



**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**

**Ústav procesní a zpracovatelské
techniky**

**PROBLEMATIKA MĚŘENÍ POVRCHOVÉ
TEPLOTY POMOCÍ TEPELNÝCH KRYSTALŮ**

**PROBLEMS OF SURFACE TEMPERATURE
MEASUREMENT USING TERMOCHROMIC
CRYSTALS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
2019**

**PATRIK
VYHLÍDAL**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vyhliďal** Jméno: **Patrik** Osobní číslo: **457544**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Problematika měření povrchové teploty pomocí tepelných krystalů

Název bakalářské práce anglicky:

Problems of Surface Temperature Measurement by Thermochromic Crystals

Pokyny pro vypracování:

Proveďte literární rešerši na téma využití tekutých krystalů (TLC) při měření lokální povrchové teploty a zjistěte problémy s tím spojené. Připravte experimentální techniku a proveďte experimentální měření kalibrační křivky pro různé hodnoty intenzity osvětlení pomocí LED panelů. Zhodnoťte vliv intenzity světla na experimentální výsledky.

Seznam doporučené literatury:

Podle doporučení vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. Stanislav Solnař, ústav procesní a zpracovatelské techniky FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **07.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Stanislav Solnař
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

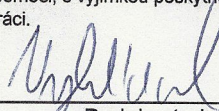

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

30-04-2019

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

Datum

Podpis.....

Anotační list

- Jméno autora:** Patrik Vyhlídal
- Název BP:** Problematika měření povrchové teploty pomocí tepelných krystalů
- Anglický název:** Problems of Surface Temperature Measurement using Thermochromic Crystals
- Akademický rok:** 2018/2019
- Ústav:** Ústav procesní a zpracovatelské techniky
- Vedoucí BP:** Ing. Stanislav Solnař
- Bibliografické údaje:** Počet stran: 47
Počet obrázků: 40
Počet tabulek: 4
- Klíčová slova:** Kapalné krystaly, Chromismus, Termochromismus, Kalibrace
- Keywords:** Liquid crystals, Chromism, Thermochromism, Calibration

Anotace česky: Tato práce se zabývá aplikací termochromních kapalných krystalů pro měření povrchové teploty. V první části práce je obecně uvedena problematika měření teplot. Podrobněji jsou zde pak rozebrány kapalné krystaly, a to především z hlediska jejich vlastností a možností jejich využití. Druhá část je zaměřena na praktický experiment a prezentaci získaných výsledků. Závěr je věnován zhodnocení této metody a její využitelnosti v praxi.

Anotace anglicky: The bachelor deals with application of thermochromic liquid crystals in measuring surface temperature. The first part of the bachelor contains the issue of temperature measuring in general. Next, it focuses on liquid crystals in more detail, especially regarding their qualities and their possible use. The second part is aimed at a practical experiment and the presentation of the obtained results. The conclusion evaluates the method and its usage in practice.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat své rodině a milované přítelkyni za podporu při vytváření této práce. Především děkuji svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Stanislavovi Solnařovi za trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu tvorby poskytl.

OBSAH

1 ÚVOD.....	8
2 TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1 TEPLOTA A JEJÍ MĚŘENÍ.....	9
2.1.1 DRUHY TEPLOMĚŘŮ.....	9
2.1.2 MĚŘENÍ ROZLOŽENÍ TEPLoty NA POVRCHU	10
2.2 KAPALINY	13
2.3 KRYSTALY.....	13
2.4 KAPALNÉ KRYSTALY.....	14
2.5 HISTORIE	15
2.6 VLASTNOSTI KAPALNÝCH KRYSTALŮ.....	15
2.6.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	15
2.6.2 OPTICKÉ VLASTNOSTI KAPALNÝCH KRYSTALŮ	16
2.7 DRUHY KAPALNÝCH KRYSTALŮ.....	16
2.8 VÝSKYT KAPALNÝCH KRYSTALŮ	18
2.9 VYUŽITÍ KAPALNÝCH KRYSTALŮ.....	19
2.10 CHROMISMUS	20
2.10.1 TERMOCHROMISMUS	20
2.11 CHROMATOGRRAFIE NA TENKÉ VRSTVĚ.....	21
2.12 TERMOCHROMATICKÉ KAPALNÉ KRYSTALY.....	22

2.13 PRINCIP ZMĚNY BAREVNÉHO Odstínu KRySTALU	22
2.14 KALIBRAČNÍ METODY	23
2.14.1 KALIBRAČNÍ DESKA	23
2.14.2 IZOTERMICKÁ KALIBRACE	24
3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	27
3.3 SESTAVENÍ APARATURY	27
3.1 ZAŘÍZENÍ	29
3.2 PŘÍPRAVA VRSTVY TLC	32
3.4 POSTUP MĚŘENÍ	33
4 ZPRACOVÁNÍ DAT	35
4.1 UKÁZKA POSTUPU MĚŘENÍ A VÝSLEDKY	35
4.2 NAHRÁNÍ FOTOGRAFIE A VÝBĚR OBLASTI	36
4.3 PŘEVOD RGB DO HSV	37
4.4 KALIBRAČNÍ KŘIVKA	37
4.5 HISTOGRAM	39
4.6 UKÁZKA ZMĚNY BARVY	41
5 DOPORUČENÍ A ZJIŠTĚNÍ	43
6 ZÁVĚR	44

KAPITOLA 1

ÚVOD

Teplota je jednou z nejdůležitějších fyzikálních veličin. Ovlivňuje téměř všechny známé procesy a stavy v přírodě. V současné době je mnoho možností, jak teplotu měřit. Avšak ne každý způsob je pro dané použití vhodný, nebo dokonce může být i pro určitou aplikaci nepoužitelný. Teplotu je možné měřit pouze nepřímo na základě znalosti jiných fyzikálních veličin, které jsou na teplotě závislé podle určitého vztahu. V oblasti technického průmyslu je měření teplot velice důležitou součástí. Správná funkčnost různých systémů a procesů je často spojena s teplotou provozu. Teplotní roztažnost, změna vlastností nebo degradace látek mohou být jedny z příčin vzniklých problémů. Jak již bylo zmíněno je mnoho způsobů měření teploty. Kapalinové teploměry pracují na principu roztažnosti kapaliny se změnou teploty. Teplotní roztažnost využívají i bimetalové teploměry, kdy dochází ke změně rozměrů kovového pásku. Zákonů platících pro tepelné záření vysílané z povrchu měřeného tělesa využívají radiační teploměry. Na podobném principu pracují i termokamery, které poskytují komplexní informace o rozložení teploty na povrchu.

Obsahem této práce je nalezení a popis závislostí v chování termochromních kapalných krystalů. Tyto krystaly se vykazují unikátní vlastností, kdy v závislosti na teplotě dochází k ovlivnění barevného odstínu. Možné využití tohoto faktu je v měření povrchových teplot. Poslední část této práce je věnována vyhodnocení této technologie, možnosti jejího využití v praxi a schopnosti obstát oproti již zmiňovaným termokamerám.

KAPITOLA 2

TEORETICKÁ ČÁST

2.1 TEPLOTA A JEJÍ MĚŘENÍ

Teplota je základní fyzikální veličina popisující stav hmoty. Jedná se o vyjádření tepelného pohybu, který konají atomy a molekuly daného objektu. Se změnou kinetické energie těchto částic dochází ke změně teploty. Teplotu je možné měřit v různých stupnicích a k jejímu určení se využívají teploměry. [13]

Fyzikální principy, na kterých jsou teploměry postaveny mohou být velice různorodé a pro konkrétní typ použití je nutné zvolit vhodnou metodu. Každý typ teploměru má své výhody i nevýhody a vždy je důležité posoudit, zdali je navrhované řešení měření teploty funkčně i ekonomicky výhodné. [11]

2.1.1 DRUHY TEPLOMĚRŮ

Podle toho, jestli je teploměr při měření teploty v přímém dotyku s měřeným objektem se teploměry rozdělují na kontaktní a bezkontaktní. V případě kontaktních teploměrů dochází k tomu, že měřené těleso a teploměr se po určité době dostanou do termodynamické rovnováhy a mají tedy stejnou teplotu. Na teploměru je tedy poté možné odečíst tuto hodnotu na příslušné stupnici. Bezdotykové teploměry využívají tepelného záření měřeného objektu. [6]

Dotykové teploměry

Typ	Fyzikální princip
Dilatační	Využití teplotní roztažnosti tuhých látek, kapalin a plynů
Parní	Využití teplotní závislosti tlaku syté páry
Odporové	Využití teplotní závislosti elektrického odporu vodičů a polovodičů
Termoelektrické	Teplotní závislost termoelektrického napětí termoelektrického článku

Speciální	Změna vybraných fyzikálních vlastností tuhých látek a kapalin (měknutí, tavení, index lomu apod.)
-----------	---

Tab. 2.1: Rozdělení dotykových teploměrů podle fyzikálního principu [6]

Bezdotykové

Typ		Fyzikální princip
Přímoměřicí	Pyrometry	Využití tepelného záření
Zobrazovací	Fototermometrie	Využití fotoaparátu a fotomateriálu sensibilovaným na infračervené záření
	Termovize	Využití tepelného záření v infračervené oblasti

Tab. 2.2: Rozdělení bezdotykových teploměrů podle fyzikálního principu [6]

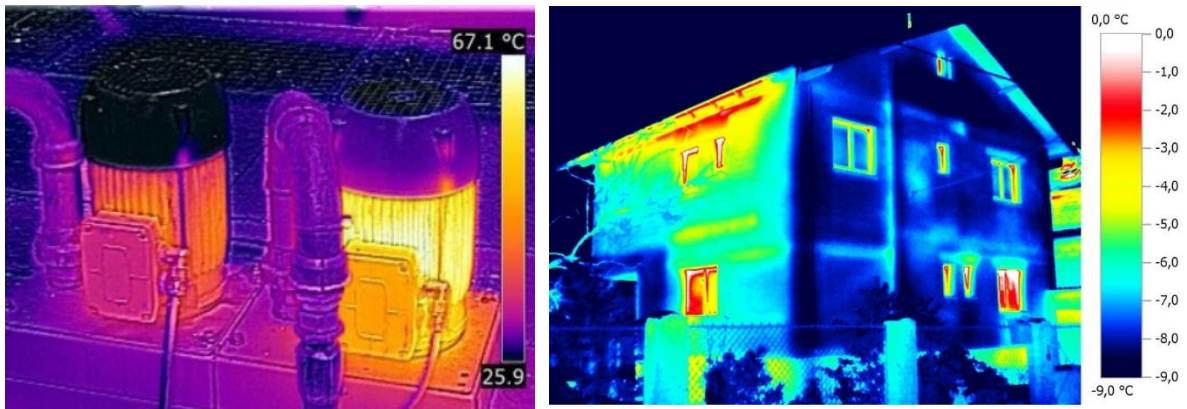
2.1.2 MĚŘENÍ ROZLOŽENÍ TEPLoty NA POVRCHU

Možností, jak zjistit rozložení teploty na povrchu tělesa, je několik. V následující kapitole jsou popsány dva možné způsoby. Jeden z nich je měření pomocí termokamer (jinak také označováno jako termovize) a druhý je využití TLC¹⁾. Jde o zcela odlišné metody a každá má své výhody i nevýhody, ale v každém případě dostaneme informace o rozložení teploty na povrchu.

Termokamery

Princip termokamery vychází ze skutečnosti, že všechna tělesa vyzařují elektromagnetické záření, za podmínky, že jejich teplota je větší než absolutní nula, což jsou prakticky všechna tělesa kolem nás. Intenzita elektromagnetického záření je závislá na povrchu daného tělesa a na jeho teplotě. Termokamera převádí tepelné záření do obrazu, který se nazývá termogram, z něhož se poté dají vyčíst jednotlivé informace o teplotě. Na obr. 2.1 je uveden příklad termogramu pro stroj s elektromotorem při provozu a termogram tepelné ztráty budovy. [18]

¹⁾ TLC – thermochromic liquid crystal (termochromní kapalný krystal)



Obr. 2.1: Termogram tepelného zatížení soustrojí a termogram tepelné ztráty budovy [18]

Termokamery se mohou například využívat při hledání tepelných ztrát budov, tepelného namáhání strojů, motorů, ventilů, při hledání osob a dále jsou využitelné ve výuce, kdy i s mladšími žáky jdou dělat jednoduché pokusy. Právě v těchto jmenovaných případech by využití TLC nebylo možné.

Mezi výhody práce s termokamerou patří okamžité sledování zkoumaného děje, jeho reálný obraz, snadná manipulace se zařízením a bezprostřední používání, které nevyžaduje přípravu měřeného povrchu. Dalším kladem je teplotní citlivost, díky které můžeme rozlišit i malé rozdíly teplot, což je například u dobrých kamer od $0,05^{\circ}\text{C}$. Jednou z nevýhod je složitá kalibrace, která má velký vliv na správnost naměřených hodnot. Před měřením je potřeba nastavit vlastnost povrchu daného materiálu (emisivitu), jeho okolní teplotu a vlhkost, ve které se objekt nachází, a také vzdálenost tohoto objektu od termokamery. Následující nevýhodou je vysoká pořizovací cena, která se pohybuje v řádu statisíců až miliónů korun a oproti TLC termokameru není možné použít pod vodou. [18]

Měření pomocí TLC

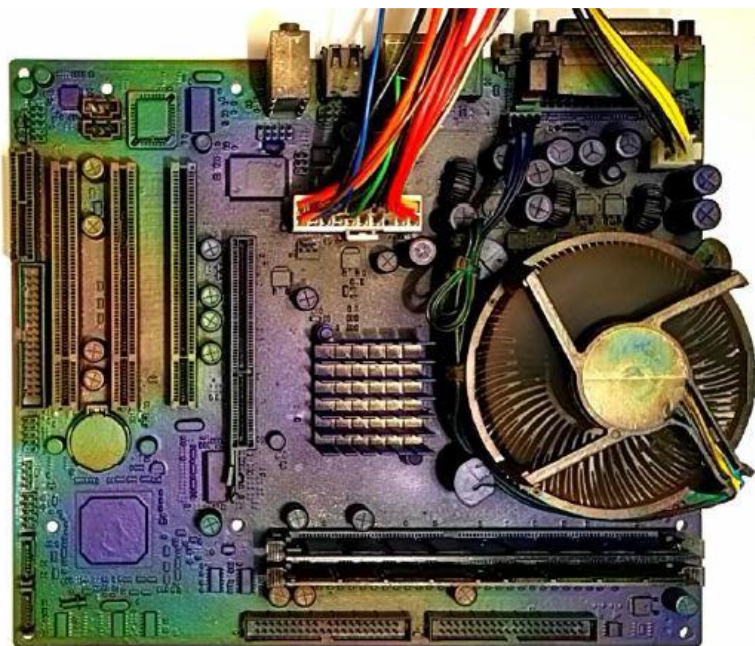
Tato metoda je v oblasti termografie označována jako kontaktní termografie, při které dochází k přímému kontaktu měřeného tělesa a tekutých krystalů. Princip měření povrchové teploty pomocí tepelných tekutých krystalů bude zřejmý z následujících kapitol.

Tekuté krystaly je možné využít pro měření teplot v rozmezí -30°C až 120°C ale i výše. Kontaktní termografie se využívá například v medicíně, a to nejčastěji v podobě

termografických desek. Dále také v oblasti techniky, kdy je možné tekuté krystaly využít ve formě sprejů nebo mohou být suspendovány v tekutině. [23]

Stejně jako termokamery lze tekuté krystaly použít pro sledování tepelných změn v reálném čase, i když odezva může být o trochu pomalejší, což však nezpůsobuje žádné velké problémy. Díky přívětivé ceně je použití TLC ideální volbou pro spotřebitele, kteří nepotřebují měření provádět tak často nebo taktéž pro vědecké účely. Pořízení jiné metody, například termokamery, by bylo jistě investičně náročnější. [23]

Při měření teploty, kdy nám nestačí pouze výsledek, který určí, jestli je daný povrch studený nebo teplý, ale chceme znát přesněji hodnotu teploty, je nutná správná kalibrace celého měřícího zařízení. Je proto potřebné znát charakteristiku celkové kombinace TLC, vlastnosti světelného zdroje i optické vlastnosti kamerového systému. Vztah mezi teplotou krystalu a Hue odstínem odraženého světla je definována kalibrační křivkou pro tekutý krystal. Různé způsoby kalibrace jsou popsány v kapitole 2.14. Na obr. 2.2 je uveden příklad aplikace TLC pro zjištění rozložení teploty na základní desce počítače. [4]



Obr. 2.2: Základní deska s vrstvou TLC [8]

2.2 KAPALINY

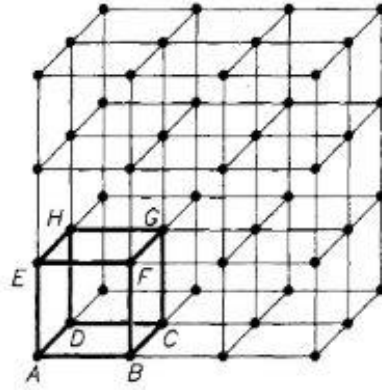
Látky kolem nás se vyskytují v různých formách. Mezi tři základní skupenství látek patří látky plynné, kapalné a pevné. Každé skupenství je odlišné a můžeme jej charakterizovat svými fyzikálními vlastnostmi.

Kapalné látky – kapaliny, patří společně s plyny mezi tekutiny. Jednou z jejich vlastností je tekutost. Částice tekutých látek jsou relativně blízko sebe a mohou se vůči sobě snadno pohybovat, a proto mají schopnost téct. Kapaliny mají stálý objem, ale svůj tvar zauímají podle nádoby. Také se vykazují poměrně vysokou hustotou. [12]

2.3 KRYSTALY

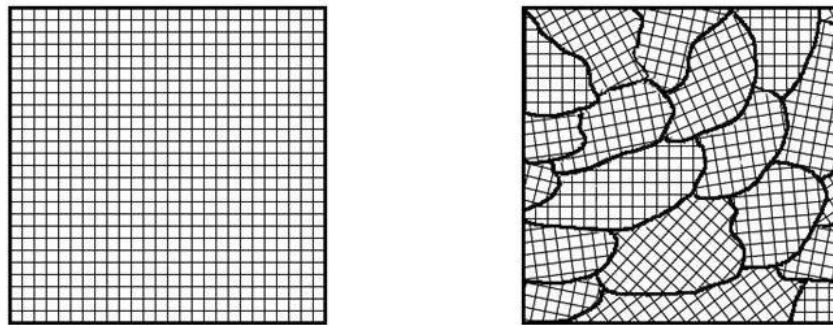
Krystaly se řadí mezi látky pevné. Stavební prvky krystalů – atomy, molekuly nebo ionty, jsou uspořádány pravidelně v opakujícím se vzoru, který se v porovnání s atomárním měřítkem zachovává na velké vzdálenosti. Nejjednodušší seskupení částic – základní buňka, je stavební jednotkou krystalu. Celá struktura se pak skládá z těchto souměrně uspořádaných základních (elementárních) buněk. „Podle tvaru elementárních buněk jsou krystaly rozděleny do sedmi krystalografických soustav: [12]

- trojklonná (triklinická)
- jednoklonná (monoklinická)
- kosočtverečná (ortorombická)
- čtverečná (tetragonální)
- krychlová (kubická)
- šesterečná (hexagonální)
- klencová (trigonální rombická)“



Obr. 2.3: Základní buňka krystalové mřížky [1]

Krystalické látky se rozdělují na monokrystaly a polykrystaly. Monokrystaly jsou charakteristické periodicky se opakujícím uspořádáním částic. Toto uspořádání je dalekosáhlé a má za následek anizotropní charakter. Polykrystaly tvoří drobná zrna, ve kterých jsou částice také pravidelně uspořádány, avšak poloha jednotlivých zrn je nahodilá. [1]



Obr. 2.4: Uspořádání částic monokrystalu (vlevo) a polykrystalu (vpravo) [1]

2.4 KAPALNÉ KRYSTALY

Kapalný krystal je hmota, která se nachází ve stavu mezi tuhou a kapalnou fází. Tato látka se projevuje svými specifickými vlastnostmi, a proto je někdy označována za kapalně-krystalický stav jako čtvrté skupenství hmoty. Jedná se o látky, jejichž struktura je v jednom anebo ve dvou směrech pravidelně uspořádána. V ostatních směrech se již pravidelnost uspořádání nevyskytuje. Vlastnosti kapalných krystalů jsou podrobněji uvedeny v následujících kapitolách. [10]

2.5 HISTORIE

Autoři Mettenheimer, Virchow a Valentin již v polovině 19. století zjistili, že kapalné krystaly mají na rozhraní mezi tuhou a kapalnou fází. K označení tohoto stavu se využívá pojem mezofáze.[10]

Rakouský botanik Reinitzer zjistil, že cholesterylbenzoat je při teplotě 145 °C zakalený, a při dalším zvyšování teploty až na hodnotu 179 °C znovu čistě průhledný. Ve spolupráci s fyzikem Lehmannem označili zakalený stav jako kapalně krystalický. Tento stav má optické vlastnosti jako krystalická látka a vykazuje velkou optickou anizotropii. [10]

Studií kapalných krystalů se zabývala dlouhá řada vědců. Autor George Friedel zjistil, že orientace molekul kapalných krystalů je závislá na směru elektrického pole působící na krystaly a zavedl dodnes používané dělení kapalných krystalů do skupin na nematické, cholesterolové a smectické. [10]

Díky dalšímu výzkumu se zjistilo, že kapalné krystaly reagují na více druhů vnějších podnětů, jako je například magnetické pole, tlak, teplota, vlhkost nebo působení různých chemických látek. Díky těmto vlastnostem se kapalné krystaly uplatnily v technické praxi. Jedním z nejběžnějších použití je dnes stále využívaný LCD²⁾ displej, který využívá natáčení molekul vyvolané elektrickým polem.[16]

2.6 VLASTNOSTI KAPALNÝCH KRYSTALŮ

2.6.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Kapalné krystaly mají dvojitý charakter. Na jednu stranu se podobají pevným látkám, avšak jejich molekuly mohou měnit svou polohu v látce, což je znakem výhradně pro tekutiny. Zajímavou vlastností kapalných krystalů je jejich skupenství, které se nazývá kapalně krystalická fáze. Jde o přechod mezi pevným a kapalným skupenstvím. Jiné označení tohoto stavu je také mezofáze. Nejde však o proces, který by byl tak příliš energeticky a časově náročný, jako je tomu u fázových přeměn většiny ostatních látek. [16]

Pokud se kapalný krystal vystaví působení elektrického pole, stane se z něj dipól. Elektrickým napětím pak můžeme regulovat natočení krystalu a polarizovat tak procházející světlo. Tohoto faktu je již dlouhou řadu let využíváno v zobrazovací technice. Typickým příkladem toho jsou kupříkladu displeje kalkulaček a později pak LCD monitory. [16]

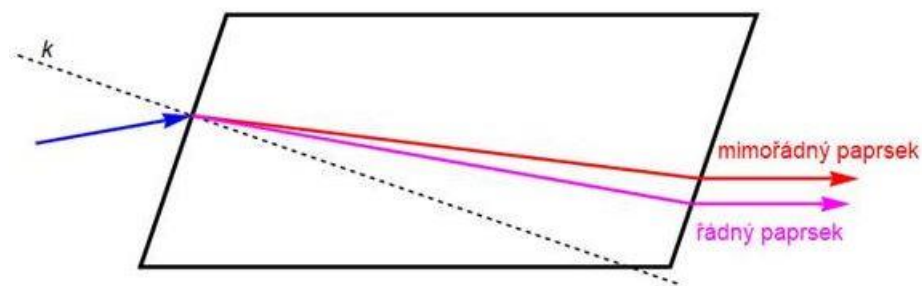
²⁾ LCD – Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)

2.6.2 OPTICKÉ VLASTNOSTI KAPALNÝCH KRYSTALŮ

Anizotropie materiálu má u kapalných krystalů za následek to, že při průchodu světla dochází ke dvojlomu. Tento jev je způsobený různou rychlostí šíření světla v různých směrech. Paprsek dopadající na rozhraní dvou prostředí se láme a zároveň se rozdělí na paprsky dva:

- paprsek řádný
- paprsek mimořádný

Paprsek řádný je možné popsat Snellovým zákonem odrazu a lomu elektromagnetického záření. Naopak paprsek mimořádný se již tímto zákonem neřídí. Příčinou je zmiňovaná anizotropie krystalu a důsledkem je také polarizace obou paprsků, avšak jejich vektory kmitají ve vzájemně kolmých rovinách. [4]



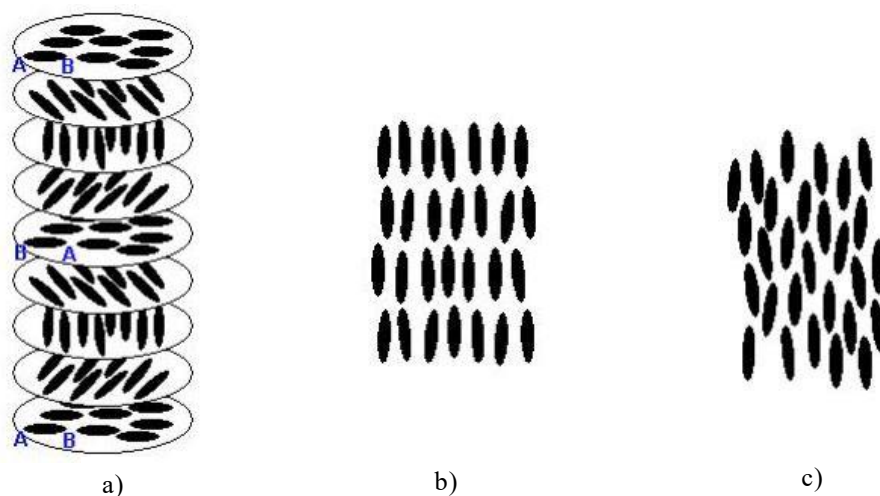
Obr. 2.5: Polarizace dvojlomem [3]

2.7 DRUHY KAPALNÝCH KRYSTALŮ

Základní dělení kapalných krystalů je na dva druhy podle toho, jakým způsobem mohou vzniknout mezofáze. První z nich se nazývá lyotropní a druhý termotropní.

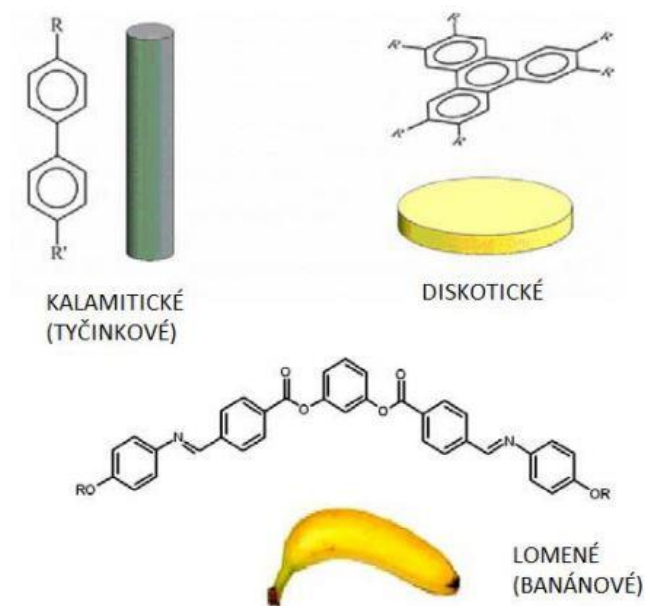
Lyotropní kapalně krystalové krystaly jsou krystaly vzniklé při rozpouštění látek ve vodě nebo jiných roztocích (např. roztok mýdla). Obsah vody se pohybuje okolo 90 %. Stabilita mezofáze lyotropních krystalů je více závislá na koncentraci roztoku než na jeho teplotě. Tento druh krystalů je spíše v zájmu biologů. Znakem charakterizujícím termotropní kapalně krystalové krystaly je molekulární struktura, která je tvořena minimálně ze dvou různých složek. Jednou z částí je obvykle aromatický zbytek, který tvoří jádro. Druhá část obsahuje dlouhé řetězce, které jsou flexibilní. Díky tomuto seskupení je možné tání, docházejícímu v mezofázi. Vznik mezofáze u termotropních krystalů je závislý

na teplotě. Od určitého teplotního intervalu se látka začíná chovat jako kapalina. To nastane v okamžiku, kdy dojde k rozbití mezofázové struktury v důsledku zvýšeného tepelného pohybu zapříčiněného dosažením kritické teploty. V případě ochlazování této látky dojde k její krystalizaci. Mezi těmito dvěma stavy se pak struktura mezofáze vyskytuje v několika formách – nematická, chirální a smectická. Tyto formy se od sebe liší tím, jakou orientaci vůči sobě zaujímají jednotlivé molekuly. Nejčastěji se vyskytující je nematická forma, která je tvořena jedním směrem orientovanými protáhlými molekulami. Smectická fáze se vyskytuje za nižších teplot a struktura je uspořádána do vrstev. Kvůli těmto vrstvám dochází k tečení v rovině. Kapalné krystaly, které se vyskytují v chirální mezofázi mají spirálovitou strukturu pravotočivého nebo levotočivého charakteru. Uspořádání molekul je znázorněno na Obr. 2.6. [20]



Obr. 2.6: Formy mezofáze: a) chirální, b) smectická, c) nematická [20]

Termotropní kapalné krystaly je možné rozřadit podle toho jaký tvar má molekula do tří skupin – tyčinkové (kalamitické), diskovité (diskotické), banánovité (lomené). [20]



Obr. 2.7: Tvary molekul termotropních krystalů [20]

Každá skupina se vyznačuje svými specifickými vlastnostmi. Většina kapalně krystalických fází je tvořena molekulami tyčinkovitého tvaru, které mají jednu osu výrazně délkově odlišnou než další dvě osy. Diskovité molekuly mají na rozdíl od tyčinkovitých molekul jednu osu výrazně kratší. [20]

K nejdéle známým patří tyčinkovité kapalné krystaly. Jejich výskyt je znám více než sto let. Od roku 1977 se vědci zabývají výzkumem diskovitých tvarů molekul a až od roku 1996 se rozvíjí výzkum banánovitých kapalných krystalů. [20]

2.8 VÝSKYT KAPALNÝCH KRYSTALŮ

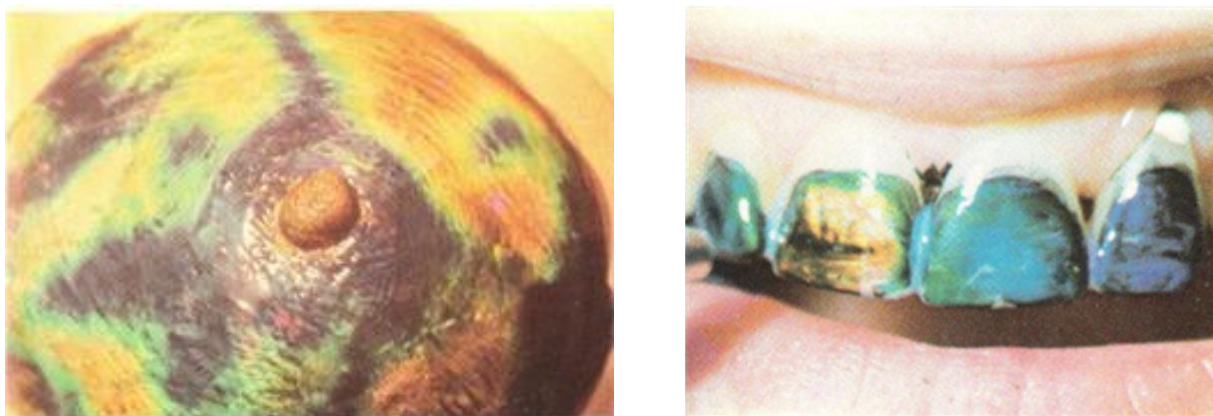
Kapalné krystaly jsou biologické sloučeniny, jejichž zastoupení je zejména v živých organismech v podobě buněčných membrán – rostlinné tkáně, svaly, kosti. Rostliny a živočichové jsou tedy ve své podstatě tvořeny tekutými krystaly, což objasňuje i schopnost evoluce. Právě citlivost těchto krystalů na změny vnějších podmínek vedly k tomu, že se živé organismy dokázaly přizpůsobovat během vývoje naší planety. [4]

2.9 VYUŽITÍ KAPALNÝCH KRYSTALŮ

V dnešní době se kapalné krystaly využívají na různých místech. Například v lékařství sloužily k vyšetření rakoviny, kdy se nanasly na zkoumanou část a podle zbarvení lékaři dokázali odhadnout možnost výskytu rakovinotvorného nálezu. Teplotní rovnováhu lidského těla dokáží rozhodit i další jevy, jako jsou například záněty anebo otoky. Příklady aplikace v lékařství jsou zobrazeny na obr. 2.8. [19]

Další sférou, ve které se tyto krystaly užívají je zobrazovací technika. Zpočátku se kapalné krystaly začaly užívat v kalkulačkách, dále pak v mobilních telefonech, budících, hodinkách a v obrazovkách počítačů a televizorů známé pod názvem LCD. Taktéž dekorativní předměty měnící barvu obsahují právě tepelné krystaly, kdy díky změně teploty daného předmětu se zbarvují a vytvářejí tak krásný vizuální efekt. Krystaly na bázi cholesterolu našly své využití v kosmetice, kde se například v podobě gelu nanáší v okolí očí a vytvořený efekt je tak velice vzhledově přitažlivý. [9]

LCD technologie však není jediná, která se dnes užívá například u obrazovek. Existuje již častěji se vyskytující technologie AMOLED³⁾, v níž jde o to, že každá jednotlivá dioda vyzařuje svou barvu a následně pak společně dokáží vytvořit ucelený obraz. Technologie se od sebe liší také cenou, přičemž AMOLED je výrazně dražší než LCD, a tudíž větší část společnosti prozatím upřednostňuje užívání LCD. [9]



Obr. 2.8: Výskyt rakovinotvorného nálezu prsu (vlevo) a poškození zubu (vpravo) [19]

³⁾ AMOLED – Active Matrix Organic Light Emitting Diode

2.10 CHROMISMUS

Chromismus je děj, při kterém dochází k vratné nebo nevratné změně barvy materiálu. Tato změna však není nahodilá, ale je vyvolávána různými stimuly. Podle toho, jaký podnět změnu vyvolá, je možné chromismus rozdělit do několika typů skupin, které jsou uvedeny v následující tabulce. [24]

Typ	Stimul	Indikace
Termochromismus	Změna teploty	Indikace teploty
Hygrochromismus	Změna vlhkosti	Indikace vlhkosti
Chemochromismus	Změna barvy při kontaktu s chemikálií	Indikace chemikálií, jedů, chemických bojových látek
Elektrochromismus	Elektrické napětí	Indikace napětí
Piezochromismus	Působení tlaku	Indikace tlaku
Fotochromismus	Elektromagnetické záření	Indikace UV, VIS a NIR záření
Halochromismus	Změna pH	Indikace pH

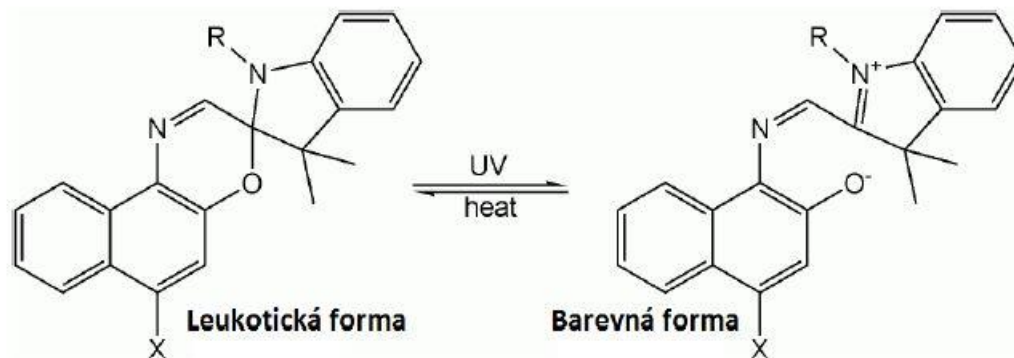
Tab. 2.3: Druhy chromismu [24]

2.10.1 TERMOCHROMISMUS

J. H. Day definoval termochromismus jako „znatelnou reversibilní barevnou změnu způsobenou bodem varu tekutiny, bodem varu rozpouštědla v případě roztoku nebo bodem tání u pevných látek.“ [1, 24]

Tento jev spočívá v odražení elektromagnetického záření od látky, přičemž změna vlnové délky tohoto záření, a tedy i viditelná změna barevného odstínu, je závislá na teplotě. Termochromismus mohou vykazovat různé materiály, které se v této oblasti podle specifických vlastností dělí do dvou základních skupin, a to na leuko barviva a kapalné krystaly, které jsou již zmíněny v předchozích kapitolách. V případě leuko barviv se jedná o látku, která je na základě změny vnějšího stimulu schopna měnit svoji formu

z průhledné (leukotické) na barevnou. Je známý výskyt těchto změn jak vratných, tak i nevratných. Děj, při kterém dochází ke změně struktury je znázorněn na obrázku 2.9. [24]

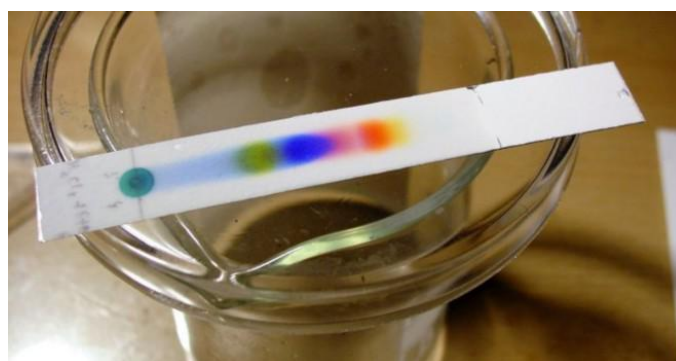


Obr. 2.9: Změna struktury z leukotické na barevnou formu [24]

Využití leuko barviv pro určování teploty je však oproti tekutým krystalům nevhodné z toho důvodu, že leuko barviva nejsou schopna tak diskrétních přechodů. Jednou z možných aplikací je například indikace správného vychlazení nápoje. Jedná se tedy spíše o indikaci stavu než o relevantní určení teploty. [24]

2.11 CHROMATOGRRAFIE NA TENKÉ VRSTVĚ

Chromatografie na tenké vrstvě je dělicí metoda, při které dochází k oddělování dvou různých složek ve směsi. Princip spočívá na základě různé pohyblivosti obou fází. Jedna z nich se nazývá stacionární (zakotvená) a druhá mobilní (pohyblivá). Stacionární fáze může být tvořena pevnou látkou (papír, SiO₂, Al₂O₃, destička pokrytá silikagelem) a mobilní tvoří organické rozpouštědlo nejčastěji kapalina popřípadě plyn. [7]



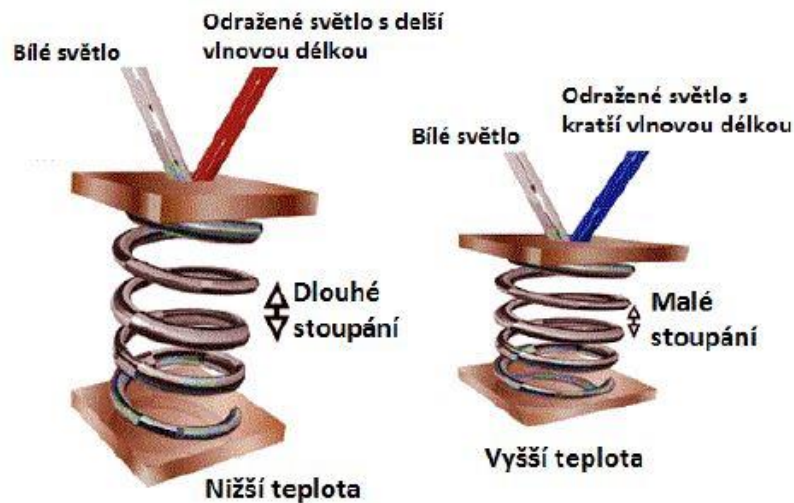
Obr. 2.10: Rozložení složky černého inkoustu [20]

2.12 TERMOCHROMATICKÉ KAPALNÉ KRYSTALY

Termochromatické kapalné krystaly (TLC) jsou sloučeniny organických chemikálií. TLC se vyznačují schopností opticky reagovat při ozáření bílým světlem. Podnětem k tomu, aby došlo ke změně barvy odrážené od vrstvy TLC může být například, jak již bylo zmiňováno, změna teploty nebo úhel dopadajícího světla, kterým TLC ozařujeme. Díky tomu, že tato vlastnost je opakovatelná a reverzibilní, nám umožňuje přímo kalibrovat barvu TLC jako funkci teploty. Na druhou stranu je opakovatelnost těchto barevných změn možná tak dlouho, dokud nedojde k fyzikálnímu nebo chemickému poškození chromatografie na tenké vrstvě. [20]

2.13 PRINCIP ZMĚNY BAREVNÉHO ODSTÍNU KRYSTALU

Jednou z možností, jak docílit přechodu mezi barevnými odstíny kapalného krystalu je jeho teplota. Se změnou teploty dochází k tomu, že molekuly krystalu konají větší tepelný pohyb. To má za následek natáčení direktoru a změnu stoupání šroubovice. Direktor je směr, kterým jsou orientovány optické osy molekul. Tím se změní vzdálenost mezi jednotlivými molekulami. Část bílého světla, která dopadá na krystal se odrazí a další část se po průchodu krystalem polarizuje a odrazí se zpět od druhé strany krystalu. Barevný odstín, který můžeme poté pozorovat, je výsledkem interference obou odražených paprsků. Při nízkých teplotách se vzdálenost zmenšuje. Interferencí poté vznikne záření, které má kratší vlnovou délku, což představuje ve viditelném spektru záření červenou barvu. Naopak zahříváním se vzdálenost zvětší a pozorovaný objekt se jeví jako modrý. Paradoxem je obecně používaný pojem „teplá a studená barva“, kdy teplá barva odpovídá červenému odstínu a studená odstínu modrému. [21]



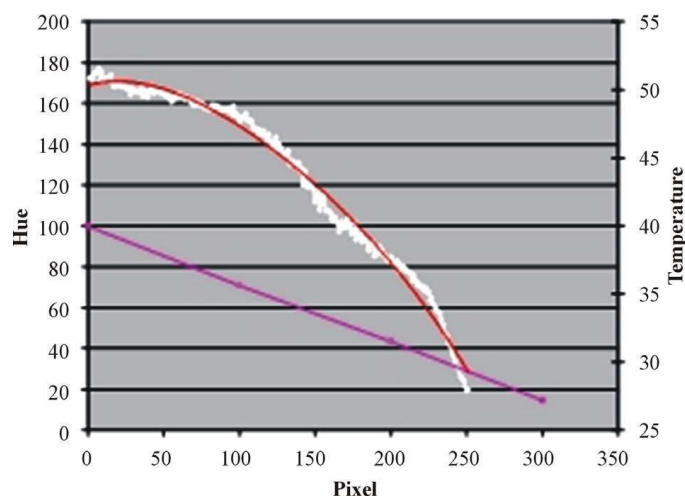
Obr. 2.11: Vliv teploty na vlnovou délku odráženého světla [21]

2.14 KALIBRAČNÍ METODY

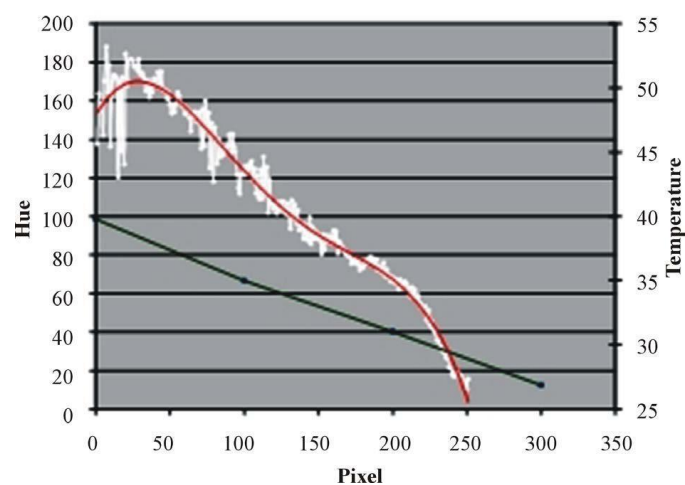
2.14.1 KALIBRAČNÍ DESKA

Jednou z možností, jak kalibrujeme TLC, je použití kalibrační desky. Kalibrační experiment provedli autoři Stasiek, Jewartowski a Kowalewski (2013). Jedná se o desku, která je z mosazného plechu, na jejímž povrchu jsou naneseny tekuté krystaly. Deska je z jedné strany ochlazována stabilním proudem vody a ze strany druhé je ohřívána pomocí elektrického proudu. Tím se docílí lineárního rozložení teploty po celé délce kalibrační desky. Takto připravená deska je poté vložena do aerodynamického tunelu, kde je osvětlována bílým světlem a zaznamenávána barevnou RGB kamerou. Ze získané série snímků je pak možné ke každému odstínu přiřadit příslušnou povrchovou teplotu.

Reprezentativní kalibrační křivky včetně Hue a rozložení teploty podél kalibrační desky jsou uvedeny v obrázcích 2.13 a 2.14. Analýza kalibračních křivek ukázala, že při TLC měření je vhodnější pro osvětlení použít halogenové žárovky. Na obrázku č. 2.13 je kalibrační křivka vykreslena při osvětlení wolframovou lampou, kde jsou vidět větší nerovnosti a výsledek kalibrace by tak mohl být ovlivněný.[19]



Obr. 2.12: Kalibrační křivka – osvětlení halogenovou žárovkou [19]

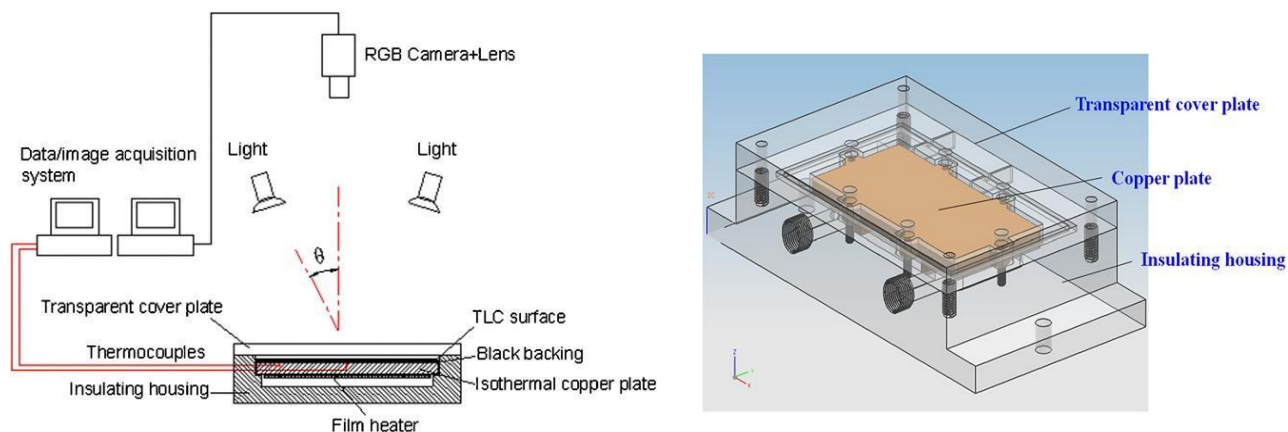


Obr. 2.13: Kalibrační křivka – osvětlení wolframovou lampou [19]

2.14.2 IZOTERMICKÁ KALIBRACE

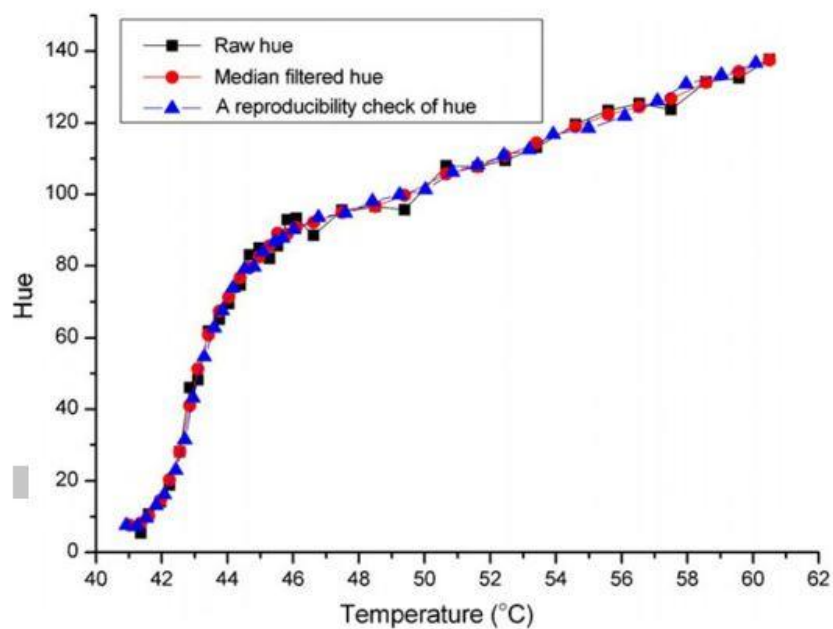
Autoři Rao a Zang (2010) vymysleli zařízení a postup pro rychlou a spolehlivou kalibraci TLC. Kalibrační experimentální systém je složen z polykarbonátového bloku s nízkou tepelnou vodivostí, aby byly zajištěny co nejvíce izotermické podmínky. Do bloku je uchycena měděná destička s vrstvou krystalů. Krycí průhledná deska je pak odsazena 2 mm od vrstvy krystalů. Předešli tak tím možnému ovlivnění mezi krycí deskou a vrstvou TLC. K ohřevu vrstvy byly použity dva přesně kalibrované termočlánky. Pro osvětlení autoři vybrali dvě 18W žárovky a pro záznam využili RGB kameru Hitachi 3CCD. Kalibrační experiment byl proveden v rozmezí teplot 41°C až 61°C a poté i pro

různé úhly osvětlení a různé tloušťky povlaku TLC. Experimentální zařízení je uspořádáno podle obrázku níže.



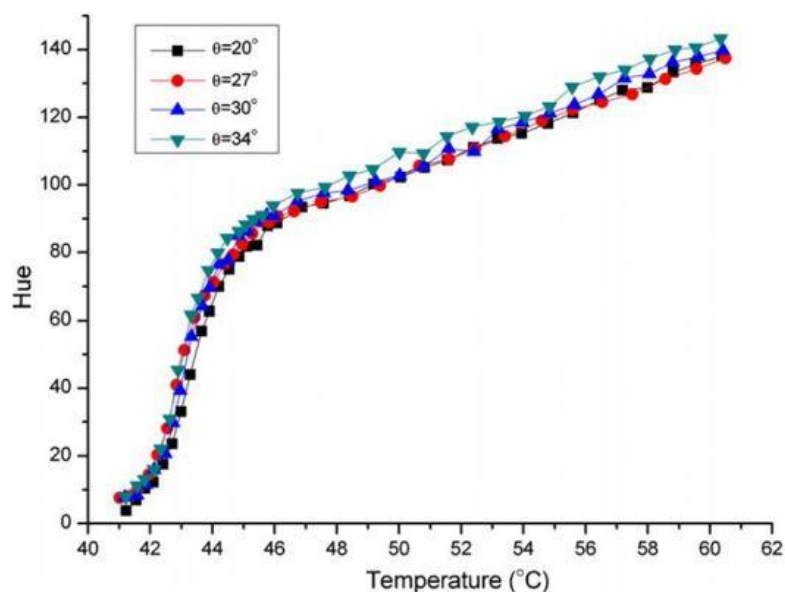
Obr. 2.14: Schéma experimentu [17]

Výsledky experimentu obou autorů jsou znázorněny v grafech.



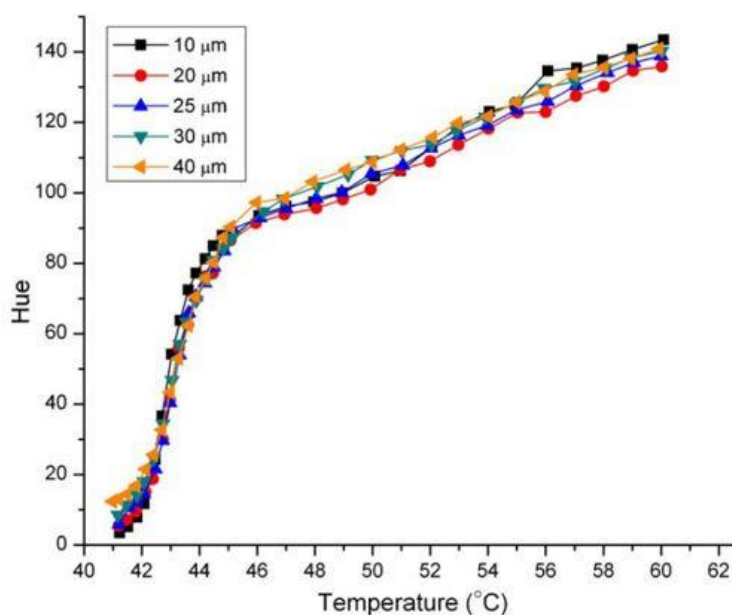
Obr. 2.15: Závislost teploty na odstínu krystalů [17]

V následujícím grafu je znázorněn průběh odstínu v závislosti na teplotě.



Obr. 2.16: Závislost teploty na odstínu krystalů při změně úhlu osvětlení [17]

V grafu 2.16 je znázorněn průběh kalibrační křivky, který je zaznamenán pro každý zvolený úhel, pod kterým je vrstva TLC osvětlována. Z charakteristiky je zřejmé, že úhel dopadu má pouze nepatrný vliv na výsledný odstín barvy.



Obr. 2.17: Závislost teploty na odstínu krystalů při změně tloušťky povlaku TLC [17]

Autoři zkoumali také vliv tloušťky TLC a dospěli k závěru, že se opět křivky rozcházejí pouze nepatrně, což znamená že není potřeba přesně znát tloušťku naneseného povlaku. [17]

KAPITOLA 3

EXPERIMENTÁLNÍ MEŘENÍ

3.1 SESTAVENÍ APARATURY

Sestavení aparatury začalo přípravou desky, na kterou následně byly umístěny všechny komponenty. Deska byla vyrobena z ohraněného plechu o tloušťce 2 mm. Předběžný návrh rozložení jednotlivých komponentů byl narýsován na pracovní desku.

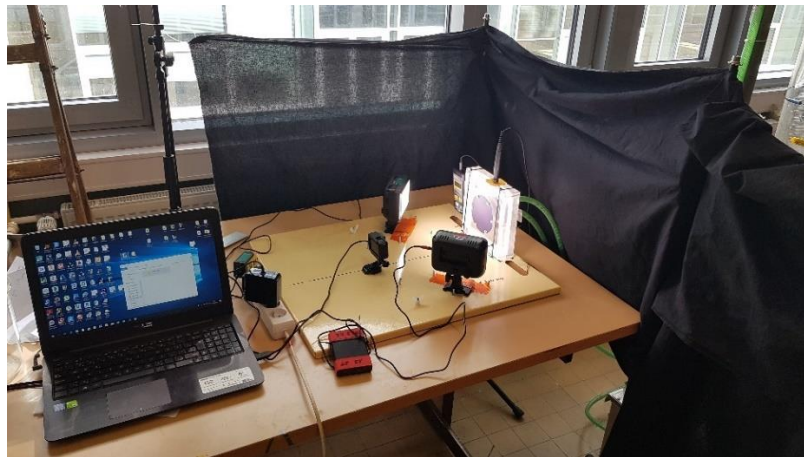
V první řadě bylo potřebné připevnit již připravenou nádobu pro sdílení tepla s vrstvou TLC. K uchycení plně postačilo vyvrtat do desky čtyři otvory o průměru 5 mm, kterými se protáhly stahovací pásky o šířce 3,6 mm, jimiž se nádoba upevnila.

K přívodu a odvodu cirkulující vody přes termostat a nádobu se využily dvě PVC hadice. V zadní stěně nádoby byl pro napojení vyroben závit G 1/2, do kterého se poté zašrouboval hadicový trn.

Kamera pro záznam fotografií během experimentu byla připevněna pomocí držáku. Čočka kamery byla přímo ve směru středové osy, a to z toho důvodu, aby bylo zamezeno nežádoucí změně barvy vrstvy TLC, která se mění v závislosti na úhlu pohledu. Mezi kamerou a vrstvou krystalů byla stanovena vzdálenost 400 mm. Bylo tak zajištěno zaznamenání nejen sledovaného chování krystalů, ale i teploměru s hodnotou teploty ohřívací vody, při které daná fáze měření probíhala.

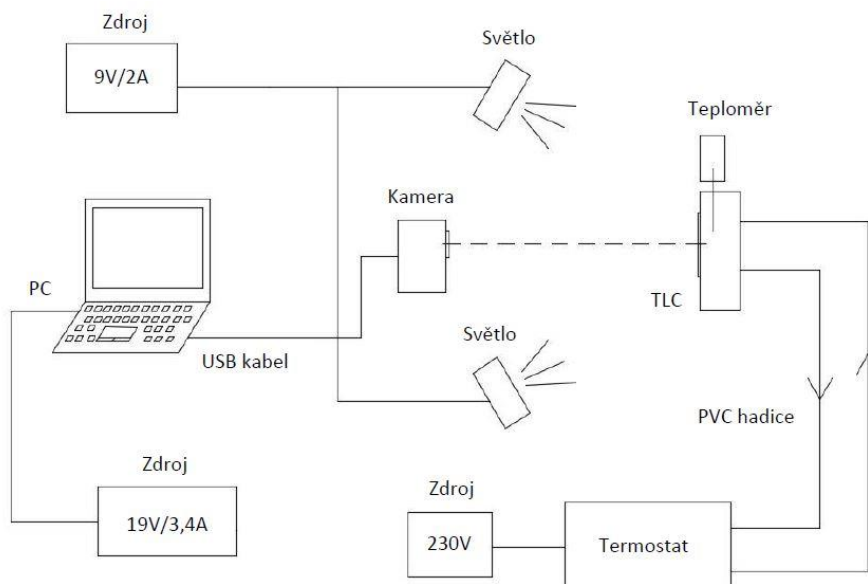
Umístění světel bylo zvoleno tak, aby se co nejvíce docílilo rovnoměrného osvětlování vrstvy TLC. Jelikož ve středové ose je již pro snímání barvy krystalů nainstalovaná kamera, musí se zvolit jiné uspořádání daných světel. Jedním způsobem vhodného rozložení bylo symetrické umístění těchto dvou světel podél osy. Světla byla umístěna ve vzdálenosti 250 mm v úhlu 45° od středu měřícího terče. K upevnění světel se využila lepicí páska, která pro toto řešení byla dostačující.

Průběh měření by mohl být ovlivněn světelným zářením z okolí, a proto byla aparatura izolovaná černou látkou, která propustí jen minimální množství světla.



Obr. 3.1: Sestavení měřící aparatury

Jednotlivé komponenty jsou zapojeny dle schématu níže.



Obr. 3.2: Schéma zapojení aparatury při experimentálním měření

3.2 ZAŘÍZENÍ

Termostat



Obr. 3.3: Zařízení k ohřevu vody s nastavitelnou teplotou [22]

K ohřevu vody bylo vybráno zařízení LAUDA Ecoline RE 104 s termostatem LAUDA E100 k nastavení požadované teploty.

Tepelný výkon tohoto zařízení je 1,5 kW. Maximální teplota, která lze nastavit je 150 °C, což plně postačuje pro účely tohoto experimentu. Požadované teploty dosáhneme ručním laděním, přičemž krokování je po 0,1 °C. Termostat Lauda E100 je vybaven bezpečnostním systémem automatického vypnutí, pokud dojde k přehřátí ohřívaného media nad maximální teplotu 150 °C, nebo z důvodu nedostatku tohoto media.

Teploměr

Pro přesnější změření teploty v blízkosti vrstvy TLC byl použit teploměr Greisinger GMH 175 Pt1000.



Obr. 3.4: Teploměr Greisinger GMH 175 Pt1000 [25]

Jedná se o univerzální teploměr vhodný pro měření teplot v plynech a kapalinách. Měřidlo pracuje v rozmezí teplot od $-199,9\text{ °C}$ do teploty $199,9\text{ °C}$. Základní přesnost teploměru je $(\pm) 0,1\text{ °C}$. K teploměru GMH 175 je možné připojit všechna teplotní čidla Pt1000 s 3,5 mm propojovacím konektorem.

Osvětlení

Jako zdroj světelného záření bylo vybráno LED světlo YN1410. Tento typ osvětlení je vhodný pro měření, díky své vysoké účinnosti, kdy tedy dodávaný výkon není z velké části přeměněn v teplo. Zároveň je možné regulovat světelný tok od 1/16 do 1/1 světelného výkonu, který je v rozmezí 1000 až 2280 Lumenů. Barevná teplota diod je 5500 K. Světlo je možné napájet několika způsoby. Jedním z nich je externí napájecí zdroj DC 7.2 – 9V / 2A.



Obr. 3.5: LED světlo YN1440 [15]

Kamera

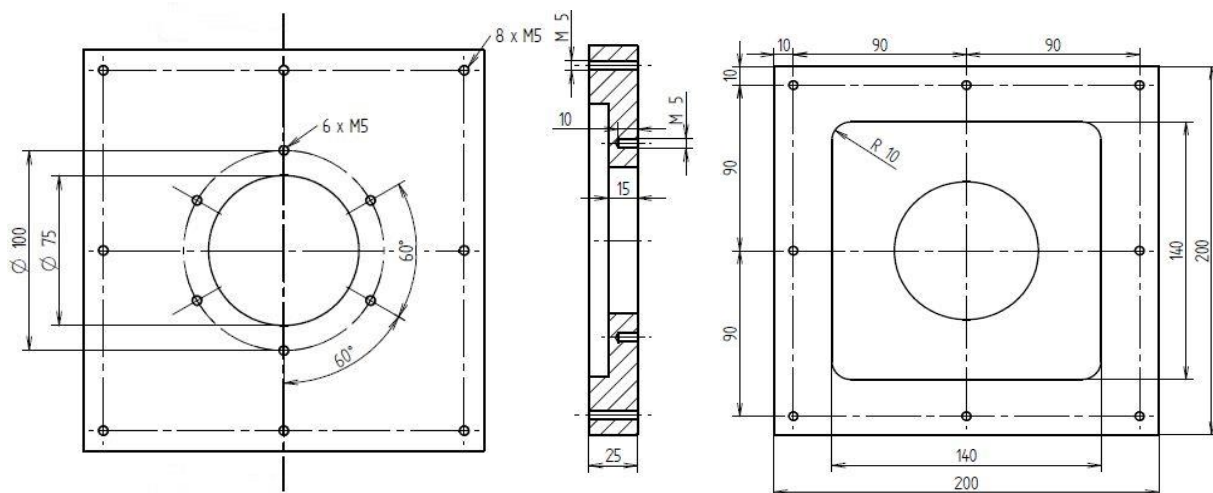
K zaznamenání barev vrstvy TLC byla aplikována kvalitní outdoorová kamera GoPro Hero 5 Black, která má maximální rozlišení fotografie 12MP, světelnost objektivu f/2,8 a úhel záběru 170°. Zařízení je vybaveno snímacím čipem typu CMOS. Tento senzor je schopen přenášet data z každého zaznamenaného bodu samostatně, zatímco jiné snímače jsou schopny zpracovávat data jen po řádcích. Ukládání fotografií je možné ve formátech JPEG a RAW. Kamera je dodávána s příslušenstvím včetně více druhů držáků, které umožní snazší uchycení do experimentální aparatury. Zabudovaná technologie Wi-Fi a Bluetooth se současným použitím vlastního ovládacího softwaru pro chytrá zařízení s operačním systémem Android poskytuje možnost snadného zachycení a automatického uložení fotografie. Přenos dat mezi kamerou a počítačem je umožněn pomocí USB kabelu, který je zároveň možné použít pro napájení.



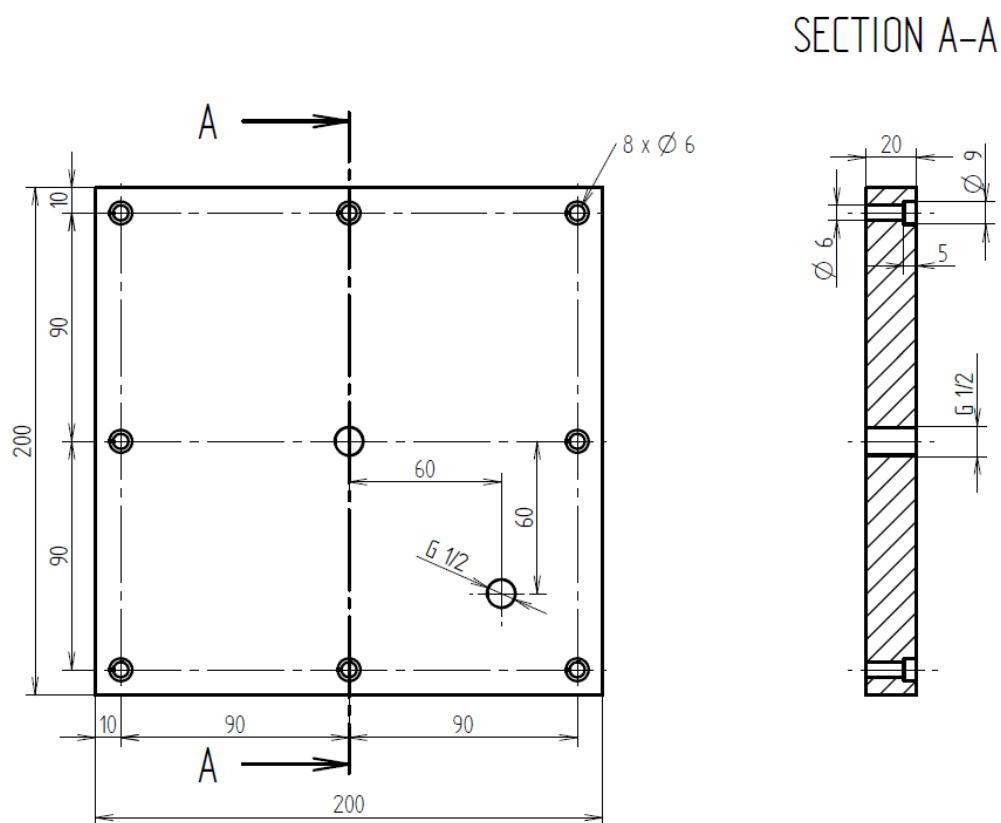
Obr. 3.6: Kamera GoPro Hero 5 Black [5]

Polykarbonátové tělo

Polykarbonátové tělo je vytvořeno ze dvou hlavních částí. Přední stěna slouží k uchycení plechu s vrstvou TLC a zadní strana má hrdla pro přívod ohřívacího média.



Obr. 3.7: Přední část polykarbonátového těla

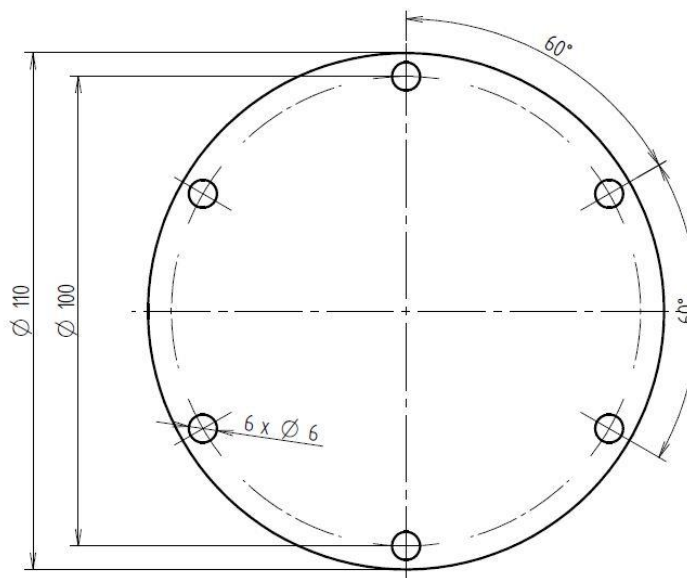


Obr. 3.8: Zadní část polykarbonátového těla

3.3 PŘÍPRAVA VRSTVY TLC

Na tenký pozinkovaný plech o tloušťce 1 mm byla v jedné vrstvě nastříkána černá matná barva (RAL 9005M). Následně po zaschnutí byla nanášena barva v sedmi vrstvách o objemu přibližně 2,5 ml obsahující TLC. Nanášení bylo prováděno střídavě

v horizontálním a vertikálním směru, které mělo docílit co nejvíce rovnoměrné uspořádání krystalů a nedocházelo tak k ovlivnění samotného měření. Časový interval mezi nanášením jednotlivých vrstev byl třicet minut. Jelikož akrylové barvy rozpouštějí TLC, nebyl přes poslední vrstvu krystalů nanesen ochranný nátěr a ani jiná krycí vrstva.



Obr. 3.9: Měřicí plíšek s vrstvou TLC

3.4 POSTUP MĚŘENÍ

Experiment byl proveden v laboratoři na Ústavu procesní a zpracovatelské techniky v budově ČVUT v Dejvicích. Předmětem byla kalibrace TLC.

Příprava experimentu probíhala následovně. Nejprve byl naplněn okruh s cirkulující vodou na optimální hladinu, která zajišťuje náležitý oběh media. Při nedostatku vody by také mohlo dojít k přehřátí termostatu. Správné ohřívání vrstvy TLC je předpokladem pro korektní vyhodnocení celého experimentu. Poté byla zapojena světla do síťového zdroje elektřiny.

Sledování změn barev probíhalo v rozmezí teplot 22,3 °C až 30,3 °C. Z důvodu rychlejšího průběhu experimentu byla počáteční teplota 22,3 °C, jelikož se očekával začátek aktivity krystalů právě v okolí této hodnoty a následně byla teplota zvyšována po 1 °C. Pro každou teplotu byly nastavené čtyři intenzity osvětlení ovládané pomocí otočného potenciometru. Úroveň osvětlení byla signalizována čtyřmi červenými LED kontrolkami.

Na každé fotografii je uvedeno číslo, které odpovídá určité intenzitě světla, přičemž č. 1 odpovídá nejnižší intenzitě, a naopak nejvyšší intenzitě odpovídá č. 4. Mezi jednotlivými změnami teplot bylo nutné setrvat jednu až dvě minuty pro ustálení hodnoty na teploměru. Poté bylo možné provést záznam kamerou, která byla ovládána pomocí aplikace. Nedošlo tak k nežádoucímu pohybu kamery a tím k ovlivňování experimentu.

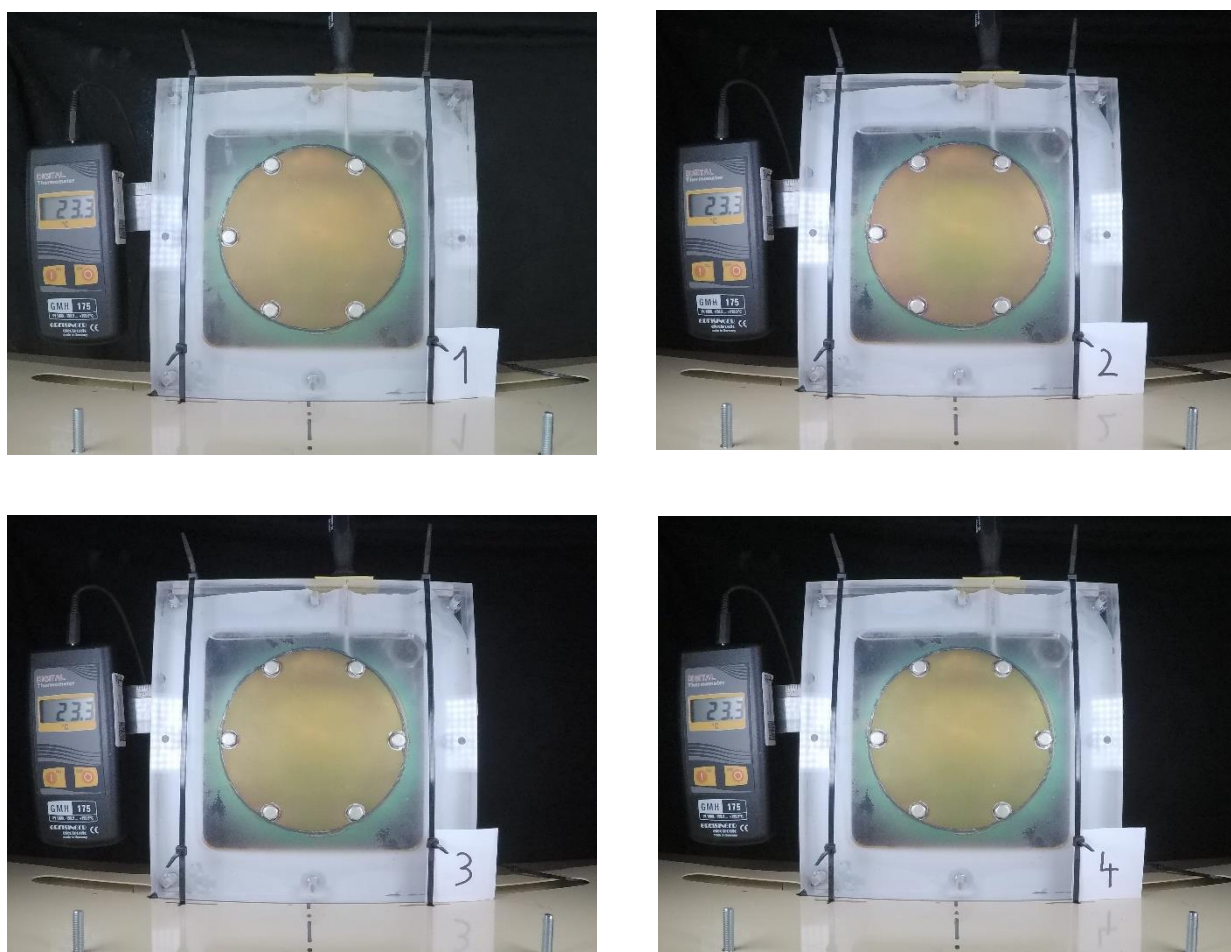
KAPITOLA 4

ZPRACOVÁNÍ DAT

Pro zpracování a vyhodnocení dat byl použit program MATLAB, který je schopný pracovat se soubory typu .jpg a dále pomocí svých funkcí analyzovat tyto objekty.

4.1 UKÁZKA POSTUPU MĚŘENÍ A VÝSLEDKY

V následujících stránkách je zobrazena část výzkumného měření, která je popsána v kapitole 3.4. Na čtyřech snímcích je pro vybranou teplotu 23,3°C postupně měněna intenzita osvětlení od nejnižší úrovně 1 až po nejvyšší úroveň 4.



Obr. 4.1: Vliv změny intenzity osvětlení na odstín barvy

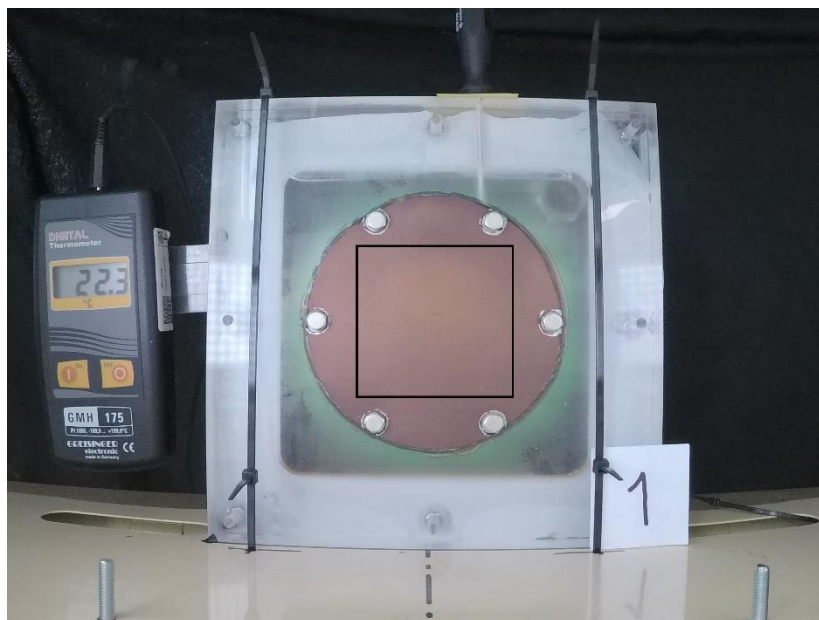
Pouhým pohledem oka změna odstínu barvy při změně intenzity osvětlení nelze pozorovat, což vede k předpokladu, že intenzita světla nehraje na zbarvení žádnou roli.

Pro přesvědčení o pravdivosti bylo však zapotřebí provést výzkum a následnou analýzu fotografií.

4.2 NAHRÁNÍ FOTOGRAFIE A VÝBĚR OBLASTI

Kapitola popisuje jednotlivé snímky a grafy vytvořené v programu MATLAB.

Kód v MATLABU začíná příkazem „clear all“, který slouží pro smazání všech proměnných. Po zaznamenání potřebných fotografií se pomocí funkce „imread“ nahraje požadovaný soubor. Skript vybere všechny soubory s příponou *.jpg ve složce, dále jim přiřadí název „a“ a přiřadí index, který odpovídá danému číslu snímku. Jelikož fotografie obsahuje nejen zkoumanou plochu, kde chceme vyhodnocovat barvu, ale také okolí, je nutné tuto oblast přesně definovat. To je uskutečněné pomocí příkazu „field = foto(1150:1950,1700:2500,:)“, který vybere pouze čtvercové pole o rozměrech 800x800 pixelů. Poslední dvojtečka v závorce znamená, že program má vzít všechny RGB kanály. Výběr oblasti je znázorněný na obr. 4.2.



Obr. 4.2: Výběr oblasti fotografie

4.3 PŘEVOD RGB DO HSV

RGB a HSV jsou různá vyjádření barev. V případě RGB je model složen ze tří základních barev: R-červená, G-zelená, B-modrá. Zastoupení jednotlivých složek je vyjádřeno hodnotou v rozmezí 1 až 255. Kombinací červené, zelené a modré vznikne výsledná barva, kterou můžeme pozorovat. HSV je barevný model skládající se taktéž ze tří složek: **H**ue-odstín, **S**aturation-sytost barvy, **V**alue-hodnota jasu.

Převod z RGB na HSV, se kterým poté MATLAB dále pracuje, je možný pomocí příkazu „color = rgb2hsv(foto2);“. Následným příkazem „hue = color(:,1);“ získáme informaci o barvě, která je obsažena v první vrstvě a dostaneme tak číselnou hodnotu barvy každého snímaného pixelu.

Celý MATLAB kód s automatickým nahráváním fotografií ze složek a vykreslením kalibrační křivky je uvedený níže.

Skript v MATLABU

```
1 clear all; format compact; clc
2 number = dir('*.jpg');
3 number=length(number);
4 a=dir('*.jpg');
5 for i=1:number
6     file=a(i).name;
7     [name,ext]=fileparts(file);
8     temp(i)=str2num(ext)/10;
9     foto = imread(file);
10    field=foto(1150:1950,1700:2500,:);
11    color=rgb2hsv(field);
12    hue=color(:, :, 1);
13    huem(i)=mean(mean(hue))*360;

14 end
15 plot(temp,huem,'k.')
16 xlabel('temperature (^o C)');
17 ylabel('hue value (deg)');
18 table(transpose(temp),transpose(huem))
```

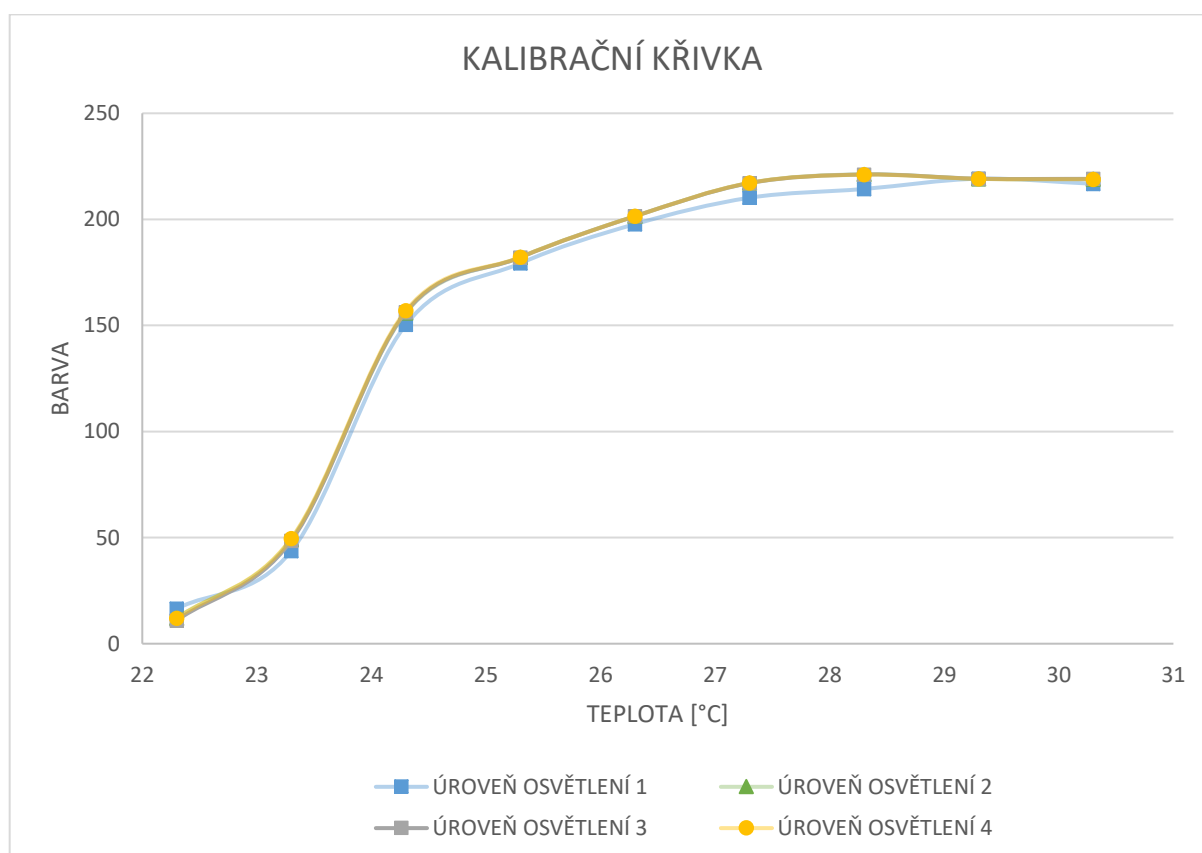
4.4 KALIBRAČNÍ KŘIVKA

Ze získaných dat byla vykreslena kalibrační křivka pro rozmezí teplot od 22,3°C do 30,3°C. Kalibrační křivka je v tomto případě závislost teploty na barvě odstínu. Jednotlivé hodnoty teploty a k ní přiřazená čísla odstínu jsou vypsané v tabulce 4.1.

TEPLOTA [°C]	ÚROVEŇ OSVĚTLENÍ			
	1	2	3	4
	BARVA			
22,3	16,472	12,084	10,989	11,953
23,3	43,639	49,139	48,523	49,58
24,3	150,37	155,95	156,28	156,94
25,3	179,28	182,16	182,07	182,21
26,3	197,75	201,51	201,47	201,48
27,3	210,2	217,18	217,1	217,21
28,3	214,33	221,26	221,15	221,07
29,3	219,17	219,08	219,17	219,1
30,3	216,77	219,03	219,1	218,91

Tab. 4.1: Experimentálně stanovené hodnoty barvy

Kalibrační křivky pro každou úroveň osvětlení byly z důvodu možnosti porovnání vloženy do jednoho grafu.

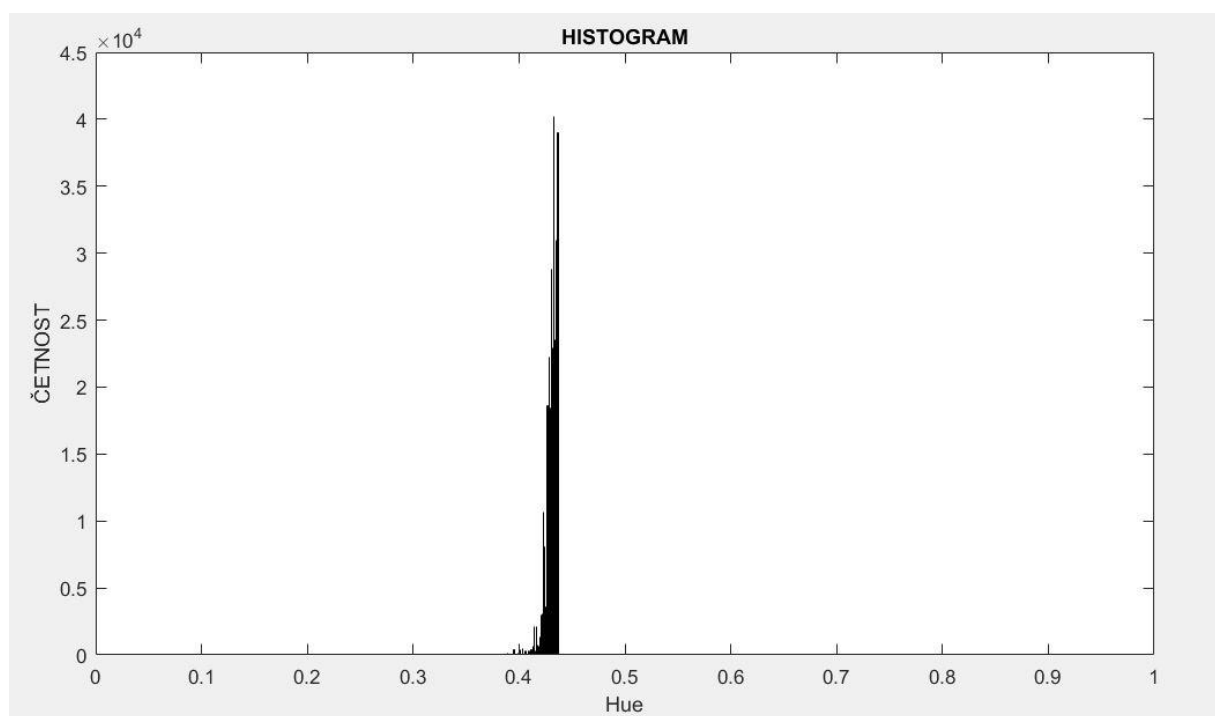


Obr. 4.2: Experimentálně stanovená kalibrační křivka

Taktéž bylo zjištěno, že intenzita osvětlení na průběh kalibrační křivky nemá výrazný vliv. Pouze v případě, kdy je úroveň osvětlení 1, což je nejnižší možná intenzita, která jde na světlech nastavit, je vidět malá odchylka od průběhů s intenzivnějším osvětlením. To však může být způsobeno volbou použitého záznamového zařízení GoPro HERO 5 Black, které má světelnost objektivu $f/2,8$ a je osazeno snímacím čipem typu CMOS. Pro jiná zařízení, která by měla lepší optické vlastnosti, by se tato odchylka mohla minimalizovat.

4.5 HISTOGRAM

Nicméně důležitou podmínkou pro to, aby TLC mohlo být využíváno pro měření teplot, je průběh histogramu. V histogramu je znázorněna četnost výskytu daného odstínu barvy. Histogramy byly vykresleny pro všechny snímky, přičemž všechny vykazují podobný průběh. Liší se pouze v hodnotě odstínu v závislosti na teplotě, pro kterou byl histogram vytvořen. Pro ilustraci je vybrán histogram snímku při intenzitě osvětlení 3 a teplotě $24,3^{\circ}\text{C}$.

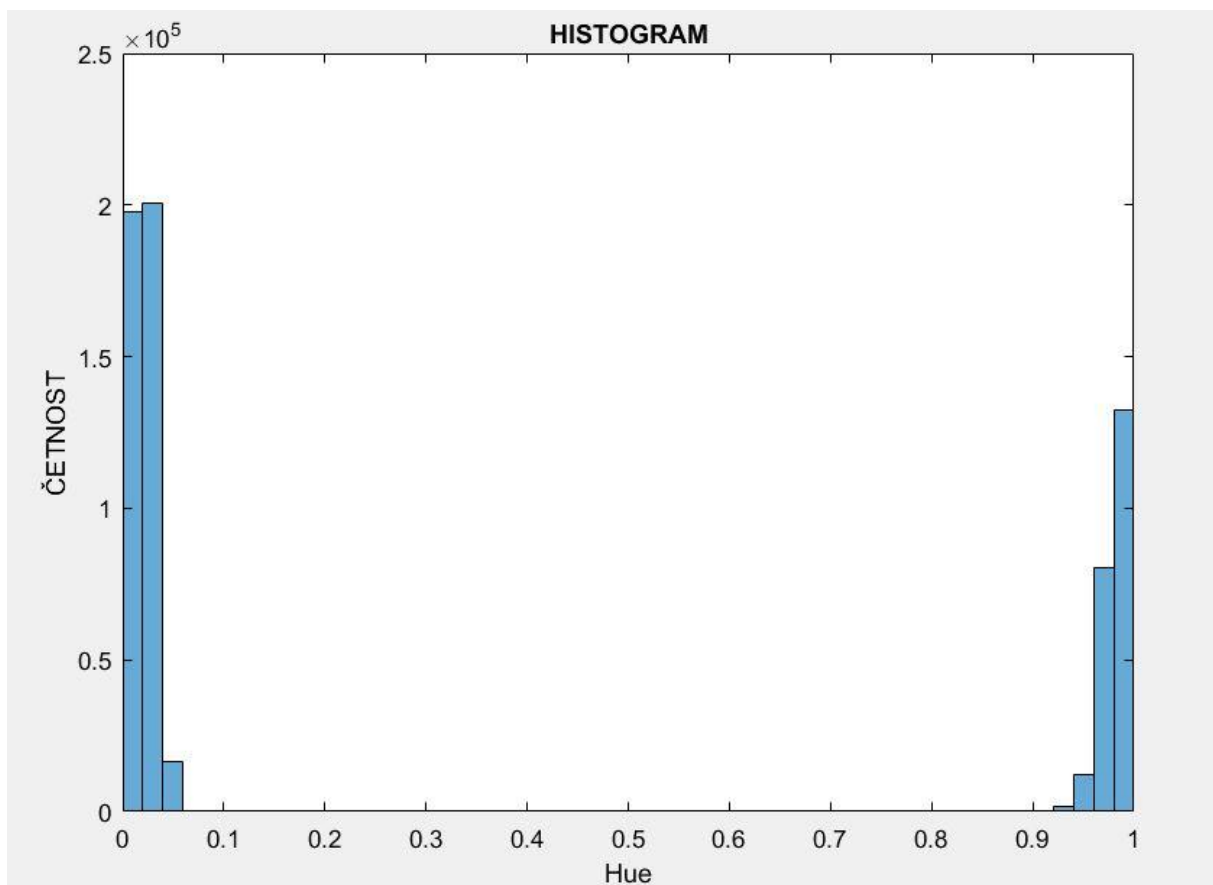


Obr. 4.3: Histogram výskytu odstínu barvy

Z tohoto průběhu je zřejmé, že výskyt určitého odstínu odráženého od vrstvy TLC je výrazně vyšší. Tento fakt je důležitý právě z důvodu, že k dané barvě je možné přiřadit příslušnou teplotu. Pokud by průběh nevykazoval tento charakter, ale bylo by zastoupené

větší množství odstínů, nebylo by pak možné dané teplotě přiřadit barvu a použití TLC pro určení povrchové teploty by tak nebylo vhodné.

Dále bylo zjištěno, že v případě, kdy je vrstva TLC ohřátá na teplotu 22,3°C je průběh histogramu následující.

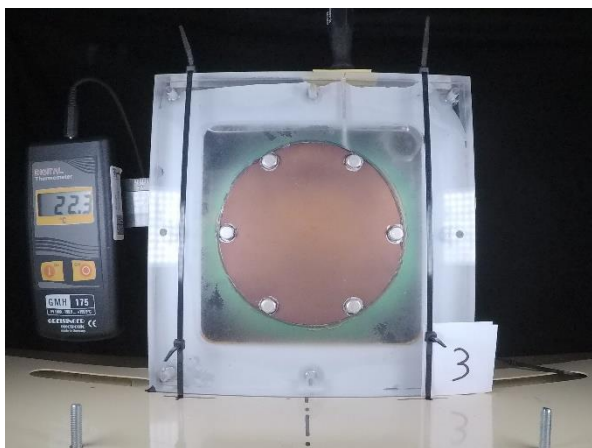


Obr. 4.4: Histogram při teplotě 22,3°C

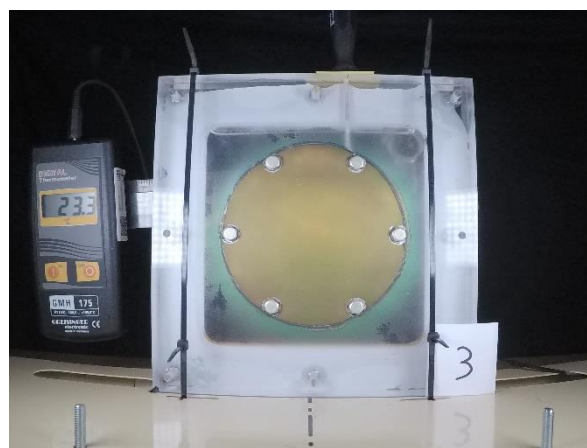
Tento průběh je možný vysvětlit tím, že při teplotě 22,3°C krystaly ještě úplně opticky nereagují na zvyšující se teplotu. Některé krystaly již začínají odrážet barvu, která je při této teplotě červená a zbylé krystaly světlo propouštějí a kamera zaznamená podkladovou barvu pod krystaly, která je černá. V histogramu černou barvu představuje hodnota odstínu blížíící se k číslu 1.

4.6 UKÁZKA ZMĚNY BARVY

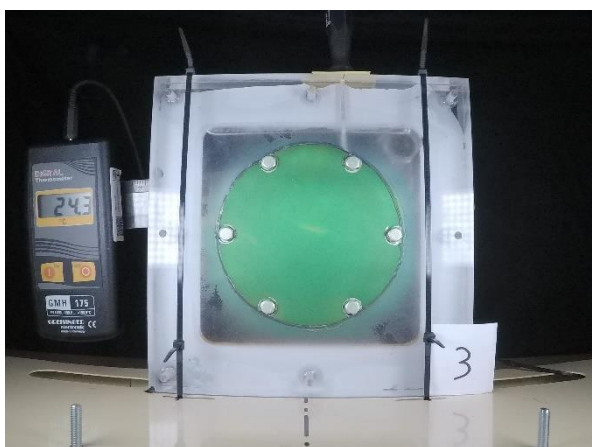
Pro lepší představu je na devíti snímcích níže znázorněno, jak se postupně mění barva odrážená od povrchu vrstvy TLC. Barva se mění od červené, která představuje nejnižší teplotu a dále se zabarvuje do zelené a následně pak přechází do modré. Odstíny modré jsou si při pohledu pouhým okem velice podobné, proto je na místě jejich analýza pomocí softwaru. Snímky byly vybrány pro intenzitu osvětlení 3. Teplota, kterou je snímek zaznamenán je vidět na teploměru po levé straně.



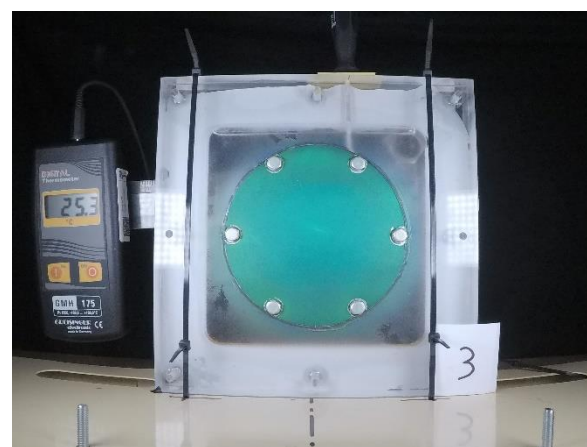
Obr. 4.5: Teplota 22,3°C



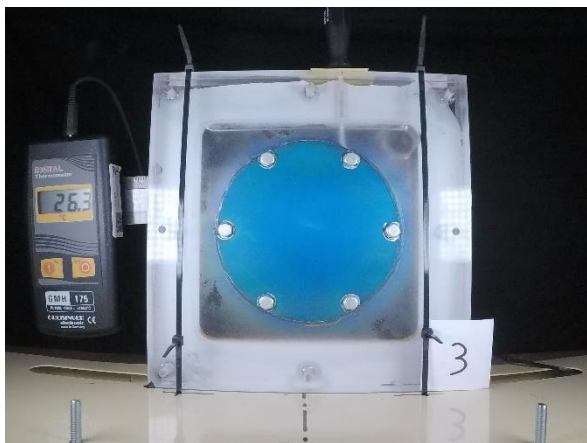
Obr. 4.6: Teplota 23,3°C



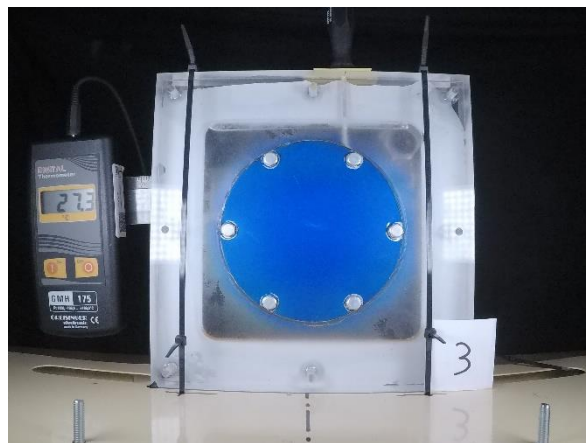
Obr. 4.7: Teplota 24,3°C



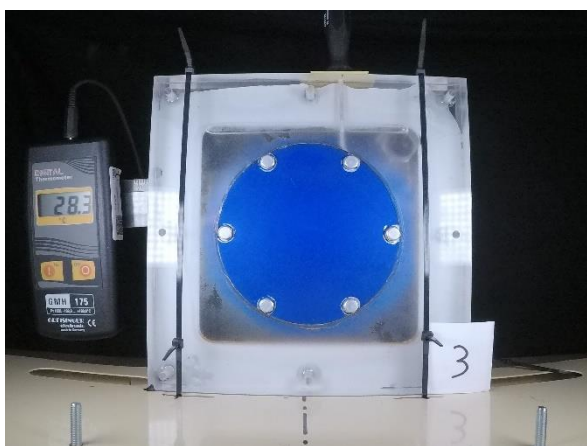
Obr. 4.8: Teplota 25,3°C



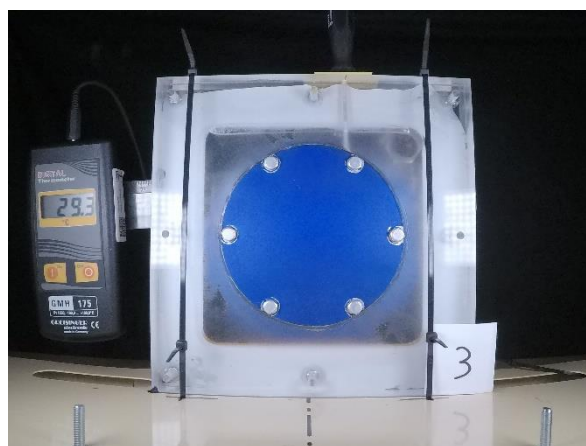
Obr. 4.9: Teplota 26,3°C



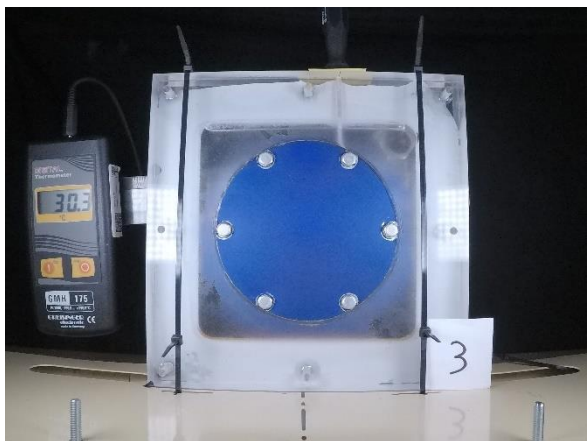
Obr. 4.10: Teplota 27,3°C



Obr. 4.11: Teplota 28,3°C



Obr. 4.12: Teplota 29,3°C



Obr. 4.13: Teplota 30,3°C

KAPITOLA 5

DOPORUČENÍ A ZJIŠTĚNÍ

Tato kapitola se zabývá výsledky daného výzkumu a dalšími možnostmi, jak by v budoucnu bylo možné experiment provést například s využitím jiné techniky.

Z výsledků je patrné, že intenzita osvětlení v měřeném rozsahu na funkci TLC vliv nemá, čímž se potvrdil předpoklad tohoto experimentu. Jedinou výjimku pozorujeme tehdy, když zkombinujeme využití měřicího zřízení a nejnižší intenzitu světla. Právě v tomto případě dochází k vychýlení kalibrační křivky. Tato odchylka není stěžejní, ale je možno ji eliminovat, pokud bychom při výzkumu využili kvalitnější záznamové zařízení s větší světelností objektivu. Druhou možností vyřešení problému je vyvarování se nízké intenzity osvětlení.

Následujícím zjištěním, které je zřejmé z obrázku 4.3, je to, že každé teplotě je možné přiřadit jednotlivý odstín barvy. Pokud by analýza dokázala, že se od pozorovaného objektu odráží širší škála odstínů barev, pak by nebylo zcela zřejmé, které teplotě odpovídá daná barva.

Pokud by měření teploty bylo prováděno v budoucnu, doporučil bych využít teploty nad 23°C. Je patrné, že nižší teplota nezaručuje správnou funkci krystalů, díky tomu, že je odražena pouze část světla. Dále bych se vyvaroval užití nižší intenzity světla, která lehce ovlivňuje naměřené výsledky, a proto doporučuji použít více světla, kde jsou výsledky prakticky shodné. Opakovatelnost experimentu byla v rámci této práce ověřena.

KAPITOLA 6

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku měření povrchové teploty pomocí tepelných krystalů. Úvodní kapitola je věnována dosavadním způsobům měření teploty. Jsou zde uvedeny jednotlivé druhy teploměrů a jejich principy. Podrobněji jsou pak rozebrány dvě technologie měření povrchové teploty. V prvním případě jde o využití termokamery, jako zástupce dotykového měření a v druhém případě jde o bezdotykovou metodu za použití právě TLC.

Dále je v této kapitole popsán počátek výzkumu zabývající se tekutými krystaly. Postupným odhalováním specifických vlastností této hmoty se našly různé možnosti aplikace a využití v každodenním životě. Je však nutné spolehlivě znát tyto vlastnosti. V oblasti využití TLC pro měření teplot je doposud zdroj informací omezen, a proto i tato bakalářská práce by mohla být užitečným přínosem.

V následující kapitole je popsán experiment, který je zaměřený na posouzení vlivu intenzity osvětlení na odstín barvy, kterou vrstva krystalů odráží. Podobné experimenty se již v minulosti prováděly. Vědci zkoumali, jak se barva mění se změnou úhlu dopadu na vrstvu, ale také například vliv samotné tloušťky vrstvy TLC. Každý takovýto experiment by do budoucna mohl přinést mnoho užitku.

Čtvrtá kapitola se zabývá vyhodnocením tohoto experimentu. Pro každou intenzitu osvětlení je vykreslena kalibrační křivka a následně tyto čtyři křivky jsou vloženy do jednoho grafu, ze kterého je poté možné vyvodit závěr, že intenzita osvětlení nemá na průběh kalibrační křivky větší vliv. Pouze v případě nízké intenzity je možné pozorovat menší odchylku. Důležitou součástí výsledku je i fakt, že pro danou teplotu je dominantní výskyt určitého odstínu barvy. Je tedy možné teplotě přiřadit barvu a při správné kalibraci tak zjistit hodnotu této teploty.

V poslední kapitole je zmíněno shrnutí výsledků, osobní reflexe a doporučení pro měření v budoucnu.

SEZNAM LITERATURY

- [1] BRABEC, Petr a BARTŮNĚK, Filip, 2012. *Fyzika007. Struktura a vlastnosti látek*, [online]. [cit. 25.07.2019]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/struktura-a-vlastnosti-latek/krystalova-mrizka>
- [2] CTIBOROVÁ, Nikola, 2016. *Sledování kolorimetrických parametrů a kryvosti termochromních pigmentů pro kamuflážní efekt*. Liberec. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [3] Encyklopedie fyziky, 2007. *Polarizace dvojlomem*. [online]. [cit. 02.08.2019]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/464-polarizace-dvojlomem>
- [4] FISCH, Michael R, 2004. *Liquid crystals, laptops and life*. 1. River Edge, NJ: World Scientific. ISBN 98-123-8901-6
- [5] FOTOŠKODA, 2019. *FotoŠkoda*. [online]. [cit. 02.08.2019]. Dostupné z: <https://www.fotoskoda.cz/gopro-hero5-black/>
- [6] JENČÍK, Josef a VOLF, Jaromír, 2000. *Technická měření*. Praha: ČVUT. Fakulta strojní. ISBN 80-01-02138-6.
- [7] KIRCHNER, Justus G., 1967. *Technique of organic chemistry. Thin-layer chromatography*. ISBN 9780471932642
- [8] KLIMEŠ, Jan, 2017. *Využití termochromních systémů pro testování distribuce tepla*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Ing. Miroslav ZATLOUKAL.
- [9] KOVAČ, Pavel, 2013. *Svět hardware: Technologie LCD panelů* [online]. [cit. 27.05.2019]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465-2>
- [10] KRÁLOVÁ, Magda, 2014. *Kapalné krystaly* [online]. [cit. 11.05.2019]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/struktura-latek/pevne-latky/kapalne-krystaly>
- [11] KREIDL, Marcel, 2005. *Měření teploty: Senzory a měřící obvody*. 1. vydání. Praha: BEN. ISBN 80-7300-145-4.
- [12] MACEK, Karel, ZUNA, Petr, 1996. *Nauka o materiálu*. Praha: ČVUT. Fakulta strojní. ISBN 80-01-01507-6
- [13] MECHLOVÁ, Erika, 1999. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. 1. vydání. Praha: Prometheus. ISBN 80-7196-151-5
- [14] PATURI, R. Felix, 1993. *Kronika techniky*. 3. doplněné vydání. Praha: Fortuna Print. ISBN 9788071530657

- [15] PHOTOTOOLS.CZ, 2009. Phototools. Profesionální studiové vybavení. [online]. [cit. 01.08.2019]. Dostupné z: https://www.phototools.cz/produkt/trvale-led-svetlo-yn1410?gclid=EAIaIQobChMIItsT93vm_4QIVled3Ch0-twU7EAQYASABEgKwl_D_BwE#product-description
- [16] Přírodovědecká fakulta MU, 2007. *Fyzikální základy vědy o materiálu* [online]. [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet2.htm>
- [17] RAO, Yu a ZANG, Shusheng, 2010. Calibrations and the measurement uncertainty of wide-band liquid crystal thermography. *Measurement science and technology*. Doi:10.1088/0957-0233/21/1/015105
- [18] SOVA, Jan, 2013. *Tzb-info.Termodiagnostika budov* [online]. [cit. 26.07.2019]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/10629-jak-zacit-s-termografickou-diagnostikou-budov>
- [19] STASIEK, Jan, JEWARTOWSKI, Marcin a KOWALENSKI, T. Aleksander, 2014. The use of liquid crystal thermography in selected technical and medical applications-recent development. *Journal of crystallization process and technology*. 4, 46-59. ISSN Online: 2161-7686.
- [20] SVOBODA, Jiří a GLOGAROVÁ, Milada, 2005. *Kapalné krystaly* [online]. [cit. 03.06.2019]. Vysoká škola chemicko-technologická, Technická 5, 166 28, Praha 6. Dostupné z: http://kubusz.net/Reserse/new/1/9_axial_chirality/9_9_Svoboda.pdf
- [21] URBAN, František, 2002. *Optoelektronika* [online]. [cit. 26.06.2019]. VUT Brno UMEL. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/oks/cz/pdf/skripta.pdf>
- [22] USINENOUVELLE, 2009. *L'EXPO PERMANENTE*. [online]. [cit. 02.08.2019]. Dostupné z: <https://www.usinenouvelle.com/expo/thermostats-01060.html>
- [23] VEJRAZKA, Jiri a MARTY, Philippe, 2007. An alternative technique for the interpretation of temperature measurements using thermochromic liquid crystals. *Heat transfer Engineering*. vol.28, p. 154-162. ISSN Online: 1521-0537.
- [24] VIKOVÁ, Martina, 2014. *Yumpu.com. Chromismus a jeho aplikace*, [online]. [cit. 14.07.20019]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/document/read/34986081/chromismus-a-jeho-aplikace>
- [25] VOLTWORLD, 2013. VoltWorld – svět měřicí techniky [online]. [cit. 01.08.2019]. Dostupné z: <https://www.voltworld.cz/merici-technika-1/mereni-neelektrickych-velicin/mereni-teploty/teplomery/teplomer-greisinger-gmh-175-pt1000-199-9-az-199-9->

c-105320.html?gclid=EAIaIQobChMI6s2vu4O-4QIVA-
R3Ch2sUQ4HEAQYASABEgJUTPD_BwE