

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2022

**TOMÁŠ
NĚMEC**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
Ústav strojírenské technologie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**STANOVENÍ ZÁVISLOSTI EMISIVITY VYSOKOLEGOVANÉ
KOROZIVZDORNÉ OCELI NA ÚHLU MĚŘENÍ A TEPLITĚ POVRCHU**

Determination of the dependence of emissivity of high-alloy stainless steel on the measuring angle and surface temperature

AUTOR: **Bc. Tomáš Němec**
STUDIJNÍ PROGRAM: Výrobní inženýrství (VIN)
VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

PRAHA 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Němec** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **476504**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Stanovení závislosti emisivity vysokolegované korozivzdorné oceli na úhlu měření a teplotě povrchu

Název diplomové práce anglicky:

Determination of the dependence of emissivity of high-alloy stainless steel on the measuring angle and surface temperature

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popsat současný stav problematiky termografického měření teploty pomocí termokamer
- 2) Rozbor problematiky stanovení emisivity v závislosti na teplotě
- 3) Návrh experimentu pro stanovení závislosti emisivity vysokolegovaných korozivzdorných ocelí na úhlu měření a teplotě povrchu
- 4) Vyhodnocení a diskuze dosažených výsledků

Seznam doporučené literatury:

- [1] VOLLMER, Michael a Klaus-Peter MOLLMANN. Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications. Weinheim: Wiley-VCH, 2010. ISBN 978-3-527-40717-0
- [2] KADLEC, Karel. Teoretické základy bezdotykového měření teploty: (část 1). AUTOMA. 2014, 12. ISSN 1210-9592.
- [3] SOVA, Jan a Karel KADLEC. Termokamery a pyrometry-princip, měření, vlastnosti a využití. All For Power. 2014
- [4] NĚMEC, T. Stanovení závislosti emisivity na úhlu měření pro různé teploty povrchu materiálů. Bakalářská práce, ČVUT v Praze, FS, Praha, 2020.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **15.08.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2022**

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci “Stanovení závislosti emisivity vysokolegované korozivzdorné oceli na úhlu měření a teplotě povrchu” vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Ladislava Kolaříka, Ph.D., IWE. Diplomovou práci jsem vypracoval s použitím pramenů a zdrojů uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D., IWE za poskytnutí odborných rad a cenných připomínek při psaní teoretické části, dále za pomoc při vypracování experimentu a v neposlední řadě za vstřícný přístup a trpělivost projevenou během naší vzájemné spolupráce.

Dále bych chtěl poděkovat paní doc. Ing. Marii Kolaříkové, Ph.D., IWE za pomoc s přípravou měřicího pracoviště.

Nemalé poděkování patří rovněž celému Ústavu strojírenské technologie za zapůjčení přístrojového vybavení a za poskytnutí zázemí pro vypracování experimentální části práce.

Anotace

Diplomová práce pojednává o problematice bezdotykového měření teploty pomocí termokamer. Primárním cílem práce je zmapování závislosti mezi emisivitou a úhlem snímání měřeného povrchu u korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 a konstrukční oceli S355N. Navržená metodika měření emisivity reflektuje kontaktní metodu dle ČSN ISO18434-1. Měření je realizováno v teplotním intervalu 50 až 500 °C pomocí ruční kvantitativní termokamery Flir E95 se spektrálním rozsahem 7,5 až 14 μm.

Klíčová slova

Infračervená termografie, termokamera, emisivita, povrchová teplota, korozivzdorná ocel, nedestruktivní kontrola

Jméno autora: Bc. Tomáš Němec

Název DP: Stanovení závislosti emisivity vysokolegované korozivzdorné oceli na úhlu měření a teplotě povrchu

Akademický rok: 2021/2022

Vysoká škola: ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ústav/Odbor: Ústav strojírenské technologie

Vedoucí DP: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Bibliografické údaje: Počet stran: 104

Počet obrázků: 78

Počet tabulek: 14

Počet příloh: 21

Abstract

The diploma thesis deals with the issue of non-contact temperature measurement using infrared cameras. The primary goal of this work is to find out the dependence between the emissivity and the viewing angle of the measured surface for stainless steel X5CrNi18-10 and structural steel S355N. The proposed methodology for measuring emissivity reflects the contact method according to ČSN ISO 18434-1. The measurement is performed in the temperature range from 50 to 500 °C using hand-held quantitative infrared camera Flir E95 with a spectral range from 7,5 to 14 μm.

Keywords

Infrared thermography, infrared camera, emissivity, surface temperature, stainless steel, nondestructive testing

Author:	Bc. Tomáš Němec
Name of master thesis:	Determination of the dependence of emissivity of high-alloy stainless steel on the measuring angle and surface temperature
Academic year:	2021/2022
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Department of Manufacturing Technology
Supervisor:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent of thesis:	Number of pages: 104 Number of pictures: 78 Number of tables: 14 Number of appendices: 21

Obsah

Seznam použitých zkratk	10
Seznam použitých veličin	11
1. Úvod	13
2. Současný stav problematiky termografického měření teploty pomocí termokamer	14
2.1. Základy teorie infračervené termografie	14
2.1.1. Emisivita.....	17
2.1.2. Odrazivost, pohltivost a propustnost	19
2.2. Termokamery a jejich využití v praxi.....	20
2.2.1. Termografické měření	25
2.2.2. Slovník základních parametrů měřicích přístrojů.....	27
2.2.3. Software pro termografickou analýzu.....	32
2.2.4. Použití termokamer v průmyslové praxi	33
2.3. Techniky stanovení emisivity v praxi	35
2.3.1. Metoda využívající materiál s referenční emisivitou	36
2.3.2. Metoda využívající kontaktní měření teploty	38
2.3.3. Vyvrtání díry do měřeného objektu	38
3. Faktory ovlivňující hodnotu emisivity	39
3.1. Materiál, struktura a stav povrchu.....	39
3.2. Teplota	40
3.3. Doba ohřevu.....	41
3.4. Úhel měření a geometrie povrchu	42
3.5. Vlnová délka.....	42
4. Experimentální část	43
4.1. Úvod a návrh experimentu	43
4.1.1. Navržený postup měření	43
4.1.2. Uspořádání měření	45

4.2.	Měřicí přístroje, přípravky a další vybavení	46
4.2.1.	Termokamera FLIR E95.....	46
4.2.2.	Přístroj pro navařování termočlánků BT-2.....	48
4.2.3.	Datalogger AHLBORN ALMEMO 5690-2.....	49
4.2.4.	Elektrická laboratorní pec ZC (Zlatarna Celje)	49
4.2.5.	Měřicí tunel pro odstínění záření z okolních zdrojů	50
4.2.6.	Přípravek pro uchycení ohřátých vzorků	51
4.2.7.	Spektrometr Q4 TASMAN	52
4.2.8.	Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ-301	53
4.3.	Příprava vzorků	54
4.3.1.	Přesné určení chemického složení vzorků	55
4.3.2.	Měření drsnosti povrchu vzorků a broušení	56
4.3.3.	Navaření kontrolních termočlánků.....	59
4.4.	Měření odražené zdánlivé teploty.....	60
4.5.	Kontrolní měření relativní vlhkosti a okolní teploty	61
4.6.	Kontrola zvolené vzdálenosti měření.....	62
4.7.	Teplotní cykly vzorků	63
4.8.	Měření a vyhodnocení emisivity	64
4.9.	Interpretace výsledků	66
4.10.	Závěr	74
5.	Použité zdroje	75
6.	Seznam obrázků	79
7.	Seznam tabulek	83
8.	Přílohy	84

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický název	Český název
AOV	angle of view	zorný úhel
FIR	far-infrared	vzdálené infračervené záření
FOV	field of view	zorné pole
FPA	focal plane array	detektor s maticí pixelů
HAOV	horizontal angle of view	horizontální zorný úhel
HFOV	horizontal field of view	horizontální zorné pole
IČ	–	infračervený
IFOV	instantaneous field of view	okamžité zorné pole
IRT	infrared thermography	infračervená termografie
LWIR	long-wavelength infrared	dlohovlnné infračervené záření
MWIR	mid-wavelength infrared	středovlnné infračervené záření
NDT	nondestructive testing	nedestruktivní testování
NETD	noise equivalent temperature difference	rozdíl teploty ekvivalentní šumu
NIR	near-infrared	blízké infračervené záření
PC	personal computer	osobní počítač
R&D	research and development	výzkum a vývoj
SD	secure digital	paměťová karta
SW	software	programové vybavení
SWIR	short-wavelength infrared	krátkovlnné infračervené záření
VAOV	vertical angle of view	vertikální zorný úhel
VFOV	vertical field of view	vertikální zorné pole

Seznam použitých veličin

Označení veličiny	Název veličiny	Jednotka
A	Plocha povrchu zdroje záření	m^2
α	Pohltivost	—
d	Vzdálenost měření	m
ΔU_S	Signálové napětí generované rozdílem teplot $T_{BB} - T_P$	mV
ε	Emisivita	—
$\varepsilon_{Obj.}$	Emisivita objektu	—
$HAOV$	Horizontální zorný úhel	$^\circ$
$HFOV$	Horizontální rozměr zorného pole	m
$IFOV$	Okamžité zorné pole	$mrad$
$IFOV$	Okamžité zorné pole	mm
λ	Vlnová délka	m
λ_t	Tepelná vodivost	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
M	Intenzita záření	$W \cdot m^{-2}$
M_R	Intenzita záření reálného tělesa	$W \cdot m^{-2}$
M_{BB}	Intenzita záření černého tělesa	$W \cdot m^{-2}$
$NETD$	Teplotní citlivost	mK
ρ	Odrazivost	—
σ	Stefan-Boltzmannova konstanta	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
T	Termodynamická teplota	K
$T_{Odr.}$	Odražená zdánlivá teplota	$^\circ C$
$T_{Atm.}$	Atmosférická teplota	$^\circ C$
T_{BB}	Teplota černého tělesa	mK

Označení veličiny	Název veličiny	Jednotka
T_p	Teplota pozadí	mK
τ	Propustnost	—
$\tau_{Atm.}$	Propustnost atmosféry	—
U_ξ	Šumové napětí systému	mV
$VAOV$	Vertikální zorný úhel	$^\circ$
$VFOV$	Vertikální rozměr zorného pole	m
ϕ	Zářivý tok (celkový zářivý tok)	W
ϕ_R	Odražený zářivý tok	W
ϕ_A	Pohlčený zářivý tok	W
ϕ_{TT}	Propuštěný zářivý tok	W
$\phi_{Det.}$	Zářivý tok dopadající na detektor termokamery	W
$\phi_{Obj.}^{BB}$	Zářivý tok od měřeného objektu	W
$\phi_{Odr.}$	Odražený zářivý tok z okolních zdrojů	W
$\phi_{Atm.}$	Zářivý tok atmosféry	W

1. Úvod

Měření teploty v moderním průmyslovém prostředí představuje rozmanitou škálu aplikací, se kterými souvisí celá řada potřeb. Uspokojování těchto potřeb vedlo k vývoji nejrůznějších senzorů a měřících zařízení. Pro řadu strojních inženýrů je teplota kritickou a široce měřenou veličinou, skrze kterou lze monitorovat, řídit a kontrolovat řadu technologických procesů. V průmyslové praxi se stále více rozšiřuje bezkontaktní měření teplotních polí na površích zkoumaných součástí pomocí termokamer. Na bezkontaktní měření teploty má vliv značné množství měřících parametrů, které je třeba definovat přímo v SW termokamery. Nejdůležitějším z těchto parametrů je emisivita, jejíž nesprávně stanovená hodnota může zkreslit výsledky měření až o několik desítek teplotních stupňů. Standardně se doporučuje měřit teplotu termokamerou umístěnou kolmo k měřenému povrchu, nicméně při některých aplikacích (např. měření teploty elektrod při odporovém svařování za účelem zjišťování kvality odporových bodových svarů) nelze toto doporučení dodržet a měřené hodnoty pak neodpovídají skutečnosti. Proto je hlavním důvodem vzniku této diplomové práce zpřesnit správné určení hodnoty emisivity při reálném měření, kdy často nelze nastavit termokameru kolmo k měřenému povrchu.

Hlavní motivací vzniku diplomové práce je podrobné zmapování vlivu úhlu měření na emisivitu v závislosti na povrchové teplotě měřeného vzorku a dalších okolnostech, které mohou měření ovlivnit (tj. zejména druh zvoleného materiálu, drsnost povrchu, spektrální rozsah termokamery). Výstupem experimentální části práce by mělo být porovnání výsledných hodnot emisivity pro vzorky vybraných typů materiálů (např. z vysokolegované korozivzdorné oceli a nelegované konstrukční oceli) a zjištění existence případných závislostí mezi úhlem měření a velikostí emisivity.

Shrnutí hlavních cílů diplomové práce:

1. Prohloubit a rozšířit znalosti načerpané během zpracování bakalářské práce, obzvláště pak v problematice stanovení emisivity [1].
2. Navrhnout a odladit postup experimentálního měření emisivity.
3. Zmapovat vliv úhlu měření na emisivitu při různých povrchových teplotách pro vzorky z vysokolegované korozivzdorné oceli a konstrukční oceli.

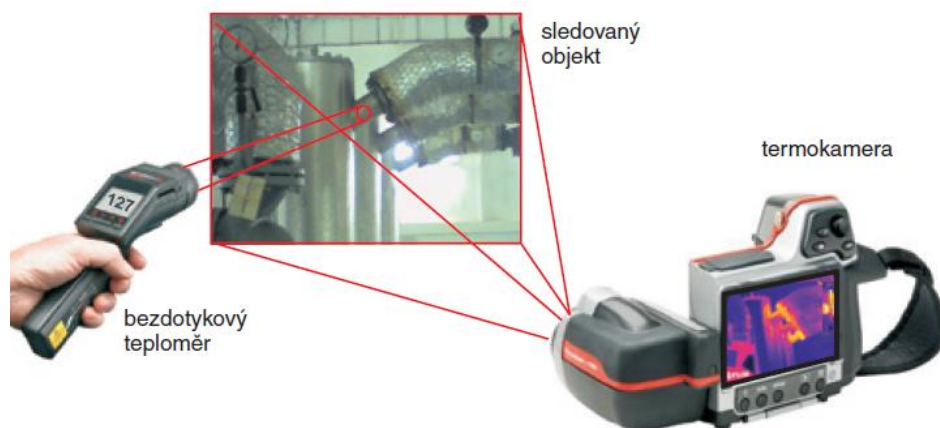
2. Současný stav problematiky termografického měření teploty pomocí termokamer

2.1. Základy teorie infračervené termografie

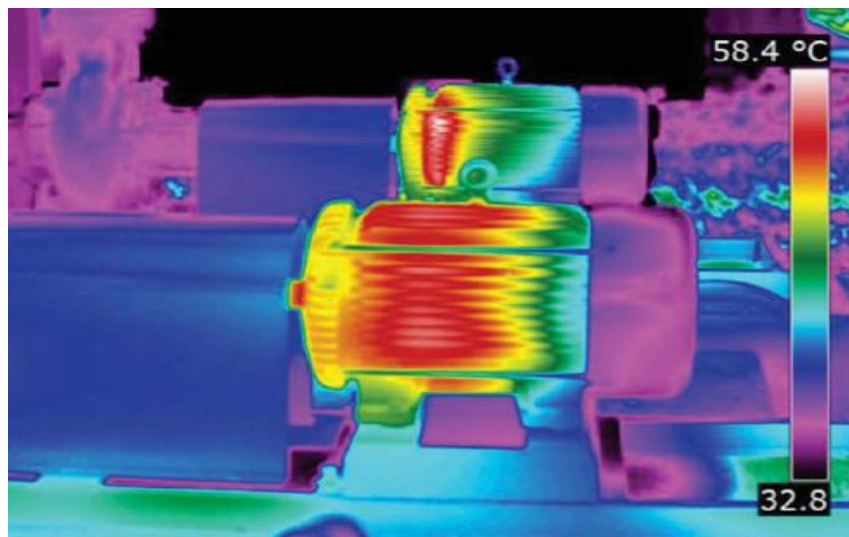
Infračervená termografie je vědní disciplína, která se zabývá detekcí infračerveného záření, analýzou a vizualizací teplotních polí na površích měřených objektů. Infračervená termografie je tedy metoda bezkontaktního měření povrchových teplot a stále více se začíná využívat a uplatňovat i jako metoda nedestruktivní kontroly (**NDT** – nondestructive testing). Celosvětově se pro infračervenou termografii vžilo zkratkové označení **IRT** (infrared thermography). Markantní rozvoj zaznamenala infračervená termografie se strmým vývojem termokamer a s jejich komerční dostupností.

Infračervená termografie vychází ze skutečnosti, že každý předmět, jehož teplota je vyšší než $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tzv. absolutní nula, tj. termodynamická teplota $T = 0\text{ K}$), emituje do okolí tepelné záření, které vzniká v důsledku tepelného pohybu („vibrací“) částic hmoty.

K detekci infračerveného záření a měření povrchové teploty se v dnešní době využívají **pyrometry** (IČ teploměry) a **termokamery** (IČ kamery). Zásadní rozdíl mezi termokamerou a pyrometrem je ten, že pyrometr měří teplotu v jednom konkrétním bodě (výstupem je číslíkový údaj – Obr. 1). Termokamera naopak snímá rozložení teploty na celém povrchu měřeného objektu (výstupem je tzv. termogram – Obr. 1 a 2). Zásadní výhodou termogramů je, že s nimi lze zpětně pracovat ve vyhodnocovacím SW a různými metodami, způsoby a funkcemi hodnotit dosažené výsledky měření. [2,3]



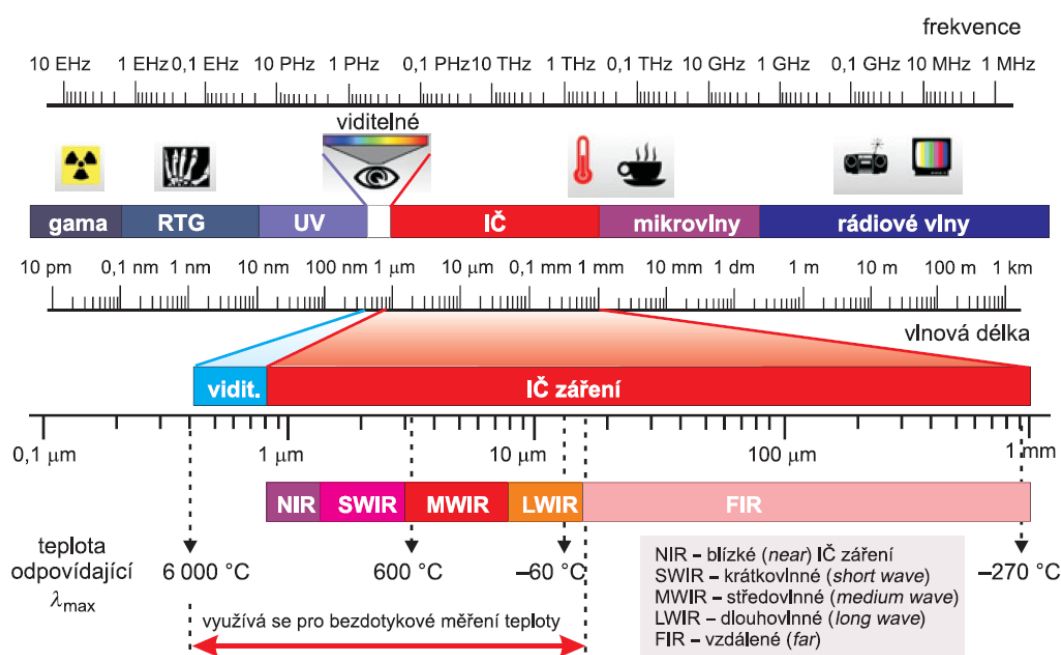
Obr. 1 - Bezdotykové měření teploty pyrometrem a termokamerou [4]



Obr. 2 - Termogram (příklad využití termokamer v diagnostice strojů) [3]

Termogram vyobrazuje detekované infračervené záření pomocí barevné škály, kdy jednotlivé barvy reprezentují konkrétní povrchové teploty. I přes fakt, že infračervené záření není lidským okem viditelné, můžeme díky této vizualizaci “vidět” rozložení povrchových teplot (Obr. 2).

Pro bezkontaktní měření teploty se využívá elektromagnetické záření s vlnovými délkami 0,4 až 15 μm . Toto záření spadá z menší části do **viditelné** oblasti, z větší části pak do **infračervené** oblasti spektra. Uvedený rozsah vlnových délek pokrývá měření povrchových teplot v rozsahu od - 60 do + 6000 $^{\circ}\text{C}$ (Obr. 3). Pro vlnové délky větší jak 15 μm (pásmo **FIR**¹) nejsou v současnosti dostupné vhodné detektory pro běžné a komerčně dostupné měřicí přístroje. [4]



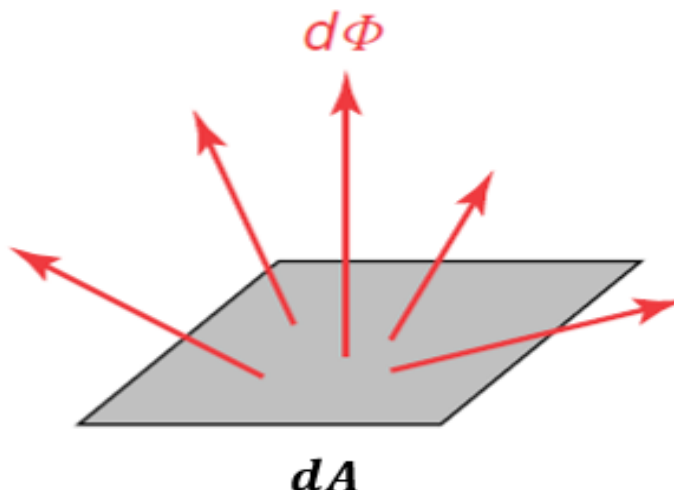
Obr. 3 - Pásmo elektromagnetického záření využívaná pro bezdotykové měření teploty [4]

¹ FIR – vzdálené infračervené záření (rozsah vlnových délek 15 až 1000 μm)

Procesor termokamery a pyrometru počítá povrchovou teplotu na základě naměřené **intenzity záření**. Intenzita záření M je veličina definována vztahem:

$$M = \frac{d\phi}{dA} [W \cdot m^{-2}] \quad (1)$$

kde ϕ [W] je zářivý tok a A [m²] je plocha povrchu zdroje záření. Na Obr. 4 lze vidět grafické znázornění a upřesnění rovnice č. 1.



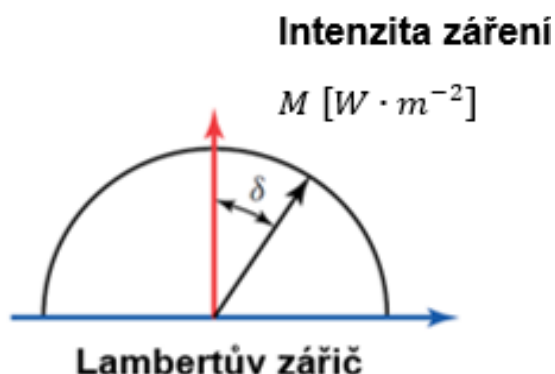
Obr. 4 - Elementární zářivý tok $d\phi$ na elementu plochy povrchu zdroje záření dA je emitován v hemisféře (polokouli) nad dA [2]

Intenzita záření je závislá na teplotě a odlišuje se svou vlnovou délkou. Vzájemné relace mezi intenzitou záření, teplotou, vlnovou délkou a dalšími veličinami popisují fyzikální zákony infračervené termografie: **Planckův vyzařovací zákon**, **Wiennův zákon posunu**, **Stefanův Boltzmannův zákon**, **Kirchhofův zákon tepelného vyzařování**. Tyto zákony podrobně popisují Michael Vollmer a Klaus-Peter Möllmann [2] nebo Waldemar Milkina a Sebastian Dudzik [5]. V následujícím textu budou použity pouze vybrané vztahy, díky kterým lze lépe pochopit princip vlastního měření teploty.

Fyzikální zákony Infračervené termografie jsou definovány na základě tzv. **černého tělesa**. Černé těleso je ideální fyzikální model, pro který platí tři základní vlastnosti:

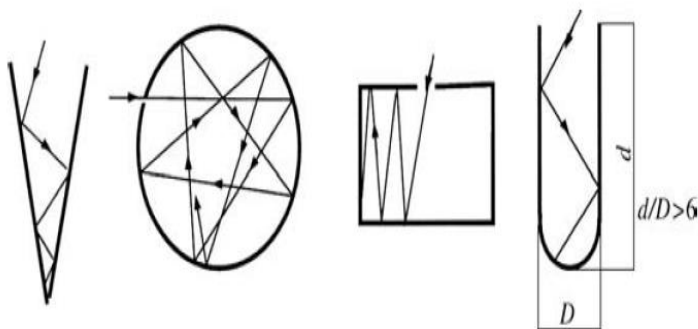
1. Černé těleso absorbuje veškeré dopadající záření bez ohledu na vlnovou délku a směr (žádné záření neodráží ani nepropouští). Podrobný popis **odrazivosti**, **propustnosti** a **pohltivosti** se nachází v kapitole 2.1.2.
2. Při konkrétní teplotě a vlnové délce nemůže žádný reálný objekt vyzařovat více energie než černé těleso.

3. Lze prohlásit, že se černé těleso chová jako **Lambertův zářič** (tzn. intenzita záření je ve všech směrech konstantní (Obr. 5), tj. zásadní rozdíl oproti reálným tělesům)

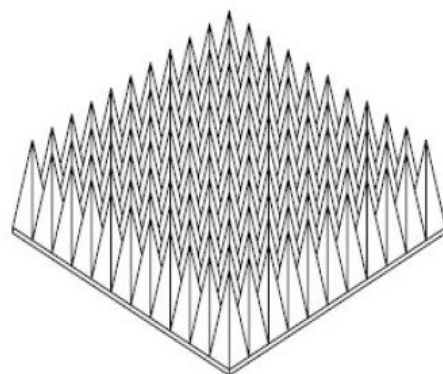


Obr. 5 - Lambertův zářič (konstantní hodnota intenzity záření ve všech směrech hemisféry vzhledem k povrchové normále) (upraveno) [2]

Jako perfektní pohlcovače a zářiče slouží černá tělesa jako standardy, které se využívají ke **kalibraci** termokamer a pyrometrů. Prakticky lze černé těleso aproximovat **dutinou** (Obr. 6) nebo **plochou deskou se strukturovaným povrchem** (Obr. 7), přičemž dutina i deska musí být udržovány při stabilní a jednotné teplotě. [5,6,7]



Obr. 6 - Různé typy dutin (modely černých těles) [5]



Obr. 7 - Strukturovaný povrch ploché desky simulující černé těleso [7]

2.1.1. Emisivita

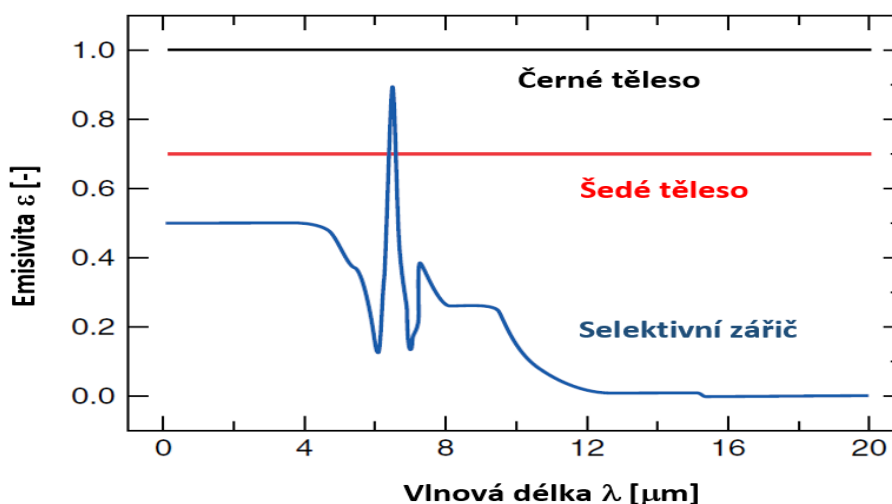
Reálná tělesa vyzařují (i pohlcují) méně tepelného záření než černé těleso a tato skutečnost je korigována faktorem, který se nazývá **emisivita**. Emisivita vyjadřuje poměr mezi vyzářenou energií reálného tělesa a vyzářenou energií černého tělesa při stejné teplotě. Jedná se o bezrozměrnou (poměrovou) veličinu, která se značí řeckým písmenem ε . Emisivita nabývá hodnot od 0 do 1 a obecně závisí na vlnové délce záření a teplotě. Během vlastního procesu měření teploty vystupují do popředí další faktory, které nemalým dílem ovlivňují výslednou hodnotu emisivity (druh materiálu,

úhel odklonu termokamery od povrchové normály, drsnost povrchu, atd. – viz kapitola 3.1). Emisivita je obecně dána vztahem:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{M_R}{M_{BB}} [-] \quad (2)$$

kde: $M_R [W \cdot m^{-2}]$ je intenzita záření reálného tělesa a $M_{BB} [W \cdot m^{-2}]$ je intenzita záření černého tělesa.

Dle emisivity lze tělesa rozdělit na tři druhy: **černá tělesa**, **šedá tělesa** a **selektivní zářiče**. Emisivita černého tělesa je rovna 1. Selektivní zářič a šedé těleso jsou tzv. nedokonalé zářiče, proto i emisivita nemůže nikdy dosáhnout hodnoty 1. Emisivita černého a šedého tělesa je nezávislá na vlnové délce (tzn. je konstantní). Toto je hlavní rozdíl oproti selektivnímu zářiči, jehož emisivita je funkcí vlnové délky (Obr. 8). Všechny objekty, které se vyskytují v reálném prostředí jsou selektivní zářiče. Pro měření je vhodné uvažovat, že zkoumané objekty jsou tzv. „dostatečně šedé“ (tzn. považujeme měřené objekty za šedá tělesa) v příslušném rozsahu vlnových délek (např. 8 až 14 μm), aby nedocházelo k příliš velkým chybám.



Obr. 8 - Emisivita jako funkce vlnové délky pro jednotlivé zářiče (upraveno) [2]

Povrchová teplota je termokamerou (či pyrometrem) vyhodnocena podle Stefan-Boltzmannova zákona pro šedé těleso:

$$T = \sqrt[4]{\frac{M_{BB}}{\varepsilon \cdot \sigma}} \quad (3)$$

kde: $T [K]$ je termodynamická teplota, $M_{BB} [W \cdot m^{-2}]$ je intenzita záření černého tělesa, σ je Stefan-Boltzmannova konstanta [$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$] a $\varepsilon [-]$ je emisivita. [3]

2.1.2. Odrazivost, pohltivost a propustnost

Pokud tepelné záření dopadne na povrch reálného tělesa o definované tloušťce, nastává interakce, při které je část záření **pohlčena**, část **odražena** a část **propuštěna** (tzn. prochází skrz objekt). Pro dopadající tepelné záření platí rovnice:

$$\phi = \phi_R + \phi_A + \phi_{TT} \quad (4)$$

kde: $\phi [W]$ je celkový zářivý tok, který dopadá na povrch reálného tělesa, $\phi_R [W]$ je odražený zářivý tok, $\phi_A [W]$ je pohlčený zářivý tok tělesem a $\phi_{TT} [W]$ je propuštěný zářivý tok.

Pokud se rovnice č. 4 vydělí celkovým zářivým tokem, vznikne bilance poměrů:

$$1 = \frac{\phi_R}{\phi} + \frac{\phi_A}{\phi} + \frac{\phi_{TT}}{\phi} \quad (5)$$

Jednotlivé členy pravé strany rovnice představují poměrové veličiny (koeficienty):

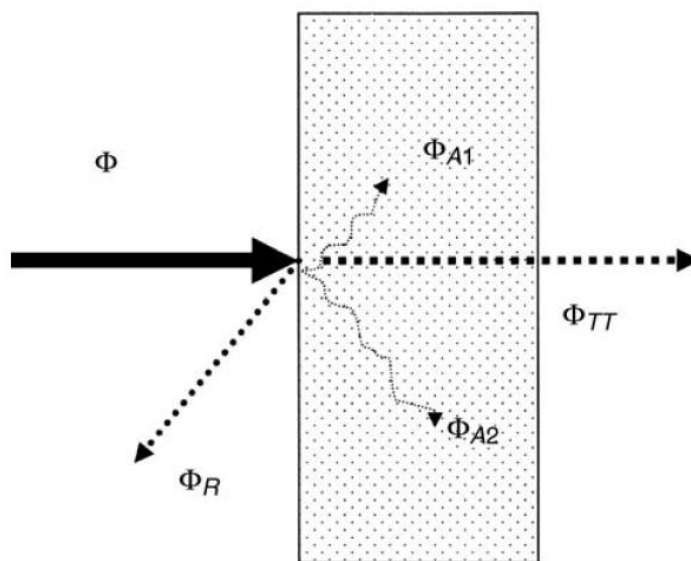
$$\frac{\phi_R}{\phi} = \rho \quad (6)$$

$$\frac{\phi_A}{\phi} = \alpha \quad (7)$$

$$\frac{\phi_{TT}}{\phi} = \tau \quad (8)$$

kde: $\rho [-]$ je **odrazivost** (reflektance), $\alpha [-]$ je **pohltivost** (absorptance) a $\tau [-]$ je **propustnost** (transmittance). [3,4,5]

Na Obr. 9 lze vidět vizualizaci interakce tepelného záření s reálným tělesem.



Obr. 9 - Interakce tepelného záření s reálným tělesem [5]

Odrazivost ρ popisuje, jaké množství záření bylo objektem odraženo v poměru k množství, které na objekt dopadlo (tj. míra schopnosti tělesa odrážet záření). [6]

Propustnost τ definuje, jak velké množství záření bylo objektem propuštěno v poměru k množství, které na objekt dopadlo (tj. míra schopnosti tělesa propustit záření). [6]

Pohltivost α udává, jak velké množství záření bylo objektem pohlceno v poměru k množství, které na objekt dopadlo (tj. míra schopnosti tělesa pohltit záření). [6]

Pokud je těleso ve stavu tepelné rovnováhy (tzn. není ohříváno, ani ochlazováno), musí platit rovnost mezi energií pohlcovanou a vyzařovanou (mezi emisivitou a pohltivostí):

$$\varepsilon = \alpha \quad (9)$$

Rovnice č. 9 je předpisem **Kirchhofova zákona tepelného vyzařování**. Na základě této rovnice lze dosazením do rovnice č. 5 získat vztah mezi emisivitou, odrazivostí a propustností:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (10)$$

Pro černé těleso platí:

$$\alpha = \varepsilon = 1 \quad \rho = 0 \quad \tau = 0 \quad (11)$$

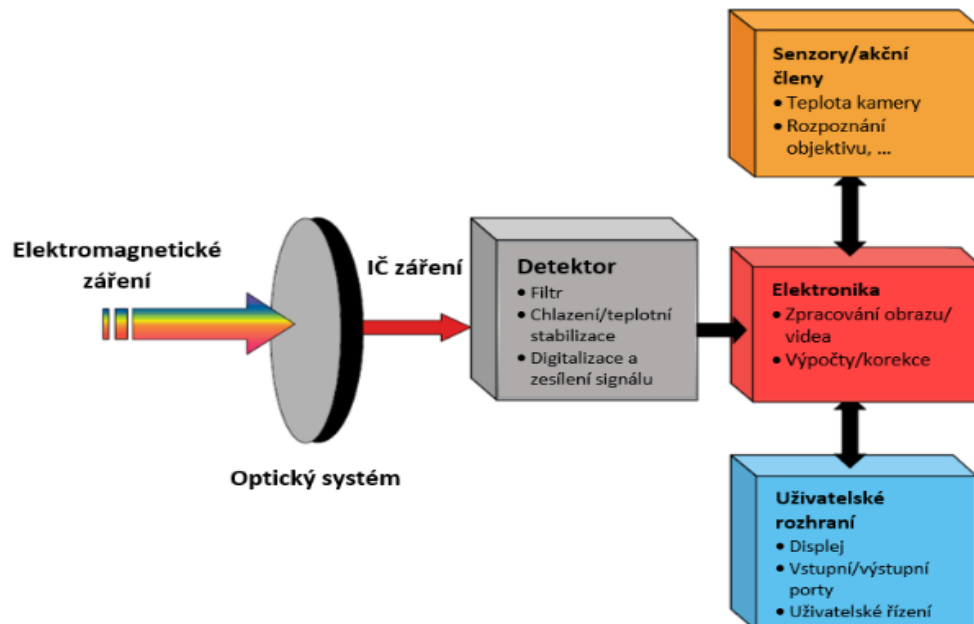
Pro nepropustný materiál ($\tau = 0$) lze definovat:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (12)$$

Pokud je materiál nepropustný, lze poměrně snadno určit jeho odrazivost výpočtem na základě známé hodnoty emisivity. Z definice rovnice č. 12 vyplývá, že čím větší odrazivost je, tím menší je emisivita a naopak (tzn. **měření teploty bude ovlivněno zářením z okolních zdrojů tím více, čím menší bude hodnota emisivity měřeného povrchu**). [2,4,5]

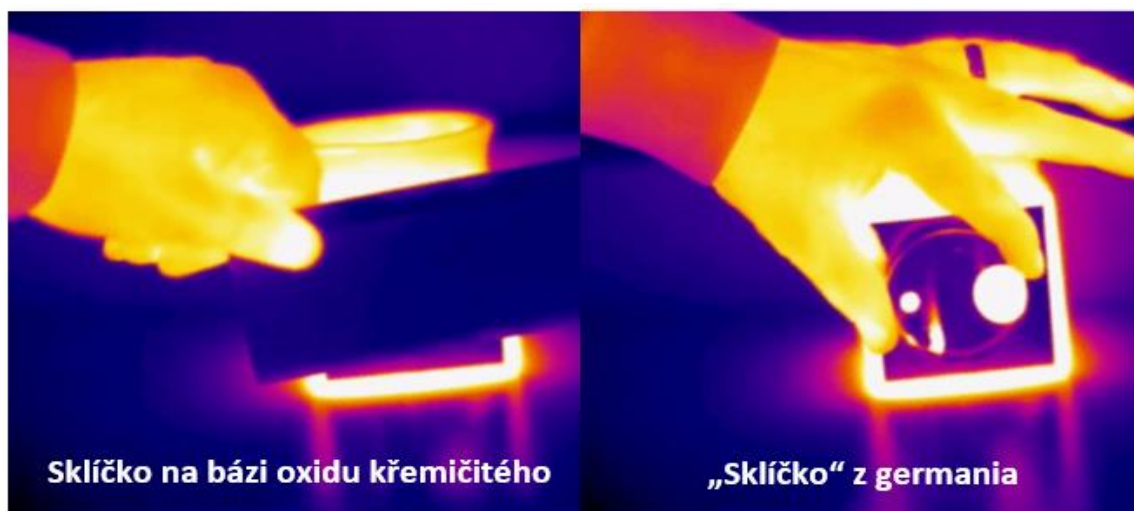
2.2. Termokamery a jejich využití v praxi

Hlavním cílem termokamery je převedení infračerveného záření na vizuální obraz, ve kterém jsou rozdílné povrchové teploty odlišeny různými barvami dle teplotní stupnice (viz kapitola 2.1). Termokameru lze obecně rozdělit na několik hlavních součástí (Obr. 10): **Optický systém** (optika), **detektor**, **elektronika pro zpracování signálu a obrazu**, **teplotní stabilizace nebo chlazení detektoru** a **uživatelské rozhraní**.



Obr. 10 - Blokové schéma termokamery (upraveno) [2]

Primárním úkolem **optického systému** je promítnutí infračerveného záření na detektor termokamery. Čochy termokamer jsou vyráběny zejména z materiálů s nízkou pohltivostí infračerveného záření např. **Ge** (germanium), **Si** (křemík), **ZnS** (sulfid zinečnatý) nebo **ZnSe** (selenid zinečnatý). Takovéto materiály jsou také označovány jako tzv. „**infračervená skla**“. Povrch čoček je navíc opatřen **antireflexní** vrstvou, aby pokud možno veškeré infračervené záření prošlo skrz. Klasické sklo na bázi **SiO₂** (oxidu křemičitého) je pro infračervené záření zcela nepropustné (Obr. 11).

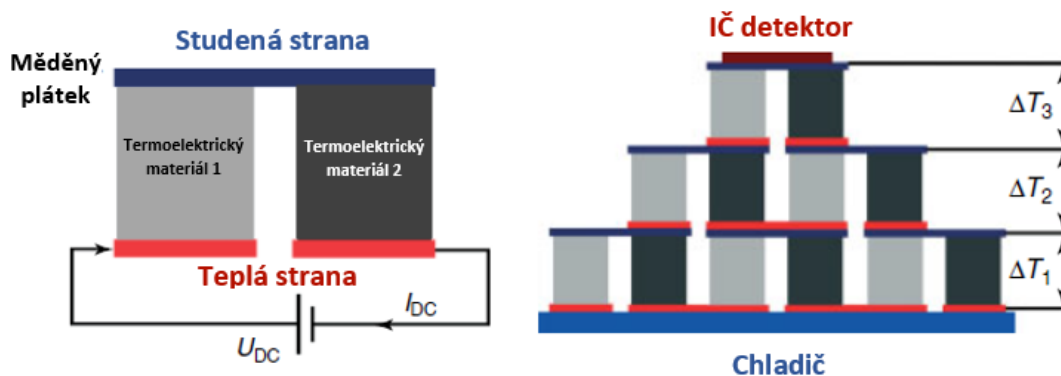


Obr. 11 - Porovnání propustnosti germania a skla na bázi oxidu křemičitého pro infračervené záření na vlnových délkách 8 až 14 μm (upraveno) [9]

Detektory termokamer lze rozdělit na **tepelné** a **fotonové**. Dle uspořádání je dále možné rozlišovat **jednobodové**, **lineární** nebo **maticové** (FPA) detektory. Většina komerčních termokamer je v současnosti osazena tepelnými **mikrobolometrickými maticovými** detektory. Takovéto termokamery splňují požadavky většiny praktických

aplikací a jsou mnohem levnější oproti přístrojům s fotonovými detektory. Termokamery s fotonovými maticovými detektory se v současnosti používají pouze výhradně pro vědu a výzkum (označení termokamer R&D). Mezi běžně používané materiály kvantových detektorů patří: **InSb** (antimonid india), **PbS** (sulfid olovnatý), **PbSe** (selenid olovnatý), **InGaAs** (arzenid inditogallitý) a **HgCdTe** (telurid rtuťnokademnatý). Porovnání tepelných a kvantových detektorů z hlediska teplotní citlivosti a používaných vlnových délek je popsáno v kapitole 2.2.2.

Tepelné detektory vyžadují **teplotní stabilizaci** pomocí **jednoduchých Peltierových článků** (Obr. 12). Provozní teplota mikrobolemetrického maticového detektoru je většinou udržována při konstantní teplotě přibližně 30 °C. Fotonové detektory musí být naopak **intenzivně ochlazovány**. Provozní teploty bývají např. **200 K** u HgCdTe pro vlnové délky 0,9 až 1,7 μm a **77 K** u InSb pro vlnové délky 3 až 5 μm. Čím delší je vlnová délka, tím **nižší je provozní teplota fotonového detektoru**. K ochlazování detektorů se dnes hojně využívá **Stirlingův oběh** (Obr. 13) pro nejnižší teploty 70 K nebo 77 K a **vícestupňové Peltierovy články** (Obr. 12) pro teploty do 200 K. Zásadní rozdíl mezi jednoduchým a vícestupňovým Peltierovým článkem je maximální dosahovaný teplotní rozdíl mezi ochlazovanou a teplou částí článku (**jednoduchý: 50 až 75 °C, třístupňový: 120 až 140 °C**). [2,5,8,9]

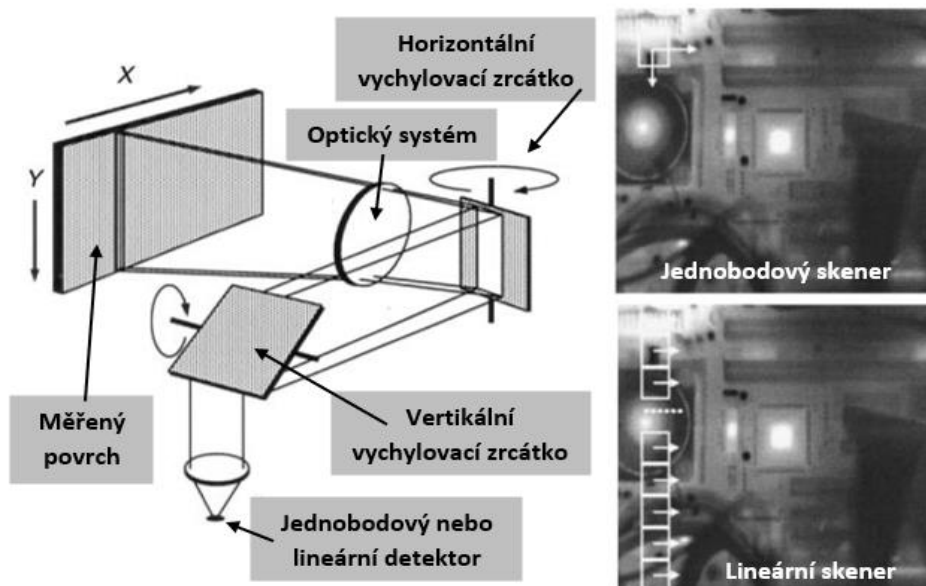


Obr. 12 - Jednoduchý a třístupňový Peltierův článek (upraveno) [2]

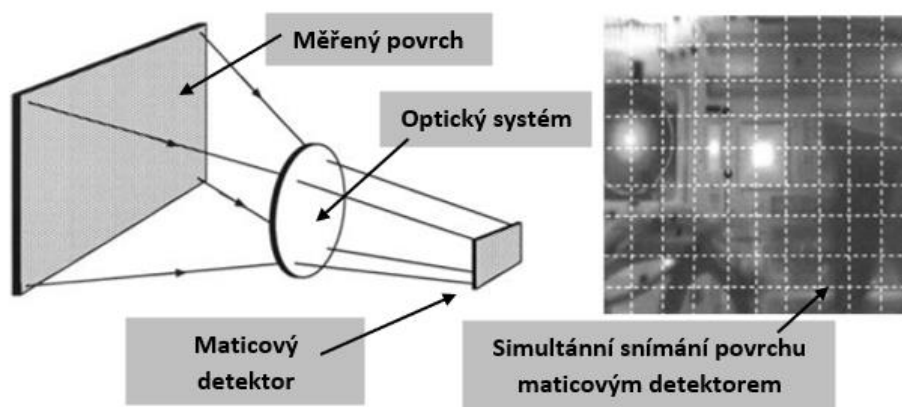


Obr. 13 – Příklady chladicích jednotek pracujících na principu Stirlingova oběhu (upraveno) [2]

Historicky lze termokamery rozdělit podle principu zobrazení na dva základní koncepty: **skenovací** (Obr. 14) a **neskenovací** (Obr. 15).



Obr. 14 - Princip zobrazení pomocí skenovací termokamery (upraveno) [5]



Obr. 15 - Princip zobrazení pomocí neskenovací termokamery (upraveno) [5]

Srdce **skenovací termokamery** tvoří dvourozměrný optický skener s jednoprvkovým infračerveným detektorem. Některé složitější systémy využívají také lineární detektor. Nejdůležitější je fakt, že obraz je skenovací termokamerou **vytvářen** (skládán) **postupně** v určitém časovém intervalu (Obr. 14).

V současnosti jsou nejrozšířenější **neskenovací termokamery**, kterým je věnován i zbytek teoretické části práce. Hlavní výhodou neskenovacího systému je absence pohyblivých mechanických částí a skutečnost, že maticový detektor pokrývá celé **zorné pole** najednou (definice zorného pole vysvětlena v kapitole 2.2.2). Termogram proto vzniká v jeden okamžik **simultánním měřením všemi dílčími jednotkami** maticového detektoru (Obr. 15). [2,5,8]

Neskenovací termokamery je možné dále rozdělit na **ruční** (Obr. 16 a 17) a **stacionární** (Obr. 18 a 19). Ruční přístroje jsou kompaktnější a obsahují přímo uživatelské rozhraní v podobě displeje (dotykového displeje) a sady ovládacích tlačítek. Ruční přístroje jsou rovněž dodávány s výměnným nebo integrovaným akumulátorem pro pohodlnější práci v terénu. **Stacionární termokamery** jsou primárně navrženy pro kooperaci s PC, který plní funkci uživatelského rozhraní.



Obr. 16 - Ruční termokamera Fluke Ti480 PRO [10]



Obr. 17 - Ruční termokamera Fluke PTi120 [10]



Obr. 18 - Stacionární termokamera Workswell WIC Industrial [11]



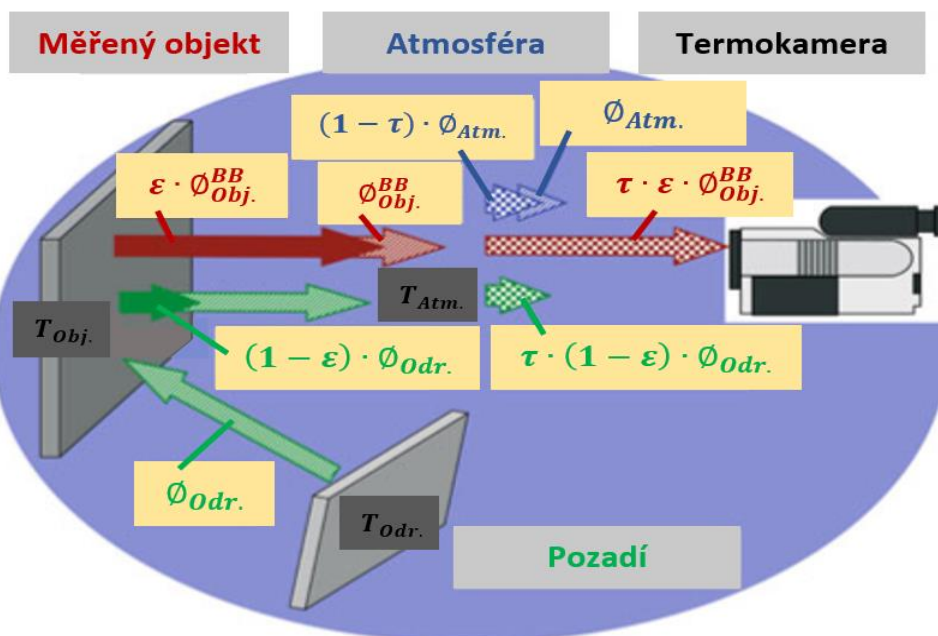
Obr. 19 - Stacionární termokamera Fluke RSE600 [10]

2.2.1. Termografické měření

Vlastní proces bezdotykového měření teploty funguje na principu detekce směsi zářivých toků měřicím přístrojem. Energetická bilance a vlastní vyhodnocení teploty se řídí dle tzv. **rovnice termografie**:

$$\Phi_{Det.} = \tau_{Atm.} \cdot \varepsilon_{Obj.} \cdot \Phi_{Obj.}^{BB} + \tau_{Atm.} \cdot (1 - \varepsilon_{Obj.}) \cdot \Phi_{Odr.} + (1 - \tau_{Atm.}) \cdot \Phi_{Atm.} \quad (13)$$

kde $\Phi_{Det.}$ [W] je celkový zářivý tok dopadající na detektor termokamery či pyrometru, $\Phi_{Obj.}^{BB}$ [W] je zářivý tok od měřeného objektu (objekt ve výpočtu figuruje jako černé těleso), $\Phi_{Odr.}$ [W] je odražený zářivý tok z okolních zdrojů (též zářivý tok pozadí), $\Phi_{Atm.}$ [W] je zářivý tok atmosféry, $\varepsilon_{Obj.}$ [-] je emisivita měřeného objektu a $\tau_{Atm.}$ [-] je propustnost atmosféry. Grafické znázornění principu bezkontaktního měření teploty je zachyceno na Obr. 20. [2]



Obr. 20 - Princip bezkontaktního měření povrchové teploty (upraveno) [2]

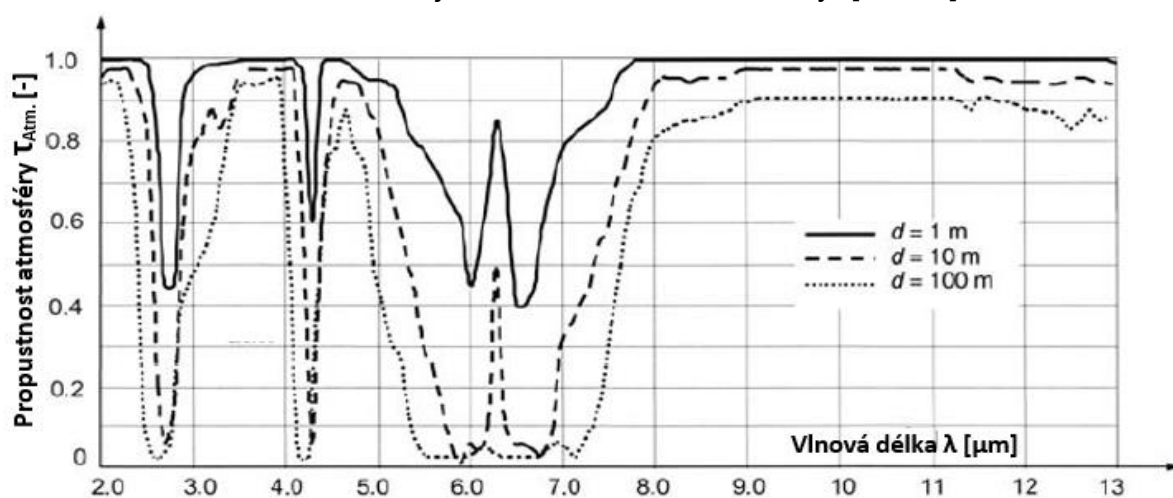
Pro správné měření povrchové teploty je nezbytné definovat **tzv. vstupní měřicí parametry**, které jsou v praxi většinou zadávány přímo do měřicího přístroje:

1. **Emisivita měřeného objektu** $\varepsilon_{Obj.}$ [-]
2. **Odražená zdánlivá teplota** $T_{Odr.}$ [°C].
3. **Atmosférická teplota** $T_{Atm.}$ [°C]
4. **Relativní atmosférická vlhkost** [%]
5. **Vzdálenost měření** [m]

Termokamery vždy dovolují přesné nastavení **emisivity** a **odražené zdánlivé teploty**. Dražší a lépe vybavené termokamery umožňují dodefinovat i parametry atmosféry, tj. **atmosférická teplota**, **vzdálenost měření** a **relativní atmosférická vlhkost**. [12]

U obyčejných pyrometrů se povětšinou nastavuje pouze **emisivita** a u lepších přístrojů také **odražená zdánlivá teplota**. Vliv atmosféry je korigován výpočtovým modelem na základě zadané hodnoty emisivity. [12]

Propustnost atmosféry je ovlivněna zejména molekulami **vody H₂O** a **oxidu uhličitého CO₂**, které tlumí infračervené záření určitých **vlnových délek**. Závislost propustnosti atmosféry na vlnové délce a vzdálenosti měření zachycuje Obr. 21. Omezení útlumem atmosféry se projevuje především při **větších vzdálenostech měření**. Pro krátké vzdálenosti je útlum často zanedbatelný. [2,5,13]



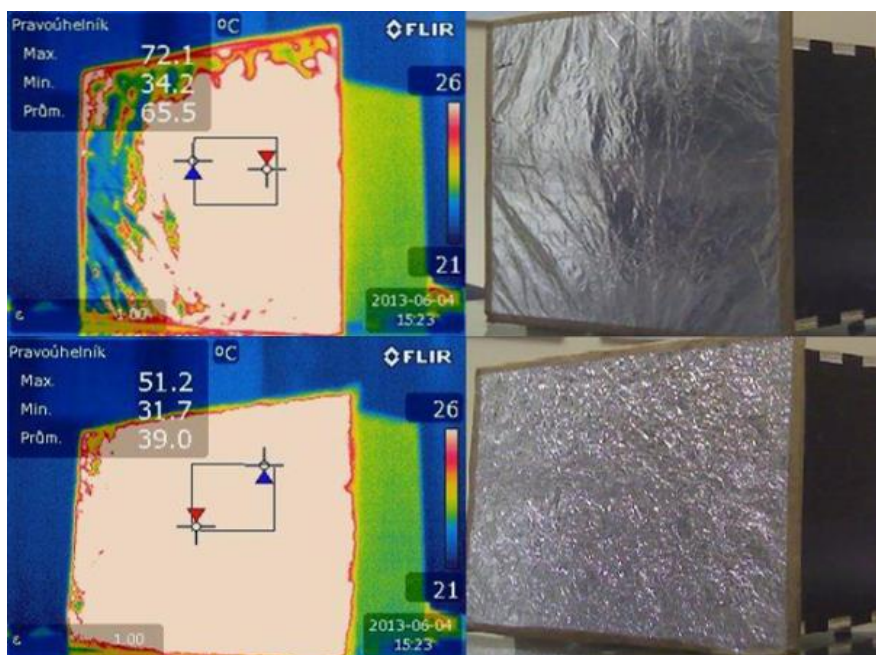
Obr. 21 - Závislost propustnosti atmosféry na vlnové délce λ a vzdálenosti měření d (upraveno) [5]

Odražený zářivý tok $\Phi_{Odr.}$ je obecně funkcí **odražené zdánlivé teploty** $T_{Odr.}$. Pro její měření definuje norma ČSN ISO 18434-1 (*Monitorování stavu a diagnostika strojů – Termografie – Část 1: Všeobecné postupy*) [14] dvě metody: **přímou metodu** a **metodu odrazu**. Metoda odrazu pracuje s IČ reflektorem (odražečem). Ten je normou definován jako „pomačkaná“ a zpětně narovnaná hliníková folie (alobal), která je připevněná k rovné desce lesklou stranou nahoru². Přímá metoda naopak využívá znalosti jednoduchého **zákona odrazu** elektromagnetického vlnění³, díky kterému je odražená zdánlivá teplota měřena tzv. „přímým“ pohledem do zdroje. Pokud to situace dovolí, je vhodné změřit odraženou zdánlivou teplotu oběma metodami a získané hodnoty porovnat. Hlavní důvod je ten, že norma nedefinuje míru „pomačkání“

² Odražená zdánlivá teplota by měla být vyhodnocována plošně.

³ Zákon odrazu elektromagnetického vlnění říká, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu.

hliníkové fólie IČ reflektoru. Různé míry „pomačkání“ mohou znatelně ovlivnit hodnotu odražené zdánlivé teploty (Obr. 22). [14,15]



Obr. 22 - Různé hodnoty odražené zdánlivé teploty v závislosti na míře „pomačkání“ hliníkové fólie IČ reflektoru (upraveno) [15]

O technikách **měření emisivity** v praxi pojednává samostatná kapitola 2.3.

2.2.2. Slovník základních parametrů měřicích přístrojů

Při výběru vhodného měřicího přístroje je potřeba rozlišovat několik základních charakteristických parametrů: **spektrální rozsah přístroje**, **teplotní citlivost** (NETD), **rozlišení detektoru**, **zorné pole** (FOV), **okamžité zorné pole** (IFOV), **teplotní rozsah přístroje** a **přesnost měření** (nejistota měření).

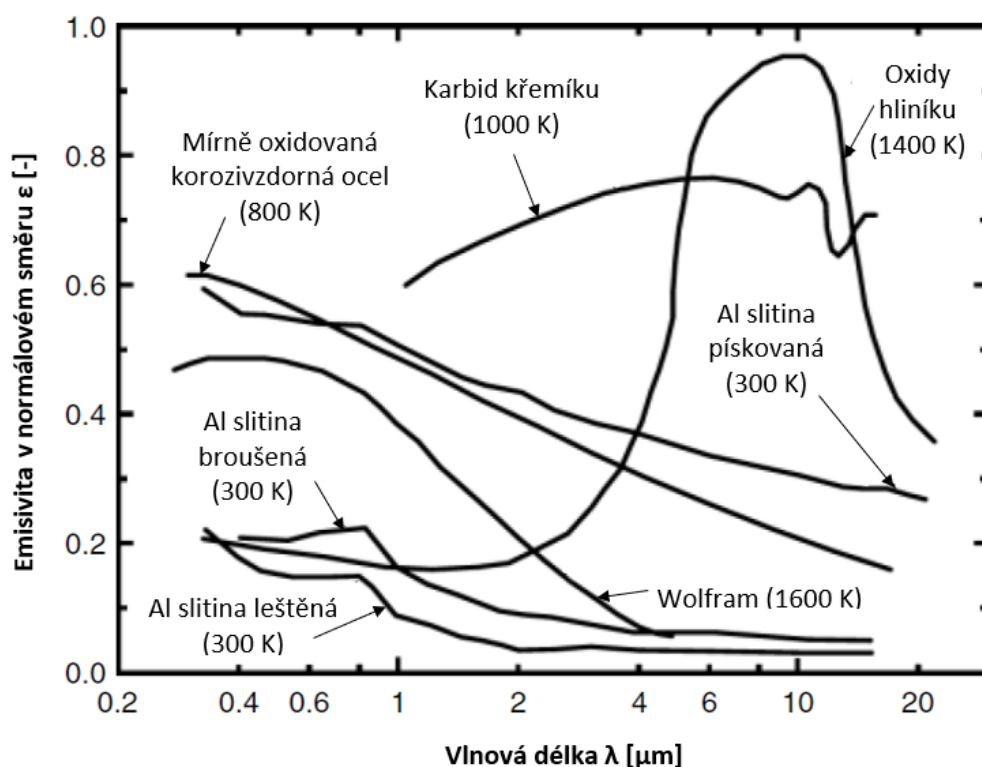
Spektrálním rozsahem přístroje se rozumí interval vlnových délek IČ záření, které přístroj dokáže detekovat. Omezení na příslušný interval vlnových délek je dáno konstrukcí **optické části** a **detektoru** přístroje. Z hlediska propustnosti atmosféry (Obr. 12) rozlišujeme dvě pásma s nejlepším přenosem (minimální absorpce) záření (tzv. „atmosférická okna“), která svým rozsahem vlnových délek odpovídají dvěma nejpoužívanějším typům detektorů: **detektory** s rozsahem 2 až 5 μm (pásma **SWIR**⁴ a **MWIR**⁵) a **detektory** s rozsahem 8 až 14 μm (pásma **LWIR**⁶).

⁴ SWIR – krátkovlnné infračervené záření (rozsah vlnových délek 1,4 až 3 μm)

⁵ MWIR – středovlnné infračervené záření (rozsah vlnových délek 3 až 8 μm)

⁶ LWIR – dlouhovlnné infračervené záření (rozsah vlnových délek 8 až 15 μm)

Obzvláště u pyrometrů se lze setkat také s úzkopásmovými rozsahy např. 0,8 až 1,75 μm (pásma **NIR**⁷ a **SWIR**). Některé pyrometry jsou dokonce konstruovány pro měření na jedné vlnové délce např. 1,6 μm . Termokamery se spektrálním rozsahem 8 až 14 μm obsahují ve většině případů nechlazené **tepelné detektory** (mikrobolometrický maticový detektor). Ostatní přístroje pak obsahují výhradně chlazené **kvantové detektory** (např. HgCdTe nebo InSb). Kdykoliv se zabýváme látkami, které mají emisivitu závislou na **vlnové délce** (Obr. 23), musíme nejprve zjistit, zda je emisivita konstantní v používaném spektrálním rozsahu termokamery či pyrometru. V případě, že je její hodnota proměnná, je vhodné použít úzkopásmové filtry nebo přístroj s jiným spektrálním rozsahem. Pokud to není možné, je třeba si uvědomit, že jakákoliv kvantitativní analýza bude mnohem složitější a k vyhodnocení teploty bude potřeba vždy okamžitá hodnota emisivity. Z hlediska negativních okolních vlivů, které vystupují do popředí při bezkontaktním měření teploty, je doporučeno volit takový spektrální rozsah, ve kterém je hodnota emisivity nejvyšší. [2,5,12,16]



Obr. 23 - Závislost normálové emisivity na vlnové délce pro různé materiály (upraveno) [2]

Teplotní citlivost je definována parametrem **NETD** (tzv. šum ekvivalentní rozdílu teplot), který udává takový rozdíl teplot mezi zobrazením černého tělesa a jeho

⁷ NIR – blízké infračervené záření (rozsah vlnových délek 0,76 až 1,4 μm)

pozadí, při kterém je pro daný měřicí přístroj poměr signálu k šumu roven právě jedné. Matematický zápis parametru NETD má tvar:

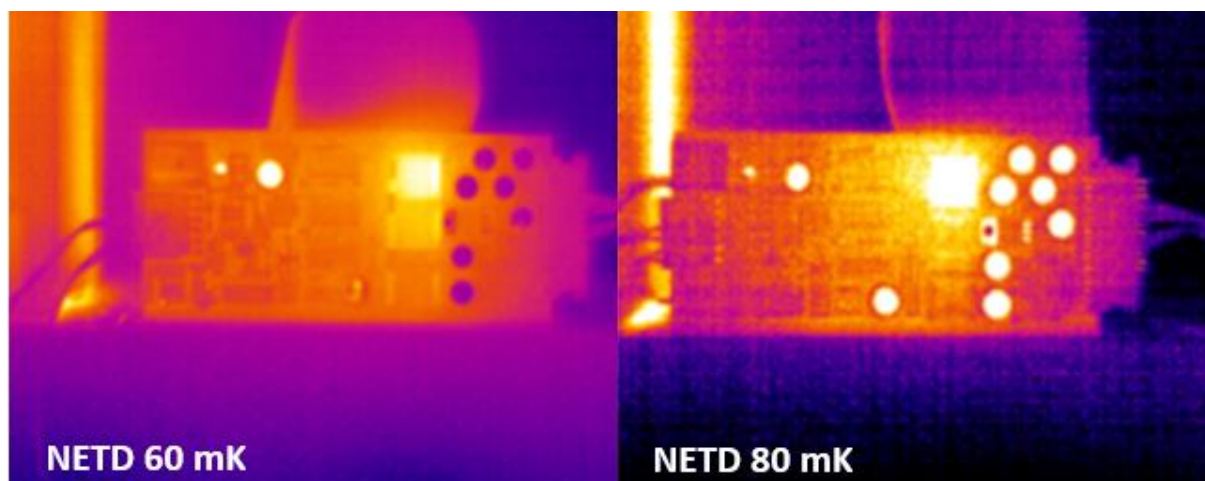
$$NETD = \frac{T_{BB} - T_P}{\frac{\Delta U_S}{U_\xi}} [mK] \quad (14)$$

a zároveň platí, že:

$$\frac{\Delta U_S}{U_\xi} = 1 \quad (15)$$

kde: $T_{BB} [mK]$ je teplota černého tělesa, $T_P [mK]$ je teplota pozadí, $\Delta U_S [mV]$ je signálové napětí generované rozdílem teplot $T_{BB} - T_P$ a $U_\xi [mV]$ je šumové napětí systému.

Platí, že čím nižší je hodnota parametru NETD, tím **kvalitnější termogramy** je termokamera schopna pořídít (Obr. 24). V současné chvíli se teplotní citlivost u termokamer pohybuje v intervalu **15 až 150 mK**. Nejcitlivější jsou přístroje s chlazenými **kvantovými detektory**. [6,12,16,17]



Obr. 24 - Ovlivnění kvality termogramu parametrem NETD (upraveno) [17]

Rozlišení detektoru vyjadřuje rozměry detektoru (počet pixelů) v horizontálním a vertikálním směru (H x V). Zatímco donedávna bylo rozlišení 320 x 240 pixelů považováno za velmi dobré, dnes se lze běžně setkat s rozlišením 640 x 480 pixelů u termokamer střední třídy a 1024 x 768 pixelů u špičkových kvantitativních termokamer. [18]

Zorné pole (FOV) představuje největší plochu, kterou je termokamera schopna zobrazit na definovanou vzdálenost daným objektivem. Zorné pole je ve většině případů obdélníkové vymezené **horizontálním** (HAOV) a **vertikálním** (VAOV) zorným

úhlem ($HAOV \times VAOV$), např. $24^\circ \times 18^\circ$. Ze **zorných úhlů** a **vzdálenosti měření** lze na základě známých vztahů dopočítat charakteristické rozměry zorného pole:

$$HFOV = d \cdot \sin(HAOV) [m] \quad (16)$$

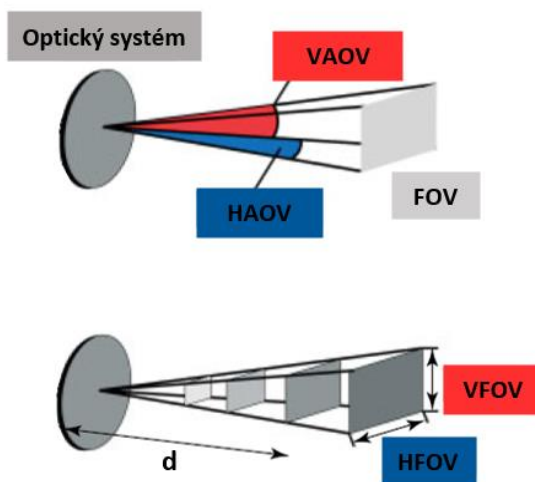
$$VFOV = d \cdot \sin(VAOV) [m] \quad (17)$$

kde: $HFOV [m]$ je horizontální rozměr zorného pole, $VFOV [m]$ je vertikální rozměr zorného pole, $d [m]$ je vzdálenost měření, $HAOV [^\circ]$ je horizontální zorný úhel a $VAOV [^\circ]$ je vertikální zorný úhel (Obr. 25). [2,5,18]

Zorný úhel zůstává pro daný detektor a objektiv konstantní a **velikost zorného pole se mění podle vzdálenosti měření** (Tab. 1).

Tab. 1 – Závislost velikosti FOV na vzdálenosti měření pro standardní objektiv $24^\circ \times 18^\circ$ [5]

d [m]	0,5	1	2	5	10	30	100
HFOV [m]	0,2	0,41	0,81	2	4,1	12	41
VFOV [m]	0,15	0,31	0,62	1,5	3,1	9,3	31



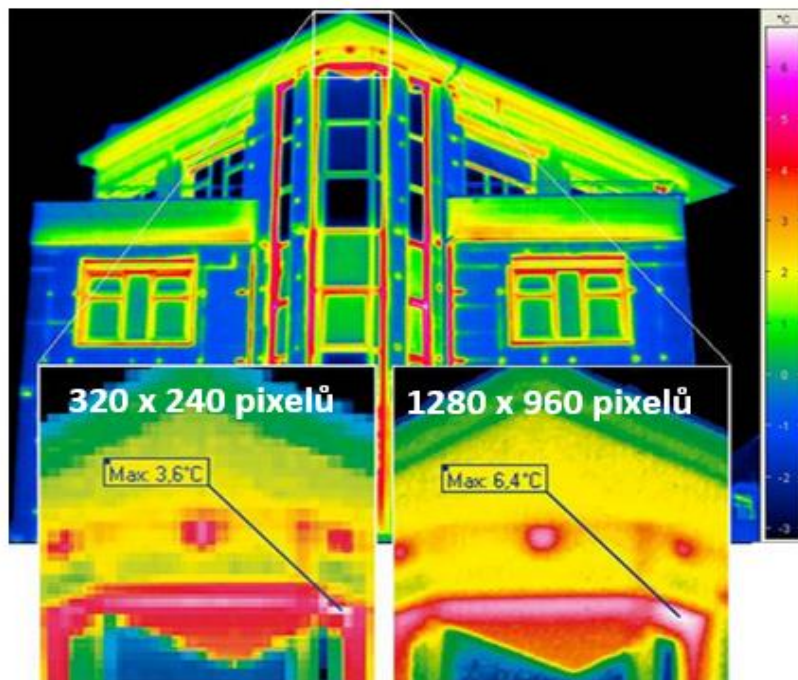
Obr. 25 - Vysvětlení pojmů zorné pole a zorný úhel (upraveno) [2]



Obr. 26 - Vliv použití různých objektivů: 12° teleobjektiv, 24° standard, 45° širokoúhlý objektiv (pozn.: označení objektivu odpovídá horizontálnímu zornému úhlu) (upraveno) [2]

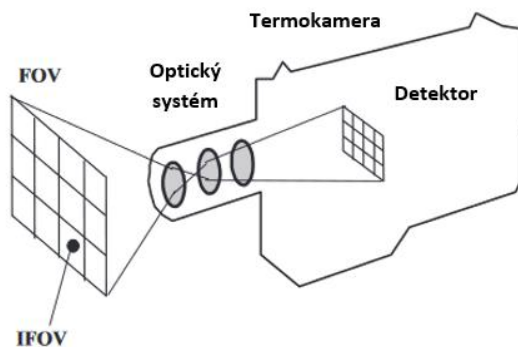
Obr. 26 zachycuje změnu velikosti zorného pole v závislosti na použití různých objektivů při jednotné vzdálenosti měření.

Pokud je v praxi zvoleno příliš **velké zorné pole** u termokamery s **nízkým rozlišením** detektoru, může dojít k chybnému vyhodnocení povrchové teploty (Obr. 27). [19]



Obr. 27 - Vliv rozlišení detektoru na vyhodnocení povrchové teploty (upraveno) [19]

Okamžité zorné pole (IFOV) představuje část zorného pole, která připadá na jeden dílčí senzor (pixel) maticového detektoru termokamery (Obr. 28). Velikost okamžitého zorného pole bývá vymezena v jednotkách rovinného úhlu, tj. např. 1,09 mrad. Znalost okamžitého zorného pole je velmi důležitá při ověření správnosti navržené vzdálenosti měření malých objektů z větších vzdáleností. Podrobný výpočet parametru IFOV a popis problematiky ověření vzdálenosti měření se nachází v kapitole 4.6. [8,12]



Obr. 28 - Znáznornění okamžitého zorného pole IFOV (upraveno) [8]

Teplotní rozsah reprezentuje teplotní interval, na kterém je měřicí přístroj schopen měřit teplotu. Teplotní rozsah přístroje je navíc rozdělen na několik **měřicích rozsahů**. Například termokamera Flir E96 měří teplotu v rozmezí -20 až 1500 °C ve třech měřicích rozsazích: -20 až 120 °C, 0 až 650 °C a 300 až 1500 °C. [12,20]

Přesnost měření je u současných měřicích přístrojů standardně ± 2 °C nebo ± 2 % z naměřené hodnoty, přičemž platí větší z obou hodnot. Pro teplotu 15 °C je výsledkem měření 15 °C ± 2 °C, zatímco při naměřené teplotě 300 °C je pak výsledkem údaj 300 °C ± 6 °C. Nejlepší (nejdražší) přístroje dosahují i přesnosti ± 1 °C nebo ± 1 % z naměřené hodnoty. [12]

2.2.3. Software pro termografickou analýzu

Pořízené termogramy lze na PC pohodlně zkoumat, analyzovat, editovat a hodnotit řadou funkcí v prostředí **softwaru pro termografickou analýzu**. Na trhu existuje značné množství nejrůznějších výrobců termokamer, kteří ke svým produktům dodávají také příslušné analyzační softwary. V následující části této kapitoly se nachází přehled a popis softwarů od společnosti FLIR. Výběr softwarového portfolia společnosti FLIR koresponduje s použitou termokamerou v experimentální části diplomové práce (viz kapitola 4.2).

Do října roku 2020 byl k termokamerám dodáván bezplatně software **FLIR Tools**. Jakožto základní software pro termografickou analýzu umožňuje FLIR Tools editaci termogramů z termokamery, tvorbu elementárních protokolů z měření ve formátu PDF, aktualizaci vnitřního softwaru (tzv. firmware) termokamery a export snímků z termokamery na disk počítače. Placená rozšiřující nadstavba **FLIR Tools +** dále umožňuje záznam a editaci radiometrického videa a tvorbu uživatelsky definovaných protokolů v prostředí MS Word. Prostoru softwaru FLIR Tools je viditelné na Obr. 68 v kapitole 4.8.

S nástupem nové generace termokamer série Txx a Exx v říjnu roku 2020 přišel na trh zcela nový software **FLIR Thermal Studio Suite**. Tento software se dále rozděluje na tři verze v závislosti na uvolněných funkcích dle předplatného: **Thermal Studio Starter**, **Thermal Studio Standard** a **Thermal Studio Pro**. **Starter** je bezplatná verze, která nabízí obdobné funkce jako starší FLIR Tools. **Standard** je placená verze, jejíž licence pro jednoho uživatele stojí přibližně 200 USD na 12 měsíců. Stejně jako u verze **Starter** nelze nahrávat ani editovat radiometrická videa. **Standard** verze nabízí

základní úpravu více termogramů najednou. V tomto režimu je možné hromadně použít měřicí funkci bod a sjednotit nastavení emisivity nebo vzdálenosti měření na vybrané skupině termogramů. Dále lze vytvořit až pět vlastních šablon pro reporty z měření. **Pro** je plně profesionální placená verze. Licence pro jednoho uživatele stojí přibližně 400 USD na 12 měsíců. Pro uživatele je rozhodující, že tato verze umožňuje nahrávání a editaci radiometrického videa. [20,21]

2.2.4. Použití termokamer v průmyslové praxi

Pro správné a komplexní pochopení použití infračervené termografie v praxi je nutné definovat několik základních metod měření a zkoušení. Infračervenou termografii lze rozdělit podle normy ČSN ISO 18434-1 [14] na **kvalitativní** a **kvantitativní**.

Kvalitativní termografie ze své podstaty nevyžaduje přesné měření povrchových teplot. V rámci této metody se hovoří o tzv. **zdánlivé povrchové teplotě**⁸. Slouží zejména k lokalizaci míst s odlišnou povrchovou teplotou (tzv. anomálií). Takováto místa jsou následně vystavena dalšímu zkoumání.

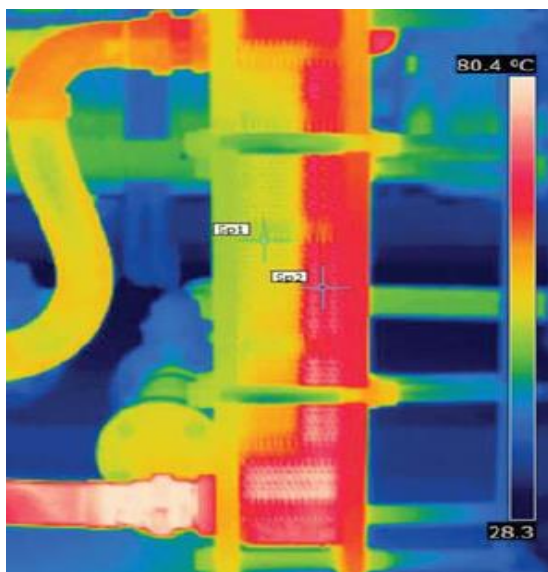
Kvantitativní termografie se primárně zaměřuje na přesné měření povrchových teplot. Při této metodě se pracuje již s tzv. **skutečnou povrchovou teplotou** a je velmi důležité **správné určení všech měřicích parametrů** (viz kapitola 2.2.1). V reportu (protokolu) z měření je nutné uvádět všechny hodnoty měřicích parametrů, které posloužily k výpočtu teploty.

Obě výše zmíněné metody mohou být dále použity ve smyslu **pasivní** nebo **aktivní** termografie. Pokud není během měření uměle ovlivňována teplota objektu a měří se přirozená teplota nebo přirozeně vzniklé teplotní kontrasty, jedná se o **pasivní termografii**.

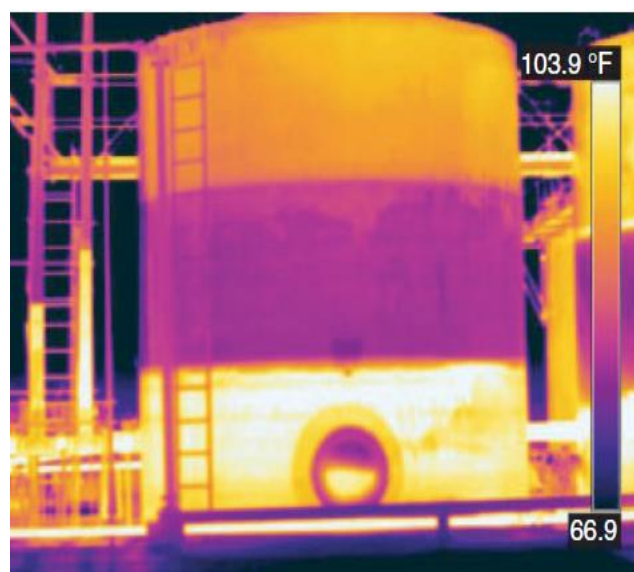
Aktivní termografie pracuje s externím zdrojem tepelné energie, která je na zkoušený povrch dodávána striktně popsáním způsobem. Dodané teplo je zkoušeným materiálem rozváděno, odváděno a způsobuje vznik teplotních kontrastů. Teplotní kontrasty mohou být spojeny s materiálovými vadami a nehomogenitami (vždy záleží na konkrétní aplikaci). Podle způsobu dodávání tepelné energie lze aktivní termografii dále rozdělit např. na **pulsní termografii**, **termografii s postupným**

⁸ Zdánlivá povrchová teplota – hodnota povrchové teploty, která není korigována (tzn. nejsou uvažovány optické vlastnosti zkoumaného povrchu, vlivy atmosféry a záření z okolních zdrojů). Emisivita je ve vnitřním SW termokamery obvykle nastavena na hodnotu 1,0 a vzdálenost měření na hodnotu 0 m.

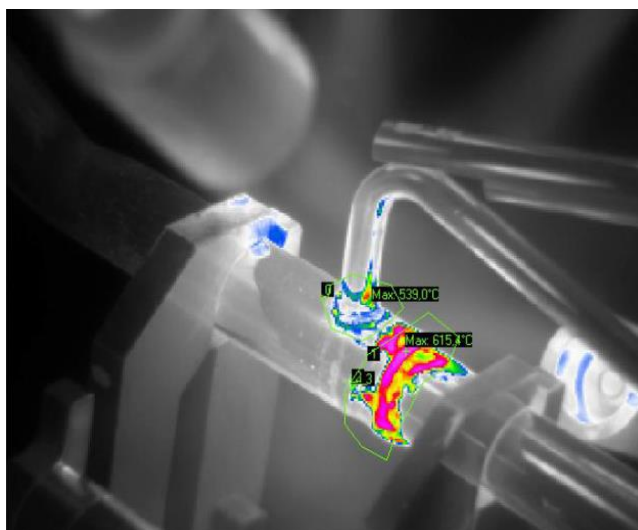
ohřevem, vibrotermografií, synchronizovanou termografií a ultrazvukovou termografií. Na následujících obrázcích č. 29 až 34 jsou vyobrazené vybrané příklady praktického použití termokamer v průmyslové praxi. [6,14,22]



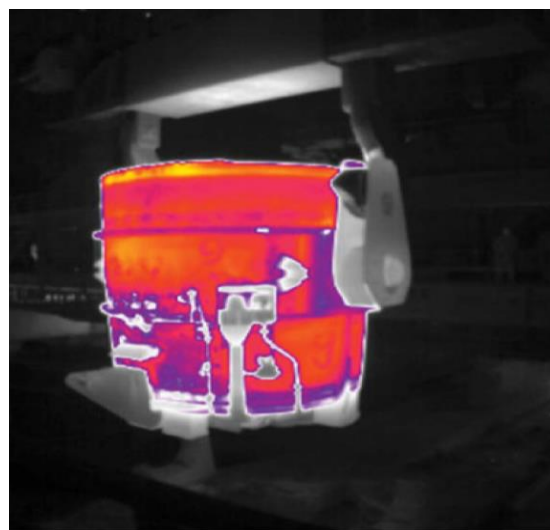
Obr. 29 - Kontrola funkčnosti tepelného výměníku [3]



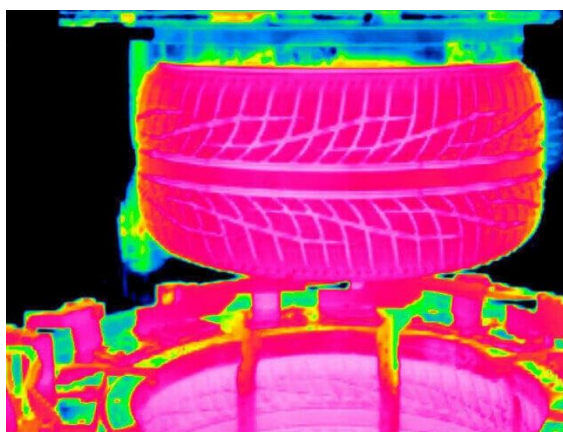
Obr. 30 - Stav výšky hladiny kapaliny v nádrži [2]



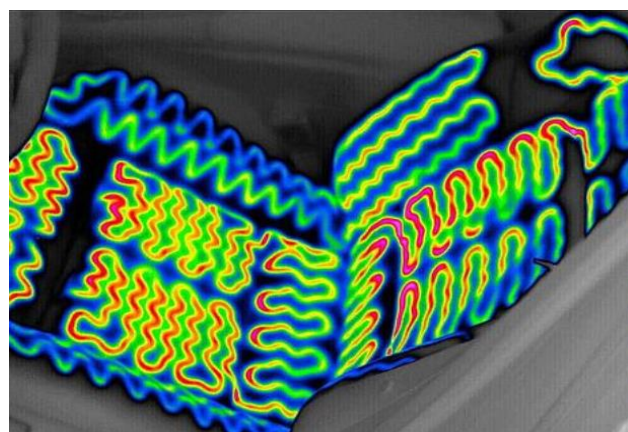
Obr. 31 - Kontrola teploty při pájení hliníku plamenem [11]



Obr. 32 - Monitoring lící pánve [3]



Obr. 33 - Kontrola v procesu výroby pneumatik [23]



Obr. 34 - Kontrola vyhřívání sedadel automobilu [23]

2.3. Techniky stanovení emisivity v praxi

Nejjednodušším, nejrychlejším a nejlevnějším způsobem, jak určit emisivitu příslušného povrchu, je použití **tabelované hodnoty**. Rozličné tabulky emisivit pro **různé materiály, teploty a vlnové délky** lze dohledat v odborné literatuře [4,24], případně také na internetových stránkách (Tab. 2) nebo v produktových listech měřicích přístrojů. Tabulkové hodnoty však v praxi nemusí přesně reflektovat konkrétní podmínky měření, tj. například **měřené teploty, úhel snímání povrchu, povrchovou drsnost** (Ra a Rz) nebo **míru povrchové degradace**. Z tohoto důvodu se v praxi využívají nejčastěji tři jednoduché **nevýpočtové** metody pro „přesnější“ určení tzv. **efektivní emisivity**⁹:

1. **Metoda využívající materiál s referenční emisivitou** (samolepicí folie, barva pro termografické aplikace)
2. **Metoda využívající kontaktní měření teploty**
3. **Vyvtání díry do měřeného objektu**

Tab. 2 - Informativní hodnoty emisivity vybraných kovových povrchů ($\lambda = 8$ až $14 \mu\text{m}$) [24]

Materiál	T [°C]	ϵ [-]
Bronz (leštěný)	50	0,1
Bronz (leštěný)	200	0,3
Bronz (oxidovaný)	100	0,61
Hliník (leštěný)	100	0,05
Měď (leštěná)	100	0,03
Měď (oxidovaná)	50	0,6 až 0,7
Niklový drát	200 až 1200	0,1 až 0,2
Olovo (lesklé)	250	0,08
Železo (oxidované)	38	0,63
Železo (oxidované)	538	0,76

Na základě těchto metod je doporučeno (pokud to situace dovolí) sestavit **vlastní tabulku efektivních emisivit** pro aktuálně zkoumané povrchy při jasně definovaných podmínkách měření. [2,5,27]

⁹ Efektivní emisivita – prakticky určená hodnota emisivity povrchu nebo části povrchu objektu při daných podmínkách měření (používá se pro korekci obecných tabelovaných hodnot a k přesnějšímu měření povrchové teploty) [6]

2.3.1. Metoda využívající materiál s referenční emisivitou

Podrobný popis této metody je zakotven v normě ČSN ISO 18434-1 [14]. Princip metody spočívá v nanesení materiálu se známou hodnotou emisivity na část měřeného povrchu. V praxi se používá **barva pro termografické aplikace ve spreji** (Obr. 35) nebo **samolepicí fólie** (Obr. 36).

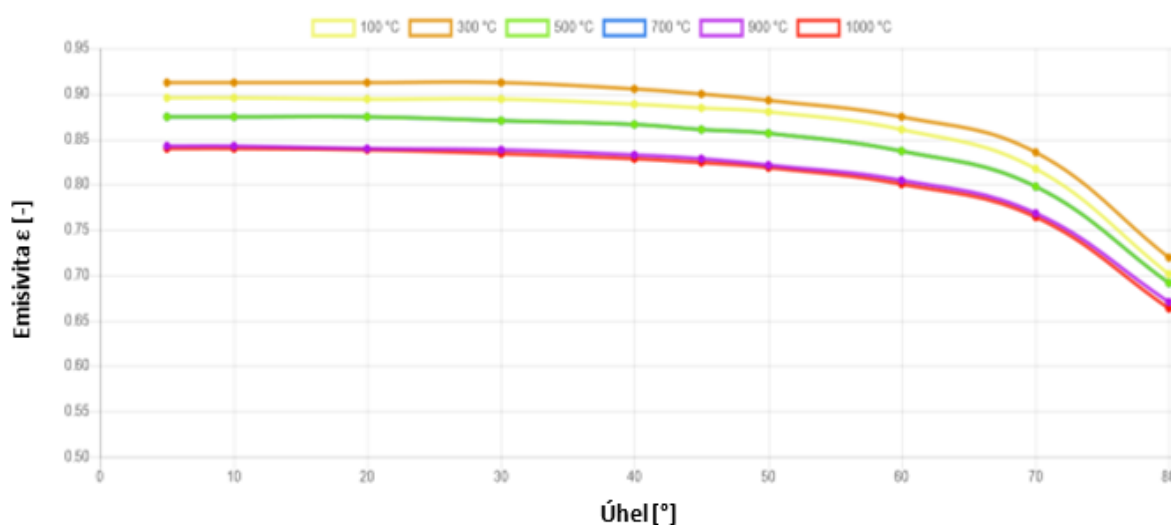


Obr. 35 - Barva pro termografické aplikace (LabIR Paint 1000 °C) [25]

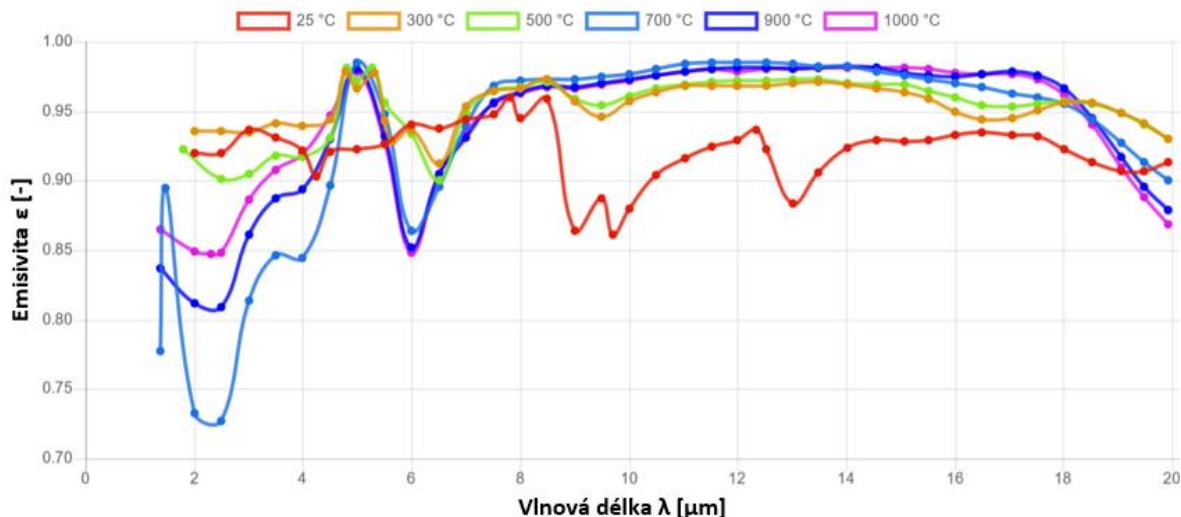


Obr. 36 - Samolepicí fólie ThermaSpot [26]

Spreje a samolepicí fólie jsou obvykle dostupné v **bílé** a **černé** barvě. Barva ve spreji může být **trvalá** nebo **smývatelná**. Dále lze spreje rozdělit podle **teplotní odolnosti** (např. pro pokojové teploty, do 100 °C, do 500 °C, do 800 °C, nebo do 1000 °C). Sofistikovanější referenční materiály jsou dodávány včetně dokumentace, která obsahuje **grafické závislosti emisivity na teplotě, úhlu měření povrchu** (Obr. 37) a **vlnové délce** (Obr. 38). [14,25,26]



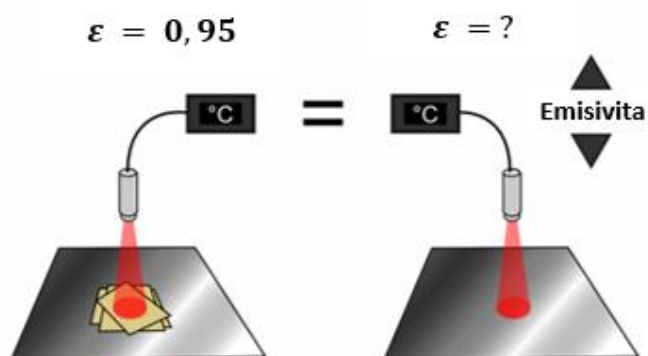
Obr. 37 - Závislost emisivity na úhlu měření povrchu pro různé teploty (LabIR Paint 1000 °C) [25]



Obr. 38 - Závislost normálové emisivity na vlnové délce pro různé teploty (LabIR Paint 1000 °C) [25]

Vždy je potřeba mít na paměti, že grafické a tabulkové hodnoty z dokumentace odpovídají **předepsanému postupu předúpravy povrchu a podmínkám aplikace referenčního materiálu.**

Po aplikaci referenčního nátřiku nebo samolepicí fólie na část zkoumaného povrchu následuje vlastní měření efektivní emisivity, které je možné rozdělit na tři fáze. V **první fázi** je termokamera ustavena do požadované vzdálenosti před měřený objekt. Následně je pomocí vhodné metody změřena odražená zdánlivá teplota (viz kapitola 2.2.1). Teplota měřeného povrchu se lokálně zvýší nebo sníží alespoň o 20 °C oproti odražené zdánlivé teplotě. Ve **druhé fázi** se do interního softwaru termokamery zadá známá referenční hodnota emisivity. Termokamera se poté zaostří na měřený povrch a pořídí se termogram. Následně se ve vyhodnocovacím softwaru vykompenzují zbývající měřicí parametry a pomocí měřicí funkce bod se odečte teplota na referenčním materiálu. Ve **třetí fázi** následuje určení efektivní emisivity původního povrchu v bezprostřední blízkosti referenčního materiálu. Hodnota emisivity se postupně mění, dokud se vyhodnocovaná teplota neshoduje s teplotou zjištěnou na referenčním materiálu (Obr. 39). [2,5,14,25,26,27]

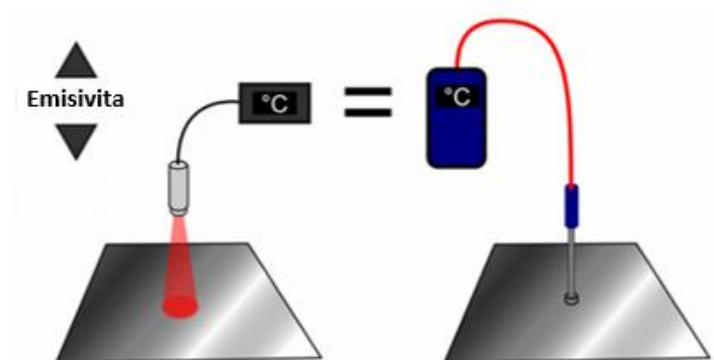


Obr. 39 - metoda využívající materiál s referenční emisivitou [27]

2.3.2. Metoda využívající kontaktní měření teploty

Metoda využívající kontaktní měření teploty je v podstatě velmi podobná metodě, při které se používá materiál s referenční emisivitou (viz kapitola 2.3.1). Postup je až na použití nástřiku nebo samolepicí fólie shodný. Správné označení je **kontaktní metoda** a vychází opět z normy ČSN ISO 18434-1 [14]. Kontaktně je teplota běžně měřena pomocí **termočlánků** (Obr. 40). Tepelná kapacita termočlánku by měla být vždy **mnohem menší než tepelná kapacita měřeného objektu**, aby nedocházelo k ovlivnění povrchové teploty.

Další důležitou podmínkou, která platí pro všechny metody měření emisivity, je eliminace odrazů infračerveného záření, aby nedocházelo k chybám v měření povrchové teploty nesprávně určenou emisivitou. [2,5,14,27]



Obr. 40 – Metoda využívající kontaktní měření teploty [27]

2.3.3. Vyvrtání díry do měřeného objektu

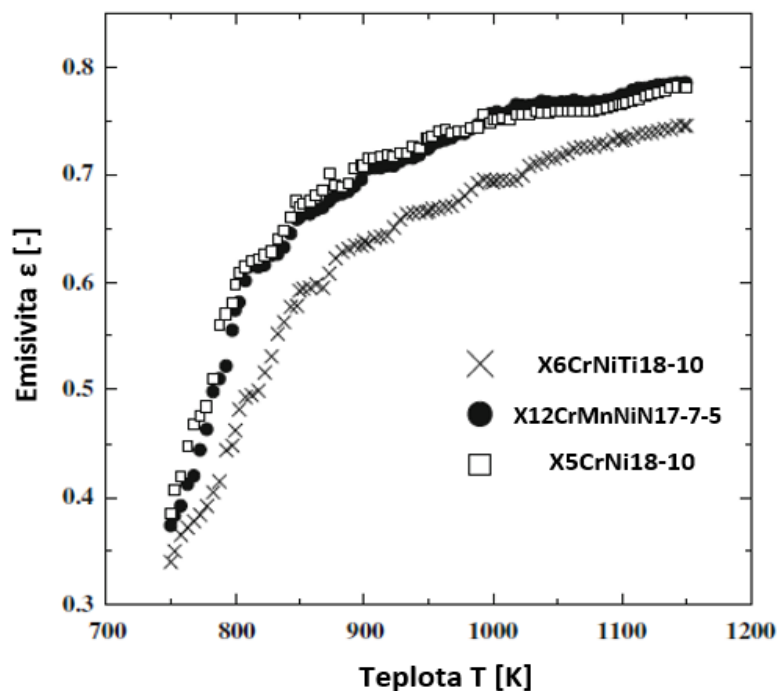
Další metoda využívá záření **uměle vytvořené dutiny** v měřeném povrchu. Takováto dutina simuluje **černé těleso** ($\varepsilon \approx 1$) a lze ji vytvořit několika způsoby. Nejjednodušším způsobem je vyvrtání díry, jejíž hloubka je alespoň **šestkrát větší než její průměr**. U této metody však nelze předpokládat, že měření teploty bude na kvantitativní úrovni. Tato metoda se používá převážně ve stavebnictví a pro většinu aplikací ve strojírenství je spíše nevhodná. Schematický náčrt příslušného vývrtu je vyobrazen na Obr. 6 v kapitole 2.1. [2,5]

3. Faktory ovlivňující hodnotu emisivity

Správná hodnota **emisivity** je jedním z nezbytných vstupů pro přesné radiometrické měření teploty pomocí termokamer. Pro kvantitativní měření teploty je nejdůležitější porozumění faktorům, které **hodnotu emisivity ovlivňují**, tj. **materiál, struktura a stav povrchu, teplota, doba ohřevu, úhel měření, vlnová délka a geometrie měřeného povrchu**. V následujících několika kapitolách je popsán vliv jednotlivých faktorů s orientací převážně na **korozivzdorné oceli**. [2,28,29]

3.1. Materiál, struktura a stav povrchu

Hlavním parametrem, který ovlivňuje emisivitu, je **obecně druh materiálu a jeho chemické složení**. Drobné rozdíly v hodnotách emisivity v závislosti na druhu korozivzdorné oceli znázorňuje Obr. 41.



Obr. 41 - Vliv chemického složení vybraných korozivzdorných ocelí na hodnotu emisivity ($\lambda=1,5 \mu\text{m}$) (upraveno) [28]

U kovových materiálů je hodnota emisivity obecně silně závislá na **drsности povrchu**. Nejnižší hodnoty emisivity dosahují **leštěné kovové povrchy** (hodnoty emisivity běžně i pod 0,2). S narůstající **drsností** se naopak emisivita zvyšuje. Při měření v terénu je také potřeba uvažovat další vlivy, tj. např. **usazeniny na povrchu** (oleje, mastnoty, prach a nečistoty) a **neznámé tloušťky vrstvy oxidů**. [2,28,29]

Oleje, mastnoty, prach a nečistoty mohou mít významný vliv zejména na hladkých kovových površích s nízkou emisivitou. U takovýchto povrchů nánosy většinou hodnotu emisivity **navyšují**. Problém je, že nánosy jsou pouze zřídka distribuovány rovnoměrně, takže nárůst emisivity není předvídatelný.

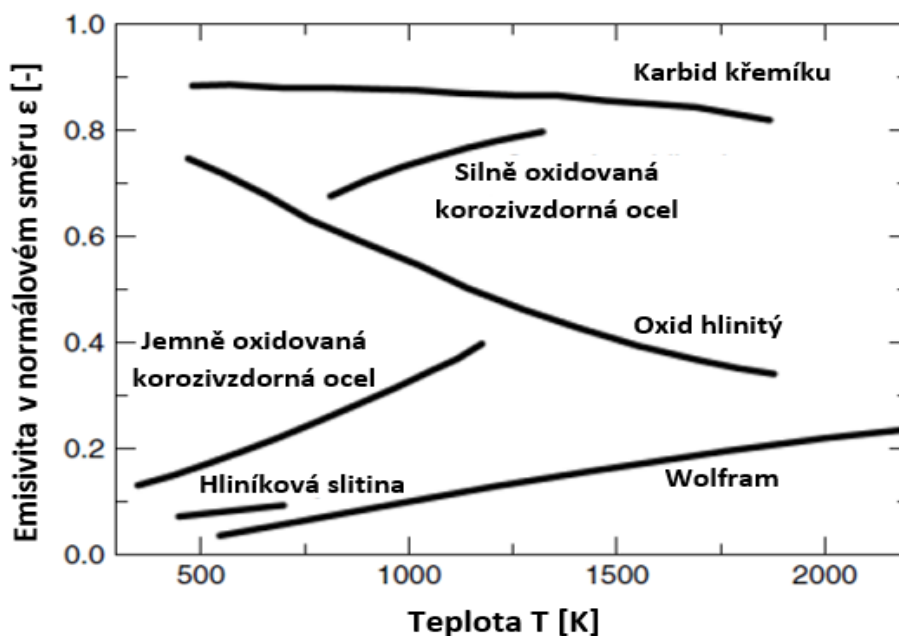
U mnoha kovových materiálů včetně korozivzdorných ocelí dochází na vzduchu k **povrchové oxidaci**. Povrchová oxidace může ovlivnit emisi infračerveného záření čtyřmi způsoby:

1. Oxidy mají typicky jinou emisivitu než původní materiál.
2. Oxidy mohou ovlivnit drsnost povrchu materiálu.
3. Vrstva oxidů se nemusí tvořit rovnoměrně stejnou rychlostí po celé ploše.
4. Tloušťka oxidové vrstvy se může v průběhu času měnit v závislosti na okolním prostředí.

Některé vrstvy oxidů jsou snadno pozorovatelné lidským okem, zatímco jiné jsou průhledné a nedetekovatelné. [29]

3.2. Teplota

Téměř všechny materiály mění hodnotu emisivity s teplotou. Pro praktické měření je dobré znát rozsah měřených teplot a proměnlivost emisivity na tomto rozsahu. Obr. 42 znázorňuje závislost normálové emisivity na teplotě pro vybrané materiály. Závislost emisivity na teplotě pro vybrané korozivzdorné oceli shrnuje Tab. 3. [2,28,29]



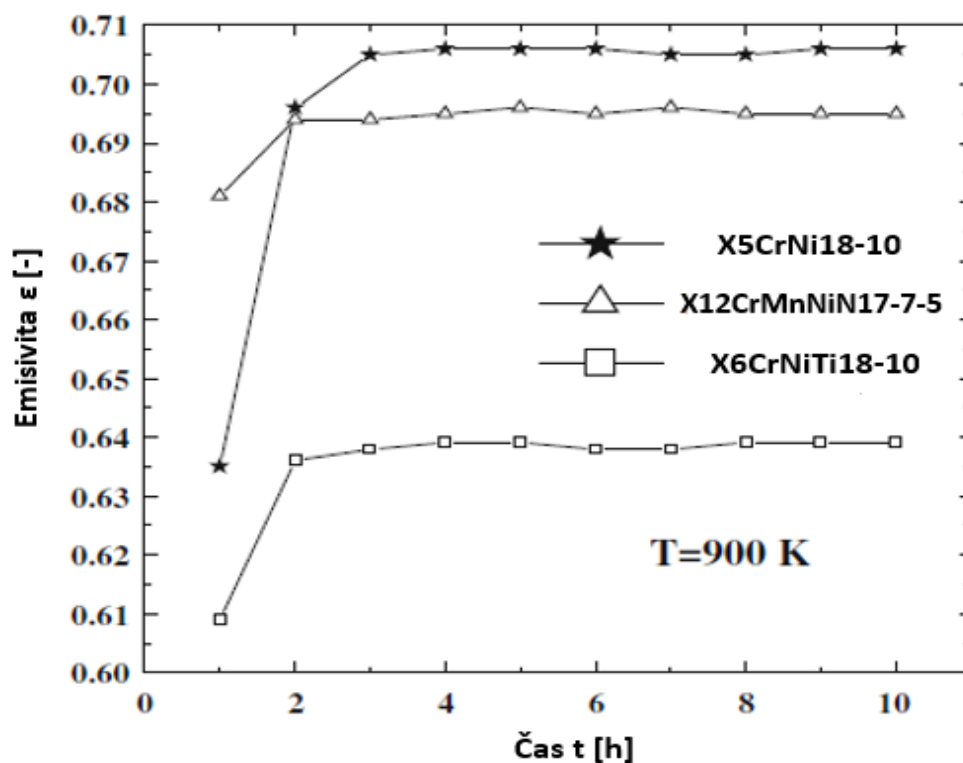
Obr. 42 - Závislost normálové emisivity na teplotě pro vybrané materiály (upraveno) [2]

Tab. 3 - Závislost emisivity na teplotě pro vybrané korozivzdorné oceli ($\lambda = 8$ až $14 \mu\text{m}$) [29]

X5CrNiMo17-12-2		X10CrNi18-8	
T [°C]	ϵ [-]	T [°C]	ϵ [-]
24	0,27	24	0,27
232	0,56	232	0,57
949	0,66	949	0,55

3.3. Doba ohřevu

Pokud je potřeba měřit emisivitu korozivzdorných ocelí při vysokých teplotách, je důležité vzít v úvahu také **ovlivnění hodnoty emisivity dobou ohřevu**. Experimentální měření u vybraných korozivzdorných ocelí prováděli např. Y. F. Liu, Z. L. Hu, D. H. Shi a K. Yu [28] nebo D. Shi, F. Zou, Z. Zhu a J. Sun [30]. Z výsledků je patrné, že **emisivita nejprve s časem narůstá, dokud se její hodnota neustálí** (Obr. 43). Tento jev souvisí s probíhající oxidací na měřeném povrchu. Od určité chvíle, kdy je povrch zcela pokrytý („nasyčený“) vrstvou oxidů, již nedochází k ovlivnění hodnoty emisivity. [28]

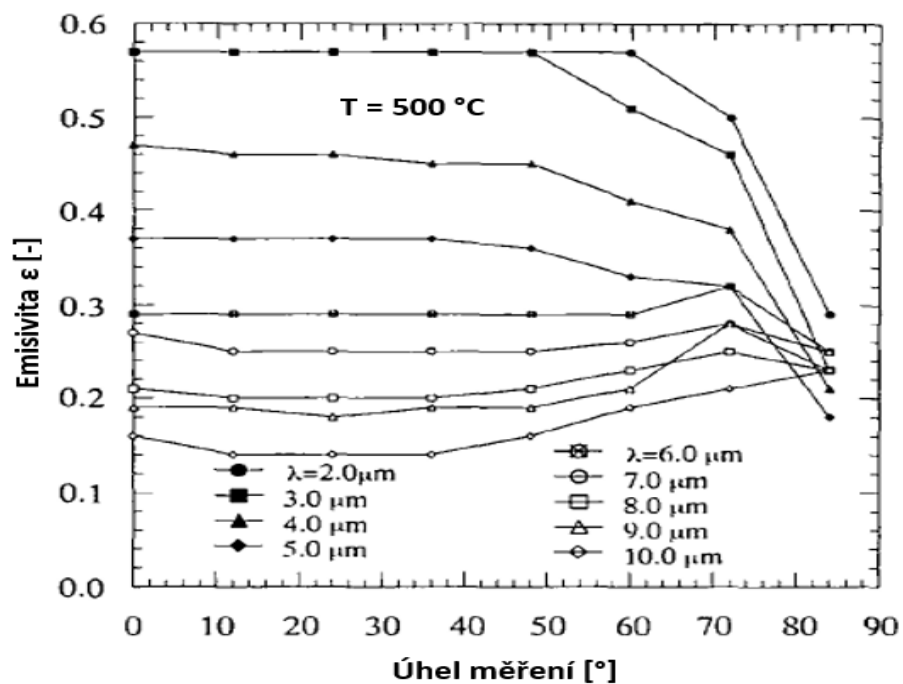


Obr. 43 - Závislost emisivity vybraných korozivzdorných ocelí na době ohřevu (upraveno) [28]

3.4. Úhel měření a geometrie povrchu

Většina laboratorních měření emisivity se provádí na **plochých površích v normálovém směru** (tedy kolmo k povrchu). V terénu lze jen zřídka měřit povrchové teploty v normálovém směru. Skutečné předměty mohou být např. **zakřivené**, mají **ostré rohy**, **šikmé úhly** nebo **různá vybrání**. Všechny tyto faktory mohou ovlivnit emisi infračerveného záření, které je potřebné pro výpočet povrchové teploty. [29]

P. D. Jones a E. Nisipeanu [31] zkoumali vliv úhlu měření a vlnové délky na hodnotu emisivity u korozivzdorné oceli X6CrNiMo17-12-2. Autoři došli k závěru, že **emisivita klesá s narůstající vlnovou délkou**. Hodnota emisivity je v závislosti na úhlu měření a vlnové délce značně proměnná. Obr. 44 zachycuje emisivitu jako funkci úhlu měření a vlnové délky při teplotě 500 °C s plně oxidovaným povrchem (vysvětleno v kapitole 3.3).



Obr. 44 - Závislost emisivity korozivzdorné oceli X6CrNiMo17-12-2 na úhlu měření a vlnové délce při teplotě 500 °C (upraveno) [31]

3.5. Vlnová délka

Ovlivnění emisivity vlnovou délkou je podrobně popsáno a diskutováno v kapitole 2.2.2. Důležité je zdůraznit, že naměřenou hodnotu emisivity na konkrétním povrchu nelze použít u dvou měřících přístrojů s **rozdílným spektrálním rozsahem**. Pokud se měří teplota **více termokamerami o stejném spektrálním rozsahu**, je rovněž doporučeno, aby se emisivita jednoho měřeného povrchu **určila pro každý měřicí přístroj zvlášť**. [29]

4. Experimentální část

4.1. Úvod a návrh experimentu

Cílem praktické části diplomové práce je realizace experimentu, při kterém by měl být zmapován vliv úhlu měření na hodnotu **emisivity** při různých povrchových teplotách vzorků z ocelí X5CrNi18-10 a S355N. Experimentální měření je navázáno na předchozí bakalářskou práci autora z roku 2020 [1]. Modifikovaná metodika měření a způsob přípravy vzorků by měly eliminovat další ovlivňující proměnné, které do vlastního měření vstupují, a tím zpřesnit určované hodnoty emisivity při reálném měření.

Podstatou experimentu je měření emisivity povrchu chladnoucích ocelových vzorků **kontaktní metodou** dle normy ČSN ISO 18434-1 [14]. Měření je realizováno pomocí termokamery se spektrálním rozsahem 7,5 – 14 μm (nechlazený mikrobolometrický detektor). Souběžně s pořízováním termogramů je měřena povrchová teplota vzorků pomocí dvou přivařených termočlánků k **měřenému povrchu**. Princip vyhodnocení spočívá v postupných změnách (iteracích) emisivity ve vyhodnocovacím SW, dokud se teplota měřená termokamerou neshoduje s teplotou zjištěnou kontaktně kalibrovanými termočlánky.

Emisivita je měřena v teplotním rozsahu **50 až 500 °C**. Vzorky jsou ohřívány v elektrické žíhací peci. Spodní hranice 50 °C je zvolena na základě doporučení normy ČSN ISO 18434-1 [14]. Teplota měřeného povrchu musí být rozdílná (větší nebo menší) alespoň o 20 °C oproti odražené zdánlivé teplotě. Horní hranice 500 °C byla stanovena na základě ohřevu prvního zkušební vzorku. Ocelové vzorky byly ohřívány na 700 °C. Po vyjmutí z pece však nastává prodleva před samotným zahájením měření (během které dochází k upnutí do přípravku, ustavení do měřicí sestavy a spuštění termokamery).

4.1.1. Navržený postup měření

Měření by mělo probíhat chronologicky dle jednotlivých bodů:

1. Připravit vzorky pro měření (viz kapitola 4.3).
2. Postavit měřicí sestavu a připravit experimentální pracoviště (viz kapitola 4.1.2).

3. Zapnout elektrickou žíhací pec, nastavit potřebnou teplotu (700 °C) a nechat dostatečně vyhřát pracovní prostor pece (diodová signalizace).
4. Zapnout termokameru a zvolit vhodný rozsah měření (**0 až 650 °C**).¹⁰ Nastavit **emisivitu na hodnotu 1,0**.
5. Sjednotit **datum** a **čas** v nastavení termokamery a dataloggeru pro měření teploty, aby bylo možné provést zpětně synchronizaci teplot z termočlánků se získanými termografickými daty.
6. Do měřicí sestavy umístit IČ reflektor a pořídit pět snímků pro vyhodnocení **odražené zdánlivé teploty**. Ve vyhodnocovacím SW vyhodnotit odraženou zdánlivou teplotu a její hodnotu vložit do vnitřního SW termokamery (viz kapitola 4.4).
7. Ve vnitřním SW termokamery nastavit další okrajové podmínky měření – aktuální hodnoty **atmosférické teploty, relativní vlhkosti a vzdálenosti měření** (viz kapitola 4.5).
8. Na termokameře nastavit funkci **časosběrné snímání** v intervalech 10 s.
9. Spojit termočlánky s kompenzačním vedením k dataloggeru a zapnout datové nahrávání.
10. Vložit vzorek do pracovního prostoru pece a ohřát (na teplotu 700 °C, prohřát po dobu 10 minut).
11. Nastavit příslušný **úhel měření** na upínacím přípravku pro ohřáté vzorky.
12. Vyjmout vzorek z pece a upnout do připraveného přípravku.
13. Vložit přípravek se vzorkem do měřicí sestavy a zapnout časosběrné snímání na termokameře.¹¹
14. Vyhodnocení naměřených dat:
 - Přiřadit konkrétní povrchové teploty z termočlánků jednotlivým termogramům podle času, ve kterém byly termogramy pořízeny.
 - Ve vyhodnocovacím SW měnit hodnotu emisivity postupnými iteracemi, dokud se vyhodnocená teplota z termokamery neshoduje s teplotou z termočlánku. Z naměřených hodnot sestavit graf závislosti emisivity na teplotě (při konkrétním měřicím úhlu).
15. Postup měření opakovat pro všechny zvolené úhly odklonu termokamery od povrchové normály. V průběhu nezapomenout aktualizovat parametry měření (odražená zdánlivá teplota, relativní vlhkost, atmosférická teplota).

¹⁰ Velmi důležité je nastavit správný teplotní rozsah. U pořízených termogramů nelze zpětně měnit.

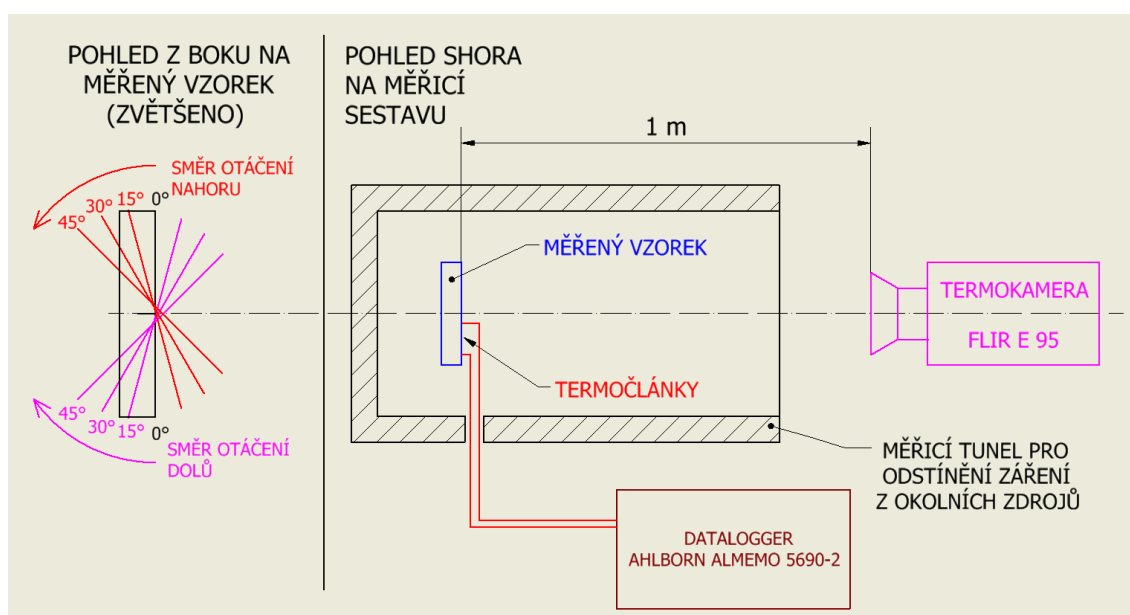
¹¹ Kroky č. 12 a 13 je třeba provést velmi rychle po sobě, aby teplota vzorku neklesla pod 500 °C.

4.1.2. Uspořádání měření

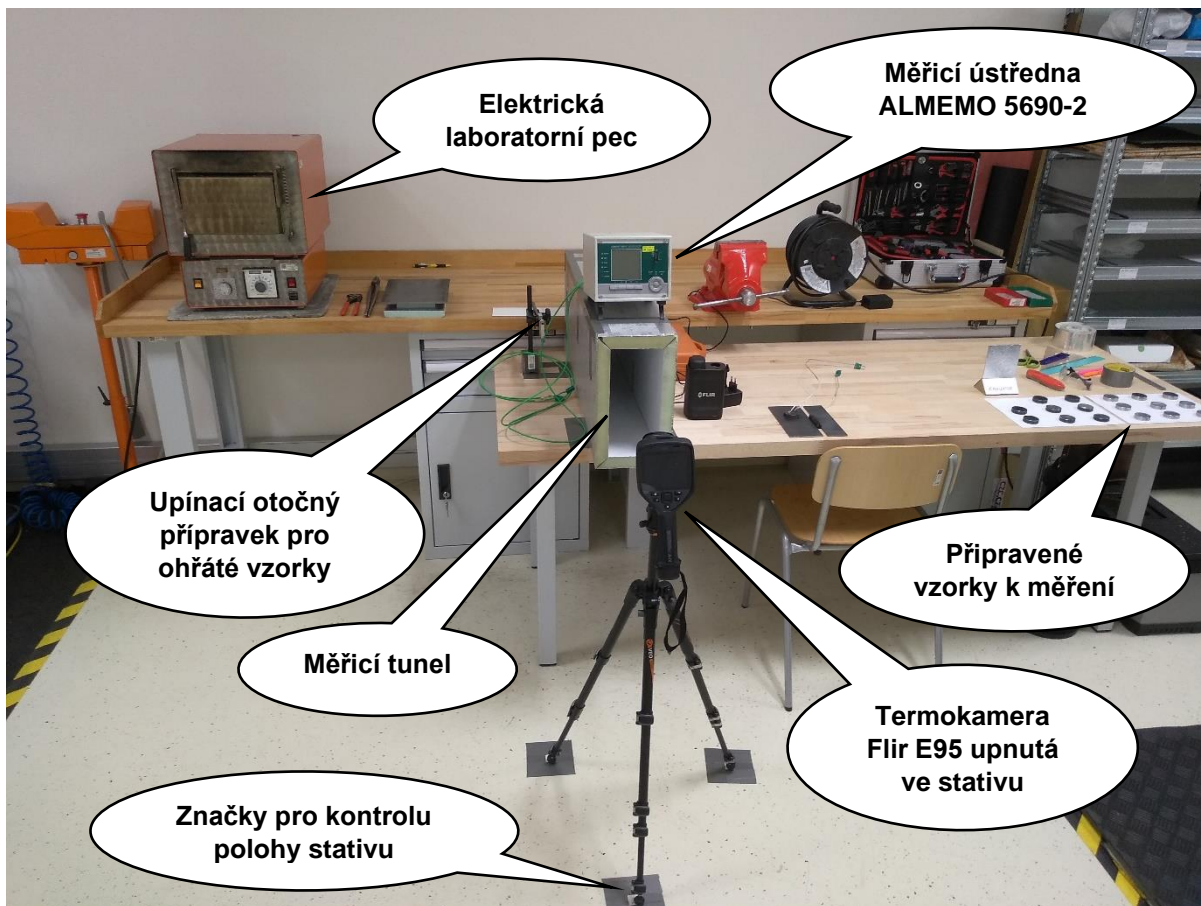
Při přípravě měřicího pracoviště je z hlediska uspořádání a eliminace rušivých vlivů potřeba dodržet několik pravidel:

1. Dodržet co nejkratší vzdálenost od pece k měřicí sestavě, s ohledem ke komfortní manipulaci s horkými vzorky, které dosahují teploty až 700 °C (dáno délkou kompenzačního vedení k termočlámkům). Krátká vzdálenost dále pomáhá k co nejrychlejšímu upnutí vzorků, aby teplota neklesla příliš rychle pod hranici 500 °C.
2. Měření v blízkosti pece sebou nese naproti tomu jisté negativum v podobě tzv. „parazitního“ záření, které může nemalým dílem ovlivnit naměřené hodnoty emisivity. Pro eliminaci tohoto záření bylo třeba sestavit speciální měřicí tunel (viz kapitola 4.2.5).
3. Zajistit, aby stativ s termokamerou nebyl na frekventovaném místě a nedošlo tak k nechtěnému přemístění a odklonění od snímaného směru během měření.
4. Navařování termočlámků na měřený vzorek realizovat v mezidobí, kdy termokamera neměří, aby nedocházelo k ovlivnění měření emisivity.

Změna směru snímání je realizována pomocí otočného upínacího přípravku pro měřený vzorek. Termokamera je pevně upnuta ve stativu. Na Obr. 45 lze vidět schéma uspořádání měřicí sestavy. Obr. 46 zachycuje již připravené pracoviště pro měření emisivity. Konkrétní měřicí přístroje, přípravky a další vybavení je popsáno v následující kapitole 4.2.



Obr. 45 - Blokové schéma uspořádání měření



Obr. 46 - Připravené pracoviště v laboratoři odporového svařování Ústavu strojírenské technologie

4.2. Měřicí přístroje, přípravky a další vybavení

4.2.1. Termokamera FLIR E95

Pro měření byla využita termokamera FLIR E95 patřící k přístrojovému vybavení Ústavu strojírenské technologie. Pro uchycení a vyrovnaní termokamery byl použit stativ značky Vanguard. Obr. 47 zachycuje termokameru během vlastního měření. Orientační značky na podlaze slouží ke kontrole správné polohy stativu a termokamery (při opakovaném měření). Technické parametry měřicího přístroje shrnuje Tab. 4.



Obr. 47 - Termokamera FLIR E95

Tab. 4 - Technické parametry termokamery FLIR E95 [32]

Rozlišení senzoru	464 x 348 pixelů	Rozlišení displeje	640 x 480 pixelů
Teplotní rozsah [°C]	-20 až +1500	Digitální kamera	Ano, 5 Mpx
Teplotní citlivost [mK]	30	Radiometrické video	Ano
Zorné pole (FOV)	1. 24° x 18° 2. 42° x 32° 3. 14° x 10°	Funkce MSX	Ano
Okamžité zorné pole (IFOV)	1. 0,90 mrad 2. 1,58 mrad 3. 0,53 mrad	Funkce obraz v obraze	Ano
Frekvence obrazu [Hz]	30	Funkce UltraMax	Ano
Typ senzoru (FPA) / spektrální rozsah	Nechlazený mikrobolometr / 7,5 – 14 μm	Bluetooth/WiFi	Ano
Software	Flir Tools, Flir Tools +, Workswell CorePlayer	Obrazové poznámky	Ano
Rozlišení teploty [°C]	0,03	Ostření	Manuální i automatické
Přesnost	±2 °C nebo ± 2 % z naměřené hodnoty	Váha [kg]	1
Stupeň krytí	IP 54	Rozměry D x Š x V [mm]	278 x 116 x 113
Akumulátor	Li-Ion (2,5 h provoz při plném nabití)	Rozsah provozních teplot [°C]	-15 až +50

4.2.2. Přístroj pro navařování termočlánků BT-2

Zařízení BT-2 (Obr. 48) pracuje na principu kondenzátorového výboje. V laboratorních podmínkách se hojně využívá k navařování termočlánků pro měření teploty. Velikou výhodou tohoto typu je vestavěný akumulátor, který předurčuje použití přístroje i v místech bez přívodu síťového napětí. Pro přípravu termočlánků byla použita grafitová elektroda (Obr. 49). Technická data svařovacího zdroje shrnuje Tab. 5.



Obr. 48 - Kondenzátorový svařovací zdroj BT-2



Obr. 49 - Grafitová elektroda

Tab. 5 - Technická specifikace kondenzátorového svařovacího zdroje BT-2 [33]

Přibližný počet disponibilních výbojů při plném nabití	800
Nabíjecí proud [mA]	150
Maximální průměr navařovaného drátu nebo termočlánku [mm]	1,4
Napájecí napětí – AC [V]	220
Doba plného nabití akumulátoru [hod]	cca 5
Váha [kg]	2,5
Krytí	IP 23
Rozměry V x Š x H [mm]	130 x 140 x 175

4.2.3. Datalogger AHLBORN ALMEMO 5690-2

Měřicí ústředna ALMEMO 5690-2 (Obr. 50) je představitelem modulárního systému, který lze nakonfigurovat dle přání uživatele. Datalogger je vybaven podsvíceným grafickým displejem s rozlišením 128 x 128 bodů. Výhodou této stanice je rozmanitá interpretace měřených hodnot. Měřené hodnoty lze zobrazit jednotlivě, po skupinkách, nebo formou sloupcových a liniových diagramů. Datalogger dosahuje rychlosti 2,5 až 100 měřených hodnot za sekundu. Naměřená data lze nahrávat přímo do paměti přístroje nebo externě na SD kartu. SD karta slouží rovněž pro přenos naměřených dat do PC.

Pro měření povrchových teplot byly využity termočlánky typu K s rozsahem měřitelných teplot -20 °C až 1250 °C.



Obr. 50 - Datalogger AHLBORN ALMEMO 5690-2

4.2.4. Elektrická laboratorní pec ZC (Zlatarna Celje)

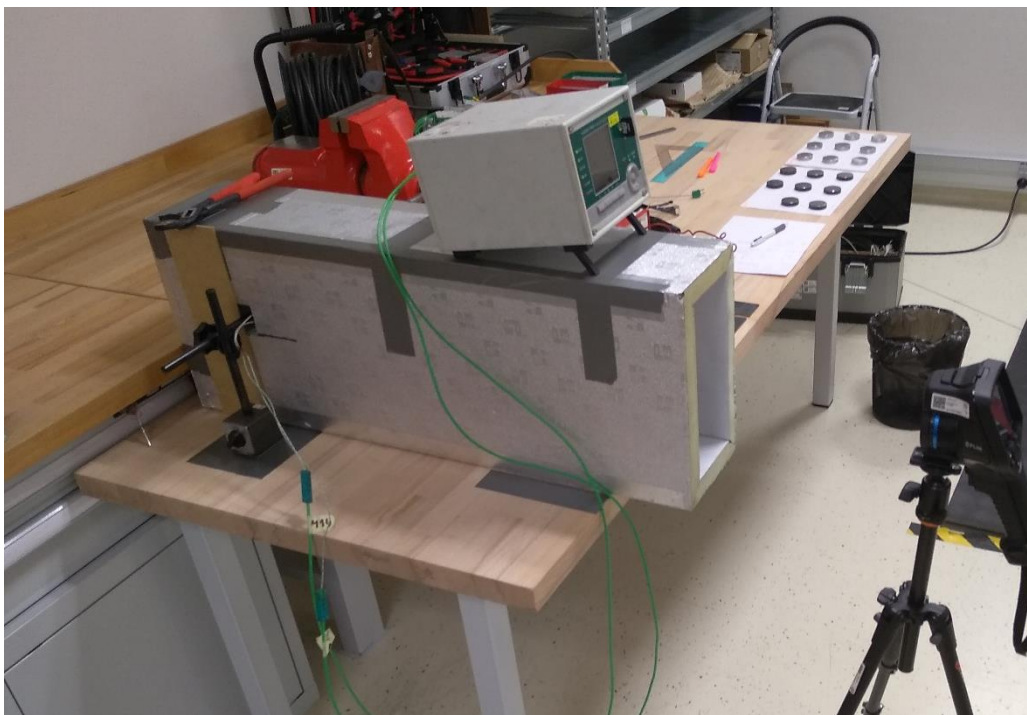
Elektrická žíhací pec ZC (Zlatarna Celje) je menší průmyslová pec jugoslávské výroby. Rozměry pracovního prostoru pece jsou 200 x 100 x 250 mm. Vnitřní rozměry šamotové vyzdívky tak plně dostačují pro použité ocelové vzorky (viz kapitola 4.3). Pec může dosáhnout maximálního výkonu až 2500 W. Dle stupnice lze dosáhnout maximální teploty až 1200 °C.



Obr. 51 - Elektrická laboratorní pec

4.2.5. Měřicí tunel pro odstínění záření z okolních zdrojů

Pro měření byl využit speciální přípravek (Obr. 52) sestavený pro potřeby bakalářské práce [1]. Jedná se o měřicí tunel, jehož primárním úkolem je odstínění tepelného záření z okolních zdrojů, které by mohlo znehodnotit prováděná měření. Hlavním zdrojem takového tzv. "parazitního záření" je bez pochyby elektrická pec. Měřicí tunel je vyroben z polyuretanové desky, která je potažena hliníkovou folií. Vzhledem k vysoké odrazivosti lesklé hliníkové folie bylo při výrobě třeba modifikovat vnitřní stěny tunelu pomocí barvy s vysokou referenční emisivitou. Platí, že čím vyšší emisivita nepropustného materiálu je, tím nižší je odrazivost a naopak. Pro výrobu byla použita barva pro termografické aplikace ThermoSpray 500 od firmy TMV SS spol. s r. o., která je odolná do 500 °C. Barva má referenční emisivitu $\varepsilon = 0,97$.



Obr. 52 - Měřicí tunel pro odstínění záření z okolních zdrojů

4.2.6. Přípravek pro uchycení ohřátých vzorků

Pro upínání ocelových vzorků slouží stavitelný magnetický stojánek NOGA, který se nejčastěji používá v kombinaci s číselníkovým úchylkoměrem (Obr. 53). K nastavení příslušného úhlu měření byl použit digitální tesařský úhloměr PARKSIDE (Obr. 54).



Obr. 53 - Magnetický stavitelný stojánek



Obr. 54 - Digitální úhloměr

4.2.7. Spektrometr Q4 TASMAN

Q4 TASMAN je stolní jiskrový optický emisní spektrometr, který lze použít pro chemickou analýzu prakticky všech kovových materiálů (Obr. 55). Příklad výrobce společnost Bruker AXS GmbH (Karlsruhe, Německo). Pro český a slovenský trh zajišťuje dodávky výhradně firma BAS Rudice spol. s r. o.. Technická data přístroje Q4 TASMAN shrnuje Tab. 6.



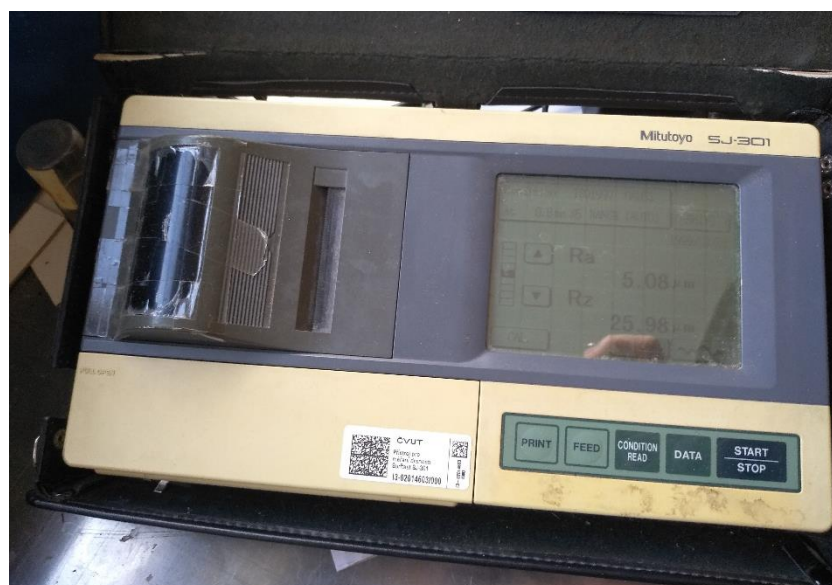
Obr. 55 - Spektrometr Q4 TASMAN [34]

Tab. 6 - Technická data stolního spektrometru Q4 TASMAN [34]

Optický systém		Plazmový generátor (zdroj jiskření)	
Princip	Paschen Runge s vysokým rozlišením	Buzení	Buzení s indukativním zážehem (bezúdržbové)
Rozsah vlnových délek [nm]	130 až 670	Doba trvání jiskry	10 μ s až 2 ms
Detektory	Vícenásobné CCD	Proud jiskry [A]	Max. 200
Optický systém	Proplachovaný argonem	Frekvence jiskření [Hz]	Až 1000
Rozměry a hmotnost přístroje		Elektrické parametry	
Rozměry V x Š x H [mm]	650 x 550 x 800	Napětí [V]	230
Hmotnost [kg]	cca 70	Příkon [W]	600 (měření) 50 (pohotovostní režim)

4.2.8. Drsnoměr Mitutoyo Surfptest SJ-301

Mitutoyo Surfptest SJ-301 je malý přenosný drsnoměr s integrovanou tiskárnou (Obr. 56 a 57). Měřené hodnoty jsou spolu s grafickým znázorněním profilu drsnosti zobrazovány na LCD displeji. Rozsah měření přístroje je $350\ \mu\text{m}$ ($-200\ \mu\text{m}$ až $+150\ \mu\text{m}$). Na měřicí hrot s rádiusem $2\ \mu\text{m}$ působí kontaktní síla $0,75\ \text{mN}$. Měření odpovídá mezinárodním standardům ISO, DIN, ANSI a JIS. V přístroji je integrovaná baterie, díky čemuž lze pracovat i na místech bez přívodu elektrického proudu. Přístroj dokáže vyhodnotit velké množství parametrů drsnosti. Pro popis stavu povrchu vzorků byly měřeny parametry R_a (střední hodnota drsnosti) a R_z (hloubka drsnosti). [35]



Obr. 56 - Mitutoyo Surfptest SJ-301



Obr. 57 - Měřicí detektor

4.3. Příprava vzorků

Pro měření emisivity byly zvoleny vzorky ve formě ocelových válečků o průměru **40 mm** a délce **10 mm**. Takto navržené rozměry vzorků vycházejí z provedených měření v rámci předchozí bakalářské práce autora [1]. Původní průměr zůstal zachován, naproti tomu délka byla zmenšena z 25 mm na 10 mm. Předpokladem je snížení měřicích časů přibližně o polovinu, aby bylo možné proměřit více zvolených konfigurací.

Pro měření bylo vyhotoveno celkem **dvacet vzorků** (deset vzorků z oceli **X5CrNi18-10** a deset vzorků z oceli **S355N**). Vzorky byly děleny na soustruhu pomocí upichovacího nože z normalizovaných kruhových tyčí o průměru 40 mm. Jednotlivé vzorky bylo potřeba nejprve všechny označit (očíslovat) pro lepší orientaci (Obr. 58).

Ocel **X5CrNi18-10** je vysokolegovaná austenitická korozivzdorná ocel. Označení oceli vychází z evropského značení dle normy **ČSN EN 10027-1** [36]. Písmeno **X** značí, že střední obsah nejméně jednoho legujícího prvku je $\geq 5\%$. Číslo **5** představuje stonásobek střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku (tedy 0,05 % C). **Cr** a **Ni** jsou značky charakteristických legujících prvků (chrom, nikl), které doplňují čísla oddělená spojovací čárkou (v tomto případě **18-10**). Ta odpovídají střednímu obsahu příslušného prvku zaokrouhlenému na nejbližší vyšší číslo (tedy 18 % Cr a 10 % Ni).

Ocel **S355N** patří mezi konstrukční oceli. Označení oceli vychází rovněž z evropského značení dle normy ČSN EN 10027-1. Písmeno **S** symbolizuje, že se jedná o konstrukční ocel. Následující **trojčíslí** značí minimální stanovenou mez kluzu $R_e [MPa = N \cdot mm^{-2}]$ pro nejmenší rozsah tloušťky výrobku (zde 355 MPa). Písmeno **N** patří do skupiny přídatných symbolů a značí normalizačně vyžíhanou nebo normalizačně válcovanou ocel.



Obr. 58 - Označení jednotlivých vzorků

4.3.1. Přesné určení chemického složení vzorků

Pro přesnou analýzu chemického složení vzorků byl využit jiskrový optický emisní spektrometr Q4 TASMAN (viz kapitola 4.2.7). Posoudit správné chemické složení zvolených ocelí je možné s pomocí norem, které přípustné chemické složení definují.

Norma **ČSN EN 10088-2** [37] předepisuje přípustné chemické složení oceli X5CrNi18-10. Chemické složení, které definuje ocel S355N vychází z normy **ČSN EN 10025-3** [38].

Z naměřených hodnot pro ocel X5CrNi18-10 (Tab. 7) je patrné, že není dodržen přípustný obsah **niklu** a **fosforu**. Obsah fosforu je překročen pouze nepatrně o 0,002 hm. %. Norma připouští nejnižší možný obsah niklu 8 hm. %, nicméně naměřená hodnota je téměř o 1 hm. % nižší. Obsah **síry** v oceli nelze zkontrolovat, protože přístroj nezměří nižší hodnoty než 0,15 hm. % (přípustný obsah je max. 0,015 hm. %).

Tab. 7 – Chemické složení oceli X5CrNi18-10

X5CrNi18-10	Obsahy jednotlivých prvků [hm. %]							
Prvek	C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	N
ČSN EN 10088-2	Max. 0,07	Max. 1,00	Max. 2,00	8,00 - 10,50	Max. 0,045	Max. 0,015	17,50 - 19,50	Max. 0,10
Q4 TASMAN	0,029	0,490	1,506	7,092	0,047	<0,15	18,55	0,093

Konstrukční ocel S355N (Tab. 8) vykazuje pouze nepatrně vyšší obsah **dusíku** o 0,007 hm. %, než připouští norma. Z naměřených dat nelze ověřit dodržení maximálního množství **síry** v oceli (stejně jako u oceli X5CrNi18-10).

Tab. 8 - Chemické složení oceli S355

S355N	Obsahy jednotlivých prvků [hm. %]						
Prvek	C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr
ČSN EN 10025-3	Max. 0,20	Max. 0,50	0,90 - 1,65	Max. 0,50	Max. 0,030	Max. 0,025	Max. 0,30
Q4 TASMAN	0,172	0,218	1,328	0,036	<0,005	<0,15	0,045
Prvek	Mo	V	N	Nb	Ti	Al	Cu
ČSN EN 10025-3	Max. 0,10	Max. 0,12	Max. 0,015	Max. 0,05	Max. 0,05	Min. 0,02	Max. 0,55
Q4 TASMAN	0,013	<0,005	0,022	0,025	<0,001	0,025	0,078

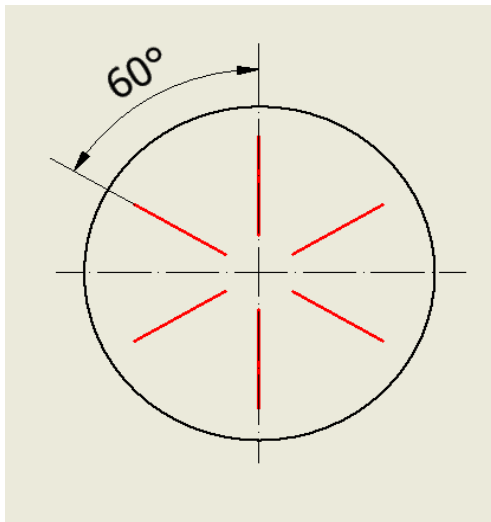
Celkové naměřené hodnoty chemického složení jsou shrnuty v **příloze 1** pro ocel X5CrNi18-10 a v **příloze 2** pro ocel S355N. Pro chemickou analýzu byly vyčleněny dva připravené vzorky.

4.3.2. Měření drsnosti povrchu vzorků a broušení

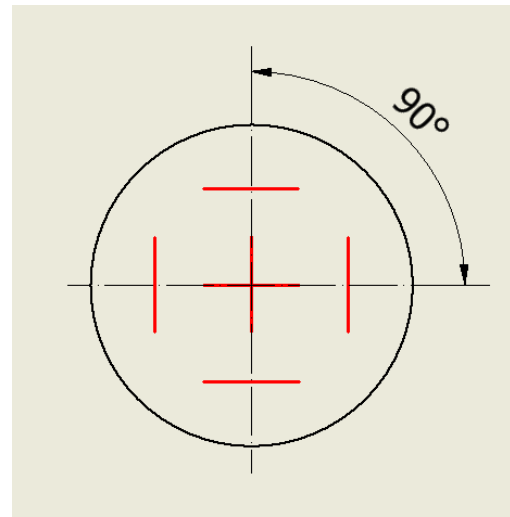
Aby bylo možné porovnat naměřené hodnoty emisivity mezi sebou, je třeba, aby povrchy měřených vzorků vykazovaly stejnou nebo velmi podobnou drsnost, která je jedním z faktorů, který může ovlivnit výslednou hodnotu emisivity. Z tohoto důvodu bylo nutné provést první kontrolní měření drsnosti na jednotlivých vzorcích (Obr. 13 viz kapitola 4.2.8). Měření drsnosti bylo realizováno s použitím **drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-301** (viz kapitola 4.2.8). Navržené dráhy strategie snímání pro první měření reflektují zvolený způsob dělení materiálu (Obr. 59). Po prvním měření (Tab. 9) lze vidět, že variabilita parametrů R_a a R_z je u zkoumaných vzorků poměrně vysoká.

Tab. 9 - Kontrolní měření drsnosti po dělení materiálu

Korozivzdorná ocel X5CrNi18-10			Konstrukční ocel S355N		
Č. vzorku	\bar{R}_a [μm]	\bar{R}_z [μm]	Č. vzorku	\bar{R}_a [μm]	\bar{R}_z [μm]
1	2,93	14,04	1	3,56	18,31
2	1,76	9,17	2	5,27	24,86
3	1,59	7,72	3	4,53	19,48
4	2,00	10,85	4	3,25	17,94
5	2,12	9,48	5	6,58	32,79
6	1,78	9,49	6	3,92	21,75
7	0,81	5,13	7	1,96	11,31
8	1,73	8,19	8	3,46	18,69
9	1,87	9,49	9	4,30	20,85
Průměr	1,84	9,28	Průměr	4,09	20,66
Max. hodnota	2,93	14,04	Max. hodnota	6,58	32,79
Min. hodnota	0,81	5,13	Min. hodnota	1,96	11,31
Variační rozpětí	2,12	8,91	Variační rozpětí	4,62	21,48
Směrodatná odchylka	0,521	2,263	Směrodatná odchylka	1,237	5,494
Rozptyl	0,271	5,123	Rozptyl	1,531	30,180



Obr. 59 - Metodika měření drsnosti po dělení materiálu na soustruhu (pozn.: dráhy snímače vyznačeny červeně)



Obr. 60 - Metodika měření drsnosti po broušení (pozn.: dráhy snímače vyznačeny červeně)

Aby se snížil rozptyl hodnot drsnosti povrchu u použitých vzorků, byl jejich povrch přebroušen. Pro broušení vzorků byla použita **metalografická bruska** a brusné šedočerné papíry SiC (karbid křemíku) o zrnitostech 120, 180 a 500. Vlastní broušení bylo prováděno za mokra (tedy za přítomnosti vody). Prvotní zarovnávací úběry byly u korozivzdorné oceli aplikovány 3 až 5x po 90 sekundách. Některé drsnější vzorky musely být broušeny vícekrát (dle vizuální kontroly). Parametry broušení shrnuje Tab. 10.

Tab. 10 - Parametry broušení vzorků

Krok č.	X5CrNi18-10	S355N
1	3 – 5x SiC 120	1x SiC 180
2	1x SiC 500	1x SiC 500
Frekvence otáčení	300 ot/min	300 ot/min
Čas jednoho broušení	90 s	90 s

U druhého kontrolního měření (Tab. 11) drsnosti došlo k modifikaci strategie snímání profilu povrchu dle Obr. 60. Variační rozpětí naměřených parametrů R_a a R_z nepřesahuje 1 μm , což lze oproti výchozímu stavu považovat za dostatečné. Rozdíly v naměřených hodnotách se podařilo téměř o řád snížit. Za povšimnutí stojí minimální naměřené parametry R_a a R_z , které jsou u obou druhů ocelí identické. Maximální

hodnoty se liší pouze nepatrně. Pro vlastní měření emisivity lze obě sady vzorků prohlásit za dostatečně „podobné“.

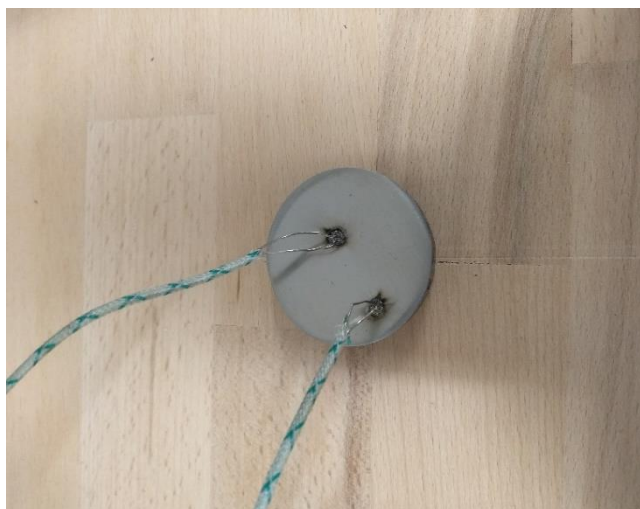
Tab. 11 - Kontrolní měření drsnosti po broušení

Korozivzdorná ocel X5CrNi18-10			Konstrukční ocel S355N		
Č. vzorku	\bar{Ra} [μm]	\bar{Rz} [μm]	Č. vzorku	\bar{Ra} [μm]	\bar{Rz} [μm]
1	0,16	1,12	1	0,09	0,68
2	0,08	0,59	2	0,08	0,59
3	0,09	0,66	3	0,10	0,78
4	0,14	1,28	4	0,13	0,87
5	0,08	0,64	5	0,10	0,73
6	0,15	1,10	6	0,10	0,75
7	0,17	1,25	7	0,16	1,02
8	0,15	1,16	8	0,14	0,94
9	0,18	1,23	9	0,12	0,9
Průměr	0,13	1,00	Průměr	0,11	0,81
Max. hodnota	0,18	1,28	Max. hodnota	0,16	1,02
Min. hodnota	0,08	0,59	Min. hodnota	0,08	0,59
Variační rozpětí	0,10	0,69	Variační rozpětí	0,08	0,43
Směrodatná odchylna	0,037	0,270	Směrodatná odchylna	0,024	0,129
Rozptyl	0,001	0,69	Rozptyl	0,001	0,43

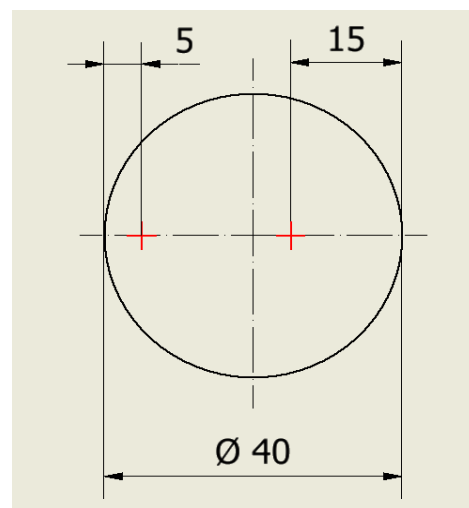
Záznamové archy naměřených hodnot drsnosti jsou součástí práce a jedná se o přílohy 3, 4, 5 a 6.

4.3.3. Navaření kontrolních termočlánků

Posledním krokem v přípravě vzorků je navaření termočlánků k povrchu s modifikovanou drsností (Obr. 61). K aktuálnímu měřenému vzorku byly pomocí kondenzátorového zdroje BT-2 postupně navařeny dva termočlánky typu K (viz kapitoly 4.2.2 a 4.2.3). Umístění termočlánků na měřený povrch předurčuje vyhodnocení emisivity pomocí **měřicí funkce bod**. Pokud by byla použita funkce oblast, která by zachycovala celý měřený povrch, došlo by k znehodnocení měření vlastními termočlánky. Kabeláž termočlánků zachycená v termogramu má nižší teploty než měřený povrch. Vyhodnocovaná průměrná povrchová teplota by tak byla řádově nižší o několik desítek stupňů (Obr. 63). Přesné umístění termočlánku lze na termogramu poměrně snadno lokalizovat, což zajistí, že měřicí bod bude umístěn v jeho bezprostřední blízkosti. Aby všechna měření proběhla za stejných podmínek, byly jednotlivé termočlánky umístěny vždy na stejně definovaná místa (Obr. 62).



Obr. 61 - Vzorek z oceli X5CrNi18-10 s navařenými termočlánky



Obr. 62 - Schéma navaření termočlánků



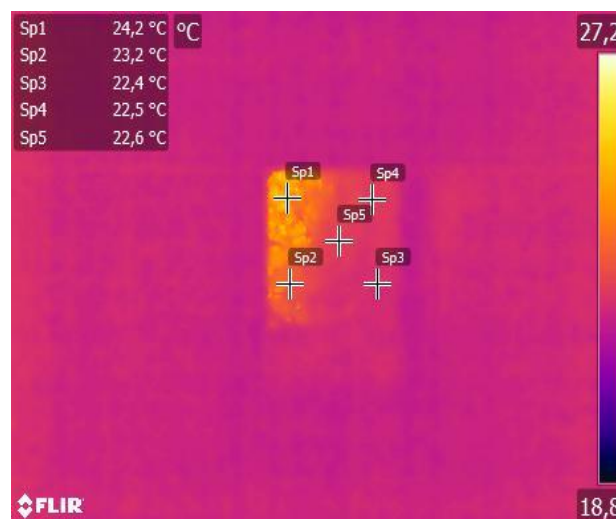
Obr. 63 - Rozdíl ve vyhodnocení teploty při použití měřících funkcí bod a oblast

4.4. Měření odražené zdánlivé teploty

Měření odražené zdánlivé teploty $T_{odr.}$ reflektuje **odrazovou metodu** dle ČSN ISO 18434-1 [14]. Jako IČ reflektor posloužil přípravek vlastní výroby z kartonu a hliníkové folie (alobalu) (Obr. 64). Přípravek je navržen tak, aby se nechal komfortně ustavit do místa před ocelový vzorek v měřicím tunelu. Vyhodnocení odražené zdánlivé teploty probíhalo na počátku každého měřicího dne v konfiguraci normálového směru snímání (Obr. 65). **Příloha 7** shrnuje všechny naměřené hodnoty odražené zdánlivé teploty. Pro vyhodnocení emisivity byly použity průměrné hodnoty z Tab. 12. Chybná hodnota odražené zdánlivé teploty dokáže znehodnotit měření teploty zejména při nízké emisivitě povrchu, kdy je vysoká odrazivost.



Obr. 64 - IČ Reflektor z kartonu a hliníkové folie



Obr. 65 - Plošné měření odražené zdánlivé teploty

Tab. 12 - Naměřené hodnoty odražené zdánlivé teploty

Datum měření	$\bar{\varnothing} T_{odr.}$ [°C]
30.11.2021	23,1
2.12.2021	24,0
3.12.2021	25,0
7.12.2021	25,6
9.12.2021	24,5

Při měření odražené zdánlivé teploty bylo možné pozorovat, že pouhá přítomnost lidského těla za termokamerou způsobuje fluktuaci teploty na displeji termokamery v rozmezí ± 1 °C. Vhodné je spustit **časoběrné snímání**, odstoupit od měřicí sestavy a tím alespoň částečně eliminovat vliv lidského těla, které se “odráží” od měřeného objektu.

4.5. Kontrolní měření relativní vlhkosti a okolní teploty

Dalšími parametry, které je třeba kompenzovat během měření termokamerou, jsou **relativní vlhkost** a **atmosférická teplota**. K monitorování stavu relativní vlhkosti a teploty byl použit modul z bezdrátové domácí meteostanice (Obr. 66). Teplota okolí byla kontrolována pro porovnání i na termostatu vytápění laboratoře. Naměřené hodnoty pro jednotlivé dny jsou uvedeny v Tab. 13.



Obr. 66 - Modul pro měření relativní vlhkosti a teploty okolí

Tab. 13 - Naměřené hodnoty relativní vlhkosti a atmosférické teploty

Datum měření	Atmosférická teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]
30.11.2021	23	35
2.12.2021	23	35
3.12.2021	23	33
7.12.2021	23	35
9.12.2021	23	34

Z naměřených hodnot je patrné, že atmosférická teplota v laboratoři byla díky nepřetržité termostatické regulaci **konstantní**. Naměřené hodnoty relativní vlhkosti lze považovat rovněž za **stálé**. Maximální rozdíl 2 % byl naměřen dne 3.12.2021. Důležitý je fakt, že měřená relativní vlhkost nevykazuje odchylky v řádu desítek %. Zmíněná 2 % mají zanedbatelný vliv při vyhodnocení povrchové teploty.

4.6. Kontrola zvolené vzdálenosti měření

Sestava **detektor** a **objektiv** společně definují okamžité zorné pole (IFOV), které je výchozím údajem pro navržení vhodné velikosti měřeného objektu při známé vzdálenosti měření objekt – objektiv (nebo naopak). Pro výpočet je užito postupu od společnosti FLIR Systems, inc., který byl otištěn v odborném časopise DPS Elektronika od A do Z [39].

Použitá termokamera FLIR E95 má rozlišení detektoru **464 x 348 pixelů** a příslušný objektiv má zorné pole charakterizované zornými úhly (HAOV x VAOV) **24° x 18°**. Navržená vzdálenost měření je **1 m**.

Výpočet okamžitého zorného pole:

$$IFOV [mrad] = \frac{HAOV}{\text{počet pixelů detektoru v horizontálním směru}} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 1000 \quad (18)$$

$$IFOV [mrad] = \frac{24}{464} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 1000$$

$$IFOV \doteq \mathbf{0,90 \text{ mrad}}$$

V tomto kroku lze ověřit správnost výpočtu podle technické specifikace termokamery dle Tab. 1. Dále je potřeba vyjádřit okamžité zorné pole v milimetrech:

$$IFOV [mm] = \frac{IFOV [mrad]}{1000} \cdot l \quad (19)$$

kde: l [mm] je navržená vzdálenost měření.

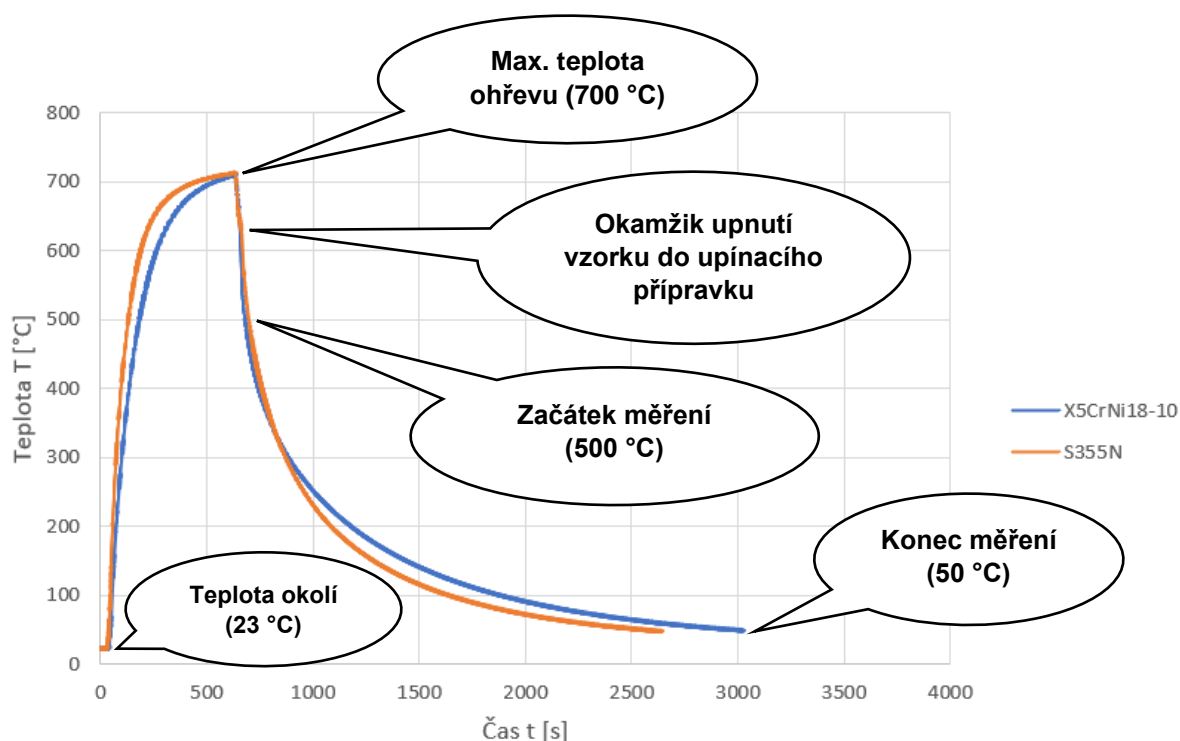
$$IFOV [mm] = \frac{0,90}{1000} \cdot 1000$$

$$IFOV = \mathbf{0,9 \text{ mm}}$$

Hodnota 0,9 mm představuje reálné pokrytí jednoho pixelu (tedy čtverec o hraně 0,9 mm) na vzdálenost měření 1 m. U termokamery s mikrobolometrickým FPA senzorem prakticky není možné z řady důvodů přesně určit povrchovou teplotu jedním pixelem. Povrchová teplota je termokamerou počítána jako průměrná hodnota z matice pixelů 3 x 3 až 5 x 5. Reálná velikost hrany nejmenšího měřitelného čtverce na vzdálenost 1 m je vypočtena jako trojnásobek parametru IFOV [mm] (tedy 2,7 mm). **Velikost měřené plochy vzorku je pro navrženou vzdálenost měření 1 m dostatečná** (viz kapitola 4.3). Takovéto výpočty nacházejí uplatnění zejména v praxi, kdy je potřeba měřit malé objekty z větších vzdáleností.

4.7. Teplotní cykly vzorků

Hodnoty emisivity byly měřeny v závislosti na změně teploty při ochlazování z vyšší teploty vzorku. Nastavené teplotní cykly (ohřevu a následného ochlazení) použitých ocelových vzorků vykazují drobné nuance (Obr. 67). Průměrná rychlost ohřevu obou ocelí je $1,13 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ (ohřev na teplotu $700 \text{ }^\circ\text{C}$ + doba prohřátí na teplotě 10 minut). Ačkoli je průměrná rychlost ohřevu stejná, vykazuje křivka pro ocel S355N větší teplotní spád v rozsahu teplot 200 až $600 \text{ }^\circ\text{C}$. Průměrná rychlost ochlazování pro ocel X5CrNi18-10 je $0,28 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ a pro ocel S355N $0,33 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$. Fakt, že vzorky z konstrukční oceli chladnou rychleji dokládá i počet zaznamenaných termogramů během chladnutí v rozsahu teplot 500 až $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (přibližně 200 u konstrukční oceli a 230 u korozivzdorné oceli). Rozdíly tvaru křivek jsou způsobeny různou tepelnou vodivostí λ_t zvolených ocelí ($15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pro X5CrNi18-10 a $53 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pro S355N). **Korozivzdorná ocel je horším vodičem tepla.** Na jednotlivých křivkách teplotních cyklů lze vidět nepatrný zlom na ochlazovací části. Zlom na křivce odpovídá okamžiku upnutí vzorku do přípravku, který má pokojovou teplotu (intenzivnější odvod tepla). Za tímto bodem lze pozorovat nepatrně větší strmost křivek (větší teplotní spád).



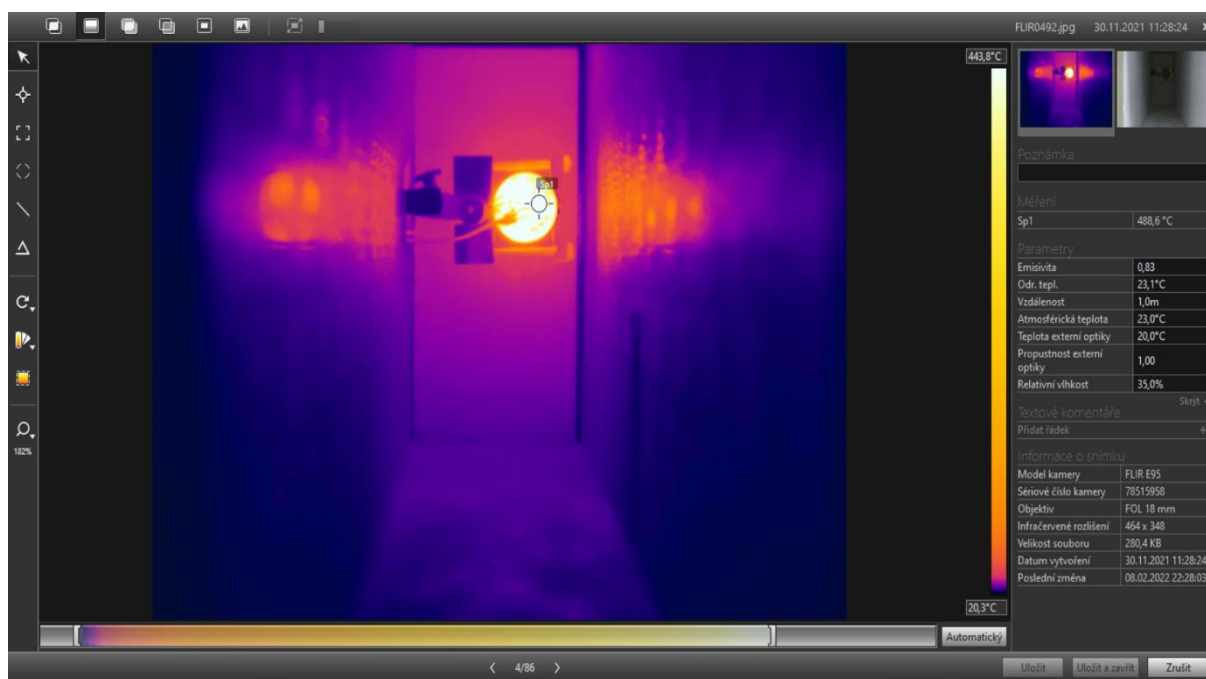
Obr. 67 - Srovnání teplotních cyklů vzorků

4.8. Měření a vyhodnocení emisivity

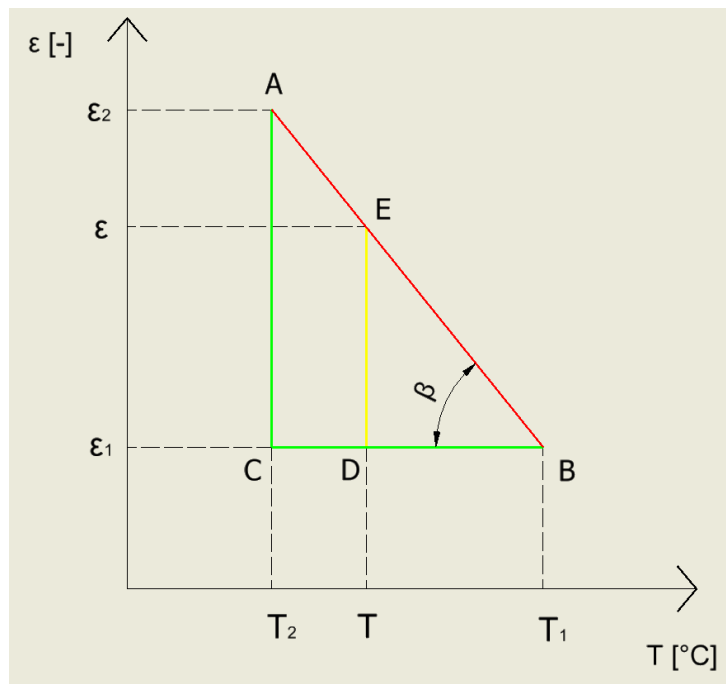
Vlastní měření emisivity začíná ustavením upínacího přípravku s ohřátým vzorkem do měřicího tunelu a spuštěním **časoběrného snímání** (interval snímání 10 s) na termokameře. Jak již bylo zmíněno v úvodu experimentální části, emisivita je měřena **kontaktní metodou** dle normy ČSN ISO18434-1 [14]. Aby bylo možné zjistit emisivitu měřeného povrchu, je třeba pracovat s porovnávací referencí v podobě kontaktního měření povrchové teploty. Kontaktně je teplota měřena souběžně s pořizováním termogramů pomocí měřicí ústředny **Ahlborn Almemo 5690-2** a dvou termočlánků typu K navařených k měřenému povrchu vzorku (viz kapitoly 4.2.3 a 4.3.3).

Před zahájením měření je velmi důležité **sjednocení času ve vnitřním SW termokamery s časem v měřicí ústředně**, aby bylo možné zpětně přiřadit konkrétní teploty jednotlivým termogramům. **Ve vnitřním SW termokamery je dále důležité nastavit emisivitu na hodnotu 1,0** (dle normativního postupu).

Vyhodnocení výsledků proběhlo za pomoci SW **Flir Tools** a **MS Excel**. Flir Tools umožňuje libovolně pracovat s pořízenými termogramy. Po přiřazení teploty konkrétnímu termogramu lze přistoupit k umístění **měřicího bodu** do bezprostřední blízkosti příslušného termočlánku (Obr. 68). Následně je potřeba vyhledat **nejbližší vyšší a nižší teplotu** na základě postupných změn hodnoty emisivity (tzv. iterací). Tím, že se určí dva nejbližše ležící body, lze pomocí metody **lineární interpolace** dopočítat hledanou hodnotu emisivity.



Obr. 68 - Prostředí SW FLIR Tools a měřicí funkce bod v blízkosti termočlánku



Obr. 69 - Určení emisivity pomocí lineární interpolace

Dle Obr. 69 je odvozen výpočtový vztah pro výpočet emisivity ε na základě známých bodů A, B a teploty T . Pro výpočet je užito **podobnosti trojúhelníků ABC a EBD**. Tangens úhlu beta musí být totožný pro oba zmíněné trojúhelníky:

$$\tan \beta = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{T_1 - T_2} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{T_1 - T} \quad (20)$$

kde: ε [-] je hledaná hodnota emisivity pro kontaktně měřenou teplotu T [°C] pomocí termočlánku, T_1 [°C] je nejbližší vyšší teplota pro hodnotu emisivity ε_1 [-] a T_2 [°C] je nejbližší nižší teplota pro hodnotu emisivity ε_2 [-]

Předpis rovnice pro výpočet hledané hodnoty emisivity lze pak zapsat ve tvaru:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{T_1 - T_2} \cdot (T_1 - T) \quad (21)$$

Celkem experiment zahrnuje **čtrnáct měření** při definovaných směrech snímání povrchů vzorků (Obr. 45 viz kapitola 4.1.2). Přehled příloh s naměřenými a vyhodnocenými daty zachycuje Tab. 14. Z celkového počtu dvaceti vzorků byly dva použity k vyhodnocení chemického složení ocelí a zbylé vyhrazeny pro vlastní měření emisivity. Během měření vyvstaly určité komplikace, díky kterým musely být některé úhly (konfigurace) měřeny dvakrát.

Tab. 14 - Přehled provedených měření

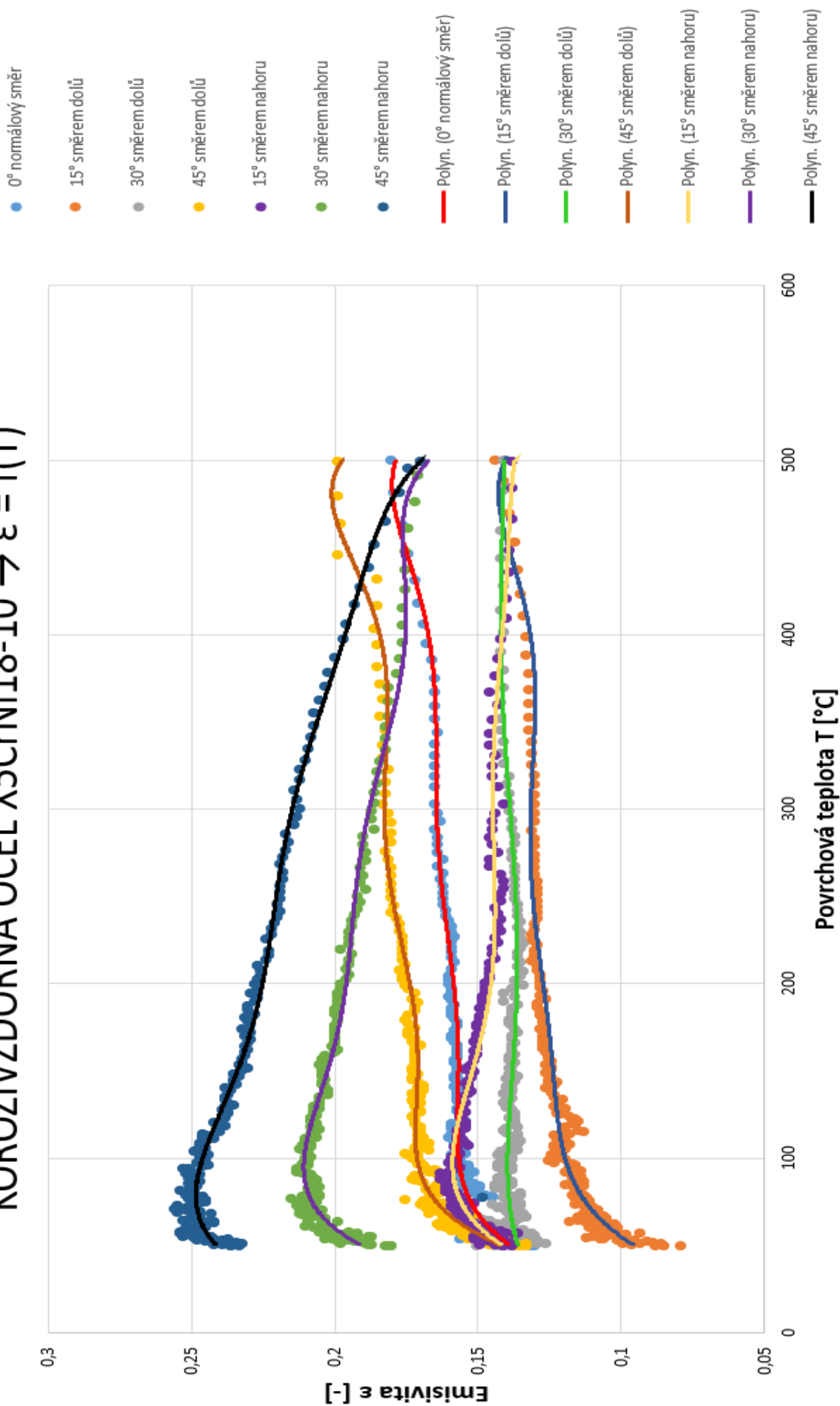
Konstrukční ocel S355N			
Měření č.	Konfigurace snímání povrchu	Naměřená a vyhodnocená data	Č. vzorku
1	0° normálový směr	Příloha 8	2
2	15° směrem dolů	Příloha 9	3
3	30° směrem dolů	Příloha 10	4
4	45° směrem dolů	Příloha 11	5
5	15° směrem nahoru	Příloha 12	6
6	30° směrem nahoru	Příloha 13	7
7	45° směrem nahoru	Příloha 14	8
Korozivzdorná ocel X5CrNi18-10			
Měření č.	Konfigurace snímání povrchu	Naměřená a vyhodnocená data	Č. vzorku
1	0° normálový směr	Příloha 15	1
2	15° směrem dolů	Příloha 16	2
3	30° směrem dolů	Příloha 17	3
4	45° směrem dolů	Příloha 18	4
5	15° směrem nahoru	Příloha 19	5
6	30° směrem nahoru	Příloha 20	7
7	45° směrem nahoru	Příloha 21	8

4.9. Interpretace výsledků

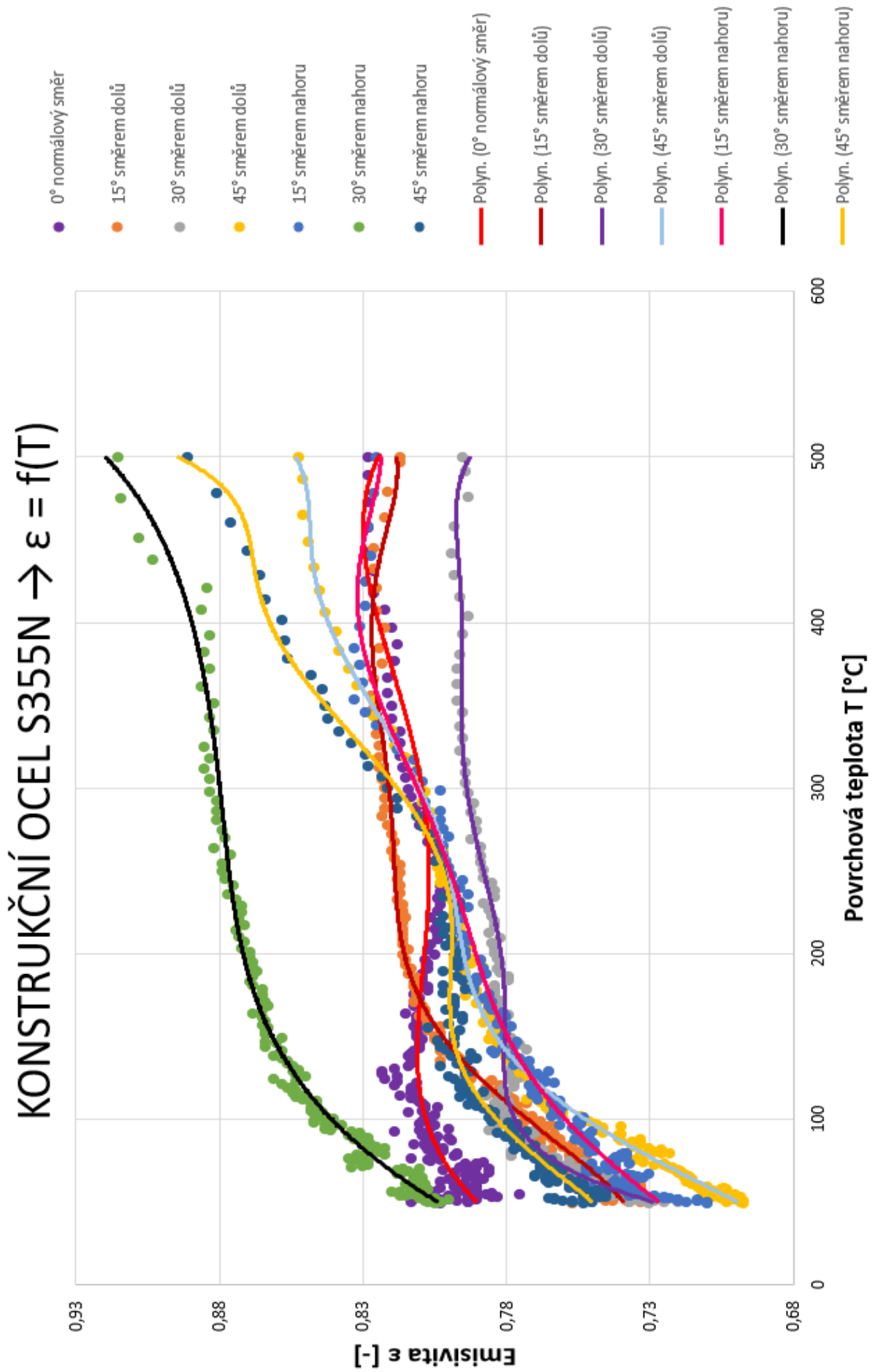
Aby byly naměřené hodnoty lépe interpretovatelné a bylo možné popsat jednotlivé rozdíly v provedených měřeních, jsou sestrojeny dva diagramy. Diagram na Obr. 70 reprezentuje uskutečněná měření na vzorcích z korozivzdorné oceli **X5CrNi18-10**. Různé konfigurace měření provedené na vzorcích z konstrukční oceli **S355N** naproti tomu zachycuje diagram na Obr. 71. Důležité je zejména zdůraznit, že výsledné diagramy zachycují **emisivitu jako funkci povrchové teploty vzorku při konkrétním definovaném úhlu snímání**. Jednotlivé úhly natočení jsou od sebe odlišeny různými barvami, aby nedošlo k vzájemné záměně a chybě při vlastním popisu naměřených dat. Každý pořízený termogram je v diagramu reprezentován jedním bodem. Série bodů z konkrétní úhlové konfigurace snímání je následně proložena polynomem šestého stupně.

Ačkoliv uskutečněná měření začínala i při teplotách vyšších než 500 °C, jsou výsledné hodnoty sjednoceny a omezeny na teplotní interval **50 až 500 °C**.

KOROZIVZDORNÁ OCEL X5CrNi18-10 $\rightarrow \epsilon = f(T)$



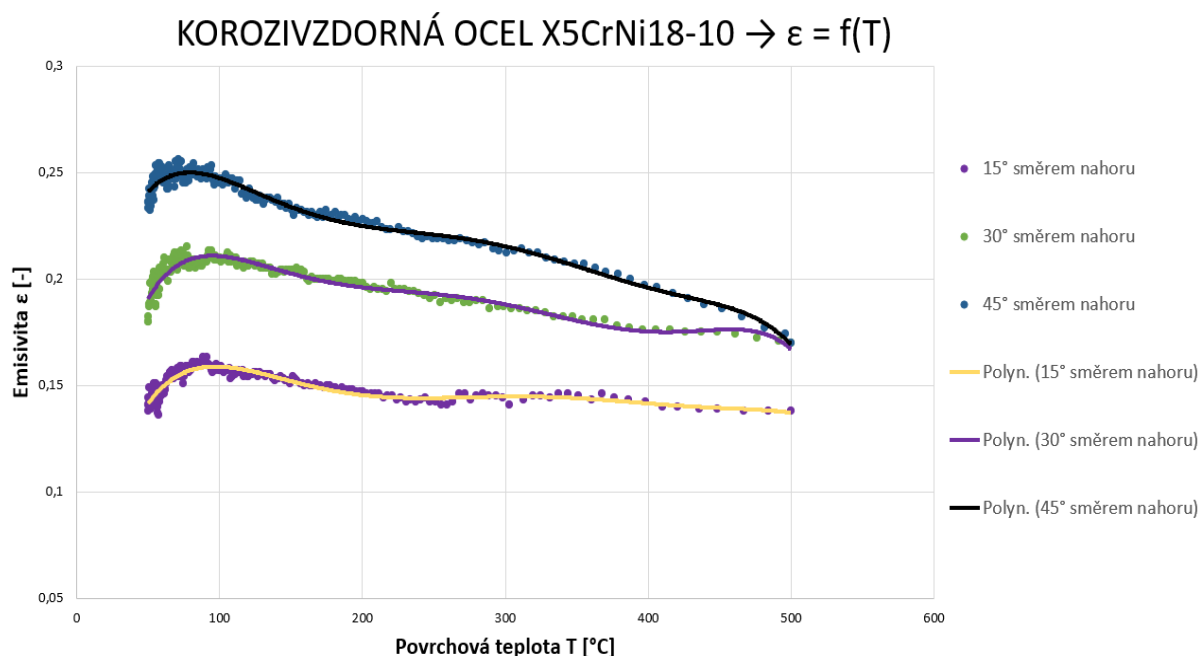
Obr. 70 - Grafické znázornění výsledků měření pro korozivzdornou ocel X5CrNi18-10



Obr. 71 - Grafické znázornění výsledků měření pro konstrukční ocel S355N

Korozivzdorná ocel X5CrNi18-10

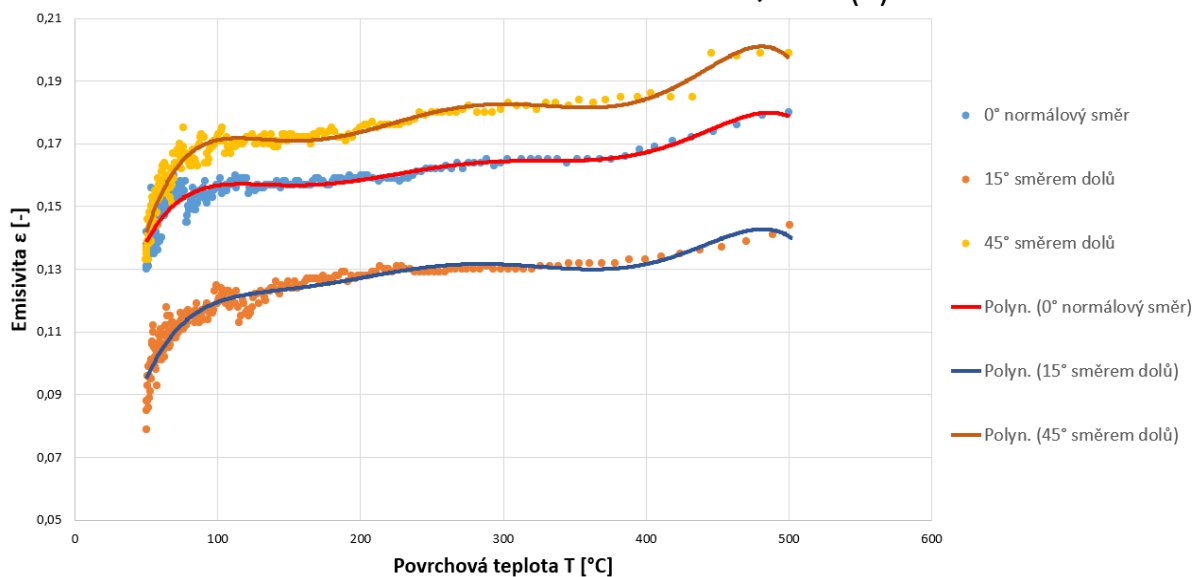
Z Obr. 70 je viditelné, že všechny úhlové konfigurace snímání povrchu vykazují obdobné chování v rozsahu teplot 50 až 100 °C. V tomto intervalu lze pozorovat nárůst emisivity s rostoucí teplotou. Normálový směr snímání povrchu vzorku má v intervalu 100 až 500 °C mírně rostoucí trend. Předpokladem před zahájením měření bylo, že dvojice shodných úhlů (např. 15° směrem dolů a 15° směrem nahoru) budou mít stejné nebo velmi podobné průběhy emisivity v závislosti na teplotě. Tento předpoklad lze na základě naměřených dat vyvrátit. Křivky pro **úhly 15°, 30° a 45° směrem nahoru** mají v intervalu 100 až 500 °C **klesající trend** (Obr. 72). Zároveň lze prohlásit, že **hodnota emisivity s rostoucí teplotou klesá tím více, čím větší je úhel natočení vzorku směrem nahoru**.



Obr. 72 - Naměřené hodnoty pro úhly 15°, 30° a 45° směrem nahoru

Emisivita při úhlech snímání **15° a 45° směrem dolů** má naproti tomu obdobně jako normálový směr spíše rostoucí trend. V intervalu 100 až 500 °C lze pozorovat téměř **ekvidistantní průběhy křivek pro normálový směr a úhly 15° a 45° směrem dolů** (Obr. 73). Křivka pro **úhel 30° směrem dolů** je vyobrazena na Obr. 75. Naměřené hodnoty emisivity pro všechny zvolené úhlové konfigurace v rozsahu teplot 50 až 500 °C leží v intervalu **0,079 až 0,256** (tedy 7,9 % až 25,6 %). Variační rozpětí emisivity všech měřených konfigurací je 0,177.

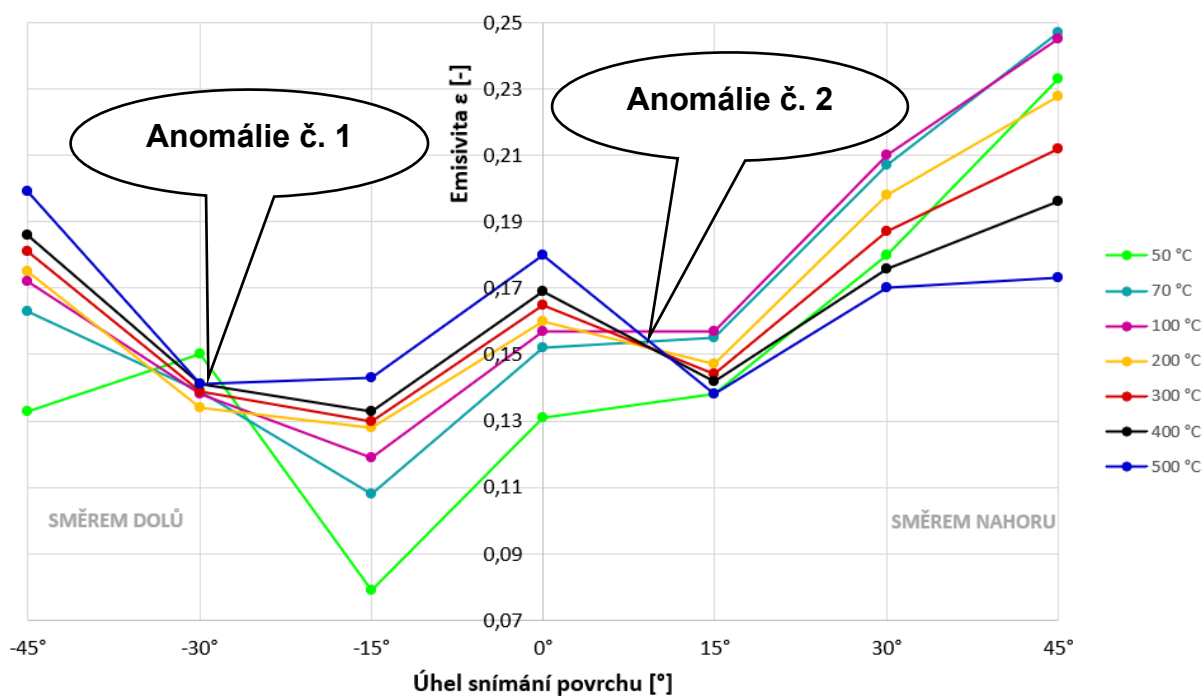
KOROZIVZDORNÁ OCEL X5CrNi18-10 → $\epsilon = f(T)$



Obr. 73 - Naměřené hodnoty pro normálový směr a úhly 15° a 45° směrem dolů

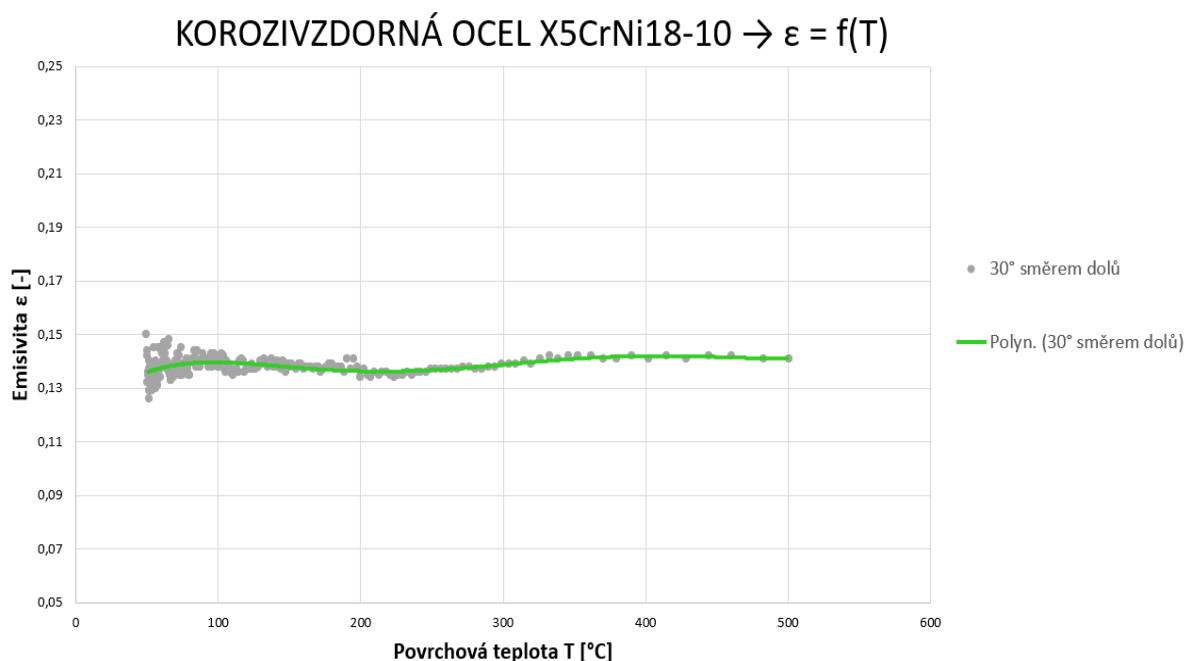
Obr. 74 graficky znázorňuje naměřené hodnoty v souřadnicích **Emisivita – Úhel snímání povrchu**. Tento diagram vhodně znázorňuje rozdíly mezi jednotlivými polorovinami, ve kterých leží příslušné úhlové konfigurace měření.

KOROZIVZDORNÁ OCEL X5CrNi18-10



Obr. 74 - Závislost emisivity na úhlu snímání povrchu pro ocel X5CrNi18-10

Na Obr. 74 jsou viditelné dvě úhlové konfigurace, při kterých se emisivita v teplotním intervalu 100 až 500 °C blíží **konstantnímu průběhu**. Jednou z těchto konfigurací je směr blízký úhlu **30° směrem dolů**, který se shodou okolností podařilo změřit (Obr. 75). Druhý úhel, který leží mimo měřené konfigurace, je blízký hodnotě 10° směrem nahoru. **Pokud by se měřila povrchová teplota termokamerou v těchto dvou zmíněných směrech, bylo by měření přesnější v širším teplotním intervalu bez potřeby časté aktualizace hodnoty emisivity.**

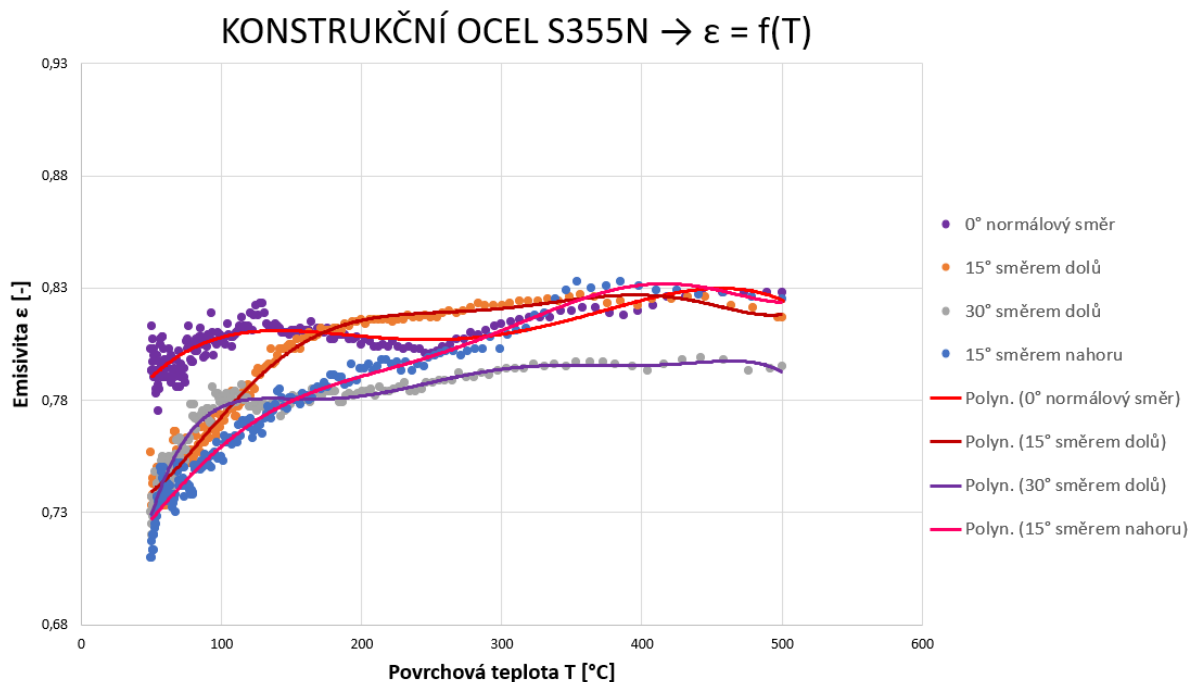


Konstrukční ocel S355N

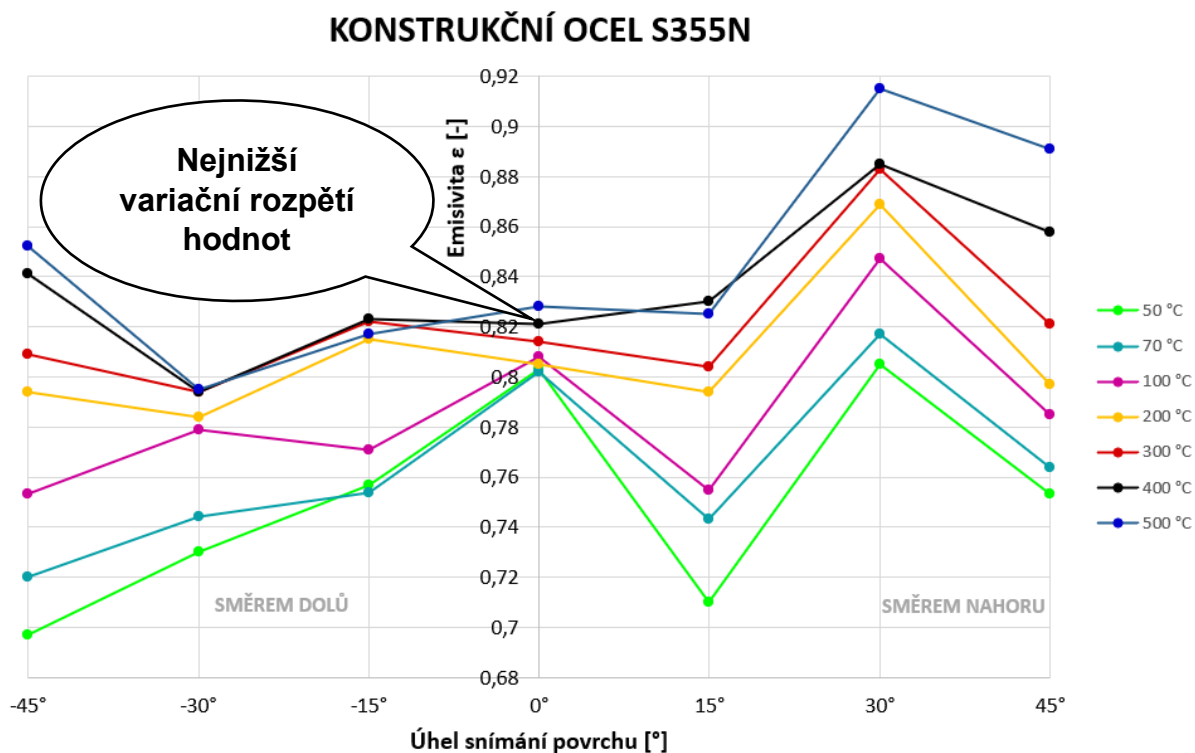
Naměřené hodnoty emisivity pro ocel S355N shrnuje grafické vyobrazení na Obr. 71. Vesměs lze říct, že **emisivita u jednotlivých vzorků narůstá více či méně s rostoucí teplotou**. Některé měřené konfigurace vykazují stagnaci až mírný pokles hodnoty emisivity (Obr. 76) zejména při vyšších teplotách 400 až 500 °C (**0°, 15° směrem nahoru i dolů a 30° směrem dolů**). Normálová konfigurace snímání je zajímavá z hlediska nejnižšího variačního rozpětí hodnot emisivity ze všech měřených úhlů (Obr. 77). Křivky úhlů **45° směrem dolů** a **45° směrem nahoru** rostou nejstrměji ze všech měřených konfigurací na celém měřeném teplotním rozsahu (Obr. 78).

Naměřené hodnoty emisivity pro všechny zvolené úhlové konfigurace v rozsahu teplot 50 až 500 °C leží v intervalu **0,697 až 0,915** (tedy 69,7 % až 91,5 %). Variační rozpětí

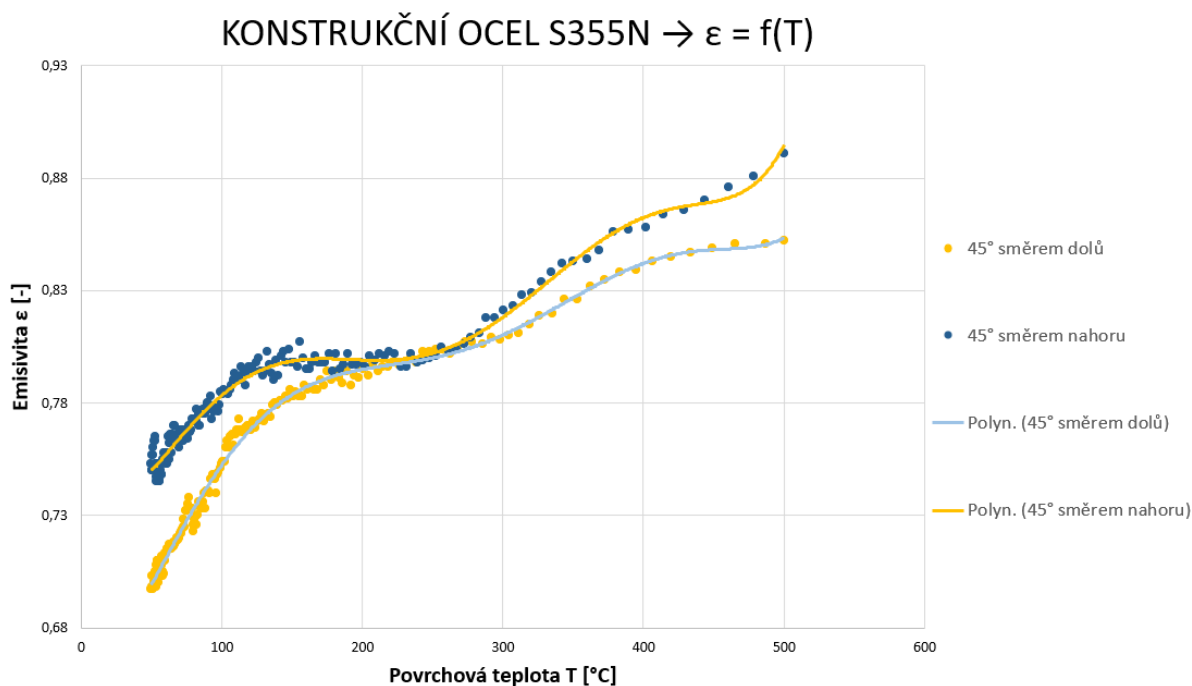
emisivity všech měřených konfigurací je 0,218. Hodnoty emisivity jsou stejně jako u korozivzdorné oceli asymetricky rozložené vzhledem k povrchové normále (úhel 0°).



Obr. 76 - Naměřené hodnoty pro normálový směr a úhly 15° směrem dolů i nahoru a 30° směrem dolů



Obr. 77 - Závislost emisivity na úhlu snímání povrchu pro ocel S355N



Obr. 78 - Naměřené hodnoty pro úhly 45° směrem dolů a nahoru

Porovnání obou druhů ocelí

Při porovnání Obr. 74 a 77 je na první pohled patrné, že nejvyšší hodnoty emisivity jsou u obou druhů ocelí naměřeny při natočení **vzorku směrem nahoru**. Zajímavé je, že nejvyšší hodnota byla u konstrukční oceli naměřena při vysoké teplotě 500 °C a u korozivzdorné oceli naopak při teplotě přibližně 80 °C. Nejnižší hodnoty emisivity lze pak u obou použitých ocelí pozorovat při natočení **vzorku směrem dolů** za teploty 50 °C.

V závěrečném porovnání je potřeba zmínit, že měření emisivity je u korozivzdorné oceli více zatíženo vlivem **odražené zdánlivé teploty (u nepropustných materiálů platí, že čím nižší emisivita je, tím vyšší je odrazivost a naopak)**. Odraženou zdánlivou teplotu je proto potřeba vždy přesně změřit a korigovat. Konstrukční ocel během ohřevu a chladnutí reaguje s okolní atmosférou za vzniku **okují** (oxidové vrstvy). Okuje obecně zvyšují hodnotu emisivity, která je u provedených měření přibližně **3 až 11 -krát** vyšší než u korozivzdorné oceli (při „stejně“ počáteční drsnosti povrchu). Variační rozpětí celkového souboru naměřených hodnot emisivity v intervalu 50 až 500 °C je u konstrukční oceli o **0,041 vyšší**.

4.10. Závěr

Předložená diplomová práce navazuje na bakalářskou práci **Stanovení závislosti emisivity na úhlu měření pro různé teploty povrchu materiálů** z roku 2020 [1].

Primárním cílem diplomové práce bylo **zmapovat vliv úhlu měření na emisivitu při různých povrchových teplotách** u vysokolegované korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 a konstrukční oceli S355N. Pro měření emisivity byl navržen a odzkoušen experiment založený na principu **kontaktní metody** dle normy ČSN ISO 18434-1 [14]. Emisivita byla měřena ruční kvantitativní termokamerou **Flir E95** se spektrálním rozsahem **7,5 až 14 μm** u chladnoucích vzorků v teplotním intervalu **50 až 500 °C**. Celkem bylo proměřeno **sedm vzorků z korozivzdorné oceli a sedm z konstrukční oceli**. Každý vzorek reprezentoval jednu zvolenou úhlovou konfiguraci (viz kapitola 4.1.2). **Podrobná interpretace výsledků experimentálního měření se nachází v kapitole 4.9.**

Při vypracování literární rešerše se nezdařilo vyhledat zdroje, které by řešily problematiku ovlivnění emisivity úhlem měření u ocelí X5CrNi18-10 a S355N. Z tohoto důvodu nelze realizovat konfrontaci s naměřenými výsledky a provést srovnání. Po prostudování dostupných zdrojů je možné konstatovat, že emisivita může být obecně ovlivněna mnohými faktory (viz kapitola 3). Z tohoto důvodu by jakékoliv srovnání s jinými prováděnými experimenty bylo jen velmi obtížné. Stačí změnit jeden z ovlivňujících faktorů a měřené výsledky mohou být znatelně odlišné.

V návaznosti na provedený experiment by bylo vhodné proměřit úhlovou konfiguraci **10° směrem nahoru** u korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 a ověřit tak, zda se emisivita v závislosti na povrchové teplotě blíží konstantnímu průběhu na teplotním rozsahu 50 až 500 °C. Důležitou podmínkou je však dodržení obdobných parametrů měření.

Veškerá data (**pořízené termogramy, datové soubory s kontaktně naměřenými teplotami, vyhodnocení emisivity pro jednotlivé úhlové konfigurace a fotodokumentace měření**) jsou zaznamenána na přiloženém CD disku.

5. Použité zdroje

- [1] NĚMEC, T. Stanovení závislosti emisivity na úhlu měření pro různé teploty povrchu materiálů. Bakalářská práce, ČVUT v Praze, FS, Praha, 2020.
- [2] VOLLMER, Michael a Klaus-Peter MÖLLMANN. *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. Weinheim: Wiley-VCH, 2010. ISBN 978-3-527-40717-0
- [3] SOVA, Jan a Karel KADLEC. Termokamery a pyrometry-princip, měření, vlastnosti a využití. *All For Power* [online]. 2014, (1), 11 [cit. 2021-10-17]. ISSN 1802-8535. Dostupné z: http://old.allforpower.cz/UserFiles/file/termokamery_1.pdf
- [4] KADLEC, Karel. Teoretické základy bezdotykového měření teploty: (část 1). *AUTOMA* [online]. 2014, 12(2), 3 [cit. 2021-10-17]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/52890.pdf
- [5] MILKINA, Waldemar a Sebastian DUDZIK. *Infrared thermography: errors and uncertainties*. UK: John Wiley, 2009, 222 s. ISBN 978-0-470-74718-6.
- [6] ČSN ISO 10878: Nedestruktivní zkoušení – Infračervená termografie – Slovník. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [7] Black Body Target (BBT). *SLTMicrowave* [online]. Gandhinagar (Gujarat), India: Antenna Test & Measurement Society, 2017 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.sltmicrowave.com/publication.html>
- [8] VAVILOV, Vladimir a Douglas BURLEIGH. *Infrared Thermography and Thermal Nondestructive Testing* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2020 [cit. 2022-04-09]. ISBN 978-3-030-48001-1. Dostupné z: [doi:10.1007/978-3-030-48002-8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48002-8)
- [9] What Are IR Camera Lenses Made Of?. *Teledyne Flir* [online]. April 30, 2021 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.flir.com/discover/rd-science/what-are-ir-camera-lenses-made-of/>
- [10] *Fluke* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.fluke.com/cs-cz>
- [11] *Workswell: Infrared cameras and systems* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://workswell.cz/>

- [12] SOVA, Jan a Jan KOVÁŘ. Termokamery a pyrometry. *AUTOMA* [online]. 2014, (2), 7 [cit. 2022-04-03]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/52891.pdf
- [13] Infrared Thermography – Physical Basics. *InfraTec* [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.infratec.eu/thermography/service-support/glossary/theory/>
- [14] ČSN ISO 18434-1: Monitorování stavu a diagnostika strojů - Termografie - Část 1: Všeobecné postupy. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [15] LANGHAMMER a TŮMOVÁ. Vlivy dílčích nejistot měření na celkovou nejistotu měření v infračervené termografii. *ElectroScope* [online]. 2013, 7(3), 4 [cit. 2022-04-03]. ISSN 1802-4564. Dostupné z: http://ek702p10-ket.fel.zcu.cz/images/PDF/Rocnik2013/Cislo3_2013/r7c3c8.pdf
- [16] GADE, Rikke a Thomas B. MOESLUND. Thermal cameras and applications: a survey. *Machine Vision and Applications* [online]. 2014, 25(1), 245-262 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0932-8092. Dostupné z: [doi:10.1007/s00138-013-0570-5](https://doi.org/10.1007/s00138-013-0570-5)
- [17] What is NETD in a Thermal Camera?. *Movitherm: Advanced thermography solutions* [online]. Irvine, California, 2018 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://movitherm.com/knowledgebase/netd-thermal-camera/>
- [18] STRAKA, Václav a Pavel PETRÁŇ. Způsoby a prostředky navýšení technických parametrů termografických radiometrických kamer s mikrobolometrickými detektory. *Řízení & údržba průmyslového podniku*. Český Těšín: Trade Media International, 2019, 12(2), 7. ISSN 1803-4535.
- [19] Parametry termokamery. *Termokamera.cz* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/parametry-termokamery/>
- [20] Advanced Thermal Imaging Camera FLIR E96. *Teledyne FLIR* [online]. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.flir.eu/products/e96/>
- [21] *Termokamery FLIR* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.termokamery-flir.cz/>
- [22] JANDURA, Václav a Tomáš ZAVADIL. *Nedestruktivní zkoušení základní kurz: podklady pro školení BASIC dle ISO 9712, SNT-TC-1A, pro školení IWI-IM dle IAB-41/ EWF-450/SV-01*. Praha, 2020.

- [23] *InfraTec: Thermography* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.infratec.eu/thermography/>
- [24] Tabulka emisivit. *Termokamera.cz* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/tabulka-emisivit/>
- [25] Termovizní barva pro vysokoteplotní aplikace. *LabIR: Důvěryhodný partner pro termovizní měření* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://paints.labir.cz/homepage/vysokoteplotni-barva>
- [26] ThermaSpot. *TMV SS Termovize* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.tmvss.cz/vyrobci/tmv-ss/thermaspot>
- [27] How to Find the Correct Emissivity Setting for an Infrared Temperature Sensor. *Calex Electronics Limited* [online]. March 20, 2020 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.calex.co.uk/find-correct-emissivity-setting-infrared-temperature-sensor/>
- [28] LIU, Y. F., Z. L. HU, D. H. SHI a K. YU. Experimental Investigation of Emissivity of Steel. *Springer* [online]. 16 April 2013, 11 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: [doi:10.1007/s10765-013-1421-3](https://doi.org/10.1007/s10765-013-1421-3)
- [29] MACINTOSH, Gregory a Roy HUFF. Emissivity considerations for thermographic fieldwork: why table values don't work. *SPIE* [online]. 14 May 2018, 16 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: [doi:10.1117/12.2304893](https://doi.org/10.1117/12.2304893)
- [30] SHI, Deheng, Fenghui ZOU, Zunlue ZHU a Jinfeng SUN. Modeling the effect of surface oxidation on the normal spectral emissivity of steel 316L at 1.5 μ m over the temperatures ranging from 800 to 1100 K in air. *Infrared Physics & Technology* [online]. 2015, **71**, 370-377 [cit. 2022-05-16]. ISSN 13504495. Dostupné z: [doi:10.1016/j.infrared.2015.05.012](https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.05.012)
- [31] JONES, P. D. a E. NISIPEANU. Spectral-directional emittance of thermally oxidized 316 stainless steel. *International Journal of Thermophysics* [online]. 1996, **17**(4), 967-978 [cit. 2022-05-17]. ISSN 0195-928X. Dostupné z: [doi:10.1007/BF01439199](https://doi.org/10.1007/BF01439199)
- [32] Termokamera FLIR E95. *W-Technika Group s.r.o.* [online]. [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://www.termokamery-flir.cz/termovizni-kamery-flir-e75-e85-e95/>

- [33] Zařízení pro navařování termočlánků BT 2. *Svarservis Group* [online]. [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://www.svarservis.cz/produkty/prislusenstvi/>
- [34] Jiskrový spektrometr Q4 TASMÁN. *BAS Rudice s.r.o.* [online]. Blansko [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: https://www.bas.cz/bruker-quantron/q4_tasman.php
- [35] SurfTest SJ-301: Portable surface roughness tester. *Berg Engineering & Sales, Company, Inc.* [online]. Rolling Meadows, Illinois [cit. 2022-03-19]. Dostupné z: <https://www.bergeng.com/mm5/downloads/mti/sj301.pdf>
- [36] ČSN EN 10027-1: Systémy označování ocelí - Část 1: Stavba značek oceli. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [37] ČSN EN 10088-2: Korozivzdorné oceli - Část 2: Technické dodací podmínky pro plechy a pásy z ocelí odolných proti korozi pro obecné použití. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [38] ČSN EN 10025-3: Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 3: Technické dodací podmínky pro normalizačně žíhané /normalizačně válcované svařitelné jemnozrnné konstrukční oceli. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [39] Na jakou vzdálenost můžete měřit? Klíčem k odpovědi je optický poměr velikosti bodu. *DPS Elektronika od A do Z* [online]. Liberec: CADware, 2018, 9(6), 2 [cit. 2022-03-14]. ISSN 1805-5044. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/mereni/id:57601/na-jakou-vzdalenost-muzete-merit-klicem-k-odpovedi-je-opticky-pomer-velikosti-bodu>

6. Seznam obrázků

Obr. 1 - Bezdotykové měření teploty pyrometrem a termokamerou [4]	14
Obr. 2 - Termogram (příklad využití termokamer v diagnostice strojů) [3]	15
Obr. 3 - Pásma elektromagnetického záření využívaná pro bezdotykové měření teploty [4]	15
Obr. 4 - Elementární zářivý tok $d\phi$ na elementu plochy povrchu zdroje záření dA je emitován v hemisféře (polokouli) nad dA [2]	16
Obr. 5 - Lambertův zářič (konstantní hodnota intenzity záření ve všech směrech hemisféry vzhledem k povrchové normále) [2]	17
Obr. 6 - Různé typy dutin (modely černých těles) [5]	17
Obr. 7 - Strukturovaný povrch ploché desky simulující černé těleso [7]	17
Obr. 8 - Emisivita jako funkce vlnové délky pro jednotlivé zářiče [2]	18
Obr. 9 - Interakce tepelného záření s reálným tělesem [5]	19
Obr. 10 - Blokové schéma termokamery [2]	21
Obr. 11 - Porovnání propustnosti germania a skla na bázi oxidu křemičitého pro infračervené záření na vlnových délkách 8 až 14 μm [9]	21
Obr. 12 - Jednoduchý a třístupňový Peltierův článek [2]	22
Obr. 13 - Příklady chladicích jednotek pracujících na principu Stirlingova oběhu [2]	22
Obr. 14 - Princip zobrazení pomocí skenovací termokamery [5]	23
Obr. 15 - Princip zobrazení pomocí neskenovací termokamery [5]	23
Obr. 16 - Ruční termokamera Fluke Ti480 PRO [10]	24
Obr. 17 - Ruční termokamera Fluke PTi120 [10]	24
Obr. 18 - Stacionární termokamera Workswell WIC Industrial [11]	24
Obr. 19 - Stacionární termokamera Fluke RSE600 [10]	24
Obr. 20 - Princip bezkontaktního měření povrchové teploty [2]	25

Obr. 21 - Závislost propustnosti atmosféry na vlnové délce λ a vzdálenosti měření d [5]	26
Obr. 22 - Různé hodnoty odražené zdánlivé teploty v závislosti na míře „pomačkání“ hliníkové folie IČ reflektoru [15]	27
Obr. 23 - Závislost normálové emisivity na vlnové délce pro různé materiály [2] ...	28
Obr. 24 - Ovlivnění kvality termogramu parametrem NETD [17]	29
Obr. 25 - Vysvětlení pojmů zorné pole a zorný úhel [2]	30
Obr. 26 - Vliv použití různých objektivů: 12° teleobjektiv, 24° standard, 45° širokoúhlý objektiv [2]	30
Obr. 27 - Vliv rozlišení detektoru na vyhodnocení povrchové teploty [19]	31
Obr. 28 - Znázornění okamžitého zorného pole IFOV [8]	31
Obr. 29 - Kontrola funkčnosti tepelného výměníku [3]	34
Obr. 30 - Stav výšky hladiny kapaliny v nádrži [2]	34
Obr. 31 - Kontrola teploty při pájení hliníku plamenem [12]	34
Obr. 32 - Monitoring licí pánve [3]	34
Obr. 33 - Kontrola v procesu výroby pneumatik [23]	34
Obr. 34 - Kontrola vyhřívání sedadel automobilu [23]	34
Obr. 35 - Barva pro termografické aplikace (LabIR Paint 1000 °C) [25]	36
Obr. 36 - Samolepicí fólie ThermaSpot [25]	36
Obr. 37 - Závislost emisivity na úhlu měření povrchu pro různé teploty (LabIR Paint 1000 °C) [25]	36
Obr. 38 - Závislost normálové emisivity na vlnové délce pro různé teploty (LabIR Paint 1000 °C) [25]	37
Obr. 39 - Metoda využívající materiál s referenční emisivitou [27]	37
Obr. 40 - Metoda využívající kontaktní měření teploty [27]	38
Obr. 41 - Vliv chemického složení vybraných korozivzdorných ocelí na hodnotu emisivity ($\lambda=1,5 \mu\text{m}$) [28]	39

Obr. 42 - Závislost normálové emisivity na teplotě pro vybrané materiály [2]	40
Obr. 43 - Závislost emisivity vybraných korozivzdorných ocelí na době ohřevu [28]	41
Obr. 44 - Závislost emisivity korozivzdorné oceli X6CrNiMo17-12-2 na úhlu měření a vlnové délce při teplotě 500 °C [31]	42
Obr. 45 - Blokové schéma uspořádání měření	45
Obr. 46 - Připravené pracoviště v laboratoři odporového svařování Ústavu strojírenské technologie	46
Obr. 47 - Termokamera Flir E95	47
Obr. 48 - Kondenzátorový svařovací zdroj BT-2	48
Obr. 49 - Grafitová elektroda	48
Obr. 50 - Datalogger AHLBORN ALMEMO 5690-2	49
Obr. 51 - Elektrická laboratorní pec	50
Obr. 52 - Měřicí tunel pro odstínění záření z okolních zdrojů	51
Obr. 53 - Magnetický stavitelný stojánek	51
Obr. 54 - Digitální úhломěr	51
Obr. 55 - Spektrometr Q4 TASMAN [34]	52
Obr. 56 - Mitutoyo Surftest SJ-301	53
Obr. 57 - Měřicí detektor	53
Obr. 58 - Označení jednotlivých vzorků	54
Obr. 59 - Metodika měření drsnosti po dělení materiálu na soustruhu	57
Obr. 60 - Metodika měření drsnosti po broušení	57
Obr. 61 - Vzorek z oceli X5CrNi18-10 s navařenými termočlánky	59
Obr. 62 - Schéma navařených termočlánků	59
Obr. 63 - Rozdíl ve vyhodnocení teploty při použití funkcí bod a oblast	59
Obr. 64 - IČ reflektor z kartonu a hliníkové folie	60
Obr. 65 - Bodové měření odražené zdánlivé teploty	60

Obr. 66 - Modul pro měření relativní vlhkosti a teploty okolí	61
Obr. 67 - Srovnání teplotních cyklů vzorků	63
Obr. 68 - Prostředí SW FLIR Tools a měřicí funkce bod v blízkosti termočlánku ...	64
Obr. 69 - Určení emisivity pomocí lineární interpolace	65
Obr. 70 - Grafické znázornění výsledků měření pro korozivzdornou ocel X5CrNi18-10	67
Obr. 71 - Grafické znázornění výsledků měření pro konstrukční ocel S355N	68
Obr. 72 - Naměřené hodnoty pro úhly 15°, 30° a 45° směrem nahoru	69
Obr. 73 - Naměřené hodnoty pro normálový směr a úhly 15° a 45° směrem dolů ..	70
Obr. 74 - Závislost emisivity na úhlu snímání povrchu pro ocel X5CrNi18-10	70
Obr. 75 - Naměřené hodnoty pro úhel 30° směrem dolů	71
Obr. 76 - Naměřené hodnoty pro normálový směr a úhly 15° směrem dolů i nahoru a 30° směrem dolů	72
Obr. 77 - Závislost emisivity na úhlu snímání povrchu pro ocel S355N	72
Obr. 78 - Naměřené hodnoty pro úhly 45° směrem dolů i nahoru	73

7. Seznam tabulek

Tab. 1 - Závislost velikosti FOV na vzdálenosti měření pro standardní objektiv 24°x18° [5]	30
Tab. 2 - Informativní hodnoty emisivity vybraných kovových povrchů ($\lambda = 8$ až $14 \mu\text{m}$) [24]	35
Tab. 3 - Závislost emisivity na teplotě pro vybrané korozivzdorné oceli ($\lambda = 8$ až $14 \mu\text{m}$) [29]	41
Tab. 4 - Technické parametry termokamery Flir E95 [32]	47
Tab. 5 - Technická specifikace kondenzátorového svařovacího zdroje BT-2 [33] ...	48
Tab. 6 - Technická data stolního spektrometru Q4 TASMAN [34]	52
Tab. 7 - Chemické složení oceli X5CrNi18-10	55
Tab. 8 - Chemické složení oceli S355N	55
Tab. 9 - Kontrolní měření drsnosti po dělení materiálu	56
Tab. 10 - Parametry broušení vzorků	57
Tab. 11 - Kontrolní měření drsnosti po broušení	58
Tab. 12 - Naměřené hodnoty odražené zdánlivé teploty	60
Tab. 13 - Naměřené hodnoty relativní vlhkosti a atmosférické teploty	61
Tab. 14 - Přehled provedených měření	66

8. Přílohy

Příloha 1 – Analýza chemického složení korozivzdorné oceli **X5CrNi18-10** (měřeno dne 7.11.2021 přístrojem Q4 TASMAN)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.029	0.490	1.502	0.046	<0.150	18.52	0.391	7.110	0.371	0.0083
2.	0.030	0.492	1.503	0.048	<0.150	18.54	0.389	7.104	0.373	0.0088
3.	0.029	0.487	1.514	0.047	<0.150	18.60	0.388	7.061	0.365	0.0088
↑										
∅	0.029	0.490	1.506	0.047	<0.150	18.55	0.389	7.092	0.370	0.0086
↓										
σ	0.00071	0.0025	0.0067	0.0010		0.042	0.0016	0.027	0.0042	0.00029
ν	2.448	0.510	0.445	2.128		0.226	0.411	0.381	1.135	3.372

	As	B	Bi	Ce	Co	Mg	N	Nb	Pb	Sb
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.010	<0.0010	0.056	0.010	0.177	0.025	0.092	0.027	0.027	<0.010
2.	0.010	<0.0010	0.059	0.0094	0.177	0.026	0.093	0.028	0.027	<0.010
3.	0.010	<0.0010	0.060	0.011	0.176	0.028	0.093	0.027	0.027	<0.010
↑										
∅	0.010	<0.0010	0.058	0.010	0.177	0.026	0.093	0.027	0.027	<0.010
↓										
σ			0.0021	0.00082	0.00071	0.0016	0.00071	0.00071		
ν			3.621	8.200	0.401	6.154	0.763	2.630		

	Sn	Ta	La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.010	0.288	0.0072	0.0045	0.094	0.025	0.027	0.0090	0.033	70.45
2.	0.011	0.298	0.0074	0.0048	0.094	0.026	0.027	0.0094	0.032	70.42
3.	0.011	0.283	0.0072	0.0046	0.094	0.022	0.027	0.0091	0.034	70.42
↑										
∅	0.011	0.290	0.0073	0.0046	0.094	0.024	0.027	0.0092	0.033	70.43
↓										
σ	0.00071	0.0076	0.00012	0.00016		0.0021		0.00021	0.0010	0.017
ν	6.455	2.621	1.644	3.478		8.750		2.283	3.030	0.024

Příloha 2 – Analýza Chemického složení konstrukční oceli **S355N** (měřeno dne 7.11.2021 přístrojem Q4 TASMAN)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.173	0.226	1.324	<0.0050	<0.150	0.045	0.013	0.037	0.078	0.025
2.	0.169	0.213	1.330	<0.0050	<0.150	0.045	0.013	0.035	0.078	0.025
3.	0.173	0.214	1.331	<0.0050	<0.150	0.044	0.013	0.037	0.078	0.025
↑										
Ø	0.172	0.218	1.328	<0.0050	<0.150	0.045	0.013	0.036	0.078	0.025
↓										
σ	0.0023	0.0072	0.0038			0.00071		0.0012		
ν	1.337	3.303	0.286			1.578		3.333		

	As	B	Bi	Ce	Co	Mg	N	Nb	Pb	Sb
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.014	<0.0010	<0.010	<0.0050	<0.0050	0.0069	0.022	0.025	0.011	<0.010
2.	0.014	<0.0010	<0.010	<0.0050	<0.0050	0.0070	0.022	0.025	0.010	<0.010
3.	0.014	<0.0010	<0.010	<0.0050	<0.0050	0.0064	0.023	0.024	<0.010	<0.010
↑										
Ø	0.014	<0.0010	<0.010	<0.0050	<0.0050	0.0068	0.022	0.025	<0.010	<0.010
↓										
σ						0.00032	0.00071	0.00071	0.00071	
ν						4.706	3.227	2.840	7.100	

	Sn	Ta	La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	<0.0050	<0.030	<0.0020	<0.0010	<0.0050	<0.010	0.0023	<0.0020	<0.0050	97.75
2.	<0.0050	<0.030	<0.0020	<0.0010	<0.0050	<0.010	0.0020	<0.0020	<0.0050	97.77
3.	<0.0050	<0.030	<0.0020	<0.0010	<0.0050	<0.010	0.0025	<0.0020	<0.0050	97.76
↑										
Ø	<0.0050	<0.030	<0.0020	<0.0010	<0.0050	<0.010	0.0023	<0.0020	<0.0050	97.76
↓										
σ							0.00025			0.0100
ν							10.87			0.010

Příloha 3 – Kontrolní měření drsnosti č. 1 u vzorků z oceli **X5CrNi18-10** (měřeno dne 5.11.2021 drsnoměrem Mitutoyo Surftest SJ-301)

Vzorky z vysokolegované korozivzdorné oceli X5CrNi18-10						
Č. měření	Vzorek č. 1		Vzorek č. 2		Vzorek č. 3	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	3,23	16,26	1,72	9,58	1,58	8,07
2	3,01	14,42	1,79	9,46	1,56	7,33
3	2,81	13,32	1,77	9,01	1,69	8,16
4	2,86	13,34	1,76	8,98	1,61	7,88
5	2,90	14,11	1,75	8,98	1,56	7,03
6	2,75	12,80	1,79	9,03	1,55	7,85
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	2,93	14,04	1,76	9,17	1,59	7,72
Č. měření	Vzorek č. 4		Vzorek č. 5		Vzorek č. 6	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	2,00	10,88	2,13	9,39	1,76	9,62
2	2,01	10,90	2,17	9,58	1,66	8,59
3	2,01	10,59	2,09	9,68	1,66	8,87
4	1,99	11,7	2,09	8,98	1,71	9,78
5	2,03	10,62	2,09	9,54	1,84	9,52
6	1,94	10,39	2,13	9,70	2,03	10,56
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	2,00	10,85	2,12	9,48	1,78	9,49
Č. měření	Vzorek č. 7		Vzorek č. 8		Vzorek č. 9	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	0,81	5,06	1,79	8,18	1,89	8,89
2	0,82	5,08	1,78	8,34	1,81	8,77
3	0,85	5,69	1,72	7,92	1,83	9,16
4	0,74	4,81	1,76	8,03	2,01	10,77
5	0,84	5,06	1,71	8,30	1,84	9,89
6	0,80	5,07	1,64	8,36	1,85	9,48
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	0,81	5,13	1,73	8,19	1,87	9,49

Příloha 4 – Kontrolní měření drsnosti č. 1 u vzorků z oceli **S355N** (měřeno dne 5.11.2021 drsnoměrem Mitutoyo SurfTest SJ-301)

Vzorky z konstrukční oceli S355N						
Č. měření	Vzorek č. 1		Vzorek č. 2		Vzorek č. 3	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	3,88	18,27	5,22	24,49	4,99	19,65
2	3,55	19,62	5,10	22,99	4,55	24,34
3	3,05	15,40	5,24	21,33	4,27	17,03
4	3,25	16,87	5,08	25,98	4,83	20,32
5	4,21	20,31	5,67	28,51	4,21	19,53
6	3,51	19,38	5,31	25,86	4,32	16,03
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	3,56	18,31	5,27	24,86	4,53	19,48
Č. měření	Vzorek č. 4		Vzorek č. 5		Vzorek č. 6	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	3,51	19,17	6,74	33,12	4,48	25,85
2	3,51	19,74	6,84	32,03	4,32	23,81
3	2,86	15,42	6,72	30,55	4,15	21,81
4	3,01	15,48	6,74	32,85	3,01	18,28
5	3,38	19,48	6,29	36,81	3,70	19,09
6	3,25	18,34	6,13	31,39	3,87	21,66
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	3,25	17,94	6,58	32,79	3,92	21,75
Č. měření	Vzorek č. 7		Vzorek č. 8		Vzorek č. 9	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	1,97	11,84	3,08	16,35	4,42	21,80
2	2,14	12,77	3,71	20,35	4,50	21,45
3	2,02	11,82	4,15	23,24	4,50	21,36
4	1,95	10,27	3,11	18,17	4,17	20,00
5	1,83	10,61	3,30	16,80	4,18	20,15
6	1,87	10,54	3,41	17,20	4,01	20,36
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	1,96	11,31	3,46	18,69	4,30	20,85

Příloha 5 – Kontrolní měření drsnosti č. 2 u vzorků z oceli X5CrNi18-10 (měřeno dne 16.11.2021 drsnoměrem Mitutoyo Surftest SJ-301)

Vzorky z vysokolegované korozivzdorné oceli X5CrNi18-10						
Č. měření	Vzorek č. 1		Vzorek č. 2		Vzorek č. 3	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,12	0,94	0,05	0,43	0,07	0,52
2	0,11	0,82	0,08	0,57	0,10	0,72
3	0,14	1,02	0,06	0,45	0,07	0,51
Otočeno o 90°						
4	0,22	1,53	0,08	0,59	0,10	0,74
5	0,20	1,32	0,14	0,93	0,12	0,85
6	0,15	1,10	0,06	0,56	0,07	0,59
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	0,16	1,12	0,08	0,59	0,09	0,66
Č. měření	Vzorek č. 4		Vzorek č. 5		Vzorek č. 6	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,10	1,06	0,10	0,75	0,13	1,10
2	0,13	1,23	0,05	0,43	0,11	0,98
3	0,11	1,07	0,06	0,50	0,37	2,06
Otočeno o 90°						
4	0,14	1,31	0,08	0,54	0,10	0,84
5	0,22	1,97	0,06	0,59	0,10	0,74
6	0,12	1,03	0,14	1,04	0,11	0,90
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	0,14	1,28	0,08	0,64	0,15	1,10
Č. měření	Vzorek č. 7		Vzorek č. 8		Vzorek č. 9	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,18	1,30	0,16	1,18	0,14	1,16
2	0,22	1,60	0,12	0,94	0,14	1,00
3	0,15	1,26	0,13	0,98	0,19	1,388
Otočeno o 90°						
4	0,16	1,16	0,23	1,56	0,17	1,12
5	0,15	1,09	0,12	0,97	0,24	1,54
6	0,17	1,07	0,15	1,31	0,17	1,17
Aritmetický průměr $\overline{Ra, Rz}$	0,17	1,25	0,15	1,16	0,18	1,23

Příloha 6 – Kontrolní měření drsnosti č. 2 u vzorků z oceli **S355N** (měřeno dne 8.11.2021 drsnoměrem Mitutoyo SurfTest SJ-301)

Vzorky z konstrukční oceli S355N						
Č. měření	Vzorek č. 1		Vzorek č. 2		Vzorek č. 3	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	0,08	0,67	0,09	0,70	0,10	0,81
2	0,08	0,59	0,07	0,59	0,09	0,77
3	0,08	0,63	0,09	0,54	0,09	0,77
Otočeno o 90°						
4	0,11	0,74	0,08	0,56	0,10	0,77
5	0,11	0,72	0,07	0,55	0,10	0,76
6	0,10	0,71	0,08	0,62	0,12	0,80
Aritmetický průměr <i>Ra, Rz</i>	0,09	0,68	0,08	0,59	0,10	0,78
Č. měření	Vzorek č. 4		Vzorek č. 5		Vzorek č. 6	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	0,26	1,60	0,08	0,61	0,11	0,77
2	0,12	0,88	0,09	0,69	0,12	0,94
3	0,08	0,70	0,11	0,91	0,09	0,72
Otočeno o 90°						
4	0,11	0,72	0,10	0,69	0,09	0,75
5	0,08	0,54	0,09	0,71	0,09	0,67
6	0,10	0,80	0,10	0,75	0,10	0,67
Aritmetický průměr <i>Ra, Rz</i>	0,13	0,87	0,10	0,73	0,10	0,75
Č. měření	Vzorek č. 7		Vzorek č. 8		Vzorek č. 9	
	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz</i> [μm]
1	0,08	0,62	0,15	1,11	0,22	1,38
2	0,19	1,22	0,13	0,89	0,08	0,66
3	0,23	1,39	0,12	1,01	0,11	1,03
Otočeno o 90°						
4	0,12	0,81	0,14	0,81	0,11	0,91
5	0,13	0,84	0,15	0,96	0,10	0,69
6	0,18	1,21	0,13	0,86	0,10	0,73
Aritmetický průměr <i>Ra, Rz</i>	0,16	1,02	0,14	0,94	0,12	0,9

Příloha 7 – Naměřené hodnoty odražené zdánlivé teploty pro jednotlivé dny

Měření 30.11.2021					
Termogram č.	T _{odr. 1} [°C]	T _{odr. 2} [°C]	T _{odr. 3} [°C]	T _{odr. 4} [°C]	T _{odr. 5} [°C]
1	24,2	23,2	22,4	22,5	22,6
2	22,8	23,8	22,8	22,4	23,2
3	26,1	23,3	22,8	22,9	22,5
4	23,8	24,7	22,8	22,4	22,9
5	23,8	23	22,6	22,1	22,7
Průměrná hodnota odražené zdánlivé teploty $\bar{T}_{odr.}$ [°C]					23,1

Měření 2.12.2021					
Termogram č.	T _{odr. 1} [°C]	T _{odr. 2} [°C]	T _{odr. 3} [°C]	T _{odr. 4} [°C]	T _{odr. 5} [°C]
1	23,2	24,7	24,1	23,1	23,3
2	23,4	25	24,3	23,5	23,3
3	23,7	25,2	24,4	23,8	23,5
4	25,3	23,4	25,4	23,8	23,4
5	23,5	24,8	25,3	23,3	23,1
Průměrná hodnota odražené zdánlivé teploty $\bar{T}_{odr.}$ [°C]					24,0

Měření 3.12.2021					
Termogram č.	T _{odr. 1} [°C]	T _{odr. 2} [°C]	T _{odr. 3} [°C]	T _{odr. 4} [°C]	T _{odr. 5} [°C]
1	25,1	25,2	25,1	24,7	24,8
2	25,1	25,2	25,1	25	25,2
3	25,2	25	25	24,8	24,8
4	25,2	25,3	24,9	24,8	24,9
5	25,1	25,3	25,3	24,2	25,1
Průměrná hodnota odražené zdánlivé teploty $\bar{T}_{odr.}$ [°C]					25,0

Měření 7.12.2021					
Termogram č.	T _{odr. 1} [°C]	T _{odr. 2} [°C]	T _{odr. 3} [°C]	T _{odr. 4} [°C]	T _{odr. 5} [°C]
1	26,1	25,9	26,3	25,5	24,4
2	26,8	26	26,9	26	25,9
3	25,5	25,2	24,9	26,6	24,8
4	25,4	25,9	25,6	24,8	24,7
5	25,7	24,9	26,5	25	25,2
Průměrná hodnota odražené zdánlivé teploty $\bar{T}_{odr.}$ [°C]					25,6

Měření 9.12.2021					
Termogram č.	T _{odr. 1} [°C]	T _{odr. 2} [°C]	T _{odr. 3} [°C]	T _{odr. 4} [°C]	T _{odr. 5} [°C]
1	25,3	24,1	25,6	23,8	24,4
2	25,1	25,2	24	24,1	23,8
3	25,4	25	23,9	24,1	23,7
4	24,6	25,3	23,7	23,6	24,1
5	23,9	25,7	24,4	24,2	25,7
Průměrná hodnota odražené zdánlivé teploty $\bar{T}_{odr.}$ [°C]					24,5

Příloha 8 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel S355N (0° normálový směr)

Druh oceli		S355N		Počet termogramů		201			
Číslo vzorku		2		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		0° normálový směr		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		1		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		11:27:53 – 12:01:15		Odražená teplota		23,1 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 002			
Datum měření		30.11.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
551,7	0,784	215,6	0,805	126,4	0,818	84,4	0,808	61,7	0,79
527,3	0,829	212,4	0,804	124,8	0,822	83,6	0,805	61,4	0,795
507,3	0,828	209	0,804	123,5	0,818	83	0,802	61	0,798
489,3	0,828	206	0,806	122,2	0,811	82,2	0,807	60,5	0,79
473	0,828	202,8	0,807	120,9	0,819	81,6	0,802	60,2	0,798
458	0,828	199,9	0,805	119,7	0,813	80,9	0,804	59,8	0,793
443	0,829	196,9	0,808	118,3	0,811	80,2	0,797	59,4	0,798
431,6	0,826	194,1	0,807	117,1	0,813	79,4	0,805	59	0,79
418,2	0,826	191,2	0,807	115,9	0,813	78,9	0,797	58,7	0,803
408,2	0,822	188,2	0,809	114,4	0,817	78,2	0,798	58,3	0,808
397,4	0,82	185,7	0,809	113,4	0,813	77,6	0,805	57,9	0,808
387,2	0,818	183,3	0,809	112,3	0,811	76,9	0,813	57,6	0,795
377,2	0,819	180,8	0,807	111,1	0,81	76,4	0,803	57,2	0,79
367	0,821	178,3	0,807	109,9	0,809	75,7	0,807	56,9	0,805
358	0,821	175,9	0,812	108,8	0,808	75,1	0,806	56,5	0,807
350,4	0,82	173,5	0,81	107,7	0,804	74,6	0,788	56,2	0,797
342,5	0,82	171	0,812	106,7	0,808	74	0,79	55,8	0,785
334,9	0,817	169	0,812	105,6	0,809	73,4	0,794	55,5	0,787
327,3	0,817	166,8	0,809	104,3	0,814	72,8	0,79	55,2	0,775
319,9	0,817	164,6	0,815	103,4	0,805	72,3	0,794	54,8	0,793
312,6	0,816	162,5	0,811	102,5	0,808	71,7	0,79	54,5	0,79
306,9	0,815	160,4	0,811	101,4	0,806	71,1	0,796	54,2	0,8
300,1	0,814	158,3	0,811	100,3	0,807	70,7	0,786	53,9	0,785
294,9	0,813	156,4	0,812	99,4	0,809	70,1	0,802	53,6	0,783
289,1	0,811	154,2	0,81	98,5	0,806	69,6	0,794	53,2	0,793
283,8	0,809	152,5	0,811	97,5	0,81	69,1	0,792	53	0,79
277,8	0,81	150,6	0,811	96,6	0,805	68,6	0,786	52,6	0,8
273,3	0,807	148,7	0,809	95,7	0,806	68,1	0,798	52,4	0,8
268,1	0,807	146,9	0,81	94,7	0,8	67,6	0,792	52,1	0,79
263,4	0,805	145,2	0,81	94	0,81	67,1	0,79	51,8	0,803
258,3	0,804	143,4	0,81	93,1	0,819	66,7	0,794	51,5	0,807
254,3	0,802	141,8	0,812	92,3	0,807	66,2	0,793	51,2	0,797
250	0,801	140,1	0,813	91,3	0,809	65,6	0,793	50,9	0,793
245,8	0,801	138,4	0,814	90,6	0,809	65,2	0,798	50,6	0,793
241,6	0,803	137	0,813	89,8	0,804	64,8	0,8	50,4	0,793
237,6	0,803	135,1	0,813	89	0,8	64,3	0,788	50,1	0,813
233,7	0,804	133,8	0,813	88,1	0,806	63,9	0,79	49,8	0,803
230	0,803	132,2	0,814	87,3	0,799	63,5	0,79		
226,2	0,804	130,7	0,819	86,5	0,805	63	0,79		
222,5	0,806	129,2	0,823	85,9	0,808	62,6	0,803		
219,1	0,804	127,6	0,823	85,2	0,812	62,2	0,79		

Příloha 9 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel S355N (15° směrem dolů)

Druh oceli		S355N		Počet termogramů		200			
Číslo vzorku		3		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		15° směrem dolů		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		2		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		12:34:17 – 13:07:28		Odražená teplota		23,1 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 003			
Datum měření		30.11.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
559,3	0,802	219	0,816	129,3	0,793	86,6	0,761	63,5	0,743
535,6	0,812	215,6	0,816	127,8	0,791	85,9	0,768	63	0,745
515,6	0,819	212,3	0,816	126,3	0,794	85,2	0,757	62,6	0,754
497,1	0,817	208,8	0,816	125	0,792	84,3	0,76	62,2	0,743
479,7	0,821	205,9	0,816	123,7	0,785	83,6	0,76	61,7	0,748
463,5	0,822	203	0,814	122,3	0,786	82,9	0,758	61,4	0,74
445,3	0,826	199,6	0,816	121,1	0,782	82,2	0,764	61	0,736
432,9	0,826	196,9	0,815	119,7	0,787	81,5	0,758	60,5	0,75
421	0,825	194	0,815	118,4	0,782	80,9	0,755	60,2	0,733
407,5	0,825	191,3	0,813	117,1	0,784	80,2	0,753	59,7	0,735
397	0,822	188,6	0,814	115,9	0,784	79,6	0,757	59,4	0,743
384,8	0,824	186,1	0,811	114,6	0,779	78,8	0,753	59	0,74
375,6	0,823	182,9	0,812	113,5	0,778	78,2	0,758	58,7	0,74
366	0,826	180,9	0,812	112,2	0,777	77,6	0,752	58,3	0,738
356,1	0,827	178,3	0,811	111,1	0,773	77	0,757	57,9	0,733
348,6	0,826	175,9	0,811	110	0,773	76,3	0,756	57,6	0,745
340,8	0,824	173,5	0,811	108,9	0,776	75,6	0,763	57,2	0,745
333,2	0,825	171	0,812	107,6	0,784	75,1	0,753	56,8	0,748
326	0,824	169,1	0,809	106,7	0,776	74,6	0,754	56,5	0,733
318,8	0,824	166,7	0,808	105,6	0,776	74	0,755	56,2	0,735
312,7	0,824	164,6	0,808	104,5	0,775	73,5	0,757	55,8	0,74
305,9	0,823	162,5	0,81	103,5	0,774	72,8	0,762	55,4	0,74
300,4	0,822	160,4	0,807	102,5	0,771	72,3	0,75	55,1	0,738
294,5	0,822	158,2	0,807	101,4	0,773	71,7	0,755	54,8	0,743
288,3	0,822	156,5	0,803	100,5	0,771	71,2	0,756	54,5	0,75
283,4	0,823	154,2	0,807	99,5	0,768	70,7	0,756	54,1	0,745
278	0,821	152,6	0,803	98,6	0,774	70,1	0,754	53,7	0,738
273	0,82	150,5	0,805	97,6	0,769	69,6	0,752	53,5	0,747
268,1	0,819	148,8	0,805	96,6	0,764	69,2	0,756	53,2	0,743
262,6	0,82	147,1	0,804	95,8	0,766	68,6	0,758	53	0,727
258,2	0,819	145,2	0,803	94,9	0,769	68,1	0,752	52,6	0,745
254,4	0,817	143,6	0,803	93,9	0,774	67,6	0,766	52,3	0,737
249,8	0,817	141,7	0,803	93,2	0,771	67,1	0,766	52	0,743
245,2	0,818	140,2	0,8	92,2	0,769	66,6	0,766	51,7	0,743
241,4	0,817	138,8	0,797	91,5	0,763	66,2	0,762	51,4	0,743
237,4	0,817	137	0,796	90,6	0,766	65,7	0,746	51,1	0,745
233,1	0,818	135,4	0,803	89,8	0,769	65,2	0,738	50,9	0,738
229,7	0,816	133,9	0,796	88,9	0,764	64,8	0,738	50,6	0,733
226,1	0,816	132,3	0,795	88,2	0,761	64,3	0,735	50,3	0,737
222,5	0,815	130,8	0,794	87,4	0,763	63,8	0,74	50	0,757

Příloha 10 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel S355N (30° směrem dolů)

Druh oceli		S355N		Počet termogramů		199			
Číslo vzorku		4		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		30° směrem dolů		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		3		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		13:34:27 – 14:07:27		Odražená teplota		23,1 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 004			
Datum měření		30.11.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
539,4	0,739	213,1	0,786	126,7	0,776	85,3	0,772	62,8	0,748
517,1	0,796	210,1	0,782	125,2	0,775	84,6	0,772	62,3	0,752
491,7	0,794	206,9	0,785	123,9	0,778	83,8	0,771	62	0,742
476	0,793	203,9	0,784	122,5	0,777	83,1	0,772	61,6	0,752
458,1	0,798	200,7	0,784	121,3	0,777	82,4	0,767	61,1	0,745
442,4	0,799	197,7	0,783	119,9	0,777	81,7	0,772	60,7	0,746
428,7	0,798	194,7	0,782	118,6	0,781	81	0,773	60,4	0,75
416	0,796	191,7	0,783	117,2	0,781	80,3	0,778	60	0,745
404,3	0,793	189,4	0,782	116,2	0,78	79,7	0,773	59,5	0,745
393,1	0,795	186,8	0,779	114,8	0,787	79	0,778	59,1	0,738
381,3	0,796	184,2	0,779	113,7	0,782	78,3	0,778	58,8	0,74
372,4	0,797	181,5	0,784	112,3	0,78	77,6	0,763	58,4	0,748
362,9	0,797	179	0,784	111,2	0,779	77,1	0,762	58	0,755
353,4	0,797	176,6	0,784	110,1	0,784	76,5	0,762	57,7	0,743
345,9	0,795	174,3	0,784	109,1	0,78	76	0,762	57,3	0,753
337,9	0,796	171,9	0,782	108	0,783	75,3	0,758	57	0,745
330,4	0,795	169,7	0,783	106,9	0,778	74,8	0,753	56,7	0,738
323,1	0,796	167,4	0,785	105,8	0,78	74,2	0,758	56,3	0,735
316,2	0,794	165,2	0,785	104,8	0,777	73,6	0,758	56	0,733
309,7	0,794	163,2	0,779	103,6	0,783	73	0,758	55,6	0,748
303,3	0,794	160,7	0,78	102,7	0,779	72,5	0,76	55,3	0,74
297,3	0,793	159	0,78	101,7	0,781	71,9	0,76	55	0,735
291	0,791	156,7	0,782	100,7	0,779	71,4	0,762	54,6	0,743
285,8	0,792	155	0,78	99,6	0,779	70,8	0,755	54,3	0,738
280,2	0,79	152,7	0,781	98,7	0,781	70,3	0,763	54	0,743
274,9	0,79	150,9	0,782	97,8	0,783	69,8	0,744	53,7	0,733
269,2	0,792	149,3	0,778	96,8	0,783	69,3	0,75	53,4	0,728
265	0,789	147,3	0,78	95,9	0,783	68,8	0,75	53,1	0,737
259,7	0,789	145,7	0,775	94,9	0,776	68,2	0,762	52,9	0,73
255,7	0,789	144,1	0,777	94,1	0,786	67,7	0,756	52,5	0,748
251,2	0,788	142,3	0,773	93,2	0,77	67,3	0,75	52,2	0,735
246,5	0,788	140,6	0,778	92,5	0,77	66,8	0,75	51,9	0,735
243	0,785	139,1	0,777	91,5	0,771	66,4	0,746	51,6	0,737
238,9	0,784	137,2	0,778	90,7	0,776	65,8	0,75	51,3	0,728
235	0,784	135,8	0,778	90	0,776	65,4	0,75	51	0,733
231	0,788	134,2	0,773	89,1	0,773	64,9	0,748	50,8	0,72
227	0,786	132,6	0,775	88,3	0,773	64,6	0,744	50,5	0,737
223,2	0,785	131,1	0,778	87,6	0,775	64,1	0,74	50,3	0,725
220,2	0,784	129,6	0,777	86,8	0,775	63,6	0,746	50	0,73
216,7	0,784	128	0,779	86,1	0,774	63,2	0,755		

Příloha 11 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel S355N (45° směrem dolů)

Druh oceli		S355N		Počet termogramů		190			
Číslo vzorku		5		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		45° směrem dolů		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		4		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		8:23:30 – 8:54:57		Odražená teplota		24 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 005			
Datum měření		2.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
537	0,86	207,3	0,797	124,1	0,769	84,4	0,735	63	0,717
510,2	0,852	204,4	0,792	122,7	0,772	83,8	0,736	62,6	0,716
487,1	0,851	200,7	0,795	121,3	0,768	83	0,73	62,2	0,715
465,1	0,851	197,8	0,791	119,9	0,77	82,3	0,726	61,7	0,714
449,2	0,849	194,7	0,792	118,6	0,77	81,5	0,729	61,4	0,715
433,4	0,847	191,8	0,788	117,3	0,769	80,9	0,728	61	0,714
419,5	0,845	188,8	0,794	116	0,768	80,2	0,723	60,5	0,713
406,7	0,843	186,1	0,789	114,8	0,767	79,6	0,726	60	0,713
394,9	0,839	183,3	0,791	113,4	0,768	78,8	0,733	59,6	0,71
383,6	0,838	180,6	0,794	112,3	0,773	78,2	0,733	59,2	0,704
372,9	0,835	178,1	0,79	111	0,768	77,6	0,733	58,9	0,71
362,6	0,832	175,4	0,794	109,9	0,766	76,8	0,738	58,6	0,703
352,9	0,826	172,9	0,788	108,6	0,761	76,2	0,735	58,1	0,705
343,7	0,826	170,4	0,79	107,5	0,766	75,6	0,732	57,7	0,712
335,4	0,82	168,2	0,786	106,4	0,765	75	0,732	57,4	0,708
326,1	0,819	165,9	0,786	105,4	0,76	74,4	0,732	57	0,703
319,2	0,815	163,6	0,787	104,2	0,763	73,8	0,725	56,7	0,71
311,3	0,811	161,4	0,786	103,2	0,76	73,1	0,728	56,3	0,708
304,2	0,81	159,2	0,788	102,1	0,754	72,7	0,725	55,9	0,705
298,3	0,808	157,2	0,783	101,1	0,754	72,3	0,724	55,7	0,708
291,7	0,809	155,1	0,783	100,2	0,753	71,7	0,723	55,3	0,71
285,6	0,806	152,9	0,785	99,1	0,751	71,1	0,722	55	0,7
278,3	0,807	151	0,783	98	0,749	70,7	0,722	54,7	0,71
273,5	0,807	149	0,786	97,2	0,748	70,1	0,72	54,3	0,71
268,2	0,805	147,2	0,782	96,2	0,74	69,6	0,72	54	0,705
262,7	0,802	145,4	0,783	95,3	0,746	69,1	0,719	53,7	0,698
257,1	0,804	143,6	0,781	94,2	0,748	68,6	0,72	53,3	0,708
252,5	0,804	141,7	0,781	93,5	0,747	68,1	0,719	53,1	0,703
247,7	0,803	139,8	0,779	92,6	0,746	67,6	0,718	52,8	0,705
243,1	0,803	138,3	0,78	91,8	0,74	67,1	0,718	52,4	0,7
238,9	0,798	136,7	0,779	90,9	0,741	66,7	0,717	52,2	0,7
234,4	0,8	134,7	0,774	90,1	0,741	66,2	0,716	51,8	0,703
230,3	0,798	133,1	0,775	89,3	0,741	65,6	0,718	51,6	0,698
226,2	0,797	131,8	0,774	88,5	0,733	65,2	0,717	51,3	0,697
221,7	0,798	130,1	0,772	87,6	0,74	64,8	0,716	51	0,703
218,2	0,796	128,3	0,775	86,8	0,736	64,3	0,715	50,7	0,703
214,6	0,796	127,1	0,773	86,1	0,733	63,9	0,715	50,4	0,698
211,2	0,794	125,5	0,772	85,3	0,733	63,5	0,716	50	0,697

Příloha 12 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel S355N (15° směrem nahoru)

Druh oceli		S355N		Počet termogramů		198			
Číslo vzorku		6		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		15° směrem nahoru		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		5		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		9:19:53 – 9:52:43		Odražená teplota		24 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 006			
Datum měření		2.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
523,3	0,832	208,3	0,793	125,2	0,767	84,4	0,751	62,4	0,738
499,7	0,825	205	0,796	123,6	0,766	83,9	0,75	61,9	0,743
478,3	0,826	202,3	0,794	122,7	0,763	83	0,751	61,5	0,735
458,5	0,828	199,1	0,794	121,1	0,772	82,4	0,75	61,1	0,743
440,7	0,827	196,5	0,789	119,8	0,768	81,8	0,749	60,7	0,74
425,2	0,829	193,1	0,796	118,3	0,771	81	0,751	60,3	0,738
410,7	0,829	191,1	0,788	117,1	0,769	80,2	0,739	60	0,74
397,7	0,831	188,2	0,787	115,8	0,771	79,6	0,738	59,6	0,74
385,2	0,833	185,8	0,79	114,5	0,77	79,1	0,74	59,3	0,744
374,6	0,831	183,3	0,79	113,6	0,764	78,4	0,738	58,8	0,75
364,3	0,83	180,5	0,791	112,4	0,769	77,8	0,742	58,5	0,74
354,3	0,833	178,1	0,791	111,4	0,761	77,2	0,74	58,1	0,745
345,9	0,829	175,8	0,786	110	0,764	76,5	0,742	57,8	0,748
338,1	0,825	173,2	0,788	108,9	0,762	76	0,743	57,4	0,748
331	0,819	171,1	0,785	107,9	0,76	75,3	0,742	57	0,735
323,4	0,818	169	0,786	106,5	0,763	74,7	0,742	56,7	0,738
317,2	0,812	166,6	0,785	105,5	0,762	74	0,75	56,4	0,75
310,6	0,811	164,8	0,781	104,5	0,761	73,6	0,737	56	0,735
304,2	0,809	162,6	0,78	103,5	0,761	73	0,745	55,7	0,733
299	0,803	160,8	0,782	102,3	0,764	72,5	0,742	55,3	0,735
291,7	0,808	158,3	0,783	101,5	0,753	71,7	0,752	55	0,735
286,7	0,803	156,6	0,778	100,4	0,755	71,2	0,75	54,7	0,737
281,4	0,803	154,1	0,78	99,5	0,754	70,8	0,742	54,4	0,737
275,8	0,802	152,8	0,78	98,5	0,754	70,2	0,742	54,1	0,728
270,9	0,8	150,7	0,781	97,7	0,754	69,7	0,744	53,7	0,73
265,7	0,802	148,6	0,781	96,6	0,761	69,1	0,75	53,5	0,725
260,4	0,802	147,1	0,776	95,7	0,757	68,7	0,748	53,1	0,723
256,6	0,801	145,2	0,777	94,9	0,756	68,1	0,752	52,8	0,728
252,4	0,8	143,7	0,781	94,1	0,756	67,7	0,738	52,5	0,725
247,7	0,799	141,5	0,785	93,2	0,75	67,2	0,73	52,3	0,72
244,5	0,795	139,9	0,784	92,2	0,755	66,8	0,736	52	0,72
240,3	0,796	138,7	0,778	91,4	0,751	66,2	0,736	51,8	0,713
236,3	0,793	136,9	0,775	90,6	0,751	65,7	0,734	51,4	0,72
231,9	0,797	135,6	0,772	89,9	0,753	65,3	0,732	51,1	0,713
228,9	0,793	133,7	0,777	89,1	0,753	64,9	0,738	50,9	0,713
225,3	0,797	132,2	0,774	88,4	0,756	64,5	0,735	50,6	0,717
221,5	0,796	130,8	0,772	87,4	0,753	63,9	0,742	50,3	0,71
217,8	0,798	129,7	0,765	86,7	0,75	63,5	0,738	50	0,71
214,6	0,798	127,9	0,769	86	0,753	63,1	0,738		
211,6	0,795	126,5	0,769	85,2	0,749	62,7	0,738		

Příloha 13 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel S355N (30° směrem nahoru)

Druh oceli		S355N		Počet termogramů		188			
Číslo vzorku		7		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		30° směrem nahoru		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		6		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		10:17:35 – 10:48:49		Odražená teplota		24 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 007			
Datum měření		2.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
500,2	0,915	203,9	0,872	123,2	0,853	83,8	0,825	62,2	0,809
475,5	0,914	201,2	0,869	121,9	0,858	83,3	0,822	61,5	0,808
451,4	0,908	198	0,869	120,5	0,854	82,4	0,827	61	0,815
438,2	0,903	195,1	0,868	119,1	0,856	81,8	0,828	60,6	0,81
421,1	0,884	192,3	0,868	117,8	0,853	81	0,824	60,2	0,808
407,9	0,886	189,6	0,867	116,3	0,854	80,3	0,828	59,8	0,81
392,9	0,883	186,6	0,868	115,3	0,85	79,5	0,822	59,4	0,81
382,4	0,885	183,8	0,869	113,6	0,853	78,9	0,832	59	0,81
372,5	0,883	181,1	0,868	112,6	0,851	78,3	0,83	58,6	0,807
362	0,886	178,8	0,865	111,3	0,846	77,6	0,83	58,3	0,813
352	0,882	176	0,865	110,2	0,848	76,8	0,835	57,9	0,81
343,2	0,883	173,5	0,865	108,9	0,846	76,3	0,83	57,6	0,813
335,1	0,882	171,1	0,864	108,1	0,846	75,8	0,832	57,1	0,813
325,5	0,885	168,9	0,863	107	0,848	75	0,834	56,8	0,82
318,5	0,883	166,7	0,865	105,7	0,848	74,5	0,828	56,5	0,817
312,1	0,885	164,1	0,868	104,8	0,844	73,7	0,83	56,1	0,817
305,6	0,883	161,9	0,865	103,6	0,847	73,2	0,83	55,6	0,813
298,2	0,883	160	0,864	102,7	0,843	72,6	0,828	55,4	0,813
292,7	0,881	157,7	0,865	101,4	0,846	72,1	0,83	55,1	0,813
286,8	0,881	155,7	0,863	100,5	0,84	71,5	0,834	54,7	0,815
281	0,881	153,5	0,864	99,4	0,847	70,9	0,81	54,4	0,81
275,2	0,879	151,6	0,864	98,5	0,847	70,3	0,816	54	0,817
270,4	0,878	149,7	0,858	97,5	0,843	69,8	0,818	53,7	0,81
264	0,882	147,5	0,864	96,6	0,837	69,3	0,814	53,5	0,81
260,3	0,876	146,2	0,86	95,8	0,84	68,8	0,815	53,1	0,807
255,1	0,879	143,9	0,864	94,6	0,843	68,3	0,816	52,8	0,805
250	0,879	142	0,858	93,8	0,841	67,7	0,818	52,5	0,81
245,7	0,878	140,6	0,859	92,7	0,834	67,3	0,812	52,2	0,807
241,6	0,875	138,5	0,861	92	0,831	66,7	0,81	51,9	0,8
236,6	0,877	137,2	0,858	91	0,835	66,2	0,812	51,5	0,807
233,5	0,874	135,6	0,856	90,3	0,83	65,6	0,812	51,3	0,808
229,2	0,872	133,9	0,856	89,5	0,828	65,2	0,809	51,1	0,807
225,5	0,872	132,3	0,854	88,6	0,833	64,8	0,81	50,7	0,807
221,8	0,873	130,6	0,852	87,7	0,83	64,3	0,811	50,5	0,803
218	0,871	129,1	0,854	87	0,83	63,9	0,812	50,2	0,803
214,4	0,874	127,5	0,853	86,2	0,828	63,5	0,81	50	0,805
210,7	0,873	126,1	0,85	85,6	0,827	63	0,81		
207,6	0,871	124,6	0,861	84,7	0,827	62,6	0,809		

Příloha 14 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel S355N (45° směrem nahoru)

Druh oceli		S355N		Počet termogramů		193			
Číslo vzorku		8		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		45° směrem nahoru		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		7		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		11:03:38 – 11:35:38		Odražená teplota		24 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 008			
Datum měření		2.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
541,3	0,916	212,4	0,802	124,8	0,798	84,1	0,775	62,2	0,765
516,2	0,905	209	0,799	123,6	0,794	83,5	0,77	61,7	0,758
497,6	0,891	205,6	0,801	121,9	0,796	82,6	0,777	61,4	0,753
478,4	0,881	202,4	0,796	120,7	0,794	81,9	0,772	61	0,754
460,9	0,876	199,2	0,798	119,3	0,796	81,3	0,773	60,5	0,756
444	0,87	195,9	0,797	117,9	0,794	80,7	0,772	60,2	0,753
428,7	0,866	192,9	0,797	116,9	0,788	79,9	0,773	59,8	0,755
414,4	0,864	190,2	0,802	115,4	0,793	79,2	0,773	59,4	0,758
401,9	0,858	186,8	0,797	114	0,796	78,6	0,768	59	0,755
389,9	0,857	184,4	0,795	112,9	0,79	77,9	0,767	58,7	0,758
378,4	0,856	181,3	0,802	111,8	0,791	77,3	0,768	58,2	0,755
368,4	0,848	179,3	0,794	110,5	0,791	76,6	0,77	57,8	0,753
359,8	0,844	176,3	0,802	109,3	0,793	76	0,764	57,5	0,748
350,4	0,843	173,9	0,798	108,2	0,79	75,4	0,767	57,1	0,748
342	0,842	171,5	0,798	107,1	0,788	74,8	0,768	56,8	0,75
334,4	0,838	169	0,798	106	0,786	74,2	0,766	56,5	0,748
328	0,834	166,6	0,801	105	0,784	73,5	0,765	56,1	0,745
320,9	0,829	164,3	0,798	103,8	0,785	73,1	0,763	55,8	0,745
313,7	0,828	162,5	0,795	102,7	0,785	72,5	0,768	55,4	0,748
307,5	0,823	160,2	0,795	101,5	0,786	72	0,763	55,1	0,749
300,5	0,821	157,9	0,8	100,7	0,784	71,3	0,764	54,7	0,75
294,4	0,818	156	0,807	99,6	0,785	70,7	0,768	54,4	0,753
288,2	0,818	153,9	0,796	98,8	0,779	70,2	0,76	54,1	0,75
283,2	0,811	151,6	0,798	97,8	0,776	69,6	0,764	53,8	0,745
277,5	0,809	149,9	0,798	96,8	0,779	69,2	0,762	53,5	0,747
272,5	0,806	147,7	0,804	95,9	0,777	68,6	0,762	53,1	0,763
267	0,804	145,9	0,798	94,9	0,776	68,2	0,766	52,8	0,765
262,1	0,803	144,2	0,803	93,9	0,777	67,6	0,764	52,6	0,753
256,7	0,805	142,5	0,801	93	0,773	67,1	0,77	52,3	0,75
252,4	0,801	140,6	0,792	92,2	0,783	66,7	0,763	52	0,75
248	0,8	138,7	0,799	91,4	0,779	66,2	0,763	51,7	0,763
243,5	0,799	137,3	0,79	90,6	0,777	65,7	0,77	51,4	0,76
239,2	0,798	135,7	0,793	89,7	0,78	65,2	0,766	51,2	0,757
234,8	0,802	134	0,797	88,9	0,778	64,8	0,764	50,8	0,757
231,3	0,796	132,3	0,803	88,1	0,775	64,4	0,758	50,5	0,75
227,4	0,796	130,8	0,794	87,2	0,777	63,9	0,764	50,3	0,75
222,8	0,802	129,5	0,792	86,5	0,775	63,5	0,766	50	0,753
219,5	0,803	127,7	0,794	85,7	0,775	63	0,762		
215,8	0,801	126,4	0,8	84,9	0,77	62,6	0,755		

Příloha 15 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel X5CrNi18-10 (0° normálový směr)

Druh oceli		X5CrNi18-10		Počet termogramů		233			
Číslo vzorku		1		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		0° normálový směr		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		1		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		33 %			
Čas měření		12:53:46 – 13:31:33		Odražená teplota		25 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 009			
Datum měření		3.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
504,6	0,182	202,9	0,16	125,1	0,156	84,8	0,149	62,4	0,149
481,6	0,179	200,4	0,16	123,8	0,156	84,2	0,149	62,2	0,147
463,4	0,176	198	0,159	122,6	0,156	83,7	0,154	61,8	0,15
446,9	0,174	196,1	0,159	121,7	0,154	83	0,156	61,5	0,151
431,9	0,172	194	0,159	120,5	0,159	82,4	0,153	61,1	0,147
418,5	0,171	192,8	0,16	119,4	0,159	81,9	0,152	60,8	0,14
406,3	0,169	190,9	0,159	118,5	0,159	81,3	0,152	60,4	0,15
395,5	0,168	188,5	0,158	117,3	0,159	80,7	0,15	60,1	0,151
385,7	0,166	186,5	0,159	116,4	0,158	80,1	0,149	59,8	0,14
375,6	0,165	184,5	0,159	115,4	0,158	79,6	0,15	59,5	0,139
367,7	0,165	182,2	0,159	114,2	0,159	79	0,147	59,2	0,14
359,5	0,165	180,3	0,158	113,3	0,156	78,4	0,145	58,8	0,147
352	0,165	178,4	0,157	112,3	0,16	77,8	0,145	58,5	0,144
344,6	0,164	176,4	0,157	111,3	0,158	77,4	0,158	58,2	0,136
337,8	0,165	174	0,158	110,3	0,158	76,8	0,155	57,8	0,14
331,2	0,165	172,6	0,158	109,3	0,158	76,4	0,155	57,6	0,138
325,1	0,165	170,5	0,159	108,4	0,157	75,8	0,155	57,2	0,141
319,2	0,165	168,9	0,159	107,5	0,157	75,3	0,153	57	0,138
313,1	0,165	167	0,158	106,6	0,155	74,8	0,157	56,7	0,142
303,1	0,165	165,3	0,157	105,6	0,157	74,3	0,158	56,4	0,14
298,2	0,164	163,5	0,157	104,9	0,156	73,9	0,154	56,1	0,143
293,4	0,163	161,7	0,157	104	0,155	73,3	0,155	55,8	0,136
288,6	0,165	160	0,157	103,1	0,154	72,8	0,153	55,5	0,135
284,3	0,164	158,2	0,157	102,1	0,159	72,4	0,153	55,2	0,143
280	0,164	156,5	0,158	101,5	0,157	71,9	0,153	54,9	0,144
275,7	0,164	155	0,158	100,5	0,157	71,5	0,157	54,6	0,152
271,8	0,162	153,3	0,157	99,7	0,156	71	0,155	54,4	0,149
267,7	0,164	152	0,157	99	0,157	70,5	0,155	54,2	0,144
263,9	0,162	150,3	0,157	98,2	0,156	70,1	0,152	53,9	0,156
260,2	0,163	148,9	0,157	97,4	0,155	69,6	0,153	53,6	0,142
256,5	0,162	147,2	0,158	96,7	0,153	69,2	0,16	53,3	0,15
252,8	0,162	145,9	0,158	95,7	0,154	68,8	0,154	53	0,145
249,5	0,162	144,5	0,156	95	0,153	68,4	0,153	52,8	0,141
246,1	0,162	143	0,157	94,4	0,154	68	0,154	52,6	0,147
242,7	0,161	141,6	0,158	93,6	0,153	67,5	0,15	52,3	0,136
239,4	0,161	140,3	0,157	92,8	0,151	67,1	0,154	52,1	0,14
236,5	0,16	139	0,157	92,1	0,152	66,7	0,156	51,9	0,134
233,3	0,159	137,7	0,157	91,4	0,158	66,3	0,154	51,6	0,137
230,1	0,159	136,3	0,157	90,7	0,154	66	0,154	51,4	0,131
227,4	0,158	135,1	0,157	90	0,156	65,5	0,156	51,2	0,132
224,5	0,159	133,7	0,157	89,4	0,155	65	0,15	50,9	0,137
221,6	0,159	132,3	0,156	88,8	0,155	64,7	0,153	50,6	0,142
218,7	0,159	131	0,156	88	0,153	64,3	0,15	50,5	0,138
215,2	0,159	129,9	0,156	87,4	0,155	64	0,158	50,2	0,13
213	0,158	128,6	0,157	86,7	0,154	63,7	0,152	50	0,131
208,8	0,159	127,4	0,157	86,1	0,151	63,2	0,156		
205,1	0,16	126,3	0,155	85,4	0,151	62,8	0,147		

Příloha 16 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel X5CrNi18-10 (15° směrem dolů)

Druh oceli		X5CrNi18-10		Počet termogramů		233			
Číslo vzorku		2		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		15° směrem dolů		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		2		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		33 %			
Čas měření		13:49:31 – 14:28:11		Odražená teplota		25 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 010			
Datum měření		3.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
528,3	0,147	208,3	0,129	125,3	0,121	84,9	0,117	62,5	0,104
506,7	0,144	205,8	0,128	124,2	0,118	84,3	0,113	62,1	0,109
488,8	0,141	203,6	0,128	123,2	0,116	83,7	0,116	61,8	0,106
470,2	0,139	201,1	0,128	121,9	0,115	83,1	0,116	61,5	0,109
453,2	0,137	198,4	0,128	120,8	0,117	82,3	0,116	61,1	0,105
437,8	0,136	196,2	0,127	119,8	0,116	81,8	0,116	60,8	0,101
423,8	0,135	193,8	0,128	118,6	0,119	81,3	0,115	60,5	0,111
411	0,134	191,4	0,126	117,5	0,12	80,7	0,116	60,2	0,103
399,3	0,133	189,3	0,129	116,5	0,115	80,1	0,115	59,7	0,107
388,5	0,133	187,1	0,129	115,4	0,113	79,5	0,117	59,5	0,105
378,4	0,132	184,8	0,128	114,5	0,118	79	0,113	59,1	0,105
369,1	0,132	182,7	0,128	113,4	0,123	78,5	0,113	58,8	0,109
360,7	0,132	180,6	0,127	112,5	0,119	77,9	0,112	58,5	0,103
353	0,132	178,2	0,127	111,5	0,122	77,4	0,116	58,2	0,106
345,7	0,132	175,9	0,126	110,4	0,12	76,7	0,115	57,9	0,101
338,9	0,131	174,2	0,128	109,5	0,121	76,3	0,113	57,6	0,105
332,4	0,131	172	0,126	108,5	0,118	75,8	0,111	57,3	0,093
326	0,131	170,3	0,127	107,6	0,123	75,2	0,113	57	0,098
320	0,13	168,5	0,127	106,8	0,123	74,8	0,114	56,7	0,104
314,3	0,13	166,4	0,127	105,9	0,119	74,3	0,116	56,4	0,099
308,7	0,13	164,8	0,127	105	0,122	73,8	0,113	56,1	0,102
303,3	0,13	163	0,127	104,1	0,12	73,3	0,113	55,8	0,105
298,2	0,13	161,3	0,126	103,2	0,122	72,8	0,11	55,5	0,101
293,2	0,13	159,6	0,125	102,4	0,124	72,3	0,111	55,2	0,11
288,4	0,131	157,9	0,125	101,5	0,121	71,9	0,112	55	0,1
283,5	0,13	156,2	0,124	100,6	0,12	71,5	0,109	54,7	0,112
279,4	0,13	154,2	0,126	99,9	0,119	70,9	0,108	54,4	0,106
274,6	0,13	152,9	0,124	99	0,125	70,5	0,108	54,1	0,107
270,9	0,13	151,2	0,124	98,1	0,123	70,1	0,108	53,9	0,101
266,8	0,13	149,5	0,126	97,4	0,117	69,5	0,108	53,6	0,101
263	0,13	147,9	0,125	96,5	0,116	69,1	0,111	53,4	0,095
259	0,129	146,6	0,124	95,9	0,118	68,7	0,113	53	0,095
255,4	0,129	145	0,125	95,2	0,116	68,3	0,113	52,8	0,1
251,8	0,129	143,8	0,122	94,4	0,116	67,9	0,113	52,6	0,091
248,1	0,129	142,4	0,123	93,5	0,114	67,5	0,11	52,3	0,089
244,5	0,129	140,9	0,126	92,7	0,119	67,1	0,106	52,1	0,096
241,3	0,129	139,5	0,124	92,1	0,118	66,6	0,115	51,9	0,096
238	0,129	137,9	0,124	91,4	0,117	66,3	0,106	51,6	0,099
234,5	0,13	136,8	0,123	90,8	0,117	65,9	0,105	51,4	0,086
231,5	0,13	135,4	0,123	90,1	0,114	65,5	0,11	51,2	0,093
228,6	0,131	133,9	0,12	89,4	0,117	65,1	0,108	50,9	0,096
225,5	0,131	132,7	0,121	88,7	0,115	64,7	0,115	50,7	0,088
222,5	0,129	131,5	0,122	88,1	0,115	64,3	0,112	50,5	0,085
219,5	0,13	130,2	0,123	87,4	0,113	64	0,118	50,3	0,088
216,8	0,13	128,9	0,119	86,8	0,116	63,6	0,112	50	0,079
213,8	0,131	127,6	0,122	86,1	0,114	63,2	0,106		
211,1	0,129	126,5	0,122	85,4	0,119	62,9	0,102		

Příloha 17 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel X5CrNi18-10 (30° směrem dolů)

Druh oceli		X5CrNi18-10		Počet termogramů		236			
Číslo vzorku		3		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		30° směrem dolů		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		3		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		33 %			
Čas měření		14:46:30 – 15:25:40		Odražená teplota		25 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 011			
Datum měření		3.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
535,9	0,14	204,9	0,135	123,9	0,139	83,7	0,144	61,8	0,14
507,7	0,141	202,3	0,137	122,8	0,137	83,2	0,144	61,4	0,146
483,2	0,141	199,9	0,134	121,7	0,137	82,6	0,141	61,1	0,139
460,3	0,142	197,6	0,138	120,6	0,137	82	0,141	60,7	0,143
444,2	0,142	195,2	0,141	119,6	0,137	81,3	0,14	60,4	0,144
428,4	0,141	193	0,137	118,5	0,136	80,8	0,14	60,1	0,139
414,5	0,142	190,6	0,141	117,5	0,14	80,3	0,135	59,8	0,137
401,9	0,141	188,6	0,136	116,4	0,141	79,6	0,135	59,4	0,134
390,4	0,142	186,4	0,138	115,3	0,14	79,1	0,139	59,1	0,138
379,8	0,141	184,3	0,138	114,3	0,136	78,6	0,137	58,8	0,134
370,4	0,141	182,2	0,138	113,3	0,137	78,1	0,141	58,5	0,138
361,6	0,142	179,9	0,139	112,4	0,136	77,5	0,138	58,2	0,145
352,6	0,142	178,1	0,139	111,3	0,136	77	0,139	57,9	0,138
345,8	0,142	176,2	0,138	110,4	0,135	76,5	0,137	57,6	0,131
339	0,141	174,2	0,137	109,5	0,137	76	0,139	57,3	0,133
332,4	0,142	172,3	0,136	108,5	0,136	75,5	0,138	57	0,136
326,2	0,141	170,5	0,138	107,6	0,139	75	0,139	56,7	0,135
319,2	0,139	168,7	0,138	106,7	0,138	74,5	0,135	56,4	0,14
314,6	0,14	166,8	0,137	105,8	0,14	74	0,145	56,2	0,13
309,2	0,139	165,1	0,138	104,9	0,136	73,5	0,135	55,8	0,132
304,2	0,139	163,3	0,138	104,1	0,142	73	0,142	55,6	0,134
299,2	0,139	161,6	0,138	103,2	0,14	72,6	0,139	55,3	0,134
294,2	0,138	159,9	0,137	102,2	0,143	72,2	0,138	55,1	0,145
289,5	0,138	158,3	0,139	101,4	0,138	71,7	0,143	54,8	0,139
285,1	0,137	156,7	0,139	100,6	0,139	71,2	0,137	54,6	0,136
280,6	0,137	155,1	0,137	99,8	0,138	70,7	0,14	54,2	0,136
276,4	0,138	153,4	0,138	99	0,141	70,3	0,136	54	0,137
272,1	0,138	151,8	0,139	98,2	0,141	69,9	0,14	53,7	0,132
267,9	0,137	150,3	0,138	97,4	0,143	69,5	0,135	53,5	0,129
264,1	0,137	148,8	0,139	96,7	0,139	69	0,134	53,2	0,132
260,1	0,137	147,3	0,136	95,9	0,138	68,6	0,139	53	0,131
256,4	0,137	145,8	0,14	95,1	0,143	68,2	0,137	52,7	0,129
252,8	0,137	144,5	0,137	94,4	0,141	67,7	0,138	52,4	0,133
249,3	0,137	142,9	0,138	93,6	0,138	67,3	0,135	52,2	0,138
245,9	0,136	141,7	0,14	92,9	0,14	66,9	0,133	51,9	0,14
242,3	0,136	140,3	0,138	92,2	0,141	66,5	0,133	51,7	0,137
239,2	0,136	138,9	0,138	91,5	0,14	66,1	0,135	51,5	0,129
235,9	0,135	137,6	0,141	90,8	0,14	65,7	0,136	51,3	0,126
232,9	0,136	136,3	0,139	90,1	0,14	65,4	0,148	51,1	0,136
229,7	0,135	134,8	0,138	89,5	0,143	65	0,146	50,8	0,135
226,4	0,135	133,7	0,14	88,8	0,14	64,7	0,138	50,6	0,132
223,7	0,134	132,3	0,141	88,2	0,14	64,3	0,137	50,4	0,144
221	0,135	131	0,139	87,4	0,138	63,9	0,14	50,1	0,142
218	0,136	129,8	0,14	86,8	0,14	63,5	0,139	49,9	0,15
215,3	0,136	128,5	0,138	86,2	0,138	63,1	0,145		
212,7	0,135	127,4	0,138	85,5	0,144	62,8	0,143		
210	0,136	126,3	0,137	85	0,138	62,5	0,147		
207,3	0,134	125,1	0,137	84,4	0,141	62	0,141		

Příloha 18 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel X5CrNi18-10 (45° směrem dolů)

Druh oceli		X5CrNi18-10		Počet termogramů		225			
Číslo vzorku		4		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		45° směrem dolů		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		4		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		11:10:21 – 11:46:01		Odražená teplota		25,6 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 012			
Datum měření		7.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
552	0,195	208,2	0,177	125,3	0,172	85	0,164	62,8	0,164
523,4	0,199	205,2	0,176	124,2	0,173	84,4	0,164	62,4	0,163
502,4	0,199	202,8	0,176	122,8	0,172	83,7	0,165	62	0,157
480	0,199	199,7	0,175	121,5	0,172	83	0,164	61,7	0,163
463,9	0,198	197,3	0,174	120,4	0,172	82,4	0,168	61,4	0,161
446	0,199	194,7	0,172	119	0,171	81,7	0,163	61	0,155
432,3	0,185	191,8	0,173	118	0,17	81,1	0,166	60,6	0,161
417,2	0,185	189,6	0,171	116,8	0,171	80,4	0,163	60,2	0,158
403,7	0,186	187,1	0,172	115,8	0,17	79,9	0,164	59,8	0,153
394,3	0,185	184,8	0,172	114,6	0,17	79,3	0,166	59,5	0,153
382	0,185	182,2	0,174	113,4	0,171	78,8	0,165	59,1	0,157
371,9	0,184	179,9	0,175	112,6	0,169	78,1	0,167	58,8	0,154
363,3	0,183	177,9	0,174	111,3	0,169	77,5	0,167	58,5	0,159
353,4	0,184	175,4	0,172	110,2	0,171	76,9	0,167	58,1	0,152
345,8	0,182	173,4	0,174	109,3	0,167	76,4	0,175	57,8	0,148
337	0,183	171,2	0,174	108,4	0,169	75,8	0,169	57,5	0,144
330	0,183	169,4	0,172	107,2	0,169	75,3	0,165	57,2	0,153
323,3	0,181	167,1	0,173	106,3	0,172	74,7	0,162	56,9	0,155
316	0,182	165,2	0,17	105,4	0,167	74,2	0,166	56,6	0,148
309,6	0,182	163,4	0,172	104,3	0,171	73,7	0,17	56,2	0,155
303,3	0,183	161,3	0,172	103,4	0,175	73,1	0,168	55,9	0,145
298,4	0,181	159,6	0,172	102,5	0,174	72,7	0,168	55,6	0,151
292,6	0,18	157,6	0,172	101,7	0,171	72,2	0,168	55,4	0,151
287,1	0,18	155,7	0,172	100,6	0,173	71,7	0,164	55	0,153
281,8	0,18	153,8	0,172	99,8	0,172	71,1	0,163	54,7	0,147
276,1	0,182	152,3	0,173	98,9	0,171	70,7	0,167	54,4	0,146
271,9	0,181	150,6	0,173	98	0,17	70,1	0,164	54,1	0,153
267	0,18	148,9	0,171	97,2	0,171	69,6	0,162	53,9	0,15
262,6	0,18	147	0,173	96,3	0,169	69,2	0,159	53,6	0,148
257,6	0,18	145,4	0,173	95,4	0,169	68,7	0,167	53,3	0,139
253,9	0,18	143,9	0,171	94,6	0,168	68,3	0,157	53	0,148
249,8	0,18	142,3	0,169	93,9	0,165	67,9	0,151	52,8	0,144
245,4	0,179	141	0,171	93,1	0,164	67,4	0,162	52,5	0,143
241,4	0,18	139,4	0,169	92,3	0,167	66,9	0,153	52,2	0,148
237,8	0,178	137,7	0,173	91,5	0,164	66,5	0,156	51,9	0,138
234,4	0,177	136,2	0,17	90,7	0,172	66,2	0,157	51,6	0,133
230,6	0,177	134,9	0,171	90	0,172	65,6	0,157	51,4	0,141
227,5	0,176	133,2	0,173	89,3	0,172	65,2	0,159	51,1	0,146
224,2	0,176	132,1	0,17	88,6	0,173	64,8	0,16	50,9	0,139
220,5	0,176	130,5	0,172	87,7	0,172	64,4	0,157	50,6	0,136
217,3	0,176	129,3	0,171	87,1	0,17	64	0,154	50,4	0,137
214,3	0,176	127,8	0,17	86,5	0,169	63,6	0,163	50,2	0,135
211,4	0,175	126,6	0,17	85,8	0,163	63,2	0,16	49,9	0,133

Příloha 19 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel X5CrNi18-10 (15° směrem nahoru)

Druh oceli		X5CrNi18-10		Počet termogramů		223			
Číslo vzorku		5		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		15° směrem nahoru		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		5		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		35 %			
Čas měření		12:04:04 – 12:41:07		Odražená teplota		25,6 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 013			
Datum měření		7.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
530,2	0,137	209	0,146	125,4	0,156	84,7	0,161	62,2	0,148
505,5	0,138	206,3	0,146	124,2	0,156	84,1	0,16	61,9	0,148
484,4	0,138	203,3	0,146	123,2	0,155	83,4	0,159	61,6	0,15
466,8	0,138	200,7	0,147	121,9	0,155	82,8	0,16	61,3	0,146
448,5	0,139	198,5	0,147	120,7	0,154	82,2	0,161	60,9	0,147
436,2	0,139	195,7	0,147	119,5	0,154	81,5	0,161	60,5	0,148
421	0,14	193,1	0,148	118,3	0,155	80,8	0,159	60,2	0,15
409,8	0,14	191	0,148	117,3	0,154	80,3	0,157	59,8	0,148
398	0,142	188,6	0,148	116,3	0,157	79,7	0,158	59,5	0,145
386,4	0,143	186,1	0,149	115,2	0,156	79,1	0,157	59,2	0,146
376,7	0,144	184,4	0,148	114,1	0,156	78,5	0,156	58,8	0,146
367,6	0,146	181,5	0,149	113	0,157	77,9	0,159	58,5	0,142
360,4	0,143	179,6	0,149	111,9	0,157	77,4	0,158	58,1	0,144
351,5	0,145	177,3	0,15	111,1	0,155	76,8	0,159	57,8	0,142
343,9	0,146	175,5	0,15	109,9	0,155	76,2	0,156	57,5	0,136
337,3	0,146	173,2	0,149	108,9	0,154	75,7	0,155	57,2	0,14
331,2	0,144	170,9	0,15	108	0,153	75,1	0,154	56,9	0,137
325,1	0,145	169,3	0,15	106,9	0,158	74,6	0,151	56,6	0,15
319,2	0,145	167,5	0,151	106,1	0,157	74,1	0,154	56,3	0,148
313,1	0,143	165,6	0,15	105	0,157	73,6	0,154	56	0,148
303,1	0,141	163,5	0,15	104	0,157	73,1	0,159	55,8	0,147
298,2	0,144	161,8	0,151	103,2	0,156	72,6	0,159	55,4	0,151
293,4	0,145	159,7	0,15	102,2	0,157	72,2	0,154	55,1	0,146
288,6	0,145	158	0,151	101,4	0,159	71,7	0,156	54,9	0,149
284,3	0,146	156,5	0,151	100,5	0,157	71,1	0,158	54,5	0,151
280	0,145	154,2	0,152	99,6	0,157	70,6	0,157	54,2	0,148
275,7	0,143	152,8	0,153	98,7	0,159	70,2	0,156	54	0,147
271,8	0,146	151,3	0,154	97,9	0,16	69,8	0,154	53,7	0,144
267,8	0,146	149,7	0,151	97,1	0,157	69,4	0,155	53,4	0,145
263,1	0,142	147,8	0,152	96,2	0,158	68,8	0,156	53,2	0,145
259,4	0,141	146,5	0,152	95,4	0,156	68,4	0,153	52,9	0,146
255,3	0,141	145	0,153	94,7	0,157	67,9	0,156	52,6	0,141
251,5	0,142	143,2	0,154	93,8	0,159	67,5	0,154	52,4	0,139
247,6	0,142	141,8	0,153	93	0,159	67,1	0,157	52,1	0,143
244	0,144	140,4	0,153	92,3	0,16	66,7	0,155	51,9	0,142
240,7	0,143	138,8	0,152	91,6	0,163	66,2	0,156	51,6	0,144
237,3	0,142	137,5	0,153	90,9	0,16	65,8	0,156	51,4	0,142
233,6	0,143	135,7	0,155	90,2	0,161	65,3	0,153	51,1	0,149
230,7	0,142	134,6	0,155	89,5	0,161	65	0,153	50,9	0,143
227	0,144	133,2	0,155	88,8	0,163	64,6	0,154	50,6	0,144
224	0,143	132,1	0,154	88	0,161	64,2	0,153	50,3	0,141
220,7	0,145	130,8	0,155	87,4	0,159	63,8	0,154	50,1	0,141
217,6	0,145	129,4	0,155	86,7	0,16	63,5	0,152	50	0,138
215,1	0,144	128,1	0,156	86	0,16	63,1	0,151		
211,9	0,146	126,8	0,154	85,4	0,159	62,7	0,152		

Příloha 20 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel X5CrNi18-10 (30° směrem nahoru)

Druh oceli		X5CrNi18-10		Počet termogramů		229			
Číslo vzorku		7		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		30° směrem nahoru		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		6		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		34 %			
Čas měření		8:40:37 – 9:18:37		Odražená teplota		24,5 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 015			
Datum měření		9.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
605,8	0,162	223,1	0,195	130	0,207	86,8	0,208	63,5	0,203
570,9	0,167	220,1	0,198	128,7	0,205	86,2	0,208	63,1	0,209
546,2	0,169	217,2	0,194	127,4	0,207	85,5	0,208	62,7	0,203
525,8	0,17	214,2	0,195	126,2	0,207	84,9	0,208	62,3	0,203
507,8	0,17	211,3	0,195	125	0,206	84,2	0,208	61,9	0,204
491,5	0,171	208,6	0,196	123,7	0,208	83,6	0,205	61,6	0,203
476,5	0,172	205,8	0,195	122,6	0,208	83	0,209	61,2	0,21
461,2	0,174	203	0,196	121,4	0,208	82,2	0,207	60,8	0,207
448,4	0,175	200,3	0,198	120,3	0,206	81,8	0,207	60,5	0,201
437,5	0,175	197,8	0,198	119,1	0,206	81,1	0,207	60,1	0,202
426,2	0,175	195,2	0,199	118	0,208	80,6	0,209	59,8	0,204
415,6	0,176	192,7	0,199	116,8	0,205	80	0,208	59,5	0,201
405,6	0,176	190,2	0,199	115,8	0,207	79,5	0,205	59,1	0,201
396,1	0,176	187,9	0,199	114,6	0,208	78,9	0,205	58,8	0,204
386,8	0,177	185,4	0,2	113,6	0,207	78,3	0,211	58,4	0,205
378,2	0,178	183,4	0,2	112,6	0,206	77,7	0,211	58,1	0,195
369,9	0,181	180,9	0,199	111,6	0,21	77,2	0,215	57,8	0,203
362	0,181	178,9	0,199	110,6	0,21	76,7	0,209	57,5	0,192
353,9	0,181	176,6	0,2	109,7	0,209	76,1	0,21	57,2	0,2
347,6	0,182	174,6	0,2	108,7	0,208	75,6	0,206	56,9	0,202
340,8	0,182	172,7	0,2	107,7	0,211	75	0,208	56,5	0,197
334,2	0,182	170,5	0,2	106,8	0,208	74,5	0,212	56,2	0,195
327,9	0,184	168,5	0,2	105,7	0,212	74	0,209	55,9	0,192
321,8	0,185	166,6	0,2	104,9	0,211	73,5	0,213	55,6	0,188
315,4	0,185	164,7	0,201	103,9	0,209	73	0,21	55,3	0,187
310,3	0,186	162,9	0,199	103	0,209	72,6	0,209	55	0,194
304,3	0,186	161,1	0,2	102,3	0,209	72,1	0,209	54,7	0,195
299,2	0,187	159,2	0,203	101,4	0,208	71,6	0,212	54,4	0,194
294,8	0,187	157,4	0,204	100,4	0,21	71,1	0,211	54,1	0,203
289,1	0,186	155,6	0,203	99,7	0,21	70,6	0,204	53,9	0,201
284,7	0,19	154	0,205	98,8	0,209	70,2	0,208	53,6	0,195
280,1	0,19	152,3	0,204	98	0,209	69,7	0,205	53,3	0,198
275,5	0,189	150,6	0,204	97	0,211	69,3	0,211	53	0,199
271	0,189	148,9	0,204	96,4	0,209	68,8	0,212	52,8	0,193
266,9	0,191	147,1	0,204	95,6	0,21	68,4	0,207	52,5	0,188
262,7	0,19	145,7	0,203	94,7	0,213	67,9	0,211	52,2	0,19
258,5	0,191	144,2	0,204	94	0,21	67,5	0,207	52	0,188
254,4	0,189	142,8	0,204	93,3	0,213	67,1	0,208	51,7	0,198
250,7	0,192	141,3	0,203	92,5	0,213	66,7	0,209	51,4	0,189
247,1	0,191	139,6	0,202	91,8	0,211	66,2	0,203	51,1	0,188
243,2	0,192	138,3	0,203	91,1	0,208	65,9	0,208	50,9	0,188
239,7	0,193	136,8	0,202	90,3	0,208	65,5	0,203	50,7	0,187
236,3	0,194	135,4	0,205	89,6	0,209	65	0,204	50,4	0,182
233	0,194	134,1	0,205	88,9	0,207	64,6	0,209	50,2	0,18
229,7	0,195	132,8	0,205	88,2	0,206	64,2	0,204	50	0,18
226,5	0,195	131,3	0,205	87,6	0,206	63,9	0,199		

Příloha 21 – Naměřená a vyhodnocená data pro ocel X5CrNi18-10 (45° směrem nahoru)

Druh oceli		X5CrNi18-10		Počet termogramů		228			
Číslo vzorku		8		Teplotní rozsah		0 až 650 °C			
Úhel měření		45° směrem nahoru		Vzdálenost měření		1 m			
Číslo měření		7		Teplota okolí		23 °C			
Čas ohřevu vzorku		10 min		Relativní vlhkost		34 %			
Čas měření		9:47:18 – 10:25:18		Odražená teplota		24,5 °C			
Teplota max. ohřevu		700 °C		Název datového souboru ALMEMO		DP TN 016			
Datum měření		9.12.2021		Termokamera		FLIR E95			
T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]	T [°C]	ε [-]
610,2	0,149	225,8	0,224	130	0,238	86,1	0,25	62,9	0,245
579,2	0,155	219,6	0,223	128,4	0,239	85,6	0,251	62,5	0,246
553,7	0,157	217	0,223	127,2	0,237	84,8	0,248	62,1	0,245
532,4	0,162	213,9	0,224	126	0,237	84,1	0,249	61,7	0,248
515	0,168	210,6	0,227	124,8	0,238	83,5	0,25	61,4	0,248
495,8	0,174	207,9	0,226	123,5	0,238	82,9	0,249	61	0,251
481,6	0,177	205,2	0,226	122,3	0,239	82,2	0,251	60,6	0,245
465,4	0,182	202,8	0,227	121,2	0,242	81,7	0,254	60,3	0,252
451,8	0,186	200,1	0,228	120	0,239	81,1	0,249	60	0,252
439,2	0,188	197,7	0,227	118,9	0,238	80,4	0,251	59,6	0,248
427,7	0,191	194,9	0,229	117,8	0,24	79,8	0,25	59,3	0,249
417,7	0,193	192,6	0,227	116,6	0,24	79,3	0,252	59	0,252
406,3	0,196	190,2	0,228	115,5	0,24	78,9	0,246	58,6	0,253
397,7	0,197	188	0,23	114,4	0,246	78	0,148	58,3	0,252
387,6	0,2	185,5	0,23	113,4	0,245	77,6	0,251	57,9	0,254
379	0,202	183,2	0,228	112,3	0,246	77	0,248	57,7	0,254
370,7	0,203	181,2	0,231	111,4	0,242	76,5	0,245	57,3	0,249
362,9	0,205	178,8	0,23	110,2	0,245	75,9	0,245	57	0,248
355,4	0,207	176,8	0,229	109,2	0,247	75,3	0,246	56,7	0,251
348,4	0,207	174,7	0,232	108,2	0,246	75	0,245	56,4	0,25
341,6	0,208	172,5	0,229	107,3	0,247	74,3	0,249	56,1	0,249
335	0,209	170,6	0,231	106,3	0,245	73,8	0,248	55,8	0,253
328,8	0,21	168,6	0,229	105,3	0,248	73,3	0,255	55,5	0,246
322,9	0,212	166,5	0,23	104,3	0,249	72,8	0,251	55,2	0,243
317	0,212	164,7	0,231	103,4	0,247	72,3	0,255	54,9	0,245
311,5	0,214	162,7	0,23	102,6	0,244	71,8	0,254	54,6	0,249
306	0,213	161,1	0,231	101,6	0,247	71,4	0,256	54,3	0,242
301	0,212	159,3	0,231	100,7	0,247	70,8	0,251	54,1	0,237
295,9	0,213	157,3	0,232	99,9	0,245	70,4	0,252	53,9	0,245
291,8	0,214	155,6	0,232	99,1	0,246	69,9	0,247	53,5	0,248
286	0,217	153,8	0,233	98,3	0,247	69,5	0,255	53,3	0,239
281,5	0,216	152,2	0,23	97,5	0,248	69	0,249	52,9	0,237
277,1	0,217	150,5	0,232	96,6	0,244	68,6	0,243	52,7	0,245
273	0,218	148,8	0,235	95,6	0,246	68,2	0,247	52,5	0,234
268,7	0,219	147,1	0,233	94,8	0,253	67,7	0,249	52,2	0,239
264,5	0,218	145,6	0,235	94,2	0,251	67,2	0,247	52	0,238
260,5	0,218	144,1	0,235	93,4	0,25	66,8	0,247	51,7	0,232
256,5	0,219	142,6	0,234	92,6	0,252	66,4	0,248	51,4	0,235
253	0,219	141	0,238	91,9	0,252	65,9	0,249	51,2	0,235
249,2	0,219	139,5	0,236	91,1	0,247	65,5	0,251	51	0,239
245,7	0,22	138,1	0,237	90,4	0,248	65,1	0,249	50,7	0,242
242,1	0,219	137	0,237	89,6	0,248	64,8	0,253	50,5	0,236
238,9	0,22	135,3	0,238	88,9	0,251	64,3	0,244	50,2	0,236
235,3	0,221	133,9	0,238	88,2	0,249	63,9	0,242	50	0,233
232	0,222	132,5	0,237	87,5	0,247	63,5	0,242		
228,9	0,222	131,1	0,235	86,8	0,25	63,1	0,245		