežky a takzvaného elektronového plynu tvoreného súborom chaoticky sa pohybujúcich elektrónov.

Materiály vhodné na realizáciu odporových kovových senzorov sú najmä platina, nikel, Balco (Ni-Fe), meď a molybdén. [1] Platina má z týchto kovov najlepšie vlastnosti, avšak má aj vysokú cenu. Často býva nahradzovaná niklom v prípadoch kedy nehrá presnosť a tepelný rozsah až takú veľkú úlohu. Materiály používané pre odporové teplomery a ich vlastnosti sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Materiály používané pre kovové snímače teploty [1]

Materiál	Tepelný súčiniteľ odporu $\alpha \cdot 10^2$ (K ⁻¹)	Teplotný rozsah (°C)
Platina	0,385 až 0,391	-200 až +850
Nikel	0,617 až 0,675	-70 až +150
Ni-Fe	0,518 až 0,527	-100 až +200
Meď	0,426 až 0,433	-50 až +150

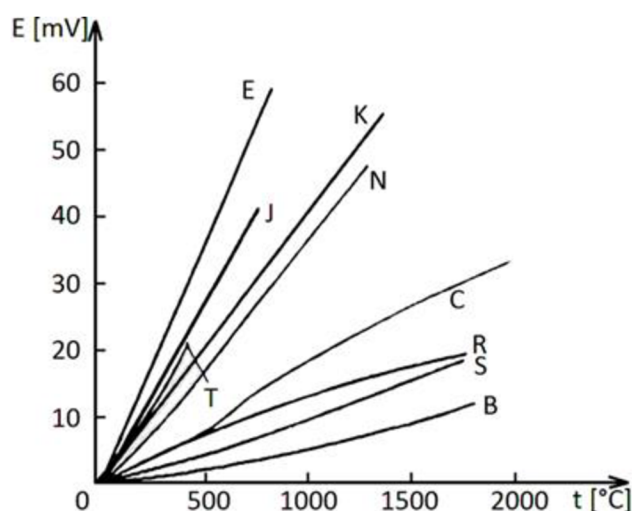
2.4 Termoelektrické články

Termoelektrické články (bežne nazývané termočlánky, ako budú aj ďalej nazývané) sú založené na Seebeckovom jave, čo je jav prevodu tepelnej energie na energiu elektrickú. Seebeckov jav vzniká tým spôsobom, že v teplejšej časti vodiča majú nosiče náboja väčšiu energiu (v polovodičoch aj väčšiu koncentráciu) a preto difundujú vo väčšom množstve do chladnejších miest než nosiče z chladnejších miest do teplejších. Týmto vzniká jednostranná prevaha nábojov.

Termočlánok býva vždy zložený z dvoch vodičov alebo polovodičov. Elektrický prúd preteká v uzavretom obvode realizovanom z dvoch materiálovo rôznych vodičov alebo polovodičov iba vtedy, ak majú oba spoje A a B rozdielnú teplotu.

Typy termoelektrických článkov

Jednotlivé páry termoelektrických materiálov pre výrobu termočlánkov sú vo svete normalizované. Boli vybraté materiály zaisťujúce prijateľnú nelinearitu závislosti termoelektrického napätia na teplote pre daný teplotný rozsah, odolnosť proti korózii, chemickým vplyvom a ionizačnému žiareniu. Charakteristiky rôznych typov termočlánkov je možné vidieť na Obr. 2 a Tab. 2.



Obr. 2 Charakteristiky termočlánků [1]

Tab. 2 Typy termočlánků a ich základné údaje [1]

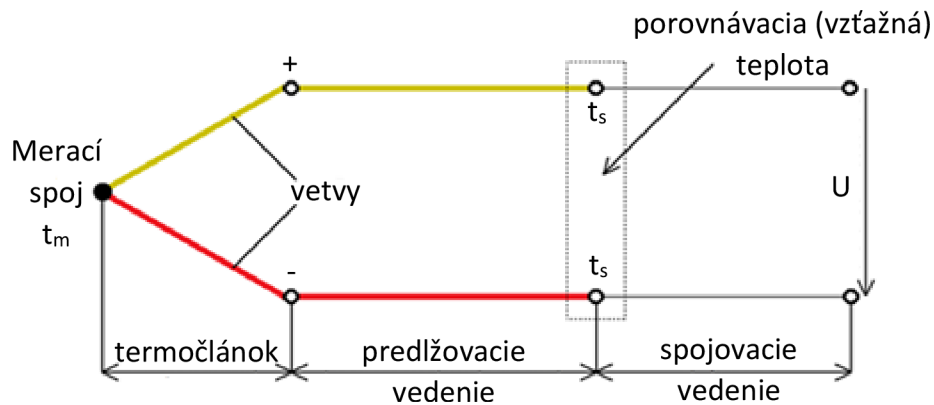
Kód	Zloženie	Dlhodobý rozsah (°C)	Krátkodobý rozsah (°C)
K	NiCr (+) NiAl (-)	0 až +1100	-180 až +1350
T	Cu (+) CuNi (-)	-185+300	-250 až +400
J	Fe (+) CuNi (-)	+20 až +700	-180 až +750
N	NiCrSi (+) NiSiMG (-)	0 až +1100	-270 až +1300
E	NiCr (+) CuNi (-)	0 až +800	-40 až +900
R	PtRh13 (+) Pt (-)	0 až +1600	-50 až +1700
S	PtRh10 (+) Pt (-)	0 až +1550	-50 až +1750
B	PtRh30 (+) PtRh6 (-)	+100 až +1000	+100 až 1820
G	W(+) WRh (-)	+20 až 2320	0 až 2600
C	WRh5 (5) WRH26 (-)	+50 až 1820	+20 až +2300

Názvoslovie termočlánkov

- Porovnávacia (vzťažná) teplota je teplota porovnávacieho spoju, je to teda teplota svoriek spojovacieho vedenia alebo indikačného prístroja, zosilovača, termostatu atď.
- Predĺžovacie vedenie je vedenie vytvorené z rovnakých kovov ako vetvy termoelektrického článku.

- Kompenzačné vedenie je vedenie tvorené z iných kovov ako sú vetvy termoelektrického článku, ale termoelektrický koeficient týchto materiálov musí v obmedzenom teplotnom rozsahu (do 200 °C) byť rovnaký ako u pripojeného termoelektrického článku, to znamená že kompenzačné vedenie musí mať v danom obmedzenom teplotnom rozsahu rovnakú charakteristiku ako odpovedajúci termoelektrický článok.

Terminológia meracieho reťazca termočlánku je ukázaná na Obr. 3.



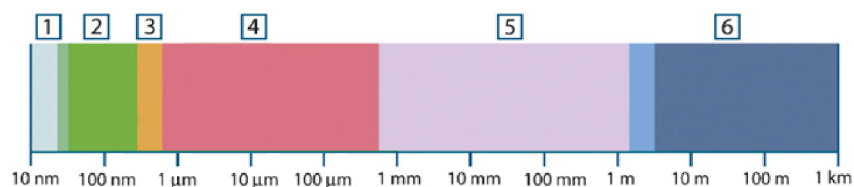
Obr. 3 Terminológia meracieho reťazca termočlánku [1]

3 Svetlo a jeho vlastnosti

Táto kapitola v krátkosti popíše elektromagnetické spektrum so zameraním najmä na viditeľné spektrum a tepelné žiarenie. Ďalej budú popísané niektoré vlastnosti svetla.

3.1 Základné fyzikálne vzťahy

Viditeľné svetlo tvorí iba malé pásmo z celého elektromagnetického spektra. Neexistuje v podstate žiadny rozdiel medzi jednotlivými pásmami, pretože podliehajú rovnakým fyzikálnym zákonom a odlišnosť medzi nimi je iba v ich vlnových dĺžkach. [5] [6] Rozdelenie elektromagnetického spektra je popísané na Obr. 4, kde: 1. röntgenové žiarenie, 2. ultrafialové žiarenie, 3. viditeľné žiarenie, 4. infračervené žiarenie, 5. mikrovlnné žiarenie, 6. rádiové žiarenie.



Obr. 4 Elektromagnetické spektrum [6]

Základnými vlastnosťami svetla sú jeho vlnová dĺžka a teplota chromatičnosti. Viditeľná vlnová dĺžka sa pohybuje v rozmedzí (360 – 400 do 760 – 830) nm. Viditeľné žiarenie je také žiarenie, ktoré je zaznamenané zrakovým orgánom pozorovateľa, teda ľudským okom. [7] Viditeľné svetlo rôznych vlnových dĺžok sa od seba líši zafarbením. [5] Na Obr. 5 je ukázané farebné vnímanie jednotlivých vlnových dĺžok.



Obr. 5 Viditeľné elektromagnetické spektrum [8]

V Tab. 3 sú rozdelené jednotlivé pásma viditeľného elektromagnetického spektra s ich vlnovými dĺžkami.

Tab. 3 Viditeľné spektrum elektromagnetického žiarenia [9]

Farba	Vlnová dĺžka [nm]
Fialová	360 - 450
Modrá	450 – 495
Zelená	495 – 570
Žltá	570 – 590
Oranžová	590 – 620
Červená	620 - 760

Tepelné žiarenie sa nachádza v celom pásme infračerveného žiarenia, ďalej prechádza cez celé viditeľné spektrum a končí v ultrafialovom žiarení. Pokrýva oblasť vlnových dĺžok od 0,1 μm po 100 μm . [10]

Frekvenciu svetla určitej vlnovej dĺžky je možné vypočítať zo vzťahu:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (4)$$

Kde λ je vlnová dĺžka a c je rýchlosť šírenia svetla vo vákuu a má hodnotu: [3]

$$c = (2,997\,924\,58 \pm 0,000\,000\,012) \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

Teplota chromatičnosti (farebná teplota) charakterizuje spektrum bieleho svetla. Svetlo určitej farebnej teploty má farbu tepelného žiarenia vydávaného dokonale čiernym telesom, ktoré je zahriate na túto teplotu. Táto teplota sa udáva v kelvinoch a čím je vyššia tým svetlo prechádza od červenej farby k farbám viac do biela až do modra. [11] Teplota chromatičnosti je popísaná s uvedenými príkladmi na Obr. 6.



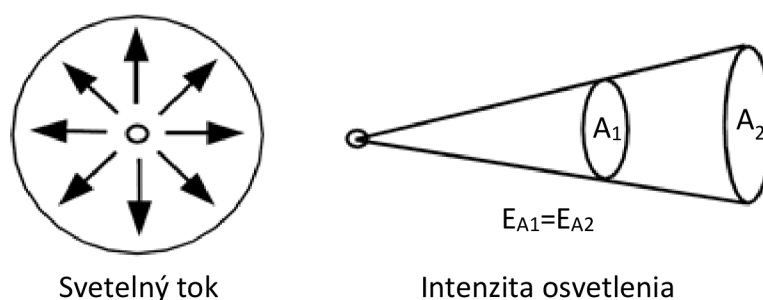
Obr. 6 Spektrum teploty chromatičnosti a porovnanie rôznych svetelných zdrojov [11]

Svietivosť I – je podiel svetelného toku vyžiareného zdrojom do jedného konkrétneho smeru. [5] Jednotkou svietivosti je candela (cd) a je definovaná ako svietivosť čierneho telesa v kolmom smere na povrch, ktorého veľkosť je $1/600\,000 \text{ m}^2$, pri teplote tuhnutia platiny a pri tlaku 101 325 Pa. [12]

Svetelný tok Φ - udáva množstvo svetla, vyžiarené zdrojom do všetkých smerov za čas jednej sekundy. Jeho jednotkou je lumen (lm) [5] [13] [14]

Intenzita osvetlenia E – udáva pomer dopadajúceho svetelného toku k osvetlenej ploche. Jej jednotka je lux (lx). Intenzita 1 lx znamená, že svetelný tok o veľkosti 1 lm dopadá

na plochu 1 m². [5] [13] Na Obr. 7 je ukázaný rozdiel medzi svetelným tokom a intenzitou osvetlenia.



Obr. 7 Rozdiel medzi svetelným tokom a intenzitou osvetlenia [14]

Jas J – jas svetelného zdroja alebo osvetlenej plochy je pojem svetlosti vnímaný ľudským okom. Jednotka je candela na meter štvorcový (cd·m⁻²). [5] Stupeň rozoznatelnosti objektu je charakterizovaný kontrastom jasu K, ktorý dostaneme: [7]

$$K = \frac{J_A - J_B}{J_B} \quad (6)$$

Kde: J_A je jas rozlišovaného objektu a J_B je jas pozadia.

Merný svetelný výkon η – vyjadruje vzťah medzi svetelným tokom a elektrickým príkonom. Udáva teda s akou efektívnosťou je dodávaný elektrický príkon premenený na svetlo. Jednotka je lumen na watt (lm·W⁻¹) [13]

3.2 Zákony geometrickej optiky

Geometrická optika je časť optiky, ktorá sa zaoberá zobrazovaním, pričom sa nebere do úvahy vlnová dĺžka svetla. Je v nej zahrnuté zobrazovanie pomocou prvkov ovplyvňujúcich chod svetla ako napríklad zrkadiel, lámavé plochy alebo šošovky, ale tiež zariadenia obsahujúce kombináciu týchto elementov, tzv. optické prístroje. Pozostáva z týchto zákonov: [7] [15]

Zákon o priamočiariom šírení svetla – v homogennom izotropnom prostredí sa svetlo šíri priamočiaro v tvare svetelných lúčov

Zákon o nezávislosti svetelných lúčov – jednotlivé lúče sú na sebe nezávislé a šíria sa tak akoby iné lúče neexistovali

Zákon odrazu – lúč dopadajúci na rozhranie dvoch optických prostredí sa odráža, pričom uhol dopadu a uhol odrazu sú si rovné (merané od kolmice k rovine rozhrania)

Zákon lomu – podiel sínusov uhlov dopadu a lomu svetelných lúčov je pre dve dané prostredia stály a je určený podielom rýchlosti svetla v oboch prostrediach.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad (7)$$

Kde α je uhol dopadu, β je uhol po lomu, v_1 je rýchlosť v prvom prostredí a v_2 je rýchlosť v druhom prostredí.

4 Typy osvetlenia automobilov a nové trendy v osvetľovacej technike

Osvetlenie automobilu je pri cestnej premávke jedným z nadôležitejších bezpečnostných prvkov, poskytuje nielen vodičovi vozidla lepšiu viditeľnosť, ale taktiež pomáha ostatným členom premávky vidieť vozidlo samotné, má teda 2 základné funkcie vidieť a byť videný.

Podľa účelu osvetlenia, sa u vozidiel rozlišujú dva typy svetiel a to osvetľujúce svetlá a návestné. Osvetľovacie svetlá sú svetlá vyžarované svetlometmi, ktoré sú určené na osvetľovanie cestnej dráhy. Delia sa na svetlá diaľkové, stretávacie a svetlá do hmly. Návestné svetlá sú určené k zabezpečeniu viditeľnosti vozidla, k upozorneniu o spomalení jazdy a podobne. Delia sa na svetlá obrysové, koncové, brzdové a smerové. [5] [16]

Svetlomety u automobilov sa skladajú z týchto troch častí: [5]

Svetelý zdroj – žiarovka, výbojka atď.

Optický systém – tvorí ho odrážacia plocha a priesvitný kryt, ktorého časť, ktorou vystupuje svetlo zo svetlometu, sa skladá optických útvarov, slúžiacich na priestorové rozloženie vystupujúceho svetla

Púzdro – je do neho vložený svetelný zdroj s optickým systémom

V nasledujúcej časti sa práca bude zaoberať rozdelením jednotlivých rôznych druhov zdrojov svetla, používaných v automobiloch, a to: bežnými žiarovkami, halogénovými žiarovkami, výbojkami, LED diódami, laserami a OLED.

4.1 História automobilového osvetlenia

Už je to 131 rokov, odkedy bolo poprvykrát použité osvetlenie u automobilu. Prvý osvetlený automobil postavil Carl F. Benz v roku 1885. Jednalo sa však iba o funkciu upozorňovaciu a nie o funkciu osvetľovania vozovky pre vodiča. [17]

Prvé elektrické osvetlenie bolo predstavené v roku 1898 spoločnosťou Electric Vehicle Company, umiestnenou v Hartforde, v Connecticute, USA. [18]

V roku 1912 spoločnosť Cadillac predstavila svoje nové moderné osvetlenie, ktoré napríklad oproti svojim predchodcom mohlo byť používané aj za dažďa a sneženia bez rizika, že by došlo k spáleniu svetlometu. [18]

Prvá halogénová žiarovka sa objavila v roku 1962 v Európe a stala sa základom automobilových svetlometov v mnohých krajinách. V USA sa však až do roku 1978 na halogén neprešlo. [18]

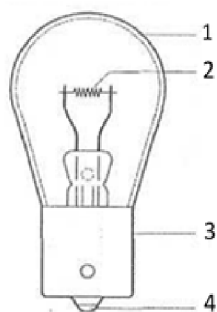
V roku 1991 automobilka BMW vyrobila prvé modely áut, ktoré používali už xenónové svetlomety. [18]

Časový prehľad histórie automobilového osvetlenia: [17]

- 1885 Prvé osvetlené samohybné vozidlo Benz
- 1913 Komplexná elektrická osvetľovacia sústava Robert Bosch s dobíjaním
- 1924 Dvojvláknová žiarovka Bilux pre tlmené/diaľkové svetlá
- 1935 Svetlomet integrovaný v karosérii
- 1948 Diaľkovo ovládaný sklon svetlometov – Citroën 2CV
- 1952 Samočinne zhasnuté diaľkové svetlomety Autronic Eye (Cadillac, Oldsmobile)
- 1957 Asymetrický stretávací svetelný paprsok, dodnes používaná dvojvláknová žiarovka R2
- 1962 Halogénový prídavný diaľkový svetlomet
- 1967 Prvá štandardizovaná výmenná halogénová žiarovka H1
- 1971 Dvojvláknová halogénová žiarovka H4
- 1972 Predpis EHK/OSN č. 37, globálne zjednocujúci parametre vymeniteľných svetelných zdrojov v motorových vozidlách a prívesoch
- 1974 Elektromotoricky ovládaný sklon svetlometov
- 1980 Statické odbočovacie svetlo (Oldsmobile 98)
- 1986 Projektorový halogénový, tzv. polyelipsoidný svetlomet (BMW 7) pre stretávacie svetlá
- 1988 Volne definovaná odrazná plocha postupne nahradzuje parabolu
- 1991 Stretávacie svetlomety Bosch Litronic so xenónovou výbojkou (BMW 7)
- 1993 Premiéra výkonnejšej halogenovej žiarovky H7
- 1994 Predpisy EHK 98 a 99, štandardizujúce výmenné xenónové výbojky pre automobily
- 1995 Premenný tvar svetelného paprsku, do výroby 1996
- 1996 Dynamická regulácia sklonu svetlometu
- 1997 Úsporné a kompaktné halogény novej generácie H8, H9 a H11
- 2002 Elektronicky riadené adaptívne natáčacie svetlomety
- 2004 Elektronicky riadené statické odbočovacie svetlá („cornering“)
- 2006 Inteligentné svetlomety ILS s premenným tvarom a intenzitou paprsku (Mercedes-Benz E)
- 2007 Hlavné svetlomety s diódami pre stretávacie svetlá (Lexus LS)
- 2008 Plne diódové hlavné svetlomety (Audi R8)
- 2009 Riadenie svetelného paprsku podľa kamery (Mercedes-Benz E)
- 2010 Diódové svetlá riadené kamerou (Audi A8)
- 2012 Svetlomet s dynamickým clonením časti paprsku (Lexus LS)
- 2013 LED Laser Light (BMW i8)

4.2 Bežné žiarovky

Žiarovky patria medzi žiarové zdroje svetla, to znamená, že u nich dochádza ku vzniku svetla v dôsledku vysokej teploty svietiaceho telesa, ktorým prechádza elektrický prúd. Žiarovky majú spojité spektrum, teda sa u nich nachádzajú všetky farby viditeľného svetla. U bežných žiaroviek dochádza k žhaveniu wolfrámového vlákna v sklenenej banke, upevnenej na päťci určitého typu. V banke bolo pôvodne vytvárané vákuum, v ktorom dochádzalo k menšej emisii materiálu vlákna. V dnešnej dobe sa tento priestor vyplňuje zmesou argónu a dusíku, alebo aj kryptónom. [5] [7] [16] Obr. 8 popisuje konvekčnú žiarovku, ktorá pozostáva z: 1. Sklenená banka, 2. Wolfrámové žhavené vlákno, 3. Päťca, 4. Elektrický kontakt.

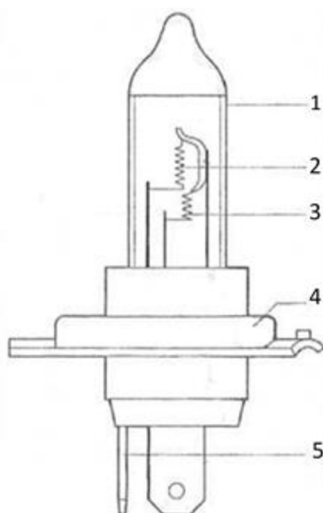


Obr. 8 Konvekčná žiarovka [16]

4.3 Halogénové žiarovky

Halogénové žiarovky majú na rozdiel od bežných žiaroviek vyššiu svietivosť a dlhšiu životnosť. U halogénovej žiarovky dosahuje svetelný tok viac ako 1000 lm. Banky u týchto žiaroviek sú plnené plynom s prímiesou halogénových prvkov, u automobilov je to najmä plyn metylenbromid a prvok brom. Proces prebiehajúci vo vnútri banky sa nazýva halogénový cyklus. Halogénové žiarovky sú veľmi citlivé na veľkosť napätia. Už len pri malom poklese výrazne klesá svietivosť, ale vyššie napätie naopak veľmi zkracuje životnosť. Teplota chromatičnosti sa u týchto žiaroviek pohybuje okolo 3200 K. [7] [16]

Ich životnosť oproti obyčajným žiarovkám je dvojnásobná a pri rovnakom príkone dosahujú až dvojnásobný svetelný tok. Naproti obyčajným žiarovkám sú halogénové žiarovky taktiež menšie. Banka je tvorená kremičitým sklom, ktoré je náchylné k zničeniu pri znečistení, najmä masťou. [7] [16] Obr. 9 popisuje halogénovú žiarovku, ktorá pozostáva z: 1. Banka, 2. Žhavená špirála pre tlmené svetlo s krytom, 3. Žhavená špirála pre diaľkové svetlo, 4. Päťca, 5. Elektrický kontakt.



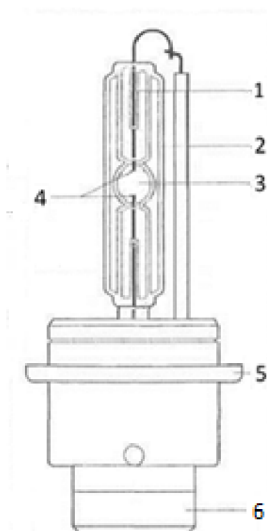
Obr. 9 Halogénová žiarovka typu H4 [16]

4.4 Výbojky

Výbojky sú zdrojom svetelného žiarenia, kde svetlo už nie je tvorené žiarom, ale na rozdiel od predchádzajúcich dvoch typov vzniká výbojom medzi dvomi elektródami. Tieto elektródy sú umiestnené v sklenenej trubici, ktorá je naplnená zriedenými plynmi alebo parami kovov, napríklad ortuťou alebo vzácnymi plynmi. Elektródy sa označujú ako studené alebo žhavené. Žhavené elektródy sú žhavené budiacim prúdom. Týmto žhavením sa emitované elektróny, ktoré vytvoria okolo elektród veľkú ionizáciu plynu. Tento rozžiarený plyn potom vydáva obvykle farebné monochromatické svetlo. Výboj je vybudený vysokonapäťovým impulzom. Výbojka je v prevádzke iba mierne teplá, pretože vytvárané teplo nie je podmienkou vzniku svetla ale iba doprovodným javom. [7] [16]

U automobilov sa využívajú xenónové výbojky, tvorené sklenenou trubičkou z kremičitého skla, ktorá je naplnená xenónom s prímiesou metalických solí. K zapáleniu výboja sa používa striedavé napätie o veľkosti 24 kV. V trubičke sa nachádzajú elektródy z wolfrámu. Výboj najskôr prebieha v xenóne, s postupným nárastom teploty sa zvyšuje koncentrácia halogenidov vo výboji. Teplotný režim výbojky sa ustáli do niekoľkých sekúnd. Pri pracovnej teplote horáku (cca 700 °C) sa v oblasti jeho osi začnú halogenidy štiepiť na atómy halogénu a atómy príslušného kovu, ktoré sa vybudia a žiaria. Súčasne sa vytvára gradient koncentrácie týchto atómov v radiálnom smere, ktoré nasledne difundujú ku stenám horáku kde je nižšia teplota a kde sa opäť zlučujú na pôvodné zlúčeniny. Vzniká tak uzavretý cyklus. Farebné spectrum xenónových výbojek sa blíži k farebnému spektru denného svetla a teplota chromatičnosti má hodnotu zhruba 4100 K. [7] [16]

Výhodami xenónových výbojek sú: 2,5x väčší svetelný tok ako u halogénových žiaroviek a to pri rovnakom výkone, väčšie dosvetlenie svetelného kuželu, svetlo veľmi podobné dennému a až 6x vyššia životnosť, než u halogénových žiaroviek (až 3 000 hodín). [7] Na Obr. 10 je ukázané schéma xenónovej výbojky, ktorá pozostáva z: 1. sklenená banka s ultrafialovým filtrom, 2. Elektrická priechodka, 3. Priestor výboja, 4. Elektródy, 5. Pôtica, 6. Elektrický kontakt.

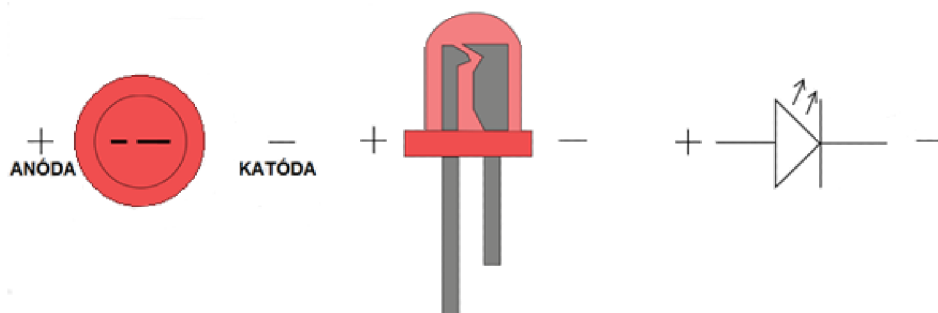


Obr. 10 Xenonová výbojky [16]

4.5 LED diódy

Prvé LED svetlomety sa objavili na automobilovom trhu už v roku 2007. Dnes sa vyskytujú prevažne na automobiloch vyššej triedy s jedinečným dizajnom aby boli rozlíšiteľné od dnešných štandardov, teda halogénových a xenónových svetlomietov. [19]

LED diódy sú polovodičové súčiastky, ktoré emitujú svetelné žiarenie. Sú v súčasnosti najviac rozvíjaný zdroj svetla. K ich hlavným výhodám patrí stálosť farebného spektra už pri nízkom výkone. Ďalšou ich výhodou je, že nábehnú na plný svetelný výkon už po niekoľkých milisekundách. LED dióda potrebuje zhruba 3 ms, kdežto štandardná žiarovka potrebuje až 200 ms. Princíp vyžarovania svetelného toku u LED spočíva v tom, že dióda je tvorená P-N priechodom. Pokiaľ týmto priechodom prechádza elektrický prúd v priepustnom smere, priechod vyžaruje svetlo s úzkym spektrom. [7] [16] Schéma LED diódy je na Obr. 11.



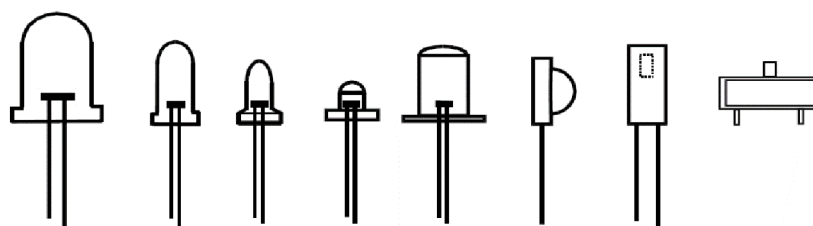
Obr. 11 LED dióda, prevzaté a upravené z [20]

V niektorých prípadoch môže emitovať žiarenie aj z oblasti neviditeľného svetla. Pásmo spektra LED je závislé na jeho chemickom zložení použitého polovodiču. LED diódy sa vyrábajú od oblasti ultrafialového žiarenia, cez viditeľné spektrum, až po oblasť infračerveného žiarenia. LED svetlá nedokážu priamo vyžarovať biele svetlo, staršie diódy obsahujú trojicu čipov, ktoré vďaka miešaniu svojich farieb dosahujú zdania bieleho svetla. V iných prípadoch využívajú LED luminoforu, čo je chemická látka, ktorá po ožarení emituje iné sekundárne žiarenie. Niektoré biele LED diódy vyžarujú modré svetlo, ktoré je vďaka vhodnému

luminoforu z časti transformované na žlté svetlo a vďaka ich kombinácii dochádza k dojmu bieleho svetla. Iné typy vyžarujú ultrafialové žiarenie, ktoré je luminoforom transformované na svetlo biele. [7]

Vďaka ich vlastnosti vyžarovať svetlo iba v malej oblasti spektra sa LED diódy vyhnú infračervenému žiareniu, ktoré je hlavným nositeľom tepla a dochádza tak menšiemu zahrievaniu použitých materiálov touto cestou. Táto vyhoda však má aj zápornú stránku a to problém s odmlžovaním svetiel. Staršie generácie svetlometov boli schopné vlastným zahrievaním odmlžovať svetlá, ale u LED k tomu musí dochádzať iným spôsobom.

Dnešné stretávacie svetlá využívajúce LED potrebujú príkon iba 34 wattov, čím sú výrazne účinnejšie ako halogény s 120 wattmi a xenóny s 84 wattmi. Obr. 12 predvádza rôzne typy prevedení LED.



Obr. 12 Rôzne prevedenia LED diód [14]

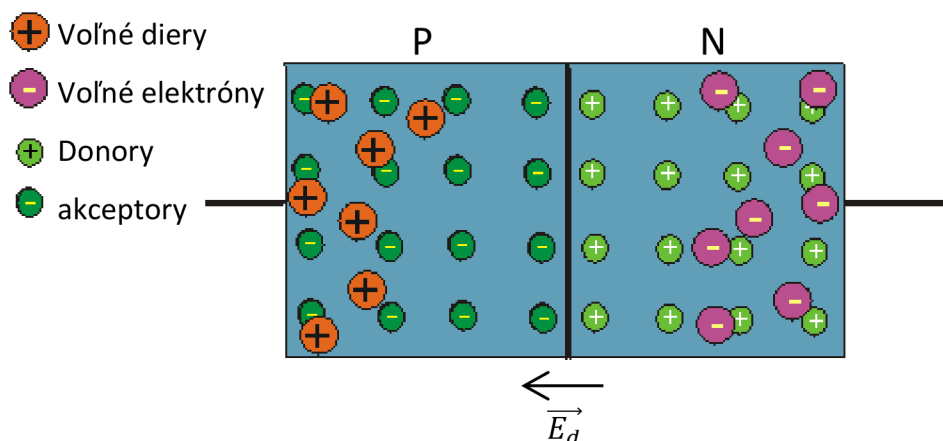
V posledných rokoch je možné pozorovať pomalé uchádzanie od používania halogénového a xenónového osvetlenia k osvetleniu za pomoci LED čipov. Tento prechod je zatiaľ stále dosť pomalý a LED je zatiaľ možné nájsť iba u automobilov vyšších tried a nižším triedam sa, vzhľadom na ich cenu, stále vyhýba.

Jedným z problémov LED je, že ako všetky polovodiče, je nutné sa vyhýbať prehrievaniu, inak ich životnosť prudko klesá.

4.6 Princíp P-N priechodu

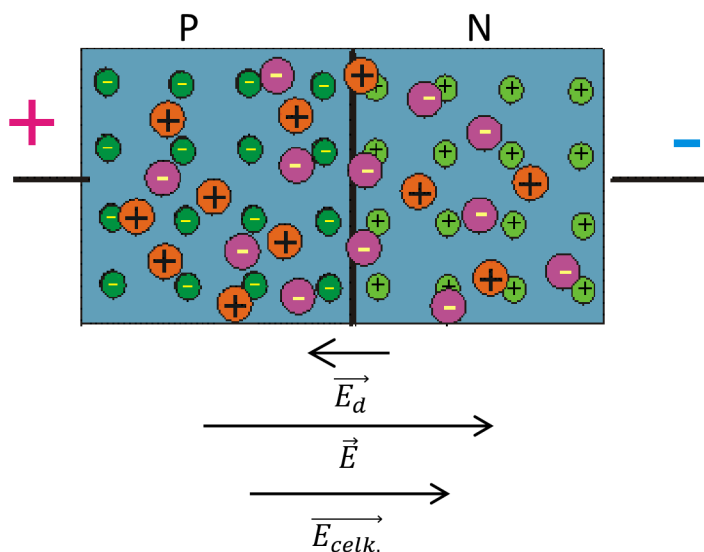
Princíp P-N priechodu je dobre rozobratý v [21] odkiaľ táto práca čerpá informácie.

P-N priechod vznikne vytvorením kontaktu medzi polovodičom typu P a polovodičom typu N. V ustálenom stave kedy týmto priechodom neprechádza elektrický prúd, sa vplyvom veľkého gradientu koncentrácie dier a elektrónov začínajú elektróny presúvať do časti P a diery do časti N. Následkom tohoto presunu je vznik difúzneho elektrického poľa E_d , ktoré spôsobuje, že ďalší priechod elektrónov a dier nie je možný. Oblasť pri priechode, ktorá neobsahuje voľné častice s nábojom sa nazýva hradlová oblasť. Tento stav je zobrazený na Obr. 13.



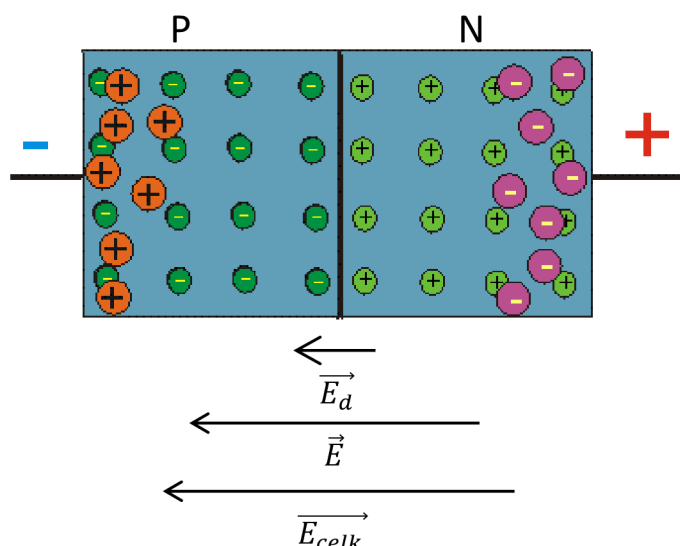
Obr. 13 P-N priedchod bez priedchodu elektrického prúdu [21]

V prípade, že pripojíme na diódu vonkajšie napätie s kladným pólom na časť P a záporným pólom na časť N, vytvárame vonkajšiu intenzitu elektrického poľa E , ktorá je protichodná intenzite poľa E_d . Celková intenzita je daná vektorovým súčinom intenzít E a E_d . Pokiaľ je teda veľkosť intenzity E väčšia ako E_d bude mať celková intenzita smer od P do N. Kladne nabité diery a záporne nabité elektróny sa teda budú pohybovať smerom k priedchodu a cez priedchod bude prechádzať elektrický prúd. Toto zapojenie sa nazýva zapojenie v priepustnom smere a je zobrazené na Obr. 14.



Obr. 14 P-N priedchod zapojený v priepustnom smere [21]

Pokiaľ pripojíme vonkajšie napätie naopak, intenzity E a E_d majú rovnaký smer a teda sa hradlová vrstva iba rozširuje, toto zapojenie sa nazýva zapojenie v závernom smere a je zobrazené na Obr. 15



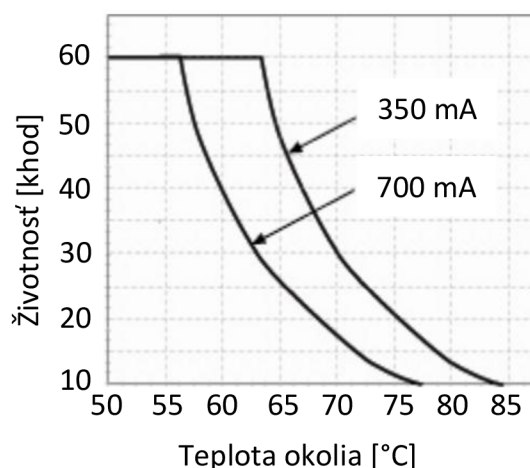
Obr. 15 P-N prichod zapojený v závernom smere [21]

Dióda je teda súčiastka, ktorou môže prechádzať elektrický prúd iba v jednom smere.

4.7 Vplyv teploty na LED

Ako každý polovodič aj dióda je ovplyvnená teplotou. S rastúcou teplotou klesá napätie na dióde, rastie dynamický odpor a od určitej teploty taktiež klesá životnosť.

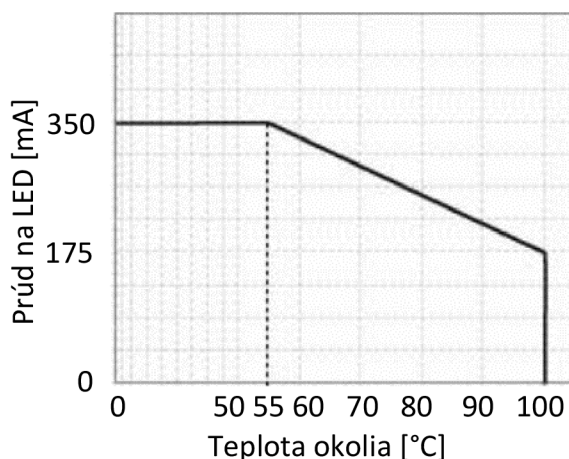
Napriek tomu, že LED diódy majú výrazne lepšiu účinnosť premeny elektrickej energie na svetlo ako iné konvenčné zdroje svetla, jej podstatné množstvo je stále premieňané na teplo. Preto je dôležité brať do úvahy teplotu okolia, v ktorej bude LED pracovať ihneď pri základnom návrhu. Na Obr. 16 je ukážka prudkého poklesu životnosti LED, kedy je vplyvom vysokej teploty okolia prekročená teplota polovodiča 130 °C. [22]



Obr. 16 Pokles životnosti vzhľadom na zmenu teploty okolia [22]

Maximálna teplota okolia u LED závisí od účinnosti LED a spôsobu odvádzania tepla. Maximálna teplota okolia LED pred prudkým klesaním životnosti sa teda líši u každého výrobcu, ale dala by sa vo všeobecnosti stanoviť na 55 °C. [22]

Na Obr. 17 je ukázaný príklad pracovnej teploty LED a ideálna zmena prúdu prispôbena tejto teplote. Do maximálnej pracovnej teploty prúd na LED zostáva konštantný, avšak po prekročení tejto teploty, je prúd znížený a jeho intenzita osvetlenia teda rovnako klesá. Táto krivka sa nazýva „Derating Curve“, čo by sa dalo preložiť ako „Odlahčovacia krivka“ alebo „Krivka znižovania výkonu“ a slúži k udržiavaniu LED v stave kedy neklesá jeho životnosť vplyvom prehrievania. [22]

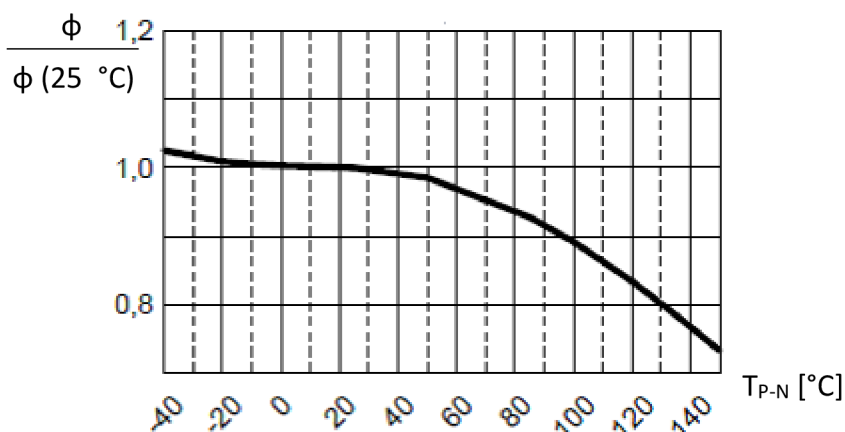


Obr. 17 Typická pracovná teplota LED [22]

Nejedná sa ale toľko o teplotu okolia, ktorej je LED vystavený ale o teplotu P-N prechodu. Práve tá je ovplyvnená teplotou okolia, prúdom a odvodom tepla použitým chladením. Bežne bývajú LED pri teplote okolia 55 °C teplejšie o 15 °C a teplota P-N prechodu býva vyššia o 35 °C. [23]

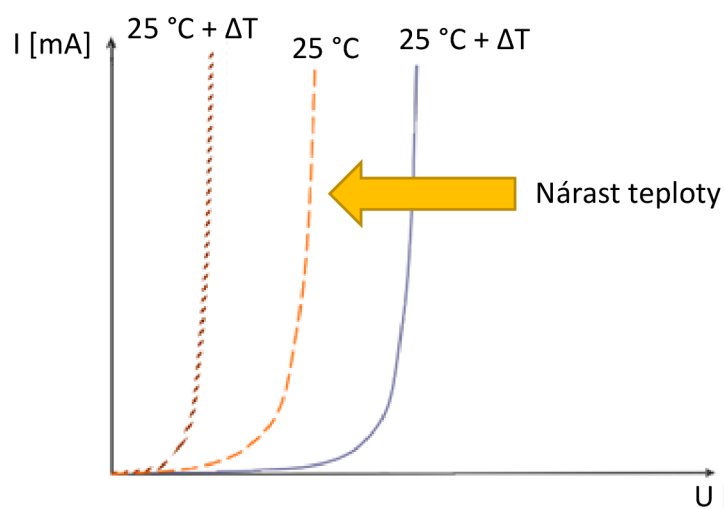
Ovládače prúdu na LED sú obvody, ktoré udržiavajú konštantný prúd i keď sa vstupné napätie mení. Presný a konštantný prúd je dôležitý keďže svetelný výkon LED je mu priamo úmerný. Pokiaľ má ovládač LED tlmiaci vstup, tak je možné pridať externý senzor teploty a externé obvody, ktoré budú mať funkciu vytvorenia odlahčovania ako je ukázané na Obr. 17, jedná z možností je použitie termistoru. [22]

Na Obr. 18 je ukážka pomernej svietivosti LED čipu Oslon Black Flat, svietivosť je vzťahnutá k svietivosti pri 25 °C.



Obr. 18 Pomerná svietivosť u LED Oslon Black Flat [24]

S rastúcou teplotou je taktiež možné sledovať pokles napätia na dióde, pre kremíkovú diódu je pokles 2,3 mV/°C a pre diódu z germánia je pokles 2,12 mV/°C. Na Obr. 19 je ukázaná zmena napätia vzhľadom k teplote.



Obr. 19 Zmena napätia na LED vplyvom zmeny teploty

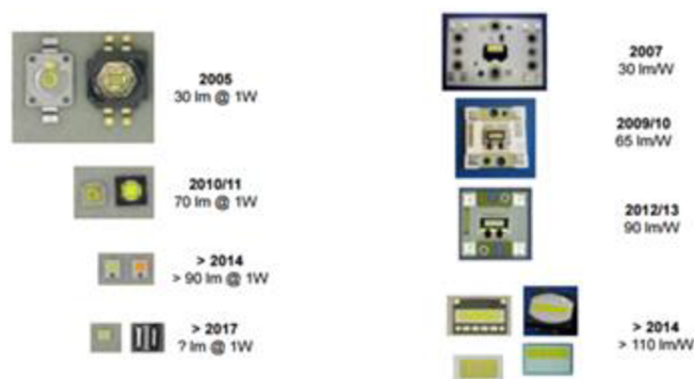
4.8 Nové trendy v oblasti LED

Automobilový priemysel sa snaží distribuovať LED svetlomety do všetkých oblastí vozidiel a na všetky trhy v primeranom čase, ale je pre to potrebné sa zameriavať na možné stratégie ako toto zrealizovať. Ich jedinečný dizajn bude ponechaný, ale bude musieť byť vyvinutý LED systém, ktorý bude značne jednoduchší a za nižšiu cenu. [19]

Dosiahnutie používania LED u vozidiel nižších tried je možné hlavne zmenením filozofie uprednostovania tejto lepšej technológie u automobilov vyšších tried, za filozofiu nahradzovania starších halogénových žiaroviek. Najväčšími argumentami prečo toto urobiť je znižovanie energetických nárokov, redukcia produkcie CO₂ sa taktiež zlepši (2-3 g/km) a dôjde aj k zvýšeniu intenzity osvetlenia. To pokrýva bezpečnostné a enviromentálne aspekty u vozidiel, ktorých podiel je výrazná väčšina. [19]

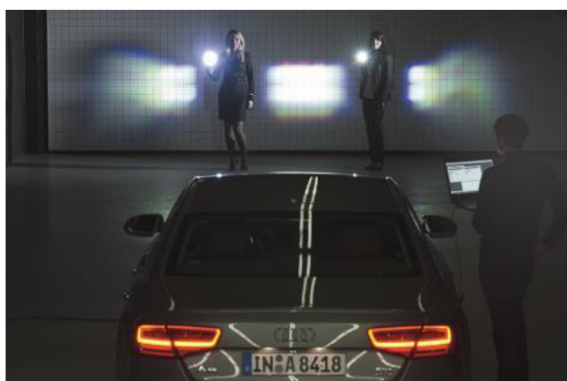
LED diodám je v súčasnosti venovaná najväčšia pozornosť, vďaka už predtým spomenutým kvalitám ako napríklad lepšia účinnosť a nižšie zahrievanie radiáciou.

Jedným zo smerov vývoja LED je ich miniaturizácia. Za posledných 10 rokov sa v tomto smere učinil veľký pokrok. LED diódy z roku 2013 sú veľkosťou asi päťtinové oproti LED z roku 2005, pričom dosahujú až 3x vyššej účinnosti, 90 lm·W⁻¹ oproti 30 lm·W⁻¹. [25] Na Obr. 20 je ukážka postupnej miniaturizácie LED čipov aj so zmenou ich výkonu.



Obr. 20 Miniaturizácia LED čipov, na ľavo jedno-čipové LED, na pravo viac-čipové LED [26]

Tento pokrok je veľmi dôležitý pre iné nové využívanie LED čipov, ako napríklad v použití maticového diaľkového osvetlenia. Táto technológia spočíva v rozdelení hlavného LED osvetlenia na veľký počet individuálnych segmentov. Využívajú sa teda malé individuálne diódy, ktoré sú zapínané/vypínané podľa potreby ako je ukázané na Obr. 21. Tento systém získava informácie pomocou kamery, navigačného systému a iných senzorov. Pokiaľ kamera detekuje iné vozidlá, tak sa dané diódy, ktoré by vozidlo osvetľovali, vypnú. Táto technológia je schopná taktiež osvetľovať priestor medzi vozidlami v komplexných situáciách, v ktorých sa nachádza pred automobilom viacero rôznych objektov. Táto technológia teda umožňuje mať diaľkové svetlá v noci neustále zapnuté. Vďaka využívaniu navigácie môže táto technológia osvetľovať vozovku aj v zákrutách ešte predtým ako vôbec šofér pohne volantom. [27] [28]



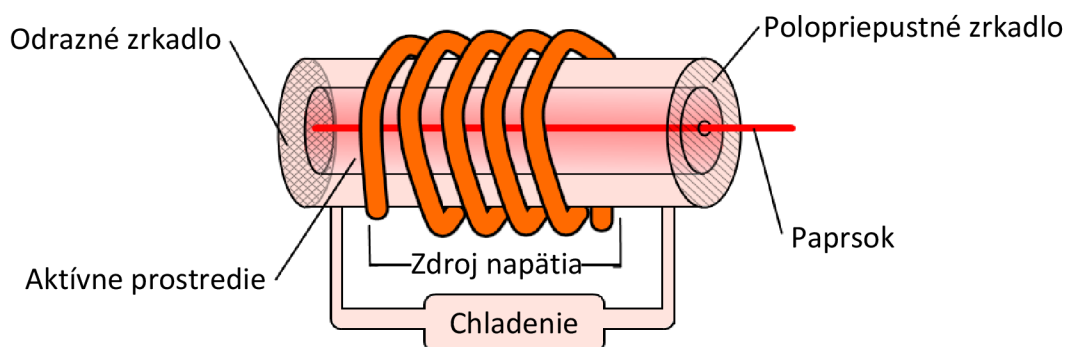
Obr. 21 Ukážka reakcie maticového osvetlenia na iný zdroj svetla [28]

Svetelný výkon LED stále narastá a ich zahrievanie klesá. Týmto môžu byť svetlomety o mnoho kompaktnejšie a technológia maticového usporiadania LED môže mať viacero riadkov a stĺpcov. [27]

4.9 Laser

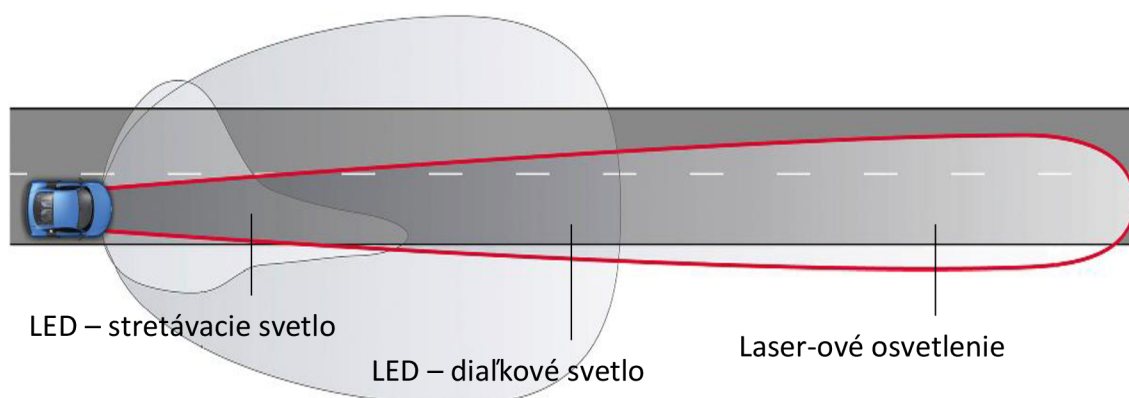
Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, teda zosilňovanie svetla stimulovaním vypúšťania žiarenia) je zdroj monochromatického koherentného svetla. Vyznačuje sa týmito vlastnosťami: jedno-frekvenčnosť (monochromatickosť), fázová vyrovnanosť (koherencia), veľmi dobré sústreďovacie vlastnosti (nerozširuje sa do okolia) a vysoká energetická hustota (vysoký jas). Vďaka týmto vlastnostiam má laser potenciál byť

zdrojom svetla s charakteristikami aké nám žiadne iné metódy osvetlenia neponúkajú. [29] Funkcia laseru je popísaná na Obr. 22.



Obr. 22 Funkcia LASER-u [30]

Laser ponúka 2,5-krát vyšší jas ako LED pri zaberaní iba jednej desatiny oblasti vyžarovania svetla, čím uvoľňuje miesto pre iné súčasti automobilu. Zároveň bola pri nich nameraná vzdialenosť dosvitu o veľkosti 1,5 vzdialenosti LED, čo dodáva vyššiu bezpečnosť do nočného riadenia. [29] Na Obr. 23 je ukázané porovnanie dosvitu Laser-ového osvetlenia, s LED osvetlením.



Obr. 23 Porovnanie Laseru-u s LED osvetlením [32]

Možnými nevýhodami laseru však pri automobilovom použití môže byť poškodenie oka, ako to typicky u laserov býva aj v iných oblastiach použitia, avšak tejto stránke sa naďalej venuje výzkum. Laser je rovnako ako LED veľmi citlivý na teplotu okolia, ktorá silne ovplyvňuje jeho výkon [29].

Vznik bieleho svetla je podobný ako u LED diód, používa sa modrý alebo modro-fialový laser, do ktorého ohniska je vložený fosfor, ktorý má úlohu luminoforu a pretvára toto žiarenie na žiarenie biele. Modrý laser má výhody v účinnosti a modro-fialový má výhody na strane vykreslovania farieb a teda bezpečnosti. [29]

4.10 Rozvoj LASER-ového osvetlenia

Najväčšou výhodou laserového žiarenia je jednoznačne jeho vysoká svietivosť. Ďalšou ich výhodou je využívanie veľmi malej optiky, čo dáva mnohé možnosti v oblasti dizajnu

svetlometov. Na druhú stranu malá optika je technologicky náročnejšia na výrobu, z dôvodu zachovania účinnosti prenosu svetelného výkonu. Vďaka ich veľkosti si ich automobilový priemysel veľmi obľubuje, pretože je viac priestoru pre motor a iné mechanické časti. [29]

Naproti LED je laser účinnejší a to so 60% účinnosťou oproti 44% má vyššiu intenzitu 79 lx ku 31 lx, oboje pri 220 lm. [33]

Avšak nevýhodou laseru je rovnako ako u xenónu možnosť osleповania ostatných účastníkov premávky. Naprotivný vodič sa môže stretnúť so svietivosťou 400 Cd zo vzdialenosti 30 m a pri náhodnom priamom žiarení do oka dokonca s až 40 kCd. [33]

Avšak laserová technológia je využívaná aj v iných technológiách ako napríklad veľká projekcia alebo osvetľovanie pódíí, preto sa táto technológia aj naďalej vyvíja a jej cena klesá čo znamená istý ďalší vývoj v osvetlení automobilov. [33]

4.11 Laser/LED hybridné svetlomety

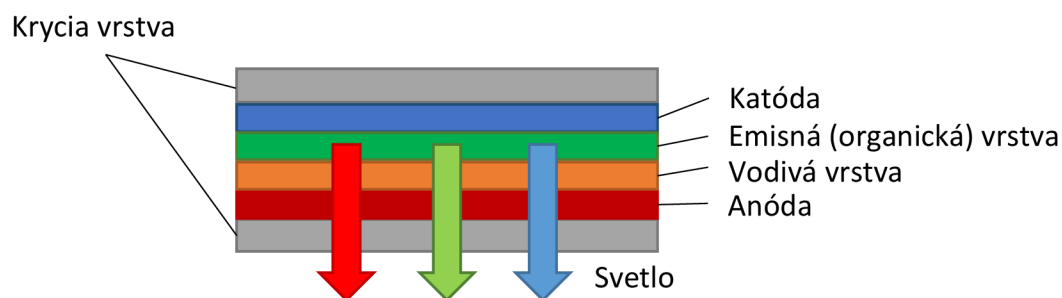
Vďaka kombinácii LED a laseru je možné dosahovať celkovo lepšieho osvetlenia vozovky. LED dióda osvetľuje širšiu oblasť v blízkosti vozidla a laser je namierený na oblasť za LED osvetlením, kde osvetľuje užšie pásmo. Kombináciou týchto dvoch bolo dosiahnuté 1,5 krát lepšie osvetlenie vo vzdialenosti 65 m. zatiaľ čo nebola zistená žiadna podstatná zmena v oblasti do 10 m. Je teda možné pozorovať veľké zlepšenie dosvitu oproti použitiu samostatného LED a teda dosiahnutie vyššej bezpečnosti, najmä pri vysokých rýchlostiach. [34] Na Obr. 24 je porovnanie samostatného diaľkového LED osvetlenia (vľavo) a kombinácie LED a Laser-u (vpravo). [35]



Obr. 24 Porovnanie samostatného diaľkového LED osvetlenia a LED v kombinácii s Laser-om [35]

4.12 OLED

OLED (Organic Light Emitting Diode – Organická svetlo vyžarujúca dióda) funguje na princípe prenosu elektrického prúdu medzi dvomi niekoľko nanometrov hrubými vrstvami organických polovodičov zovretými medzi dvomi elektródami. Elektrický prúd tečie od kladnej elektródy k zápornej skrz organickú vrstvu, spôsobujúc emitovanie žiarenia z tejto vrstvy. Kvôli ochrane organickej vrstvy, býva OLED kompletne uzavretý medzi dvomi plátmi skla. [36] OLED s jednotlivými vrstvami je popísaný na Obr. 25.



Obr. 25 Funkcia OLED [36] [37]

Táto technológia nedosahuje až tak dobré svetelné vlastnosti ako ostatné technológie, ich jas sa pohybuje v rozmedzí (1500-2000) $\text{cd}\cdot\text{m}^2$, takže sa nepoužíva na osvetľovanie vozovky, ale vďaka iným svojim jedinečným vlastnostiam je na ňu pozerané ako na budúcnosť automobilového signalizačného osvetlenia. Tento jas im ale ešte nestačí na pozíciu brzdného osvetlenia a ani smerových svetiel (potrebovali by minimálne 10 000 $\text{cd}\cdot\text{m}^2$), využitie prichádza zatiaľ iba v tvorbe spätných svetiel. [38] Na Obr. 26 je ukážka priamo použitej OLED technológie u zadného svetlometu od BMW.



Obr. 26 Ukážka prevedenia OLED pri spätnom osvetlení u BMW [39]

OLED poskytuje jedinečné vlastnosti, najmä vďaka ich vlastnosti plošného zdroja svetla, ktoré dodávajú nové možnosti automobilového dizajnu a poskytujú možnosť väčšej dizajnovej diferenciacie medzi rôznymi zadnými svetlometmi. Je v nich kombinované homogénne povrchové žiarenie s ostrým zásekom žiarenia na ich krajoch, takže nedochádza k difúzii žiarenia do okolia. Vďaka svojej tenkosti a ľahkej hmotnosti poskytujú trojrozmerné formovanie jednoduchým priestorovým rozmiestnením v danom vyhradenom priestore. Ich ďalšími výhodami sú nízka spotreba a vysoká životnosť pri operatívnych teplotách. [36]

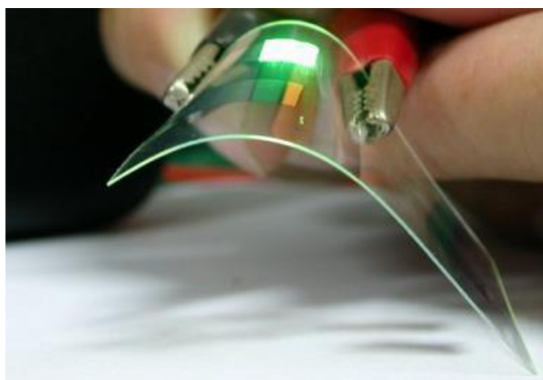
Ich nevýhodou je veľká náchylnosť na teplotu, keďže sú tvorené organickým materiálom. Pri teplote nad 120 °C dochádza k ich rozkladu. [36]

4.13 Vývoj v oblasti OLED

Od mobilných displejov až po bežné svetelné použitie, prichádza táto technológia aj do automobilového. Na OLED sa pozerá najmä ako budúcnosť interiérového osvetlenia, ale svoje využitie si najde aj v signalizácii. [40]

OLED technológia ponúka doteraz nedosiahnuteľné možnosti v signalizačnej aplikácii u automobilov. Vďaka ich plochému a ohybnému dizajnu, homogénnemu vzhľadu a príťažlivému vzhľadu vo vypnutom stave, OLED ponúka dizajnérom úplne nové možnosti. [36]

Využívaním nových látok budú OLED samy o sebe veľmi pružné, čo znamená že ich bude možné zohýbať do určitého rádiusu bez akéhokoľvek poškodenia ako je ukázané na Obr. 27. [41]



Obr. 27 Ukážka ohybnosti OLED [42]

Náhradou kovovej elektródy nejakým priesvitným materiálom sa z OLED stane takmer neviditeľná svetelná vrstva. Už v dnešnej dobe majú OLED diódy 70% priesvitnosť vo vypnutom stave. [40]

V kombinácii s dotykovým senzorom (založenom na kapacitnom odpore OLED zariadení) budú možné mnohé ďalšie aplikácie, najmä osvetlenie v interiéri vozidla. [39]

4.14 Holografické varovanie

Vývoj automobilového osvetlenia sa zameriava podstatne na zlepšovanie v súčasnosti často používaných zdrojov svetla, avšak sú vyvíjane aj nové nekonvenčné metódy. Na cestách je pomerne častým javom to, že členovia dopravy vôbec nedodržiavajú bezpečný odstup. Práve tento problém sa snaží odstrániť metóda holografického varovania.

Za zadným sklom vozidla je nainštalovaná holografická doska, osvetlená lasermi alebo diódami. Táto doska je priesvitná a teda nijako nebráni pohľadu cez zadné sklo. [43]

Veľmi dôležitou vlastnosťou hologramu je nemožnosť ho normálne vidieť a je teda viditeľný iba v takzvanom „kužely viditeľnosti“, takže je možné nastaviť vzdialenosť zobrazenia nasledujúcemu vozidlu podľa podmienok jazdy a to teda konkrétne rýchlosti tým, že sa nastaví uhol náklonu. Vďaka tejto vlastnosti nevidia hologram ďalší účastníci premávky, tí čo idú v iných pruhoch (ani pri malých vzdialenostiach) ale ani vozidlá, ktoré sú v bezpečnej vzdialenosti. [43]

Vďaka metóde holografického varovania, môže byť podstatne znížený počet kolízií z dôvodu nedodržovania bezpečnej vzdialenosti, ktorý tvorí zhruba tretinu zo všetkých dopravných nehôd. [43]

5 Meranie zmeny intenzity osvetlenia svetlometu vplyvom teploty okolia

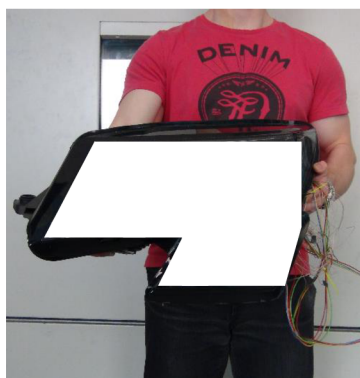
Pre meranie zmeny intenzity osvetlenia, bol použitý svetlomet využívajúci ako zdroj svetla LED čip a meranie prebiehalo v priestoroch LPTP.

Pre účel merania bol následne zostavený merací obvod, ktorého úlohou bolo preniesť namerané hodnoty do digitálnej podoby pre možnosť ďalšieho spracovania na počítači.

Meranie prebiehalo na časti svetlometu, ktorý zastával funkciu osvetlenia do hmly.

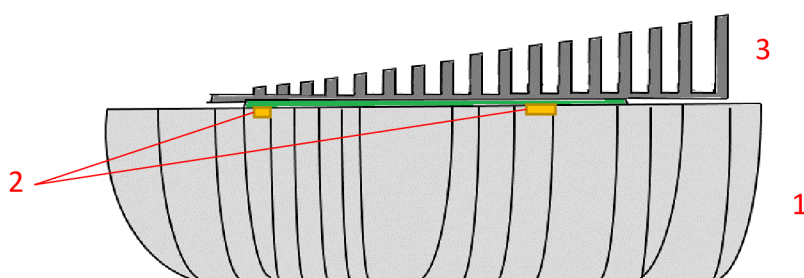
5.1 Ciele merania

Úlohou merania bolo zistiť závislosť zmeny intenzity osvetlenia použitého LED čipu, ktoré vznikali vplyvom „LED derating-u“, teda znižovania výkonu LED, teploty v kontrolných miestach a zmenu prúdu na LED čipe v závislosti na zmene teploty okolia, ktorá bola dosiahnutá vďaka použitiu termostatickej komory. Boli vykonané merania vo dvoch teplotných intervaloch, v prvom rozsahu (25 až 105) °C a v druhom (35 až 95) °C, s krokom zmeny teploty 20 °C. Pre každú teplotu bol nastavený konštantný čas, na homogenizáciu teplotného poľa a stabilizáciu teploty na LED čipe a v kontrolných bodoch, a to 90 minút. Na Obr. 28 je porovnanie veľkostí svetlometu s veľkosťou človeka



Obr. 28 Pohľad na veľkosť svetlometu

Na Obr. 29 je schéma paraboly odrážajúcej svetlo z LED (1), umiestnenie LED (2) a pasívny chladič LED (3).



Obr. 29 Parabola s chladičom LED čipov vľavo, držiak paraboly vpravo

Na Obr. 30 je umiestnený meraný svetlomet v termostatickej komore pripravený na meranie.



Obr. 30 Umiestnený svetlomet v termostatickej komore aj s nainštalovaným chladením luxmetru

Vzhľadom na časovú náročnosť experimentu, bol experiment v rozsahu teplôt (25 až 105) °C uskutočnený na dve časti, každá v jeden deň, pričom posledná teplota v prvý deň bola totožná s prvou teplotou v druhý deň pre zachovanie spojitosti. Každý experiment bol opäť vzhľadom na časovú náročnosť vykonaný štyrikrát.

5.2 Zostavenie meracieho obvodu

Pre ciele tohoto merania bol v LPTP zostavený špeciálny merací obvod pozostávajúci z troch rôznych meraní.

Prvé dve merania boli uskutočnené za pomoci meracej techniky a softvéru od spoločnosti National Instruments (ďalej NI). Táto meracia technika má výhodu v tom, že sa jedná o modulárny systém, u ktorého sa dá jednoducho a presne pre konkrétnu potrebu zostaviť vhodný merací obvod. Jedná sa o meranie teploty, pre ktoré boli použité termočlánky typu K a odporový teplomer PT100 a meranie elektrického napätia, ktoré bolo následne použité pre výpočet elektrického prúdu prechádzajúcim meraným LED čipom a aj napätie na LED čipe.

Tretie meranie, ktoré prebehlo súčasne s predchádzimi dvomi, bolo meranie intenzity osvetlenia LED čipu, ktoré bolo dosiahnuté za pomoci zariadenia RadioLux 111 od spoločnosti PRC Krochmann, ktorého výsledky boli zaznamenávané pomocou iného špeciálneho softvéru od tejto spoločnosti paralelne s ostatným meraním.

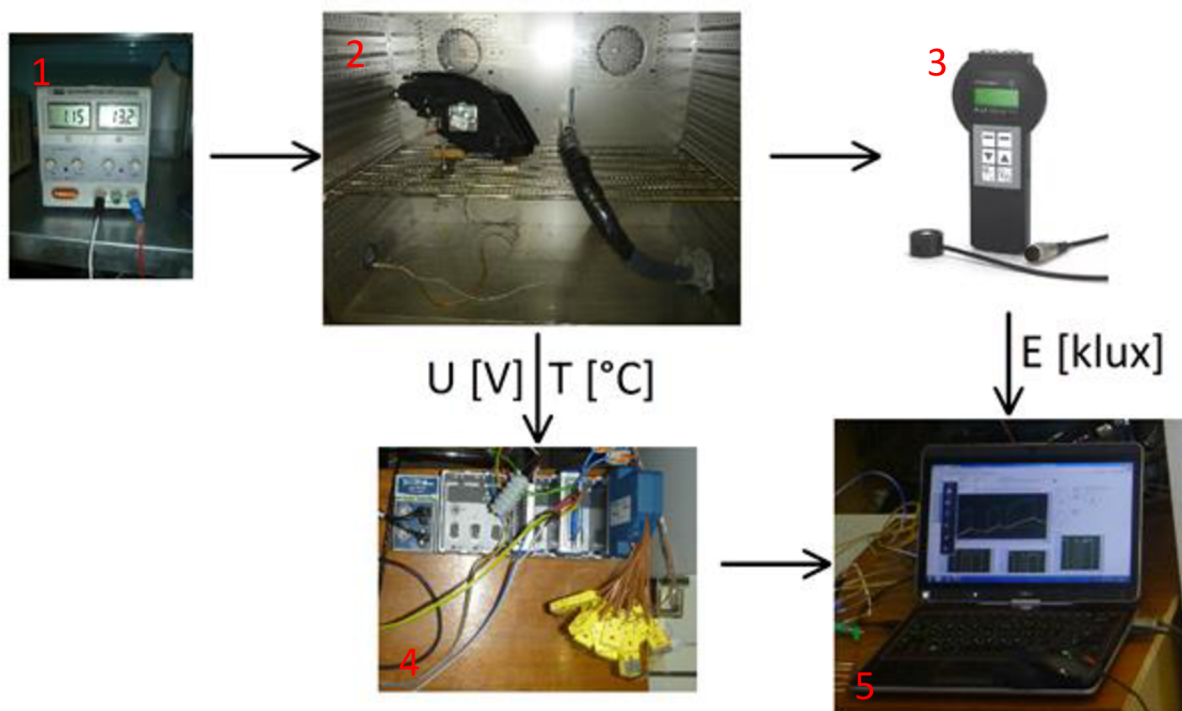
Pre meranie bol použitý modulárny systém od spoločnosti NI pozostávajúci z týchto častí:

NI cDAQ-9178 – šasi umožňujúce zapojenie ôsmich modulov

NI 9214-TB – 16 kanálový 24-bitový termočlánkový modul

NI 9217 – 4 kanálový 24-bitový modul pre meranie teplôt pomocou odporového teplomeru

NI 9207 – modul pre merania napäťových a prúdových analogových vstupov (± 10 V/ ± 20 mA)



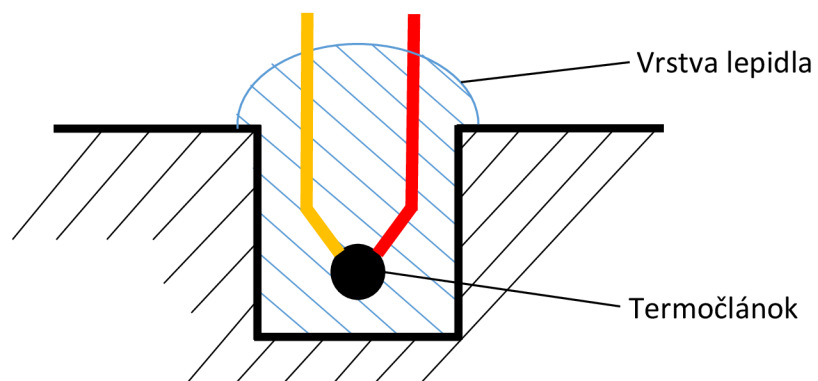
Obr. 31 Schéma celého meracieho

Na Obr. 31 je zobrazená schéma meracieho obvodu obvodu: (1. laboratorný zdroj, 2. termostatická komora s meraným svetlometom a chladičom luxmetru, 3. luxmeter RadioLux 111, 4. moduly pre meranie napätia a teploty, 5. notebook s ovládacím a meracím programom, vytvorenom v prostredí LabVIEW

Meranie teploty

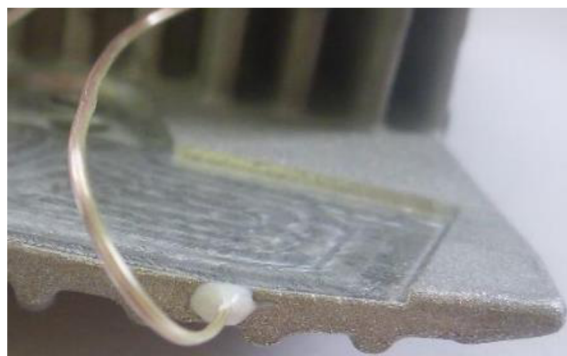
Boli zaznamenávané teploty v ôsmich kontrolných miestach a teplota okolia, teda teplota v termostatickej komore. Na kontrolných miestach boli použité termočlánky typu K a pre meranie teploty okolia bol použitý odporový teplomer typu PT100.

Pre umiestnenie termočlánkov bola vždy vyvrtaná diera o priemere 1 mm do hĺbky tiež 1 mm, do ktorej bol umiestnený termočlánok, ktorý bol následne zaliatý lepidlom ako je ukázané na Obr. 32. Boli použité dva typy lepidla a to lepidlo na normálne povrchy a lepidlo transparentné na parabolu svetlometu a sklo svetlometu.



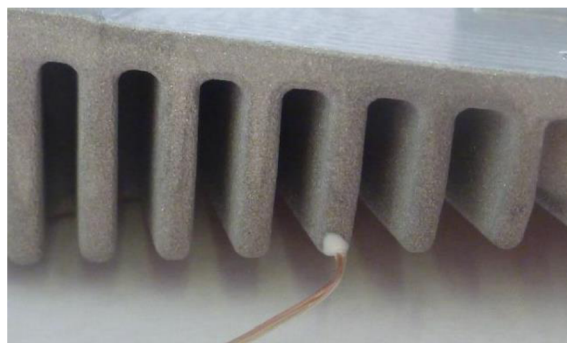
Obr. 32 Schéma uloženia termočlánku

Na Obr. 33 je viditeľné uloženie termočlánku T1 na kraji chladiča LED.



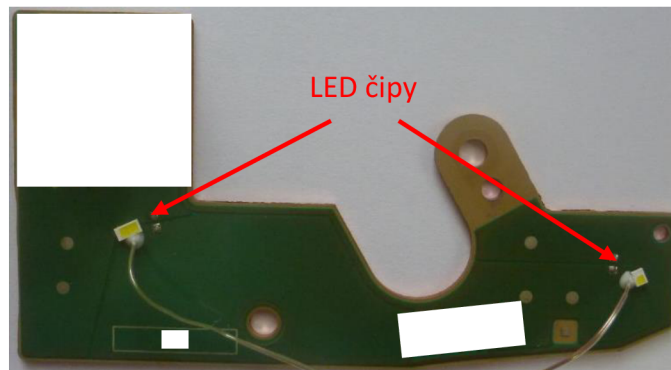
Obr. 33 Umiestnenie termočlánku T1

Na Obr. 34 je viditeľné uloženie termočlánku T2 na jednom z rebier chladiča LED.



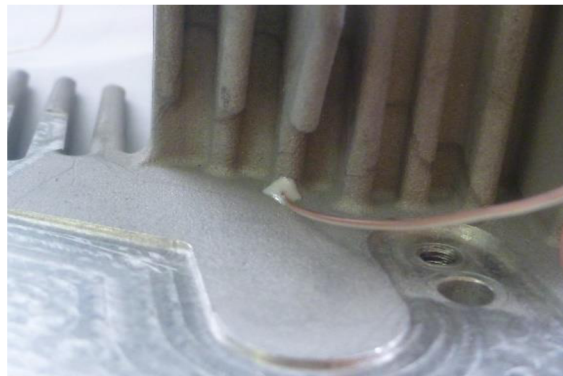
Obr. 34 Umiestnenie termočlánku T2

Na Obr. 35 sú umiestnené termočlánky T3 a T4 v bezprostrednej blízkosti LED čipov.



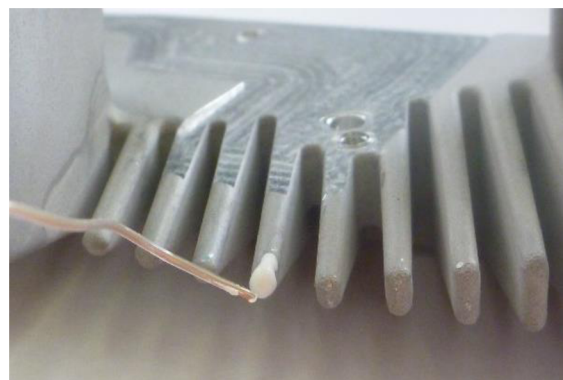
Obr. 35 Umiestnenie termočlánkov T3 (vľavo) a T4 (vpravo)

Na Obr. 36 je viditeľné uloženie termočlánku T5 na začiatku jedného z rebier chladiča LED.



Obr. 36 Umiestnenie termočlánku T5

Na Obr. 37 je viditeľné uloženie termočlánku T6 na jednom z rebier chladiča LED.



Obr. 37 Umiestnenie termočlánku T6

Na Obr. 38 je viditeľné uloženie termočlánku T7 na parabole svetlometu.



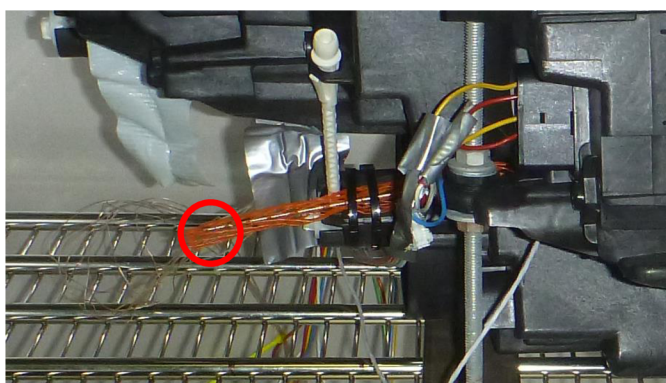
Obr. 38 Umiestnenie termočlánku T7

Na Obr. 39 je viditeľné uloženie termočlánku T2 na skle svetlometu.



Obr. 39 Umiestnenie termočlánku T2

Na Obr. 40 je viditeľné uloženie odporového teplomeru, pre meranie teploty okolia.



Obr. 40 Umiestnenie odporového teplomeru pre meranie teplôt okolia

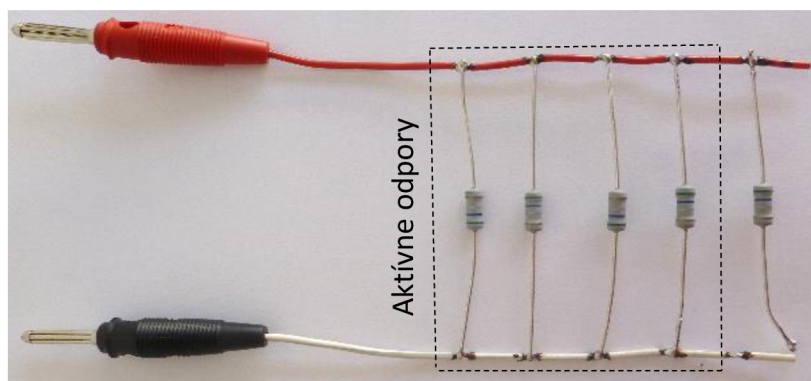
Meranie napätia a prúdu

Podľa zadania bolo potrebné zistiť zmenu prúdu na LED čipe v závislosti na zmene teploty, ktorá nastáva z dôvodu ochrany LED čipu pred prehrievaním a následným skrátením životnosti. To bolo uskutočnené meraním napätia, ktoré bolo merané pomocou modulu NI 9207. Tento modul má možnosť merania prúdu iba do rozsahu 20 mA, ale očakávaná hodnota

prekračovala 1 A. Preto bol zvolený prístup merania úbytku napätia na presne definovanom odpore a následný prepočet na prúd. Presný a známy odpor bol dosiahnutý zapojením štyroch paralelne zapojených odporov (RMO 0R56 0411 2W 5%) do obvodu. Vďaka známym odporom a napätiu bolo možné pomocou Ohmovho zákona vypočítať prúd na LED čipe.

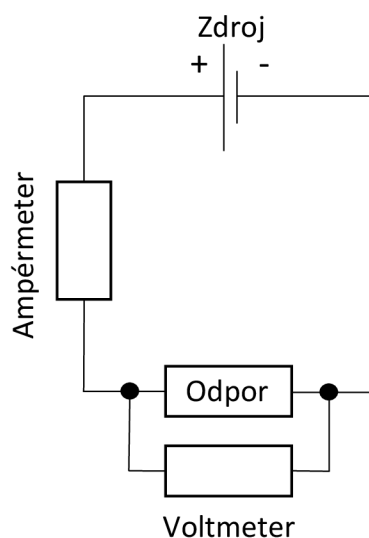
$$I = \frac{U}{R} \quad (8)$$

Kde U je napätie a R je odpor. Použité odpory sú zobrazené na Obr. 41.



Obr. 41 Presný odpor pre výpočet el. prúdu prechádzajúci cez LED čip

Bolo vykonaných deväť meraní na základe ktorých bolo zistené, že priemerný odpor je 0,143 Ω . Meranie odporov bolo prevedené podľa schémy na Obr. 42. Výsledky sú zapísané v Tab. 4

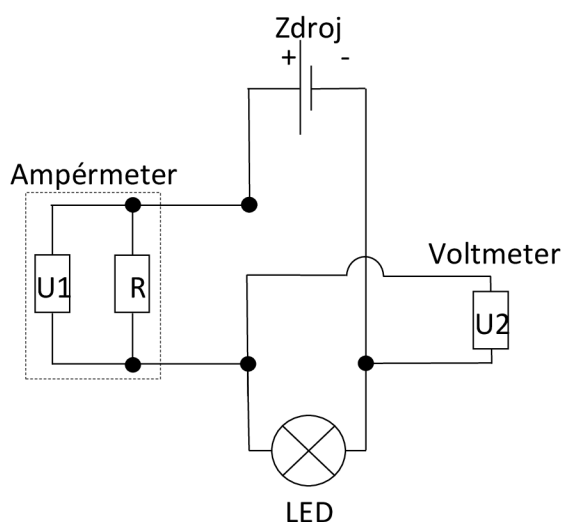


Obr. 42 Zapojenie odporov pre ich zmeranie

Tab. 4 Výsledky merania odporov

Prúd [mA]	Napätie [mV]	Odpor [Ω]
397,8	57,00	0,14329
397,2	56,90	0,14325
212,8	30,50	0,14333
213,0	30,54	0,14338
394,2	56,59	0,14356
201,7	28,96	0,14358
349,4	50,16	0,14356
388,8	55,84	0,14362
303,0	43,52	0,14363

Na Obr. 43 je možné vidieť obvod vytvorený za účelom merania elektrického napätia a prúdu.



Obr. 43 Schéma obvodu LED čipu zapojeného k meracím prístrojom

Meranie intenzity osvetlenia

Pre meranie intenzity osvetlenia bol využitý luxmeter od spoločnosti PRC Krochmann, konkrétne sa jednalo o typ RadioLux 111. Tento Luxmeter spadá podľa DIN 5032-7 do triedy A, má rozsah (0,01 až 360) klx a má funkciu merania teploty okolia senzoru. Použitý luxmeter je doporučené používať iba v teplotnom pásme (od 0 do 50) °C, pretože vplyvom zmeny teploty okolia sa jeho meracie vlastnosti menia. Z tohoto dôvodu je v luxmetri naprogramovaná funkcia teplotnej kompenzácie, a podľa nameranej teploty okolia si presne prepočíta nameranú intenzitu osvetlenia. Za účelom dodržania tohoto teplotného rozsahu bol v LPTP vyvinutý chladič použitého luxmetru. Luxmeter bol umiestnený v chladiči, vo vzdialenosti 0,2 m od svetlometu hmlovej funkcie ako je zobrazené na Obr. 44.



Obr. 44 Umiestnenie luxmetru od svetlometu vo vzdialenosti 0,2 m

Výpočet chladiča pred jeho výrobou nebol prevedený a chladič je teda zámerne predimenzovaný. V neskoršej časti sa bude práca zaoberať simuláciou chladiča a bude porovnávať výsledky s experimentálne nameranými hodnotami.

Po nastavení vzdialenosti bolo doladením vzájomnej polohy svetlometu a luxmetru dosiahnutá maximálna intenzita osvetlenia na aktívnu plochu luxmetru, ktorá činila 65,36 klux. Na Obr. 45 je ukázaná aktívna plocha luxmetru.

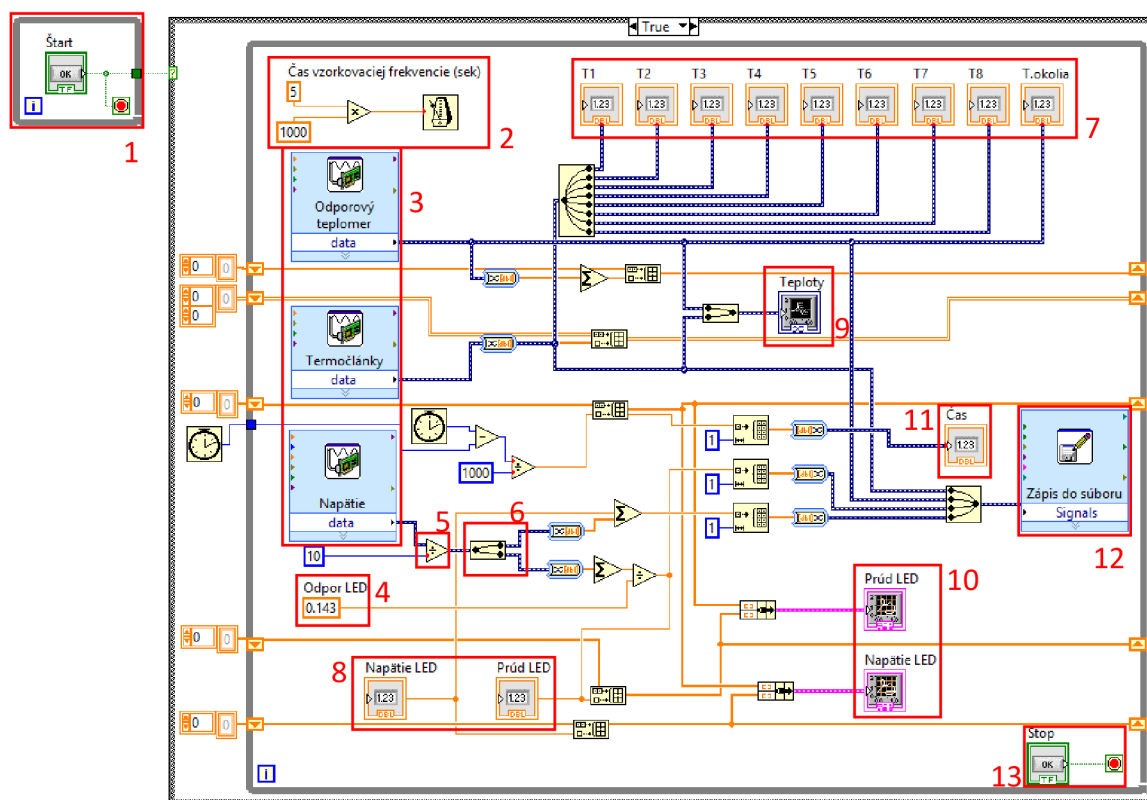


Obr. 45 Aktívna plocha luxmetru Radiolux 111

Výsledky merania boli zaznamenávané pomocou špeciálneho softvéru od spoločnosti PRC Krochmann do Microsoft Excelu.

5.3 Zostavenie meracieho programu

Pre spracovanie a ďalšie vyhodnocovanie nameraných veličín bol v prostredí LabVIEW vytvorený program, ktorý práve tieto funkcie vykonával. Celý program v grafickej podobe je zobrazený na Obr. 46.



Obr. 46 Kompletný program, vytvorený v prostredí LabVIEW

V bloku 1 je tlačítko Štart slúžiace na spustenie merania, nachádza sa pod slučkou „while“, teda program sa spustí po kliknutí na tlačítko.

Celý zvyšok programu sa nachádza pod slučkou „case“, teda funguje iba pokiaľ bolo stlačené tlačítko Štart.

Zvyšok programu je taktiež ďalej pod slučkou „while“, ktorá je splnená pri kliknutí na tlačítko Stop, kedy sa program zastaví.

V bloku 2 je časť programu, ktorá udáva krok opakovania meracieho cyklu, ktorý bol pre všetky merania nastavený na 5 sekúnd. Nastavená hodnota je vynásobená tisícom z dôvodu, že LabView pracuje s milisekundami a takto je to užívateľsky jednoduchšie na zmenu.

V bloku 3 sú umiestnené prvky, slúžiace na komunikáciu s komponentami, ktoré vykonávajú merania, konkrétne odporový teplomer, termočlánky a merač napätia.

V bloku 4 je umiestnená hodnota použitého odporu pre výpočet elektrického prúdu.

V bloku 5 je člen pre delenie nameraných hodnôt napätia desiatimi, z dôvodu vyhladenia výsledkov merania

V bloku 6 je rozdelenie meraného napätia na dve vetvy. Vrchná vetva ide priamo na zápis do súboru, zatiaľ čo spodná vetva je podelená blokom 4, teda nameraným odporom, kvôli prepočtu na prúd a následne taktiež zapísaná.

V bloku 7 je možné vidieť jednotlivé členy všetkých termočlánkov a odporového teplomeru, ktoré slúžia na zobrazovanie aktuálnych meraných hodnôt teploty.

V bloku 8 sú umiestnené prvky slúžiacie na zobrazovanie súčasných hodnôt napätia a prúdu.

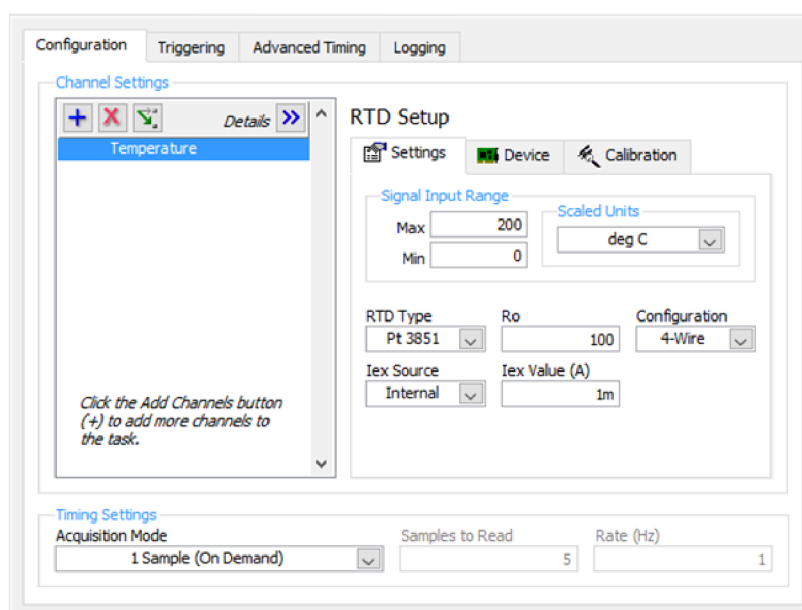
V bloku 9 je prvok pre zobrazovanie grafu nameraných teplôt.

V bloku 10 sú prvky, ktoré slúžia pre grafické zobrazovanie elektrického napätia a prúdu.

V bloku 11 je prvok pre zobrazovanie ubehnutého času.

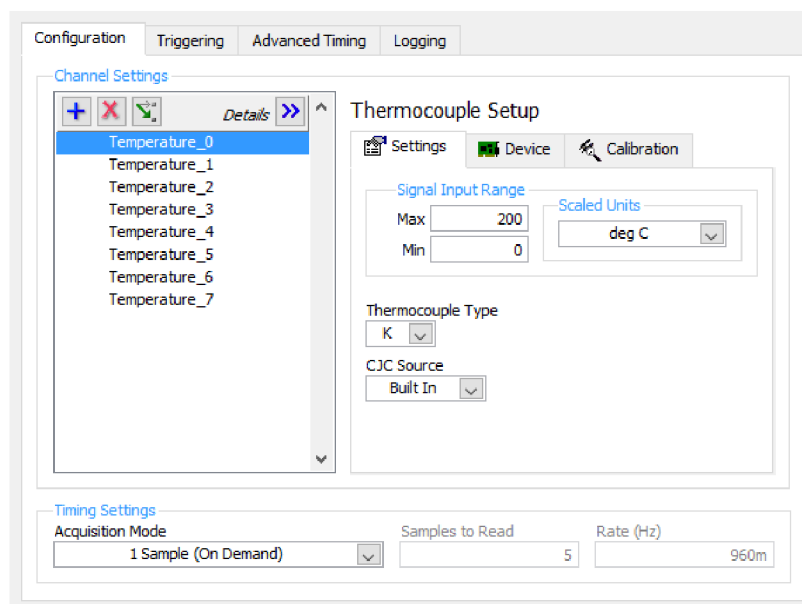
V bloku 12 je prvok slúžiaci pre zápis nameraných údajov do súboru. Namerané dáta sa ukladajú do súboru vo formáte *.lvm, ktorý bol používaný ako textový súbor a údaje z neho sa ďalej preniesli do programu Microsoft Excel, kde sa ďalej spracovávali.

V bloku 13 je prvok reprezentujúci tlačítko Stop, po ktorého stačení sa daný program ukončí.



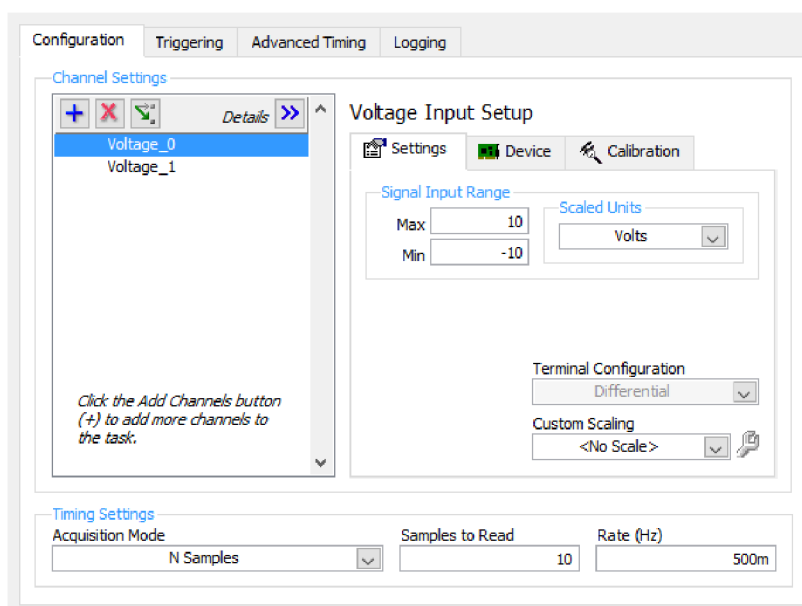
Obr. 47 Nastavenie odporového teplomeru

Podľa Obr. 47, na ktorom je zobrazené nastavenie odporového teplomeru je možné vidieť nastavený typ Pt 3851, podľa [44] s nastaveným odporom 100 Ω . Ďalej je vidieť nastavenie teplotného intervalu (0 – 200) a zvolené jednotky $^{\circ}\text{C}$. Taktiež je nastavené aby si program sám bral jednu nameranú hodnotu pri každom opakovaní cyklu.



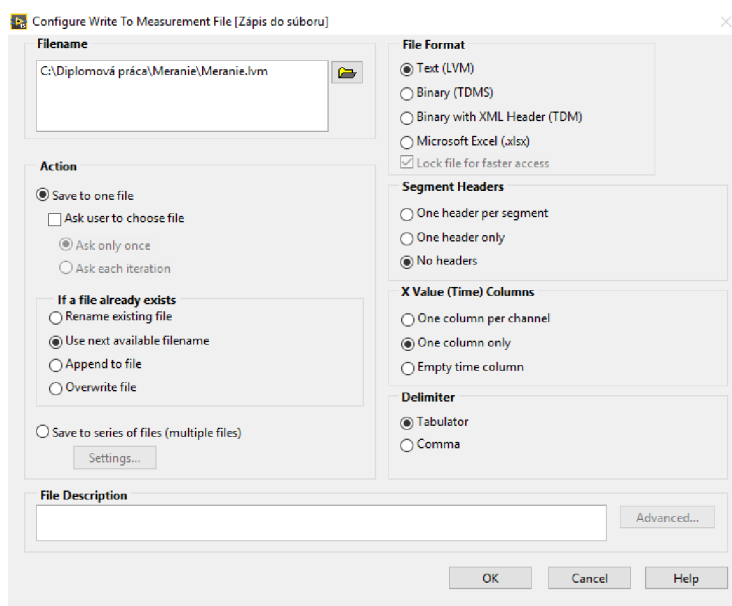
Obr. 48 Nastavenie termočlánkov

Na Obr. 48, zobrazujúcom nastavenia termočlánkov je možné vidieť pripojených osem termočlánkov typu K, nastavenie meraného teplotného intervalu (0 - 200) a jednotky °C. . Taktiež je nastavené aby si program sám bral jednu nameranú hodnotu pri každom opakovaní cyklu.



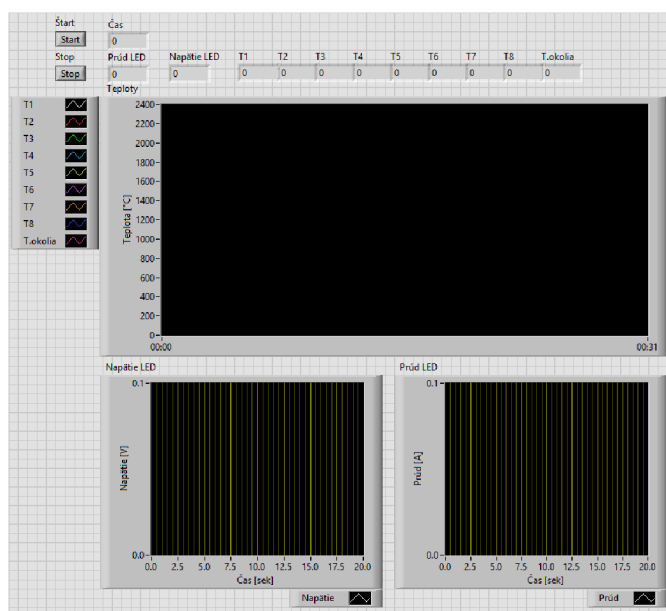
Obr. 49 Nastavenie merania napätia

Na Obr. 49, zobrazujúcom nastavenia merania napätia je možné vidieť dva výstupy. Jeden slúži na meranie napätia a druhý, ktorý po následnom prepočte cez nameraný odpor slúži na meranie prúdu. Ďalej je možné vidieť meraný interval (-10 až +10) a jednotky Volty. Vzorkovanie je nastavené na 10 vzoriek počas jedného opakovania cyklu s frekvenciou 500 milisekúnd. Týchto 10 hodnôt sa následne vydelením desiatimi pre vyhladenie výsledkov merania.



Obr. 50 Nastavenie zápisu nameraných dát

Obr. 50 ukazuje nastavenie zápisu nameraných dát. Je z neho vidieť, že dáta boli uložené vo formáte *.lvm a cestu zápisu tohoto súboru, ďalej je vidieť nastavenie, zápisu ubehnutého času do jedného stĺpca a oddelenie jednotlivých meraných veličín medzerou medzi stĺpcami. Dáta boli zapísané v stĺpcoch v tomto poradí: ubehnutý čas, teploty na jednotlivých termočlánkoch, teplota okolia, prúd na LED čípe a napätie na LED čípe.



Obr. 51 Prostredie pre ovládanie vytvoreného programu, ktoré zároveň zobrazuje grafy a namerané hodnoty

Na Obr. 51 je možné vidieť pracovné prostredie vytvoreného programu. Zvrchu zľava je možné vidieť tieto prvky: tlačítka pre spustenie/ukončenie merania, uplynutý čas, aktuálne hodnoty

prúdu a napätia, meraných teplôt, graf teplôt a grafy zobrazujúce časovú zmenu prúdu a napätia.

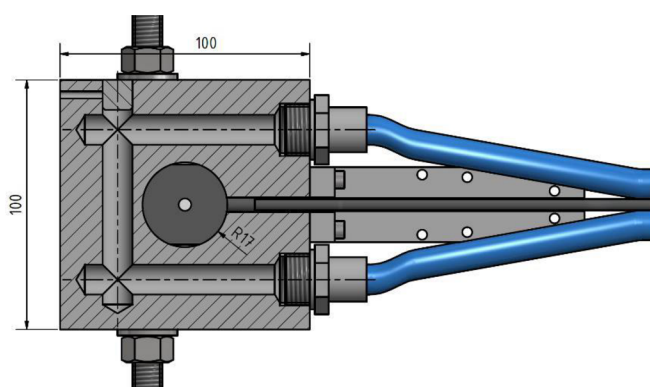
5.4 Simulácia chladenia luxmetru

V LPTP bol skonštruovaný chladič luxmetru PRC Krochmann 111 špeciálne pre meranie intenzity osvetlenia priamo vo vnútri termostatickej komory. Jeho použitie bolo nutnosťou z dôvodu toho, že teplota okolia vo vnútri termostatickej komory prekročovala doporučený teplotný interval použitia luxmetru stanovený výrobcom, ktorý je 0 °C až 50 °C. Na Obr. 52 je vľavo zobrazený model chladiča s uloženým čidlom luxmetru, zachytenom na rošte a vpravo je skutočný chladič umiestnený v termostatickej komore.



Obr. 52 3D model chladiča (vľavo) a skutočné zariadenie umiestnené v termostatickej komore (vpravo)

Základom chladiča je hliníkové telo, do ktorého je vsadený senzor. Telom chladiča ďalej prúdi voda ako chladiaca kvapalina, vyvrtanými otvormi podľa nasledujúceho obrázku. Kanál v chladiči vznikol vyvrtaním troch dier o priemere 12 mm, vertikálna diera bola následne upchatá vlisovaním. Zariadenie bolo pripevnené k roštu termostatickej komory pomocou nastaviteľného stojanu. Na Obr. 53 je prierez chladičom s ukázanými základnými rozmermi.



Obr. 53 Prierez chladičom s viditeľným kanálom pre prúdenia vody

Pre účel tejto práce bol v prostredí ANSYS Workbench vypracovaný model tohoto chladiča, na ktorom boli nasimulované prenosy tepla medzi okolím chladiča a priestorom pre uloženie senzoru luxmetru. Tieto hodnoty boli neskôr porovnané s nameranými hodnotami pomocou termočlánku uloženého na senzore a s teplotou nameranou senzorom. Meraný bol iba jeden

teplotný interval (od 35 °C do 95 °C) z dôvodu nepresnosti nastavenia prietoku vody, z toho istého dôvodu je simulácia porovnávaná iba s jedným experimentom.

Hodnoty potrebné pre výpočet simulácie boli namerané a následne vypočítané podľa [2].

Prietok vody bol nameraný váhovou metódou, na základe desiatich meraní času naplnenia odmerky o objeme 1 dm³, tieto časy boli následne zpriemerované. Priemerný čas vyšiel 272 sekúnd. Z tohto času bol vypočítaný čas potrebný na naplnenie 1 m³.

$$t = 272 \text{ s} \cdot 1000 = 272000 \text{ s} \quad (9)$$

Následne bol vypočítaný prietok Q :

$$Q = \frac{1 \text{ m}^3}{272000 \text{ s}} = 3,68 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (10)$$

Z ktorého bola ďalej vypočítaná rýchlosť prúdenia vody v :

$$v = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} = 0,033 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (11)$$

Následne bola odmeraná vstupná teplota vody, ktorej hodnota bola 14,2 °C.

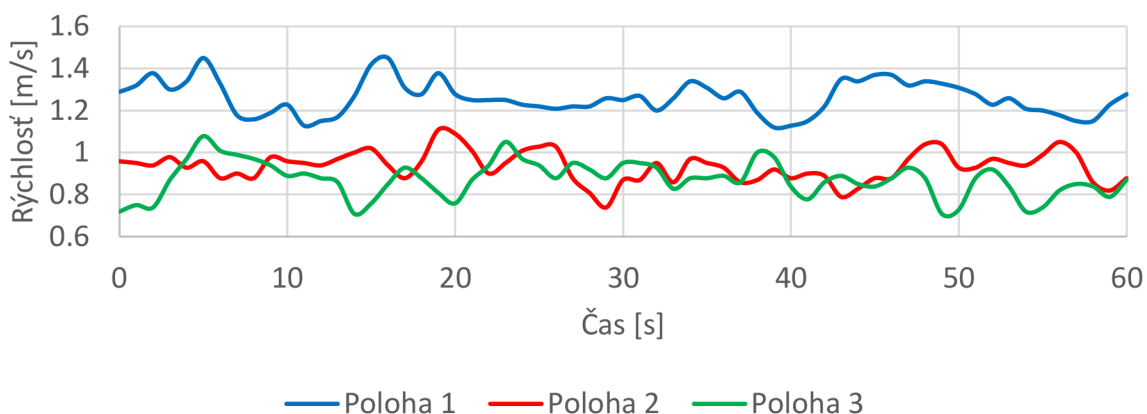
Rýchlosť prúdenia vzduchu bola odmeraná pomocou anemometru, ktorý bol umiestnený v šiestich rôznych polohách (dve pre každú meranú stenu chladiča), a následne bola vždy vybratá poloha s väčšou rýchlosťou prúdenia.

Na Obr. 54 sú zobrazené jednotlivé polohy, v ktorých bolo anemometrom namerané a ďalej pre výpočet využité prúdenie vzduchu. V polohe 1 je merané prúdenie pri prednej stene, vo vertikálnom smere, v polohe 2 pri zadnej stene chladiča, opäť vo vertikálnom smere a v polohe 3 je merané prúdenie nad chladičom, v horizontálnom smere.



Obr. 54 Polohy anemometru pre meranie rýchlosti prúdenia na troch stenách (zľava 1,2 a 3)

Na Obr. 55 je zobrazený graf s nameranými rýchlosťami a v Tab. 5 sú zobrazené namerané rýchlosti a vypočítané ich priemerné hodnoty.



Obr. 55 Namerané rýchlosti prúdenia vzduchu v jednotlivých polohách v termostatickej komore

Tab. 5 Priemerné rýchlosti prúdenia vzduchu v termostatickej komore

Poloha	Priemerná rýchlosť [m/s]
1	1,26
2	0,94
3	0,88

Reynoldsovo číslo bolo vypočítané podľa [2]:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} \quad (12)$$

Kde L je charakteristický rozmer, teda šírka steny, a ν je kinematická viskozita vzduchu.

Pre prúdenie v potrubí bol ako charakteristický rozmer vzaný vnútorný priemer, ktorý je 12 mm a ako charakteristický rozmer pre prúdenie vzduchu okolo chladiča bola vzatá šírka steny 0,1 m.

V Tab. 6 sú vypočítané hodnoty reynoldsových čísel. Hodnoty kinematických viskozít pre jednotlivé teploty sú z [45].

Tab. 6 Reynoldsové čísla pre jednotlivé teploty vzduchu a polohy

Látka	Re. číslo (Poloha 1)	Re. číslo (Poloha 2)	Re. číslo (Poloha 3)
Vzduch (35 °C)	7622	5671	5276
Vzduch (55 °C)	6824	5078	4723
Vzduch (75 °C)	6154	4579	4260
Vzduch (95 °C)	5585	4156	3866

Všetky tieto hodnoty podľa [2] odpovedajú laminárnemu prúdeniu.

Reynoldsovo číslo pre vodu z predchádzajúcej rovnice je 339 z [45], čo odpovedá laminárnemu prúdeniu.

Prandtlóvé čísla pre vodu a vzduch boli vzaté z [45] a sú v Tab. 7.

Tab. 7 Prandtlóvé čísla pre jednotlivé teploty vody a vzduchu

Látka	Prandtlóvo číslo
Voda (14,2°C)	7,7575
Vzduch (35 °C)	0,71289
Vzduch (55 °C)	0,70982
Vzduch (75 °C)	0,70729
Vzduch (95 °C)	0,70527

Následne boli z Reynoldsových a Prandtlóvých čísel vypočítané Nusseltové čísla podľa [2].

Pre vodu (laminárne prúdenie v potrubí s kruhovým prierezom):

$$Nu = 3,66 + \frac{0,0668 \cdot \frac{D}{L_{ptr}} \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \cdot \left(\frac{D}{L_{ptr}} \cdot Re \cdot Pr\right)^{\frac{2}{3}}} \quad (13)$$

Kde L_{ptr} je dĺžka potrubia, ktoré bolo zvolené 90 mm, podľa dĺžky potrubia v jednom smere. Táto voľba bude neskôr overená výsledkami zo simulácie. Výpočet Nusseltovho čísla pre vodu:

$$Nu = 3,66 + \frac{0,0668 \cdot \frac{90}{12} \cdot 339 \cdot 7,76}{1 + 0,04 \cdot \left(\frac{90}{12} \cdot 339 \cdot 7,76\right)^{\frac{2}{3}}} \quad (14)$$

Nusseltovo číslo pre vodu je teda 11,5.

Pre vzduch (laminárne prúdenie okolo dosky):

$$Nu = 0,664 \cdot Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (15)$$

Nusseltovo číslo pre vzduch je v Tab. 8

Tab. 8 Nusseltové čísla pre jednotlivé teploty vzduchu a polohy

Látka	Nu. číslo (Poloha 1)	Nu. číslo (Poloha 2)	Nu. číslo (Poloha 3)
Vzduch (35 °C)	51,8	44,7	43,1
Vzduch (55 °C)	48,9	42,2	40,7
Vzduch (75 °C)	46,4	40,0	38,6
Vzduch (95 °C)	44,2	38,1	36,8

Vodivosť k pre vodu a vzduch bola pre všetky stavy určená z [45] a je v Tab. 9.

Tab. 9 Tepelná vodivosť pre jednotlivé teploty vody a vzduchu

Látka	Vodivost $k \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
Voda (14,2 °C)	0,595
Vzduch (35 °C)	0,027
Vzduch (55 °C)	0,028
Vzduch (75 °C)	0,030
Vzduch (95 °C)	0,031

Na záver boli vypočítané súčinitele prestupu tepla h podľa [2]:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (16)$$

S dosadením

$$h = \frac{11,5 \cdot 0,595}{0,012} \quad (17)$$

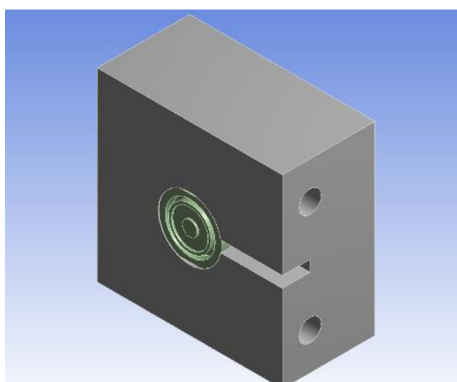
Pre vodu vyšiel súčiniteľ prestupu tepla h 570,61 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Jednotlivé súčinitele prestupu tepla pre vzduch sú v Tab. 10:

Tab. 10 Súčinitele prestupu tepla pre jednotlivé teploty vzduchu a polohy

Látka	h (Poloha 1) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	h (Poloha 2) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	h (Poloha 3) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
Vzduch (35 °C)	13,82	11,93	11,51
Vzduch (55 °C)	13,78	11,89	11,46
Vzduch (75 °C)	13,72	11,84	11,42
Vzduch (95 °C)	13,67	11,79	11,37

Tieto súčinitele boli následne použité pre simuláciu chladiča v prostredí ANSYS Workbench, ktorého model je na Obr. 56.



Obr. 56 Model chladiča v prostredí ANSYS Workbench

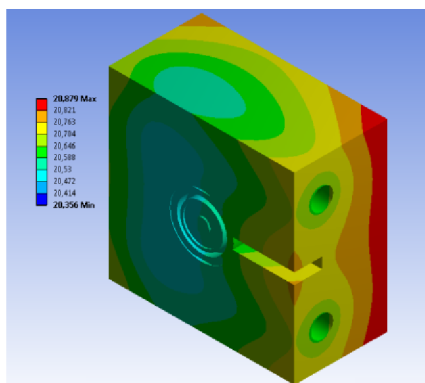
Jednalo sa o typ simulácie „Transient thermal“. Model pozostával z dvoch telies, a to tela chladiča a senzoru luxmetru. Z dôvodu neznámeho prechodového odporu medzi týmito telesami, bol zvolený odpor doporučený programom. Okrajovými podmienkami pre simuláciu boli: počiatočná teplota okolia 35°C, nárast teploty podľa merania po určitých časových krokoch a vypočítané súčinitele prestupu tepla, ktoré sa menili rovnako ako teplota okolia. Porovnanie nameraných hodnôt s hodnotami simulácie je v Tab. 11, kde sú všetky hodnoty uvedené v °C.

Tab. 11 Porovnanie nameraných teplôt s teplotami zo simulácie

Teplota okolia	Nameraná teplota na luxmetri	Teplota získaná simuláciou
35	16,1	15,7
55	17,5	17,3
75	19,1	19,0
95	21,0	20,9

Z týchto výsledkov je vidieť zhoda medzi meraním a simuláciou, čo nám potvrdzuje správnosť voľby L_{ptr} a teda 0,9 m. Najväčší rozdiel medzi simuláciou a meraním je pri najnižšej teplote okolia 35 °C a to 0,4 °C. Pri teplote okolia 55 °C je rozdiel 0,2 °C a pri teplotách 75 °C a 95 °C je rovnaký rozdiel 0,1 °C.

Vďaka vysokej tepelnej vodivosti chladiča ($237,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ pre hliník v programe ANSYS Workbench), bolo na celom objekte teplotné pole veľmi homogénne ako je ukázané na Obr. 57. Maximálna teplota bola 22,0 °C a minimálna teplota bola 21,4 °C.



Obr. 57 Teplotné pole na chladiči

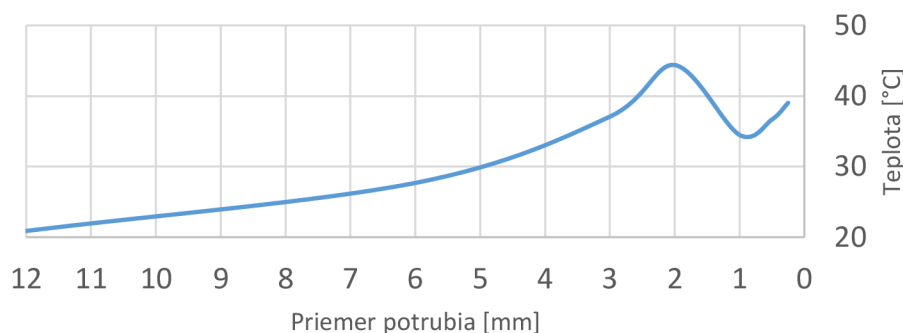
Ďalej bol v simulácii zistený minimálny priemer potrubia, tak aby pri danom prietoku bol chladič stále schopný luxmeter uchladiť pod stanovenú teplotu. Bola zvolená teplota 40 ± 1 °C, ktorá je nižšia ako doporučená maximálna teplota od výrobcu o 10 °C, z dôvodu určitej bezpečnostnej rezervy. V simulácii bola vždy zvolená teplota okolia 105 °C ako najvyššia teplota experimentu.

Bolo vykonaných niekoľko simulácií pre rôzne priemery potrubia, až pri priemere 0,25 mm bola výsledná teplota 39,1 °C.

Pre tento priemer však bolo reynoldsové číslo 16 282, čo pre prúdenie v potrubí kruhového prierezu zodpovedá turbulentnému prúdeniu, a preto bola pre výpočet Nusseltovho čísla použitá nasledujúca rovnica: [2]

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{0,4} \quad (18)$$

Na Obr. 58 je vidieť zmena teplôt zo simulácii vplyvom zmeny priemeru potrubia.



Obr. 58 Zmena teploty zo simulácie vplyvom zmeny priemeru potrubia

Z Obr. 58 je vidieť nárast teploty a následný pokles, ktorý je spôsobený zmenou typu prúdenia, z lineárneho prúdenia na prúdenie turbulentné. Tento prechod sa nachádza pri priemere 2 mm, kde bolo vypočítané reynoldsovo číslo 2035, čo je možné považovať za koniec laminárnej oblasti, keďže pri priemeri 1 mm bolo Reynoldsovo číslo 4070.

Z týchto výsledkov je možné pozorovať, že priemer potrubia 2 mm je nedostatočný avšak menšie priemery už dostatočné sú z dôvodu lepšieho prenosu tepla vďaka vzniknutej turbulencii.

5.5 Výsledky merania

Na svetlomete boli vykonané merania v dvoch rozmedziach teploty okolia, a to (od 25 do 105) °C a (od 35 do 95) °C vždy s 90 minútovým intervalom pre každú teplotu a krokom 20 °C. Pre každý interval boli vykonané štyri merania. Hodoty z oboch teplotných intervalov boli spriemerované a následne sa pracovalo iba s týmito hodnotami. Posledných tridsať hodnôt za ustálenej teploty bolo použitých k určaniu jednotlivých priemerných teplôt v kontrolných bodoch. Rovnakým spôsobom sa určila zmena elektrického prúdu, napätia a intenzity osvetlenia v závislosti na teplote okolia.

Pre oba intervaly boli vždy vytvorené štyri grafy, prvý porovnávajúci teploty v kontrolných bodoch s časom, druhý sledujúci zmenu intenzity osvetlenia LED čipu v závislosti od teploty okolia, tretí ukazujúci závislosť prúdu na LED čipe taktiež v závislosti na okolitej teplote, štvrtý sledujúci zmenu napätia na LED a piaty ukazuje zmenu príkonu.

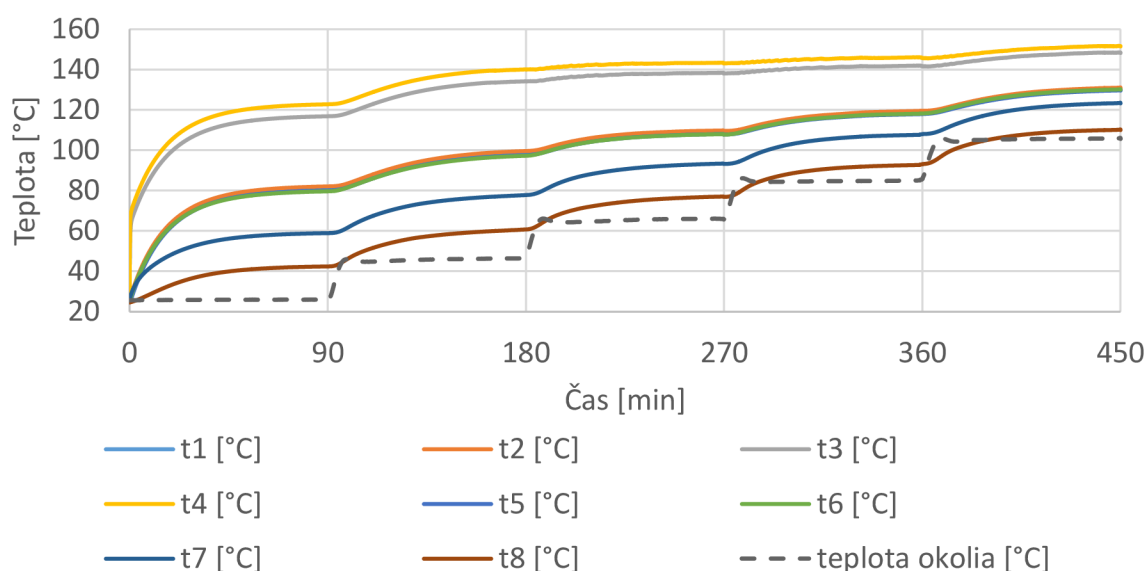
Príkon bol vypočítaný pomocou nasledujúcej rovnice:

$$P = U \cdot I \quad (19)$$

5.6 Rozmedzie 25 °C až 105 °C

Kvôli obzvláštnej časovej náročnosti tohoto merania, až 7,5 hodiny, plus rozohriatie termostatickej komory na počiatočnú teplotu a jej ustálenie, bolo toto meranie vždy ukutočnené na dvakrát a to počas dvoch dní. Prvá časť bola do teploty 85 °C a od tejto teploty aj druhá časť pokračovala pre možnú návaznosť experimentu.

Na Obr. 59 a Tab. 12 je možné sledovať vývoj teplôt v závislosti na čase a zmene teploty okolia.



Obr. 59 Závislosť teplôt v kontrolných bodoch na čase pri teplotnom intervale 25 °C až 105 °C

Tab. 12 Hodnoty ustálených teplôt v kontrolných bodoch pri teplotnom intervale 25 °C až 105 °C (všetky hodnoty sú uvádzané v °C)

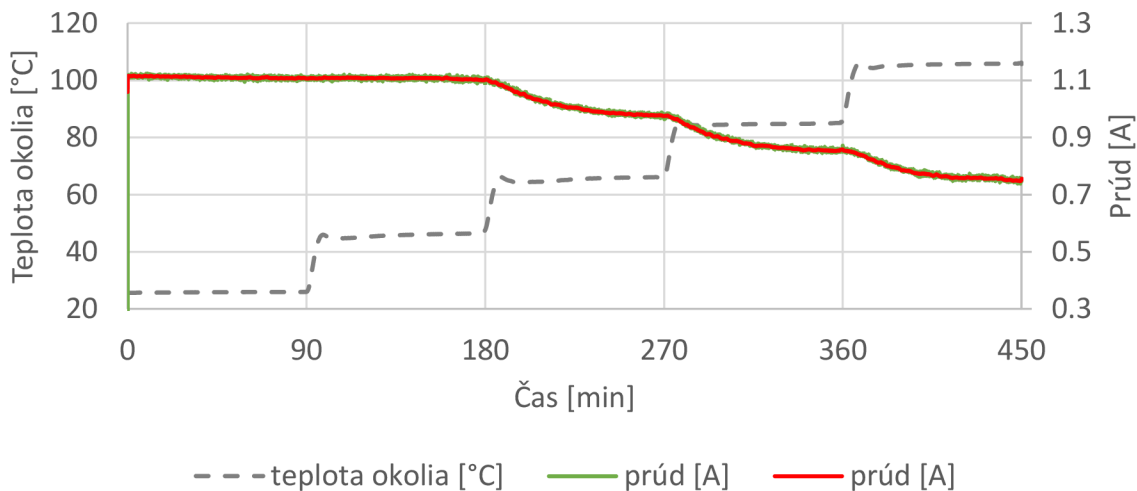
Teplota okolia	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
25	80,6	82,1	116,8	122,8	80,1	79,6	58,9	42,4
45	98,0	99,6	134,1	140,0	97,5	97,2	77,7	60,7
65	108,4	109,8	138,3	143,3	108,0	107,9	93,3	77,0
85	118,3	119,5	141,9	146,0	117,9	118,2	107,8	92,8
105	129,9	130,9	148,4	151,6	129,6	130,1	129,5	110,1

Na základe tejto tabuľky je možné pozorovať, že najvyššie teploty sú na miestach pri LED čipoch, teda na termočlánkoch T3 a T4. Naopak najnižšia teplota je vždy na skle svetlometu, teda na termočlánku T8, tento jav sa dá vysvetliť tým, že je to najvzdialenejší bod od LED čipov a zohrievanie vplyvom tepelnej radiácie je minimálne.

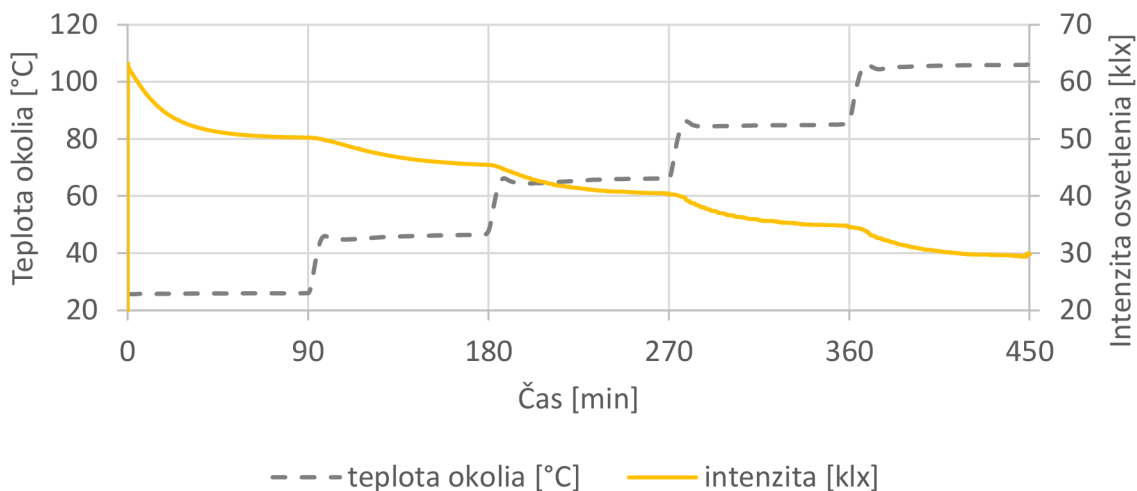
U termočlánkov T3 a T4 je percentuálny nárast teploty od počiatočnej teploty po koncovú teplotu 27,01 % resp. 23,47 %. V kontrolnom bode T8 je percentuálny nárast teploty až o 159,76 %. Ďalej je možné si všimnúť teplotné rozdiely na kontrolných bodoch na počiatku a na konci experimentu. Na počiatku experimentu bol na najteplejšom bode, na termočlánku

T4 umístěným bezprostředně vedle LED čipu, rozdíl 97,8 °C a na nejchladnějším, na skle světlometu, 17,4 °C. Na konci experimentu však byly teplotné rozdíly iba 46,6 °C, resp. 5,1 C.

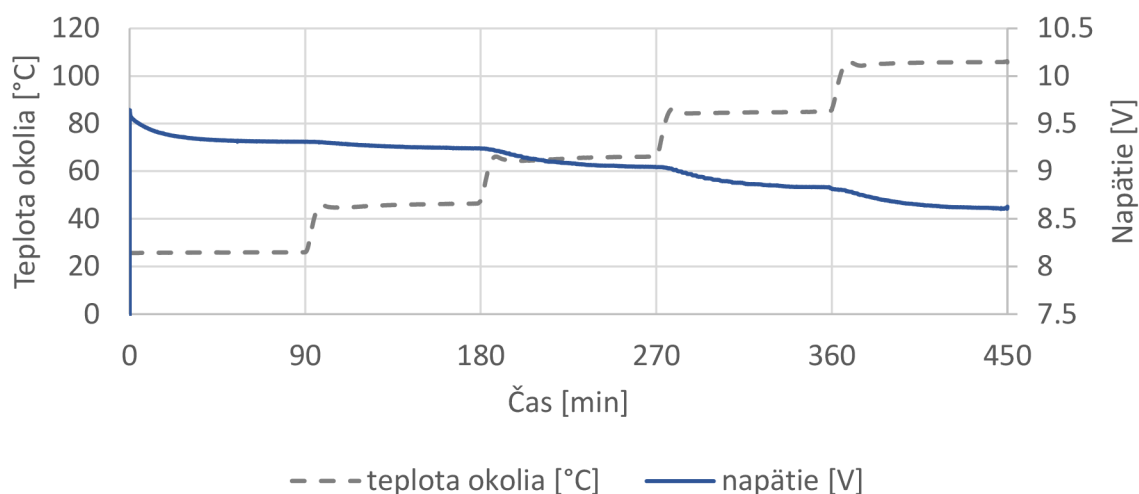
Obr. 60, Obr. 61, Obr. 62 a Obr. 63 a Tab. 13 a Tab. 14 nám popisují změnu intenzity osvětlení, proudu, napětia a příkonu na LED čipe v závislosti na čase a teplotě okolia.



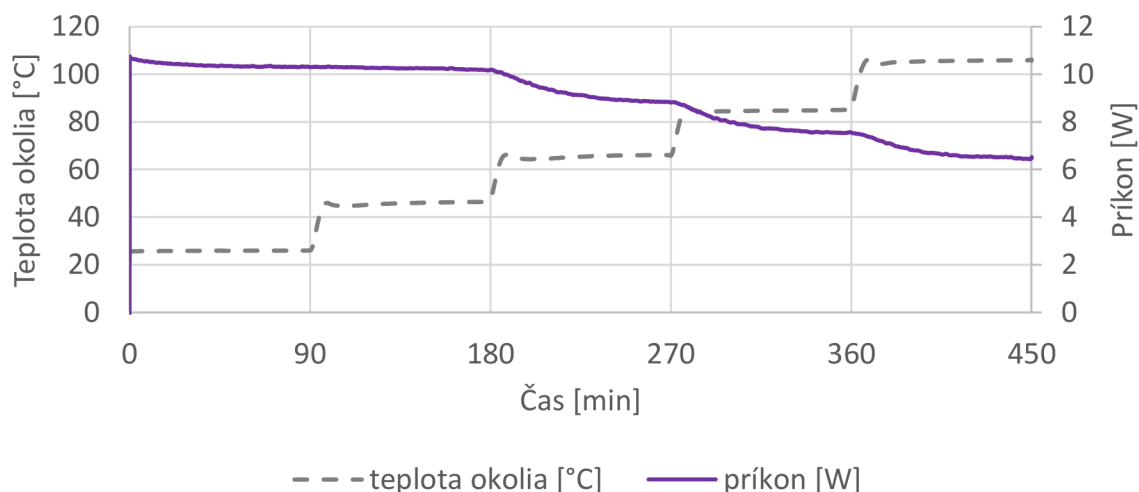
Obr. 60 Zmena prúdu v závislosti na čase a teplote okolia pri teplotnom intervale 25 °C až 105 °C (červenou je vyhladená hodnota prúdu)



Obr. 61 Zmena intenzity osvetlenia v závislosti na čase a teplote okolia pri teplotnom intervale 25 °C až 105 °C (červenou je vyhladená hodnota prúdu)



Obr. 62 Zmena napätia v závislosti na čase a teplote okolia pri teplotnom intervale 25 °C až 105 °C



Obr. 63 Zmena výkonu v závislosti na čase a teplote okolia pri teplotnom intervale 25 °C až 105 °C

Tab. 13 Ustálené hodnoty prúdu a intenzity osvetlenia v závislosti od teploty okolia pri prvom type experimentu

Teplota okolia [°C]	Prúd [A]	Percentuálny pokles prúdu [%]	Intenzita osvetlenia [klx]	Percentuálny pokles intenzity [%]
25	1,11	0,00	50,24	0,00
45	1,10	0,9	45,48	9,47
65	0,98	11,71	40,44	19,51
85	0,86	22,52	34,74	30,85
105	0,75	32,43	29,44	41,40

Tab. 14 Ustálené hodnoty napätia a príkonu v závislosti od teploty okolia pri teplotnom intervale 25 °C až 105 °C

Teplota okolia [°C]	Napätie [V]	Percentuálny pokles napätia [%]	Príkon [W]	Percentuálny pokles príkonu [%]
25	9,31	0,00	10,31	0,00
45	9,24	0,75	10,17	1,36
65	9,04	2,90	8,84	14,26
85	8,83	5,16	7,56	26,67
105	8,61	7,52	6,45	37,44

Na základe týchto grafov a tabuliek je možné usúdiť, že obmedzovanie prúdu kvôli prehrievaniu nastáva až pri teplote vyššej ako 45 °C. Avšak intenzita osvetlenia pri prechode z teploty 25 °C na 45 °C napriek tomu klesla a to konkrétne o 9,54%. Tento jav je možné vysvetliť tým, že samotný LED čip má inú intenzitu osvetlenia vzhľadom na svoju teplotu.

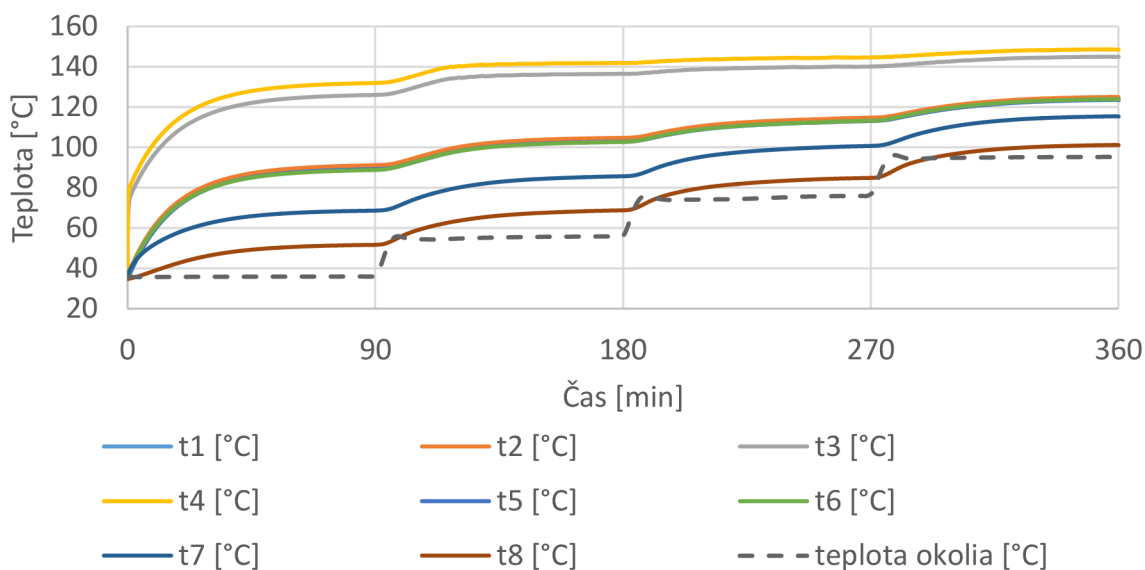
Je možné ďalej vidieť, že od teploty 65 °C je pokles prúdu konštantný a to o 0,12 A pre 65 °C, 0,12 A pre 85 °C a 0,1 A pre 105 °C, čo predstavuje krok 11 ± 1 %. Teplota v najteplejšom bode narástla po ustálení teploty okolia na 143,1 °C pre 65 °C, na 146,1 °C pre 85 °C a 151,7 °C pre 105 °C. Rovnaký trend je možné sledovať aj u intenzity osvetlenia, kde je jej pokles vždy 10 ± 1 %.

Prúd začal po 3,31 min po začiatku prestupu na teplotu okolia 65 °C, kedy bola teplota na najteplejšom kontrolnom bode 140,1°C.

Zmena napätia je však oproti zmene prúdu minimálna, jej maximálny pokles je iba 7,52 % pre celý teplotný interval, zmena príkonu je najväčšia, čo je logické, keďže je to hodnota získaná z násobenia prúdu a výkonu a dosahuje pokles až o 37,44%.

5.7 Rozmedzie 35 °C až 95 °C

Meranie v tomto teplotnom rozsahu trvalo iba 6 hodín a preto každý jeden experiment bol nameraný iba v jeden deň a nebolo potrebné ho merať na viac častí. Na Obr. 64 a Tab. 15 je možné pozorovať zmenu teplôt v jednotlivých kontrolných bodoch v závislosti na čase a teplote okolia.



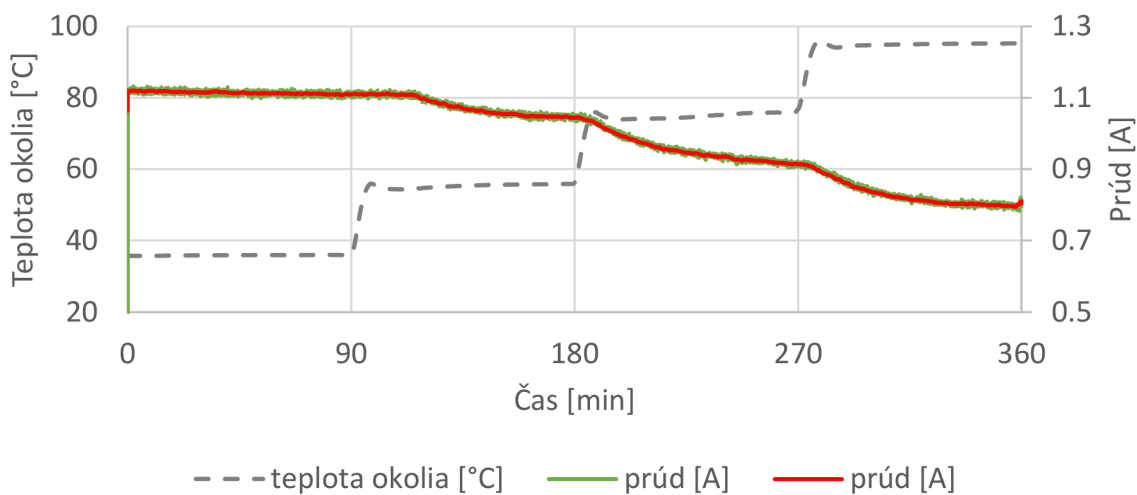
Obr. 64 Závislosť teplôt v kontrolných bodoch na čase pri teplotnom intervale 35 °C až 95 °C

Tab. 15 Hodnoty ustálených teplôt v kontrolných bodoch pri teplotnom intervale 35 °C až 95 °C (všetky hodnoty sú uvádzané v °C)

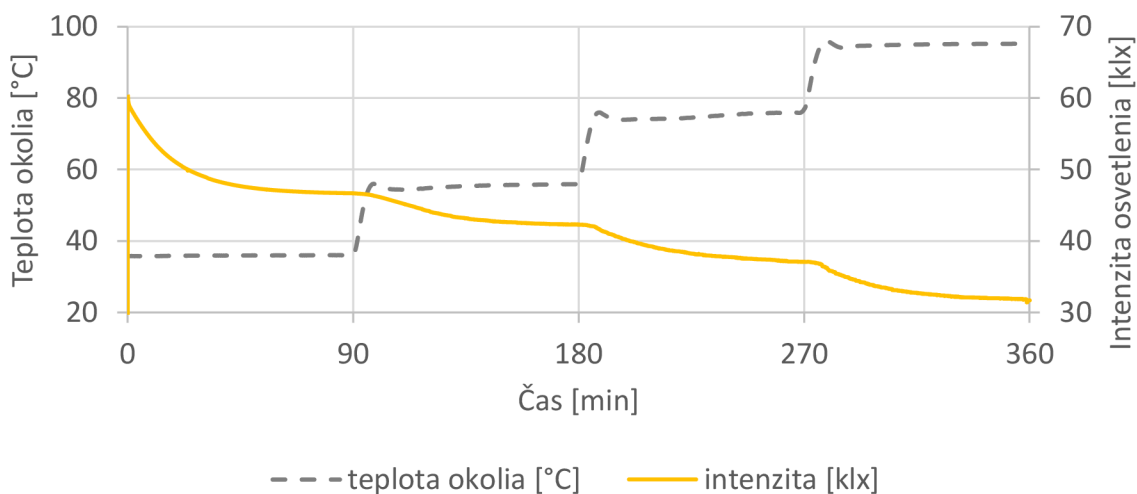
Teplota okolia	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
35	89,6	91,1	126,0	131,9	89,1	88,7	68,6	51,6
55	103,6	104,7	136,5	141,9	102,8	102,6	85,6	68,7
75	113,4	114,7	140,0	144,6	113,0	113,2	100,7	84,8
95	123,8	125,0	144,9	148,5	123,5	123,9	115,3	101,2

Maximálne a minimálne teploty sú podľa očakávania rovnaké ako aj pri provom teplotnom intervale a to teda na termočlánkoch T3 a T4 sú maximá a na termočlánku T8 je minimum. Pri termočlánkoch T3 a T4 je percentuálny nárast teploty o 15,03 % resp. o 12,60 %. Nárast teploty na termočlánku T8 bol pritom 95,89 %. Menší percentuálny nárast teplôt je spôsobený zmenou teplotného intervalu a to konkrétne počiatkom na vyššej teplote a koncom naopak na teplote nižšej. Rozdiel medzi najvyššou a najnižšou teplotou vzhľadom k teplote okolia bol na počiatku experimentu 96,9 °C, resp. 16,6 °C a na konci experimentu bol teplotný rozdiel len 53,5 °C, resp. 6,2 °C.

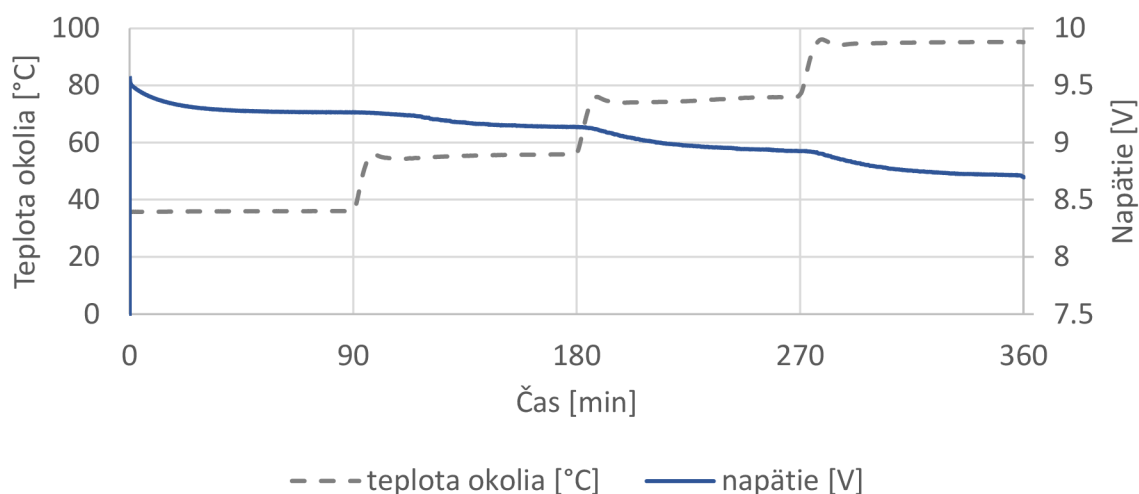
Ďalej je možné pozorovať zmenu prúdu, intenzity osvetlenia, napätia a príkonu na Obr. 65, Obr. 66, Obr. 67 a Obr. 68a Tab. 16 a Tab. 17.



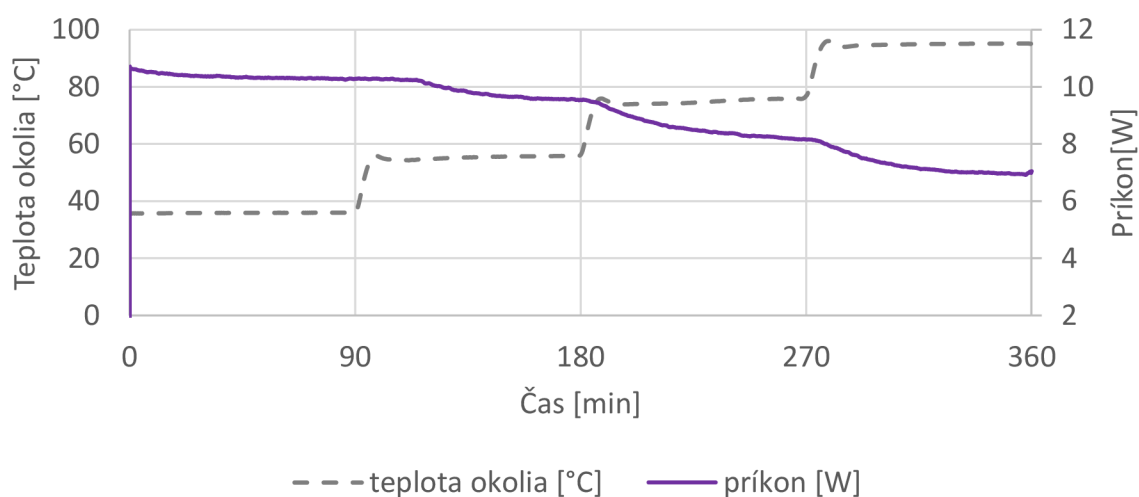
Obr. 65 Zmena prúdu v závislosti na čase a teplote okolia pri teplotnom intervale 35 °C až 95 °C (červenou je vyhladená hodnota prúdu)



Obr. 66 Zmena intenzity osvetlenia v závislosti na čase a teplote okolia pri teplotnom intervale 35 °C až 95 °C (červenou je vyhladená hodnota prúdu)



Obr. 67 Zmena napätia v závislosti na čase a teplote okolia pri teplotnom intervale 35 °C až 95 °C



Obr. 68 Zmena príkonu v závislosti na čase a teplote okolia pri teplotnom intervale 35 °C až 95 °C

Tab. 16 Ustálené hodnoty prúdu a intenzity osvetlenia v závislosti od teploty okolia pri teplotnom intervale 35 °C až 95 °C

Teplota okolia [°C]	Prúd [A]	Percentuálny pokles prúdu [%]	Intenzita osvetlenia [klx]	Percentuálny pokles intenzity [%]
35	1,11	0,00	46,68	0,00
55	1,05	5,41	42,30	9,38
75	0,91	18,02	37,09	20,54
95	0,80	27,93	31,72	32,05

Tab. 17 Ustálené hodnoty napätia a príkonu v závislosti od teploty okolia pri teplotnom intervale 35 °C až 95 °C

Teplota okolia [°C]	Napätie [V]	Percentuálny pokles napätia [%]	Príkon [W]	Percentuálny pokles príkonu [%]
35	9,26	0,00	10,28	0,00
55	9,14	1,30	9,54	7,20
75	8,93	3,56	8,16	20,62
95	8,71	5,94	6,99	32,00

Opäť je možné pozorovať pokles intenzity osvetlenia pred poklesom. Percentuálny pokles intenzity osvetlenia je opäť zhruba 10 ± 1 % pri kroku 20 °C, čo je totožné s poklesom pri prvom teplotnom intervale. Avšak zmena prúdu sa už odlišuje. Pri prvom intervale bol pokles vždy 11 ± 1 %, pokles nastáva tesne po prechode na teplotu okolia 55 °C a to iba o 5,41 % kedy bola nameraná teplota v najteplejšom kontrolnom bode 140,08 °C a po ustálení teploty okolia dosiahla 141,9 °C, medzi 55 °C a 75 °C o 12,61 %, kedy teplota po ustálení bola 144,6 °C a medzi 75 °C a 95 °C je to 9,91 %, kedy bola teplota 148,4 °C. Posledné dva poklesy už odpovedajú percentuálnemu úbytku v prípade prvého teplotného intervalu.

V prípade zmeny napätia a príkonu je možné pozorovať podobné výsledky ako pri prvom intervale a to pokles o 5,94% resp. 32,00%. Tieto hodnoty sú o niečo menšie ako pri prvom intervale z dôvodu menšieho celkového teplotného rozsahu.

Pri prvom intervale sme zistili, že obmedzenie prúdu nastáva medzi teplotami 45 °C a 65 °C. Na základe týchto grafov a tabuliek je vidieť, že obmedzovanie prúdu nastáva tesne po prechode na teplotu 55 °C, presne v čase 119,15 min, kedy bola na najteplejšom kontrolnom bode teplota 140,1 °C. Takže je možné usúdiť, že k obmedzeniu prúdu dochádza pri teplote 140 °C vzhľadom na najteplejší kontrolný bod.

5.8 Tepelné namáhanie materiálu

Telo meraného svetlometu bolo vyrobené z dvoch rôznych materiálov, jeden bol použitý pre púzdro svetlometu a druhý pre sklo. Pre púzdro svetlometu bol použitý materiál PP GF30 s teplotou tavenia 230 °C a pre sklenenú časť svetlometu bol použitý materiál PMMA s teplotou tavenia 265 °C. V oboch prípadoch sa jedná o plasty, teda druhý materiál je optický priehľadný s transmisivitou minimálne 92 % a indexom lomu 1,48 - 1,5. [46] [47]

Vzhľadom na najvyššiu nameranú teplotu 151,6 °C a to priamo na LED čipe a nie na použitých materiáloch kde bola maximálna nameraná teplota 110,1 °C pre sklo (pre telo sa teploty nikde nemerali), je možné bezpečne usúdiť, že daný svetlomet je vzhľadom na tepelné namáhanie navrhnutý dobre a k taveniu materiálu nikde nedôjde.

5.9 Zhnutie výsledkov

Namerané výsledky je možné zhrnúť do nasledujúcej tabuľky a niekoľkých grafov.

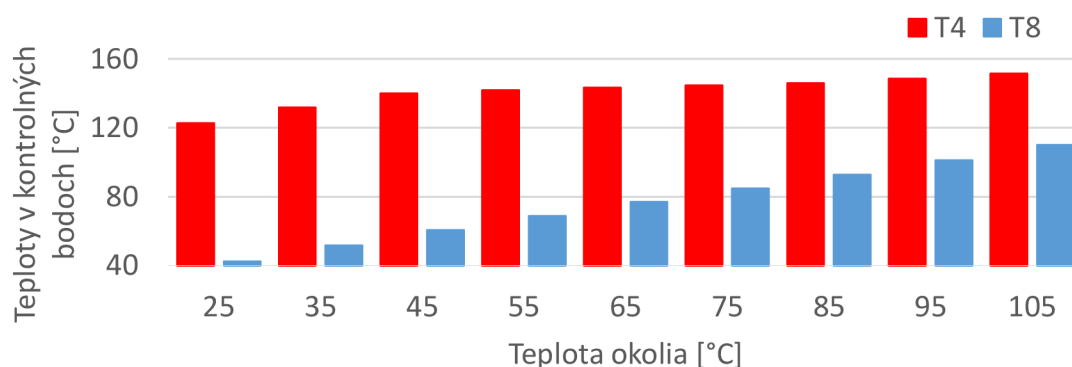
V Tab. 18 je porovnanie zmeny teplôt na nateplejšom a nachladnejšom mieste, zmenu prúdu, napätia, výkonu a intenzity osvetlenia vzhľadom na teplotu okolia.

Tab. 18 Zmena teplôt, prúdu, napätia, intenzity osvetlenia a príkonu v závislosti na teplote okolia

Teplota okolia [°C]	T4 [°C]	T8 [°C]	Prúd [A]	Napätie [V]	Intenzita osvetlenia [klx]	Príkon [W]
25	122,77	42,37	1,11	9,31	50,24	10,31
35	131,86	51,64	1,11	9,26	46,68	10,28
45	140,02	60,66	1,10	9,24	45,48	10,17
55	141,85	68,74	1,05	9,14	42,30	9,54
65	143,33	77,00	0,98	9,04	40,44	8,84
75	144,56	84,81	0,91	8,93	37,09	8,16
85	146,01	92,82	0,86	8,83	34,74	7,56
95	148,47	101,16	0,80	8,71	31,72	6,99
105	151,58	110,06	0,75	8,61	29,44	6,45

V kontrolnom bode s najvyššou teplotou (LED čip) bol percentuálny nárast teploty od teploty okolia 25 °C do teploty 105 °C 23,47 %, teda (z 122,8 na 151,6) °C a na mieste s najnižšou teplotou (sklo svetlometu) bol nárast až o 159,76 %, teda (z 42,4 na 110,1) °C. V druhom intervale merania sa objavil rovnaký trend, ale percentuálne nárasty neboli až tak veľké z dôvodu vyššej počiatkovej teploty okolia a nižšej koncovej teploty. Pre porovnanie nárasty pri druhom teplotnom intervale boli 12,60 % resp. 95,89 %.

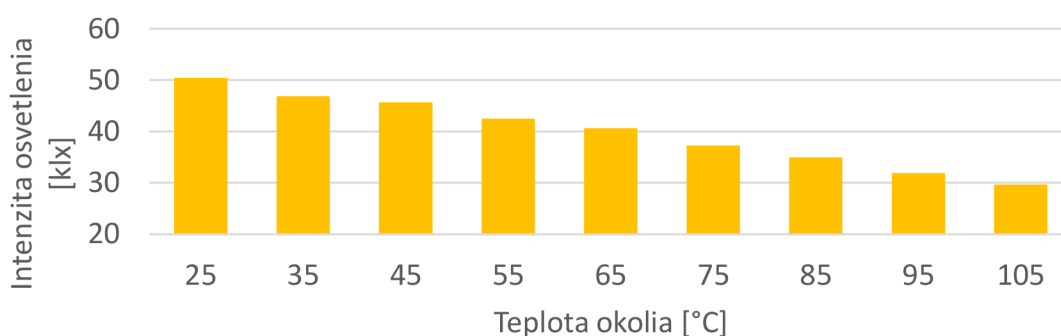
Na Obr. 69 je možné vidieť teplotnú zmenu na termočlánkoch T4 a T8 (nateplejšom - LED čip a nachladnejšom mieste - sklo svetlometu) vzhľadom na teplotu okolia celého teplotného rozmedzia.



Obr. 69 Zmena teplôt na termočlánkoch T4 a T8 vzhľadom na teplotu okolia

Rovnakým spôsobom boli porovnané zmeny na intenzite osvetlenia a obmedzovaní elektrického prúdu, napätia a príkonu LED čipu, u týchto však s narastajúcou teplotou okolia dochádzalo iba k poklesu, v prípade prúdu dokonca k žiadnej zmene ak nebola prekročená určitá teplota. Pokles intenzity osvetlenia bol vždy s krokom teploty okolia $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $10\pm 2\%$, čo predstavuje pre prvý teplotný interval celkový pokles o $41,40\%$, (z $50,24$ na $29,44$) klx a pre druhý interval $32,05\%$ (z $46,68$ na $31,72$) klx.

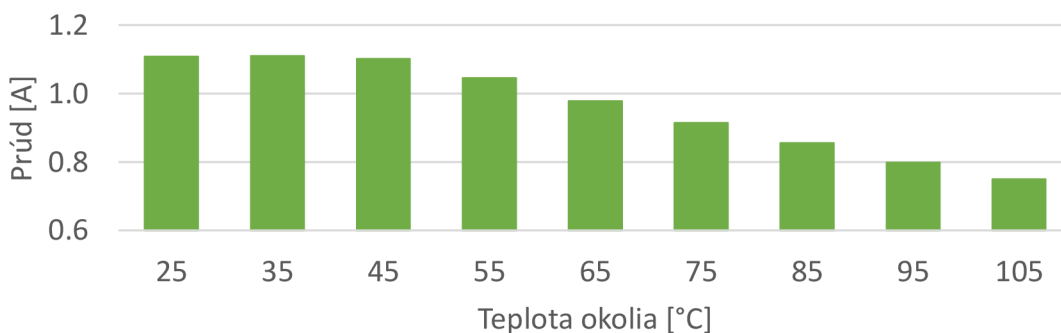
Zmenu intenzity osvetlenia bez zmeny prúdu na LED čipe je možné vysvetliť jeho samotnými fyzikálnymi vlastnosťami. Teda jeho intenzita osvetlenia je nepriamo úmerná jeho teplote, ktorá narastá ihneď po jeho zapnutí. Na Obr. 70 je možné vidieť zmenu intenzity osvetlenia vzhľadom na teplotu okolia celého teplotného rozmedzia.



Obr. 70 Zmena intenzity osvetlenia vzhľadom na teplotu okolia

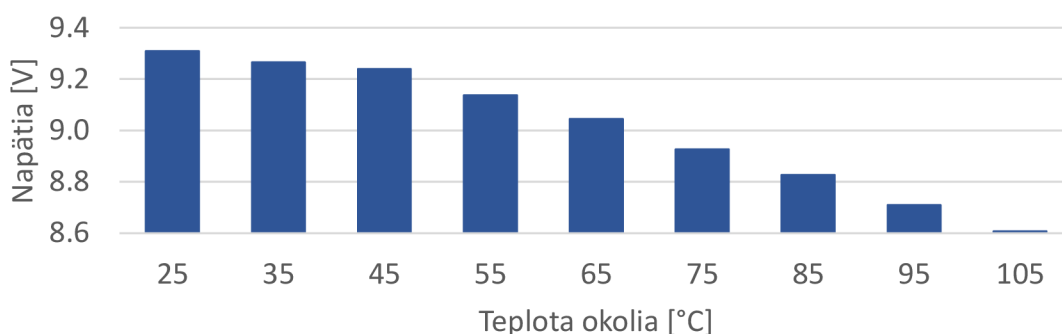
Pokles elektrického prúdu na LED čipe nastal podľa prvého intervalu, konkrétne v rozmedzí $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ a podľa druhého intervalu medzi teplotami $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z týchto výsledkov sa dá usúdiť, že k obmedzovaniu prúdu dochádza v teplotnom rozmedzí ($45 - 50$) $^{\circ}\text{C}$. Avšak v oboch prípadoch k obmedzovaniu došlo vo chvíli kedy teplota v najteplejšom kontrolnom bode dosiahla $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, čo sa dá považovať okolnosť, podľa ktorej k obmedzovaniu dochádza.

Percentuálny pokles pri kroku $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bol vždy $11\pm 1\%$ s výnimkou v prechode z $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ kde k obmedzovaniu ešte nedošlo a v prechode z $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, kde bol iba $5,41\%$ z dôvodu, že po ustálení teploty okolia narástla teplota v najteplejšom bode z teploty $140,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $141,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, čo je nárast iba o $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ oproti ostatným prípadom kde bol nárast o $4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na Obr. 71 je možné vidieť zmenu prúdu vzhľadom na teplotu okolia celého teplotného rozmedzia.



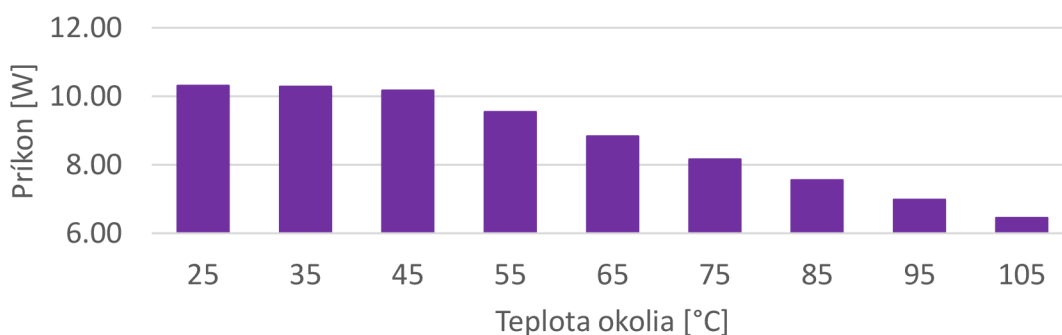
Obr. 71 Zmena elektrického prúdu vzhľadom na teplotu okolia

V prípade zmeny napätia bol pokles minimálny, 7,52 % v prvom intervale experimentu a 5,94 % v druhom. Na Obr. 72 je možné vidieť zmenu napätia vzhľadom na teplotu okolia celého teplotného rozmedzia.



Obr. 72 Zmena napätia vzhľadom na teplotu okolia

Zmena príkonu bola najväčšia a to z dôvodu, že jej hodnotu sme dostali vynásobením elektrického prúdu a napätia a jej pokles teda bol 37,44% resp. 32,00%. Na Obr. 73 je možné vidieť zmenu príkonu vzhľadom na teplotu okolia celého teplotného rozmedzia.



Obr. 73 Zmena príkonu vzhľadom na teplotu okolia

6 Záver

Cieľmi tejto diplomovej práce bolo vypracovať rešerš na typy svetelných zdrojov využívaných pri automobilovom osvetlení, rešerš nových trendov, ktoré sa začínajú u automobilového osvetlenia objavovať alebo od ktorých je očakávané, že sa v dohľadnej dobe objavia a najmä príprava merania predného svetlometu, meranie a následné spracovanie nameraných dát.

Práca taktiež v krátkosti rozobrala témy prenosu tepla, merania teploty a vlastností svetla, aby mohol čitateľ lepšie porozumieť preberanej problematike.

Z rešeršnej časti svetelných zdrojov práca rozoberá v kapitole 4 históriu svetlometov a ich časový vývoj, poňala hlavné zdroje ako klasickú žiarovku, halogénovú žiarovku, xenónovú výbojku, ale taktiež zdroje modernejšie ako LED čipy, lasery a OLED. Práca taktiež spracovala moderné trendy u svetlometov, ktorých vývoj je možné pozorovať v posledných rokoch.

Hlavná časť práce bola venovaná meraniu predného svetlometu novej generácie, a to konkrétne časti svetlometu funkcie osvetlenia do hmly. Práca v kapitole 5.2 podrobne opísala celú prípravu merania, od zapájania svetlometu do meracieho obvodu, spôsob merania a typy použitých meracích zariadení. V rámci práce bol taktiež vytvorený program pre merania v prostredí LabVIEW, ktorého úloha bola preniesť z prístrojov od spoločnosti NI a ostatnej meracej techniky výsledky merania do podoby použiteľnej pre ďalšiu prácu a pre spracovanie týchto výsledkov.

V rámci hlavnej časti práce bolo taktiež vytvorené porovnanie chladiča použitého luxmetru vyrobeného v LPTP, pre účely tohoto merania. Porovnávanie bolo medzi hodnotami nameranými na teplotnom čidle luxmetru a hodnotami vypočítanými v rámci simulácie tohoto chladiča v prostredí ANSYS Workbench. Priemerná odchylka od nameraných hodnôt a hodnôt získaných simuláciou bola 0,2 °C. Taktiež bol simuláciou zistený najmenší priemer potrubia chladiča, aby dokázal senzor luxmetru dochladiť na požadovanú maximálnu teplotu, a to 0,25 mm, viac v kapitole 5.4.

Z výsledkov merania hlavnej časti práce je možné sledovať vývoj teplôt na kontrolných bodoch svetlometu, zmenu intenzity osvetlenia, elektrického prúdu, napätia a príkonu LED čipu ako zdroj svetla a to všetko vplyvom zmeny teploty okolia.

Boli vykonané merania vo dvoch teplotných intervaloch, ktoré boli od 25 °C do 105 °C a od 35 °C do 95 °C. Pre oba typy merania bol vždy krok zmeny teploty 20 °C a to po rovnakom časovom úseku, slúžiacemu k stabilizácii teplotného poľa, ktorý bol dlhý 90 minút.

Z týchto dvoch intervalov merania bolo ľahšie presnejšie určiť pri akej teplote okolia nastávali zmeny chovania LED čipu, najmä obmedzovanie elektrického prúdu. Toto obmedzovanie bolo spôsobené vplyvom bezpečnostného prvku na LED čipe, ktorý obmedzoval prúd z dôvodu prehrievania čipu a následnému poklesu doby jeho životnosti. V práci bola zistená teplota na LED čipe, pri ktorej dochádzalo k obmedzovaniu prúdu, a to 140 °C. Bolo taktiež určené teplotné rozmedzie teploty okolia, pri ktorej k obmedzovaniu prúdu dochádzalo, a to (45 - 50) °C.

Najvyššia nameraná intenzita osvetlenia bola 65,36 klx ihneď po zapnutí merania pri teplote okolia 25 °C a naopak najnižšia nameraná intenzita bola 29,8 klx pri teplote okolia 105 °C.

Práca sa taktiež pozrela na tepelné namáhanie použitých materiálov svetlometu, a to materiálu tvoriaceho púzdro svetlometu a materiálu skla. Najvyššia nameraná teplota na svetlomete bola 110,1 °C (najvyššia nameraná teplota na LED čipe bola 151,8 °C), čo znamená, že určite nedôjde k taveniu ani jedného materiálu, viac v kapitole 5.8.

7 Zoznam použitých zdrojov

- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřící obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [2] INCROPERA, Frank a Frank INCROPERA. *Fundamentals of heat and mass transfer*. 6th ed. / . Hoboken, NJ: John Wiley, c2007. ISBN 978-047-1457-282.
- [3] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [4] SPONSORED BY ASTM COMMITTEE E-20 ON TEMPERATURE MEASUREMENT AND SUBCOMMITTEE E20.04 ON THERMOCOUPLES, a AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Manual on the use of thermocouples in temperature measurement*. [6th printing]. Philadelphia, Pa: American Society for Testing and Materials, 1992. ISBN 08-031-0502-9.
- [5] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jinřich KUBÁT. *Automobily*. 1. vyd. Brno: Avid, 2008. ISBN 978-80-87143-14-8.
- [6] BRYNDA, Petr. Úvod do teorie termovizního měření. ČVUT FD [online]. b.r. [cit. 2015-4-8]. Dostupné z: http://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1s/doc/works/teorie_brynda.pdf
- [7] MARTÍNEK, MICHAL. *OSVĚTLOVACÍ TECHNIKA MODERNÍCH VOZIDEL A MĚŘENÍ DOHLEDNOSTI NA DOSVIT HLAVNÍCH SVĚTLOMETŮ*. Brno, 2011. DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ. Vedoucí práce Doc. Ing. ALEŠ VÉMOLA, Ph.D.
- [8] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: Elektromagnetické vlny. 2.*, přeprac. vyd. Editor Petr Dub. Překlad Miroslav Černý. Brno: VUTIUM, c2013. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [9] Tepelné žiarenie. *Katedra fyziky - Fakulta prírodných vied - Univerzita Konštantína filozofa v Nitre* [online]. b.r. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: http://www.kf.fpv.ukf.sk/pracovnici/teleki/BBR/FyzikaMikrosveta_TepelneZiarenie.02.pdf
- [10] Radiation. *Florida State University - College of Engineering* [online]. b.r. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <https://www.eng.fsu.edu/~shih/eml3015/lecture%20notes/radiation.htm>
- [11] Barva světla (teplota chromatičnosti) u LED osvětlení. *T-Led* [online]. b.r. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.t-led.cz/barva-svetla>

- [12] Jednotka svítivosti - kandela. *FYZMATIK* [online]. b.r. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/45-jednotka-svitivosti-kandela.html>
- [13] Základné pojmy. *ENEL-X* [online]. b.r. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.enel-x.sk/o-je-led/74-zakladne-pojmy>
- [14] INSTRUMENT SYSTEMS GMBH. *Handbook of LED Metrology* [online]. b.r. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: http://www.instrumentsystems.com/fileadmin/editors/downloads/Products/LED_Handbook_e.pdf
- [15] Geometrická optika. *Slovenská technická univerzita v Bratislave: Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra fyziky* [online]. b.r. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.kf.elf.stuba.sk/KrempaskyFyzika/26.pdf>
- [16] VLK, František. *Elektrická zařízení motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-3718-9.
- [17] Historie a budoucnost osvětlení automobilů: Od svíčky k laseru. *AUTO.CZ* [online]. 2014 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/historie-a-budoucnost-automobiloveho-osvetleni-od-svicky-k-laseru-79316>
- [18] History of Automotive Headlamps - From Acetylene to LEDs. *AUTOEVOLUTION* [online]. 2009 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.autoevolution.com/news/history-of-automotive-headlamps-from-acetylene-to-leds-4485.html>
- [19]. NEUMANN, Rainer. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: LED Headlamps - Challenges to be a future standard*. München: Herbert Utz, 2013, s. 1-5. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [20] Wikipedie. *LED - wikipedie* [online]. 2015 [cit. 2015-10-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [21] PN přechod - dioda. *Elektřina a magnetismus* [online]. b.r. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://elektross.gjn.cz/soucastky/jeden_prechod/dioda.html
- [22] Thermal derating of LEDs. *Electrocomponents plc* [online]. 2009 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0e28/0900766b80e289cf.pdf>
- [23] Temperature Derating in High Power LED Applications. *MOUSER ELECTRONICS* [online]. b.r. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://eu.mouser.com/applications/lighting-derating/>
- [24] OSRON Black Flat Datasheet. *OSRAM Opto Semiconductors* [online]. b.r. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.osram-os.com/Graphics/XPic2/00195944_0.pdf/LUW%20H9QP.pdf

- [25] POHLMANN, Wolfgang. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: Miniaturization in LED-Technology - Opportunities and Risks*. München: Herbert Utz, 2013, s. 171-180. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [26] HELLA KGaA Hueck & Co. In: *CAPITAL MARKETS DAY 2015* [online]. b.r. [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: https://www.hella.com/hella-com/assets/media/HELLA_Capital_Markets_Day.pdf
- [27] BERLITZ, Stephan. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: Lighting Roadmap 2020*. München: Herbert Utz, 2013, s. 6-15. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [28] Audi Attempts To Add Matrix Lighting Technology To Its Laser Headlights. *Motor Authority* [online]. b.r. [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: http://www.motorauthority.com/news/1098067_audi-attempts-to-add-matrix-lighting-technology-to-its-laser-headlights
- [29]. BASU, Chandrajit, Gerolf KLOPPENBURG, Alexander WOLF, Merve WOLLWEBER, Bernhard ROTH a Roland LACHMAYER. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: A High Powered Blue Diode Laser Pumped White Light Source Using Remote Phosphors*. München: Herbert Utz, 2013, s. 117-127. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [30] Laser. *FYZIKA 007* [online]. b.r. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/fyzika-mikrosveta/laser>
- [31] Audi's New R8 Supercar Has Frickin' Lasers for Headlights. *WIRED* [online]. 2014 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.wired.com/2014/05/audi-r8-lmx-laser-headlights/#slide-3>
- [32]. ALBOU, P., L. BIONET a J. RAVIER *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: Very thin headlamp with laser sources*. München: Herbert Utz, 2013, s. 128-139. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [33]. NAKAYA, Yoshiaki. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: Laser/LED Hybrid Headlamp*. München: Herbert Utz, 2013, s. 140-149. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [34] První krok byl udělán, laserová světla jsou v sériové výrobě. *TÝDEN.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.tyden.cz/rubriky/auta/zajimavosti/prvni-krok-byl-udelan-laserova-svetla-jsou-v-seriove-vyrobe_302028.html
- [35]. JOBST, Thomas a KÜPPER. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: OLED for automotive signaling applications*. München: Herbert Utz, 2013, s. 205-208. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.

- [36] ANTONIADIS, Homer. *Overview of OLED Display Technology* [online]. b.r., , 32 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.ewh.ieee.org/soc/cpmt/presentations/cpmt0401a.pdf>
- [37]. DWORZAK, Matthias. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting*. München: Herbert Utz, 2013, s. 209-214. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [38] In 2016, BMW will launch an M car with OLED. *AUTO HOW-TO* [online]. 2015 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://autotuning.ucoz.com/news/2015-01-11-91>
- [39]. KROPAC, Miroslav a Vladimír KUBENA. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: Styling challenges of OLEDs in automotive exterior lighting*. München: Herbert Utz, 2013, s. 215-218. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [40] *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting*. München: Herbert Utz, 2013. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [41] Nokia Unveils OLED Phone You Control by Bending. *Inhabitat* [online]. b.r. [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://inhabitat.com/nokia-unveils-oled-phone-you-control-by-bending/nokia-flex-phone-1/>
- [42]. GONÇALVES, Whilk, Christophe LE DALL a Stéphane GERONIMI. *Proceedings of the 10th International symposium on automotive lighting: Holographic Warning*. München: Herbert Utz, 2013, s. 458-463. Darmstädter Lichttechnik. ISBN 978-3-8316-4291-5.
- [43] Platinum RTD Types. *NATIONAL INSTRUMENTS* [online]. b.r. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370466V-01/measfunds/rtdtypes/>
- [44] Fluid Properties Calculator. *University of Waterloo* [online]. b.r. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html>
- [45] Acrylic PMMA (Polymethyl-Methacrylate) Specifications. *Boedeker.com* [online]. USA, 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.boedeker.com/acryl_p.htm
- [46] CELSTRAN PP-GF30-02. *Hi POLYMERS* [online]. 2007 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.hipolymers.com.ar/pdfs/celstran/datos/celstran%20PP-GF30-02.pdf>
- [47] BMW I8 LASER LIGHT TECHNOLOGY DETAILED. *MOTOR REVIEW* [online]. 2014 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://motorreview.com/bmw-i8-laser-light-technology-detailed/>

8 Zoznam použitých skratiek a symbolov

\dot{Q}	tepelný tok	[W]
k	súčiniteľ tepelnej vodivosti	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
A	plocha	[m ²]
h	súčiniteľ prestupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
T	teplota	[K]
ε	emisivita	[1]
σ	Stefan-Boltzmannova konštanta	[W·m ⁻² ·K ⁻⁴]
f	frekvencia	[s ⁻¹]
c	rýchlosť svetla	[m·s ⁻¹]
λ	vlnová dĺžka	[m]
K	kontrast jasu	[1]
J	jas	[cd·m ⁻²]
E_d	intenzita difúzneho elektrického poľa	[V·m ⁻¹]
E	intenzita elektrického poľa	[V·m ⁻¹]
$E_{celk.}$	celková intenzita elektrického poľa	[V·m ⁻¹]
v	rýchlosť	[m·s ⁻¹]
I	prúd	[A]
U	napätie	[V]
R	odpor	[Ω]
t	čas	[s]
Q	prietok	[m ³ ·s ⁻¹]
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
ν	kinematická viskozita	[m ² ·s ⁻¹]
L	charakteristický rozmer	[m]
Pr	Prandtlovo číslo	[1]
D	priemer	[m]
Nu	Nusseltovo číslo	[1]
P	výkon	[W]

9 Zoznam príloh

- P1 elektronická verzia diplomovej práce
- P2 program vytvorený v prostredí LabVIEW