

# Konstrukce přípravku pro určování relativní tepelné emisivity

Martin Truhlář

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Truhlář**  
Osobní číslo: **T12166**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce přípravku pro určování relativní tepelné emisivity**

Zásady pro vypracování:

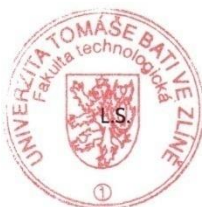
1. vypracujte rešerši na dané téma
2. porovnejte přímé a nepřímé metody měření teploty
3. navrhnete konstrukci přípravku pro měření tepelné emisivity
4. vyhodnoťte dosažené výsledky

Rozsah bakalářské práce:  
Rozsah příloh:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:  
**dle doporučení vedoucího bakalářské práce**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Maloch, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání bakalářské práce: **30. ledna 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2015**

Ve Zlíně dne 27. dubna 2015

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
děkan



  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: TRUHLÁŘ Martin

Obor: TECHNOLOGICKÁ  
ZARÍZENÍ

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 18.5.2015

  
.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Teoretická část bakalářské práce se zaměřuje na definování tepla a matematický aparát popisující sdílení, vedení a radiaci. Dále rozebírá metody měření teploty a porovnávání těchto metod. Po ukázkách záznamů z termovizní kamery následuje rozbor pojmu relativní emisivity a doložení ukázek vlivu této veličiny na přesnost měření pomocí termovizní kamery.

Praktická část si klade za cíl navrhnouti přípravku, který by dovolil nastavení relativní emisivity pro zvolený materiál, jehož teplota má být určována měřením termovizní kamerou. Závěr práce ukazuje výsledky dosažené na navrhnutém přípravku pomocí počítačové simulace v modulu *Flow Simulation*, který je součástí software *SolidWorks 2012*.

Klíčová slova: teplo, termografie, relativní emisivita

## **ABSTRACT**

The theoretical part is focused on defining the heat and mathematical tools describing the sharing, management and radiation. Further analyzes the temperature measurement and comparison of these methods. On the samples of records from a thermography camera followed by an analysis of the concept relative emissivity and demonstrate examples of the effects of these variables on measurement accuracy using thermal imaging cameras. The practical part aims at devising a product that would allow setting the relative emissivity to the selected material whose temperature should be determined by measuring the infrared camera. Finally, the work shows the progress made on devising a computer simulation of the *Flow Simulation* module, which is part of *SolidWorks 2012*.

Keywords: heat, thermography, the relative emissivity

Mé poděkování patří panu Ing. Jaroslavu Malochovi, CSc. za odborné vedení, rady a cenné připomínky při zpracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TEPLO</b> .....	<b>12</b>
1.1    TERMODYNAMIKA.....	12
1.1.1    První zákon.....	13
1.1.2    Druhý zákon.....	14
1.1.3    Třetí zákon .....	14
1.1.4    Nultý zákon .....	14
1.2    PŘENOS TEPLA.....	15
1.2.1    Kondukce .....	15
1.2.2    Konvekce.....	17
1.2.3    Radiace .....	22
1.3    TEPLOTA A JEJÍ MĚŘENÍ .....	25
1.3.1    Měření teploty přímou metodou.....	25
1.3.2    Měření teploty nepřímou metodou.....	27
1.3.3    Kalorimetrie .....	29
<b>2 EMISIVITA</b> .....	<b>31</b>
2.1    ZPŮSOBY URČOVÁNÍ EMISIVITY .....	35
2.1.1    Určení emisivity z tabulek .....	35
2.1.2    Pomocí spektrometru .....	35
2.1.3    Pomocí bezvýpočtové metody s použitím termovizních měření .....	36
2.2    FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ MĚŘENÍ EMISIVITY .....	39
<b>3 TERMOGRAFIE</b> .....	<b>40</b>
3.1    DĚLENÍ TERMOGRAFIE A JEJÍ VYUŽITÍ.....	41
3.2    DALŠÍ VYUŽITÍ TERMOGRAFIE A VÝHODY .....	41
<b>4 PŘEVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE NA TEPLLO</b> .....	<b>43</b>
4.1    REZISTORY .....	43
4.1.1    Udávané parametry u rezistorů .....	44
4.1.2    Konstrukce rezistorů a jejich druhy .....	44
4.1.3    Využití rezistorů.....	45
4.2    MIKROVLNY .....	45
4.3    INDUKČNÍ OHŘEV .....	45
<b>5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>46</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>47</b>
<b>6 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>48</b>
<b>7 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO PŘÍPRAVKU</b> .....	<b>49</b>
7.1    VOLBA REZISTORŮ .....	49
7.2    NÁVRH ZÁKLADNÍ DESKY.....	50
7.3    SOLIDWORKS FLOW SIMULATION.....	53
<b>8 NÁVRHY VARIANT A SESTAVENÍ PŘÍPRAVKU</b> .....	<b>63</b>



8.1	NÁVRH Č. 1 - UCHYCENÍ REZISTORŮ POMOCÍ PRUŽINOVÝCH PLECHŮ .....	63
8.2	NÁVRH Č. 2 - PŘIDRŽOVÁNÍ POMOCÍ PRUŽIN.....	64
8.3	SESTAVENÍ PŘÍPRAVKU .....	67
8.3.1	Navržení ochranného krytu .....	67
8.3.2	Navržení keramické patky.....	69
8.3.3	Montáž patek na ochranný kryt.....	69
8.3.4	Montáž úchopu pro přenos přípravku .....	71
8.3.5	Montáž základní desky.....	73
8.3.6	Konstrukční přípravek - celkový pohled.....	75
<b>9</b>	<b>VÝSLEDKY SIMULACE .....</b>	<b>76</b>
<b>10</b>	<b>MĚŘENÍ POMOCÍ PŘÍPRAVKU.....</b>	<b>83</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>97</b>

## ÚVOD

Před zahájením praktické části této práce, bude pro lepší pochopení si vysvětlit a ukázat alespoň několik základních věcí z teoretických oblastí kolem sdílení tepla, relativní emisivity a termografie, respektive, co dané pojmy znamenají.

Praktická část se bude zabývat návrhem dvou konstrukčních přípravků pro určování relativní tepelné emisivity. Přípravek bude obsahovat základní duralovou desku, na které budou umístěny výkonové rezistory, a které budou zároveň uspořádány tak, aby pokud možno, co nejrovnoměrněji zahřívaly celou plochu desky. Důležité bude i řešení, co nejvhodnější upevnění a uchycení daných rezistorů. Pro tyto návrhy neexistují přesné postupy, přičemž každý návrh má jiné možnosti a výhody. Nejlepší návrhy budou řešeny pomocí softwaru *SolidWorks*.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TEPLLO

Tepllo je míra změny vnitřní energie při tepelné výměně mezi soustavou a okolím. Jedná se o energii, kterou těleso přijme či odevzdá, s jiným tělesem jiné teploty, aniž by u toho byla vykonávána práce. O práci by se jednalo, pokud by se způsobená změna energie dala vyjádřit jako součin veličin, např. síla a posunutí, tlak a objem apod. Proces přenosu tepla pokračuje tak dlouho, dokud se teploty obou těles nevyrovnají. Po vyrovnání teplot nastává rovnovážný stav. Z toho tedy vyplývá, že tepllo není stavová veličina, ale je to veličina procesní, protože zde probíhají termodynamické procesy (ohřívání či ochlazování). Základním vztahem pro výpočet tepla je využíváno vzorce uvedeného níže [1, 2]:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

$Q$  tepllo [J]

$c$  měrná tepelná kapacita [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$m$  hmotnost tělesa [kg]

$t_2, t_1$  původní a konečná teplota [K]

### 1.1 Termodynamika

Termodynamika je fyzikální obor, zabývající se vzájemnými přeměnami tepelné a mechanické energie. Počátky rozvoje termodynamiky začínají v souvislosti s vývojem parních strojů, výbušných motorů a turbín v 19. století. Od té doby prošla neobyčejným vývojem včetně vzniku širší platnosti termodynamických zákonů, které se vztahují na všechny přeměny energie. Dnes je termodynamika chápána jako věda o energii a entropii [3].

Entropie je považována za jeden z nejnáročnějších pojmů ve fyzice a mnoha dalších oblastech vědy. Z řečtiny znamená „udávat směr“ a tento pojem byl zaveden Rudolfem Clausiusem v roce 1865. Entropie má však několik významů. Nejčastěji se ve výkladech udává jako míra neuspořádanosti systému. Dle druhého termodynamického zákona může entropie v uzavřeném systému pouze vzrůstat,

nikdy však nemůže klesnout. Jinak řečeno je konstantní a umožňuje sledovat míru nevratnosti děje. Entropie je stavovou veličinou a její celková změna nezávisí na procesu, ale pouze na počátečním a koncovém stavu. Pro výpočet entropie (1) využíváme níže uvedeného základního vztahu [4, 5, 6].

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (2)$$

$dS$  entropie [ $J \cdot K^{-1}$ ]

$dQ$  teplo [ $J$ ]

$T$  teplota [ $K$ ]

### 1.1.1 První zákon

První zákon termodynamiky vychází ze zákona zachování energie a říká, že celková energie systému a jeho okolí je konstantní. Přijme-li systém určité množství tepla, musí se to projevit vzrůstem vnitřní energie o stejnou hodnotu a naopak, pokud systém odevzdá určité množství tepla, musí se to projevit poklesem vnitřní energie o stejnou hodnotu. Energie tedy nemůže samovolně vznikat ani zanikat, ale druh energie se může měnit. Například mechanická energie může přecházet v tepelnou energii apod.

Z matematického hlediska se dá první zákon formulovat několika způsoby. Níže uvedený vztah vyjadřuje, že teplo dodané termodynamické soustavě se spotřebuje na zvýšení jeho vnitřní energie a na konání práce plynem [2].

$$dQ = dU + dA \quad (3)$$

$dQ$  teplo [ $J$ ]

$dU$  vnitřní energie soustavy [ $J$ ]

$dA$  práce [ $J$ ]

### 1.1.2 Druhý zákon

První termodynamický zákon je zákonem kvantitativním, kde se jedna energie může měnit v jinou formu energie. Druhý zákon termodynamiky je zákon kvalitativní, který říká jak probíhají tepelné děje v případě, že je tepelnou energií možno přeměňovat s určitým omezením. Příkladem může být jakýkoliv předmět. Např. vidlička položená na stole. Tento předmět má určitou hodnotu energie, která je vyjádřena jako polohová energie způsobená zemskou přitažlivostí. V momentě pádu vidličky na podlahu se změní polohová energie. Část polohové energie se v průběhu pádu mění na kinetickou energii a následně po dopadu na podlahu se tato energie mění na teplo. Na konci tohoto celého procesu vzniká nová hodnota polohové energie, která je však nižší o množství tepla, než měla vidlička před dopadem na podlahu. Možnost mít stejné množství tepla před dopadem a po dopadu na podlahu je zcela vyloučena. Nové umístění předmětu, v našem případě vidličky na podlaze vzniká vyšší míra neuspořádanosti. Pro vrácení míry neuspořádanosti do původní pozice, musely být dodána energii na zvednutí předmětu zpátky do výchozí pozice - na stůl [7,8].

Podstatou druhého termodynamického zákona je formulace Rudolfa Clausiuse. Teplo nemůže samovolně (tj. bez konání práce) přecházet z tělesa o teplotě nižší na teplotu vyšší jak bylo poukázáno na předchozím příkladu s vidličkou.

### 1.1.3 Třetí zákon

Problematika kolem třetího termodynamického zákona je poměrně komplikovaná. Třetí termodynamický zákon se týká termodynamických stavových funkcí a vlastností látek za teplot blízkých 0 K. V nejjednodušší podobě je možné formulovat třetí zákon a to tak, že teplota 0 K neboli absolutní 0 je nedosažitelná. Žádným postupem nelze u žádné soustavy respektive systému dosáhnout snížení její teploty na hodnotu 0 K [9].

### 1.1.4 Nultý zákon

O téměř třicet let později byl vysloven poslední tzv. nultý termodynamický zákon. Byl dodatečně včleněn britským fyzikem a astronomem Ralphem Howardem Fowlerem. Protože byl objeven v době, kdy první tři termodynamické zákony byly dávno objeveny, dostal proto označení nultý.

Říká, že pokud jsou termodynamické systémy A a B v tepelné rovnováze s třetím systémem C, pak jsou také systémy A a B v termodynamické rovnováze [10].

$$T_A = T_C = T_B = T_C = T_A = T_B$$

$T_{A,B,C}$  termodynamické systémy A, B, C [–]

## 1.2 Přenos tepla

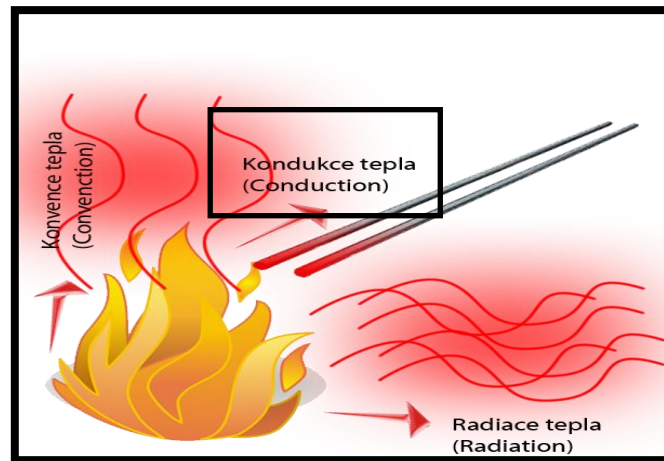
Přenos tepla neboli tepelná výměna je děj, při kterém předávají částice teplejšího tělesa část své energie částicím chladnějšího tělesa a to tak dlouho, dokud se teplota obou těles nevyrovná.

K tepelné výměně dochází třemi způsoby - vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) nebo sáláním (radiací) [11].

### 1.2.1 Konduktce

Konduktce jiným slovem vedení je přenos tepla zejména v pevných látkách. Dochází k přenosu vnitřní energie z míst s vyšší teplotou do míst s teplotou nižší. Schopnost látky přenášet teplo vedením se nazývá tepelná vodivost [12].

Vedení tepla lze sledovat ve dvou teplotních stavech - ustáleném (stacionárním) nebo neustáleném (nestacionárním). Ustálený stav znamená, že teplota se v daném místě s časem nemění. Neustálený stav znamená přesný opak a to, že se teplota v daném místě mění s časem [13].



Obr. 1. Kondukce [14]

Bude-li zahříván konec kovové tyče, lze pozorovat, že se postupně zvyšuje teplota i jiných částí tyče, které nejsou přímo v plameni.

Dle obrázku se dá usoudit, že se jedná o neustálý stav. Teplota tyče se postupně v daných místech mění s časem [14].

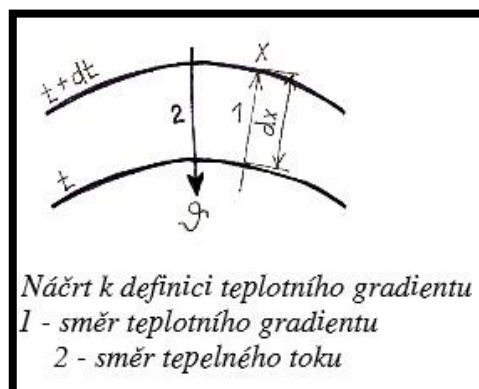
Základním zákonem vedení tepla je Fourierův zákon.

$$\vartheta = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \quad (4)$$

$\vartheta$  hustota tepelného toku [ $W \cdot m^{-2}$ ]

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$\frac{dt}{dx}$  teplotní gradient [ $K \cdot m^{-1}$ ]



Obr. 2. Fourierův zákon [13]

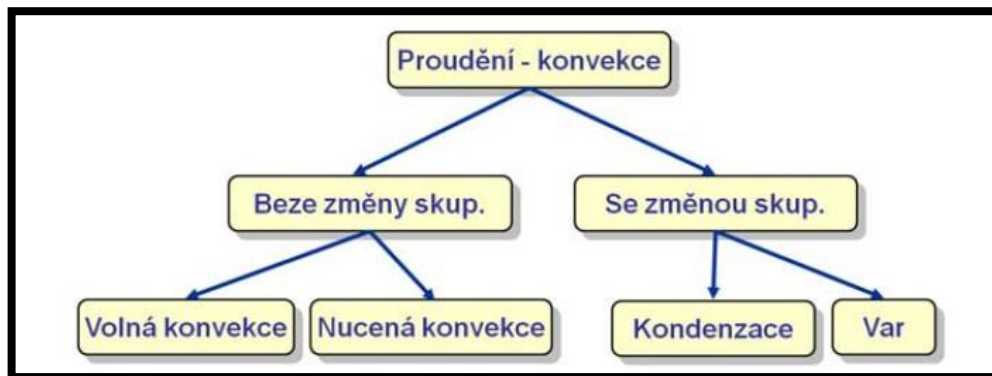


Tepelný tok proudí proti směru teplotního gradientu, proto je součinitel tepelné vodivosti se záporným znaménkem [13].

### 1.2.2 Konvekce

Další způsob ze šíření tepla se nazývá proudění. Šíření tepla prouděním u pevných látek nefunguje, proto se uplatňuje pouze u kapalin a plynů. U konvekci dochází k vzájemnému pohybu jednotlivých plynů, které mají odlišnou teplotu a různou hustotu energie, a tím se přenáší teplo [15].

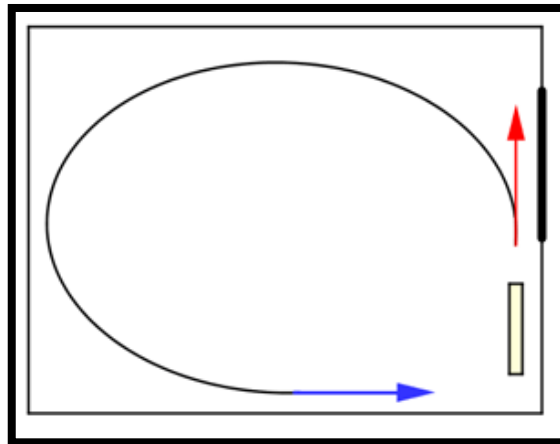
Konvekce může být bez změny skupenství nebo se směnou skupenství.



Obr. 3. Rozdělení konvekci [50]

Příkladem nucené konvekce může být radiátor, ve kterém proudí voda. Volnou konvekci se považuje například vzduch, který proudí okolo radiátoru. Kondenzace je difúzní proces a znamená částečné zkapalnění plynné směsi - páry. Proces, který mění vodu na plyn respektive páru se nazývá var [16].

Je-li zahřívána zdola kapalina nebo plyn, začne vznikat proudění. Studenější kapalina má větší hustotu a studené části této tekutiny klesají podle Archimédova zákona dolů. Teplejší vrstvy tekutiny jsou naopak vytlačovány vzhůru. Energie je při proudění přenášena z teplejších míst do míst studenějších [16].

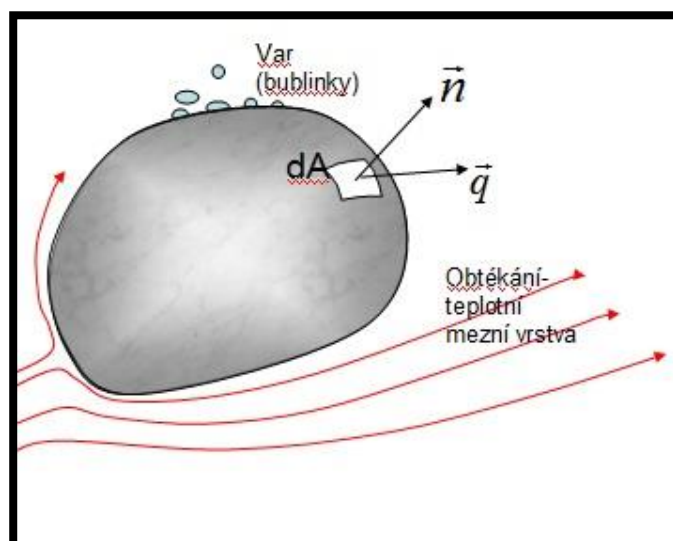


Obr. 4. Konvekce [16]

Obecně jsou rozlišovány tři druhy samovolného proudění - laminární, vířnaté a turbulentní [16].

Pokud vzduch proudí ve vrstvách rovnoběžných ve směru proudu, jedná se o laminární proudění. Přechází-li části vzduchu z jedné vrstvy do druhé, jedná se o turbulentní proudění. A přechod mezi laminárním a turbulentním prouděním je nazýván vířnatým prouděním [17].

Pro stanovení toku tepla hranicí uzavřeného systému např. trubky by se dalo využít konduktivního přenosu dle Fourierova zákona, avšak z praktického hlediska to přináší řadu komplikací. Je-li považována za hranici systému stěna, která tvoří rozhraní s vně proudící kapalinou, bylo by nutné v každé bublince při varu stanovit gradient teploty [20].



Obr. 5 Stanovení toku tepla [20]

Proto pro stanovení toku tepla z proudící tekutiny do stěny, je vztah [20]:

$$q = \alpha \cdot (T_f - T_w) \quad (5)$$

$q$  tok tepla [ $W \cdot m^{-2}$ ]

$\alpha$  součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$T_f$  teplota tekutiny za hranicí teplotní mezní vrstvy, kde je teplotní profil ovlivněn teplotou povrchu [ $K$ ]

$T_w$  teplota stěny [ $K$ ]

Součinitel přenosu  $\alpha$  závisí na procesu (ohřev, chlazení, způsobu proudění,...), fyzikálních vlastností a geometrii tělesa (koule, trubka,...). Na základě těchto faktorů se volí kritériální rovnice [20, 21]:

#### **Nusseltovo kritérium - Nu**

Příklad: vyjde-li nám hodnota  $Nu = 5$ , znamená, že přestup tepla prouděním a vedením je pět krát intenzivnější, než sdílení tepla vedením. Výpočet je dán vztahem:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (6)$$

$Nu$  Nusseltovo kritérium [-]

$\alpha$  součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$l$  charakteristická délka (ekvivalentní průměr trubky, průměr koule,...) [ $m$ ]

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti tekutiny [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

#### **Reynoldsovo kritérium - Re**

Dle Reynoldsova kritéria je možné určit o jaké proudění se jedná. Rozlišujeme tři druhy proudění: laminární, turbulentní a vířnaté.

$$Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\eta} \quad (7)$$

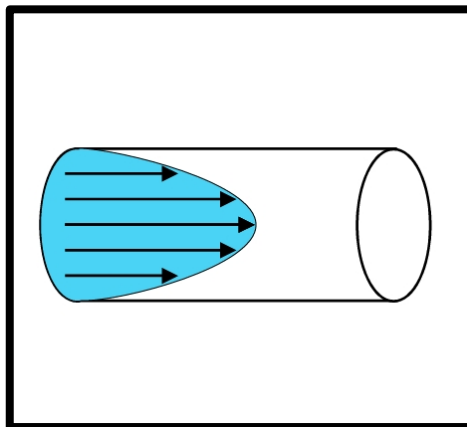
$Re$  Reynoldsovo kritérium [-]

$v$  charakteristická rychlost proudění kapaliny [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$l$  charakteristická délka (ekvivalentní průměr trubky, průměr koule,...) [ $m$ ]

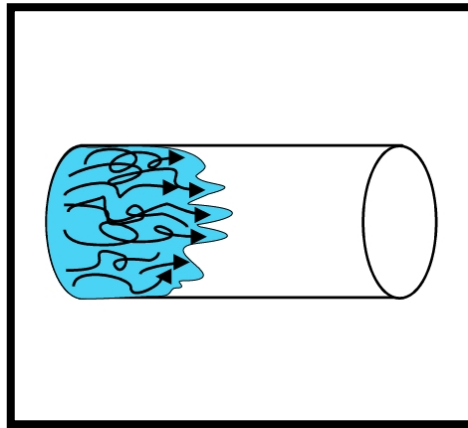
$\eta$  dynamická viskozita tekutiny [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

Laminární proudění se objevuje při menších rychlostech. Částice kapaliny se pohybují vedle sebe a proudnice se navzájem neprotínají. Při laminárním proudění jsou nabývány hodnoty  $Re < 2320$  [22].



Obr. 6. Laminární proudění [37]

Při větších rychlostech se vyskytuje turbulentní proudění. Částice kapaliny vykonávají při proudění složitý vlastní pohyb respektive víry. Proudnice se navzájem protínají. Při turbulentním proudění jsou hodnoty  $Re > 4000$  [22, 37].



Obr. 7. Turbulentní proudění [52]

Přechodná oblast mezi turbulentním a laminárním, tzv. vířnaté proudění je v intervalu  $2320 < Re < 4000$  [22, 37].

### Prandtlovo kritérium - Pr

Jedná se o látkovou vlastnost, určuje podobnost mezi sdílením hybnosti a tepla.

$$Pr = \frac{C_p \cdot \eta}{\lambda} \quad (8)$$

$Pr$  Prandtlovo kritérium [-]

$C_p$  měrná tepelná kapacita [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$\eta$  dynamická viskozita [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti tekutiny [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

### Pécletovo kritérium - Pe

$$Pe = \frac{v \cdot l}{a} \quad (9)$$

$Pe$  Pécletovo kritérium [-]

- $v$  charakteristická rychlost proudění kapaliny [ $m \cdot s^{-1}$ ]  
 $l$  charakteristická délka [ $m$ ]  
 $a$  součinitel teplotní vodivosti [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

Mezi další méně využívané kritéria patří: Graetzovo - Gz, Deanovo - De, Grashofovo - Gr

### 1.2.3 Radiace

Radiace neboli sálání. Je to fyzikální proces, při kterém se energie šíří v prostoru ve formě elektromagnetického záření. Tato tepelná energie se na rozdíl od konvekce může přenášet i ve vakuu, protože nevyžaduje k přenosu látkové prostředí (kapaliny a plyny) [18].

Tepelné záření dopadající na těleso zvětší vnitřní energii tělesa o energii pohlceného záření. Při tomto procesu mohou nastat tři případy [23]:

- tepelné záření tělesem pouze prochází a teplota se nezvyšuje
- tepelné záření je vlivem povrchu tělesa pohlcováno a těleso zahřívá
- těleso má lesklou, kovovou plochu a tepelné záření se od tohoto povrchu odráží, přičemž zvýšení teploty je velmi malé

### Kirchhoffův zákon

Jsou uvažována dvě tělesa s různými sálavostmi  $C$ ,  $C_1$  a pohltivostí  $A$ ,  $A_1$ , přičemž zářívá energie vysálaná prvním tělesem je pohlcována druhým tělesem. Je-li předpokládána původní stejná teplota, tak z praktického hlediska není možné, aby se jedno těleso oproti druhému tělesu při sálání ohřálo. S využitím Kirchhoffova zákona předpokládáme tyto tělesa s různou teplotou a lze tak odvodit vztah:

$$\frac{C}{A} = \frac{C_1}{A_1} = C_0 \quad (10)$$

Poměr celkové sálavosti a pohltivosti tepelného záření je pro všechna tělesa při téže absolutní teplotě stejný a rovná se celkové sálavosti dokonale černého tělesa [19].

### Planckův zákon

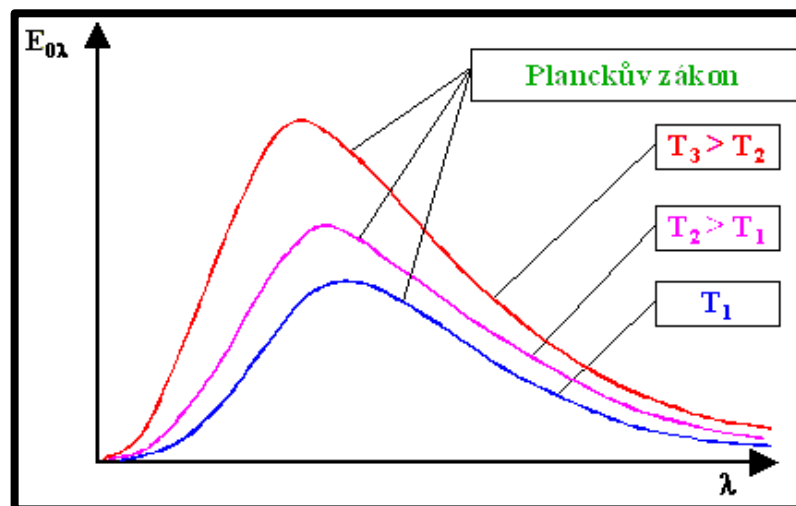
Vyjadřuje, že sálavost dokonale černého tělesa je funkcí pouze absolutní teploty a vlnové délky [19, 38].

$$e = h \cdot f \quad (11)$$

$e$  Planckův zákon [J]

$h$  Planckova kvantová konstanta  $6,624 \cdot 10^{-34}$  [J · s]

$f$  frekvence [ $s^{-1}$ ]



Obr. 8. Spektrální hustota zářivého toku dokonale černého tělesa v závislosti na vlnové délce záření a teplotě zářiče [33]

### Stefan-Boltzmannův zákon

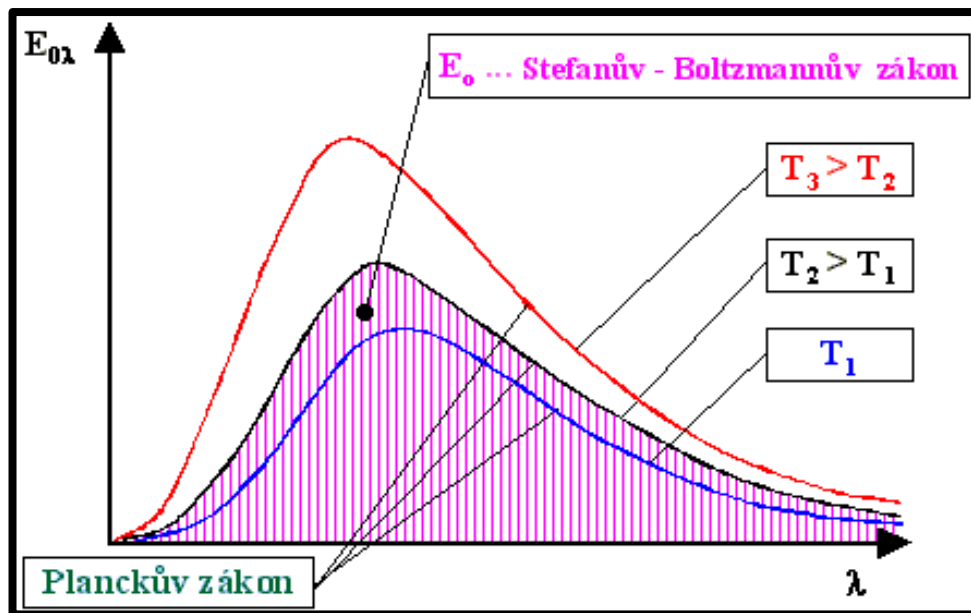
Udává celkové množství energie, které dokonale černé těleso o dané ploše vysílá za jednotku času [19]. Dle Planckova zákona pomocí integrace získáme vztah pro hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa [38]:

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4 \quad (12)$$

$E_0$  Stefan-Boltzmannův zákon [ $W \cdot m^{-2}$ ]

$\sigma$  Stefan-Boltzmannova konstanta  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ]

$T$  teplota povrchu tělesa [K]



Obr. 9. Stefan-Boltzmannův zákona v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa na vlnové délce záření [38]

### Wienův zákon posunu

Součin vlnové délky, na kterou připadá maximální intenzita vyzařování černého tělesa při termodynamické teplotě  $T$ , a této teploty je konstantní. Matematická formulace je dána vztahem [39, 40]:

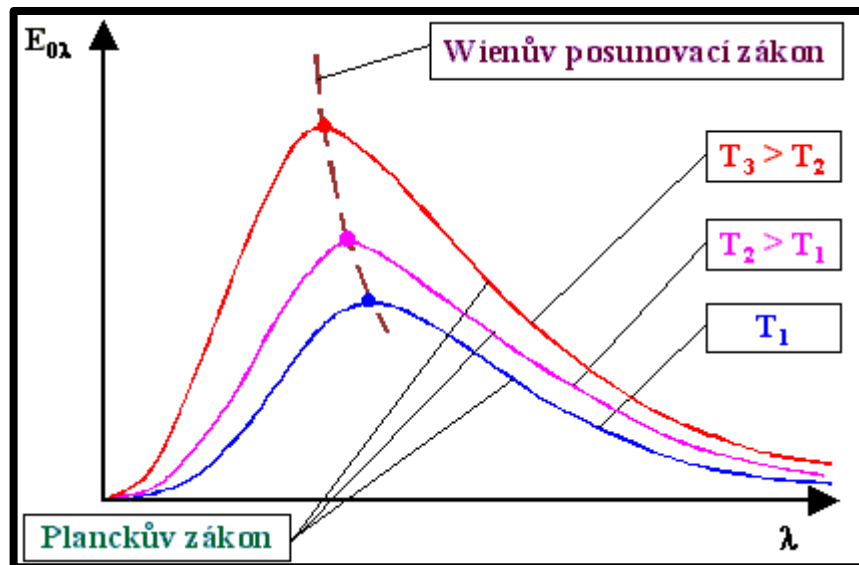
$$\lambda_{max} \cdot T_{\check{c}} = b \quad (13)$$

$\lambda_{max}$  vlnová délka maxima spektrální hustoty vyzařování [mm]

$b$  Wienova konstanta  $b = 2,898$  [mm · K]

$T_{\check{c}}$  termodynamická teplota černého tělesa [K]





Obr. 10. Wienův zákon v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa na vlnové délce záření [40]

### 1.3 Teplota a její měření

Jedná se o stavovou veličinu, která je charakterizována termodynamickým stavem jakékoliv makroskopické soustavy. Teplotu lze vyjadřovat několika různými způsoby. Mezi nejznámější patří Celsiova teplota, Fahrenheitova teplota a termodynamická teplota [24]. V praxi jsou dvě základní metody měření teploty - přímé a nepřímé [52].

#### 1.3.1 Měření teploty přímou metodou

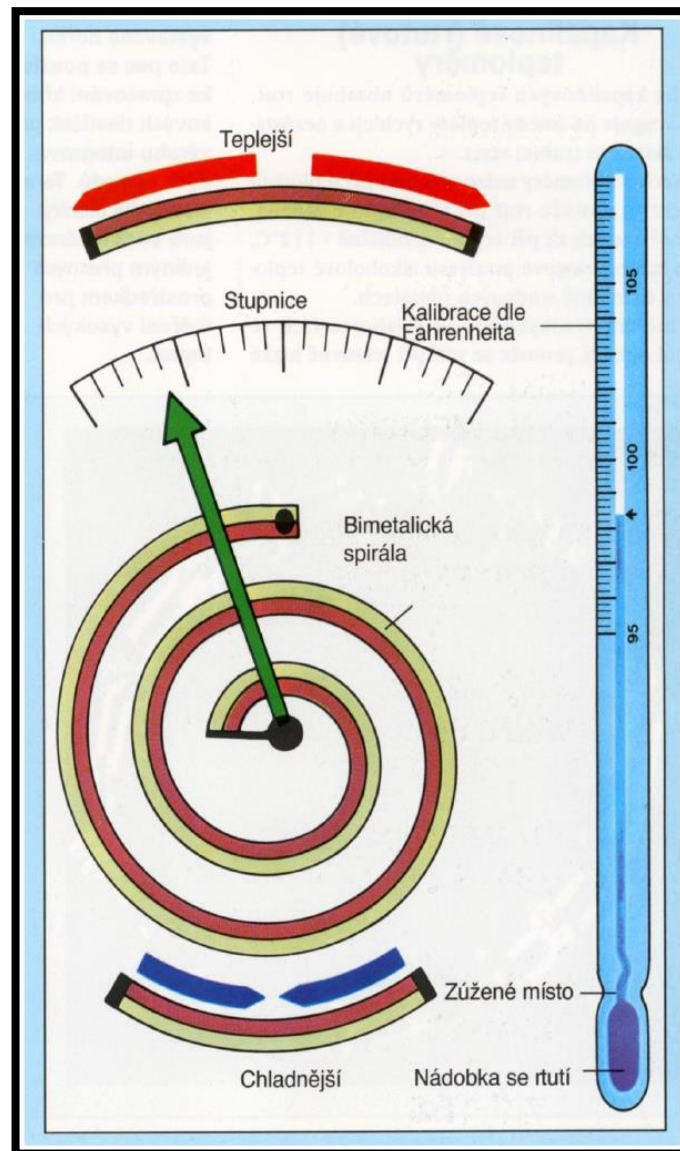
Měření teploty přímou metodou umožňuje průběžné kontrolování a vyhodnocování aktuální teploty. Pro přímé měření teploty je využíváno celé řady čidel, přičemž každé je vhodné pro jinou oblast použití [53].

#### Měření teploty pomocí kapalinových teploměrů

V současné době se jedná o nejrozšířenější teploměry. Většinou se jedná o rtuťové teploměry, nebo lihový, které se skládají z rezervoáru s kapilárou a stupnice. S rostoucí teplotou pak rtuť, respektive líh mění svůj objem a roste v kapiláře [48].

### Měření teploty pomocí bimetalového teploměru

Mezi další teploměr patří bimetalový, též nazýván jako dvojkovový, který funguje na principu kovů s různou roztažností, které pak detekují změnu teploty. Při zahřátí se vrstva kovu roztahuje více než druhá, v důsledku toho dochází k průhybu pásky z dvojkovu [48].



Obr. 11. Bimetalový teploměr vlevo, rtuťový vpravo [48]

Mezi další způsoby přímých metod patří převod teploty na napětí. Zde je využíváno aktivních senzorů - termočlánků, nebo pasivních senzorů - součástí, jejichž odpor je závislý na teplotě.

### **Měření teploty pomocí termočládku**

Termočládky měří teplotu na základě termoelektrického jevu. Pracují na principu dvou vodičů z různých kovů uzavřených v elektrickém obvodu, kterým teče proud, přičemž každý vodič má jinou teplotu. Je-li obvod rozpojen, dají se změřit hodnoty termonapětí pomocí voltmetrů, které vznikly rozdílem teplot mezi spoji [48].

### **Měření teploty pomocí odporových polovodičových snímačů**

Jedná se o rozsáhlou oblast, která je v současné době ještě ve vývoji. Polovodičové snímače se rozdělují na základě použitého materiálu. Termistory jsou elektrotechnické součástky, jejichž elektrický odpor je závislý na teplotě [54].

#### **NTC termistory**

Nejnámější polovodičový prvek - termistor, složený z polovodičové součástky bez přechodu. Dá se hovořit o nelineárním rezistoru, jehož odpor s teplotou klesá, což znamená, že má záporný teplotní koeficient (NTC). NTC termistory se využívají například k omezení proudu obvodem [54].

#### **PTC termistory**

PTC termistor někdy označován též jako pozistor. Skládá se z polykrystalické polovodičové součástky s kladným teplotním součinitelem odporu. S rostoucí teplotou dochází k mírnému poklesu odporu. PTC termistory se podobně jako NTC rezistory využívají k omezení proudu [54].

### **1.3.2 Měření teploty nepřímou metodou**

V posledních letech díky pokroku v elektrotechnice a optice došlo u této metody ke značnému pokroku. Jedná se o přenosné infračervené teploměry, které se uplatňují při detekci tepelných ztrát a poruch.

#### **Infračervený bezdotykový teploměr**

Neboli též pyrometr funguje na principu měření množství takto vyzářené energie v infračerveném spektru. Konstrukce je složena z optické soustavy a pro zaměření měřené

oblasti se využívá světelných respektive laserových zaměřovačů. Paprsky jsou soustředěny do detektoru a vzniká tak elektrický signál.

Výhodou tohoto měření je bezkontaktnost, možnost měření z větší vzdálenosti a rychlé zjištění hodnot [49].

Měřicí rozsahy		
	od [°C]	do [°C]
kapalinový teploměr - rtuť	-30	300
kapalinový teploměr - líh	-110	70
bimetalový teploměr	0	500
termočlánky	0	750
NTC termistor	-40	150
PTC termistor	-55	150
infračervené bezdotykové teploměry	-30	260

*Tab. 1. Měřicí hodnoty jednotlivých měřících metod*

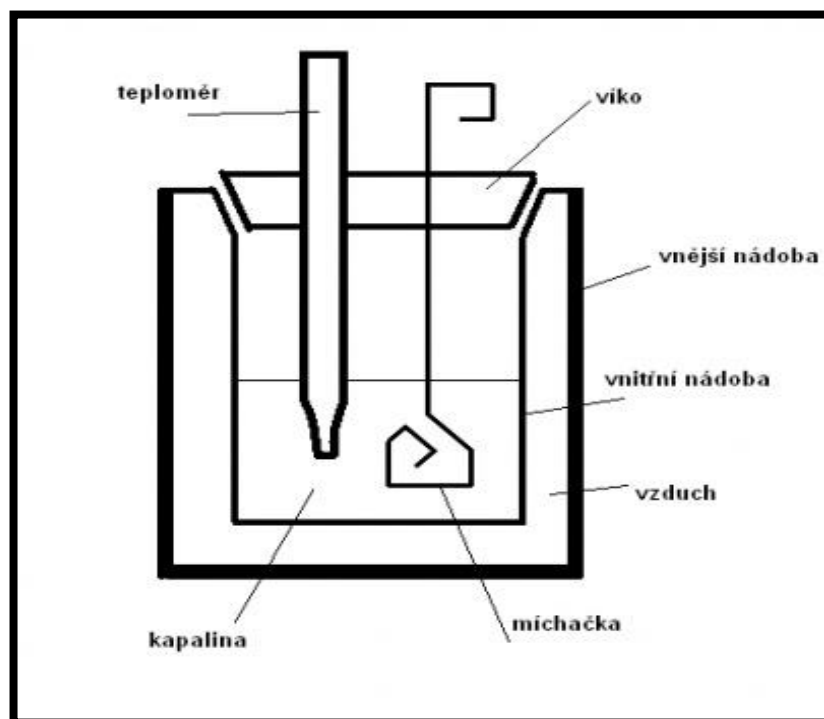
Pozn.: měřicí rozsah pro infračervené bezdotykové teploměry je orientační. Rozsah může dosahovat hodnoty až 550°C v závislosti na kvalitě pořízeného přístroje.

### 1.3.3 Kalorimetrie

Kalorimetr je zařízení umožňující pokusně měřit tepelnou výměnu mezi tělesy a měřit potřebné tepelné veličiny (teplo a teplota).

#### Směšovací kalorimetr

Kalorimetr neboli též směšovací kalorimetr slouží k měření měrných tepelných kapacit. Tvoří jej dvě válcové, tepelně izolované tenkostěnné nádoby vložené do sebe. Mezi stěnami a dnem jsou od sebe odděleny vrstvou izolantu (vata, molitan,...) nebo vzduchem. Každá nádoba je přikryta víčkem. Ve víku je upevněn teploměr s míchačkou [25, 26].



Obr. 12. Směšovací kalorimetr [26]

#### Blackův kalorimetr

Jednoduchý a jeden z prvních kalorimetrů. Je tvořen z bloku ledu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$ , do něhož byla předem vyhloubena jamka. Nejprve bylo provedeno zahřátí předmětu, změřena jeho tepelná kapacita a poté byl vložen do jamky, která se následně zaklopila další kusem ledu. Jakmile se předmět ochladil, houbičkou se odsála voda a její hmotnost nám umožnila spočítat teplo, které bylo ve vloženém předmětu [25].

**Bunsenův kalorimetr**

Měřicí nádobka se obalila ledem a umístila se do větší uzavřené nádoby s vodou, která měla na dně rtuť s kapilárou. Dle posunu rtuti v kapiláře, pak může být určena změna objemu tajícího ledu [25].

## 2 EMISIVITA

Pro tuto práci je emisivita klíčovým výrazem, jelikož cílem v praktické části je návrh konstrukčního přípravku pro její určování. Proto tento pojem bude rozveden podrobněji. Výraz emisivita je pro většinu obyvatel neznámý a nepatří do běžné slovní zásoby. Pod pojmem emise si každý dovede představit, že se jedná o vypouštění nějakých látek do okolí, které mají negativní vliv na naše ovzduší resp. prostředí.

Emisivita má však jiný význam. Je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa. Je to tedy schopnost tělesa vyzařovat teplo. Jde tedy o čísla od nuly do jedné a jedná se o bezrozměrnou veličinu.

Dosahuje-li relativní emisivita hodnoty jedna, mluvíme o tzv. černém tělese (dříve se to považovalo za „absolutně černé těleso“). S hodnotou menší než jedna jsou považovány povrchy běžných těles. Nejčastěji dosahují hodnot kolem 0,9. Jsou však výjimky u čistých kovových površích, které mívají relativní emisivitu až desetkrát menší - 0,1.

Emisivita je označována řeckým písmenem  $\varepsilon_T$  [28].

Její výpočet je dán jednoduchým vztahem:

$$\varepsilon_T = \frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_{OE}} \quad (14)$$

$\varepsilon_T$       relativní emisivita [-]

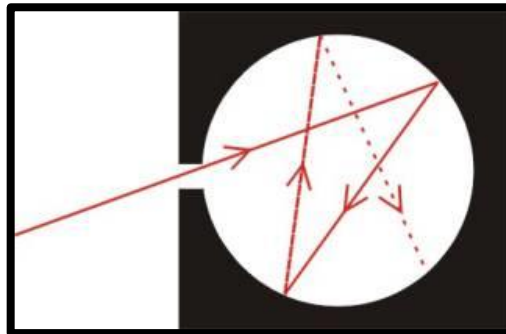
$\varepsilon_E$       intenzita vyzařování reálného tělesa [-]

$\varepsilon_{OE}$      intenzita absolutně černého tělesa [-]

### Absolutně černé těleso

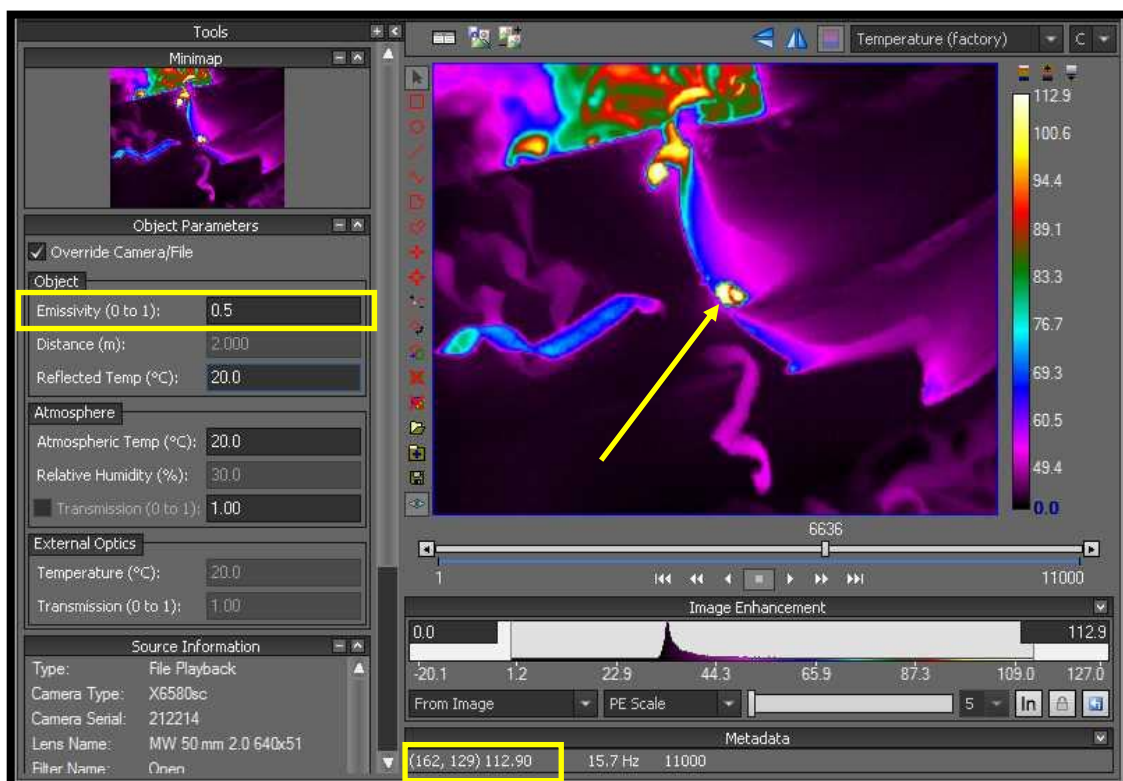
Nyní považováno jako dokonale černé těleso je tepelný zářič, který dokonale absorbuje veškeré elektromagnetické záření, které dopadne na jeho povrch - tedy nic neodráží. Ve skutečnosti se jedná o idealizovaný model, dokonale černá tělesa se nevyskytují. Stojí však za to zmínit, že některé tepelné zářiče se svými vlastnostmi, se k tomuto modelu velmi blíží (např. slunce, hvězdy dokonce i vlákno žárovky).

Představme si kostku s velmi malým otvorem. Záření projde do dutiny malým otvorem, jejíž vnitřní povrch je černý a matný, pak se po několika odrazech pohltí a malý otvor se navenek bude jevit jako absolutně černé těleso. Znamená to, že veškeré záření projde otvorem dovnitř, avšak žádné záření otvorem nevychází ven [39].



Obr. 13. Absolutně černé těleso

Jak již bylo zmíněno výše, hodnoty jedné dosahují pouze absolutně černé tělesa. V praxi nelze této hodnoty dosáhnout. Při emisivitě, která se rovná hodnotě jedné, bude z povrchu vyzářeno maximální množství tepelného záření, které je z fyzikálního hlediska možné vyzářit [45]. Bylo provedeno několik nastavení pro hodnoty emisivity od 1 do 0.5, aby bylo možné vidět, jak se zvyšující emisivitou snižuje teplota. Byly zvoleny souřadnice (162, 129), což je tříska (viz šipka).



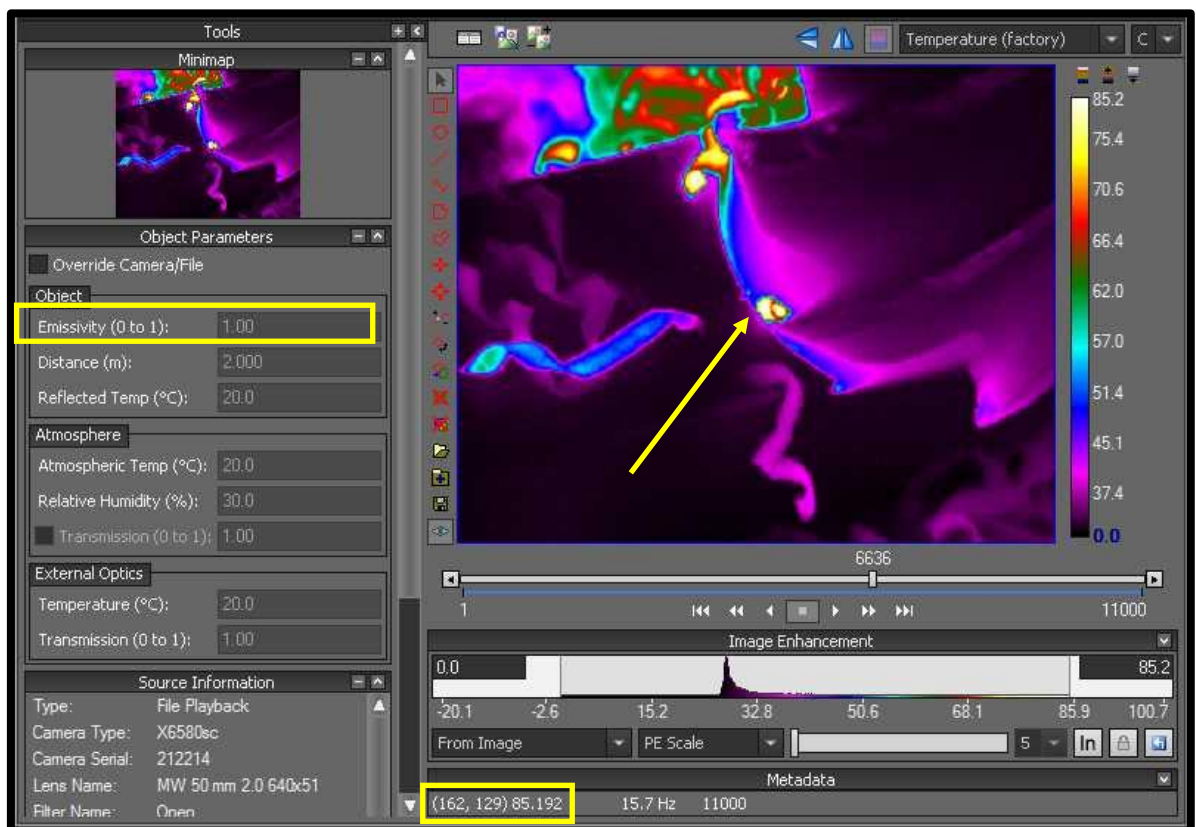
Obr. 14. Ukázka teploty při hodnotě emisivity  $\epsilon=0,5$



V dolním obdélníčku lze vidět výslednou teplotu na souřadnicích (162, 129). Při hodnotě  $\epsilon=0,5$  je teplota  $112,90^{\circ}\text{C}$ . V blízkosti šipky je vidět odraz tepelného záření, emitovaného rozžhavenou třískou, od povrchu materiálu. Pokud by měl materiál relativní emisivitu 1, nemohlo by k odrazu tepelného záření dojít. Z toho vyplývá, že relativní emisivita obráběného materiálu je nižší jak 1. Na obrázku je vidět jako fialově zabarvená oblast na povrchu obráběného materiálu. Jedná se o tepelné záření, které je odraženo od povrchu materiálu a následně dopadá na detektor termovizní kamery. Termovizní kamera pak nedokáže rozlišit, zda se jedná o tepelné záření odražené nebo vlastní tepelné záření. Proto se odražené tepelné záření stanovuje a jeho hodnota se zadává do termokamery, aby se dal jeho vliv kompenzovat [45].

Čím vyšší odrazivost povrchu je, tím větší bude odražená zdánlivá teplota. Čím menší odrazivost povrchu je, tím je větší emisivita. Platí tedy, že čím je emisivita menší, tím je větší odrazivost.

Na základě porovnání obrázků je vidět jak se teplota v místě třísky (viz. šipka) při maximální možné hodnotě emisivity  $\epsilon=1$  snížila. Byla snížena až o  $27,708^{\circ}\text{C}$ .



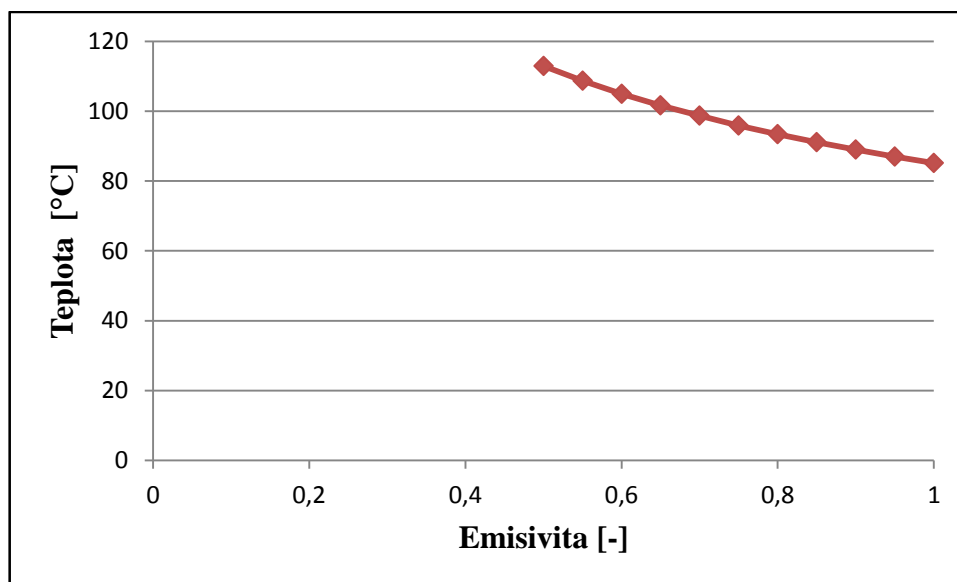
Obr. 15. Ukázka odrazivosti a teploty při hodnotě emisivity  $\epsilon=1$

Bylo provedeno nastavení pro hodnoty od 0,50 až 1,00. Dle níže uvedené tabulky je vidět jak se výsledné hodnoty liší. V posledním sloupci lze vidět o kolik se teplota zvýšila mezi jednotlivými hodnotami.

hodnota emisivity $\epsilon$	teplota prostředí [°C]	souřadnice [mm]	výsledná teplota [°C]	$\Delta T$ [°C]
1,00	20	(162, 129)	85,2	-
0,95	20	(162, 129)	87,0	1,8
0,90	20	(162, 129)	89,0	2,0
0,85	20	(162, 129)	91,1	2,1
0,80	20	(162, 129)	93,4	2,3
0,75	20	(162, 129)	95,9	2,5
0,70	20	(162, 129)	98,7	2,8
0,65	20	(162, 129)	101,7	3,0
0,60	20	(162, 129)	105,0	4,3
0,55	20	(162, 129)	108,7	3,7
0,50	20	(162, 129)	112,9	4,2

Tab. 2. Teploty při různých hodnot emisivity

Dle grafu je vidět, že křivka roste se snižující se emisivitou.



Graf 1. Závislost zobrazované teploty na emisivitě

Z výše uvedeného vyplývá důležitost určení správné hodnoty relativní emisivity.

## 2.1 Způsoby určování emisivity

### 2.1.1 Určení emisivity z tabulek

Využití tabulek se jeví jako nejjednodušší způsob pro určování hodnot emisivity.

Material	Emissivity (ε)	Material	Emissivity (ε)
Aluminum alloy-oxidized	0.40	Asbestos Board	0.96
Aluminum-highly polished	0.04-0.06	Asphalt, tar, pitch	0.90-0.98
Aluminum-oxidized	0.11-0.31	Brick-red and rough	0.93
Aluminum-Anodized sheet	0.55	Brick-fireclay	0.75
Brass-Oxidized	0.60	Carbon-filament	0.53
Brass-polished	0.03	Carbon-lampblack	0.96
Chromium-polished	0.10-0.38	Cement	0.54
Copper-polished	0.02-0.05	Ceramic	0.90-0.94
Copper-heated at 600°C	0.57	Concrete	0.92-0.97
Gold-pure, highly polished	0.02	Frost crystals	0.98
Iron-polished	0.21	Glass	0.80-0.95
Iron-oxidized	0.94	Human skin	0.98
rusted iron plate	0.65	Ice	0.96-0.98
Iron-rough steel plate	0.94-0.97	Marble-polished light gray	0.90
Lead-gray and oxidized	0.28	Paints, lacquers, varnishes Black	0.90-0.95
Mercury	0.09-0.12	Paints, lacquers, varnishes aluminum paints	0.55
Nickel-polished	0.12	Paints, lacquers, varnishes flat black lacquer	0.96-0.98
Nickel-oxidized	0.37-0.85	Paints, lacquers, varnishes white lacquer	0.95
Platinum-pure polished plate	0.05-0.10	Paper	0.94
Platinum-wire	0.06-0.16	Plastic	0.84-0.94
Silver-pure and polished	0.02-0.03	Porcelain-glazed	0.92
Stainless steel-polished	0.16	Propellant-Liquid rocket engine	0.90
Stainless steel-oxidized	0.74-0.87	P.V.C.	0.91-0.93
Tin-bright	0.07-0.08	Quartz-opaque	0.75
Tungsten-filament	0.32-0.39	Rubber	0.95-0.97
Zinc-polished commercial pure	0.05	Sand	0.90
Zinc-galvanized sheet	0.23	Snow	0.96-1.00
		Soil	0.92-0.95
		Tape-Masking	0.92-0.95
		Wallpaper	0.85-0.90
		Water	0.95-0.96
		Wood-planed oak	0.82-0.89

Obr. 16. Tabulka emisivit pro kovové a nekovové materiály [30]

Výhodou tabulek je velmi snadná dostupnost na internetu a přehlednost. I výrobci termokamer k samotným přístrojům dodávají příslušenství v podobě tabulek. Nevýhodou je, že emisivita není konstanta a tudíž hodnoty z tabulek jsou pouze orientační. Pro přesnější určení hodnot z tabulek by bylo zapotřebí dalších parametrů, jako teplota povrchu daného materiálu, určitá vlnová délka apod. Pro kovové materiály je parametrů mnohem více jako např. typ povrchové úpravy a tabulka s hodnotami drsností [29, 30].

### 2.1.2 Pomocí spektrometru

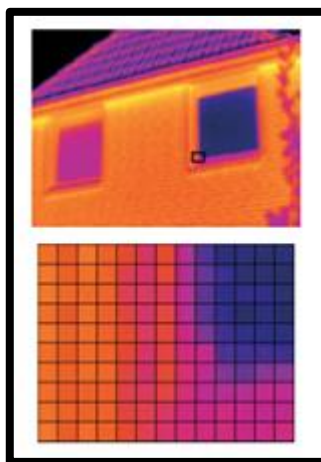
Infračervená spektrometrie využívá nedestruktivních analytických metod, kdy zkoumaný vzorek není analýzou poškozen, a poskytuje nám informaci o svém složení. Využívá dvou typů měřících zařízení - FTIR spektrometr (infravený spektrometr s Fourierovou transformací) a disperzní spektrometr. Jejich úkolem je registrovat infračervené spektrum, tj. závislost intenzity infračerveného záření na vlnové délce [31].

### 2.1.3 Pomocí bezvýpočtové metody s použitím termovizních měření

Jedná se o velmi rychlou a relativně přesnou metodu měření, protože hodnoty výsledné emisivity daného vzorku lze odečíst přímo z přístroje (termokamery) a není třeba dalších výpočtových metod. Je však třeba do měření zahrnout vliv záření okolních objektů (světlo) - bude rozebráno v další kapitole 2.2 *Faktory ovlivňující emisivitu*.

#### Termokamery a jejich rozdělení

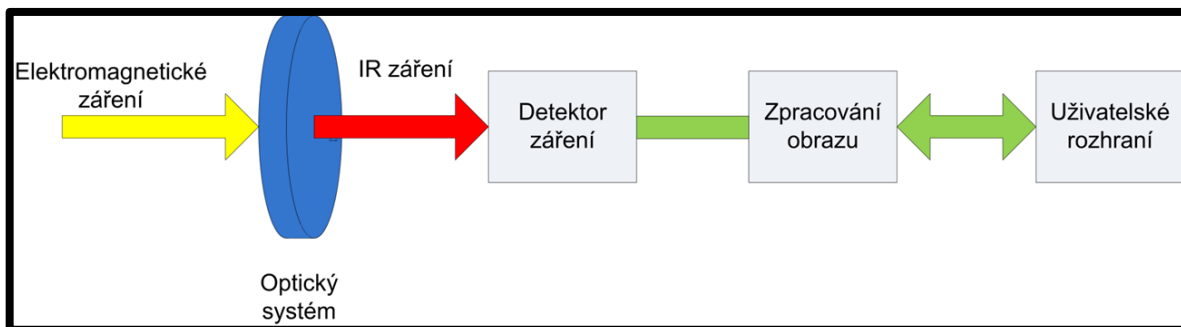
Konstrukce je velmi podobná konstrukcím klasických kamer či fotoaparátů. Objektiv promítá dopadající tepelné záření na tzv. detektor záření, kde dochází ke změření jeho intenzity. Získané informace jsou následně digitalizovány a převedeny na výsledný snímek. Tento snímek se odborně nazývá termogram.



Obr. 17. Termogram [55]

Pořízený snímek resp. termogram udává informace o povrchovém rozložení teplot měřených objektů či objektu a právě díky těmto informacím se z toho dá usoudit, zda měření bylo provedeno správně. Termogram je složený z tzv. pixelů, tak jak známe u klasických obrázků v počítači. Každý pixel pak udává povrchovou teplotu v daném bodě. Rozdělení blokového schématu termokamery na tři části [41]:

- optika
- detektor
- elektronika pro zpracování obrazu



Obr. 18. Blokové schéma termokamery [55]

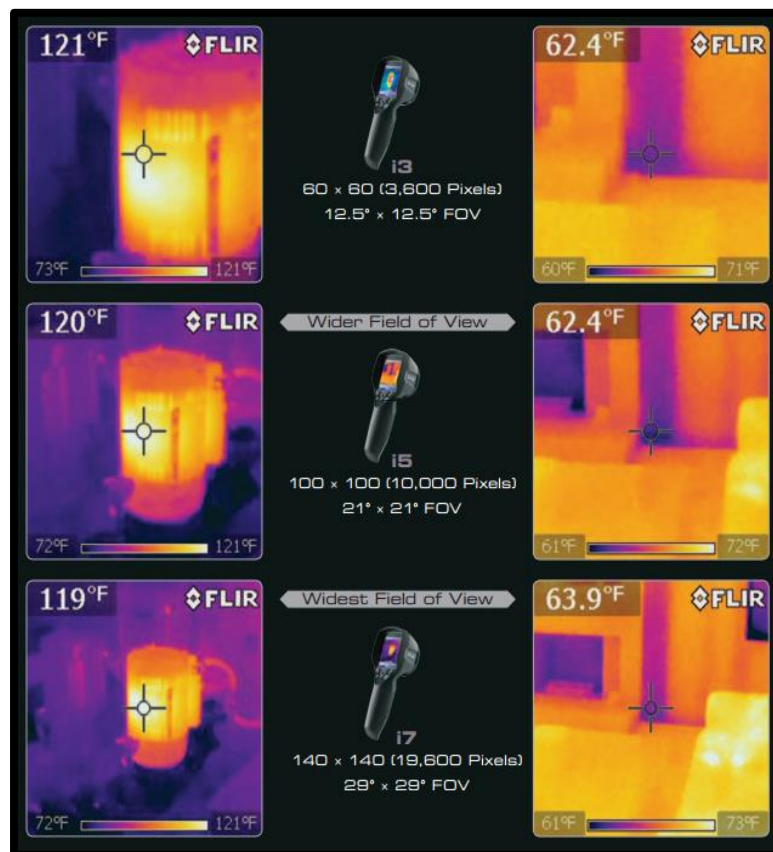
Termokamery rozdělujeme na dva základní typy. Každý typ se liší svými vlastnostmi, cenou a oblastí použití. Jedná se o termokamery s kvantovým detektorem a tepelným detektorem.

Rozdělení termokamer		
	s kvantovým detektorem	s tepelným detektorem
teplotní citlivost	13 mK	30 mK
citlivost ve vlnovém pásmu	0,75 až 14 $\mu\text{m}$	7 až 14 $\mu\text{m}$
rozlišení	1024x768 a více	1024x768 a více

Tab. 3 Rozdělení termokamer

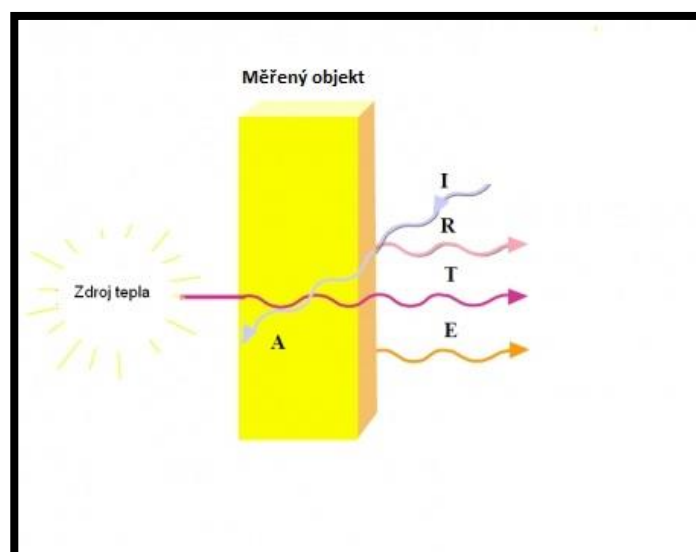
Dle výše uvedených citlivostí patří kamery spíše do střední až vyšší třídy.

Kvalitu a přesnost jednotlivých termokamer dokumentuje níže uvedený obrázek s termogramy [41].



Obr. 19. Druhy termokamer [41]

Záření naměřené termokamerou se skládá z emitovaného, odraženého a propuštěného dlouhovlnného infračerveného záření, které vychází z objektů [32].



Obr. 20. Složky infračerveného záření [32]

I	dopadající záření
R	odražené záření
T	procházející záření
E	emitující záření
A	absorbující záření

## 2.2 Faktory ovlivňující měření emisivity

Jedním z faktorů, který emisivitu ovlivňuje je struktura materiálu povrchu, který bývá ovlivňována pohlcováním a odražením světelným zářením.

Mezi další ovlivňující faktory se považuje vlnová délka a teplota povrchu. Dle Planckova zákona je zřejmé, že hustota zářivého toku černého tělesa je závislá na teplotě a vlnové délce.

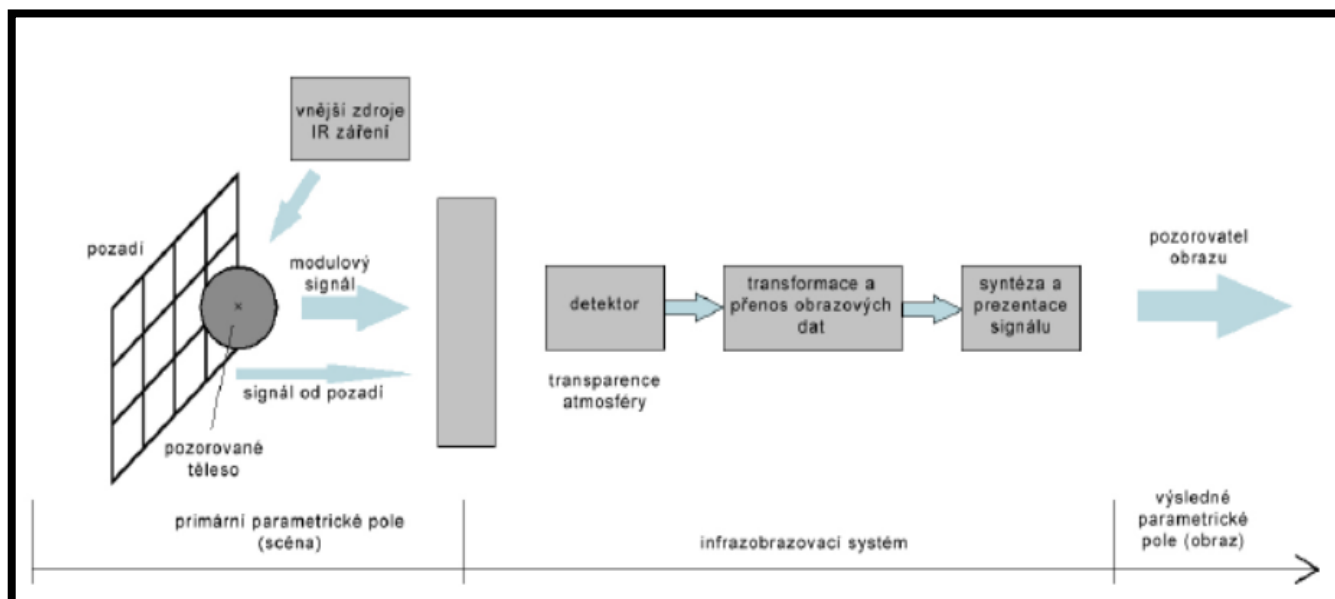
Jako posledním faktorem ovlivňující emisivitu jsou směrové podmínky neboli směr vyzařování. Při různých úhlech snímání povrchu můžeme naměřit různé hodnoty emisivity [33].

### 3 TERMOGRAFIE

Termografie je jeden z dalších pojmů, který není pro veřejnost příliš známý. Úvodem několik slov o termografii.

Každý proces, např. ochlazování nebo ohřívání, které změní teplotu, byť jen o setinu stupně, je termograficky zachytitelný. Je tedy možné z rozložení teploty, a případně z naměřených hodnot teploty dedukovat na jeho průběh nežádoucí a nepříjemné stavy.

K jejich měření se využívá elektronických přístrojů tzv. termokamer neboli termovizí. Tyto přístroje jsou schopny dálkově měřit teplotní vyzařování jakéhokoliv objektu či jiného předmětu. I ty nejmenší zbytky tepla lze termograficky zaznamenat. Příkladem může tepelný otisk dlaně na okně a jistě si i všimnete, že otisk po několika sekundách zmizí [34, 35].



Obr. 21. Proces zobrazení termokamerou [35]



### 3.1 Dělení termografie a její využití

Termografii dělíme na bezkontaktní a kontaktní. Za konstantní termografii považujeme metody, které jsou založeny na teplotní roztažnosti látek respektive kapalin. Příkladem může být rtuť v lékařském teploměru, elektronické kontaktní teploměry, termistory, tekuté krystaly [35].

Bezkontaktní termografie je založena na detekci infračerveného záření, vyzařovaného povrchem těla. Tato metoda je nejčastěji využívána v lékařství. Slouží jako doplňková diagnostická metoda u chorobných stavů, které mají za následek změny teploty povrchu těla [35].

### 3.2 Další využití termografie a výhody

Měření termokamerou má široké možnosti využití jak v oblasti stavebnictví, strojírenství, fotovoltaice a mnoho dalšího.

V stavebnictví nejčastěji slouží k odhalování nedostatků tepelné izolace staveb, netěsností oken, dveří a podobně. V interiéru lze pomocí kamery odhalit chladná místa, ve kterých může docházet k vlhnutí a následně i vzniku plísní.

Na obrázku níže je zobrazení termogramu budovy [36].



Obr. 22. Únik tepla zachycený termokamerou [36]

Ve strojírenství se využívá k měření teploty tepelně namáhaných strojních částí a součástí. Ve fotovoltaice lze pomocí termokamery odhalit nefukční, či chybně zapojené části panelů.

Nechybí ani využití v bezpečnosti, kterým se například považuje střežení objektů, kde využívají schopnosti vidění v naprosté tmě. Tato metoda je využívána i u bezpečnostních státních orgánů, které využívají termokamery k vyhledávání osob či zvířat v terénu.

Téměř denně a stále je však využíváno nejvíce v lékařství [34].

## 4 PŘEVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE NA TEPLLO

### 4.1 Rezistory

Je vhodné se s rezistory seznámit trochu blíže, jelikož v praktické části budeme řešit rozmístění jednotlivých rezistorů na desce. Jedná se o pasivní elektrotechnické součástky, projevují se jedinou vlastností, a tím je elektrický odpor. Je-li zařazen rezistor v obvodu, pak je to obvykle za účelem snížení velikosti elektrického proudu.

Schématické značky rezistorů nejsou celosvětově sjednoceny. Pro Evropu je symbol ve tvaru obdélníčku, Spojené státy a Japonsko používají symbol, který je tvořen lomenými čarami [42].



Obr. 23. Schématická značka [42]

Ideální rezistory mají jediný parametr - odpor. Výhodou tohoto parametru je, že není závislý na okolních vlivech. Podle Ohmova zákona je výpočet odporu dán vztahem [42]:

$$R = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (15)$$

$R$  - odpor [ $\Omega$ ]

$U$  - napětí [ $V$ ]

$I$  - proud [ $A$ ]

Reálné rezistory jsou vyrobeny z reálného materiálu, které vykazují elektrický odpor a mají určitou geometrii. Z toho vyplývá, že [42]:

- odpor je závislý na teplotě
- umožňuje v teplo proměnit jen určitý výkon
- hodnoty bývají od jmenovité hodnoty odlišné
- při aplikaci vyšších napětí může dojít k poškození
- vykazuje také sériovou indukčnost
- vykazuje elektrický šum
- odpor je závislý na přiloženém napětí

#### 4.1.1 Udávané parametry u rezistorů

Jedním z nich je elektrický odpor. Běžně vyráběné rezistory mají několik řad - E6, E12 nebo E24. E12 patří mezi nejpoužívanější řadu, která obsahuje 12 hodnot, které jsou dále násobeny mocninou desítky - 1,0; 1,2; ...

Dalšími parametry je maximální příkon ve wattech a v procentech udané tolerance hodnot odporu. Mezi typické hodnoty patří 5%, 10% a na součástkách jsou vyznačeny písmenem [42].

#### 4.1.2 Konstrukce rezistorů a jejich druhy

Základem rezistorů je vodič. Má požadovanou hodnotu odporu, kterého dosáhneme použitím látky s určitou rezistivitou, délkou a obsahem průřezu vodiče. Provedení vodičů bývá nejčastěji ve formě drátu nebo tenké vrstvy. Je-li dlouhý drát navinut kolem izolačního tělíska nejspíše se bude jednat o drátový rezistor. Navinutí se provádí za účelem uspořené místa. O uhlíkovém rezistoru hovoříme, je-li na izolační tělísko nanášena elektricky vodivá vrstva (např.: grafit). Každá jednotlivá konstrukce rezistoru má své výhody, ale i nevýhody.

Druhy rezistorů bývají zpravidla rozlišovány podle konstrukce, velikosti odporu a dle dovolených zatížení. Reostaty, potenciometry či trimry jsou rezistory, u nichž je možné odpor měnit [42].

### 4.1.3 Využití rezistorů

Jedná se o nejpoužívanější slaboproudé elektrotechnické součástky, jejichž funkcí je omezit protékající proud nebo získat napět'ový úbytek. Jejich využití je široké a proto uvedu jen několik z nich. Slouží k měření proudu, regulaci výkonu, měření výkonu či vytápění topných těles [42].

## 4.2 Mikrovlny

Jedná se o vysokofrekvenční rádiové vlny a jsou stejně viditelné jako světlo. Jejich vlnová délka se pohybuje v rozmezí 1 mm až 1 m, což odpovídá frekvencím 0,3 GHz až 300 GHz. Jsou využívány v mnoha odvětvích, nejčastěji v odvětví lidské činnosti. Mohou sloužit k přenosu informací, což jsou mobilní telefony, vysílací stanice, nebo k ohřevu potravin, k čemuž se využívá mikrovlnné trouby, či obrábění materiálu a mnoho dalšího.

Stejně jako světlo se mikrovlny šíří prostorem, jsou odraženy od předmětů a pohlcovány v materiálech. Úplné odražení nastává u kovových materiálů, u nekovových jako je sklo, plasty apod. odraz nenastává, ale mikrovlny jimi prochází [46].

## 4.3 Indukční ohřev

Jedná se o elektrický ohřev, který využívá elektromagnetické indukce. Je-li dovnitř cívky vložen předmět z elektricky vodivého materiálu, přičemž cívkou protéká střídavý proud, budou se indukovat se střídavým magnetickým polem v dutině cívky vířivé proudy. V principu hovoříme o transformátoru, kde sekundárním vinutím je vsázka a primárním vinutím je cívka. Vložený předmět neboli vsázka je zahřívána vířivými proudy. Teplo je do vsázky dopravováno střídavými magnetickými poli, nikoliv teplotním spádem, který vzniká u nepřímých ohřevů, v tomto případě vzniká přímo ve vsázce. Velkou výhodou indukčního ohřevu je, že vše kolem předmětu pak může zůstat chladné [47].

## 5 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byly uvedeny pojmy teplo, teplota a související termodynamické zákony. Mezi moderní metody měření teploty povrchu předmětů, tedy i strojních součástí patří snímání termovizní kamerou. Z ukázek měření vyplývá, že správné nastavení relativní emisivity má velký význam na přesnost dosažených výsledků měření touto metodou. Proto je důležité mít k dispozici technický prostředek, který by umožnil co nejpřesnější určení relativní emisivity. Praktická část práce se zabývá návrhem konstrukčního přípravku pro měření relativní emisivity.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍLE PRÁCE

Požadavkem praktické části této práce je navržení dvou konstrukčních variant přípravku pro nastavování a měření relativní tepelné emisivity. Pomocí počítačové simulace bude provedena kontrola činnosti a efektivnosti. Přípravek by měl být celkově jednoduchý, levný a snadno vyrobitelný.

Cílem je tedy:

- navržení jednoduché konstrukce základní desky a celé sestavy
- nalezení rezistoru, který bude mít odpovídající parametry
- určení optimálního rozmístění a uchycení rezistorů k základní desce, tak aby plocha desky měla co nejrovnoměrnější zahřátí
- vhodný výběr materiálu k základní desce a ostatním dílcům sestavy
- kontrola činnosti a efektivnosti navrženého přípravku pomocí počítačové simulace
- jednoduchost a snadná vyrobitelnost přípravku
- celkové zhodnocení navrženého přípravku

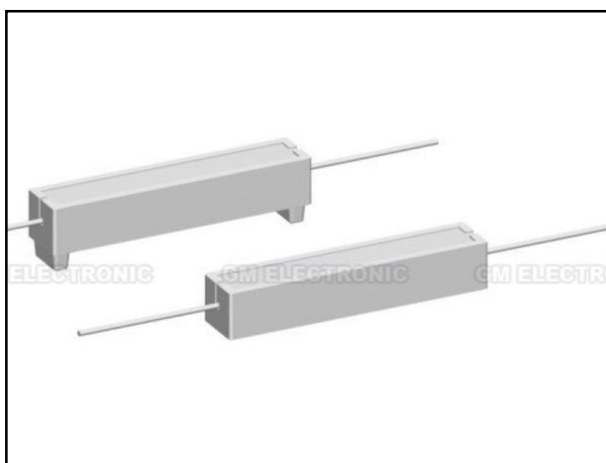


## 7 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO PŘÍPRAVKU

Pro návrhy konstrukčních přípravků a jejich řešení bylo využito softwaru *SolidWorks* 2012, který má široké spektrum funkcí a s přehledem splňuje dané požadavky. Další doplňkovým modulem, v tomto případě *Flow Simulation*, byla umožněna simulace sdílení tepla v daných místech plochy základní desky.

### 7.1 Volba rezistorů

Pro konstrukční přípravek byl vybrán pevný metal oxidový rezistor s označením RMO 560R. Technické parametry a dokumentace daného rezistoru jsou uvedeny níže [44].

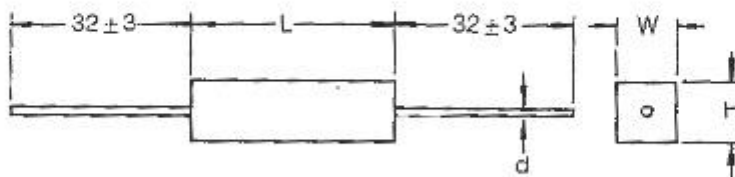


Obr. 24. Metal oxidový rezistor 560R [44]

Technické parametry		
<b>Příkon</b>	10	W
<b>Pouzdro</b>	keramika	
<b>Tolerance</b>	5	%
<b>TK</b>	300	ppm/°C
<b>Rozměry</b>	48x9,5x9	

Tab. 4. Technické parametry rezistoru

SQP



SQP	DIMENSIONS(mm)				Resistance Range( $\Omega$ )		Max Working Voltage
	L $\pm$ 0.5	W $\pm$ 0.5	H $\pm$ 0.5	d $\pm$ 0.03	SQP	MO+SQP	
2W	18.0	7.0	7.0	0.65	0.1 $\Omega$ ~ 50 $\Omega$	50 ~ 20K $\Omega$	250V
3W	22.0	8.0	8.0	0.8	0.1 $\Omega$ ~ 50 $\Omega$	50 ~ 33K $\Omega$	350V
5W	22.0	9.5	9.0	0.8	0.1 $\Omega$ ~ 50 $\Omega$	50 ~ 50K $\Omega$	350V
7W	35.0	9.5	9.0	0.8	0.1 $\Omega$ ~ 500 $\Omega$	500 ~ 50K $\Omega$	500V
10W	48.0	9.5	9.0	0.8	0.1 $\Omega$ ~ 500 $\Omega$	500 ~ 50K $\Omega$	750V
15W	48.0	12.5	12.0	0.9	0.1 $\Omega$ ~ 500 $\Omega$	500 ~ 150K $\Omega$	1000V
20W	60.0	14.0	13.0	0.9	0.1 $\Omega$ ~ 500 $\Omega$	500 ~ 150K $\Omega$	1000V

Tab. 5. Technická dokumentace rezistorů [44]

Výhodou tohoto rezistoru je snadná dostupnost a velmi malá cena. Zvolený rezistor je dán rozměry 48x9,5x9. Tyto rozměry jsou určující pro návrh základní desky. Cílem je navržení základní desky tak, aby rozmístění rezistorů bylo symetrické s požadavkem co nejrovnoměrnějšího zahřátí.

## 7.2 Návrh základní desky

Pro maximální efektivnost a co nejlepší sdílení tepla základní deskou, je důležitá volba jejího materiálu. Níže uvedená tabulka specifikuje výběr vhodných materiálů s vysokou tepelnou vodivostí [43].

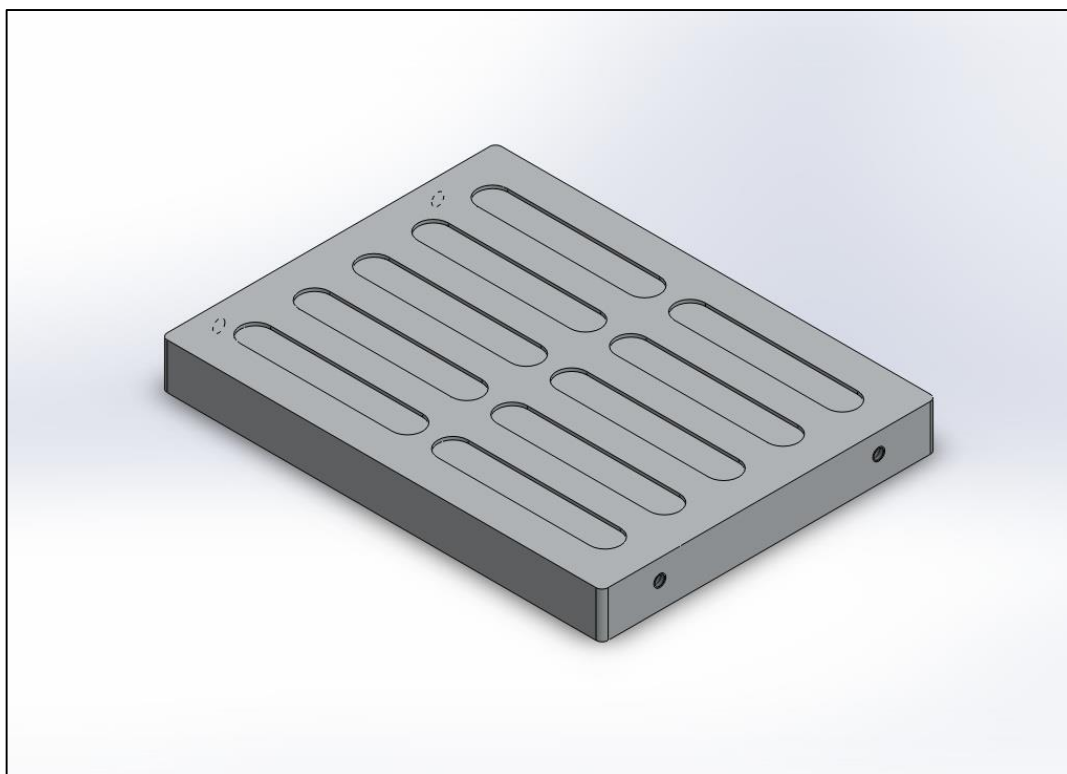
Fyzikální hodnoty tuhých látek	
Látka	Tepelná vodivost [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
<b>Dural</b>	165
<b>Diamant</b>	895 - 2300
<b>Hliník</b>	209
<b>Měď</b>	394
<b>Stříbro</b>	418
<b>Zlato</b>	310

Tab. 6. Fyzikální hodnoty tuhých látek

Dle tabulky je patrné, že nejlepším materiálem pro navrhovanou desku by byl diamant. Z ekonomických důvodů však nevhodné. Pro základní desku je zvolen materiál dural, jehož fyzikální hodnoty jsou dostačující pro splnění požadovaných podmínek. Cena prostého duralového materiálu se pohybuje cca 110 Kč/kg. Rozměry navržené desky jsou 145x110x15mm.

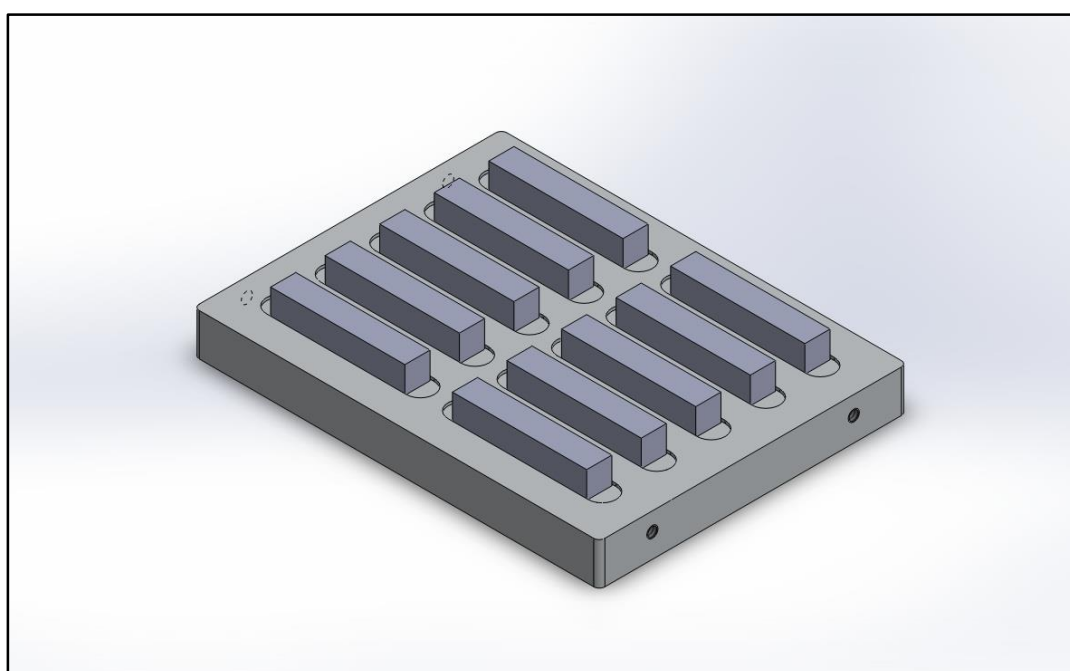
Pro informaci jsou zde uvedeny i další vlastnosti navrženého materiálu. Dural je tvořen vysokým obsahem hliníku (až 96%) a mědi. Jedná se o velmi dobrý vodič elektrického proud, který je nejčastěji využíván v elektrotechnice. Na rozdíl od čistého hliníku má až 5krát větší pevnost v tahu, dokonce je i tvrdší. Je snadno obrobitelný, svařitelný a chemicky odolný.

Na základě rozměrů rezistorů a snaze jejich symetrickému rozmístění po celé ploše desky, byly pro oba konstrukční přípravky ponechány stejné rozměry základní duralové desky (tj. 145x110x15 mm).



Obr. 25. Navržená základní deska s rozměry 145x110x15

Na obrázku je navržen návrh konstrukce základní duralové desky. Obsahuje jemně vyfrézované plošky do hloubky 1 mm s přibližnou drsností Ra 1,6. Na bocích desky jsou z obou stran vyvrtány díry pro montáž a uchycení v ochranném krytu.



Obr. 26. Deska s vloženými tělesy ve tvaru kvádrů

V konstrukčním softwaru *SolidWorks* nelze vložit přímo vybraný rezistor. Je vyroben pouze jeho model ve tvaru kvádrů podle výkresové dokumentace a funkce rezistoru mu bude přiřazena v doplňkovém modulu *Flow Simulation*. Před nasazením rezistorů se provede zabroušení dosedací plochy rezistoru a potření styčných ploch teplovodivou pastou.

Celkové sestavení přípravku a uchycení rezistorů bude řešeno dvěma způsoby viz 8.kapitola. V následující kapitole je přistoupeno k nastavení simulace této desky.

### 7.3 SolidWorks Flow Simulation

Jedná se o integrovaný nástroj, který je využíván pro všestranné, respektive složité simulace v oblasti sdílení tepla a dynamiky tekutin. Jeho praktické využití se také týká nejrůznějších oblastí, jako například proudění kapalin v potrubí, proudění plynů nebo i externí aerodynamika [56].

Pomocí hlavních funkcí *Flow Simulation*, lze provádět analýzy:

- sdílení tepla vedením, prouděním a zářením
- vnitřního a vnějšího proudění kapalin a plynů
- rotačních oblastí (ventilátory, čerpadla)
- přechodových dějů (proměnné děje závislé na čase)

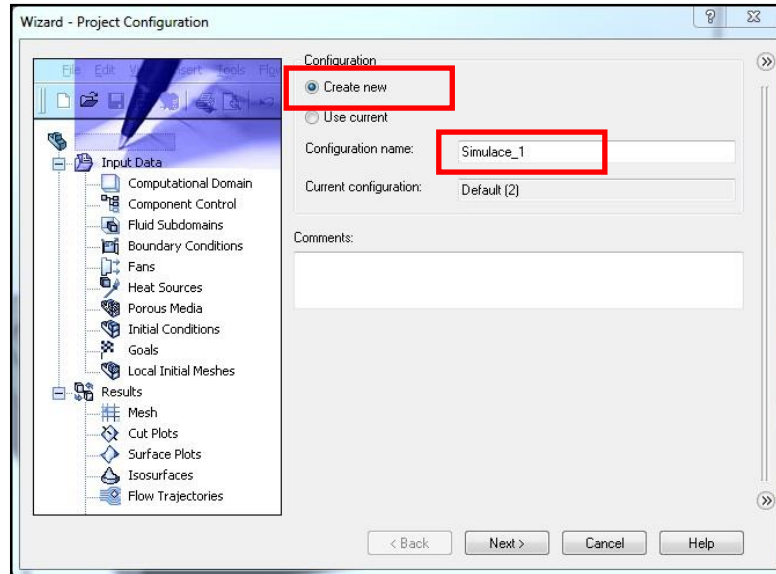
Základní nastavení simulace pro naši navrženou desku je pro lepší přehlednost a pochopení prezentováno formou obrázků.

*Flow Simulation - Wizard - Project Configuration*



Obr. 27. Nový projekt

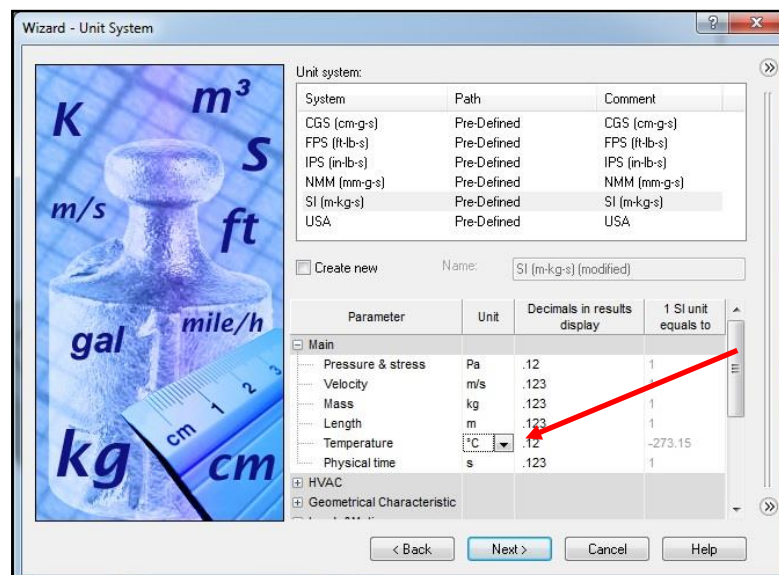
Otevření nového projektu. Zde je provedeno pojmenování simulace, v tomto případě jako *Simulace\_1*.



Obr. 28. Pojmenování a vytvoření nové simulace

### Unit System

Nastavení jednotek soustavy. Úprava se týká pouze teploty, kde místo stupňů Kelvina budou nastaveny stupně Celsia. Ostatní parametry budou ponechány beze změn.

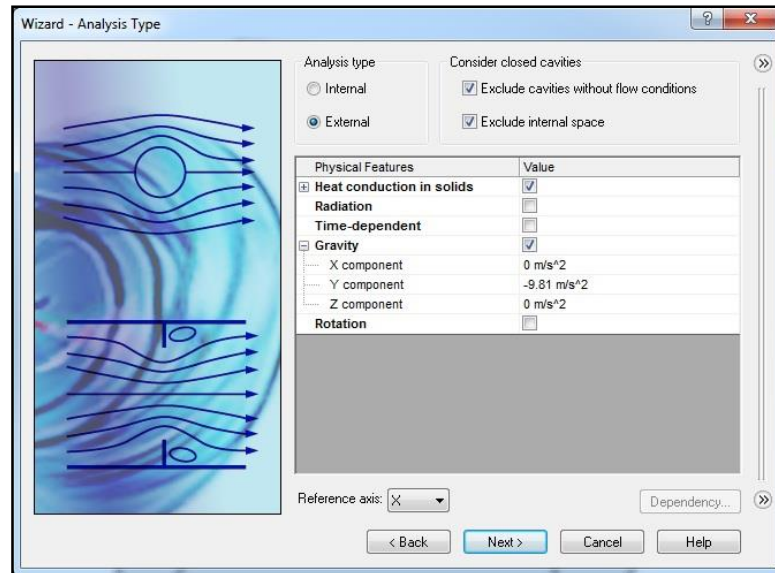


Obr. 29. Nastavení jednotek

### Analysis Type

Vybráno políčko *External*, s následným označením políček *Exclude without flow conditions* a *Exclude internal space*. Znamená vyloučení dutin a prostoru bez podmínek

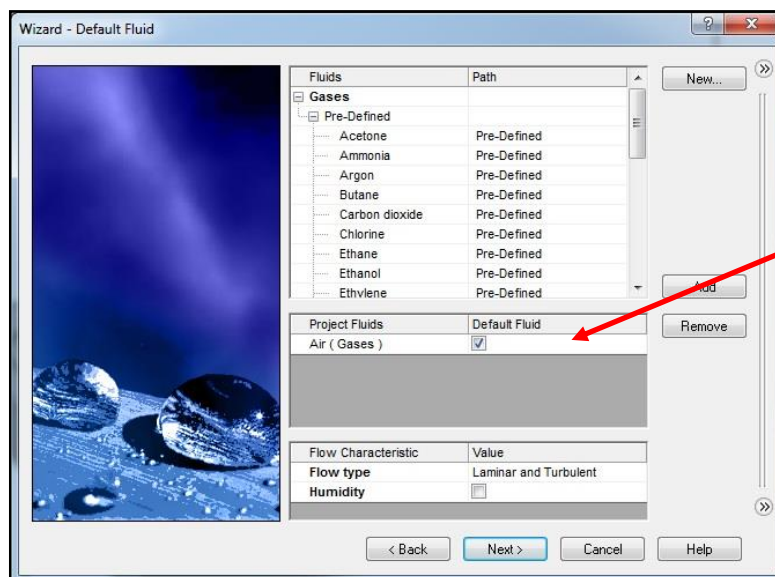
proudění ve vnitřním prostoru. Další výběr zobrazen dle obrázku. *Heat conduction in solids* - vedení tepla v pevných látkách a *Gravity*. Gravitace je upravována dle modelu - základní desky, v tomto případě bude ve směru y.



Obr. 30. Nastavení dalších parametrů

### Default Fluid

Prostředí, ve kterém bude simulace provedena je zvolen vzduch. *Gases - Air*. Ostatní parametry beze změny.

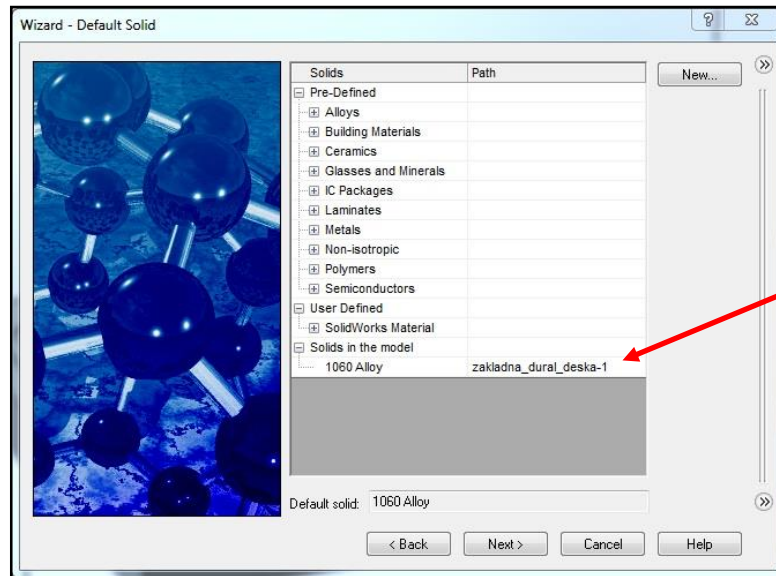


Obr. 31. Volba prostředí



### Default Solid

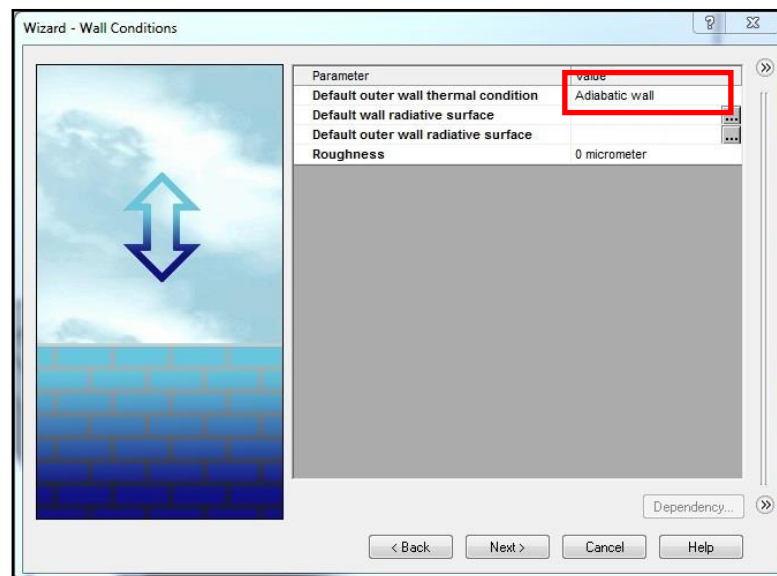
Další nastavení se týká součásti pro kterou má být simulace provedena. Jedná se tedy o vložení vytvořeného modelu - základní desky navržené v kapitole 7.2. Zbylé parametry ponechány beze změny.



Obr. 32. Vložení modelu základní desky

### Wall Conditions

Následující okno beze změny. Nastavení adiabatického děje, znamená, že nebude docházet k tepelné výměně mezi deskou a plynem respektive vzduchem. Ponecháno tedy *adiabatic wall*.

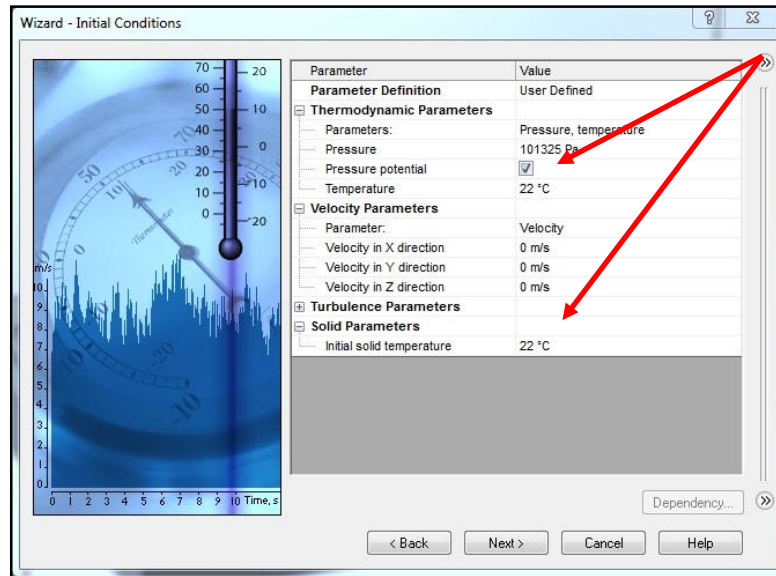


Obr. 33. Nastavení adiabatického děje



### Initial Conditions

V políčkách *Thermodynamic Parameters* a *Solid Parameters* je nastavena teplota na 22°C. Jedná se o nastavení teplot prostředí a modelu. Další parametry ponechány beze změny.



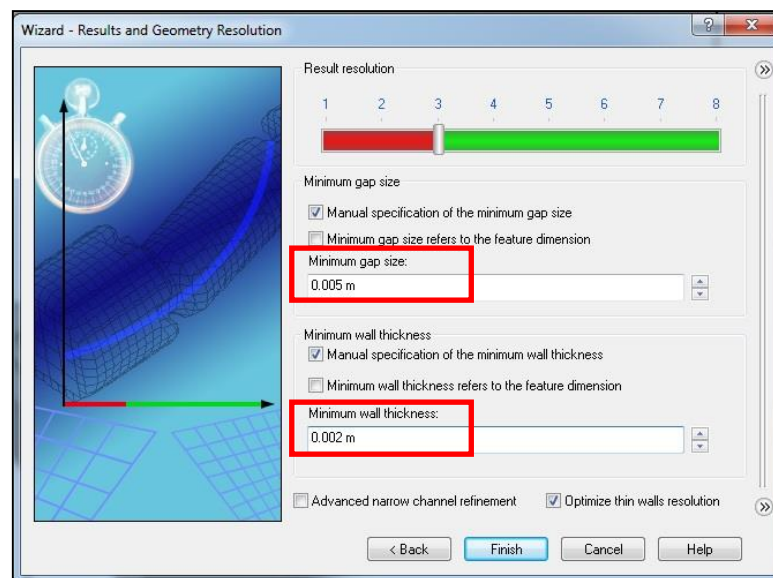
Obr. 34. Nastavení teploty

### Results and Geometry Resolution

Posledním krokem je nastavení přesnosti výpočtu. Nastavení stupně přesnosti se volí podle výkonnosti výpočetní techniky. Tento by měl být pokud možno co nejvyšší. Na základě dostupného vybavení výpočetní nebylo možné zvolit stupeň vyšší než 3.

*Minimum gap size* - nastavení nejmenší velikosti mezery v modelu,

*Minimal wall thickness* - je nastavení minimální tloušťky stěny, kterou navržený model má.



Obr. 35. Nastavení přesnosti

Ukončení podmínek vytvořeného projektu - *Finish*.

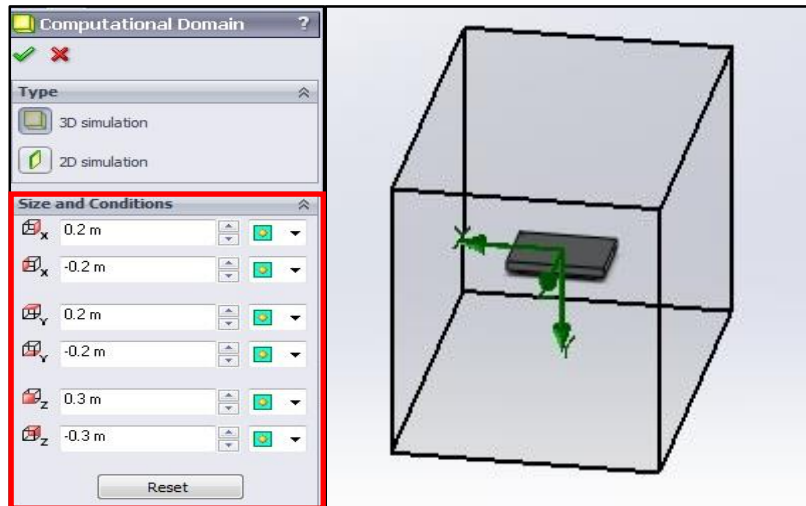
Nastavení dalších parametrů:

*Flow Simulation Analysis tree - Computational Domain*.



Obr. 36. Nastavení výpočetní oblasti

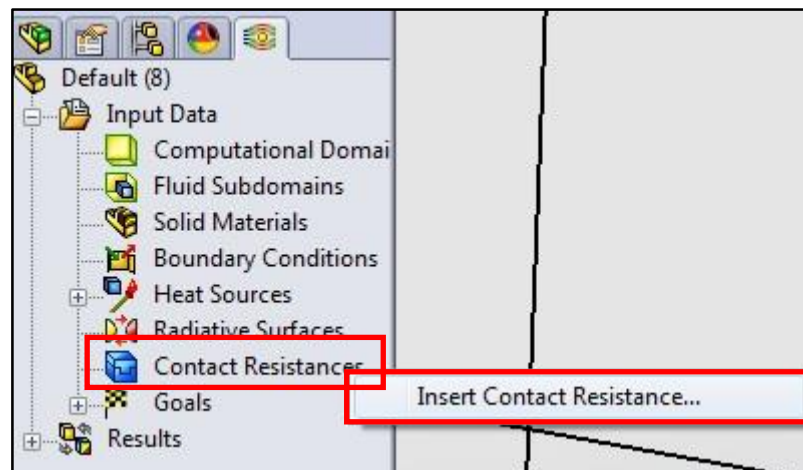
Výpočetní oblast je nastavena pro nedefinovaný pravoúhlý kvádr. Zvolení velikosti není libovolné, je nutné zahrnutí dostatečně velké oblasti, která ovlivňuje hodnoty veličin, které jsou předmětem měření. Rozdílné velikosti oblastí mohou ovlivnit výsledky výpočtu i čas výpočtu.



Obr. 37. Computational Domain

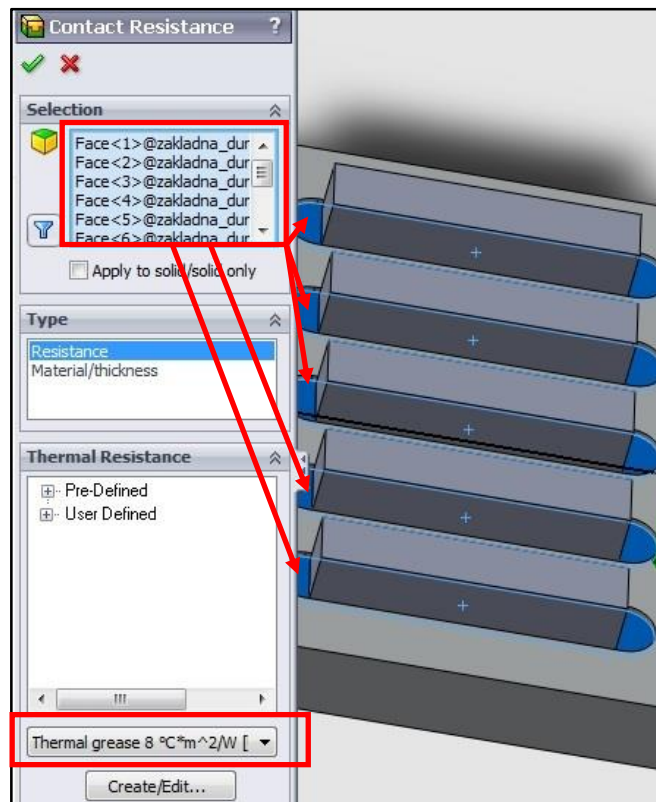
*Flow Simulation Analysis tree - Input Data - Contact Resistance - Insert Contact Resistance*

Nastavení rezistivity neboli činného odporu. Jedná se o materiálovou konstantu, která charakterizuje elektrickou vodivost látky. Nastavením této okrajové podmínky je zpřesněn výpočtový model.



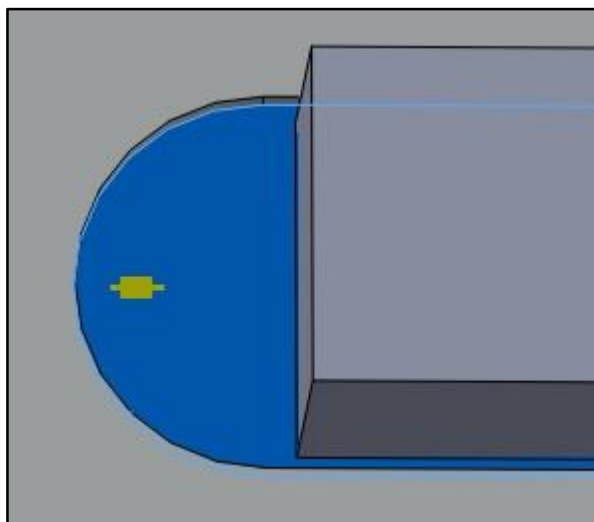
Obr. 38. Contact Resistance

Vybrání dosedacích plošek rezistorů a vložení teplovodivé pasty - *Thermal grease*.



Obr. 39. Nastavení rezistivity

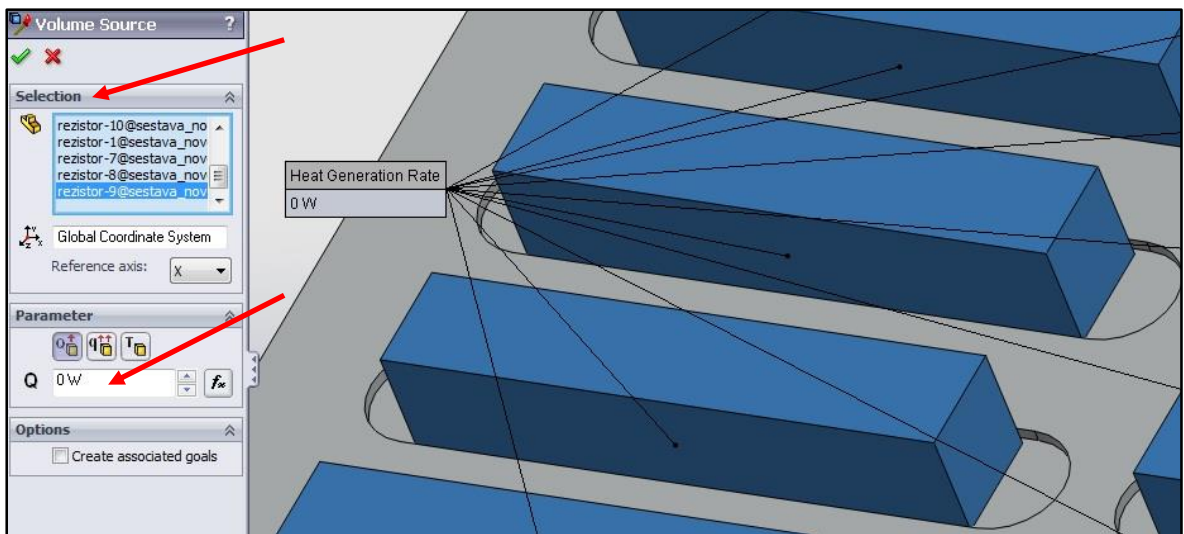
Správnost nastavení rezistivity signalizuje značka činného odporu (zvětšeno).



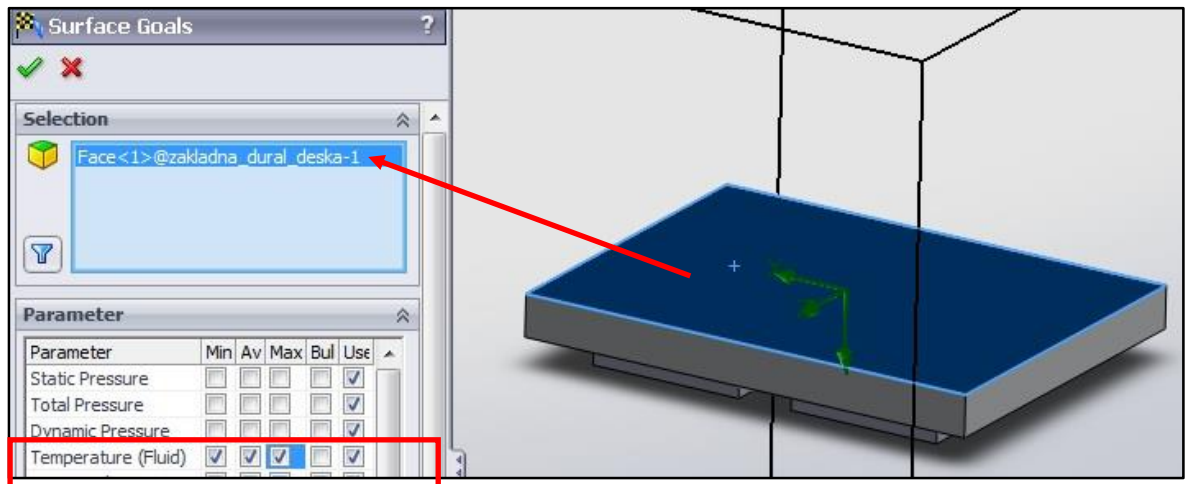
Obr. 40. Potvrzení rezistivity

*Flow Simulation Features - Volume Source.**Obr. 41. Volume Source*

Nastavení odporových těles. Vytipování jednotlivých modelů a přiřazení výkonu 10 W (resp. 5W, 2W, 1W). Tímto jsou nasimulovány elektrické tepelné ztráty.

*Obr. 42. Nastavení zdroje tepelné energie**Flow Simulation Features - Surface Goals.**Obr. 43. Surface Goals*

Nastavení cílů výpočtu. Požadavkem výpočtu je zjištění teploty a její rozložení na ploše desky, která bude odporovými tělesy zahřívána ve spodní části navrženého modelu. Je nastaven výběr pro maximální, průměrné a minimální teploty dle obrázku.



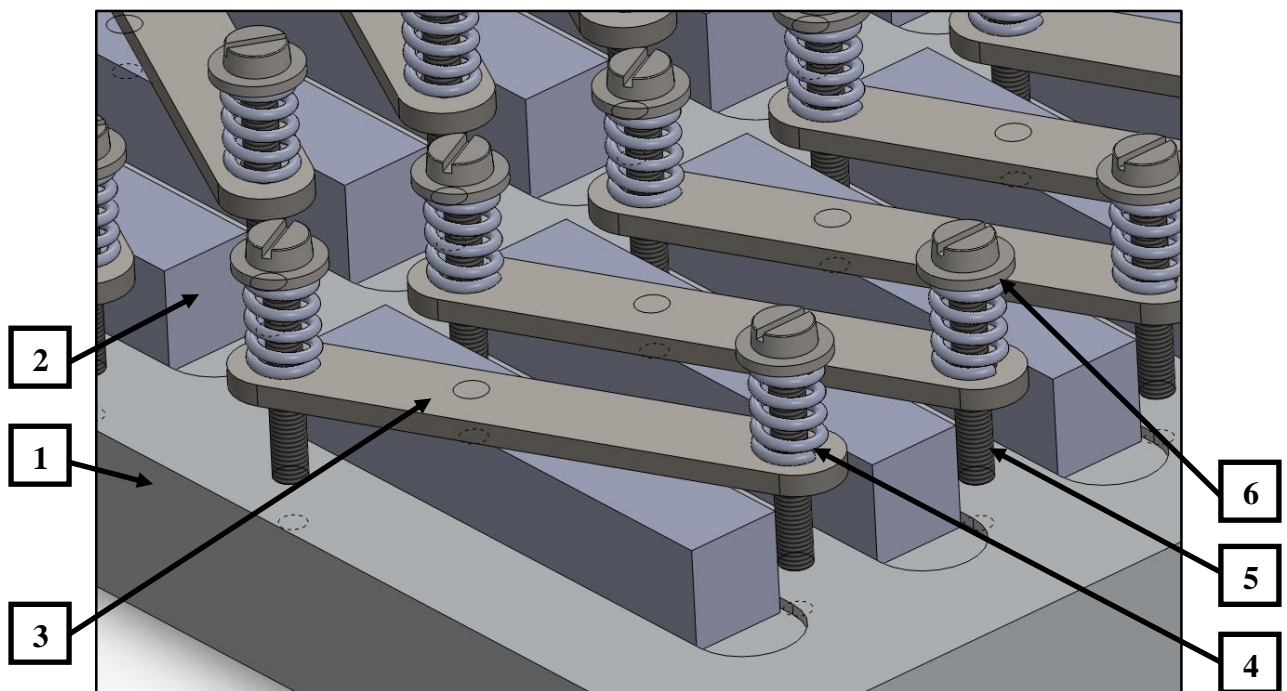
Obr. 44. Nastavení cílů výpočtu



## 8 NÁVRHY VARIANT A SESTAVENÍ PŘÍPRAVKU

Požadavkem je navržení celkové sestavy konstrukčního přípravku, včetně řešení a uchycení rezistorů k dané základní desce. Konstrukční přípravek by měl umožňovat nastavení ve dvou rovinách. Bakalářská práce navrhuje dvě varianty uchycení rezistorů, s výběrem jedné z nich pro vlastní realizaci.

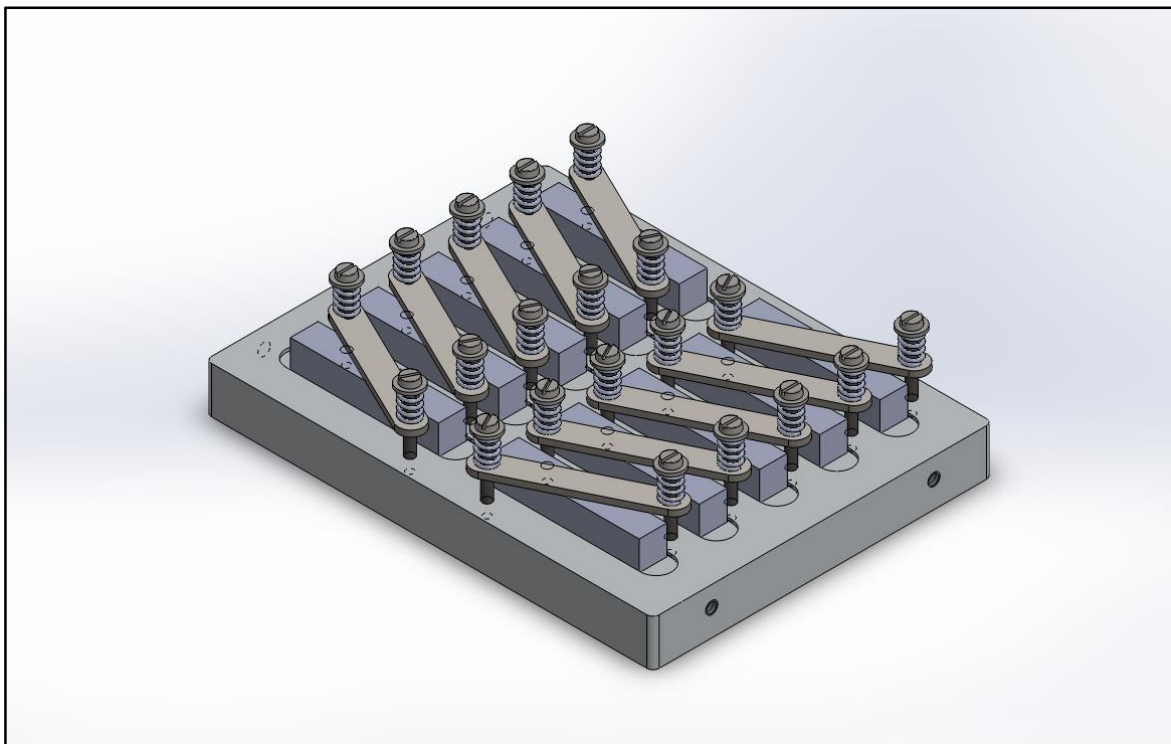
### 8.1 Návrh č. 1 - uchycení rezistorů pomocí pružinových plechů



Obr. 45. Uchycení rezistorů pomocí pružinových plechů

- 1- základní deska
- 2- rezistor
- 3- pružinový plech
- 4- pružina
- 5- šroub
- 6- podložka

V prvním případě je navrženo uchopení rezistorů pomocí tzv. pružinových plechů. Jde o vyvrtání děr mezi jednotlivými odporovými tělesy a následné zpevnění pomocí pružinového pásku, podložky a šroubů.



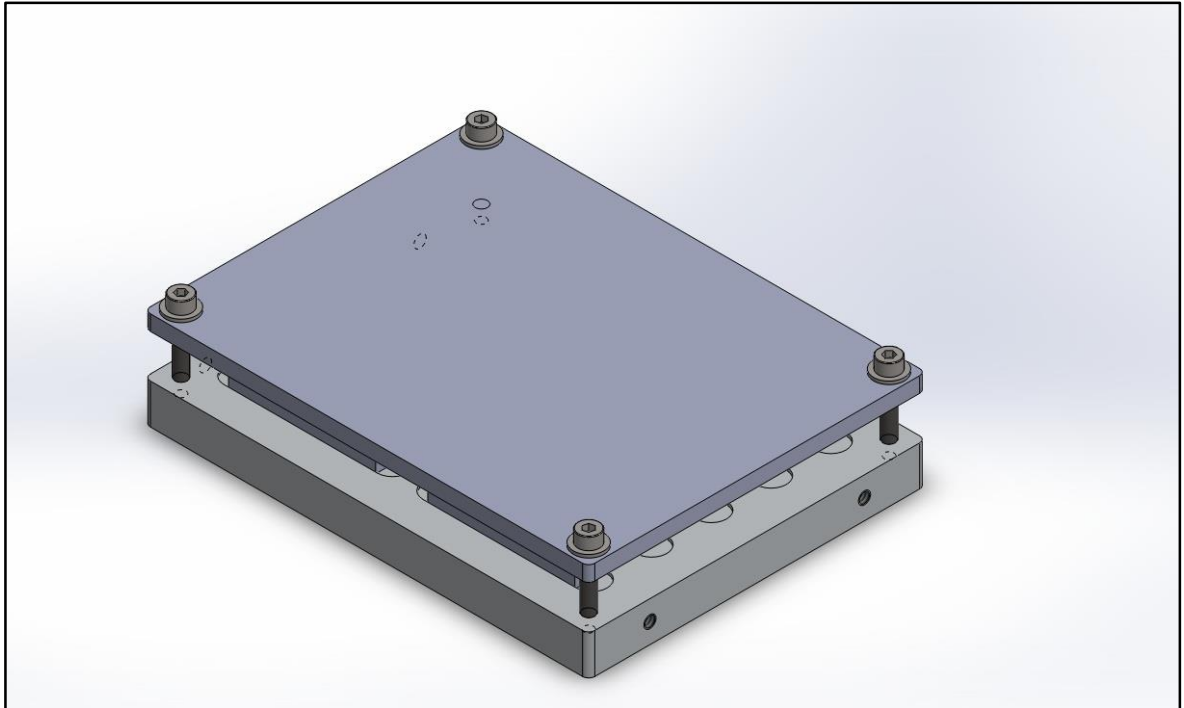
*Obr. 46. Celkový pohled*

Tento způsob je výrobně náročnější a komplikovanější, jelikož pro každý rezistor je třeba vyvrtat dva otvory. Následná montáž jednotlivých komponentů je v tomto případě časově náročnější. Výhodou tohoto způsobu je však výměna při závadě jednotlivých rezistorů. Není třeba demontovat celou řadu rezistorů. Stačí pouze výměna vadného rezistoru. Tento způsob uchycení je i pevnější a bezpečnější.

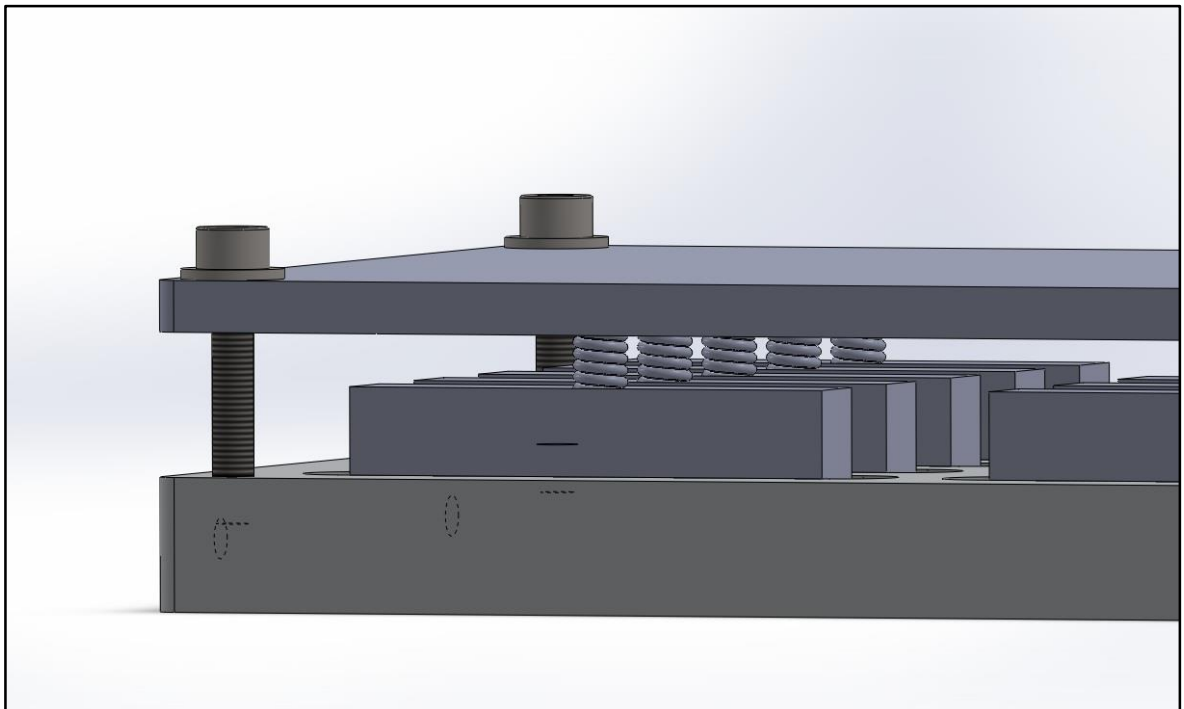
## **8.2 Návrh č. 2 - přidržování pomocí pružin**

Druhým případem, je přidržování rezistorů pomocí pružin. V tomto návrhu jsou vyvrtány díry pouze v rozích základní desky, které budou sloužit k dotažení horní desky.



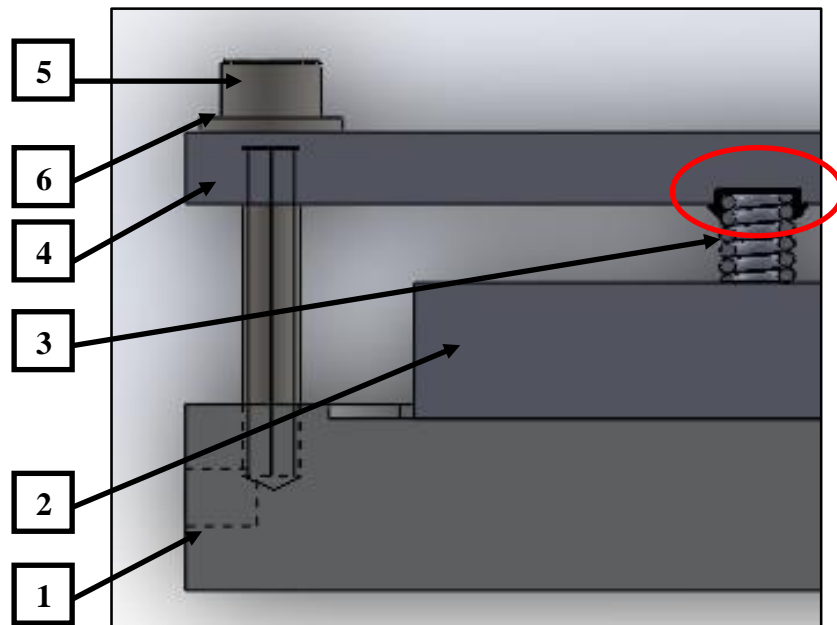


*Obr. 47. Přidržování pomocí pružin*



*Obr. 48. Boční pohled*

Tento způsob je výrobně jednodušší, jednotlivé pružiny jsou připájeny k horní desce, do které jsou předem jemně vyfrézovány plošky pro lepší ustavení jednotlivých pružin. Následně je vrchní deska dotažena šrouby tak, aby poloha rezistorů byla zafixována.



Obr. 49. Detailnější pohled montáže a ustavení

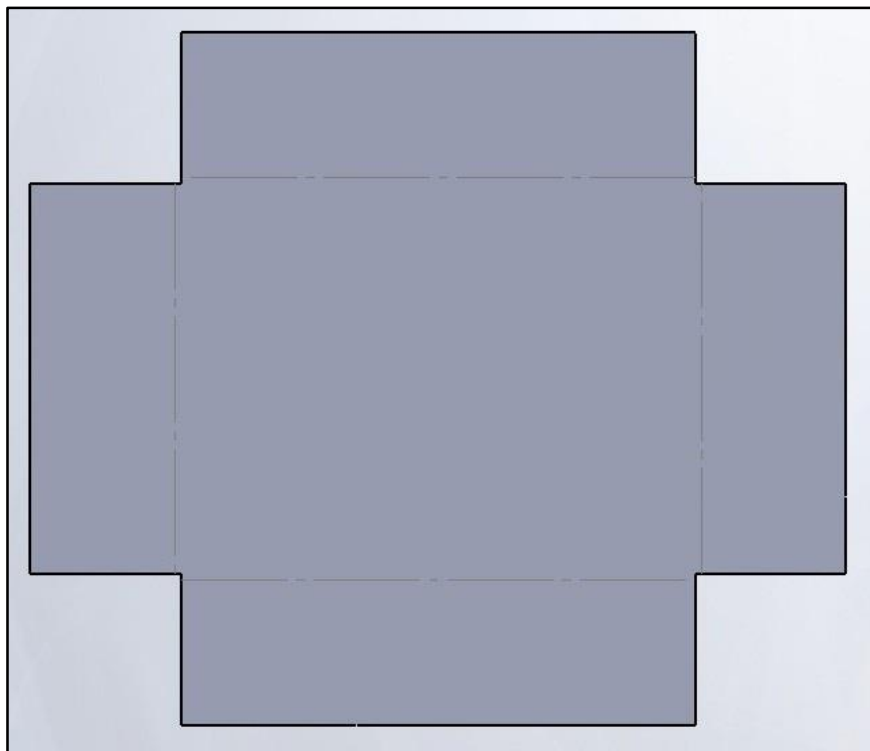
- 1- základní deska
- 2- rezistor
- 3- připájená pružina
- 4- horní deska
- 5- šroub
- 6- podložka

Tento případ ustavení rezistorů je výrobně a časově méně náročný. Nevýhodou tohoto způsobu je možnost snadného uvolnění a vypadnutí rezistorů při hrubé či neopatrné manipulaci s přípravkem.

### 8.3 Sestavení přípravku

Navržené sestavení i montáž konstrukce lze uplatnit pro obě zmíněné varianty. Pro celkovou sestavu přípravku bylo vybráno uchopení pomocí pružinových plechů. Důvodem je bezpečnější manipulace s přípravkem.

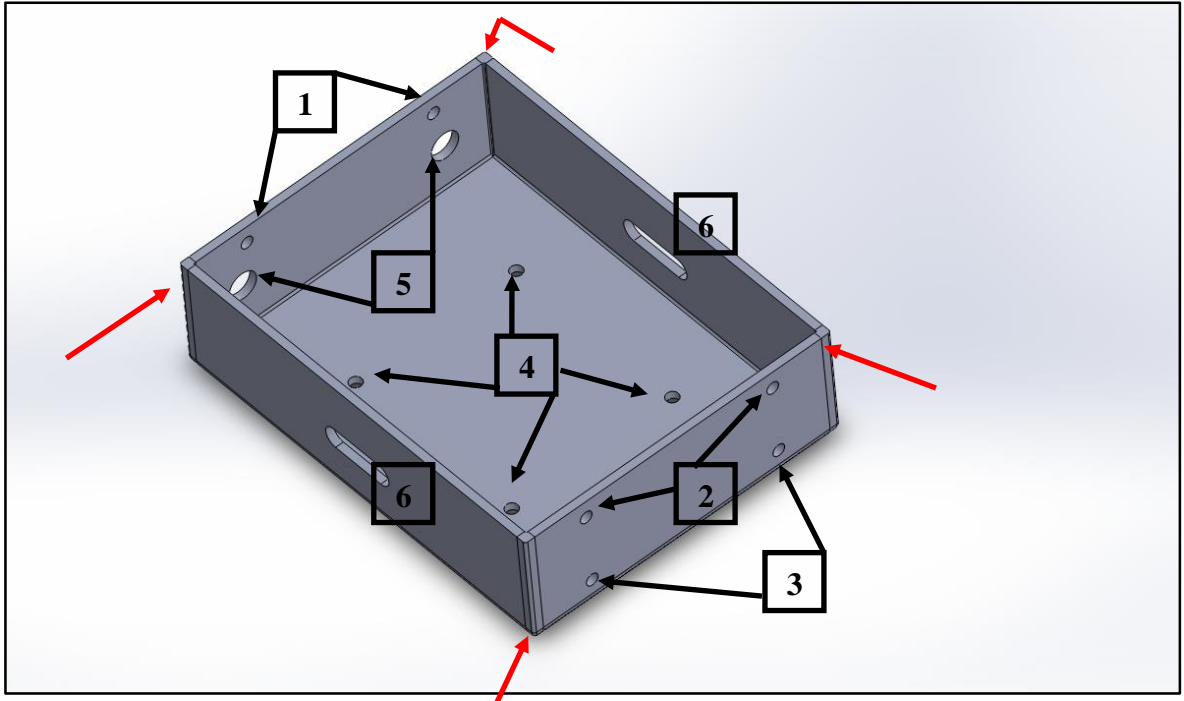
#### 8.3.1 Navržení ochranného krytu



*Obr. 50. Návrh ochranného krytu*

Materiál ochranného krytu je navržen z plechu válcovaného za studena EN 10131 DC 01. Polotovarem je pás o tloušťce 3mm, který bude dále zastřížen a opracován na požadované rozměry dle výkresové dokumentace v příloze.

Po přípravě polotovaru na dané rozměry se provede přehnutí okrajů do krabice a její svaření v rozích koutovým svarem. Následně se vyvrtají příslušné otvory a vyrobí drážky dle výkresové dokumentace.



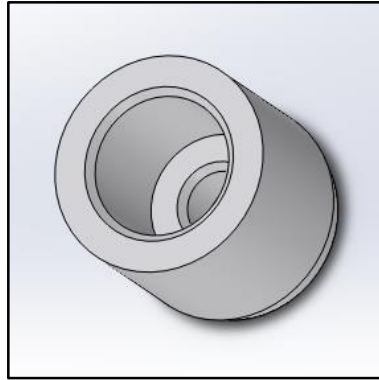
Obr. 51. Složený kryt

Specifikace jednotlivých otvorů respektive drážek:

- 1- díry pro montáž ochranného krytu se základní deskou
- 2- díry pro montáž ochranného krytu se základní deskou včetně keramických patek
- 3- díry pro montáž keramických patek (boční)
- 4- díry pro montáž keramických patek (spodní)
- 5- díry pro montáž prvků sloužící k přenosu přípravku
- 6- vyfrézované drážky pro možnost připojení regulátoru a panelu zobrazování teploty

### 8.3.2 Navržení keramické patky

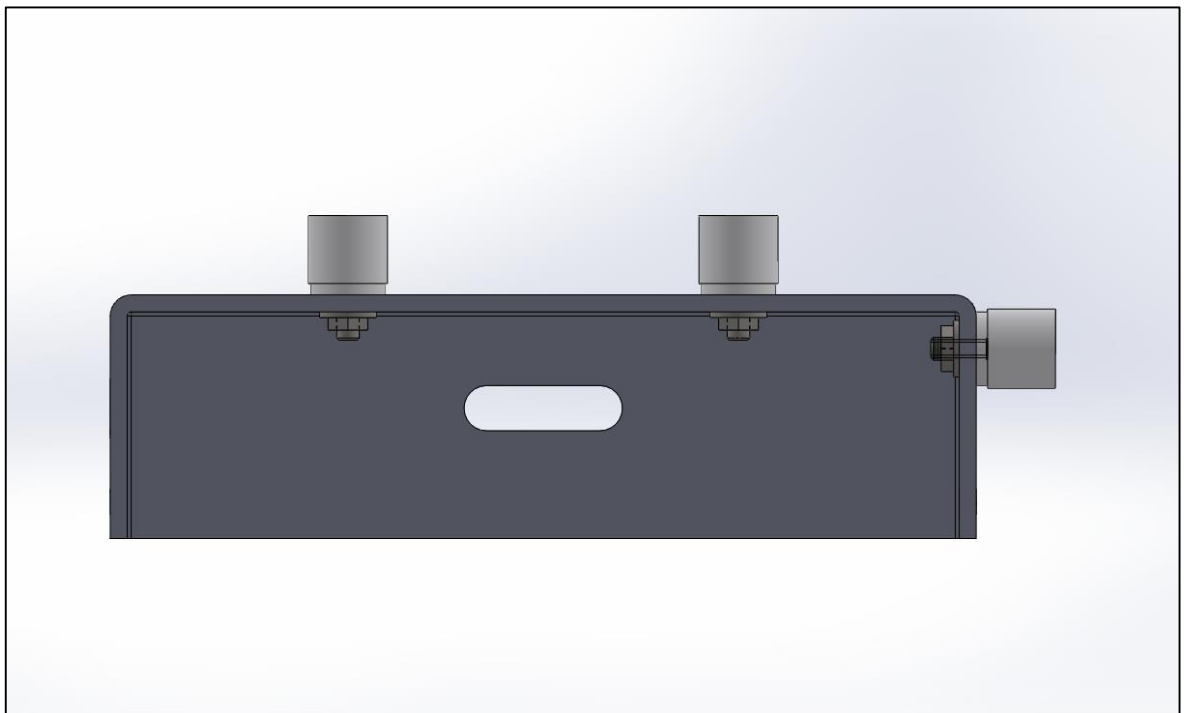
Keramické patky slouží jako podstava přípravku. K ochrannému krytu jsou připevněny šrouby s vnitřním šestihranem. Patka je navržena tak, aby hlava šroubu byla zapuštěná uvnitř, z důvodů ochrany před popálením (podstavy, respektive při dotyku).



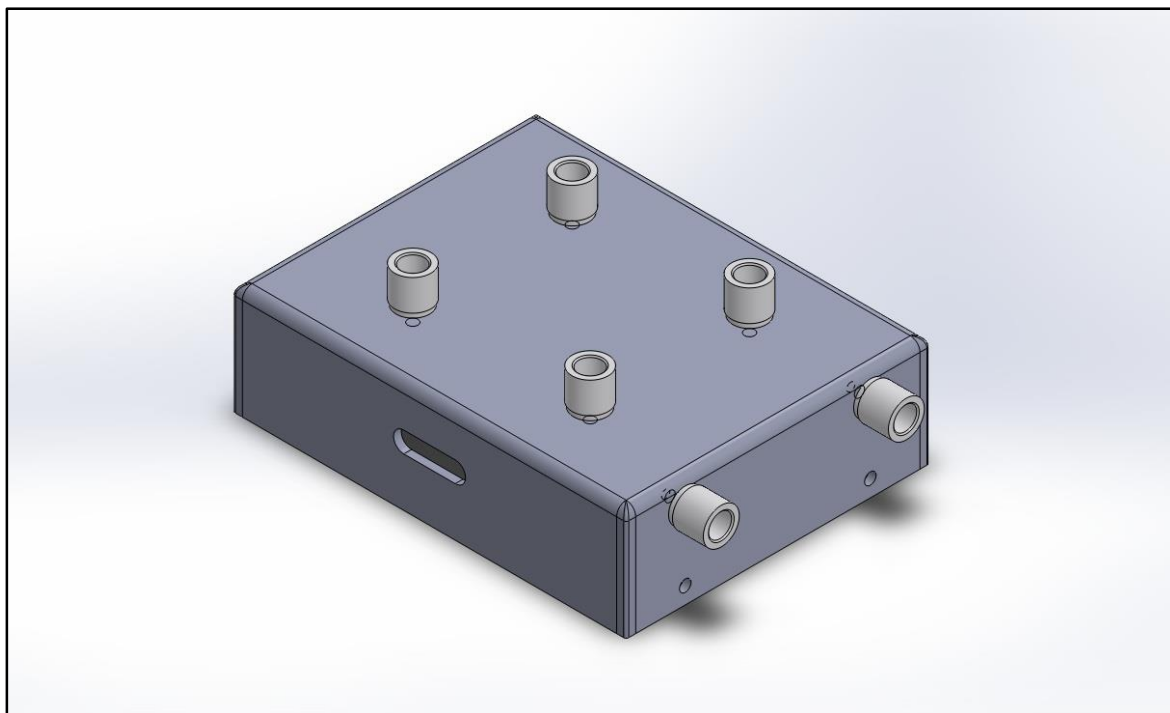
*Obr. 52. Keramická patka*

### 8.3.3 Montáž patek na ochranný kryt

Přípravek obsahuje celkem osm keramických patek. Šest keramických patek je montováno samostatně, další dvě patky se upevňují se základní deskou.



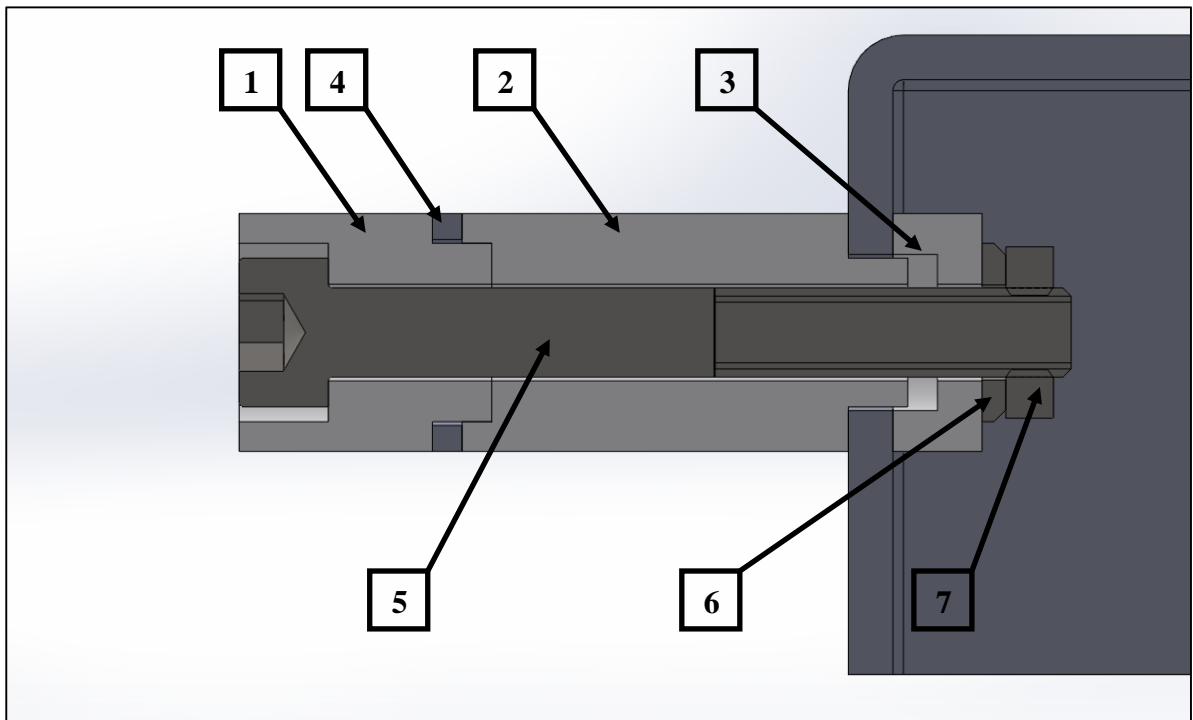
*Obr. 53. Schéma upevnění*



*Obr. 54. Pohled na spodní část přípravku*

### 8.3.4 Montáž úchopu pro přenos přípravku

Při průchodu elektrického proudu rezistory dochází k uvolňování tepla, které je přenášeno do tělesa přípravku. Pro odizolování a také pro manipulaci při měření je do sestavy navržen úchop.

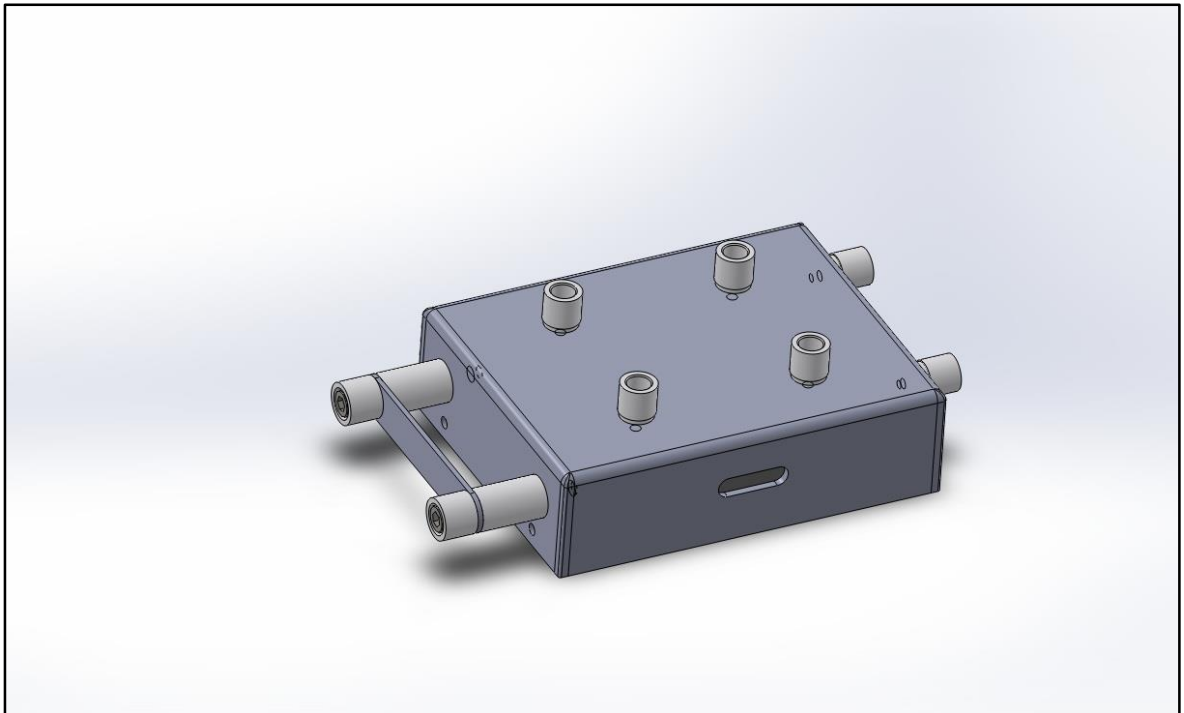


Obr. 55. Pohled úchopu v řezu

Specifikace jednotlivých komponentů:

- 1- keramická vložka - horní
- 2- keramická vložka - střední
- 3- keramická vložka - spodní
- 4- plechový pásek pro úchop
- 5- šroub
- 6- podložka
- 7- matice

Upevňovací prvek se skládá ze tří keramických vložek (1, 2, 3), přičemž mezi keramickou vložkou (1) a (2) je vložen plechový pásek (4), který slouží k vlastnímu přenosu přípravku. Uvedený systém slouží pro eliminaci přechodu tepla do úchopné části. Uvedené keramické vložky jsou zajištěny šroubem s vnitřním šestihranem (4), pružnou podložkou (5) a maticí (6).

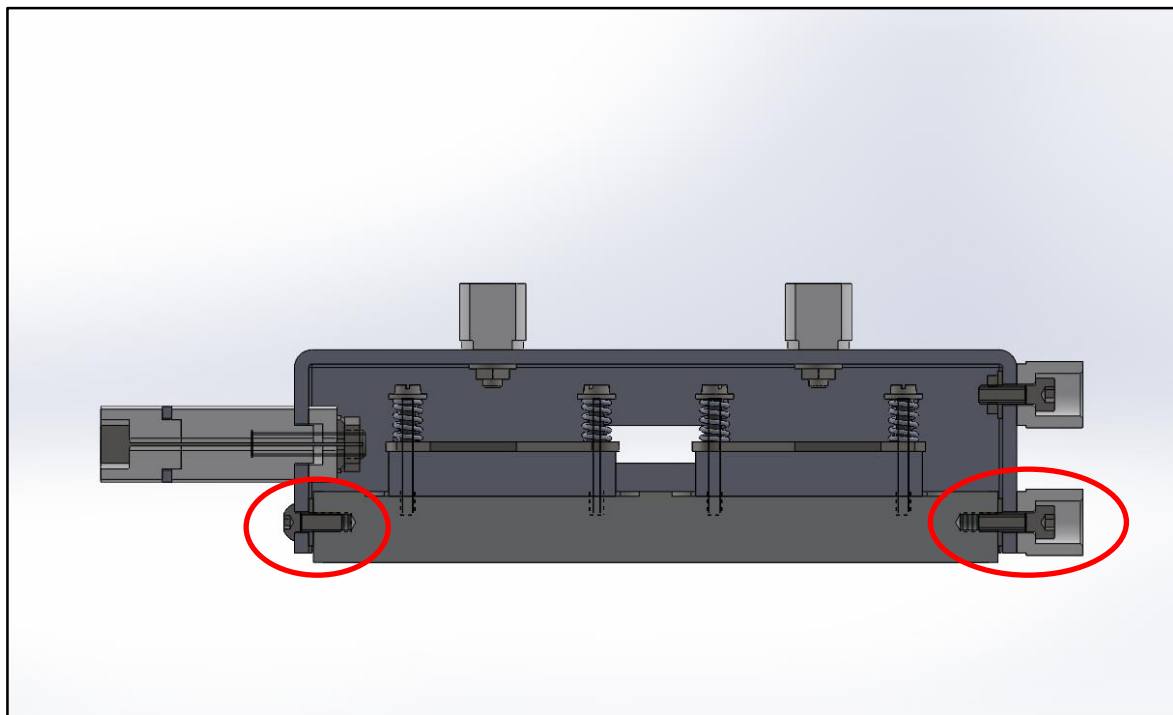


*Obr. 56. Výsledná montáž úchopu*

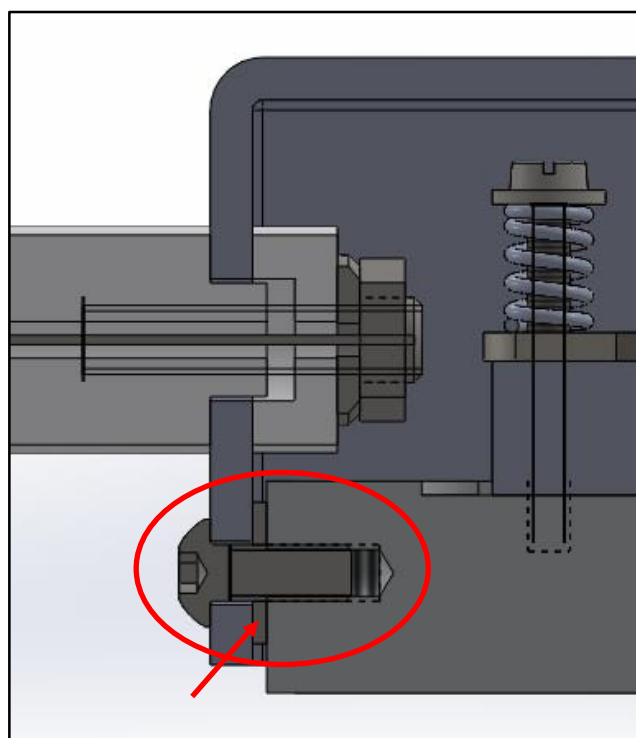


### 8.3.5 Montáž základní desky

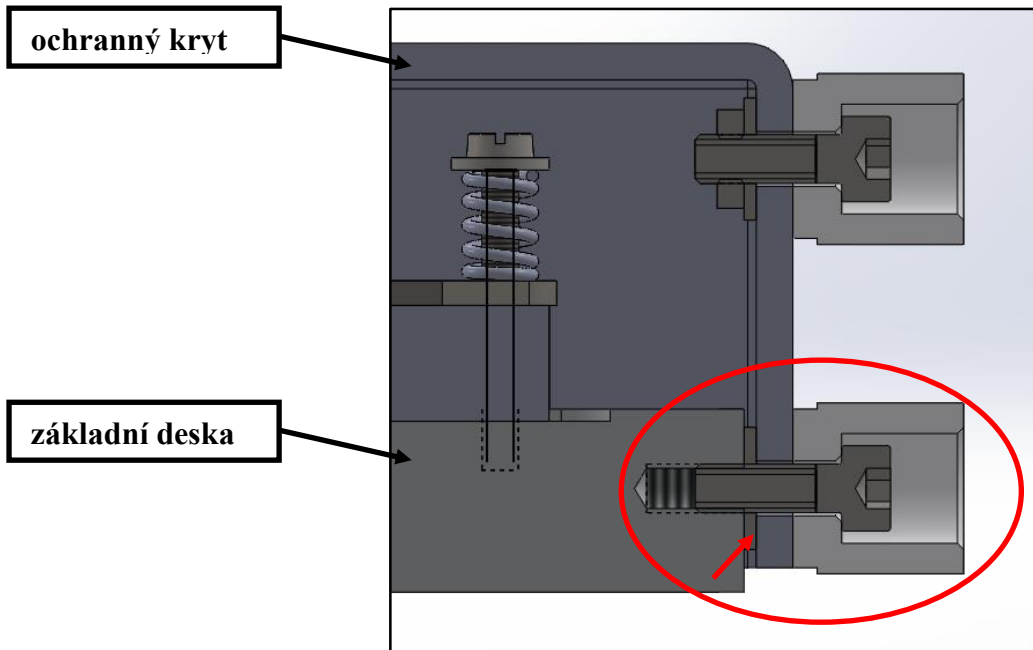
Poslední část k sestavení celkového přípravku. Připevněním zbývajících patek a dalších dvou šroubů je dokončena celková montáž přípravku.



Obr. 57. Pohled v řezu montáže základní desky



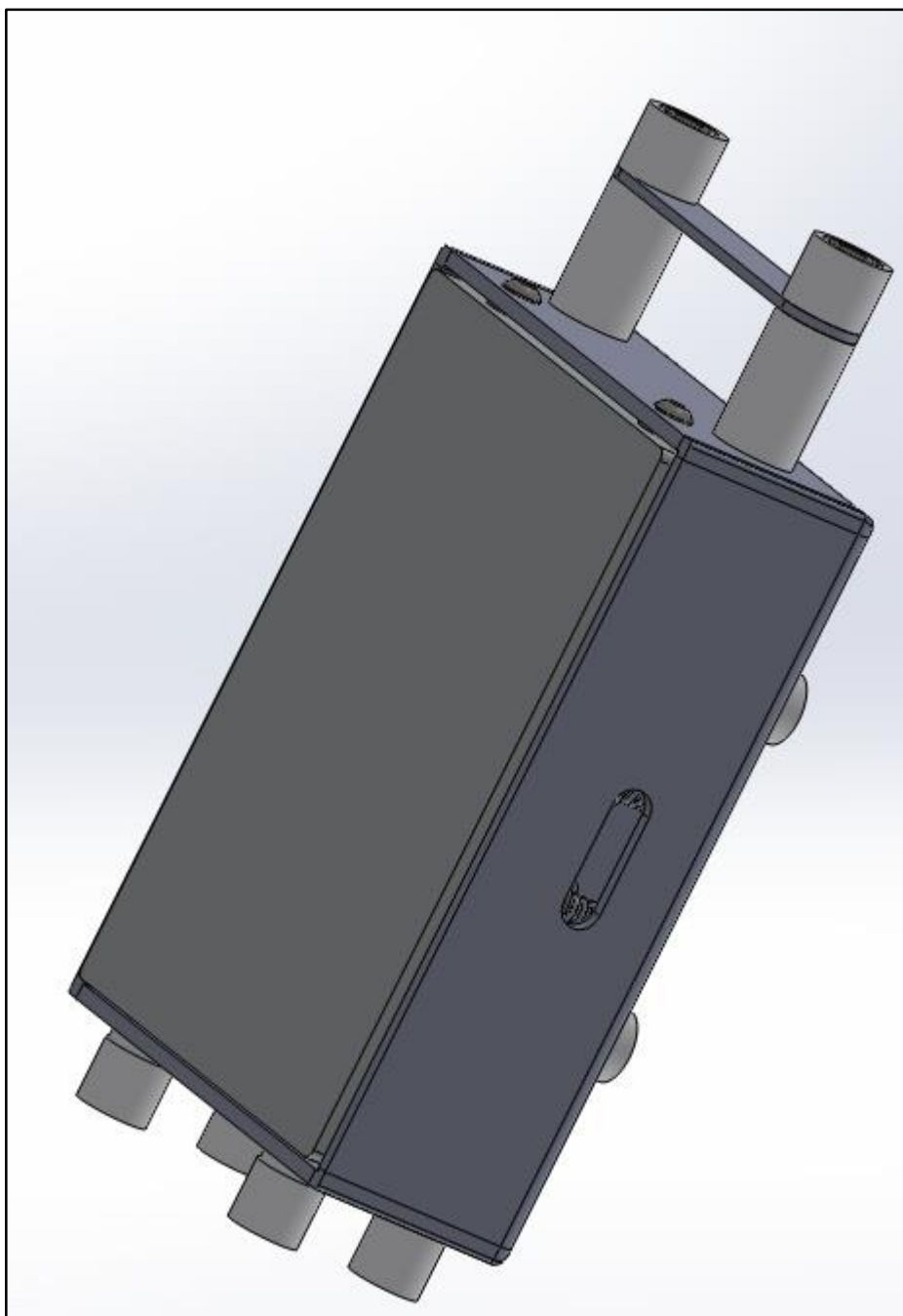
Obr. 58. Připevnění krytu k základní desce



*Obr. 59. Připevnění krytu k základní desce včetně montáže podstavných patek*

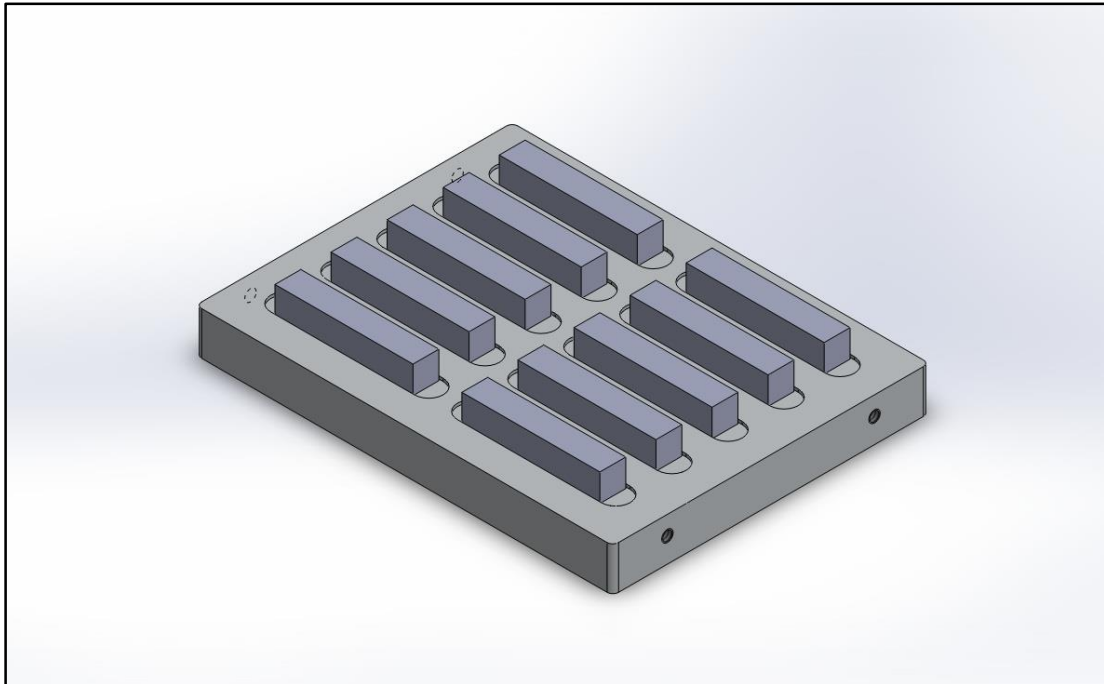
Mezi deskou a ochranným krytem je vložena podložka viz šipka, z důvodu zamezení vedení příliš velkého tepla do ochranného krytu.

### 8.3.6 Konstrukční přípravek - celkový pohled



*Obr. 60. Sestavený konstrukční přípravek*

## 9 VÝSLEDKY SIMULACE



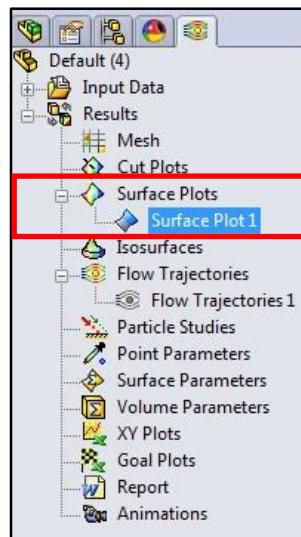
Obr. 61. Základní deska s rezistory

V praktické části se simulace a výpočty týkají pouze základní desky, nikoliv celkové navržené sestavy. Analogií může být žehlička, kdy není řešena simulace celé žehličky, ale pouze její žehlicí části.

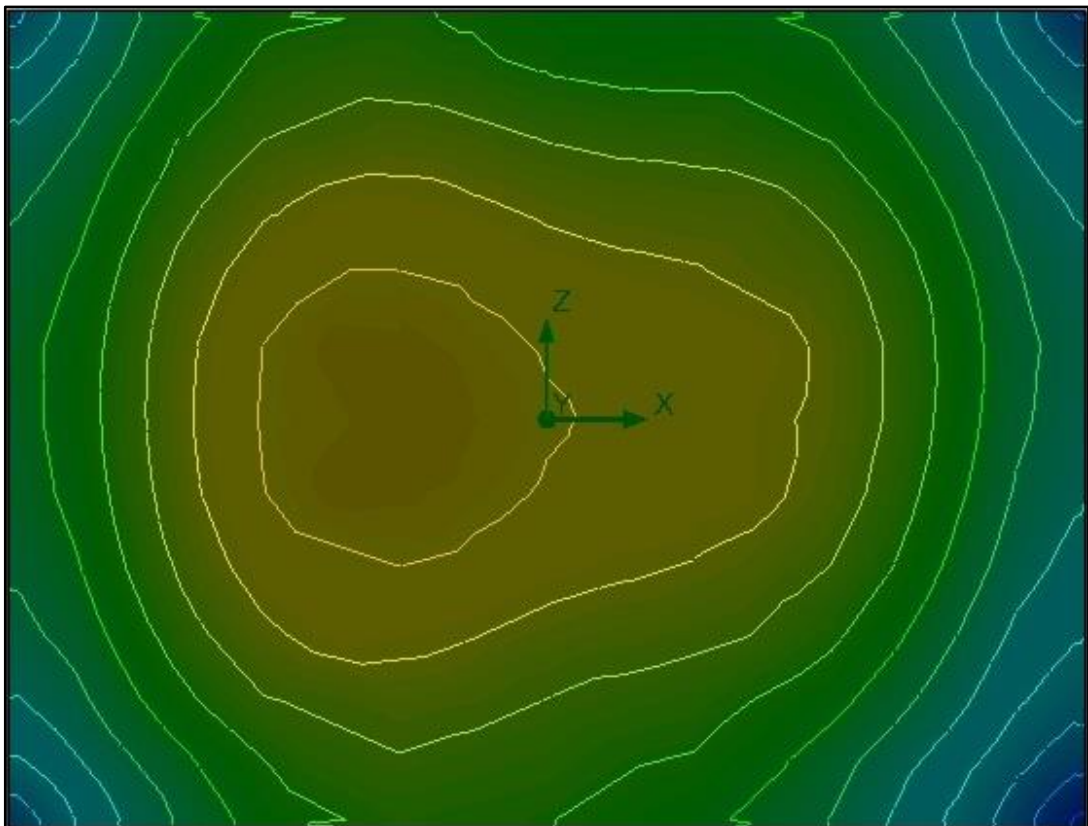
Výpočty byly provedeny pomocí příkazu *Run/Solve*. Doba trvání se pohybuje v řádech od několika minut až po desítky hodin v závislosti na složitosti a komplikovanosti navrženého modelu. Spolurozhodujícími faktory, které ovlivňují délku výpočtu patří i nastavený počet cílů výpočtu, počet vygenerovaných buněk sítě a výkonnost výpočetní techniky.

Obrazová prezentace získaných výsledků:

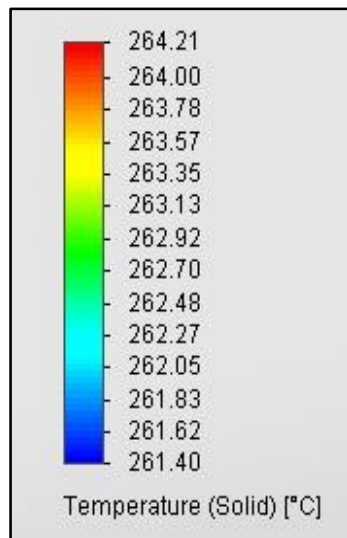
*Flow Simulation Analysis tree - Results - Surface Plot - Show.*



*Obr. 62. Surface Plot*



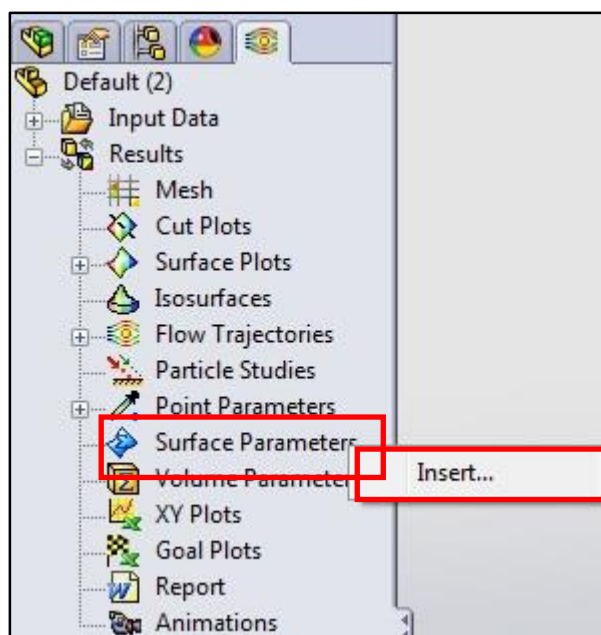
*Obr. 63. Zobrazení simulace zahřívání desky*



Obr. 64. Rozmezí teplot

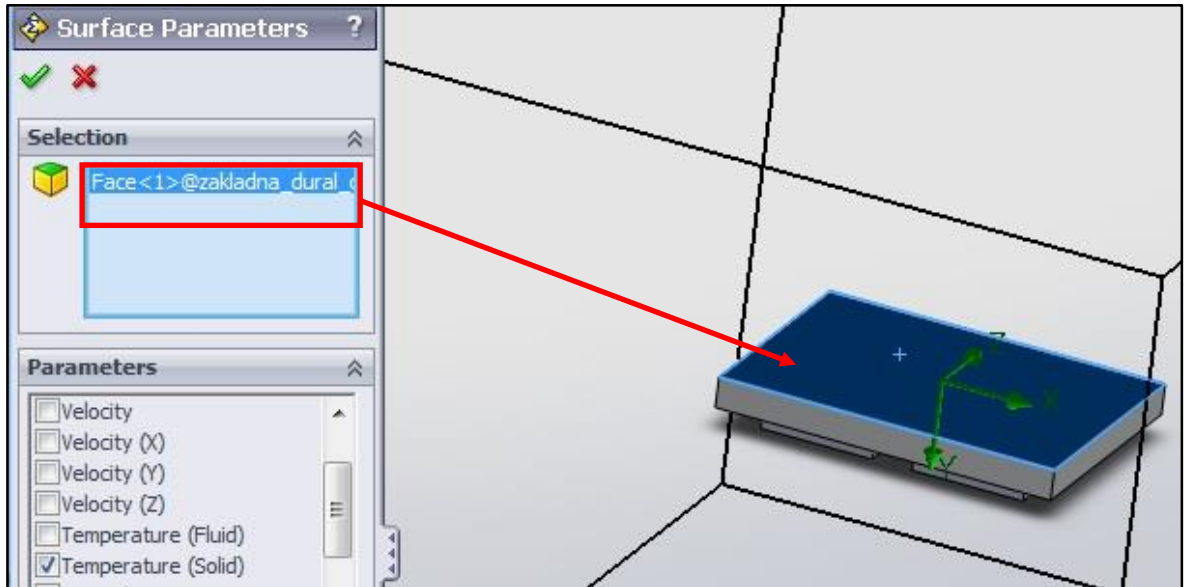
Ze znázorněného přehledu teplotních pásem je patrné, že okraje dosahují nižších teplot než střední část desky. Je to z toho důvodu, že okraje desky jsou více vzdáleny od zdroje tepla. Dle zobrazení simulace se teplota pohybuje v rozsahu cca 261 °C až 264 °C.

Pro přesnější zjištění rozdílu teplot bude využito funkce *Flow Simulation Analysis tree - Results - Surface Parameters - Insert*.



Obr. 65. Surface Parameters - Insert

Dle obrázku je na přípravku vybrána plocha a proveden výběr parametru Temperature (Solid).



Obr. 66. Nastavení zobrazení max., min. a průměrné teploty

Výsledky mohou být zobrazeny dvojm způsobem. Přímo v softwaru *SolidWorks* - příkazem *Show* nebo provedením exportu do MS Office Excel - *Export to Excel* ve formě tabulky viz níže.



Obr. 67. Zobrazení výsledků

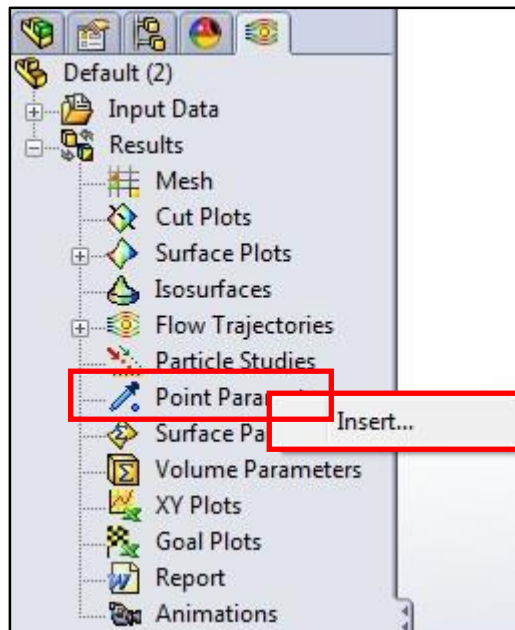
Dosažené výsledky ukazují, že rozdíl teplot je malý a činí 1,7 stupně Celsia. Tento rozdíl je pro praktické využití přijatelný.

Parameter	Minimum	Maximum	Average
Temperature (Solid) [°C]	261,9	263,6	262,8

Tab. 7. Zobrazení max.,min. a průměrné teploty

Zobrazení teplot v jednotlivých bodech vyhřívané desky je důležitým prvkem simulace. Tento výsledek exaktně popisuje rozložení teplotního pole. Pro takové zobrazení je využito následujícího postupu.

*Flow Simulation Analysis tree - Results - Point Parameters - Insert.*



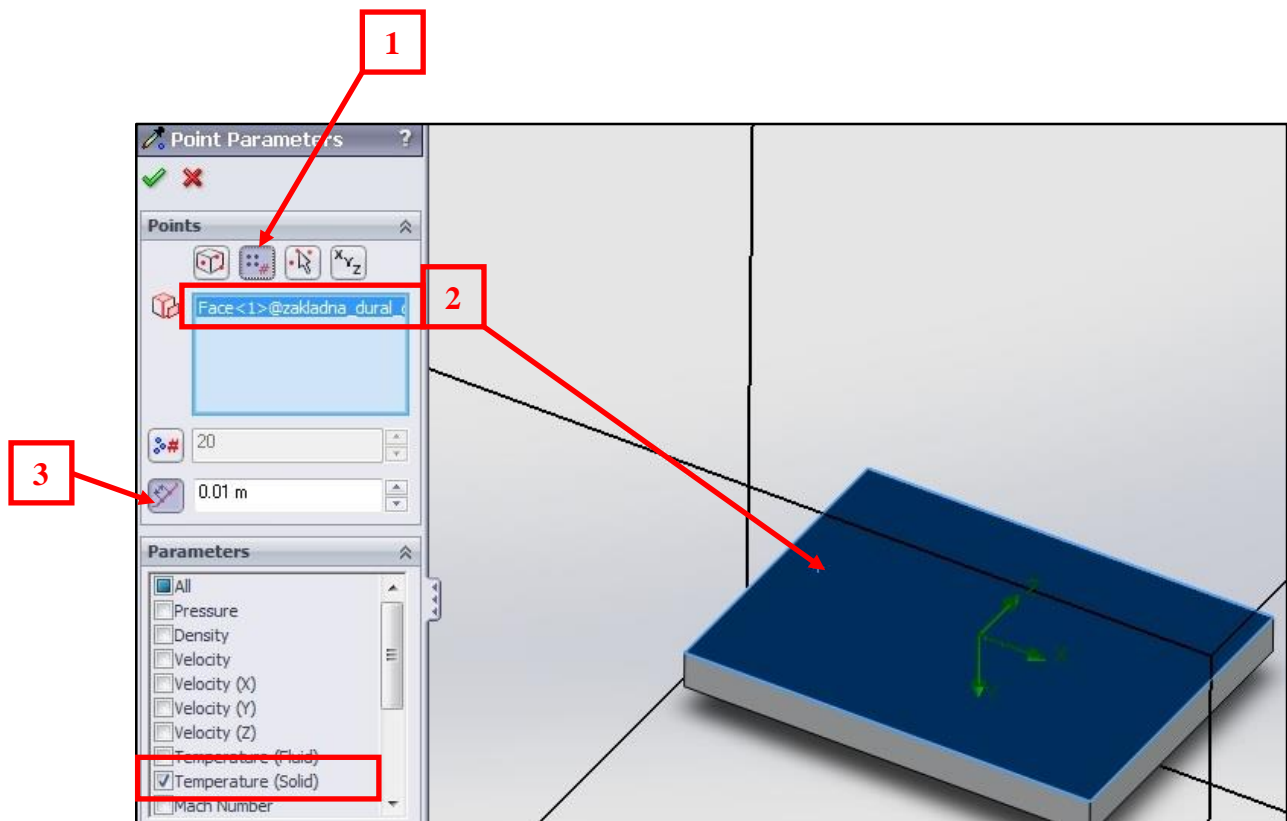
*Obr. 68. Point Parameters - Insert*

Tento postup zobrazení je proti předchozímu složitější.

Obsahuje následující kroky:

- 1- výběr příkazu *Pattern*, který zobrazuje pole bodů
- 2- volba plochy přípravku pro teplotní zobrazení
- 3- výběr příkazu *Spacing*, pro nastavení vzdálenosti jednotlivého pole bodů
- 4- výběr parametru *Temperature (Solid)*



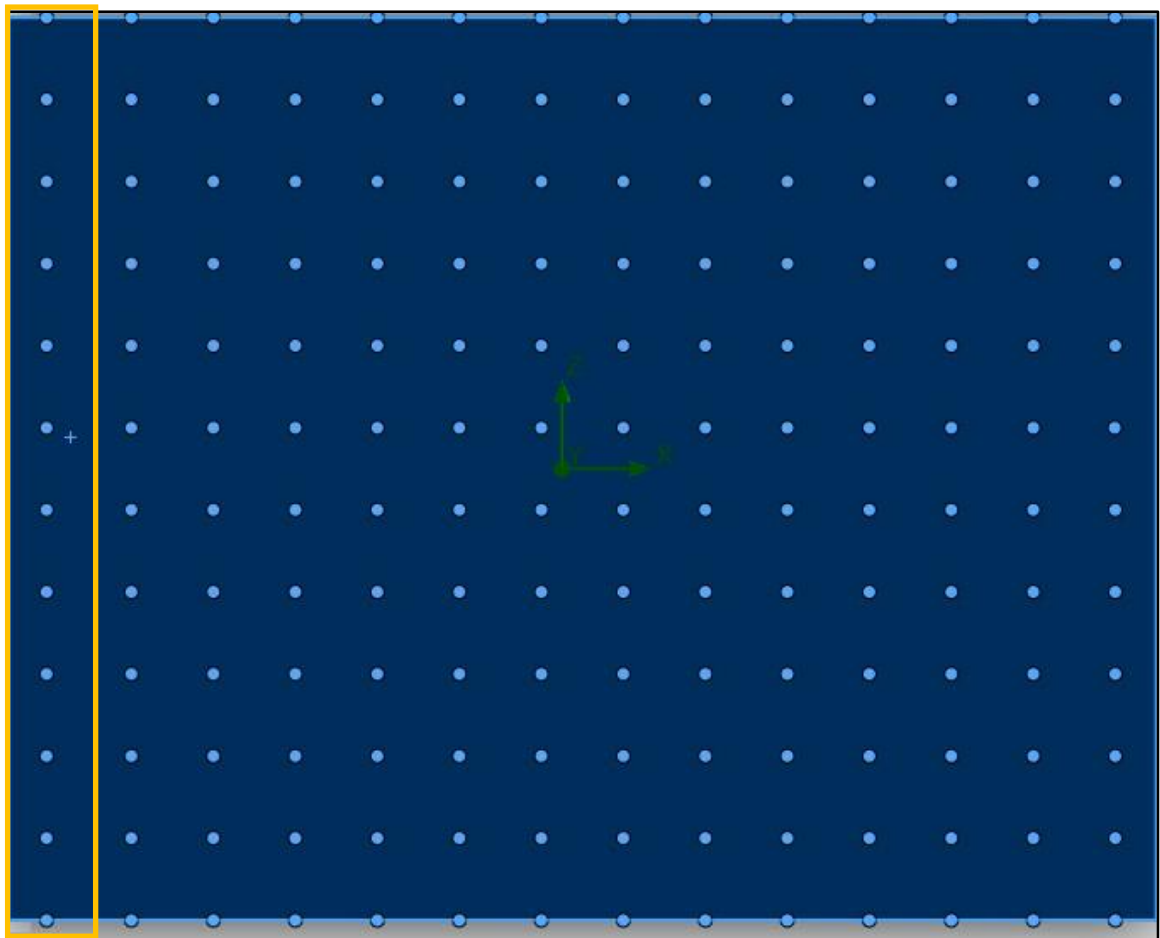


Obr. 69. Nastavení jednotlivých příkazů

Výsledky mohou být obdobně zobrazeny přímo v softwaru *SolidWorks* - příkazem *Show* nebo provedením exportu do MS Office Excel - *Export to Excel* ve formě tabulky viz níže.



Obr. 70. Zobrazení výsledků



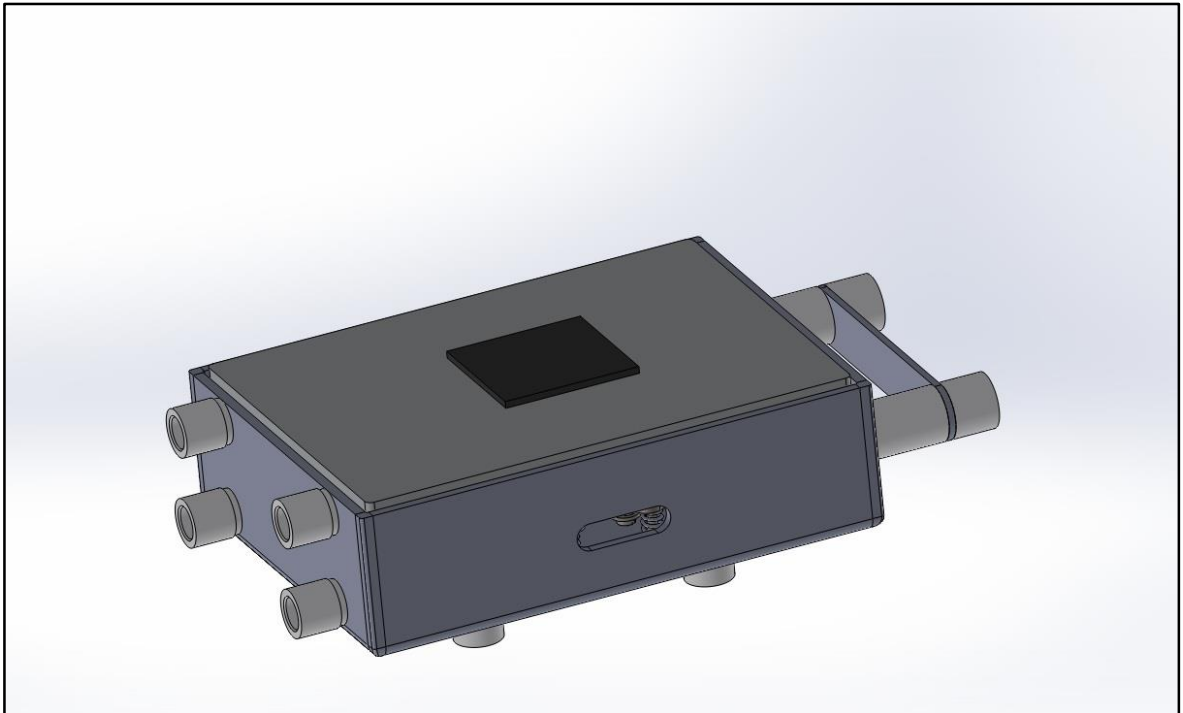
Obr. 71. Pole bodů

Výsledky výběru pro první sloupec teplotního pole jsou uvedeny níže ve formě tabulky. Údaje pro ostatní jednotlivé body teplotního pole jsou dokumentovány v příloze této bakalářské práce.

x [m]	y [m]	z [m]	Temperature (Solid) [°C]
-0,06	0	0,05	262,2
-0,06	0	0,04	262,4
-0,06	0	0,03	262,5
-0,06	0	0,02	262,8
-0,06	0	0,01	262,7
-0,06	0	0,01	262,8
-0,06	0	0	262,8
-0,06	0	-0,02	262,8
-0,06	0	-0,02	262,7
-0,06	0	-0,03	262,6
-0,06	0	-0,04	262,4
-0,06	0	-0,05	262,3

Tab. 8. Rozložení teplotního pole pro první sloupec

## 10 MĚŘENÍ POMOCÍ PŘÍPRAVKU



*Obr. 72. Měření pomocí přípravku*

- 1- měřený vzorek je položen na povrch desky, předpokládaná tloušťka je v rozmezí 1 až 5 mm
- 2- následuje prohřátí vzorku
- 3- teplota na povrchu je měřená kontaktně
- 4- porovnání teploty se záznamem termovizní kamery
- 5- hodnota relativní emisivity je v kameře upravena tak, aby teplota získaná z kamery byla shodná z teplotou z kontaktního měření

## ZÁVĚR

Teoretická část práce byla zaměřena na objasnění pojmů tepla, teploty, souvisejících termodynamických zákonů a měřicí metody. Byl zdůvodněn požadavek na zpřesnění stanovení relativní emisivity pro potřeby měření teploty pomocí termovizní kamery.

Praktická část ukazuje konstrukční návrh přípravku pro určování relativní emisivity. Přípravek pracuje na principu rovnoměrného ohřevu testovaného vzorku materiálu při současném měření termovizní kamerou a kontaktním měřidlem teploty. Přesnost nastavení relativní emisivity je dána možnostmi korekčního nastavení termovizní kamery a přesností kontaktního měřidla. Z rozborů simulací pro příkony na jednotlivých odporech 10W, 5W, 2W, 1W vyplývá, že maximální dosažená teplota je 263,6 °C. Při nižších příkonech je teplota 163,6 °C, 60,6 °C a 45 °C. Měřicí deska přípravku byla prohřátá s přesností 1,7 °C, přičemž s přesností pod 1 °C byla prohřátá nejmenší procentuální část povrchu. Na základě simulací lze konstatovat, že přípravek může sloužit pro nastavování relativní emisivity u většiny současných termovizních kamer, kde přesnost měření nebývá lepší jak 1 °C.

Součástí práce je kompletní výkresová dokumentace a tabulka rozložení teplot na povrchu desky.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Matematicko-fyzikální fakulta UK: Vnitřní energie soustavy a její změna [online]  
[http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/molekul/2\\_2](http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/molekul/2_2)
- [2] K. Rusňák: Teplo, práce a 1. věta termodynamiky [online]  
<http://www.kfy.zcu.cz/dokumenty/FYI1/teplo.pr.1.veta.pdf>
- [3] RNDr. Martin Bojkovský: Termodynamika. [online]  
<http://fikus.omska.cz/~bojkovsm/termodynamika/>
- [4] Etymology dictionary: Entropy [online]  
<http://www.etymonline.com/index.php?term=entropy>
- [5] Dalibor Skácel: Co to je entropie? [online]  
<http://www.tzb-info.cz/925-co-to-je-entropie>
- [6] Miloš Balátě: Entropie, informace a inteligentní plán. [online]  
<http://vira-a-veda.webnode.cz/entropie-informace-a-inteligentni-plan/>
- [7] Jozef Kvasnica: Termodynamika. Praha : SNTL/SVTL, 1965.
- [8] Institut Galenus: Termodynamické zákony. [online]  
<http://galenus.cz/clanky/biochemie/biochemie-bioenergetika-termodynamika>
- [9] Encyklopedie fyziky: Třetí termodynamický zákon. [online]  
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/620-treti-termodynamicky-zakon>
- [10] Michal Varady: Úvod do termodynamiky. [online]  
[http://physics.ujep.cz/~mvarady/td\\_lecture\\_1.pdf](http://physics.ujep.cz/~mvarady/td_lecture_1.pdf)
- [11] Gymck: Úvod do termodynamiky. [online]  
[http://www.gymck.cz/storage/1327301197\\_sb\\_8b\\_fy\\_vnitri\\_energie\\_teplo.pdf](http://www.gymck.cz/storage/1327301197_sb_8b_fy_vnitri_energie_teplo.pdf)
- [12] Techmania: Vedení - kondukce tepla. [online]  
[http://techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=309](http://techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=309)

- [13] ČVUT FSV: Vedení tepla - kondukce. [online]  
[http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2\\_Vedeni\\_tepla.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2_Vedeni_tepla.pdf)
- [14] Ekovoice: Kondukce. [online]  
<http://www.ekovoice.cz/http://www.ekovoice.cz/wp-content/uploads//2013/08/kondukceradiaceteppla2a.png>
- [15] Jozef Rosina, Jana Vránová, Hana Kolářová, Jiří Stanek: Biofyzika, Pro zdravotnické a biomedicínské obory. [online]  
[http://books.google.cz/books?id=XZGg9qKgm0QC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.cz/books?id=XZGg9qKgm0QC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [16] Techmania: Proudění - konvekce tepla. [online]  
[http://techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=311](http://techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=311)
- [17] ČVUT FSV: Konvekce. [online]  
[http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/specialiste/1/1-3\\_Proudeni\\_tepla.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-3_Proudeni_tepla.pdf)
- [18] Technická zařízení budov-TZBINFO: Varianty sálavého elektrického vytápění. [online]  
<http://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektzinou/11073-varianty-salaveho-elektrickeho-vytapani>
- [19] ČVUT FSV: Sálání tepla - radiace. [online]  
[http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4\\_Salani\\_tepla.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4_Salani_tepla.pdf)
- [20] ČVUT FSV: Kondukce, konvekce, sálání. [online]  
<http://users.fs.cvut.cz/~zitnyrud/TZA3.ppt>
- [21] ČVUT FT v Praze: Výpočet sdílení tepla při návrhu výměníku. [online]  
[http://energetika.cvut.cz/files/VTK\\_pr3\[1\].pdf](http://energetika.cvut.cz/files/VTK_pr3[1].pdf)
- [22] Technická zařízení budov-TZBINFO: Přibližný výpočet tlakové ztráty třením v potrubí. [online]  
<http://www.tzb-info.cz/1002-priblizny-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubu>

- [23] Techmania: Tepelné záření - sálání. [online]  
[http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xka  
t=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=310](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xka<br/>t=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=310)
- [24] Katedra fyziky Přf OU: Teplo a jeho měření. [online]  
[http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199\\_3\\_6%20Teplo-mereni.pdf](http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199_3_6%20Teplo-mereni.pdf)
- [25] MacaVM: Kalorimetr. [online]  
<http://macavm.blog.cz/0911/kalorimetr>
- [26] Arcibiskupské Gymnázium v Praze: Kalorimetr. [online]  
<http://beta.arcig.cz/summa/?page=view&id=364>
- [27] VŠ chemicko-technologická v Praze, Pavel Holba: Teplo-Teplota. [online]  
[https://vscht.cz/ach/pub/Teplota\\_Teplo.pdf](https://vscht.cz/ach/pub/Teplota_Teplo.pdf)
- [28] S. Šťastník, J. Hollan, R. Steuer VUT, FS Brno: Možnosti určení emisivity materiálů pomocí infračervené termografie. [online]  
<http://amper.ped.muni.cz/LW-infrared/omitky06.pdf>
- [29] Texas Tech College of Architecture: Emissivity. [online]  
<http://www.arch.ttu.edu/courses/2013/fall/5334/Students/King/10/Default.htm>
- [30] Termokamera.cz: Tabulka emisivit. [online]  
<http://www.termokamera.cz/tabulka-emisivit/>
- [31] Výzkumné centrum západočeské univerzity v Plzni: Infračervená spektrometrie. [online]  
[http://tftp.zcu.cz/files/pdf/skripta\\_kap3\\_irspektrometrie.pdf](http://tftp.zcu.cz/files/pdf/skripta_kap3_irspektrometrie.pdf)
- [32] KTEST: Základy termografie. [online]  
<http://www.termokamery.net/--12-3-emisivita-odrazivost-priepustnost>
- [33] Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí: Planckův vyzařovací zákon. [online]  
<http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/optika/0202.htm>
- [34] Termografická měření. Ing. Václav Bibr [online]  
<http://termografie.wz.cz/>

- [35] Masarykova univerzita, Fakulta lékařská: Zobrazovací metody [online]  
<http://www.med.muni.cz/biofyz/zobrazovacimetody/files/Termo.pdf>
- [36] Termogram: Měření budov termokamerou [online]  
[http://www.termogram.cz/mereni\\_termokamerou](http://www.termogram.cz/mereni_termokamerou)
- [37] SSZDRA-Karvina.cz: Laminární proudění [online]  
<http://sszdra-karvina.cz/bunka/fy/02prou/prlam.htm>
- [38] Energetický ústav: Stefan-Boltzmannův zákon [online]  
<http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/optika/0204.htm>
- [39] Gymhol: Záření absolutně černého tělesa [online]  
[http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13\\_act/13\\_act.htm](http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm)
- [40] Energetický ústav: Wienův posunovací zákon [online]  
<http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/optika/0203.htm>
- [41] Termokamera.cz: Příklady termokamer [online]  
<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/priklady-termokamer/>
- [42] Copsu.cz: Rezistor [online]  
[http://www.copsu.cz/mikrop/didakticka\\_pomucka/elektronicke\\_soucastky/rezistory.html](http://www.copsu.cz/mikrop/didakticka_pomucka/elektronicke_soucastky/rezistory.html)
- [43] Jan Leinveber, Pavel Vávra: Strojnické tabulky, třetí doplněné vydání
- [44] GM Electronic.cz: Metal oxidový rezistor 560R 10W [online]  
<http://www.gme.cz/rmo-560r-10w-5-p114-523>
- [45] Termokamera.cz: Princip a funkce [online]  
<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>
- [46] Britské listy: Co jsou mikrovlny? [online]  
<http://www.blisty.cz/art/35536.html>
- [47] Roboterm.cz: Co je indukční ohřev? [online]  
<http://www.roboterm.cz/home/co-je-indukcni-ohrev>
- [48] Fikus.omska.cz: Termodynamika? [online]  
[http://fikus.omska.cz/~bojkovsm/termodynamika/doplnekove\\_ulohy.html](http://fikus.omska.cz/~bojkovsm/termodynamika/doplnekove_ulohy.html)



- [49] Wikiskripta: Měření teploty [online]  
[http://www.wikiskripta.eu/index.php/Měření\\_teploty](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Měření_teploty)
- [50] Janáčková D., Charvátová H.: Úvod sdílení tepla prouděním (konvekcí) [online]  
[www.utb.cz/file/42182\\_1\\_1/](http://www.utb.cz/file/42182_1_1/)
- [51] SSZDRA-Karvina: Turbuletní proudění [online]  
<http://sszdra-karvina.cz/bunka/fy/02prou/prtur.htm>
- [52] Katedra fyziky Přf OU: Teplota měření [online]  
[http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199\\_3\\_3%20Teplota\\_mereni.pdf](http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199_3_3%20Teplota_mereni.pdf)
- [53] Křenovský R.: Měření teploty prostředky automatizace [online]  
[https://mnet.mendelu.cz/mendelnet08agro/files/articles/tech\\_krenovsky.pdf](https://mnet.mendelu.cz/mendelnet08agro/files/articles/tech_krenovsky.pdf)
- [54] FEI.VSB.cz.: Měření teploty [online]  
<http://www.feil.vsb.cz/kat430/data/epo/mereni%20teploty%20u%20EP.pdf>
- [55] Termokamera.cz.: Konstrukce termokamery [online]  
<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/konstrukce-termokamery/>
- [56] SolidVision.cz.: SolidWorks Flow Simulation [online]  
<http://www.solidvision.cz/solidworks-flow-simulation/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$c$	měrná tepelná kapacita
$m$	hmotnost tělesa
$t_2$	původní teplota
$t_1$	konečná teplota
$dS$	entropie
$dQ$	teplo
$T$	teplota
$dU$	vnitřní energie soustavy
$dA$	práce
$T_A$	termodynamický systém A
$T_B$	termodynamický systém B
$T_C$	termodynamický systém C
$\vartheta$	hustota tepelného toku
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti
$dt/dx$	teplotní gradient
$\alpha$	součinitel přestupu tepla
$T_f$	teplota tekutiny za hranicí teplotní mezní vrstvy
$T_w$	teplota stěny
$l$	charakteristická délka
$v$	charakteristická rychlost proudění kapaliny
$\eta$	dynamická viskozita tekutiny
$a$	součinitel teplotní vodivosti
$h$	Planckova kvantová konstanta
$f$	frekvence

---

$\sigma$	Stefan-Boltzmannova konstanta
$\lambda_{max}$	vlnová délka maxima spektrální hustoty vyzařování
$b$	Wienova konstanta
$T_{\check{c}}$	termodynamická teplota černého tělesa
$\varepsilon_E$	intenzita vyzařování reálného tělesa
$\varepsilon_{OE}$	intenzita absolutně černého tělesa
$R$	odpor
$U$	napětí
$I$	proud
$RMO$	rezistor metal oxidový
$ppm$	parts per milion - jedna miliontina celku

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Kondukce [14] .....	16
Obr. 2. Fourierův zákon [13] .....	16
Obr. 3. Rozdělení konvekcí [50] .....	17
Obr. 4. Konvekce [16] .....	18
Obr. 5 Stanovení toku tepla [20] .....	18
Obr. 6. Laminární proudění [37] .....	20
Obr. 7. Turbulentní proudění [52] .....	21
Obr. 8. Spektrální hustota zářivého toku dokonale černého tělesa v závislosti na vlnové délce záření a teplotě zářiče [33] .....	23
Obr. 9. Stefan-Boltzmannův zákona v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa na vlnové délce záření [38] .....	24
Obr. 10. Wienův zákon v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa na vlnové délce záření [40] .....	25
Obr. 11. Bimetalový teploměr vlevo, rtuťový vpravo [48] .....	26
Obr. 12. Směšovací kalorimetr [26] .....	29
Obr. 13. Absolutně černé těleso .....	32
Obr. 14. Ukázka teploty při hodnotě emisivity $\epsilon=0,5$ .....	32
Obr. 15. Ukázka odrazivosti a teploty při hodnotě emisivity $\epsilon=1$ .....	33
Obr. 16. Tabulka emisivit pro kovové a nekovové materiály [30] .....	35
Obr. 17. Termogram [55] .....	36
Obr. 18. Blokové schéma termokamery [55] .....	37
Obr. 19. Druhy termokamer [41] .....	38
Obr. 20. Složky infračerveného záření [32] .....	38
Obr. 21. Proces zobrazení termokamerou [35] .....	40
Obr. 22. Únik tepla zachycený termokamerou [36] .....	41
Obr. 23. Schématická značka [42] .....	43
Obr. 24. Metal oxidový rezistor 560R [44] .....	49
Obr. 25. Navržená základní deska s rozměry 145x110x15 .....	52
Obr. 26. Deska s vloženými tělesy ve tvaru kvádru .....	52
Obr. 27. Nový projekt .....	53
Obr. 28. Pojmenování a vytvoření nové simulace .....	54
Obr. 29. Nastavení jednotek .....	54

Obr. 30. Nastavení dalších parametrů.....	55
Obr. 31. Volba prostředí .....	55
Obr. 32. Vložení modelu základní desky.....	56
Obr. 33. Nastavení adiabatického děje .....	56
Obr. 34. Nastavení teploty .....	57
Obr. 35. Nastavení přesnosti.....	58
Obr. 36. Nastavení výpočetní oblasti.....	58
Obr. 37. Computational Domain .....	59
Obr. 38. Contact Resistance.....	59
Obr. 39. Nastavení rezistivity .....	60
Obr. 40. Potvrzení rezistivity.....	60
Obr. 41. Volume Source .....	61
Obr. 42. Nastavení zdroje tepelné energie.....	61
Obr. 43. Surface Goals.....	61
Obr. 44. Nastavení cílů výpočtu .....	62
Obr. 45. Uchycení rezistorů pomocí pružinových plechů .....	63
Obr. 46. Celkový pohled.....	64
Obr. 47. Přidržování pomocí pružin .....	65
Obr. 48. Boční pohled.....	65
Obr. 49. Detailnější pohled montáže a ustavení .....	66
Obr. 50. Návrh ochranného krytu .....	67
Obr. 51. Složený kryt.....	68
Obr. 52. Keramická patka .....	69
Obr. 53. Schéma upevnění.....	69
Obr. 54. Pohled na spodní část přípravku.....	70
Obr. 55. Pohled úchopu v řezu .....	71
Obr. 56. Výsledná montáž úchopu.....	72
Obr. 57. Pohled v řezu montáže základní desky.....	73
Obr. 58. Připevnění krytu k základní desce .....	73
Obr. 59. Připevnění krytu k základní desce včetně montáže podstavných patek .....	74
Obr. 60. Sestavený konstrukční přípravek.....	75
Obr. 61. Základní deska s rezistory .....	76
Obr. 62. Surface Plot.....	77

---

Obr. 63. Zobrazení simulace zahřívání desky .....	77
Obr. 64. Rozmezí teplot.....	78
Obr. 65. Surface Parameters - Insert.....	78
Obr. 66. Nastavení zobrazení max., min. a průměrné teploty .....	79
Obr. 67. Zobrazení výsledků.....	79
Obr. 68. Point Parameters - Insert.....	80
Obr. 69. Nastavení jednotlivých příkazů .....	81
Obr. 70. Zobrazení výsledků.....	81
Obr. 71. Pole bodů .....	82
Obr. 72. Měření pomocí přípravku .....	83

**Seznam tabulek**

Tab. 1. Měřicí hodnoty jednotlivých měřících metod .....	28
Tab. 2. Teploty při různých hodnot emisivity .....	34
Tab. 3 Rozdělení termokamer.....	37
Tab. 4. Technické parametry rezistoru .....	49
Tab. 5. Technická dokumentace rezistorů [44].....	50
Tab. 6. Fyzikální hodnoty tuhých látek .....	51
Tab. 7. Zobrazení max.,min. a průměrné teploty.....	79
Tab. 8. Rozložení teplotního pole pro první sloupec .....	82

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Závislost zobrazované teploty na emisivitě.....	34
---	----



## SEZNAM PŘÍLOH

viz přiložený DVD disk

Příloha 1. - rozložení teplotního pole

Příloha 2. - sestava konstrukčního přípravku

Příloha 3. - kusovník

Příloha 4. - výrobní výkres základní desky

Příloha 5. - výrobní výkres rezistoru

Příloha 6. - výrobní výkres pružinového plechu

Příloha 7. - výrobní výkres ochranného krytu

Příloha 8. - výrobní výkres keramické patky

Příloha 9. - výrobní výkres keramické vložky - horní

Příloha 10. - výrobní výkres keramické vložky - střední

Příloha 11. - výrobní výkres keramické vložky - spodní

Příloha 12. - výrobní výkres uchycovacího pásku

Příloha 13. - výrobní výkres pružiny