

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

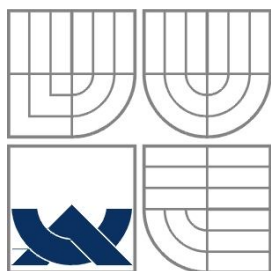
ROZLOŽENÍ PROUDU A TEPELNÉ ZTRÁTY V JISTIČI NÍZKÉHO NAPĚTÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

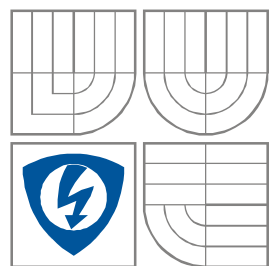
Pavel Musil

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

ROZLOŽENÍ PROUDU A TEPELNÉ ZTRÁTY V JISTIČI NÍZKÉHO NAPĚTÍ

CURRENT DISTRIBUTION AND HEAT LOSSES IN THE LOW VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Musil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zbyněk Makki

BRNO, 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií
Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Musil Pavel

ID: 125555

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/12

NÁZEV TÉMATU:

Rozložení proudu a tepelné ztráty v jističi nízkého napětí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vytvořte model proudovodné dráhy konkrétního jistícího prvku.
2. Na základě parametrů jistícího prvku proveďte výpočty rozložení proudu a tepelných ztrát.
3. Zpracujte a porovnejte získané výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 21.9.2011

Termín odevzdání: 31.5.2012

Vedoucí projektu: Ing. Zbyněk Makki

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Práce je zaměřena na výpočet rozložení proudu a tepelných ztrát v jističi nízkého napětí. V první polovině práce je přehled nejpoužívanějších jisticích prvků se zaměřením na jejich konstrukční uspořádání. Největší pozornost je věnována jističi s označením LPN-16B od firmy OEZ. V programu Inventor je vytvořen model proudovodné dráhy tohoto konkrétního jisticího prvku, na kterém je proveden následný výpočet rozložení proudu a tepelných ztrát v programu Ansys. Získané výsledky jsou zhodnoceny v závěru této práce.

Abstract

The work is focused on the calculation of decomposing the current and the thermal loss in circuit breakers of low voltage. In the work's first half, there is a summary of the most frequently used circuit breaker elements with a focus on their constructional layout. The biggest attention is devoted to the circuit breaker marked LPN-16B by the company OEZ. A model of the under current trajectory of this specific element is created in a program Inventor on which the following calculation of decomposing the current and thermal loss was accomplished in a program Ansys. The obtained results are assessed in the conclusion of this work.

Klíčová slova

Elektrický proud; pojistka; jistič; tepelná spoušť; zkratová spoušť; tepelné ztráty; rozložení proudu; ansys

Keywords

Electric current; fuse; circuit breaker; thermal trip unit; short circuit trip unit; heat; current density; ansys

Bibliografická citace

MUSIL, P. *Rozložení proudu a tepelné ztráty v jističi nízkého napětí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zbyněk Makki.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Rozložení proudu a tepelné ztráty v jističi nízkého napětí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

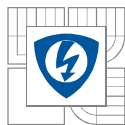
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Zbyňku Makkimu za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

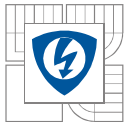
V Brně dne

Podpis autora

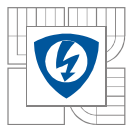


Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD.....	13
2 TEORIE A PRINCIP JIŠTĚNÍ.....	14
2.1 SILOVÉ ÚČINKY PROUDU.....	14
2.2 TEPELNÉ ÚČINKY PROUDU.....	14
2.3 SELEKTIVITA JIŠTĚNÍ.....	15
2.4 POŽADAVKY KLADENÉ NA JISTÍCÍ A OCHRANNÉ PŘÍSTROJE.....	15
3 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ JISTÍCÍ PRVKY A JEJICH KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ.....	16
3.1 TAVNÉ POJISTKY.....	16
3.1.1 ZÁVITOVÉ POJISTKY	16
3.1.2 NOŽOVÉ POJISTKY	19
3.1.3 PŘÍSTROJOVÉ POJISTKY	20
3.2 JISTIČE.....	21
3.2.1 KONSTRUKCE JISTIČE	21
3.2.2 VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKY.....	23
3.2.3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY.....	24
3.2.4 PARAMETRY JISTIČE LPN-16B	26
3.3 NAPĚŤOVÉ A PROUDOVÉ CHRÁNIČE	27
4 POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ POJISTEK A JISTIČŮ	28
4.1 VÝHODY A NEVÝHODY POJISTEK.....	28
4.2 VÝHODY A NEVÝHODY JISTIČŮ.....	28
5 VYTVOŘENÍ MODELU PROUDOVODNÉ DRÁHY JISTIČE.....	29
5.1 ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY.....	29
5.2 VÝSLEDNÝ MODEL PROUDOVODNÉ DRÁHY	30
6 POSTUP SIMULACE V PROGRAMU ANSYS PRO STEJNOSMĚRNÝ PROUD.....	31
6.1 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ	34
7 TEORIE PŘEMĚNY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA TEPLA	36
7.1 PROUDOVÁ HUSTOTA.....	36
7.2 TEPELNÉ ZTRÁTY.....	36
7.3 JOULEOVO TEPLA	36
8 ZATÍŽENÍ JMENOVITÝM PROUDEM 16A	37
8.1 PROUDOVÁ HUSTOTA.....	37
8.2 TEPELNÉ ZTRÁTY.....	39
8.3 JOULEOVO TEPLA	41

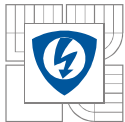


8.4 ÚBYTEK NAPĚTÍ	43
9 ZATÍŽENÍ ZKRATOVÝM PROUDEM 10KA.....	44
9.1 PROUDOVÁ HUSTOTA.....	44
9.2 TEPELNÉ ZTRÁTY.....	46
9.3 JOULEOVO TEPLLO	48
9.4 ÚBYTEK NAPĚTÍ	50
10 ZÁVĚR.....	51
LITERATURA	52

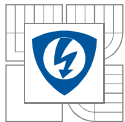


SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 2-1: Tepelné účinky proudu-oteplování [3]</i>	15
<i>Obrázek 3-1: Konstrukce pojistkové vložky</i>	16
<i>Obrázek 3-2: Rozměry tavných vložek[4]</i>	17
<i>Obrázek 3-3: Schematická značka pojistky</i>	18
<i>Obrázek 3-4: Příklad nožové pojistky[5]</i>	19
<i>Obrázek 3-5: Řez tavnou vložkou[5]</i>	19
<i>Obrázek 3-6: Přístrojová pojistka</i>	20
<i>Obrázek 3-7: Příklad trubičkové pojistky[6]</i>	20
<i>Obrázek 3-8: Konstrukce jističe LPN 16-B</i>	21
<i>Obrázek 3-9: Jistič - schematická značka</i>	21
<i>Obrázek 3-10: Vypínací charakteristiky jističů LPN [8]</i>	23
<i>Obrázek 3-11: Příklad značení třídy omezení energie</i>	24
<i>Obrázek 3-12: Příklad charakteristiky I^2t pro jističe LPN</i>	25
<i>Obrázek 3-13: Vypínací charakteristika jističe LPN-16B</i>	26
<i>Obrázek 3-14: Schematická značka jednofázového proudového chrániče</i>	27
<i>Obrázek 5-1: Pohyblivý kontakt</i>	29
<i>Obrázek 5-2: Přední pohled</i>	30
<i>Obrázek 5-3: Zadní pohled</i>	30
<i>Obrázek 6-1: Filtrování použitých analýz</i>	31
<i>Obrázek 6-3: Změna teploty na °C</i>	32
<i>Obrázek 6-2: Volba elementu SOLID69</i>	32
<i>Obrázek 6-4: Změna měřítka</i>	33
<i>Obrázek 6-5: Nastavení rezistivity</i>	33
<i>Obrázek 6-6: Síť prvků na kontaktech</i>	35
<i>Obrázek 8-1: Celkový pohled</i>	37
<i>Obrázek 8-2: Detail pohyblivého kontaktu</i>	37
<i>Obrázek 8-3: Detail připojení bimetalu</i>	38
<i>Obrázek 8-4: Detail vinutí</i>	38
<i>Obrázek 8-5: Celkový pohled</i>	39
<i>Obrázek 8-6: Detail pohyblivého kontaktu</i>	39
<i>Obrázek 8-7: Detail bimetalu</i>	40
<i>Obrázek 8-8: Detail cívky</i>	40

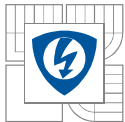


<i>Obrázek 8-9: Celkový pohled.....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 8-10: Detail pohyblivého kontaktu</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 8-11: Detail bimetalu.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 8-12: Detail cívka</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 8-13: Úbytek napětí na proudovodné dráze.....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 9-1: Celkový pohled.....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 9-2: Detail pohyblivého kontaktu</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 9-3: Detail připojení bimetalu.....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 9-4: Detail cívka</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 9-5: Celkový pohled.....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 9-6: Detail pohyblivého kontaktu</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 9-7: Detail bimetalu.....</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 9-8: Detail cívky</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 9-9: Celkový pohled.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 9-10: Detail pohyblivého kontaktu</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 9-11: Připojení bimetalu.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 9-12: Detail cívka</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 9-13: Úbytek napětí na proudovodné dráze.....</i>	<i>50</i>



SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 3-1: Barevné označení závitových pojistek podle jmenovitého proudu[4]</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 3-2: Rozměry tavných vložek[4]</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 3-3: Rozměry tavných pojistek[4]</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 3-4: Funkční a provozní třídy nízkonapěťových pojistek[4]</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 3-5: Značení a použití přístrojových pojistek</i>	<i>20</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

R [Ω]	Činný odpor
I [A]	Elektrický proud
t [s]	Čas
Q [J]	Ztrátové teplo
F [N]	Elektrodynamická síla
B [T]	Magnetická indukce
π [-]	Ludolfovo číslo
μ_0 [H/m]	Permeabilita vakua
μ_r [H/m]	Relativní permeabilita
c_v [$J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$]	Měrná tepelná kapacita
V [m^3]	Objem vodiče
S [m^2]	Povrch vodiče
α [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Měrná chladivost povrchu
ϑ [$^{\circ}C$]	Teplota vodiče
$\Delta\vartheta$ [K]	Oteplení vodiče
J [$A \cdot mm^{-2}$]	Proudová hustota

1 ÚVOD

Projekt je zaměřen na problematiku jistění elektrických zařízení. Prochází-li vodičem elektrický proud, vznikají ztráty, které jsou ve formě tepla. Vzniklé teplo ovlivňuje ostatní části zařízení a má vliv na jejich životnost. Dalším nezanedbatelným vlivem jsou elektrodynamické síly, které při poruše, zejména při zkratu, dosahují velkých hodnot a mohly by poškodit zařízení, která jsou finančně nákladná. Aby k těmto škodám nedocházelo, umístíme do obvodu jistící prvky, které přeruší obvod dříve, než dojde k nárůstu tepla nebo elektrodynamických sil nad dovolenou mez. Do základní skupiny jistících prvků spadají pojistky a jističe, které jsou v této práci rozebrány.

V každém jističi, kterým prochází elektrický proud, dochází k tepelným ztrátám. Aby se tyto ztráty co nejvíce eliminovaly je potřeba se pečlivě zabývat geometrií proudovodné dráhy a také použitými materiály. Nejhorší situace nastává při poruchovém stavu, kdy se procházející proud několikanásobně zvětší vůči proudu jmenovitému. V této chvíli rostou tepelné ztráty s kvadrátem proudu. V práci jsou provedeny výpočty rozložení proudu a tepelných ztrát na proudovodné dráze jističe nízkého napětí LPN-16B od firmy OEZ.

2 TEORIE A PRINCIP JIŠTĚNÍ

Vznikne – li v obvodu porucha, elektrické zařízení a vedení je namáháno silovými a tepelnými účinky proudu. Tyto účinky mohou způsobit poškození zařízení. Z těchto důvodů umístíme do obvodu jištění. Jistící prvek odpojí elektrickou energii od chráněného objektu dříve, než dojde k jeho poškození.[2]

2.1 Silové účinky proudu

Prochází-li proudovou dráhou elektrického zařízení proud, vznikají elektrodynamické síly, které způsobují mechanické namáhání. Příčinou vzniku síly v elektrických zařízeních je existence magnetických polí, která na sebe vzájemně působí.

Síla působící v magnetickém poli na vodič, kterým prochází elektrický proud:

$$F = B \cdot I \cdot l \quad (2.1)$$

Síla působící mezi dvěma vodiči

Leží-li vedle sebe dva vodiče, kterými prochází elektrický proud, jednotlivé vodiče si kolem sebe vytvoří vlastní magnetické pole. Mezi těmito vodiči vznikají elektrodynamické síly. Je-li směr proudů stejný, vodiče se budou přitahovat. Je-li směr proudu opačný, vodiče se budou odpuzovat. Prochází-li zařízením jmenovitý proud, vzájemně působící síly jsou velmi malé, tudíž je můžeme zanedbat. Nastane-li ovšem zkrat, obvodem začne protékat velký proud a elektrodynamické síly mohou poškodit zařízení.

Vztah pro výpočet síly působící mezi dvěma vodiči:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{d} \quad (2.2)$$

[12]

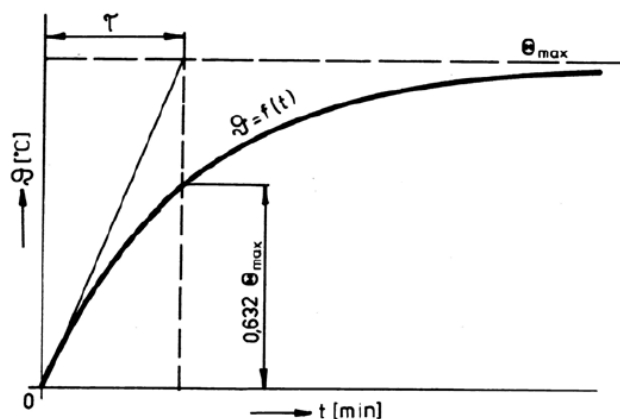
2.2 Tepelné účinky proudu

Hlavním zdrojem tepla v elektrických přístrojích jsou Jouleovy ztráty ve vodičích, kterými prochází elektrický proud. Toto teplo se zčásti odvede povrchem S vodiče do okolí a z části zůstává ve vodiči a zvyšuje jeho teplotu. Matematický zápis: [11]

$$RI^2 dt = \alpha S \Delta \vartheta dt + c_V V d\vartheta \quad (2.3)$$

Řešením této rovnice dostaneme vztah pro okamžitou hodnotu oteplení:

$$\Delta \vartheta = \frac{RI^2}{\alpha S} [1 - \exp^{-\frac{\alpha_0 S}{c_V V} t}] = \Delta \vartheta_{\max} (1 - \exp^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.4)$$



Obrázek 2-1: Tepelné účinky proudu-oteplování [3]

2.3 Selektivita jištění

Obvody jsou často rozvětveny do více částí a každá z těchto částí obvodu vyžaduje vlastní jištění. Jistící prvky umísťujeme na místa, kde dochází ke snížení hodnot dovoleného proudu. Nejčastěji to bývá u změn průřezu, materiálu nebo způsobu uložení. Cílem selektivity jištění je, aby vzniklá porucha v jednom obvodu nevyřadila další části obvodu. Proto obvody hlavní jistíme jistícími prvky s větší hodnotou jmenovitého proudu než obvody podružné. [2]

2.4 Požadavky kladené na jistící a ochranné přístroje

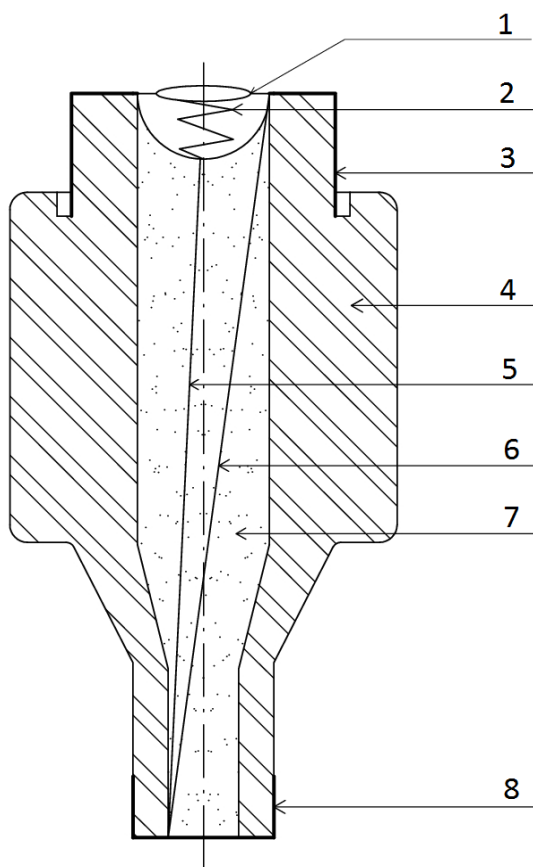
- přístroje musí být citlivé, aby podchytily poruchu hned při jejím vzniku
- musí být selektivní, aby zbytečně neodpojovaly zdravé části zařízení
- musí být velmi spolehlivé, nesmí při poruše selhat
- nesmějí samovolně působit
- nesmějí být samy zdrojem nebo příčinou poruch
- musí být správně seřizeny a nastaveny, aby naběhly při požadované hodnotě

3 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ JISTÍCÍ PRVKY A JEJICH KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ

3.1 Tavné pojistky

Pojistky jsou nejstarším, nečastějším a také nejlevnějším prostředkem pro jištění elektrických zařízení před nadproudy. Velkou výhodou je jednoduchá konstrukce. Je zde využito jevu, kdy proud procházející vodičem, způsobuje jeho ohřev a následné přetavení. Čím je proud vyšší, tím je doba přetavení vodiče kratší. Při velkém proudu se vodič v pojistce ohřeje za tisíceiny vteřiny a dojde k jeho přerušení ještě dříve, než proud dosáhne svého maxima. V tom spočívá omezovací schopnost pojistek, která je jedna z jejich hlavních předností. Pojistka je tedy vyměnitelná část obvodu obsahující tavný vodič, jehož průřez je úmyslně zmenšen. Představuje tak nejslabší místo obvodu. [1],[2],[3]

3.1.1 Závitové pojistky



- 1 ukazatel stavu pojistky (terčík)
- 2 pérko
- 3 kovové kontaktní víčko (vrchní)
- 4 keramické (porcelánové) pouzdro
- 5 přídržný drátek ukazatele stavu pojistky
- 6 tavný vodič
- 7 křemenný písek
- 8 kovové kontaktní víčko (spodní)

Obrázek 3-1: Konstrukce pojistkové vložky

Tavná pojistková vložka (obr. 3-1) se skládá z dutého, válcového keramického tělíska, které je naplněno křemičitým pískem. Tavný vodič spojuje kontakt v patice s horním kontaktem pojistky. Kromě tavného vodiče je uvnitř pojistky tzv. přídržný drát. Pokud je dosažen proud, při kterém má pojistka odpojit, roztaví se tavný i přídržný drát a přeruší se tak proud. Přetavení pojistky poznáme podle ukazatele stavu.

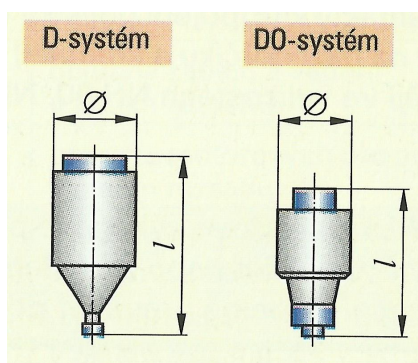
Ukazatel stavu tavné vložky ukazuje její funkčnost, barevné označení udává proud, na který je vložka dimenzována. Barevné označení je zobrazeno v tabulce 3-1. [4]

Tabulka 3-1: Barevné označení závitových pojistek podle jmenovitého proudu [4]

Jmenovitý proud	2A	4A	6A	10A	16A	20A	25A	35A
Barva	růžová	hnědá	zelená	červená	šedá	modrá	žlutá	černá

Jmenovitý proud	50A	63A	80A	100A
Barva	bílá	měděná	stříbrná	červená

Průměry tavných vložek a spodních kontaktů jsou odlišné. Je to z důvodu, aby nebylo možné zaměnit tavné vložky za jiné s vyšším jmenovitým proudem. Do patice pojistky se vkládá lícovací vložka, která je přizpůsobena vnějšímu průměru spodního kontaktu tavné vložky. [4]



Obrázek 3-2: Rozměry tavných vložek [4]

Tabulka 3-2: Rozměry tavných vložek [4]

Rozměry [mm]					
systém	l	Ø	systém	l	Ø
DII	50	22	DO1	36	11
DIII	50	27	DO2	36	15
DIV	63	37	DO3	43	22

U závitových pojistek rozeznáváme dva systémy. **Systém D**, který se používá k ochraně vedení a přístrojů odebírajících při zapnutí velký proud. U **systému D0** je patice při stejném jmenovitém proudu užší, než patice systému D. Vložky mají menší ztrátový výkon a zahřívají se tak při stejném proudu méně než tavné vložky systému D.[4]

Tabulka 3-3: Rozměry tavných pojistek[4]

Systém	Velikost vložek	Jmenovitý proud	Šroubovací kryt
D-systém	DII	2 až 25 A	E 27
AC 500V	DIII	35 až 63 A	E 33
DC 500V	DIV	80 až 100 A	R 1 1/4
DO-systém	DO1	2 až 16 A	E 14
AC 400V	DO2	20 až 63 A	E 18
DC 250V	DO3	80 až 100 A	M 30 x 2

Funkční a provozní třídy nízkonapěťových pojistek

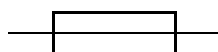
Pojistky s plným rozsahem jištění (funkční třída g) vedou proud až do velikosti jmenovitého proudu. Odpojí bezpečně elektrický obvod od nejmenšího tavného proudu až ke jmenovitému vypínacímu proudu.

Pojistky s částečným rozsahem jištění (funkční třída a) vedou proud až do velikosti jmenovitého proudu. Odpojí však proudy až od 2,7 násobku jmenovitého proudu.

Provozní třídy nízkonapěťových pojistek nám označují dvě písmena. První písmeno označuje funkční třídu, druhé písmeno oblast použití (tab. 3-4).[4]

Tabulka 3-4: Funkční a provozní třídy nízkonapěťových pojistek[4]

Funkční třída	Provozní třída	Oblast použití
g (jištění v plném rozsahu)	gG	ochrana kabelů a vedení v plném rozsahu
	gM	ochrana motorových obvodů v plném rozsahu
	gB	jištění důlních zařízení v plném rozsahu
	gTr	ochrana transformátorů v plném rozsahu
a (jištění v částečném rozsahu)	aM	jištění ochranných vypínačů v částečném rozsahu
	aR	ochrana polovodičových součástek v částečném rozsahu



Obrázek 3-3: Schematická značka pojistky

3.1.2 Nožové pojistky

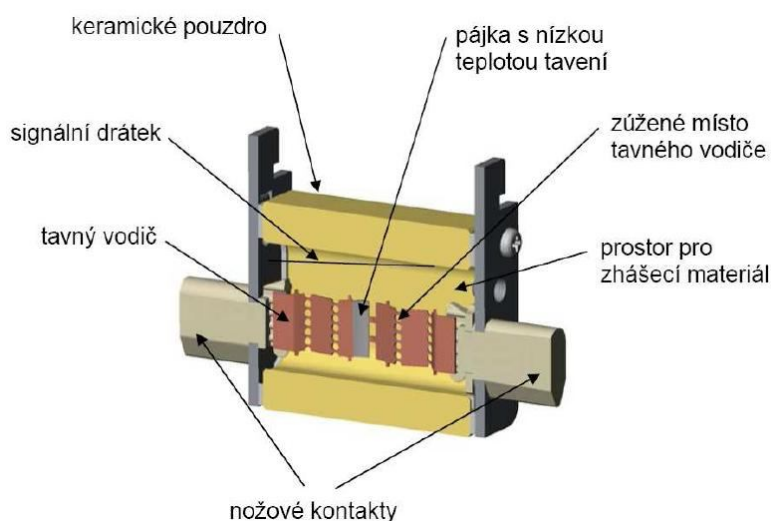
Závitové pojistky mají poměrně malou zkratovou odolnost vložek. Z těchto důvodů se v rozvodných zařízeních nízkého napětí s velkými zkratovými proudy používají tzv. výkonové pojistky. Pomocí jejich robustního provedení dosahujeme velké zkratové odolnosti. Výkonové pojistky jsou proto větší, těžší a samozřejmě i dražší než pojistky závitové. Princip zapůsobení je skoro stejný jako u pojistky závitové.

Konstrukce je však rozdílná. Výkonová pojistka se skládá z pojistkového spodku, na kterém jsou umístěny dva pružinové kontakty pro vkládání pojistkové patrony. Tyto pružinové kontakty jsou umístěny na keramickém tělese a ukončené přívodními svorkami. Do spodku se zasouvá pojistková patrona (obr. 3-4).[1],[4]



Obrázek 3-4: Příklad nožové pojistky[5]

Pojistkovou patronu tvoří izolační pouzdro, ve kterém je uložen tavný vodič. Aby se dosáhlo potřebné délky a požadovaného průběhu vypínací charakteristiky, je tavný vodič různým způsobem tvarován. Vodič je pevně přidělán k nožovým kontaktům, kterými se vložka připevňuje k pojistkovému spodku. Ke zhášení elektrického oblouku se nejčastěji používá křemičitý písek. Součástí je také ukazatel stavu, který nám ukazuje, zda je pojistka funkční. [1],[4]



Obrázek 3-5: Řez tavnou vložkou[5]

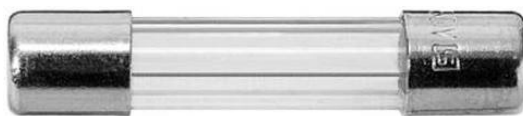
3.1.3 Přístrojové pojistky

Přístrojové pojistky se využívají k jištění zařízení, kterými protékají malé proudy. Nejčastěji se využívají k jištění napájecích zdrojů, rozhlasových nebo měřicích přístrojů před přetížením a zkratem. Skládají se z držáku pojistky, tavné vložky a hlavice (obr. 3-6). Můžeme se také setkat s umístěním trubičkové pojistky přímo na desce plošných spojů. V tomto případě se vložka vkládá mezi dva pružinové kontakty [1],[4].



Obrázek 3-6: Přístrojová pojistka

Konstrukce trubičkové pojistky je velice jednoduchá. Skládá se ze skleněné trubičky, kterou prochází tavný vodič. Na koncích jsou kontaktní čepičky, které jsou spojeny s tavným vodičem. Oblouk se zde zháší ve vzduchu [1].



Obrázek 3-7: Příklad trubičkové pojistky[6]

Přístrojové pojistky se nejčastěji vyrábějí pro jmenovité napětí 250V. Značení přístrojových pojistek je zpracováno v tabulce:

Tabulka 3-5: Značení a použití přístrojových pojistek

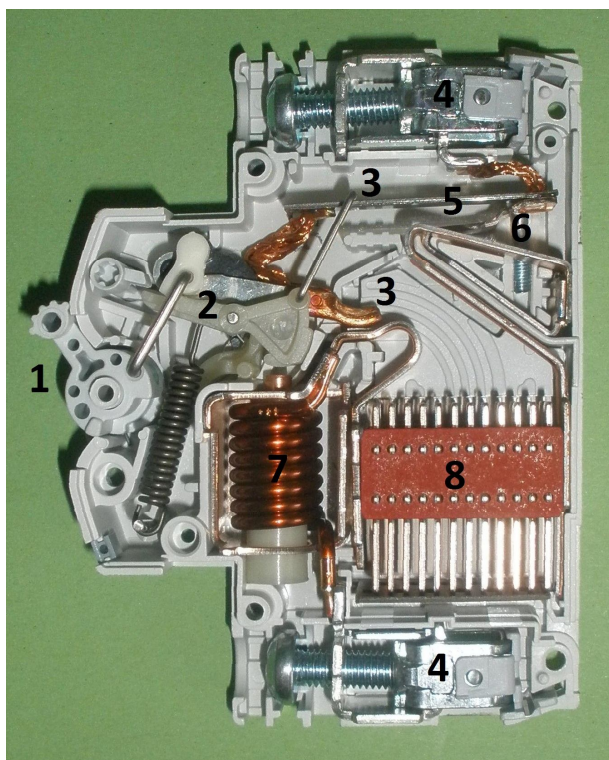
Vypínací charakteristika	Označení pomocí barevného kroužku		Příklad použití
	kroužku	písmene	
super-rychlé	černý	FF	polovodičové součástky, digitální přístroje
rychlé	červený	F	
středně pomalé	žlutý	M	analogové měřicí nízkonapěťové přístroje
pomalé	modrý	T	transformátory, malé motory
super-pomalé	šedý	TT	přístroje s velkým záběrným proudem
Používané rozměry: Ø5 mm x 20 mm, Ø5 mm x 25 mm, Ø6,35 mm x 31,8 mm			

3.2 Jističe

Mechanický spínací přístroj schopný zapínat, vést a vypínat proudy za normálních podmínek obvodu (provozní spínání), ale i zapínat, po stanovenou dobu vést a samočinně vypínat poruchové proudy včetně zkratových do mezí svých spínacích schopností.[5]

Jistič musí zajistit ochranu jak vedení, tak spotřebičů. Nesmí dojít k jeho poškození ani při vypínání velkých nadproudů, aby bylo možno opětovného zapnutí. Jistič je tedy prvek, který byl vyvinut jako náhrada pojistky. Hlavní výhodou jističe oproti pojistce je, že ho lze po jeho samočinném vypnutí znovu zapnout [3][4].

3.2.1 Konstrukce jističe



1. ovládací páčka
2. aretační mechanismus
3. kontakty
4. přívodní šroubová svorka
5. bimetalový člen pro vybavení
přetížením
6. regulační prvek nastavení citlivosti
7. elektromagnetická spoušť pro
vybavení zkratem
8. zhášecí komora

Obrázek 3-8: Konstrukce jističe LPN 16-B



Obrázek 3-9: Jistič - schematická značka

Základními funkčními prvky běžného jističe jsou:

Kontaktní systém, který je nejčastěji tvořen jedním pohyblivým kontaktem a jedním kontaktem pevným. Od kontaktů se požaduje, aby byly plně funkční jak v provozním, tak poruchovém stavu. Musí tedy odolávat mechanickému i tepelnému namáhání.[5]

Spínací systém slouží ke spínání jističe. Rozeznáváme systém manuální a automatický. Manuální spínání provádí obsluha pomocí páky a automatické spínání vybavují tepelné a elektromagnetické spouště. Základním prvkem je volnoběžka. Volnoběžka je systém zlomených pák držených v zapnuté poloze západkou proti síle vypínací pružiny. Trvá-li příčina vypnutí, jistič není možno znovu zapnout. O tuto funkci se stará zapínací zámek s nezávislým vypínáním. Vypnutí jističe také nelze zabránit tím, že by byla rukou držena zapínací páčka zámku, v poloze zapnuto.[5]

Zhášecí systém slouží ke zhášení vypínacího oblouku. O zhášení oblouku se stará zhášecí komora, která nám vzniklý oblouk rozdělí na několik obloučků v sérii. Tím dochází ke zvýšení obloukového napětí a rychlejšímu uhašení oblouku.[5]

Tepelná spoušť se skládá ze dvou kovových pásek s různými součiniteli délkové roztažnosti. Tyto dva materiály musí být mechanicky pevně spojeny po celé stykové ploše. Říkáme jim dvojkov (bimetal). Při průchodu proudu se tato proudovodná dráha ohřívá a materiál s větším součinitelem roztažnosti se prodlužuje podstatně více než materiál druhý. Uchytíme-li na jedné straně tento pásek, druhý volný konec se začne vychylovat. Při požadované výchylce zapůsobí kontaktní soustava a dojde k vypnutí jističe. Tepelné spouště tedy využívají tepelných účinků proudu a odpojují zařízení zpožděně v závislosti na velikosti procházejícího proudu. Chrání zařízení proti přetížení, ne však proti zkratům.[3],[5]

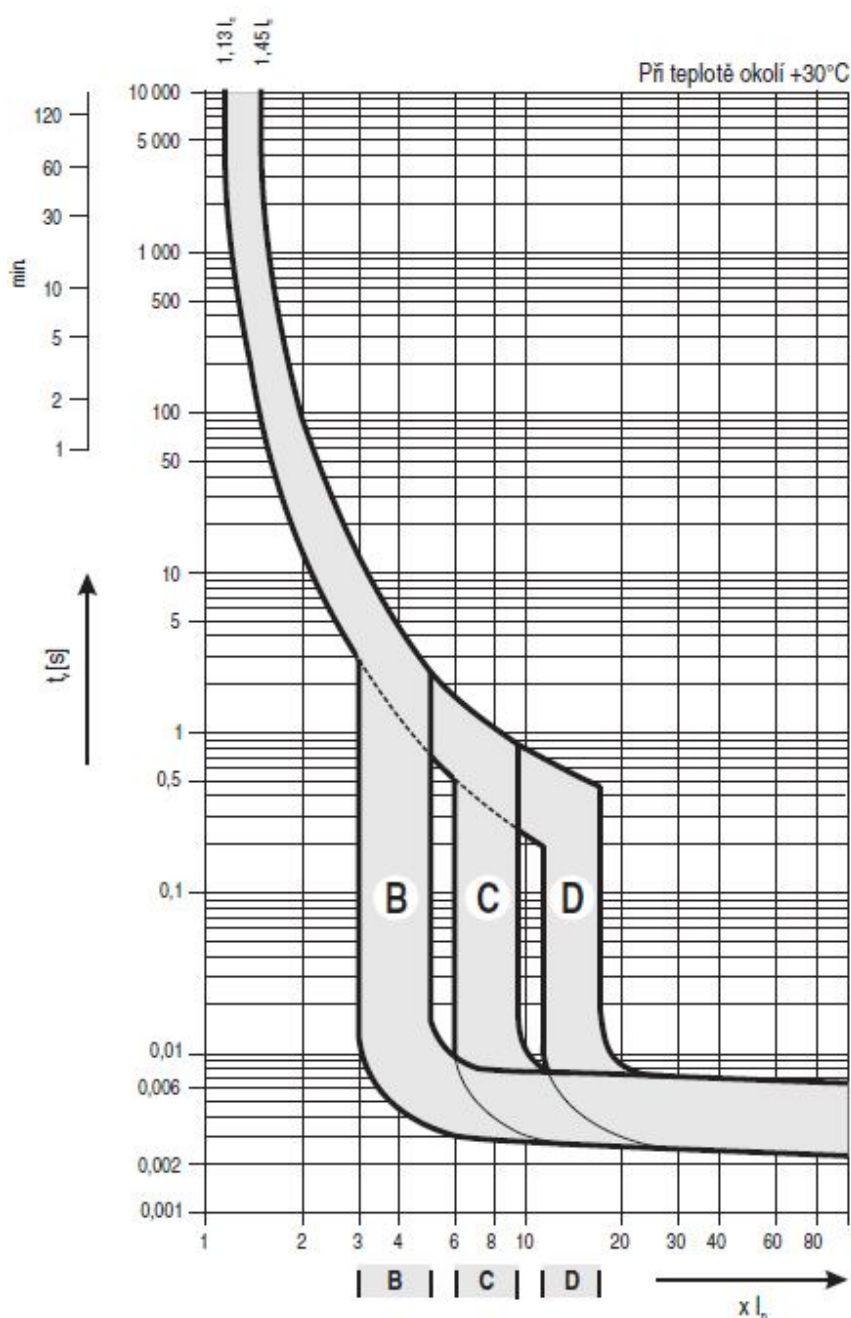
Elektromagnetická spoušť se skládá z elektromagnetu s cívkou a pohyblivou kotvou. Pružina drží kotvu v odklopené poloze. V případě poruchy zkratový proud procházející cívkou elektromagnetu vytvoří magnetické pole. Je-li toto magnetického pole tak silné, že přemůže tah pružiny, jádro přitáhne kotvu a kontakty jističe okamžitě odpojí poruchový obvod. Elektromagnetická spoušť chrání zařízení pouze před zkratem.[1]

3.2.2 Vypínací charakteristiky

Vypínací charakteristika je závislost času na velikosti proudu. Vychází ze dvou základních konstrukčních částí jističe, z tepelné a elektromagnetické spouště. Tepelná spoušť tvořena bimetalem je časově závislá. Naopak spoušť elektromagnetická je časově nezávislá.

Z vypínací charakteristiky tepelné spouště je zřejmé, že spoušť je závislá na velikosti procházejícího proudu. Čím větší proud bude procházet, tím rychleji spoušť vybaví.

Z vypínací charakteristiky elektromagnetické spouště je možné vidět, že do nastaveného proudu spoušť nepůsobí, ale při překročení této hranice zapůsobí téměř okamžitě. Elektromagnetické spouště rozdělujeme podle násobku jmenovitého proudu na charakteristiky typu B, C, D. Charakteristiky mají shodné nastavení tepelné spouště.[5],[8]



Obrázek 3-10: Vypínací charakteristiky jističů LPN [8]

- Charakteristika B - Zkratová spoušť je nastavena na $(3 \div 5)I_n$.
- Používají se k ochraně zásuvkových a světelných obvodů a vedení.
- Charakteristika C - Zkratová spoušť je nastavena na $(6 \div 9)I_n$.
- Používají se k ochraně motorů a zařízení, které způsobují proudové rázy.
- Charakteristika D - Zkratová spoušť je nastavena na $(12 \div 16)I_n$.
- Používají se k ochraně zařízení, které způsobují velké proudové rázy.

[8]

Norma nám vymezuje několik bodů na vypínací charakteristice:

Smluvený nevypínací proud

- proud $1,13 \times I_n$, který jistič nesmí vypnout po smluvenou dobu (1 h)

Smluvený vypínací proud

- proud $1,45 \times I_n$, který jistič musí vypnout do smluvené doby (1 h)

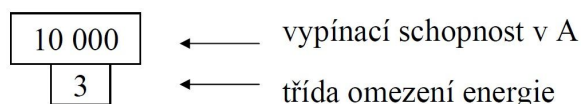
Proud $2,55 \times I_n$, který jistič musí vypnout v době mezi 1 a 60 s u jističů s I_n do 32 A včetně.

Proud $2,55 \times I_n$, který jistič musí vypnout v době mezi 1 a 120 s u jističů s I_n nad 32 A.

[5]

3.2.3 Základní parametry

- jmenovité pracovní napětí U_e
 - jmenovitý proud I_n
 - jmenovitá zkratová schopnost I_{cn}
 - vypínací charakteristika
 - třída omezení energie
- tento parametr souvisí se selektivitou jištění. Jističe, které jsou označeny třídou 3 (pro větší omezení) nebo třídou 2 (pro menší omezení), jsou předřazeny jističům větší jmenovité hodnoty třídy selektivity 1. To znamená, že při zkratu vypnou, zatímco, předřazený jistič nevypne.



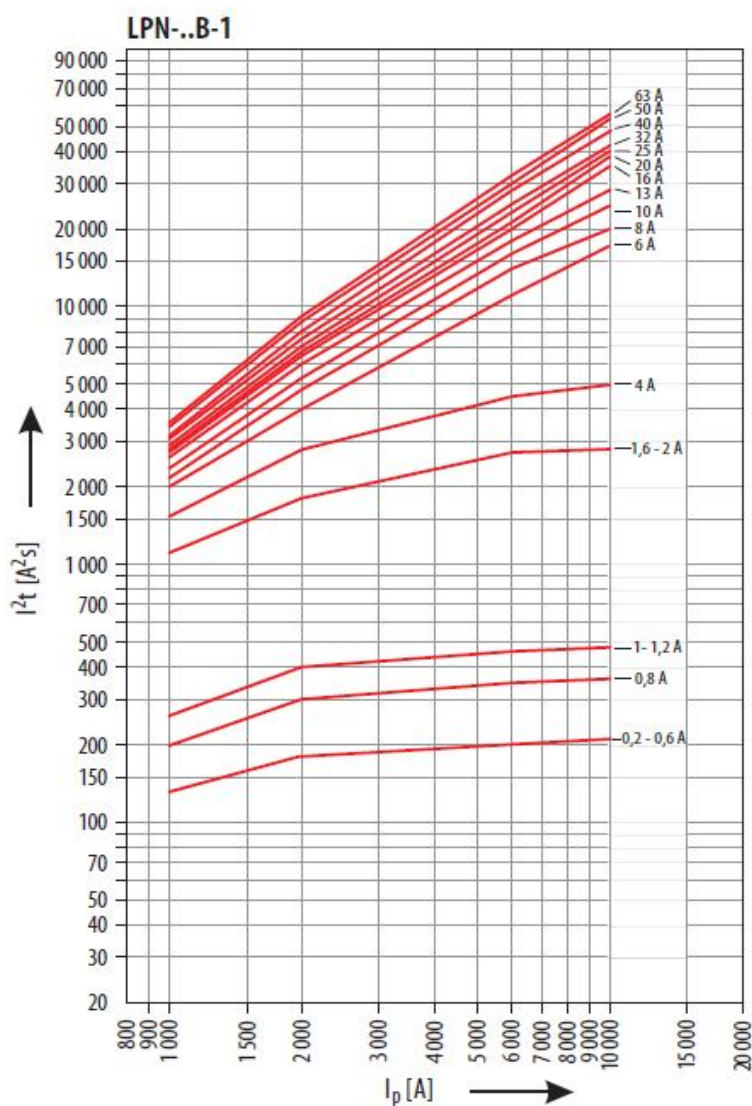
Obrázek 3-11: Příklad značení třídy omezení energie

[5]

- I^2t charakteristiky

Jouleův integrál jisticího přístroje charakterizuje energii propuštěnou jisticím přístrojem při vypínání zkratových proudů, tj. energii, která svými tepelnými účinky namáhá jištěné zařízení. U jisticích přístrojů se uvádí Jouleův integrál I^2t v závislosti na předpokládaném zkratovém proudu I_p , tedy: [10]

$$I^2t = f(I_p) \quad (2)$$



Obrázek 3-12: Příklad charakteristiky I^2t pro jističe LPN

Pro správné jištění vedení proti zkratu, musí být splněna podmínka:

$$I^2t \leq k^2 S^2 \quad (3)$$

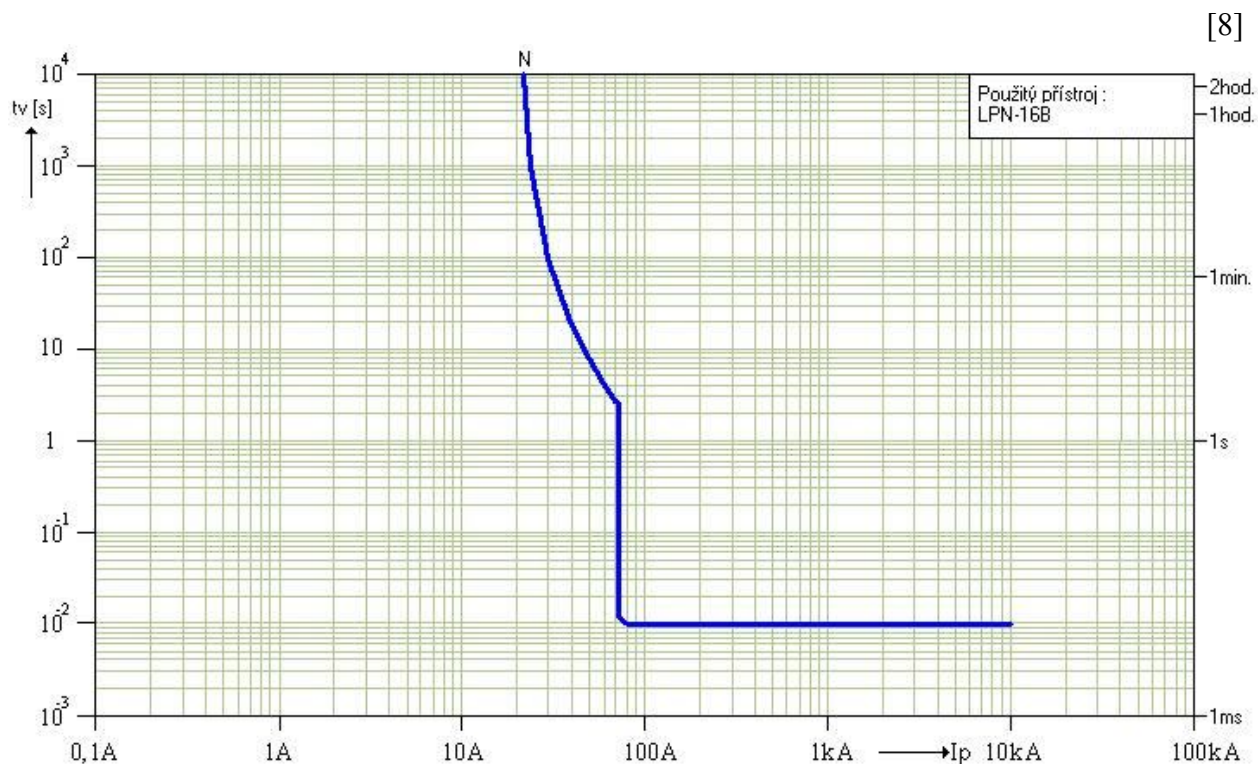
I^2t - Jouleův integrál, tj. činitel propuštěné energie jisticím přístrojem, který zajišťuje ochranu vedení proti zkratu [$A^2 \cdot s$]

k - konstanta zahrnující vlastnosti materiálu a odpovídající dovolenému oteplení vodiče podle jeho izolace

S - průřez jádra vodiče [mm^2]

3.2.4 Parametry jističe LPN-16B

Počet pólů:	1
Jmenovitý proud I_n :	16A
Vypínací charakteristika:	B
Jmenovité pracovní napětí U_e :	230/400 V a.c. / 60/220 V d.c.
Max. provozní napětí U_{max} :	253/440 V a.c. / 66/242 V d.c.
Min. provozní napětí U_{min} :	12 V a.c. / d.c. 12 V d.c.
Jmenovitý kmitočet f_n :	40 ÷ 60 Hz
Jmenovitá zkratová schopnost I_{cn} :	10 kA
Trvanlivost - mechanická:	20 000 cyklů
- elektrická:	4 000 cyklů
Třída omezení energie:	3
Vnitřní impedance Z :	7,56 mΩ/pól
Ztrátové výkony P :	1,95 W/pól
Max. impedance poruchové smyčky Z_s :	2,9 Ω
Smluvený nevypínací proud:	I_{nt} pro $t \geq 1$ h $I_{nt} = 1,13 I_n$
Smluvený vypínací proud:	I_t pro $t < 1$ h $I_t = 1,45 I_n$



Obrázek 3-13: Vypínací charakteristika jističe LPN-16B

3.3 Napěťové a proudové chrániče

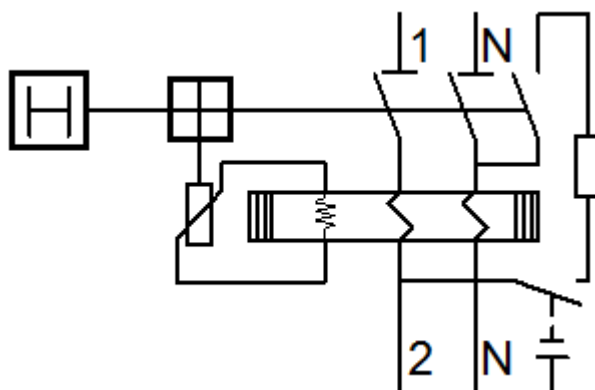
Napěťový chránič omezuje velikost proudu procházejícího poruchovým obvodem. Na chráněném objektu je připojen jeden konec cívky elektromagnetu, druhý konec je uzemněn. Objeví-li se na chráněném objektu napětí proti zemi, chránič zareaguje a odpojí chráněný objekt od zdroje. Velikost aktivního napětí závisí na nastavení elektromagnetu. Jelikož je potřeba do obvodu s ochranným vypínačem zařadit ještě jištění, tento typ ochran se není moc rozšířený. [6],[9]

Proudový chránič neomezuje velikost proudu protékajícího postiženou osobou na zaručeně bezpečné hodnoty, ale chrání tím, že omezuje dobu průchodu proudu nezávisle na velikosti impedance poruchové smyčky.[7]

Proudový chránič tvoří součtový transformátor a elektromagnetické vybavovací zařízení. Na magnetickém obvodu transformátoru jsou umístěny dvě cívky (jednofázový obvod) nebo čtyři cívky (trojfázový obvod) a jedna cívka sekundárního vinutí. V případě jednofázového obvodu jedna primární cívka slouží pro nulový vodič „N“ a druhá primární cívka pro vodič fázový. Sekundární cívka je propojena s elektromagnetickým vybavovacím zařízením. U trojfázového obvodu je princip stejný, pouze s tím rozdílem, že máme tři primární cívky pro fázové vodiče a jednu cívku pro vodič nulový.

Princip je následující, proud tekoucí ke spotřebiči jednou fází (skrz součtový transformátor) se vrací nulovým vodičem zpět do uzlu transformátoru. Proud tekoucí ke spotřebiči nám v proudovém chrániči vytvoří magnetický tok, ovšem proud tekoucí nulovým vodičem nazpět vytvoří magnetický tok opačný. V případě, že je velikost obou proudů stejná, magnetický tok se vyruší a nevzniká žádný sekundární proud. Vybavovací zařízení tedy nezapůsobí.

Vznikne-li ovšem na chráněném objektu porucha, vytvoří se na součtovém transformátoru reziduální proud. Tento proud se magnetickým obvodem přemění do vinutí sekundárního. Začne nám tedy protékat proud do vybavovacího zařízení, kde vyruší přitažlivou silou permanentního magnetu. V tuto chvíli zapůsobí volnoběžka, která přes silové spínací kontakty rozpojí chráněný elektrický obvod.[6]



Obrázek 3-14: Schematická značka jednofázového proudového chrániče

4 POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ POJISTEK A JISTIČŮ

4.1 Výhody a nevýhody pojistek

Výhodami pojistek jsou:

- jednoduchý a spolehlivý konstrukční princip
- malé vlastní ztráty → malé oteplení
- výborná vypínací schopnost všech nadproudů až po maximální vypínací schopnost
- schopnost omezovat zkratové proudy
- ampérsekundové charakteristiky mají dobrou odolnost vůči teplotním změnám

Nevýhodami pojistek jsou:

- nutnost vyměnit pojistkovou vložku po každém zapůsobení
- nutnost vyměnit porušenou vložku za vložku se stejnou nebo podobnou charakteristiku

4.2 Výhody a nevýhody jističů

Výhodami jističů jsou:

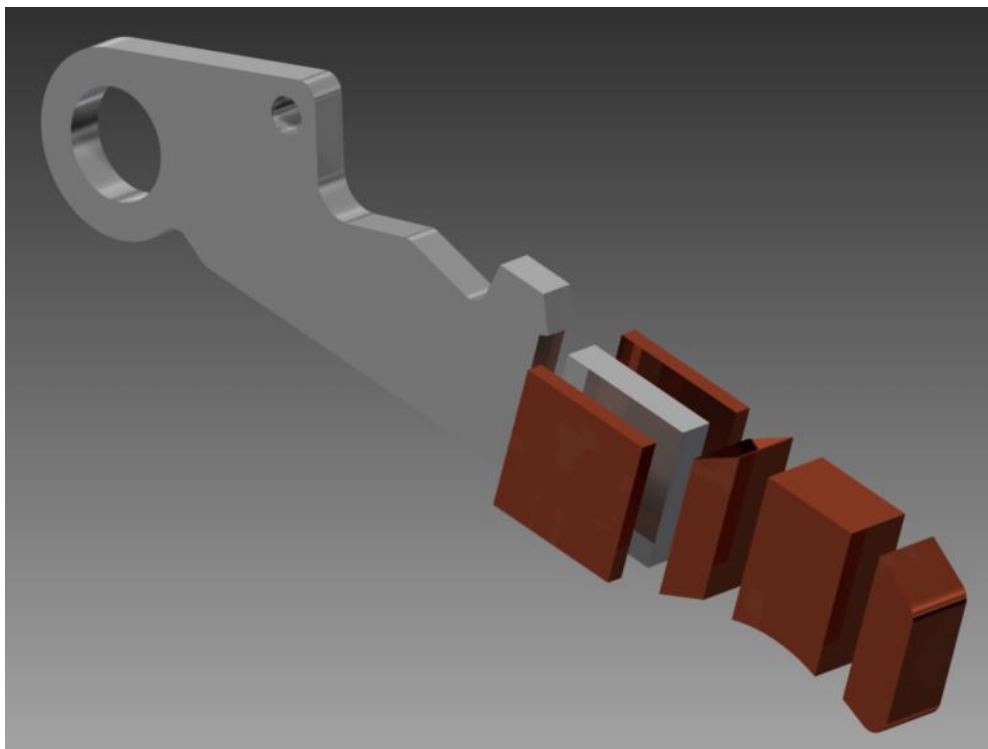
- není zapotřebí jistící prvek po zapůsobení měnit
- připravenost k okamžitému použití po jeho vybavení, pouhým zapnutím
- parametry vypínací charakteristiky lze ověřit, aniž by došlo k destrukci prvku
- možnost doplnit jistič dalšími přídavnými prvky a spouštěmi

Nevýhodami jističů je:

- menší zkratová odolnost

5 VYTVOŘENÍ MODELU PROUDOVODNÉ DRÁHY JISTIČE

Nejdříve bylo zapotřebí překreslit proudovodnou dráhu jističe LPN-16B v programu Inventor Professional a rozdělit ji na potřebný počet elementů, aby následná simulace v programu Ansys byla co nejpřesnější. Výsledná proudovodná dráha byla rozdělena na 94 elementů. Pro lepší pochopení je uveden obrázek 5 -1, na kterém je zobrazen detail pohyblivého kontaktu. Jednotlivé části jsou od sebe účelně oddáleny, aby bylo možné si povšimnout, že tento kontakt se skládá ze 7 elementů.

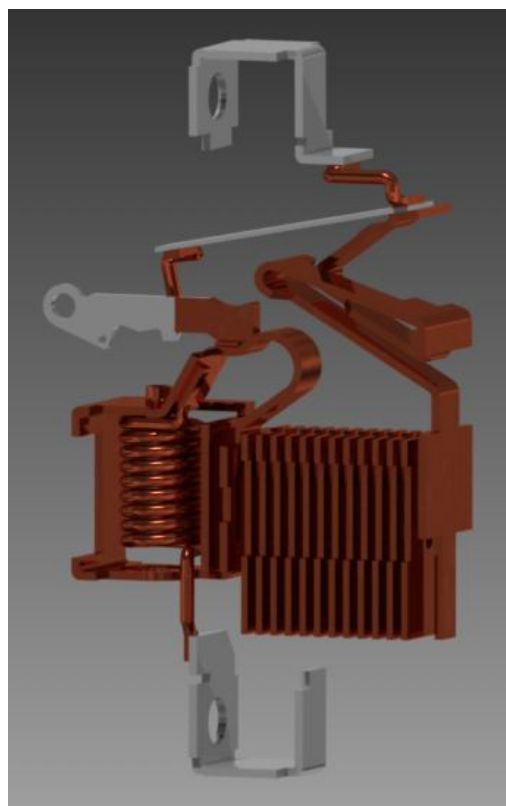


Obrázek 5-1: Pohyblivý kontakt

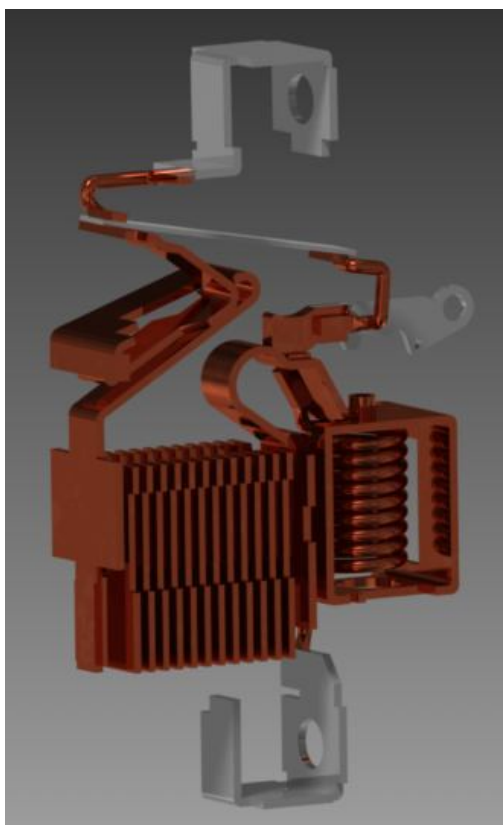
5.1 Zjednodušující předpoklady

Proudovodná dráha jističe není překreslována z technické dokumentace. Jistič byl rozebrán a jednotlivé komponenty naměřeny posuvným měřidlem, proto se v modelu mohou vyskytnout prvky, které nemusí mít přesně dodržanou geometrie. Tepelná spoušť (bimetal) je nasimulována pouze z jednoho materiálu, jelikož se nezajímáme o mechanické namáhání, ale o proudovou hustotu a tepelné ztráty. Výpočet je prováděn pro stejnosměrný proud, není proto nutné definovat okolní prostředí. Zanedbává se také vliv okolní teploty.

5.2 Výsledný model proudovodné dráhy



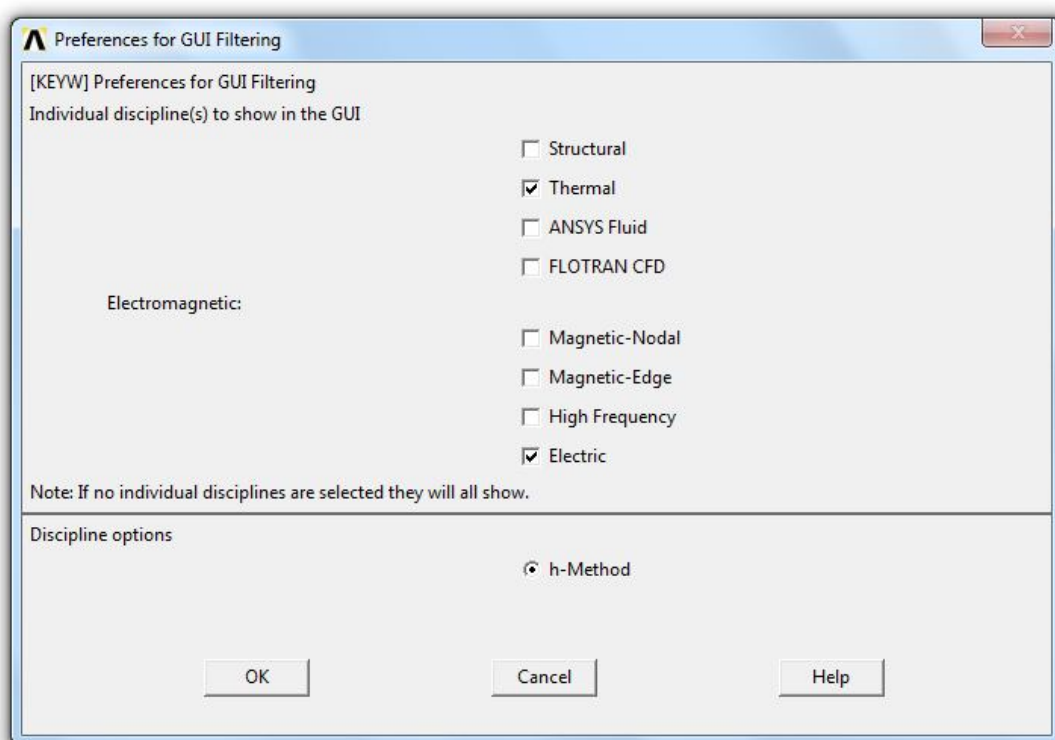
Obrázek 5-2: Přední pohled



Obrázek 5-3: Zadní pohled

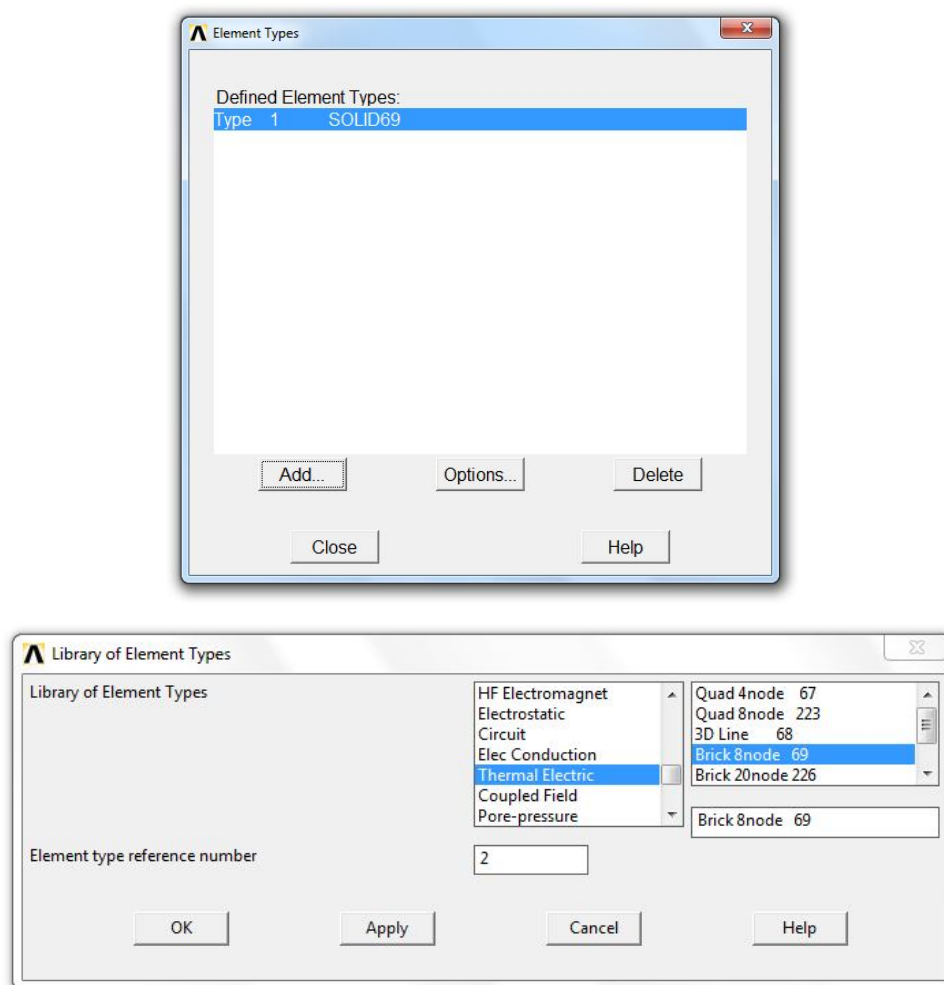
6 POSTUP SIMULACE V PROGRAMU ANSYS PRO STEJNOSMĚRNÝ PROUD

Po vytvoření modelu proudovodné dráhy je potřeba tuto geometrii přenést do programu Ansys (File → Import → SAT). Mezi jednotlivými programy se využívá výměnného formátu SAT. U tohoto formátu jsou objemová tělesa ukládána ve formě hraničních modelů. To má za následek zmenšení velikosti dat a zkrácení doby zobrazení. Následně je vhodné nastavit filtr analýzy (Preferences). Jelikož se zabýváme výpočty rozložení proudu a tepelných ztrát na proudovodné dráze, použijeme typy Thermal a Electric (Obr.6-1). [13]



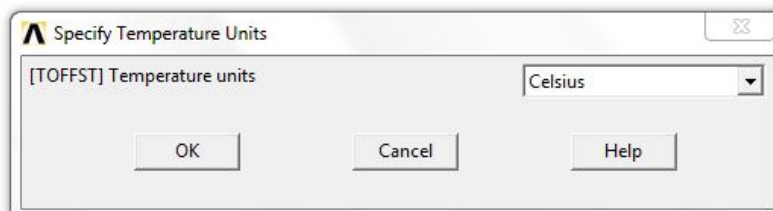
Obrázek 6-1: Filtrování použitých analýz

Při volbě typu elementu, se musíme zamyslet, jakou simulaci budeme provádět. V našem případě je nejvhodnější element SOLID 69 typ BRICK 8node 69, protože má schopnost tepelné a elektrické vodivosti. Prvek má osm uzlů s dvěma stupni volnosti teploty a napětí, v každém uzlu. (Preprocessor → Element Type → Add). Výběr je zobrazen na obrázku 6-2. [14]

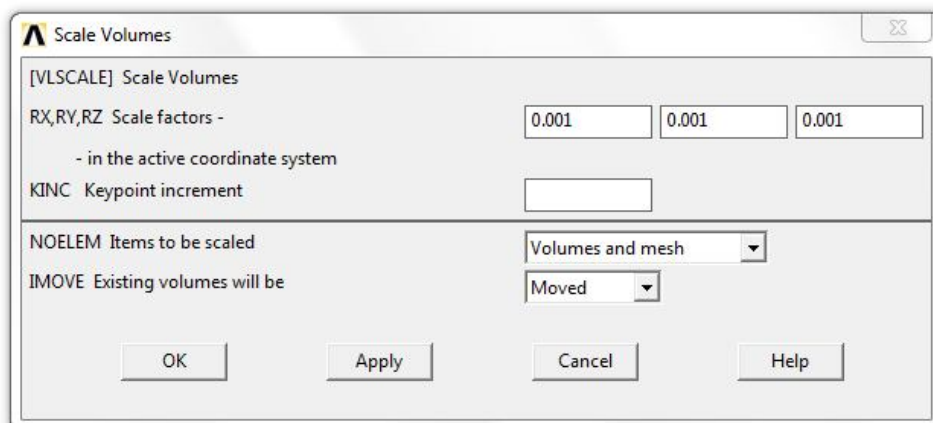


Obrázek 6-2: Volba elementu SOLID69

V dalším kroku je potřeba změnit nastavení teploty (Preprocessor → Material Props → Temperature Units) z přednastavených Kelvinů na °C (Obr. 6-3). Jelikož Ansys používá jako základní jednotku metr, musíme také změnit měřítko námi vložené geometrie na milimetry. (Preprocessor → Modeling → Operate → Scale → Volumes → Pick All → Obr. 6.4.)

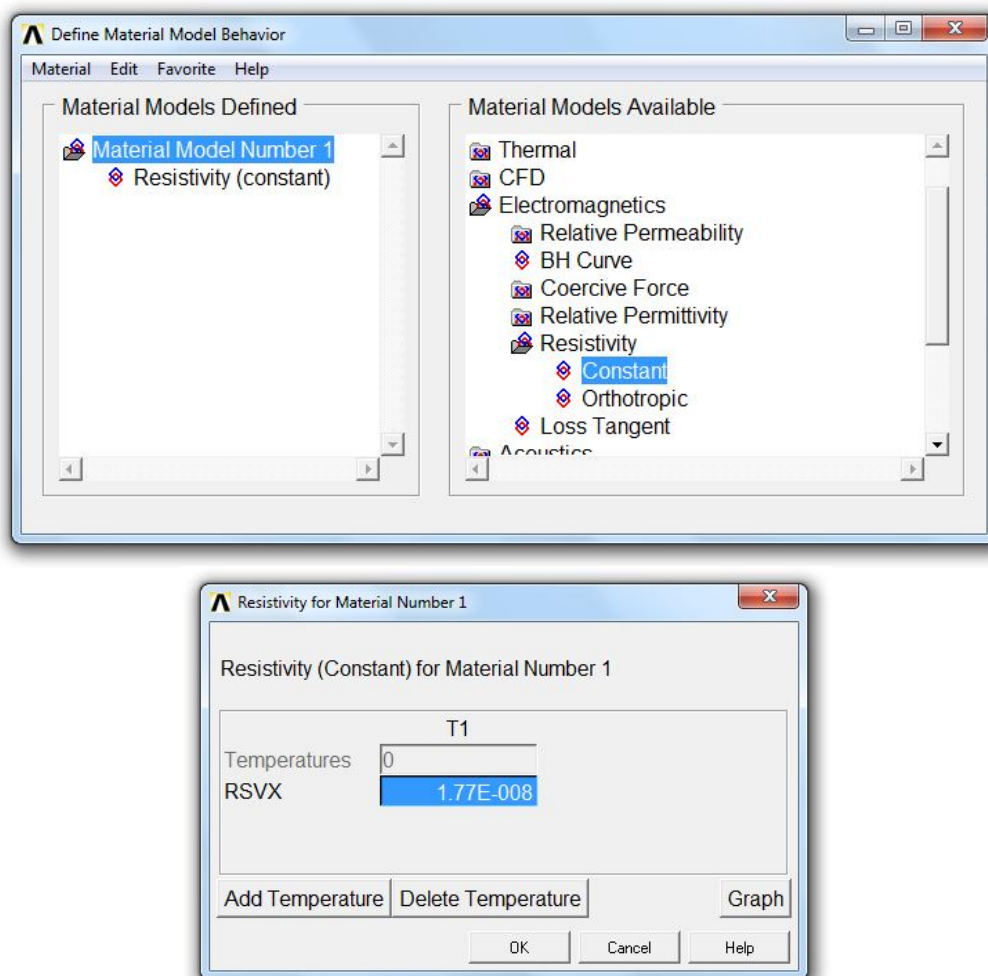


Obrázek 6-3: Změna teploty na °C



Obrázek 6-4: Změna měřítka

Dále je potřeba specifikovat materiál, ze kterého je proudovodná dráha tvořena a nastavit jeho rezistivitu (Preprocessor → Material Props → Material Models). V našem případě se jedná o měď s rezistivitou $1,77 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$. Volba rezistivity je zobrazena na Obr. 6-5.



Obrázek 6-5: Nastavení rezistivity

Ve chvíli kdy máme nastavené výchozí parametry modelu, je možné spojit jednotlivé elementy proudovodné dráhy (Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans → Glue → Volumes → Pick All) a vytvořit síť prvků (Preprocessor → Meshing → Mesh Tool → Size Controls – Global – SIZE Element = 0.0004 → OK → Mesh). Při nastavování hodnoty SIZE Element volíme jemnost sítě. Čím je číslo nižší, tím dojde k vykreslení jemnější sítě prvků, která slouží k přesnějšímu řešení zadané úlohy. Současně s vytvářením sítě prvků, si řekneme pár informací o principu metody konečných prvků (MKP), která s tímto krokem úzce souvisí.

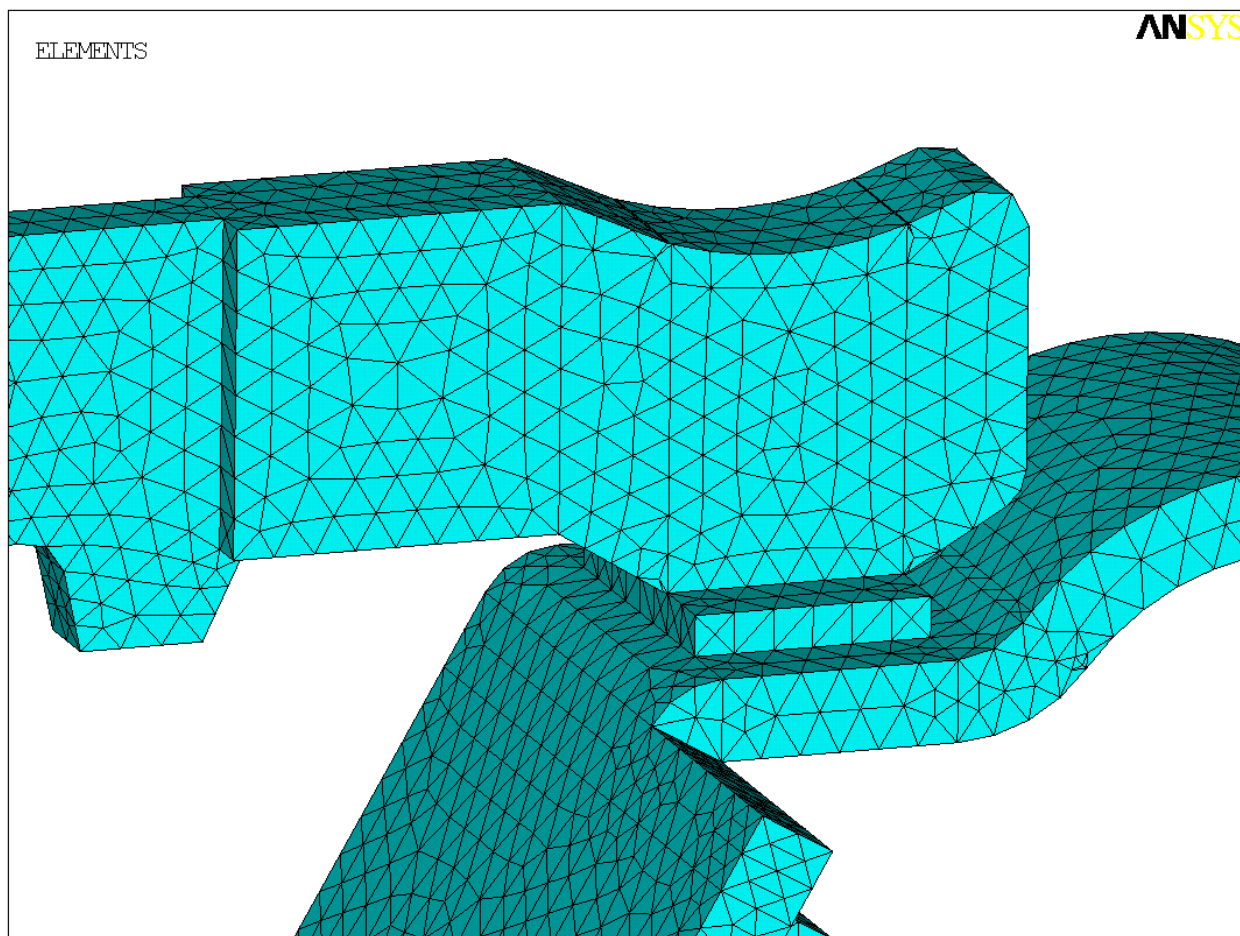
6.1 Metoda konečných prvků

Metoda konečných prvků vzešla z potřeby řešení komplexních úloh statické mechaniky ve stavebním a leteckém inženýrství. Její vývoj může být vysledován až k práci A.Hrennikoffova (1941) a R.Couranta (1942). Ačkoliv byly přístupy použité těmito průkopníky zásadně odlišné, mají jednu společnou charakteristiku: rozšiřování spojité oblasti do množiny samostatných podoblastí. Hrennikoffova práce rozděluje oblast za pomoci mřížky, podobně Courant dělí oblast do konečného počtu trojúhelníkových podoblastí pro řešení eliptických parciálních diferenciálních rovnic druhého stupně, které byly sestaveny z úlohy zabývající se krutem válce.

Rozvoj metody konečných prvků ve statické mechanice je často založen na energetickém principu např. princip virtuálních prací nebo minimum celkové potenciální energie, které poskytují obecný intuitivní fyzikální základ se zásadním dopadem na stavební inženýrství.

Z matematického hlediska je metoda konečných prvků (MKP) používána pro nalezení aproximovaného řešení parciálních diferenciálních rovnic (PDR) i integrálních rovnic např. rovnice vedení tepla. Postup řešení je založen jednak na úplné eliminaci diferenciální rovnice (stacionární úlohy), nebo na převedení PDR na ekvivalentní obyčejnou diferenciální rovnici, jež je následně řešena standardními postupy jako např. metodou konečných diferencí a další.

Při řešení parciálních diferenciálních rovnic je základním krokem sestavení rovnice, která aproximuje řešenou rovnici a která je numericky stabilní ve smyslu, že chyby ve vstupních datech a pomocných výpočtech se neakumulují a nevedou tak k nesmyslným výsledkům. Existuje celá řada možných postupů, všechny s určitými výhodami i nevýhodami. Metoda konečných prvků je rozumnou volbou pro řešení parciálních diferenciálních rovnic na složitých oblastech (jakými jsou např. automobily či potrubní rozvody) nebo v případě kdy požadovaná přesnost se mění po celé oblasti řešení. Například při simulaci místního počasí na Zemi je mnohem důležitější dosáhnout přesné predikce nad zemí než nad oceánem, to je požadavek, který je právě dosažitelný metodou konečných prvků. [15]



Obrázek 6-6: Síť prvků na kontaktech

Na závěr je potřeba nastavit na vstupní svorku proudovodné dráhy hodnotu napětí 1V a na výstupní svorku hodnotu napětí 0V, aby nám na proudovodné dráze vznikl potenciál jednoho voltu. Ve chvíli kdy máme nastavené napětí, je třeba zadat hodnotu proudu, která bude obvodem protékat. Výpočty rozložení proudu a tepelných ztrát provedeme pro jmenovitý proud $I_n = 16\text{A}$ a maximální zkratový proud $I_{cn} = 10\text{kA}$.

Po nastavení požadovaného proudu již můžeme spustit vlastní výpočet.

7 TEORIE PŘEMĚNY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA TEPLA

7.1 Proudová hustota

Hustota elektrického proudu (zkráceně proudová hustota) je poměr procházejícího proudu a průřezu vodiče. Aby nedošlo k přehřátí vodiče, nesmí elektrony překročit určitou proudovou hustotu vodiče. Hlavní jednotkou proudové hustoty je $A \cdot m^{-2}$, častěji se však setkáme s jednotkou $A \cdot mm^{-2}$. Vypočítané hodnoty proudové hustoty v programu Ansys jsou v základních jednotkách $A \cdot m^{-2}$.

$$J = \frac{I}{S} \quad (7.1)$$

[16]

7.2 Tepelné ztráty

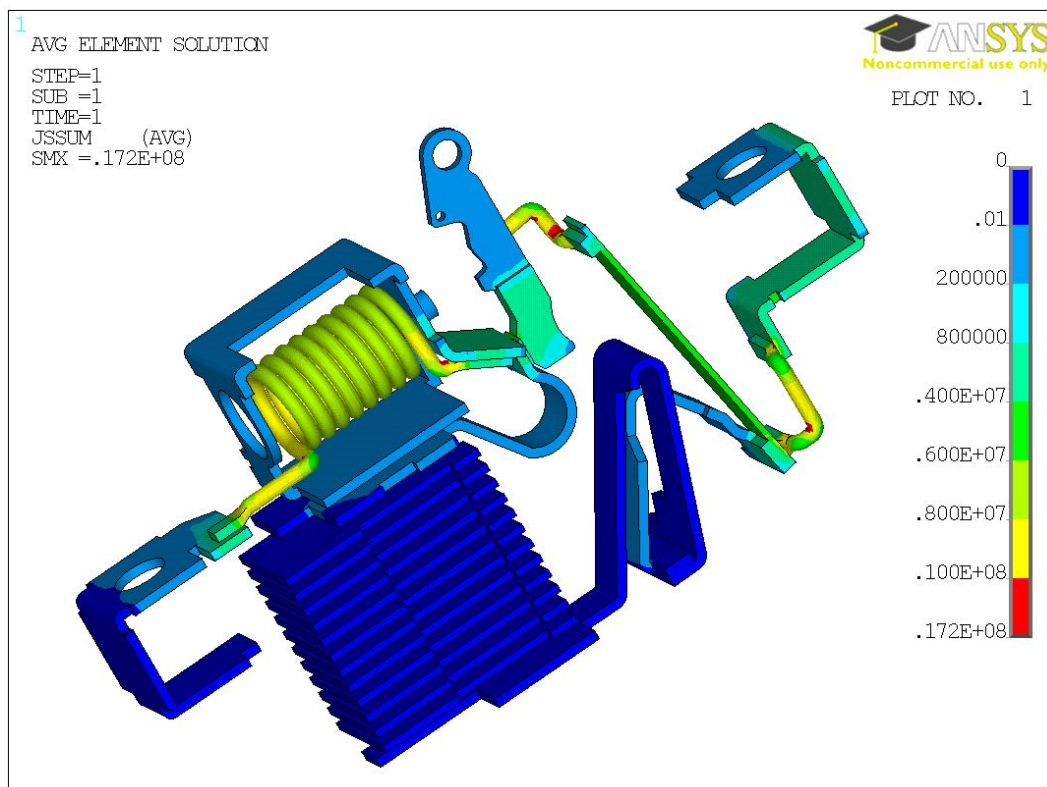
Tepelné ztráty jsou nevyužitá přeměna elektrické energie na teplo. V každém vodiči, kterým protéká elektrický proud, vzniká teplo. Toto teplo je nevyužité a tedy ztrátové. Této přeměně nejde zabránit, ale můžeme jí velice omezit a to tím, že navrhujeme takový průřez vodiče, aby proudová hustota nebyla příliš vysoká. Protože čím je proudová hustota vyšší, tím je přeměna elektrické energie na teplo intenzivnější. Základní jednotkou tepelných ztrát je jeden watt. Jeden watt je výkon, při kterém se vykoná práce jednoho joulu za jednu sekundu. [17]

7.3 Jouleovo teplo

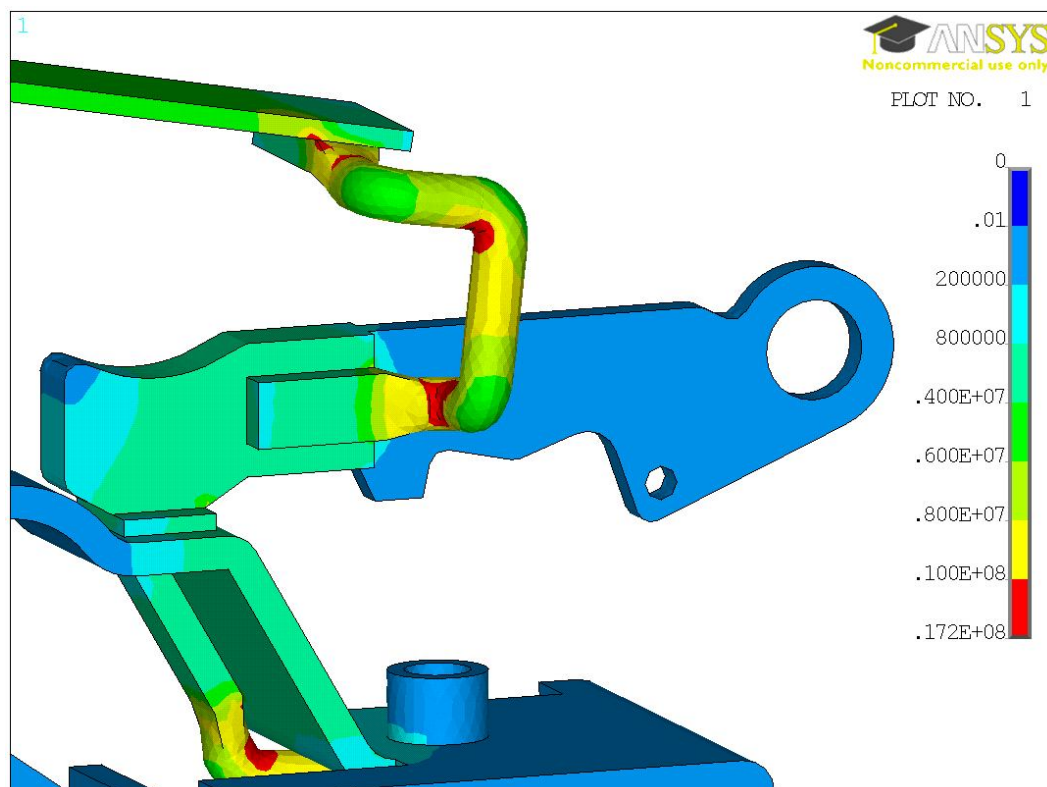
Každý vodič se průchodem elektrického proudu zahřívá, elektrická energie se mění na teplo, které se nazývá Jouleovo teplo. Základní jednotkou pro výpočet v programu Ansys je jeden watt vynásobený geometrií proudovodné dráhy. [17]

8 ZATÍŽENÍ JMENOVITÝM PROUDEM 16A

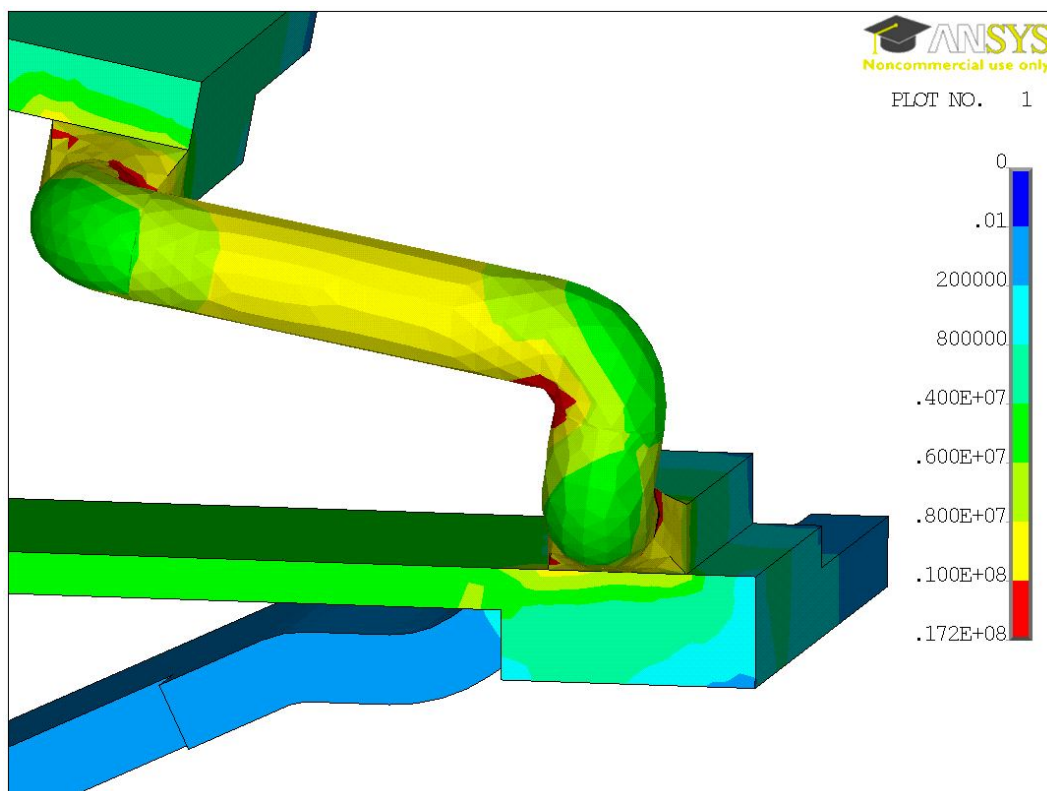
8.1 Proudová hustota



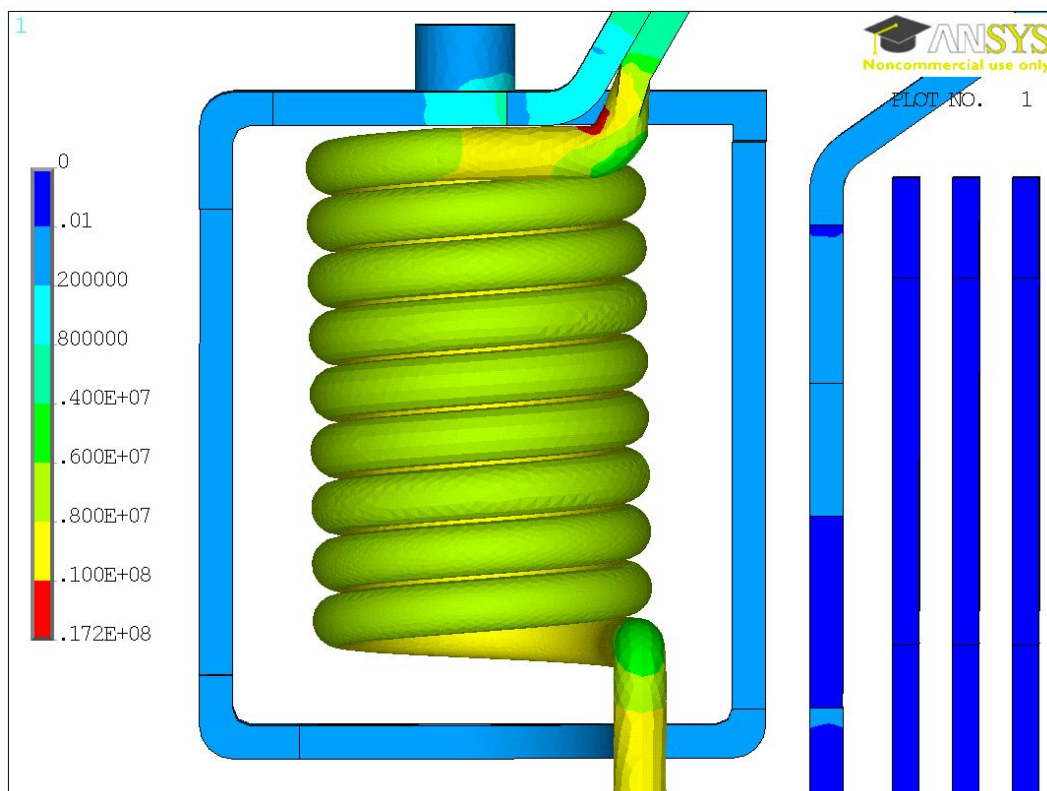
Obrázek 8-1: Celkový pohled



Obrázek 8-2: Detail pohyblivého kontaktu

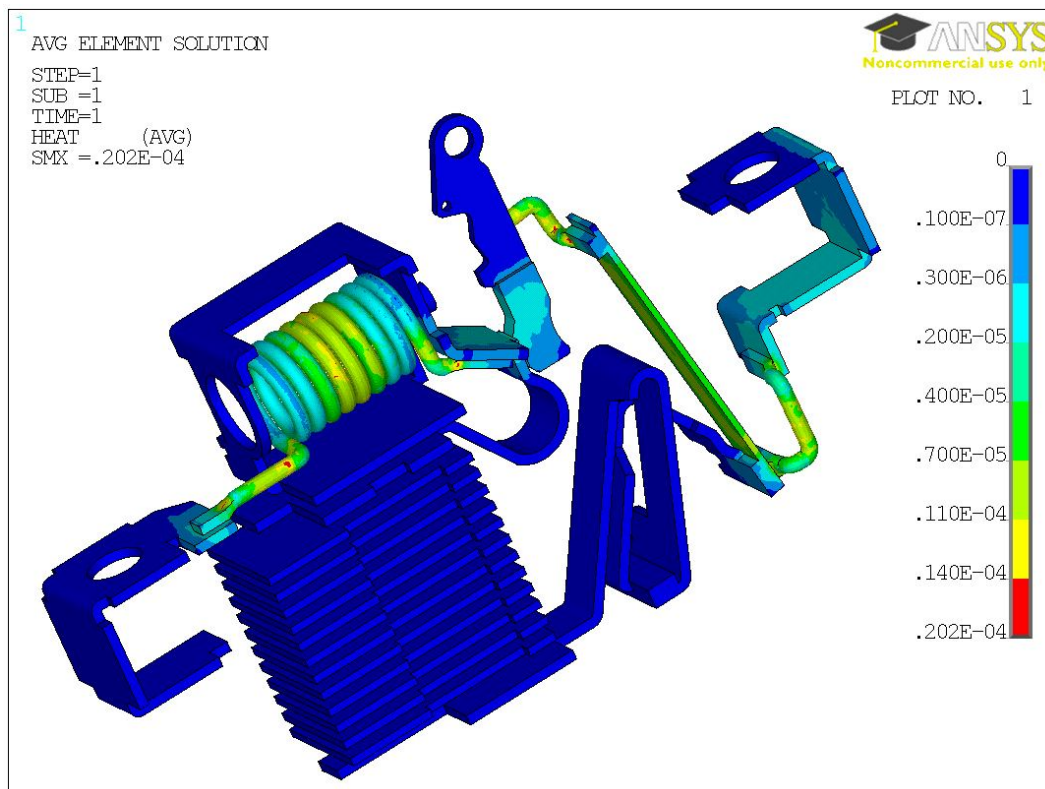


Obrázek 8-3: Detail připojení bimetalu

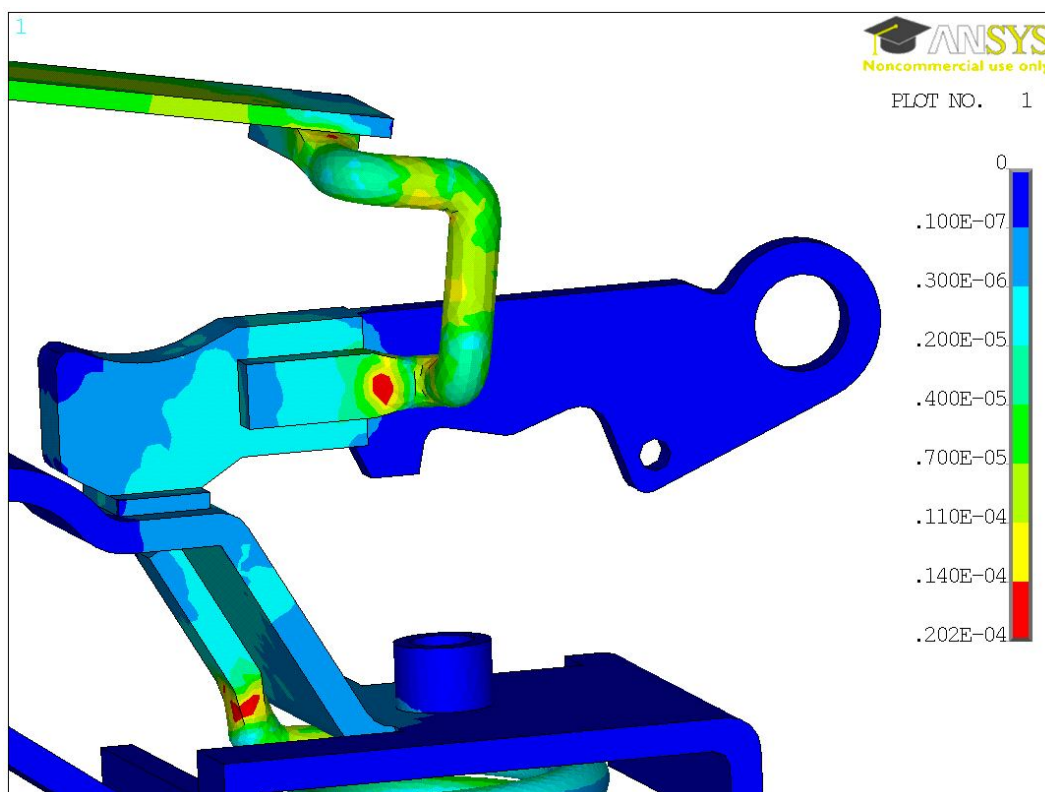


Obrázek 8-4: Detail vinutí

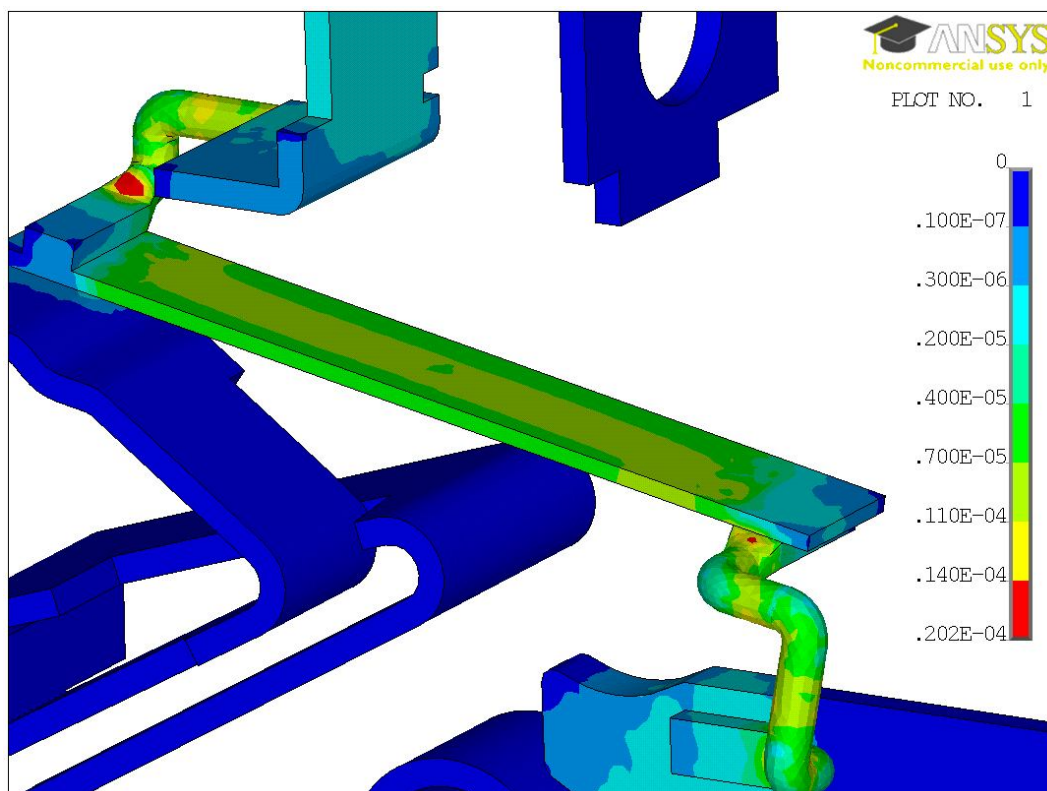
8.2 Tepelné ztráty



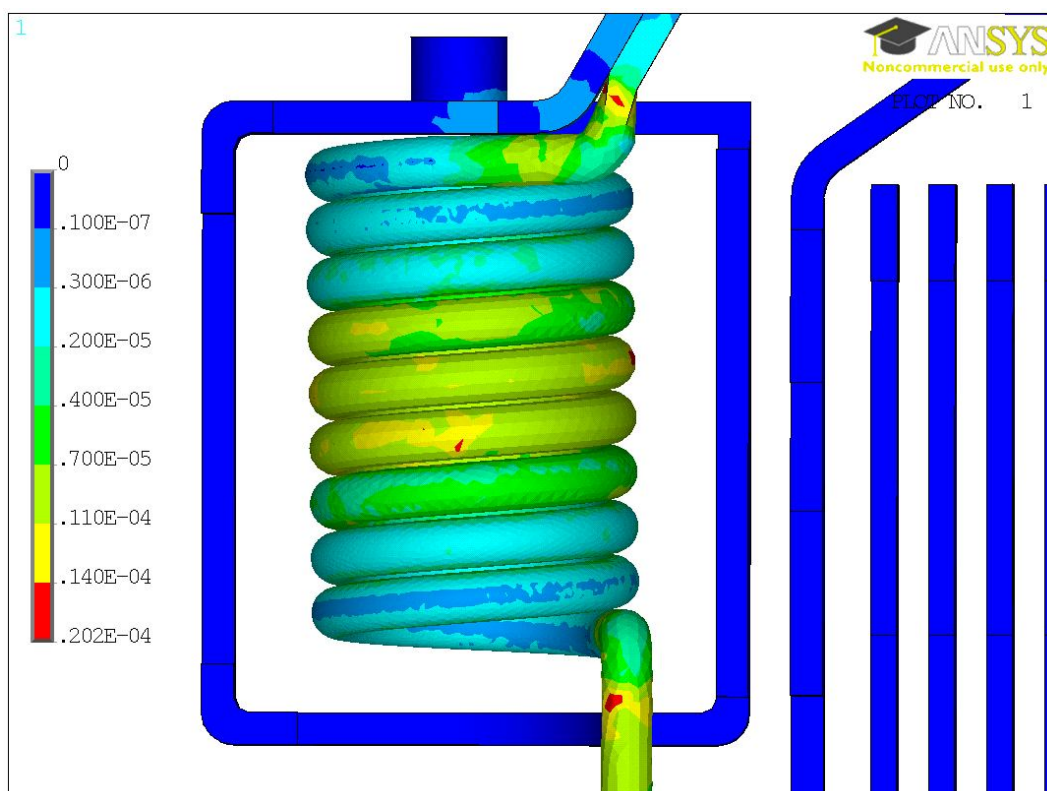
Obrázek 8-5: Celkový pohled



Obrázek 8-6: Detail pohyblivého kontaktu

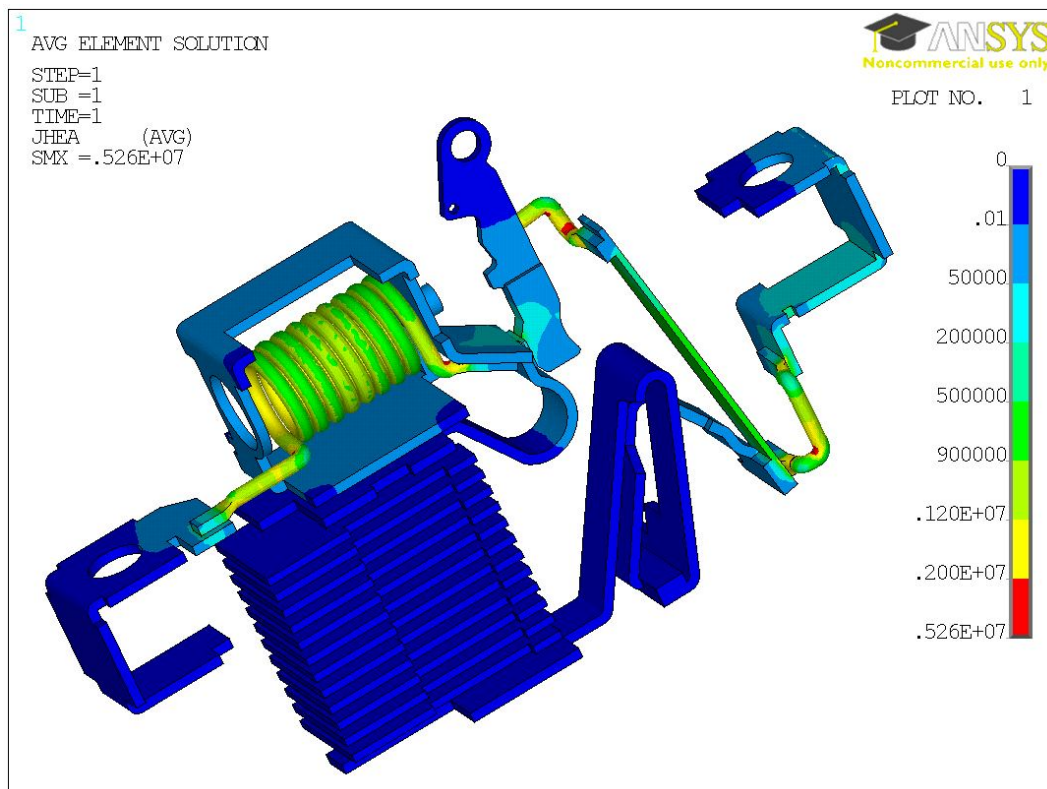


Obrázek 8-7: Detail bimetalu

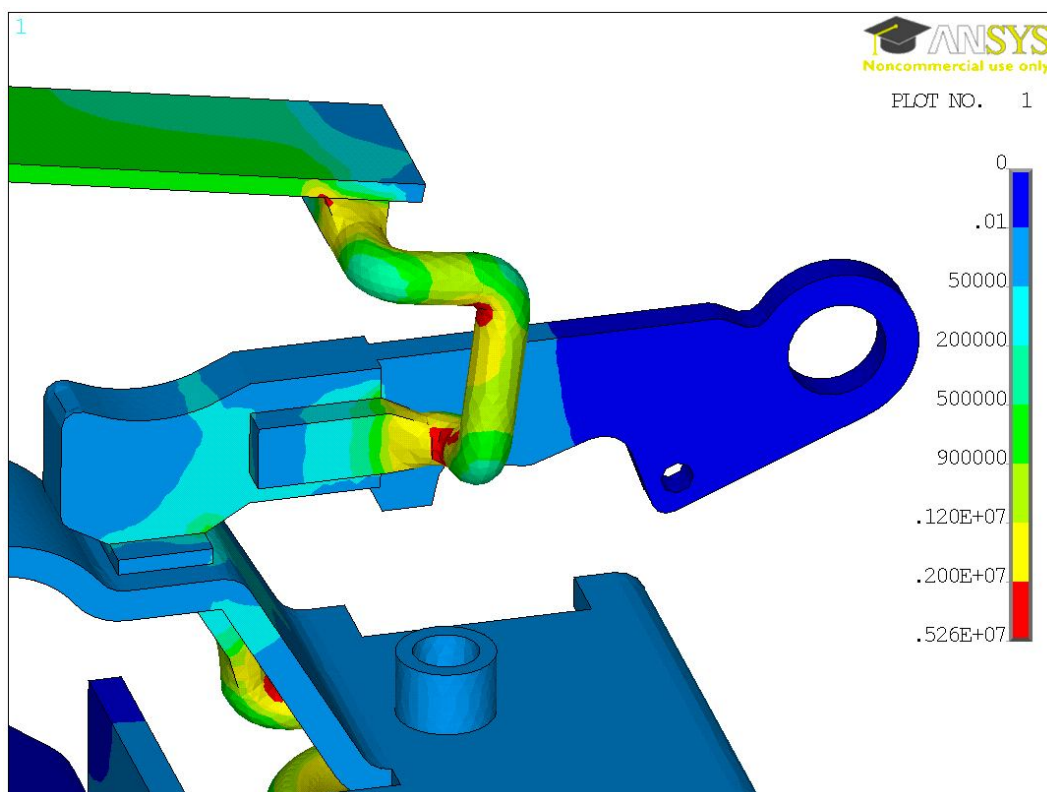


Obrázek 8-8: Detail cívky

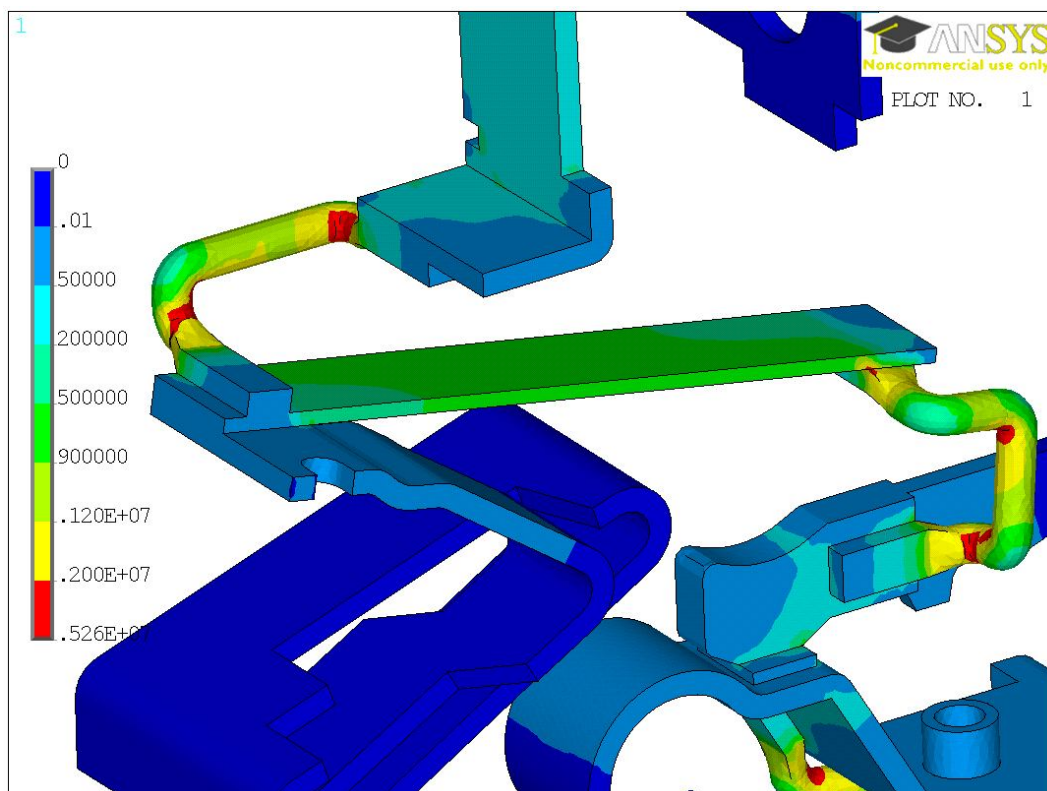
8.3 Jouleovo teplo



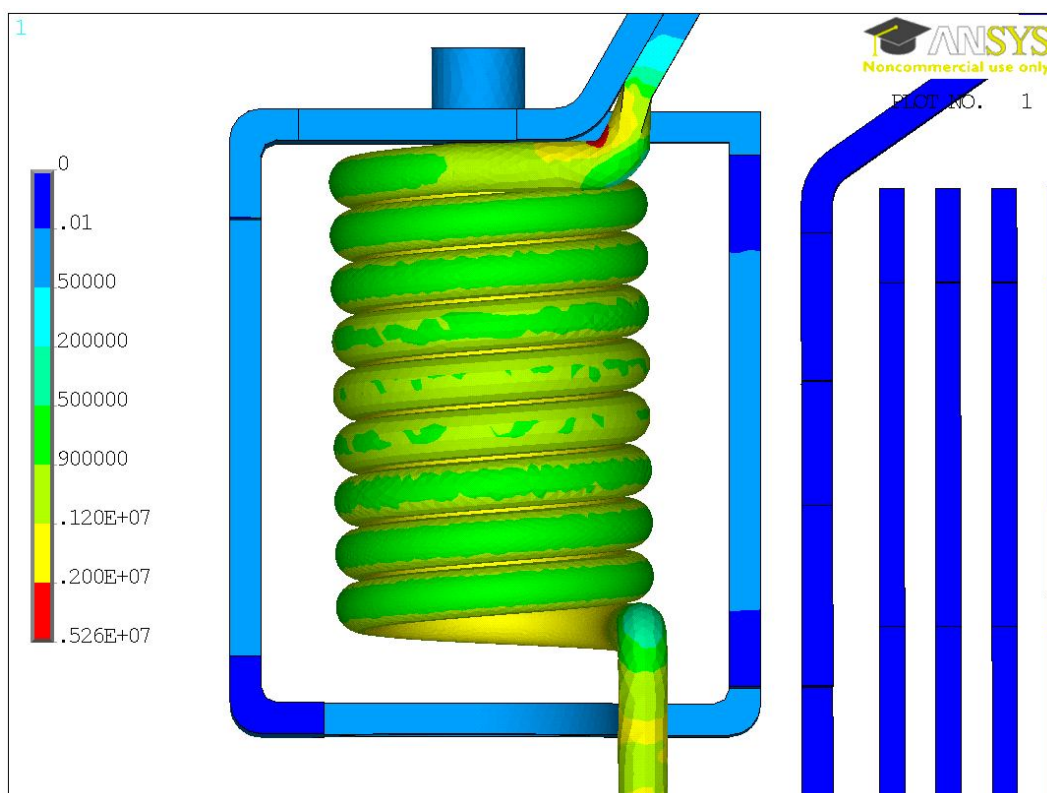
Obrázek 8-9: Celkový pohled



Obrázek 8-10: Detail pohyblivého kontaktu

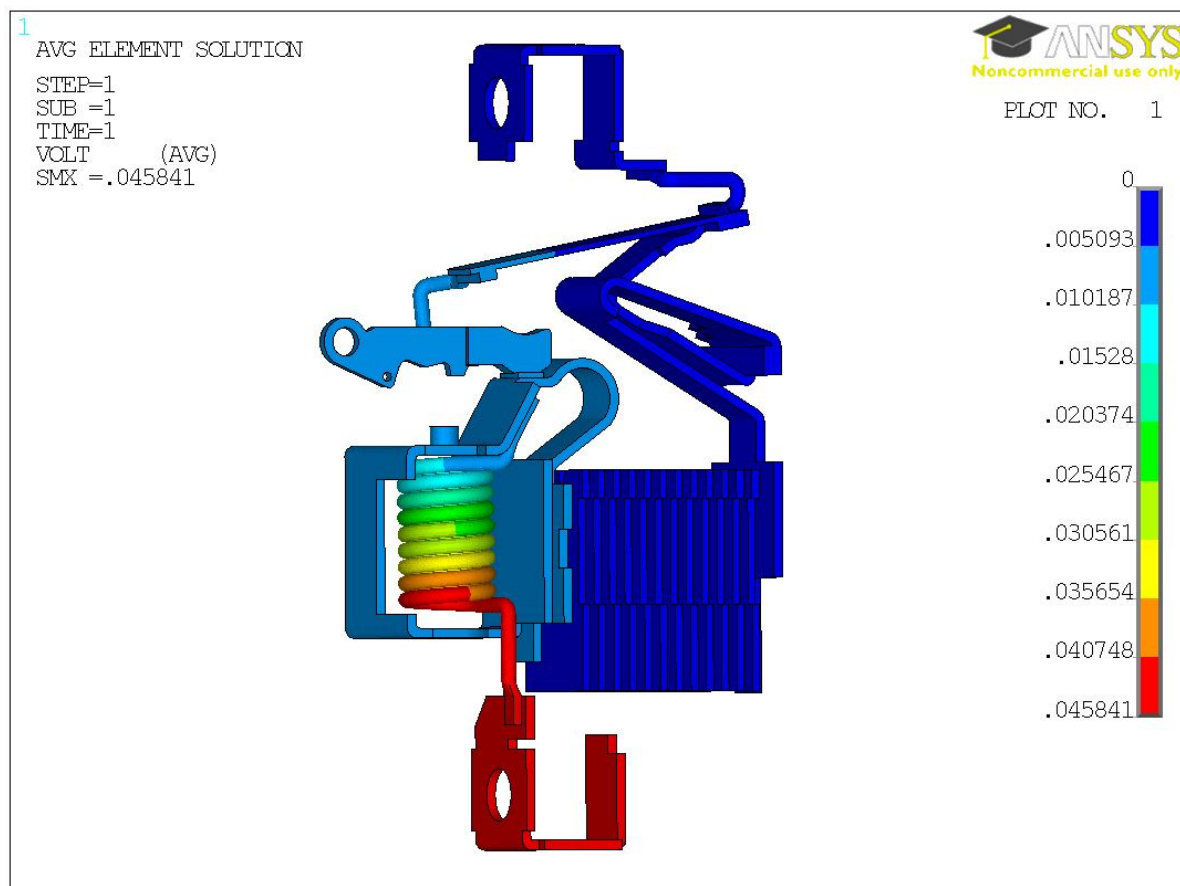


Obrázek 8-11: Detail bimetalu



Obrázek 8-12: Detail cívka

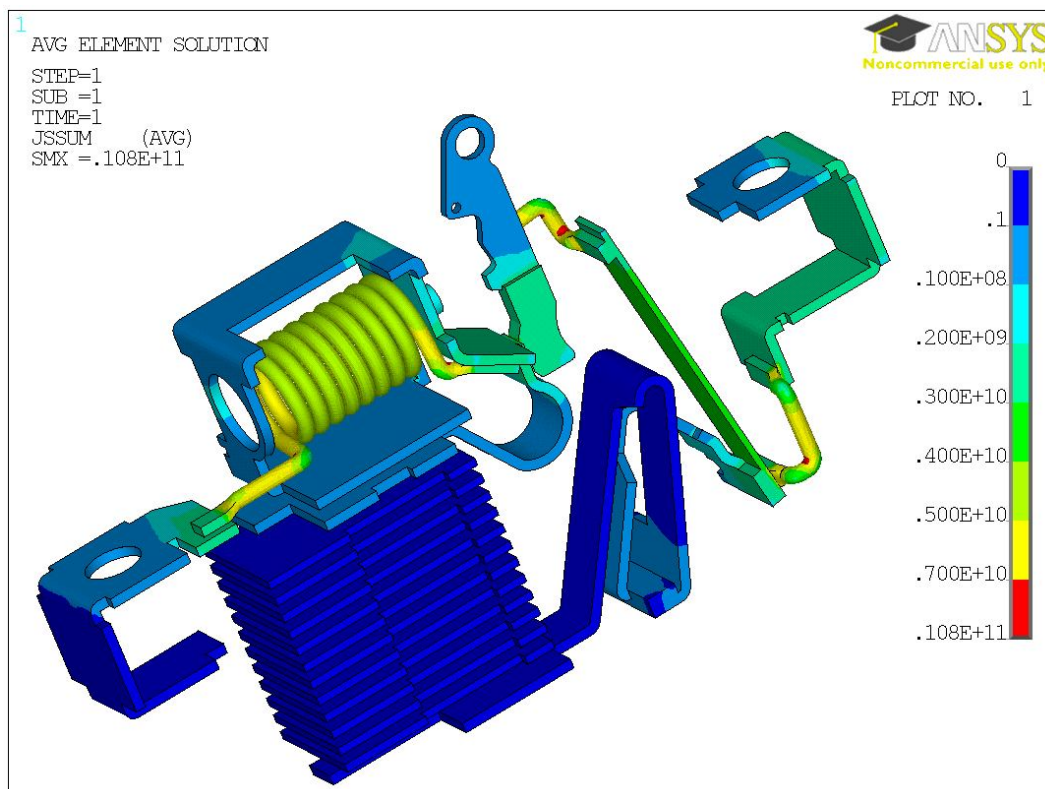
8.4 Úbytek napětí



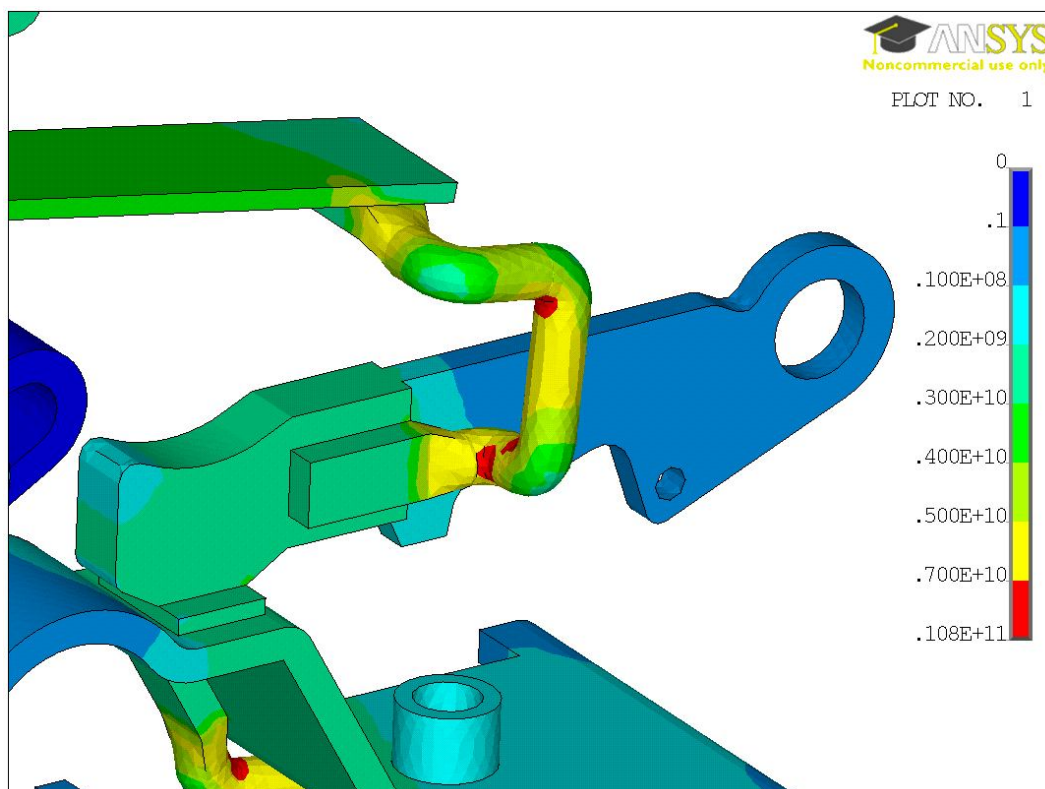
Obrázek 8-13: Úbytek napětí na proudovodné dráze

9 ZATÍŽENÍ ZKRATOVÝM PROUDEM 10KA

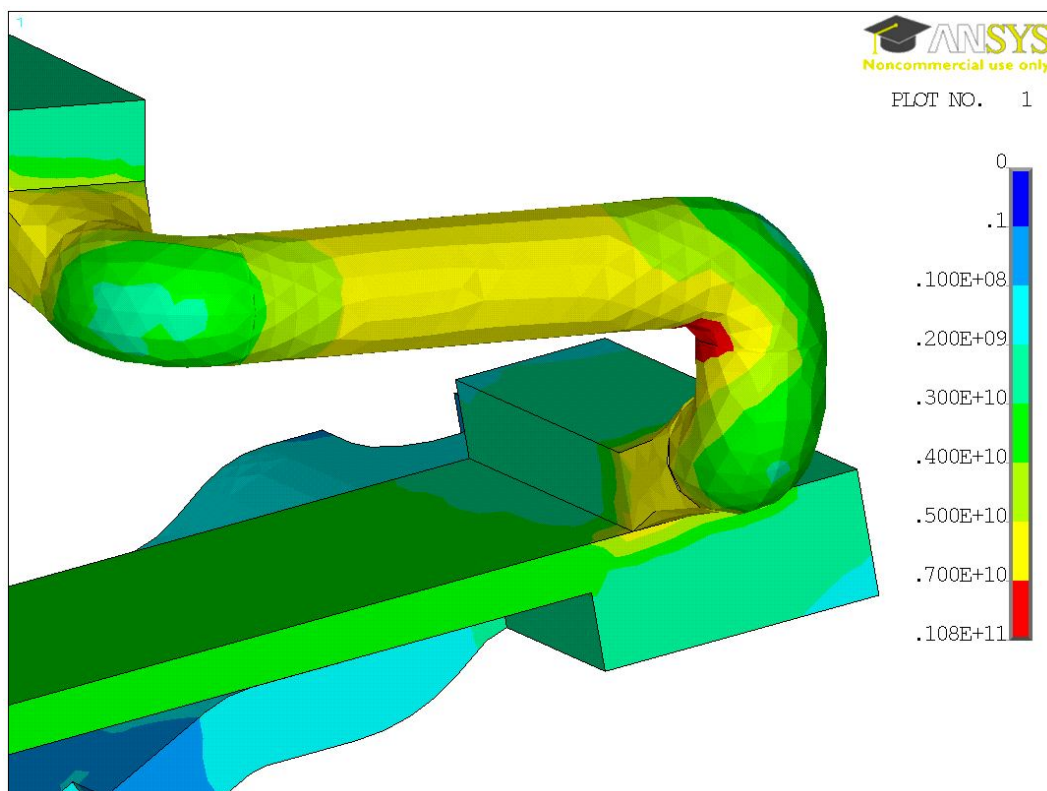
9.1 Proudová hustota



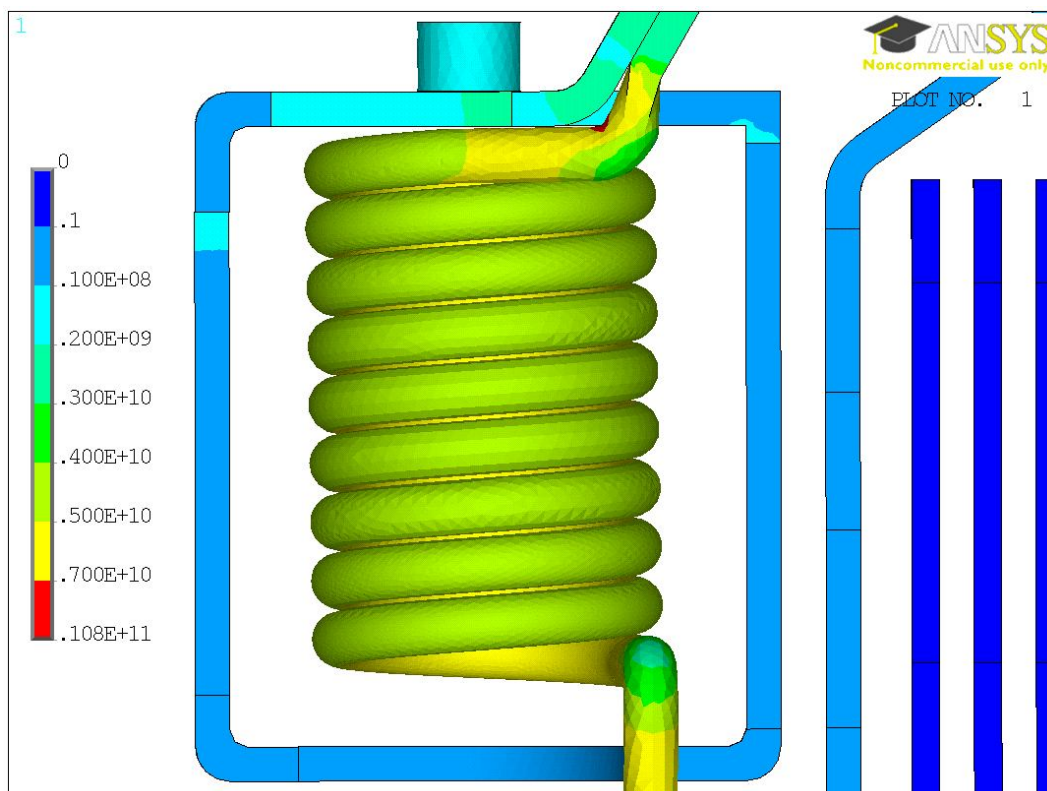
Obrázek 9-1: Celkový pohled



Obrázek 9-2: Detail pohyblivého kontaktu

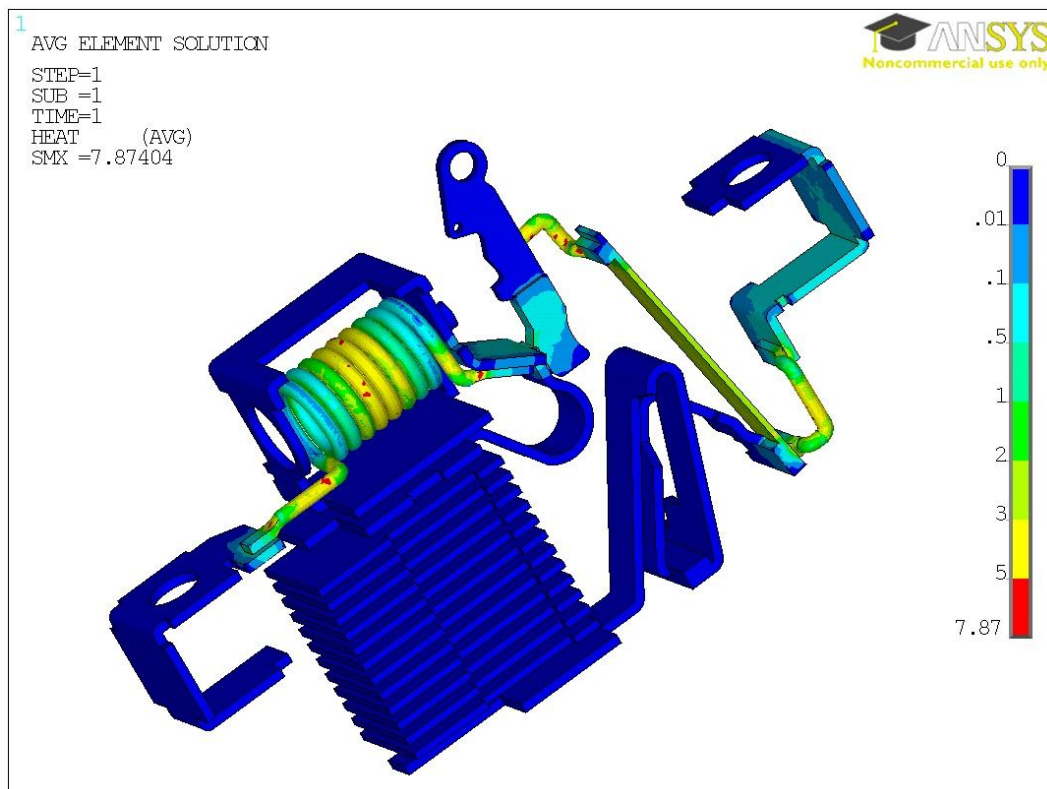


Obrázek 9-3: Detail připojení bimetalu

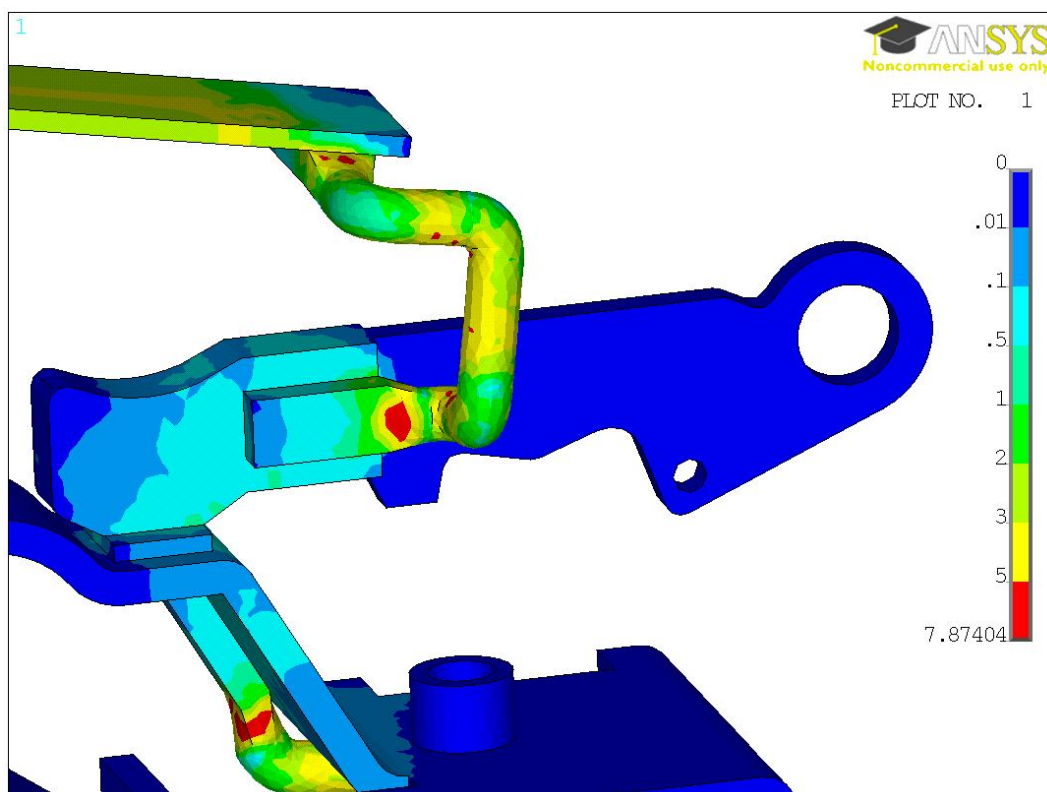


Obrázek 9-4: Detail cívka

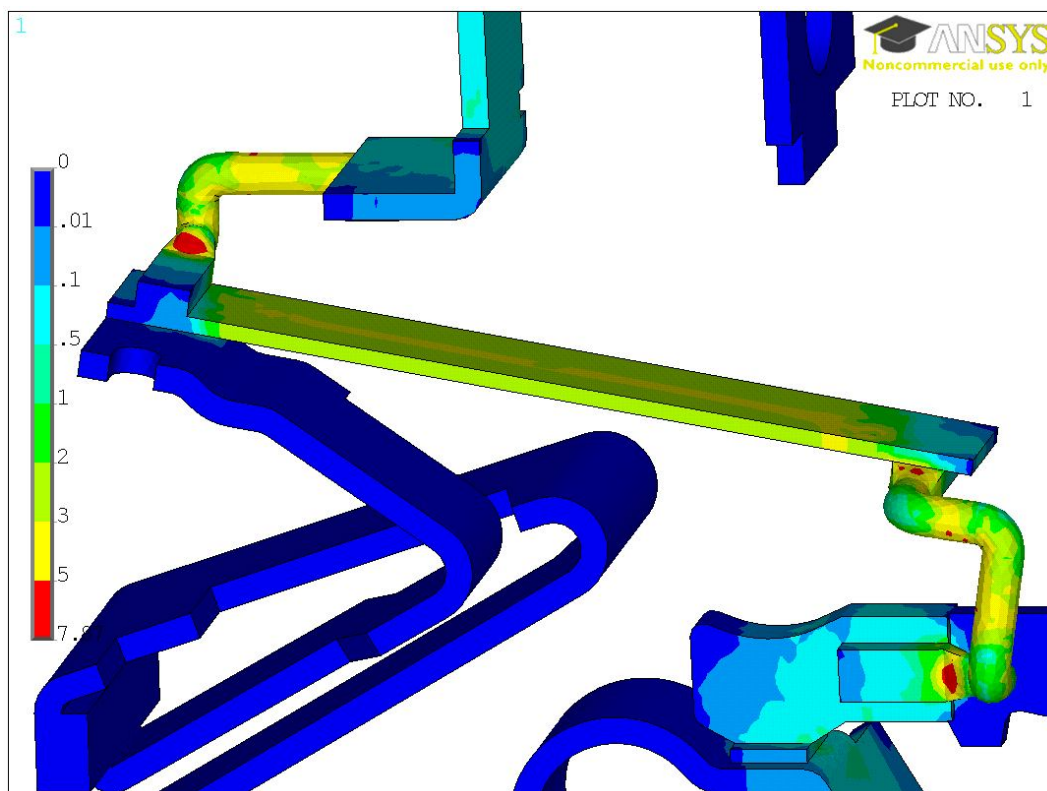
9.2 Tepelné ztráty



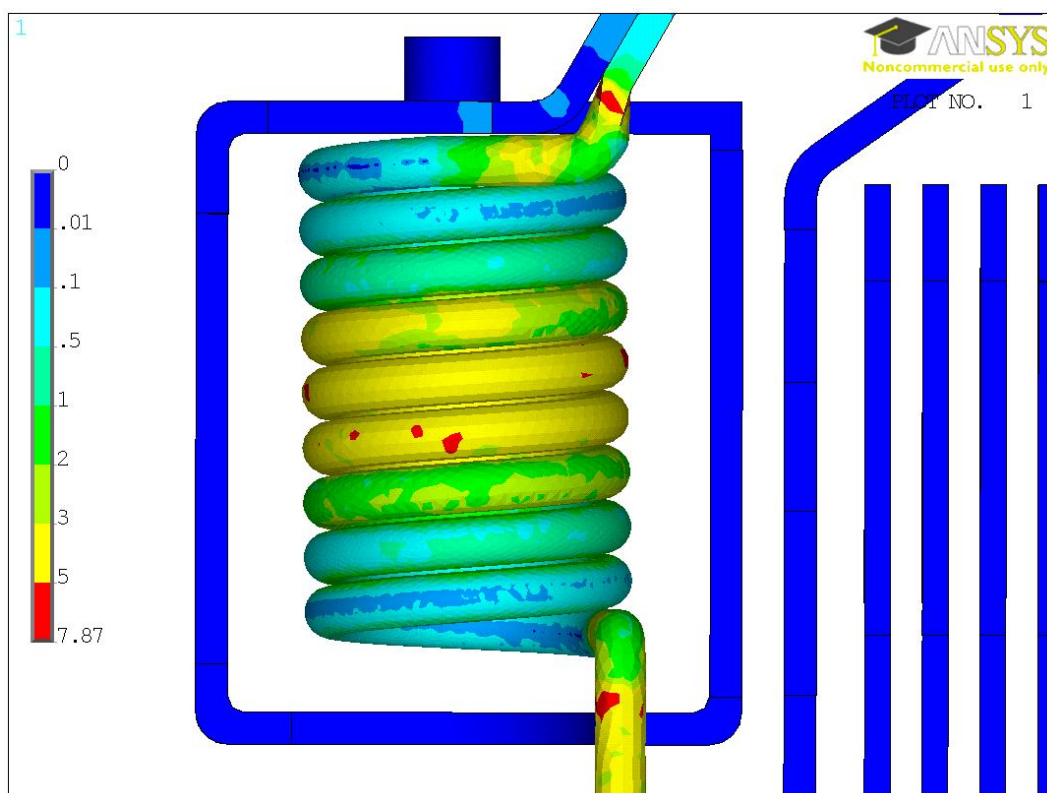
Obrázek 9-5: Celkový pohled



Obrázek 9-6: Detail pohyblivého kontaktu

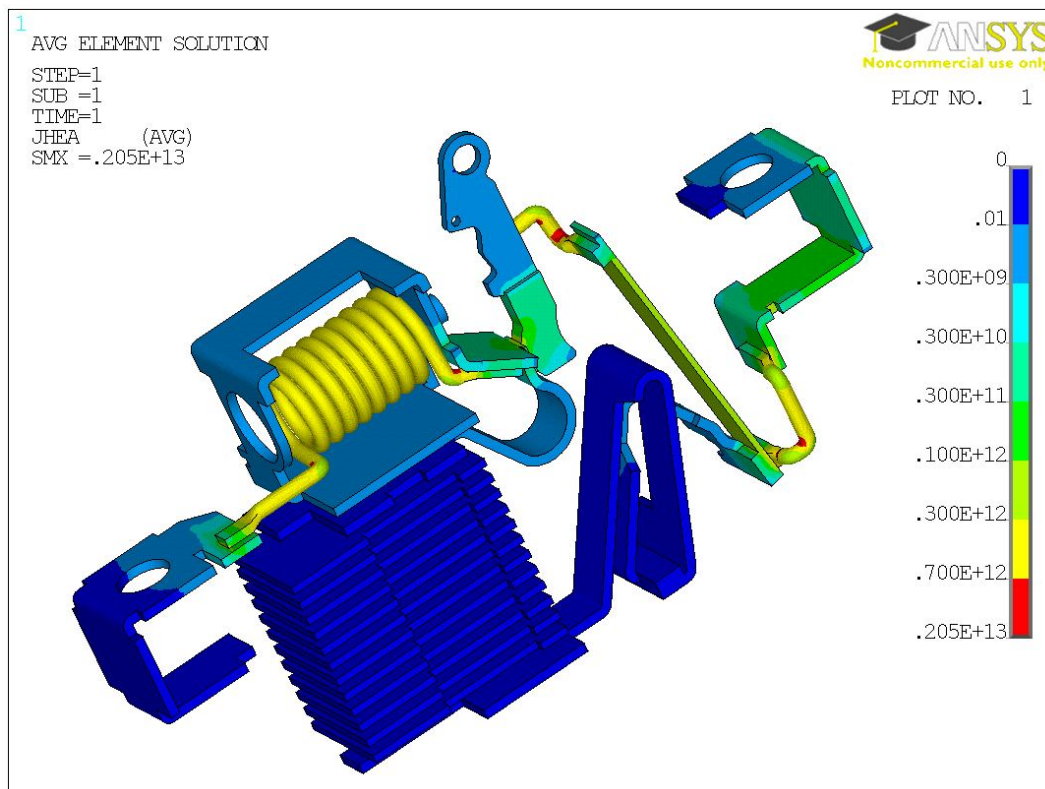


Obrázek 9-7: Detail bimetalu

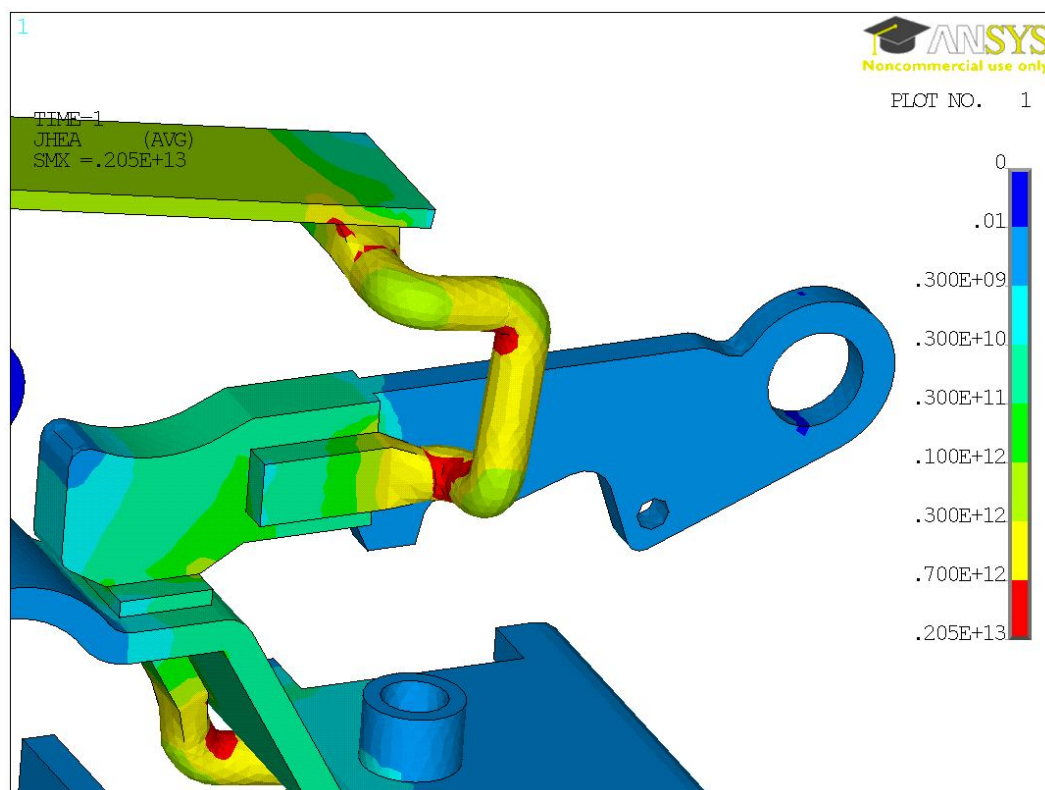


Obrázek 9-8: Detail cívky

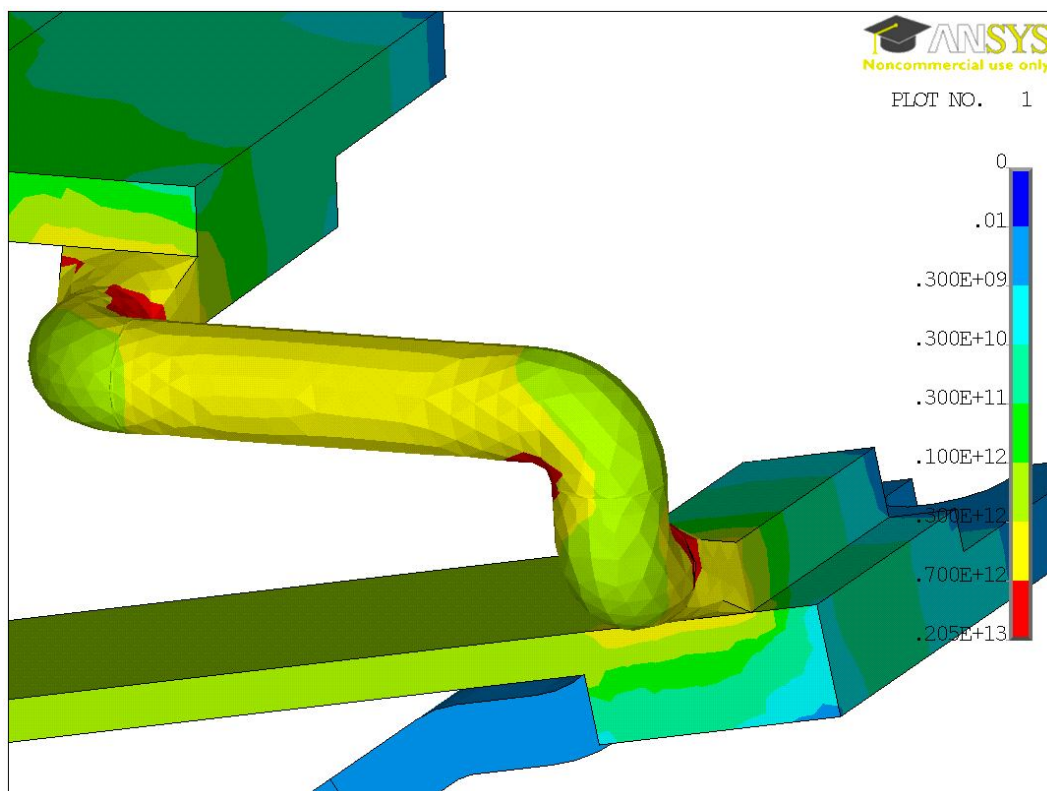
9.3 Jouleovo teplo



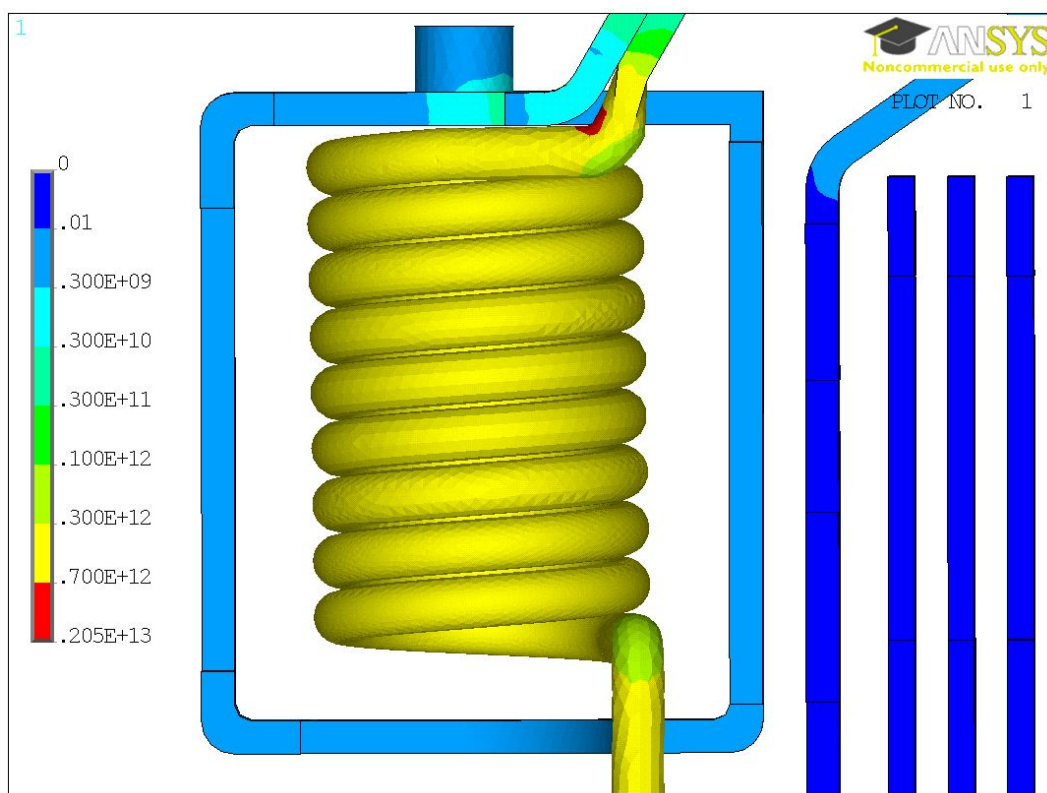
Obrázek 9-9: Celkový pohled



Obrázek 9-10: Detail pohyblivého kontaktu

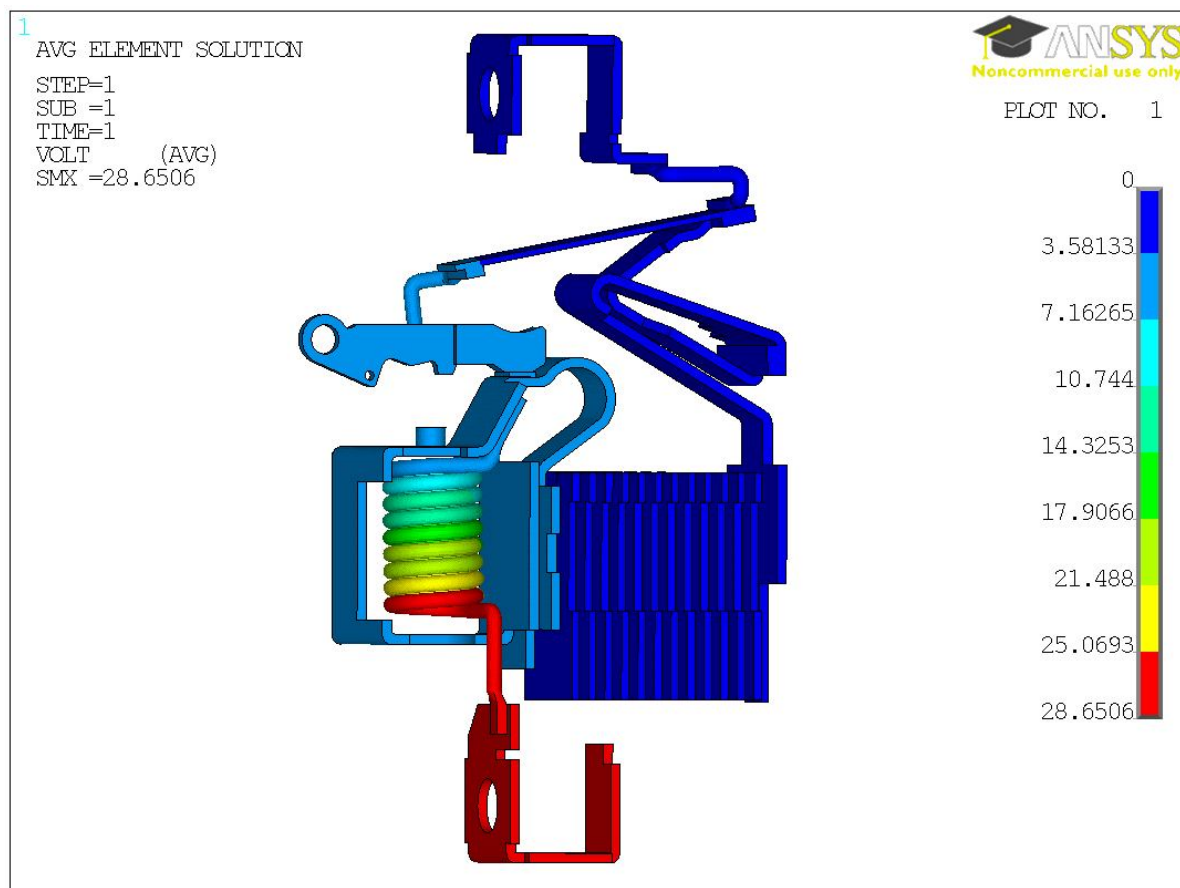


Obrázek 9-11: Připojení bimetalu



Obrázek 9-12: Detail cívka

9.4 Úbytek napětí



Obrázek 9-13: Úbytek napětí na proudovodné dráze

10 ZÁVĚR

V první polovině práce jsem se věnoval konstrukčnímu uspořádání jisticích prvků. Do základní skupiny spadají pojistky a jističe. Velkou výhodou jističů je, že po zapůsobení není zapotřebí měnit jisticí prvek. Také parametry vypínací charakteristiky lze ověřit, aniž by došlo k destrukci prvku. Naopak u pojistky je výměna pojistkové vložky časově náročná. Občas také není možné zaručit náhradu přetavené patrony, patronou o stejných vlastnostech. Pro malé nadproudy má velkou dobu působení. Hlavní výhodou pojistky je ovšem její omezovací schopnost, používáme ji tedy především k vypínání velkých zkratových proudů. Je také možné provádět kombinaci jištění, pojistka a jistič pouze s tepelnou spouští. Tento způsob jištění provádíme tam, kde se vyskytuje velké krátkodobé přetížení.

V druhé části práce jsem se zabýval simulací proudovodné dráhy jističe s označením LPN-16B od firmy OEZ. Výsledný model proudovodné dráhy je zobrazen na obrázcích 5-2 a 5-3. Na základě parametrů jisticího prvku jsem uskutečnil výpočty rozložení proudu a tepelných ztrát v programu Ansys. Výpočty jsou provedeny pro jmenovitý proud $I_n = 16\text{ A}$ a maximální zkratový proud $I_{cn} = 10\text{ kA}$.

Při zatížení jmenovitým proudem se největší hodnota proudové hustoty vyskytuje v propojovacím vodiči mezi přívodní svorkou a tepelnou spouští. Také propojovací vodič mezi pohyblivým kontaktem a tepelnou spouští je v místech zatěžován proudovou hustotou až $17,2\text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Detaily těchto náchylných míst jsou zobrazeny na obrázcích 8-2 a 8-3. Na obrázku 8-4 je zobrazen detail cívky zkratové spouště, na kterém je možné si všimnout, že proudová hustota je ve všech místech cívky stejná a to v rozmezí $8 - 10\text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$.

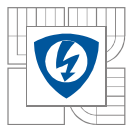
Tepelné ztráty úzce souvisí s rozložením proudu v proudovodné dráze. Z tohoto důvodu se maxima tepelných ztrát opět nacházejí na propojovacím vodiči pohyblivého kontaktu a tepelné spouště viz. obrázek 8-6. Maximální hodnota tepelných ztrát je v těchto místech $0,02\text{ mW}$. Na obrázku 8-7 je zobrazen detail tepelné spouště. Tepelné ztráty uprostřed bimetalu dosahují hodnot $0,011\text{ mW}$ a na okrajích $0,007\text{ mW}$, to je způsobeno horším odvodem tepla uprostřed tepelné spouště. Podobná situace nastává i u cívky zkratové spouště viz. obrázek 8-8. Uprostřed cívky kde je zhoršený odvod tepla, tepelné ztráty dosahují hodnot $0,011\text{ mW}$ a v krajních polohách cívky je hodnota pouze $0,002\text{ mW}$. Výsledné tepelné ztráty na celé proudovodné dráze činí $0,73\text{ W}$.

Na obrázku 8-13 je zobrazen úbytek napětí na celé proudovodné dráze. Při průchodu jmenovitého proudu $I_n = 16\text{ A}$ je celkový úbytek napětí $45,8\text{ mV}$.

Při zatížení maximálním zkratovým proudem $I_{cn} = 10\text{ kA}$ proudová hustota dosahuje hodnot $10800\text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Největší tepelné ztráty se stejně jako v případě zatížení jmenovitým proudem vyskytují v propojovacím vodiči a dosahují hodnoty $7,87\text{ W}$. Na obrázku 9-13 je zobrazen úbytek napětí na celé proudovodné dráze. Při průchodu maximálního zkratového proudu $I_{cn} = 10\text{ kA}$ je celkový úbytek napětí $28,65\text{ V}$.

Hodnoty proudové hustoty, tepelných ztrát i úbytku napětí při průchodu zkratového proudu vychází opravdu velké, jelikož jsou závislé na velikosti procházejícího proudu. Úkolem jisticího prvku je v co nejkratší době tento zkratový proud přerušit, aby nedošlo k poškození jištěného zařízení a zároveň zajistit, aby vyvinuté teplo nepoškodilo samotný jisticí prvek.

Práce byla pojata také jako vytvoření návodu na práci s programem Ansys. Může posloužit jako jednoduchý návod k výpočtu rozložení proudu a tepelných ztrát v různých elektrických přístrojích.



LITERATURA

- [1] ZEMAN, Stanislav. *Jistící a ochranné přístroje*. Vyd. 1. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 74 s. ISBN 05-505-65.
- [2] KRÍŽ, Michal. *Dimenzování a jištění elektrických zařízení - tabulky a příklady*. 2. aktualizované vydání. Praha : IN-EL, 2008. 220 s. ISBN 978-80-86230-46-7.
- [3] HAVELKA O. A KOL., *Elektrické přístroje*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1985. 440 s. ISBN 04-529-85.
- [4] BASTIAN, Peter. *Praktická elektrotechnika*. 2. dopl. vyd. Praha : Europa - Sobotáles cz, 2004. 303 s. ISBN 80-86706-07-9.
- [5] VALENTA, Jiří. 2011. Diagnostika a jištění elektrických zařízení, s. 99.
- [6] BOHDAL, Josef, et al. *Dílenská příručka II : učebních oborů elektro*. Vyd. 1. Hluboká nad Vltavou : ISŠE -- Integrovaná střední škola elektrotechnická, 2002. 216 s.
- [7] NOVOTNÝ, Vladimír. *Elektrické přístroje*. Vyd. 1. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2001. 203 s. ISBN 80-01-02306-0.
- [8] LPN *Jističe do 63A* [online]. [cit. 2011-12-03]. Katalog OEZ, s. . Dostupné z WWW: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/3286-Z01-11_CZ_SK.pdf>.
- [9] JETLEB, Daniel. Napěťový chránič. *Elektrika* [online]. 26.11.2005, 11, [cit. 2011-11-28]. Dostupný z WWW: <<http://elektrika.cz/terminolog/eterminologitem.2005-11-26.1239677067>>.
- [10] FALTUS, Ivo. Výklad a praktický význam parametrů jisticích přístrojů a odpínačů nn. *Odborné časopisy pro elektrotechniku* [online]. 2005, 8, [cit. 2011-11-28]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26413>.
- [11] VÁVRA, Zdeněk. *Vysoké napětí a elektrické přístroje*. 83 s.
- [12] *Svět elektrotechniky* [online]. [cit. 2011-12-03]. Silové účinky elektrického proudu. Dostupné z WWW: <<http://www.svetelektrotechniky.ic.cz/silove%20ucinky%20el%20proudu.html>>.
- [13] *DesignTech* [online]. [cit. 2012-05-21]. Sdílení návrhových dat – převody CAD souborů. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/c/cad/sdileni-navrhovych-dat.htm>
- [14] *Ansys - nápověda* [disk]. [cit. 21-3-2012].
- [15] *Numerické simulace* [online]. [cit. 2010-05-07]. Metoda Konečných Prvků (Finite Element Method). Dostupné z WWW: <<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/FEM/?q=node/32>>.
- [16] *Svět elektrotechniky* [online]. [cit. 2011-4-03]. Proudová hustota. Dostupné z WWW: <http://www.svetelektrotechniky.ic.cz/proudova%20hustota.html>
- [17] *Svět elektrotechniky* [online]. [cit. 2011-4-03]. Přeměna elektrické energie na teplo. Dostupné z WWW: <http://www.svetelektrotechniky.ic.cz/premena%20el.%20energie%20na%20teplo.html>