

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ  
ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Skříň pro analyzátor výkonu**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Stanislav BENEDIKT**

Osobní číslo: **E16B0003P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**

Název tématu: **Skříň pro analyzátor výkonu**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Specifikujte přístrojové vybavení skříně analyzátoru výkonu.
2. Navrhněte pro přístroje skříň, materiály a vnější panely.
3. Sestavte skříň a osadte přístroje, svorkami a konektory.
4. Provedte oteplovací zkoušku.
5. Shrňte dosažené výsledky.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**1. [www.lovatoelectric.cz](http://www.lovatoelectric.cz).**

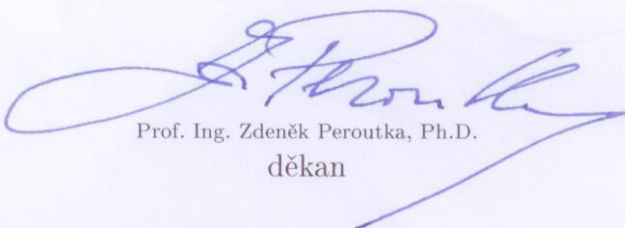
Vedoucí bakalářské práce:

**Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **5. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. června 2019**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na specifikaci přístrojového vybavení skříně pro třífázový analyzátor výkonu, práce se rovněž zabývá návrhem šasi, výběrem materiálů a návrhem vnějších panelů, sestavením skříně a osazením přístrojů, svorkami a konektory. Dále se práce zabývá provedením oteplovací zkoušky sestaveného měřicího přístroje.

## **Klíčová slova**

Analyzátor výkonu, měřicí transformátor proudu, měření elektrických veličin, návrh šasi, vačkový přepínač, vnější panely, oteplovací zkouška.

## **Abstract**

Presented bachelor thesis is focused on specification of instrumentation of the case for three-phase power analyzer, work also deals with chassis design, selecting materials and designing external panels, assembling the housing and fitting the devices, terminals and connectors. Furthermore, the work deals with carrying out the warming test of the assembled measuring instrument.

## **Key words**

Power analyzer, current transformer, measurement of electrical quantities, chassis design, cam switch, external panels, warming test.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 9.6.2019

Stanislav Benedikt

## **Poděkování**

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Bohumilovi Skalovi, Ph.D. za cenné profesionální rady a připomínky v průběhu tvorby této bakalářské práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1 SPECIFIKACE PŘÍSTROJOVÉHO VYBAVENÍ SKŘÍNĚ ANALYZÁTORU VÝKONU</b> .....	<b>13</b>
1.1 PANELOVÝ MĚŘIČ DMG 800.....	14
1.1.1 Bližší specifikace a technické parametry.....	15
1.1.2 Rozšiřující moduly dokoupené k DMG 800.....	17
1.2 MĚŘICÍ TRANSFORMÁTORY PROUDU.....	18
1.2.1 Specifikace a provozní parametry.....	18
1.2.2 Určování počtu smyček primárního vodiče procházejícího skrz proudový transformátor.....	20
1.2.3 Výběr vhodných vodičů v proudové dráze při daných proudových rozsazích.....	20
1.2.4 Zapojení proudových transformátorů k panelovému měřiči DMG 800.....	21
1.3 OTOČNÉ VAČKOVÉ PŘEPÍNAČE.....	22
1.3.1 Přepínač proudových rozsahů.....	22
1.3.2 Propojovací spínač.....	23
<b>2 NÁVRH SKŘÍNĚ, MATERIÁLŮ A VNĚJŠÍCH PANELŮ</b> .....	<b>25</b>
2.1 ZÁKLADNÍ NÁVRH SKŘÍNĚ PRO ANALYZÁTOR VÝKONU.....	25
2.1.1 Stručný popis programu SolidWorks a jeho prostředí.....	25
2.1.2 Přední panel skříně analyzátoru výkonu.....	27
2.1.3 Zadní panel skříně analyzátoru výkonu.....	28
2.1.4 Dno skříně analyzátoru výkonu.....	30
2.1.5 Horní kryt skříně analyzátoru výkonu.....	31
2.1.6 Sestavení modelu skříně analyzátoru výkonu.....	32
2.2 VIZUÁLNÍ NÁVRH SKŘÍNĚ ANALYZÁTORU VÝKONU.....	34
2.2.1 Grafický editor GIMP.....	34
2.2.2 Stručný popis prostředí programu GIMP.....	37
2.2.3 Vytvoření grafických návrhů pro konstruované zařízení.....	38
2.3 NÁVRH POTISKŮ VNĚJŠÍCH PANELŮ.....	39
<b>3 SESTAVENÍ SKŘÍNĚ, OSAZENÍ PŘÍSTROJÍ, SVORKAMI A KONEKTORY</b> .....	<b>40</b>
<b>4 OTEPLOVACÍ ZKOUŠKA</b> .....	<b>42</b>
4.1 EFEKTIVNÍ HODNOTA STŘÍDAVÉHO PROUDU A NAPĚTÍ.....	42
4.2 POSTUP MĚŘENÍ OTEPLENÍ.....	43
4.3 OTEPLENÍ VAČKOVÉHO PŘEPÍNAČE PROUDOVÝCH ROZSAHŮ.....	45
4.4 OTEPLENÍ VODIČŮ V PROUDOVÉ DRÁZE.....	46
4.5 ČASOVÉ PRŮBĚHY TEPLoty A OTEPLENÍ.....	47
<b>5 SOUHRN DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>51</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>52</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>



## Úvod

Měřicí přístroje slouží lidem ke zjišťování velikosti hodnot fyzikálních veličin. Tyto hodnoty veličin se vyjadřují číslem a jednotkou. V roce 1960 byla ustanovena takzvaná Mezinárodní soustava jednotek SI, která se používá dodnes.

Měření hraje v dnešním moderním společenství stále významnější roli, a to v běžném životě, ve výrobě, v technice a ve vědách. Rozmanitosti těchto potřeb odpovídá rozmanitost měřicích přístrojů. Přístroje se neustále zdokonalují, s pokrokem techniky se zvyšují požadavky na jejich parametry, jako jsou například přesnost a citlivost. [5]

Tématem této bakalářské práce je specifikace přístrojového vybavení, návrh šasi, sestavení skříně a provedení oteplovací zkoušky pro digitální měřicí přístroj DMG 800 od firmy Lovato, který patří mezi novodobé trendy v technice měření elektrických veličin ve třífázových napětových soustavách.

Text je rozdělen do pěti částí, první specifikuje přístrojové vybavení skříně analyzátoru výkonu. Druhá část se zabývá návrhem skříně (šasi), materiálů a vnějších panelů, třetí část popisuje postup při sestavování skříně a následné osazení přístroji, svorkami a konektory. Čtvrtá část je věnována oteplovací zkoušce již sestaveného měřicího přístroje a v poslední páté části je napsán závěr, který shrnuje dosažené výsledky.

## Seznam symbolů a zkratek

3D .....	trojdimenzionální neboli trojrozměrný
A .....	tepelná energie (J)
AC.....	zkratka z anglického „Alternating Current“ - česky „Střídavý proud“
B .....	magnetická indukce (T)
BMP.....	zkratka z anglického „Windows Bitmap“, značí počítačový formát pro ukládání rastrové grafiky
CA.....	zkratka z anglického „Computer Aided“ - česky „Počítačová podpora“
CAD.....	zkratka z anglického „Computer Aided Design“ - česky „Počítačem podporované projektování“
CD.....	zkratka z anglického „Compact Disc“ - česky „Kompaktní disk“, médium pro uložení digitálních informací
CMYK .....	zkratka z anglického slova „Cyan Magenta Yellow black“ - Barevný model založený na subtraktivním míchání barev
CYA10.....	označení měděného vodiče s PVC izolací a průřezem 10 mm <sup>2</sup>
CYA16.....	označení měděného vodiče s PVC izolací a průřezem 16 mm <sup>2</sup>
DC.....	zkratka z anglického „Direct Current“ - česky „Stejnoseměrný proud“
DM1TP 0060 .....	označení typu proudových transformátorů
DMG 800.....	označení typu měřicího přístroje
dt.....	derivace času (s)
EURO GSD3 .....	označení napájecího konektoru
EXP 10 03.....	označení přídatného modulu k DMG 800
EXP 10 01.....	označení přídatného modulu k DMG 800
FASTON.....	označení druhu konektoru
FI-1 .....	označení přístrojových nožiček
GIF.....	z anglického „Graphics Interchange Format“ je grafický formát pro rastrovou grafiku
GIMP .....	z anglického „GNU Image Manipulation Program“ - česky „GNU program pro úpravy grafiky“
GNU .....	počítačový svobodný operační systém projektu GNU
I.....	efektivní hodnota elektrického proudu (A)
I <sub>MAX</sub> .....	maximální hodnota elektrického proudu (A)

$I_n$ .....	jmenovitá hodnota elektrického proudu (A)
IP.....	označení stupně krytí elektrických zařízení
JPG .....	zkratka z anglického „Joint Photographic Group“ je standardní metoda ztrátové komprese používané pro ukládání počítačových obrázků ve fotorealistické kvalitě
K214 .....	označení panelových zdířek
LCD .....	zkratka z anglického „Liquid Crystal Display“ - česky „Displej z tekutých krystalů“
LED .....	zkratka z anglického „Light Emitting Diode“ - česky „elektroluminiscenční dioda“
M4.....	označení spojovacího materiálu s průměrem závitu 4 mm
M8.....	označení spojovacího materiálu s průměrem závitu 8 mm
N .....	počet smyček procházejících skrze transformátor proudu (-)
P .....	efektivní hodnota elektrického výkonu; efektivní hodnota tepelného ztrátového výkonu (W)
p .....	okamžitá hodnota elektrického výkonu (W)
PNG .....	z anglického „Portable Network Graphics“ - česky „Přenosná síťová grafika“, je grafický formát určený pro bezztrátovou kompresi rastrové grafiky
PVC .....	polyvinylchlorid
R .....	elektrický odpor ( $\Omega$ )
$R_1$ .....	elektrický odpor vodičů na začátku zkoušky ( $\Omega$ )
$R_2$ .....	elektrický odpor vodičů na konci zkoušky ( $\Omega$ )
RL.....	induktivně odporový charakter
RSA 16 A .....	označení propojovacích svorkovnic pro vodiče
RSA 2,5 .....	označení svorkovnic pro ochranný vodič
RSP-4.....	označení svorkovnic pro pojistky
SI.....	zkratka z francouzského „Le Système International d'Unités“ – česky „Mezinárodní systém jednotek“
SLDASM.....	přípona souboru pro sestavy v programu SoliWorks
T.....	doba periody (s); tepelný odpor ( $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ )
t.....	čas (s)
TRMS .....	z anglického „True Root Mean Square“ - česky „Skutečná efektivní hodnota“

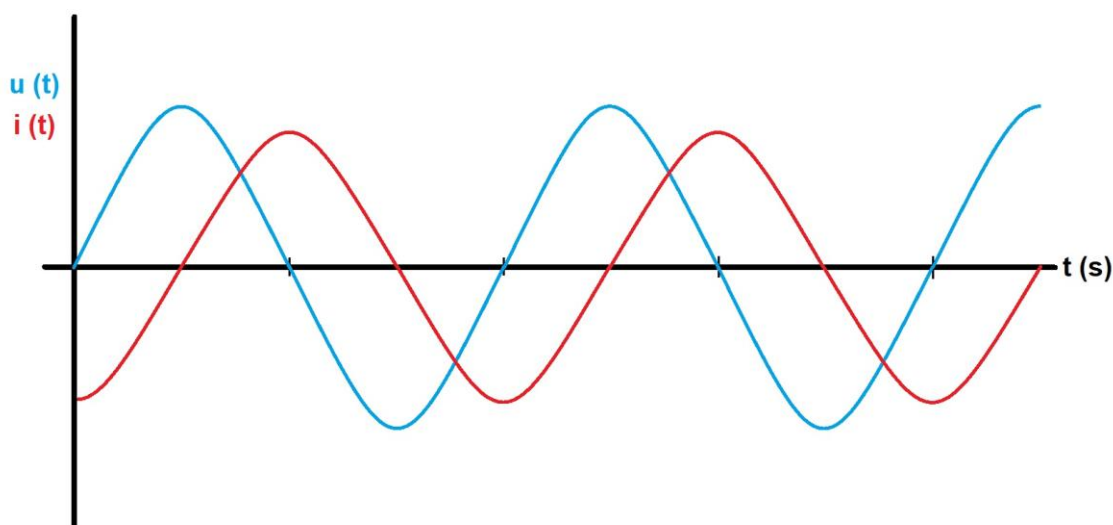
U .....	efektivní hodnota elektrického napětí (V)
USB .....	z anglického „Universal Serial Bus“ - česky „Univerzální sériová sběrnice“
VN .....	vysoké napětí
VSN63 1104 .....	označení propojovacího spínače („bypassu“)
VSN63 1112 .....	označení přepínače proudových rozsahů
$\Delta A$ .....	tepelná energie, která vznikne za časový interval $\Delta t$ , (J)
$\Delta t$ .....	časový interval (s)
$\Delta \vartheta$ .....	oteplení (K)
$\Delta \vartheta_m$ .....	maximální dovolené oteplení vodiče (K)
$\vartheta$ .....	teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\vartheta_1$ .....	teplota okolní místnosti na začátku zkoušky ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\vartheta_2$ .....	teplota okolní místnosti na konci zkoušky ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\Phi$ .....	magnetický tok (Wb)
$\varphi$ .....	fázový posun mezi napětím a proudem ( $^{\circ}$ )
$\omega$ .....	úhlový kmitočet (rad/s)

# 1 Specifikace přístrojového vybavení skříně analyzátoru výkonu

Měřicí přístroj se skládá z několika komponentů. Hlavní měřicí část tvoří panelový měřič DMG 800, vyráběný firmou Lovato Electric, který dokáže měřit široké spektrum elektrických veličin, např. kmitočet, činný výkon, jalový výkon, zdánlivý výkon, sdružená i fázová napětí a proudy, účinník a harmonické zkreslení. Měřicí přístroj dále obsahuje další potřebné přístroje a prvky, mezi které patří přístrojové transformátory proudu typu DM1TP. Analyzátor výkonu nezbytně obsahuje vačkový přepínač rozsahů, který zajišťuje přepínání rozsahů proudů. Pro zajištění nepřerušování proudu při přepnutí rozsahu slouží takzvaný „bypass“.

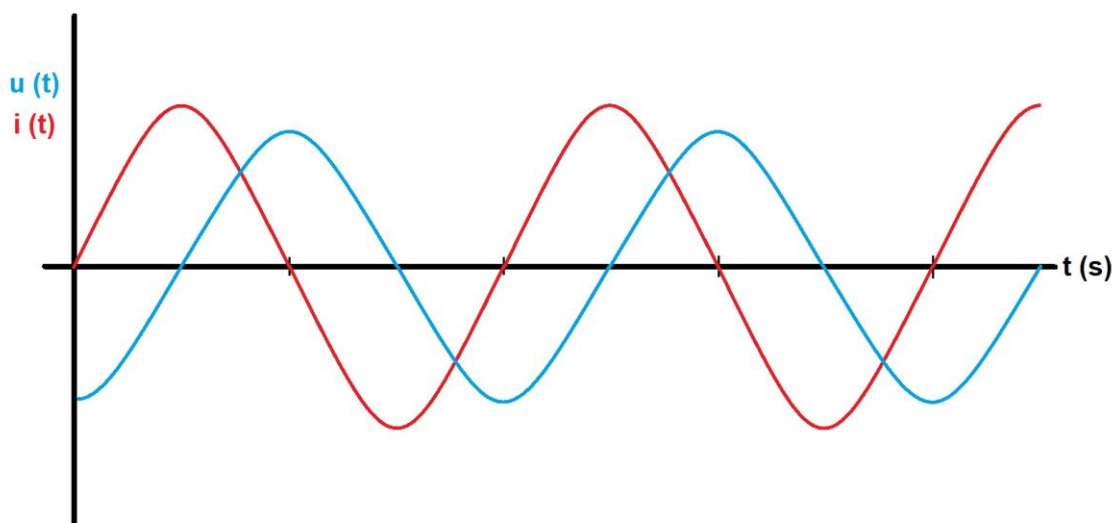
Mnohdy v praxi potřebujeme přepínat rozsahy měřicích přístrojů za trvalého chodu různých elektrických strojů a zařízení. Při přepínání rozsahu proudu není příliš vhodné přerušit proudové cesty mezi zdrojem napětí a zátěží, to se týká zejména větších zátěží s převládajícím induktivním charakterem, které vyžadují pro svůj chod větší příkon. Vyšší příkon souvisí s většími hodnotami elektrických proudů.

Vezmeme-li v úvahu ideální cívku napájenou střídavým napětím, zjistíme, že napětí předbíhá proud tekoucí cívkou přesně o úhel  $\varphi = 90^\circ$  (obrázek č. 1).



Obrázek 1: Časový průběh napětí a proudu u ideálně induktivní zátěže.

U čistě kapacitní zátěže by tomu bylo přesně naopak, proud by před napětím předbíhal o fázový posun  $\varphi = 90^\circ$  (obrázek č. 2).



Obrázek 2: Časový průběh proudu a napětí u ideálně kapacitní zátěže.

Mezi elektrické stroje, na kterých je třeba v praxi provádět elektrická měření, patří motory a transformátory. U těchto strojů převládá induktivní charakter před kapacitním, tzn., že napětí vždy předbíhá proud o fázový posun  $\varphi$  v rozmezí hodnot  $0^\circ$  až  $+90^\circ$ . Stavovou veličinou induktivních zátěží je proud. Stavové veličiny se vždy mění s postupem plynutí času spojitě, nikoliv skokově. Z důvodu, aby nevznikaly přechodné děje na přepínači rozsahů proudu je v obvodu měřicího přístroje zapojen tzv. „bypass“, který je blíže specifikován v kapitole 1.3.2.

## 1.1 Panelový měřič DMG 800

Panelový měřič DMG 800 tvoří srdce celého zařízení. Byl navržený tak, aby kombinoval maximální možnou jednoduchost při provozu a přitom zahrnoval široký výběr možných funkcí. DMG 800 se díky pouzdru 96x96 mm spojuje s moderním designem čelního panelu se zásuvnými moduly řady EXP pro rychlou a snadnou montáž bez nářadí. LCD grafický displej nabízí uživatelsky příjemné rozhraní. Díky své bohaté paletě funkcí jsou měřicí přístroje řady DMG skvělou volbou pro širokou škálu aplikací. [1]

Měřicí přístroj obsahuje vstupy pro napájení s označením A1 a A2, napěťové vstupy V1, V2, V3 a VN, a proudové vstupy S1 a S2 pro každou fázi v třífázové napěťové

soustavě. Napětí dokáže DMG 800 určit přímým připojením napěťových svorek k jednotlivým fázím měřeného obvodu. Hodnoty proudu v každé fázi měří za pomoci třech proudových transformátorů typu DM1TP 0060. [1]



Obrázek 3: Čelní pohled na panelový měřič DMG 800. Převzato z [2]

### 1.1.1 Bližší specifikace a technické parametry

Digitální panelový měřič DMG 800 je schopen zobrazovat údaje na LCD displeji o rozlišení 128 x 80 pixelů. Na zadní straně přístroje jsou k dispozici 4 sloty pro umístění rozšiřovacích modulů vhodných pro spoustu aplikací. Mezi hlavní benefity se dají započítat např.: vysoká přesnost měření, rozšíření rozsahu napájecího napětí, možnost rozšíření o přídatné moduly a grafické interaktivní rozhraní, které zaručuje snadné a rychlé používání. [3]

Mezi hlavní měřené veličiny a funkce, které DMG 800 měří a poskytuje, patří [1]:

- *Napětí: fázové, sdružené a systémové hodnoty*
- *Proud: fázové hodnoty (včetně dopočteného nulového proudu)*
- *Výkon: zdánlivý, činný a jalový (fázový a celkový)*
- *Účinník: fázový a celkový*
- *Kmitočet naměřených napěťových hodnot*
- *Funkce maximální, minimální a průměrné hodnoty pro všechny měřené veličiny*
- *Špičkové hodnoty (maximální odběr) výkonu a proudu*
- *Asymetrie napětí a proudu*
- *Harmonická analýza napětí a proudu až do 31. harmonické*
- *Elektroměry pro činnou, jalovou a zdánlivou energii a celkové hodnoty*
- *Programovatelné tarifní funkce*
- *Programovatelné počítadlo provozních hodin (celkové a dílčí)*

- **Počítadlo impulsů pro obecné použití: počítání impulsů pro potřeby vody, plynu, atd., s rozšiřujícím modulem**

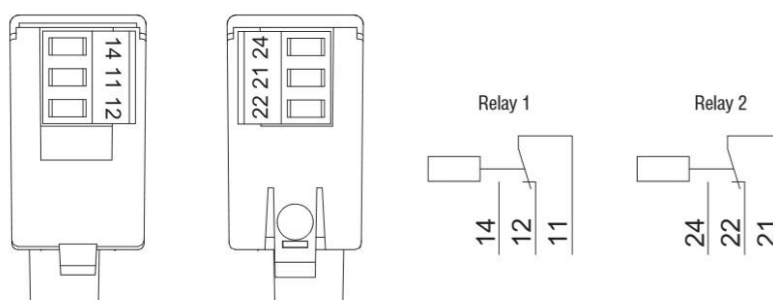
Mezi provozní technické parametry patří [1]:

- **Rozsah napájecího napětí: 100...440 V AC / 110...250 V DC**
- **Měřicí rozsah napětí: do 830 V AC L-L**
- **S napěťovými transformátory použitelné v systémech VN**
- **Jmenovitý vstupní proud: při použití externího proudového transformátoru 5 A nebo 1 A**
- **Měřicí rozsah kmitočtu: 45...66 Hz**
- **Maximální příkon: 3,9 VA**
- **Maximální ztrátový výkon: 3,4 W**
- **Odolnost proti mikrovýpadkům:  $\geq 50$  ms**
- **Provozní teplota: -20...+60 °C**
- **Materiál krytu: Polyamid**
- **Měření skutečných efektivních hodnot (TRMS): napětí a proud**
- **Přesnost měření:**
  - **Napětí:  $\pm 0,2$  % (do 830 V AC)**
  - **Proud:  $\pm 0,2$  % (0,1...1,1 In)**
  - **Výkon:  $\pm 0,5$  % rozsahu**
  - **Účinnost:  $\pm 0,5$  %**
  - **Kmitočet:  $\pm 0,05$  %**
  - **Činná energie: třída 0,5s (dle IEC/EN 62053-22)**
  - **Jalová energie: třída 2 (dle IEC/EN 62053-23)**
- **Energeticky nezávislá paměť pro uchovávání dat**
- **Kompatibilní se softwarem Synergy a Xpress**
- **Kryt pro vestavenou montáž 96 x 96 mm / 3,78“ x 3,78“**
- **Stupeň krytí: IP65 z čelní strany; IP20 na svorkách**



### 1.1.2 Rozšiřující moduly dokoupené k DMG 800

Rozšiřující modul s výrobním označením EXP10 03 obsahuje 2 reléové výstupy do 5A a 250 V střídavého napětí. Označení svorek a zapojení relé v modulu znázorňuje *obrázek č. 4*. Nastavení parametrů modulu uživatel provede z menu panelového měřiče DMG 800. Po zapnutí analyzátoru sítě měřič sám automaticky rozpozná připojené moduly. Výstupy z modulu jsou vyvedené na zadní panel, kde jsou upevněny na konektory K214, 4 mm. [8]



Obrázek 4: Značení výstupů a vnitřní zapojení relé v modulu EXP10 03. Převzato z [8]



Obrázek 5: Rozšiřující modul EXP10 03. Převzato z [8]

Pro zprostředkování komunikace DMG 800 s nadřazeným počítačem byl do slotu na zadní straně digitálního měřidla přidán modul s výrobním označením EXP10 10, který obsahuje rozhraní USB-B. Na čelním panelu šasi musela být zrealizována redukce USB 2.0 AF/USB 2.0 BF černé barvy od firmy Neutrik, která umožňuje přechod z rozhraní USB-B na rozhraní USB-A. Před používáním tohoto modulu je nutné nainstalovat do počítače program pro zprovoznění komunikace mezi počítačem a měřicím přístrojem, který je uložen ke stažení na stránkách výrobce. [9]



Obrázek 6: Rozšiřující modul EXP10 10. Převzato z [9]

## 1.2 Měřicí transformátory proudu

Měřicí transformátory proudu jsou elektrické přístroje, které převádí velký primární proud na menší proud na sekundární straně. Sekundární vinutí, které je navinuté na feromagnetickém jádře, je následně připojeno na proudové vstupy měřiče. Průchod střídavého proudu v primárním vodiči způsobí v jeho okolí vznik magnetické indukce  $B$ . Díky magnetické indukci v jádru transformátoru dojde k vyvolání magnetického toku  $\Phi$ , který zapříčiní vznik indukovaného napětí na sekundárním vinutí a pokud je toto vinutí připojeno do obvodu, protéká jím střídavý elektrický proud. [6]

Při měření s proudovými transformátory platí jedno zásadní pravidlo, a tím pravidlem je, že sekundární svorky nemohou v žádném případě zůstat nepřipojené k měřicímu přístroji, jelikož by došlo vlivem magnetické indukce k naindukování vysokého napětí, které by toto vinutí mohlo zničit. Proto se transformátory musí vždy při zapojení do obvodu připojit k měřicímu přístroji nebo zkratovat vodivými propojkami. [6]

### 1.2.1 Specifikace a provozní parametry

Označení měřicích proudových transformátorů, které byly vybrány a nainstalovány do šasi analyzátoru výkonu, jsou výrobcem označeny jako typ DM1TP 0060. Přesné proudové transformátory tohoto typu se běžně instalují v elektroinstalacích pro změnu vstupního proudu na hodnotu sekundárního proudu 5 A. Tato hodnota je kompatibilní s proudovými vstupy panelového měřiče DMG 800. Použité měřicí proudové transformátory spadají do třídy 0,5s, která podle normy IEC/EN 62053-22 určuje přesnost měření činné energie pro DMG 800, který má tuto třídu totožnou. Proudové transformátory typu DM1TP neobsahují primární vinutí, protože se v podstatě primární vinutí vytvoří průchodem primárního vodiče skrz proudové transformátory. [3]

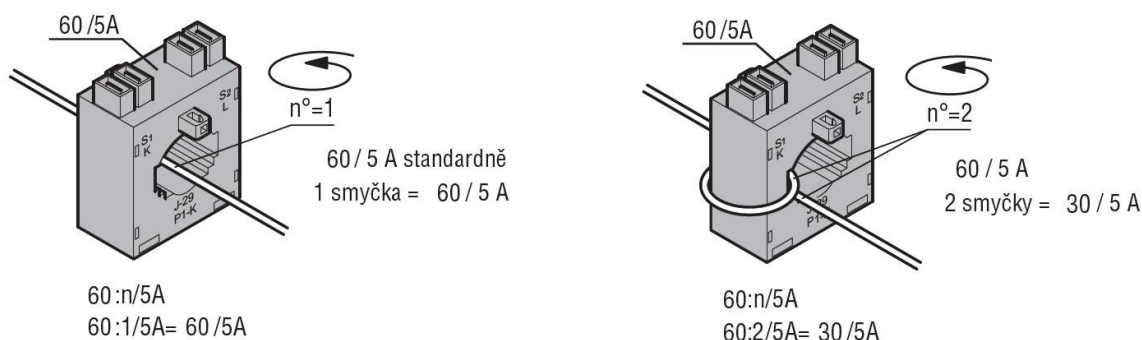


Obrázek 7: Proudový transformátor DM1TP 0060. Převzato z [4]

Mezi provozní a technické parametry patří [3]:

- **Provozní kmitočet: 50...60 Hz**
- **Primární proud: 60 / 5 A**
- **Výkon: 1,5 VA**
- **Sekundární výstupní proud: 5 A**
- **Odolnost proti přetížení: 120% jmenovitého primárního proudu**
- **Jmenovité izolační napětí: 720 V**
- **Izolace (suchý typ): třída E**
- **Průměr jádra: 28 mm**
- **Šroubové svorky**
- **Plombované kryty svorek**
- **Montáž na DIN lištu 35 mm DIN (IEC/EN 60715)**
- **Stupeň krytí: IP30**
- **Podmínky okolního prostředí:**
  - **Provozní teplota: -25...+50 °C**
  - **Skladovací teplota: -40...+80 °C**

### 1.2.2 Určování počtu smyček primárního vodiče procházejícího skrz proudový transformátor



Obrázek 8: Znárodnění namotávání primárních vodičů a určování počtu smyček procházející skrz proudový transformátor. Převzato z [3]

Druh vodičů a počet smyček procházejících skrz proudový transformátor v proudové dráze se volí podle proudového rozsahu. Počet smyček primárního vodiče nemění přesnost transformátoru, ale mění primární hodnotu proudu úměrně k sekundárnímu proudu. [3]

Přepínač proudových rozsahů instalovaný v analyzátoru sítě má 4 rozsahy (60 A, 30 A, 10 A, 2 A). Pro určení počtu smyček při daném rozsahu DM1TP 0060 platí následující rovnice č. 1:

$$N = \frac{60}{\text{rozsah}} \quad (-; A; A) \quad (1)$$

Například pro rozsah 10 A bude počet smyček:

$$N = \frac{60}{10} = 6 \quad (2)$$

Obdobně se dle rovnice č. 1 dopočítá počet smyček pro všechny zbývající proudové rozsahy: 60 A ~ N=1; 30 A ~ N=2; 10 A ~ N=6; 2 A ~ N=30.

### 1.2.3 Výběr vhodných vodičů v proudové dráze při daných proudových rozsazích

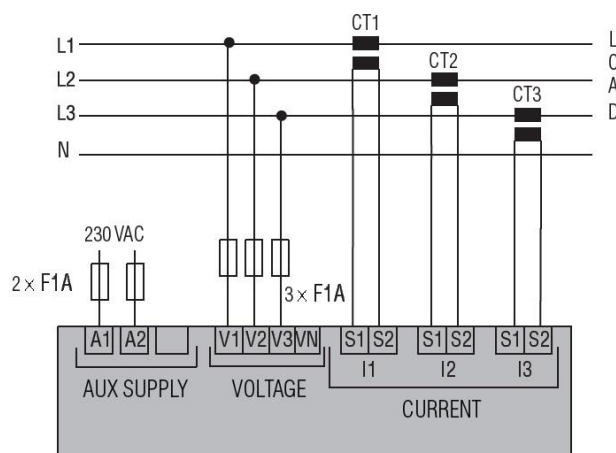
Určení správného průřezu vodičů je důležité nejen z hlediska bezpečnosti, ale i z hlediska ekonomičnosti. Je třeba zvolit vždy takový průřez vodiče s ohledem na to, aby se nepřehříval vlivem průchodu proudu a nenastal následně tepelný průraz při dlouhodobější činnosti zařízení. U vodičů s PVC izolací navíc hrozí nebezpečí úniku některých nebezpečných toxických a karcinogenních látek do okolního prostředí, mezi

které patří např. polychlorované bifenylly nebo chlorovodík. Tyto zdraví škodlivé látky mohou zavinit vznik rakovinotvorných buněk.

Z hlediska ekonomičnosti je vhodné zvolit takový průřez vodiče, tak aby předpokládaný procházející proud tímto vodičem měl určitou rezervu před maximálním dovoleným proudem procházejícím skrz vodič daného průřezu. Při výběru vodičů byla brána v úvahu maximální dovolená proudová zatížitelnost, kterou udávají výrobci. Zvolené průřezy vodičů jsou následující: Pro rozsah 60 A byl zvolen měděný vodič CYA16 s PVC izolací o průřezu 16 mm<sup>2</sup>, pro rozsah 30 A měděný vodič CYA10 s PVC izolací a průřezem 10 mm<sup>2</sup>, pro rozsah 10 A lakovaný měděný vodič o průřezu 2 mm<sup>2</sup> a na posledním rozsahu 2 A je použitý lakovaný měděný vodič s průřezem 0,8 mm<sup>2</sup>.

#### 1.2.4 Zapojení proudových transformátorů k panelovému měřiči DMG 800

Schéma zapojení je znázorněno na *obrázku č. 9*. Při namotávání smyček primárního vodiče na stěnu přístrojového transformátoru proudu se muselo dbát na správný směr průchodu tohoto vodiče. Na *obrázku č. 8* je znázorněný směr namotávání primárního vodiče vůči vývodním svorkám S1 a S2. Tyto svorky jsou propojeny se stejně značenými svorkami na DMG 800. Primární vodič nejmenšího proudového rozsahu 2 A je jištěn v každé fázi tavnou pojistkou o velikosti proudu 10 A. Kdyby se primární vodič navinul na transformátory v opačném směru nebo by se prohodily přívody ze sekundární strany transformátoru do DMG 800, tak by měřič ukazoval na displeji záporné hodnoty proudů.



Obrázek 9: Zapojení DMG800 a proudových transformátorů DM1TP0060 do obvodu. Převzato z [3]

### 1.3 Otočné vačkové prepínače

Vačkové spínače rady VSN jsou konstruovány tak, že v každém patře jsou dva na sobě nezávislé spínací obvody. Jednotlivé svorky se mezi sebou mohou propojovat vodivými propojkami a to v patře i mezi patry. Spínače jsou upevňovány k panelu šrouby M4x10. Elektrovodné části jsou z mosazi, mědi a stříbra. Zbylé části jsou vyráběny z plastů. V základním provedení splňují krytí IP20 pro tělo spínače a krytí IP65 pro čelní utěsněnou stranu s hřídelí. Tyto prepínače mají využití především v ovládacích a silových obvodech. [7]

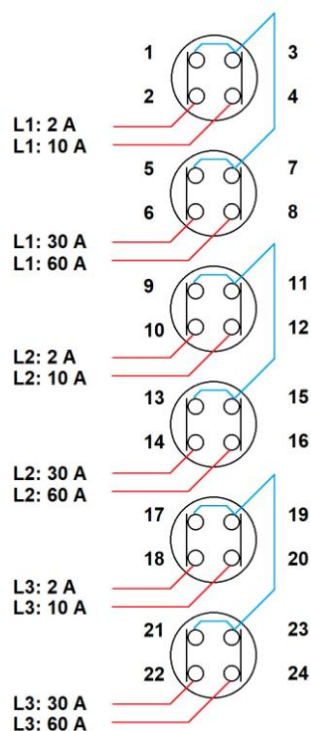
#### 1.3.1 Prepínač proudových rozsahů

Přepínání mezi danými rozsahy zprostředkovává vačkový prepínač VSN63 1112 A8 V PNC NSC od firmy Obzor. Prepínač je možné přepínat do pěti poloh. Poloha 0, značí rozpojení obvodu. Postupným otáčením vpravo následují polohy pro proudové rozsahy 60 A, 30 A, 10 A a 2 A. Vodivými propojkami bylo nutné spojit určité svorky prepínače tak, aby bylo dosaženo požadovaných funkcí spínání. [7]

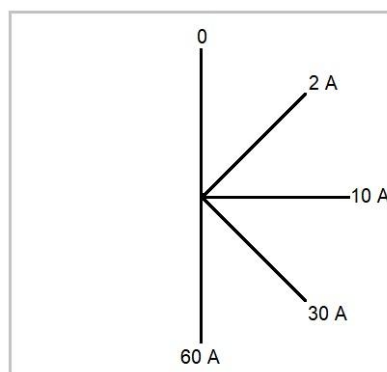
Přepínač proudových rozsahů je určen pro maximální procházející proud do 63 A. Izolační napětí je 690 V. Označení 1112, znamená, že spínač má 24 kontaktů, čili 6 pater, což je zobrazeno na *obrázku č. 10*. Označení A8 nám udává spínací úhel, v tomto případě je úhel spínání dle značení výrobce  $45^\circ$  (viz. *obrázek č. 11*). Písmeno V značí ve zkratce přední šroubové upevnění spínače, označení PNC značí černou barvu čelní desky o rozměrech 66x66 mm. Písmena NSC označují černou barvu šipky rukojeti nasunuté na hřídeli prepínače. [7]

Tabulka 1: Spínací program prepínače proudových rozsahů VSN63 1112.

Značení kontaktů	O	2 A	10 A	30 A	60 A
1-2		X			
3-4			X		
5-6				X	
7-8					X
9-10		X			
11-12			X		
13-14				X	
15-16					X
17-18		X			
19-20			X		
21-22				X	
23-24					X



Obrázek 10: Zapojení přepínače rozsahů VSN63 1112.



Obrázek 11: Štítek přepínače rozsahů s úhlem spínání 45°.

### 1.3.2 Propojovací spínač

Jako propojovací spínač „bypass“ byl vybrán otočný vačkový spínač od firmy Obzor s označením VSN63 1104 A8 V PNZ NSR. Spínací prvek lze přepnout do dvou poloh: spojeno/rozpojeno. Spínač zajišťuje vodivé propojení vstupních proudových svorek s proudovými svorkami výstupními. [7]



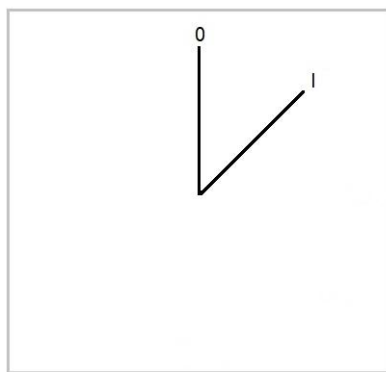
Obrázek 12: Otočný vačkový přepínač VSN63 1104 A8 V. Převzato z [10]

Kdyby při měření protékal vinutím měřeného stroje proud a došlo by k přepnutí proudového rozsahu bez vodivého propojení proudových svorek na analyzátoru sítě za pomoci „bypassu“, tak by mohli v obvodu vznikat přechodné jevy typu RL. V důsledku těchto přechodných dějů by mohlo docházet na kontaktech vačkového přepínače rozsahů k jiskření při přepínání a následnému korodování kontaktů, což by postupem času mohlo vést k nefunkčnosti přepínače proudových rozsahů. [7]

Při potřebě změny proudového rozsahu by se nejdříve měl zapnout „bypass“, poté se nastaví na přepínači proudových rozsahů požadovaný rozsah, a nakonec se propojovací přepínač „bypass“ musí vrátit do polohy rozpojeno. Nesmí se zapomenout na vrácení propojovacího přepínače do rozpojeného stavu, protože by odklonil část proudu v proudové dráze a výrazně by tak zkreslil údaje o snímaném proudu procházejícím proudovými transformátory v primárních vodičích. [7]

Maximální dovolený proud procházející spínačem VSN63 1104 A8 V PNZ NSR je stejný jako u zvoleného přepínače rozsahů 63 A, izolační napětí 690 V taktéž. Číslo 1104 nám říká, že spínač má 8 kontaktů a je dvoupatrový. Značka PNZ určuje žlutou barvu čelní desky o rozměrech 66x66 mm. Zkratka NSC značí červenou barvu šipky rukojeti nasunuté na hřídeli spínače. [7]





Obrázek 13: Štítek propojovacího spínače s úhlem spínání 45°.

## 2 Návrh skříně, materiálů a vnějších panelů

Pro sestavení přístroje bylo nejprve nutné navrhnout vhodné šasi tak, aby se do něj vešly všechny potřebné přístroje a další nutné komponenty. Celá skříň je vytvořena z kovového materiálu o rozměrech 407x126,5x410 mm. Rozměrově byla zvolena větší než by bylo zapotřebí pro to, aby se do ní vešly všechny potřebné části. Její rozměry jsou nevýhodou a zároveň výhodou. Větší rozměry mají za následek horší manipulaci s měřicím přístrojem. Přístroj je hmotnější a potřebuje více místa na pracovní ploše nebo pro uskladnění. Výhodou většího šasi je například větší vnitřní objem, který činí přibližně 20 dm<sup>3</sup>. Díky většímu vnitřnímu objemu mohly být přístroje a komponenty uvnitř skříně rozmístěny dále od sebe, čímž se zlepšily podmínky přístupu ke všem částem při montáži a také se tím zlepšilo chlazení všech vnitřních součástí.

### 2.1 Základní návrh skříně pro analyzátor výkonu

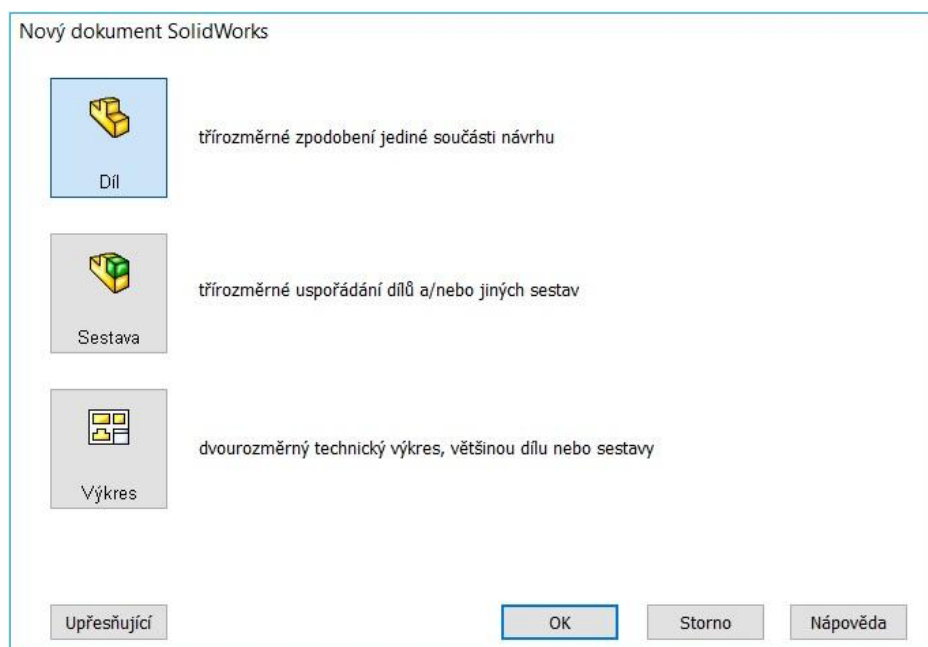
Základní návrh skříně, který určuje především rozměry, rozmístění montážních otvorů všech komponent a otvorů pro spojení jednotlivých částí šasi vhodným spojovacím materiálem na předním a zadním panelu přístroje, jsem se rozhodl pro lepší představu vytvořit v počítačovém programu s názvem SolidWorks.

#### 2.1.1 Stručný popis programu SolidWorks a jeho prostředí

SolidWorks je počítačový 3D CAD systém určený k navrhování modelů a výrobků. Disponuje výkonným plošným i objemovým modelováním. Umí pracovat s neomezeně rozsáhlými sestavami a dokáže automaticky generovat technické výkresy z nakreslených objektů. Rok 1965 se považuje za dobu nástupu CAD systémů. Tato technologie se využívá v mnoha odvětvích jako je například strojírenství, elektrotechnika, stavebnictví

nebo geografie. Aplikace využívající CAD systémy obsahují širokou škálu grafických, geometrických a matematických nástrojů pro potřeby kreslení dvourozměrných výkresů a třírozměrných objektů. Mezi hlavní důvody zavedení CA technologií patří primárně například snížení nákladů na výrobu, zvýšení produktivity práce, zvýšení efektivnosti práce při provádění změn při navrhování technických projektů, opakované použití určitých částí, vyšší přesnost, úspora času a financí, apod. SolidWorks má nevýhodu v tom, že výkresy, díly, či sestavy vytvořené v novější verzi programu se nedají ve starší verzi otevřít, avšak obráceně to provést lze, tvorba zhotovena ve starších verzích se dá otevřít v novějších bez žádných komplikací. [11]

Po spuštění programu si můžeme založit nový dokument, který je rozdělen na tři základní varianty (viz *obrázek č. 14*). První variantou je díl, druhou sestava a třetí výkres. Možnost díl slouží k nakreslení jedné části výsledného produktu, v našem případě například čelní panel skříně pro analyzátor výkonu. Možnost sestava slouží k poskládání jednotlivých dílů pomocí daných vazeb do uceleného výrobku složeného z libovolného počtu těchto dílů. V tomto případě se šasi bude skládat ze čtyř dílů – přední panel, zadní panel, dno a horní kryt. Pokud bychom chtěli raději začít kreslit výkres než tvořit díl, tak je tu poslední možnost výběru.



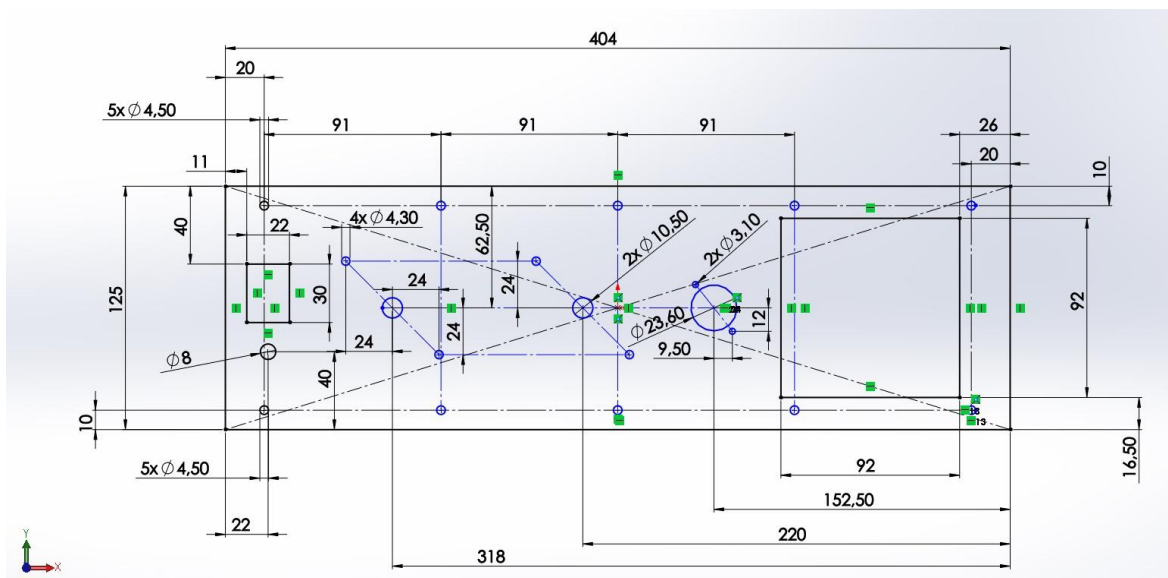
Obrázek 14: Základní volba nového dokumentu v programu SolidWorks.

Pro jednodušší vizualizaci jsem zvolil u všech čtyř částí šasi volbu vytvoření nového dílu.

### 2.1.2 Přední panel skříně analyzátoru výkonu

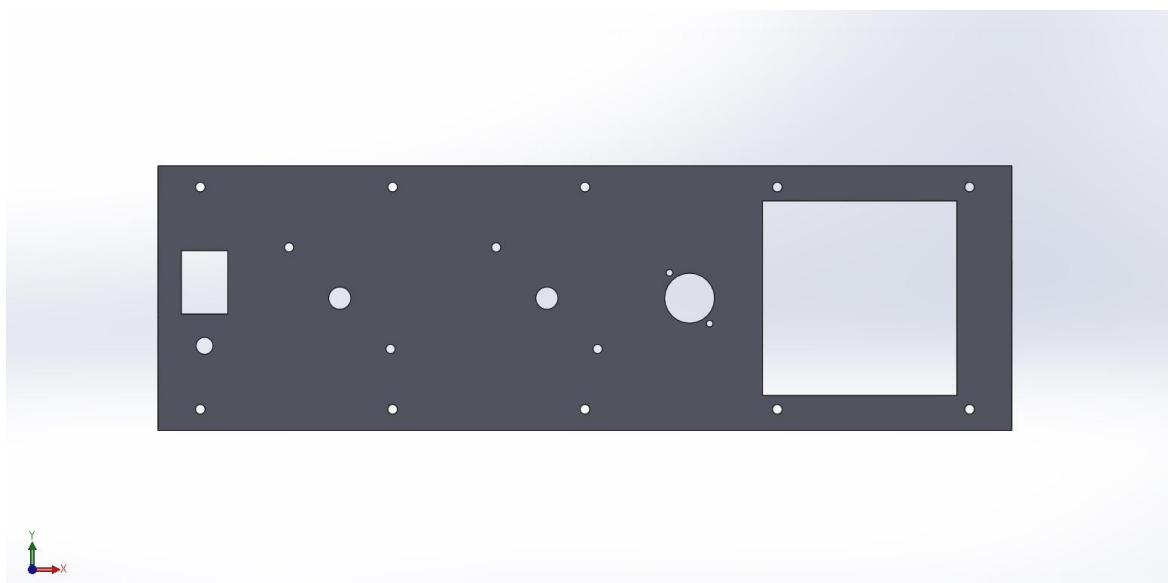
Šasi celého měřicího přístroje se skládá ze čtyř hlavních kovových konstrukčních částí. Začal jsem modelováním čelního panelu skříně pro analyzátor výkonu. Po založení nového dílu je třeba zvolit jednu ze tří na sebe kolmých rovin, na kterou začneme rýsovat dvourozměrnou skicu. Do středu souřadného systému přední roviny, která byla zvolena pro náčrt základní skici, jsem vytvořil obdélník s rozměry 404x125 mm, který odpovídá dvěma rozměrům velikosti čelního panelu. Dále jsem za pomoci nástrojů pro kreslení v záložce Skica nakreslil montážní otvory pro panelový měřič DMG 800, USB redukci, vačkové přepínače proudového rozsahu a propojovacího „bypassu“, hlavní vypínač napájecího napětí, objímku pro signalizační LED. Poté bylo potřeba vytvořit otvory pro mechanické spojení čelního panelu se dnem a horním krytem skříně přístroje. Pro spojení čelního panelu se dnem i s horním krytem jsem zvolil 5 šroubů M4x10 s konstantní vzdáleností mezi sebou.

Na *obrázku č. 15* je znázorněna skica předního panelu. Při použití nástroje Inteligentní kóta, který tento software nabízí, se uživatel při náčrtu skvěle orientuje a pracuje velmi efektivně. Po zadání velikosti určité inteligentní kóty program ihned změní velikost či pozici daného geometrického útvaru. Pokud danému prvku není jednoznačně přidělen rozměr a pozice ve výkresu, tak je tento prvek zbarvený modře. Když je vše zakótováno tak jak má být, jeho barva se změní v černou.



Obrázek 15: Konstruování skici předního panelu v programu SolidWorks.

Po dokončení skici jsem použil nástroj Přidat vysunutím a celou skicu jsem povytáhl o tloušťku plechu 1,5 mm. Tímto byl návrh předního panelu zakončen.

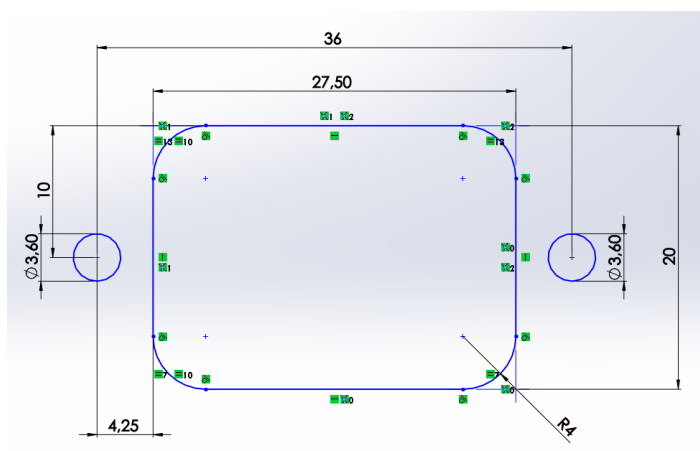


Obrázek 16: Pohled na návrh předního panelu.

### 2.1.3 Zadní panel skříně analyzátoru výkonu

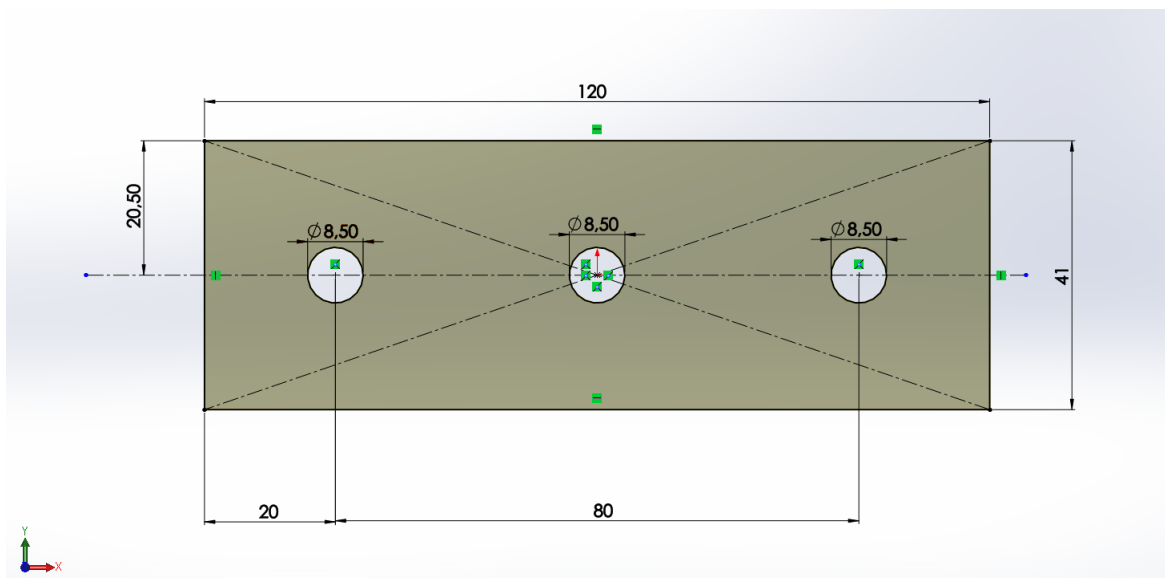
Panel na zadní straně přístroje má stejné rozměry jako čelní panel, tj. 404x125x1,5 mm. Kreslení jsem zahájil, stejně jako u čelního panelu, zvolením přední roviny. Dále jsem na ni narýsoval obdélník o rozměrech 404x125 mm, který jsem umístil do počátku souřadné soustavy. Poté bylo opět zapotřebí rozvrhnout a narýsovat umístění všech potřebných otvorů pro všechny prvky umístěné na tomto panelu včetně rozvržení otvorů

pro spojovací materiál. Rozhraní napájení střídavým napětím 230 V bylo zajištěno EURO konektorem GSD3, který má rozměry montážního otvoru 27,5x20 mm.



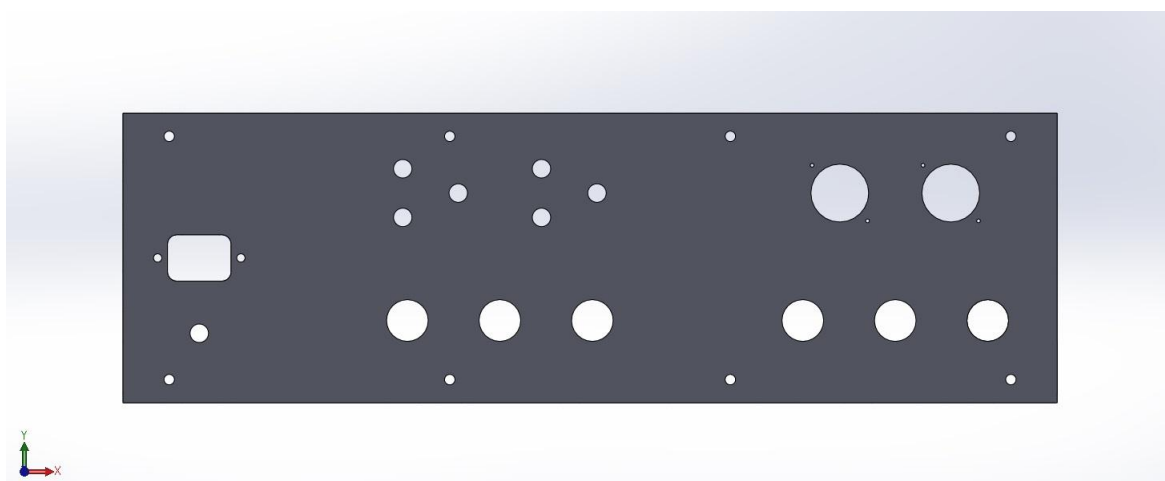
Obrázek 17: Rozměry montážních děr EURO konektoru GSD3.

Mezi další potřebné otvory na zadním panelu patří vstupní a výstupní proudové svorky. Pro tyto svorky bylo nutné vytvořit větší montážní otvory tak, aby se proudové cesty nedotýkaly kostry šasi přístroje. Z toho důvodu byly zvoleny na zadním panelu průchozí otvory o průměru 18 mm. Ze stejného důvodu bylo také nutné použít na proudový vstup i výstup destičky z nevodivého materiálu. Tyto nevodivé destičky se třemi rovnoměrně vyvrtanými otvory dle *obrázku č. 18* budou ve výsledku utaheny k zadnímu panelu z obou stran matkami M8 izolovanými z jejich vnějších stran, které na závitové tyči M8 dlouhé 5 cm budou stahovat destičky k panelu. Rozměry destiček jsou 120x41x5 mm. Při měření budou kabely na proudovém vstupu i výstupu připojeny mezi matkami stahující izolační destičky k panelu a šroubovacími svorkami M8 s izolovanými vnějšími stranami a křídélky. Na tomto panelu se dále nachází sedm otvorů pro panelové zdířky typu K214, dva větrací otvory o průměru 2,5 cm a otvory pro spojovací materiál. Šest zdířek typu K214 žluté barvy slouží pro možnost snímání externího napětí. Kontakty těchto zdířek jsou přivedeny do přídatného modulu EXP 10 03, který je blíže specifikován v *podkapitole 1.1.2*. Do sedmé zdířky K214 zelené barvy je pro případ potřeby vyvedena kostra šasi přístroje. Pro spojení zadního panelu s horním krytem a dnem šasi jsem zvolil 4 šrouby M4x10 se stejnou vzdáleností mezi sebou.



Obrázek 18: Rozměry modelu izolační destičky v programu SolidWorks.

Použitým materiálem na izolační destičky pro oddělení proudových vstupů se skvěle hodí pertinax. Tento materiál se hojně používá v elektrotechnice jako izolační materiál. Je snadno dostupný v obchodech za nízkou cenu. Běžně se vyrábí ve formě desek nebo trubek. Pertinax obsahuje papír jako výztuž a fenolformaldehydovou pryskyřici jako pojivo. Jeho barva je červenohnědá. Jeho relativní permeabilita se pohybuje od 4,4 do 5,5. Pertinax má skvělé mechanické vlastnosti týkající se jeho opracování. Je možné ho bez problémů řezat brousit nebo vrtat. [12]

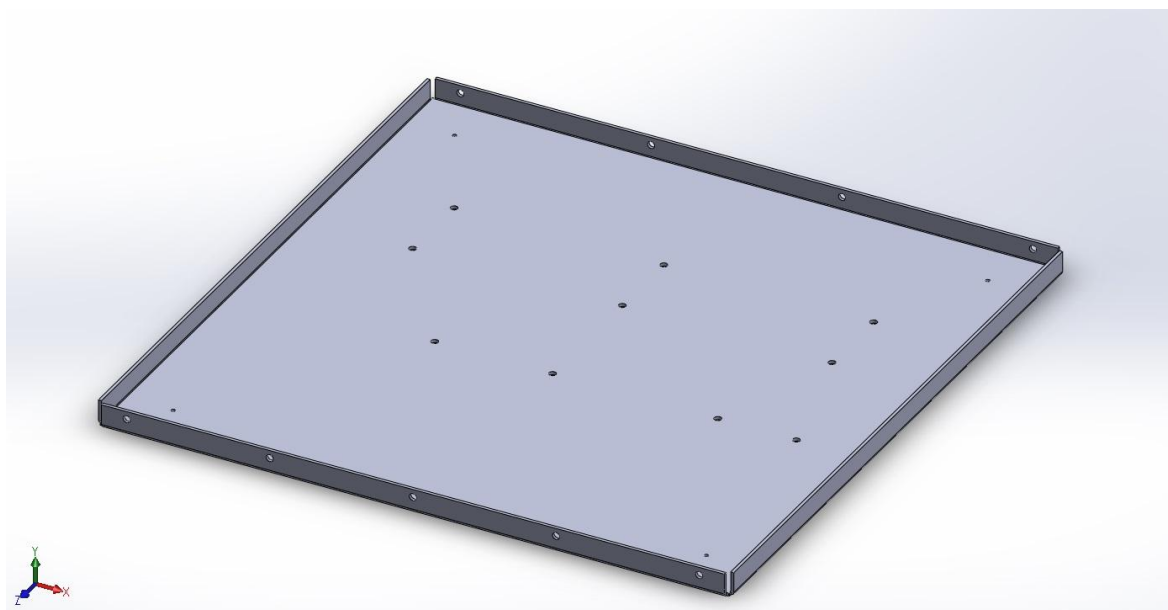


Obrázek 19: Pohled na návrh zadního panelu.

#### 2.1.4 Dno skříňe analyzátoru výkonu

Největší a nejhmotnější část skříňe analyzátoru výkonu tvoří čtvercové dno o rozměrech 404x404 mm. Na svých stranách je zahnuté o velikost pravého úhlu do výšky

15 mm. Je vytvořeno z 2 mm silného železného kusu plechu. Po vytvoření dna bylo nutné rozvrhnout montážní otvory pro čtyři přístrojové nožičky typu FI-1, na kterých bude skříň stát, a rozvržení umístění otvorů pro DIN lišty šířky 35 mm, na kterých budou umístěné tři proudové transformátory typu DM1TP 0060 a potřebné svorkovnice. Dle výrobce těchto zvolených transformátorů proudu mají délku 74,5 mm. Délky DIN lišt byly zvoleny 80 mm, tedy s určitou rezervou. Pro uchycení potřebných svorek byly uvažovány další dvě DIN lišty, taktéž o šířce 35 mm. Tyto lišty museli být tak dlouhé, aby se na ně vešly vedle sebe všechny potřebné svorkovnice při implementaci. Na levou lištu při pohledu zepředu se muselo vejít vedle sebe devět černých svorkovnic typu RSA 16 A. Každá z těchto svorkovnic má dle výrobce šířku 12,1 mm. To znamená, že minimální délka DIN lišty musela být 108,9 mm. Vždy je lepší počítat s určitou rezervou, a proto jsem zvolil délku lišty přibližně 130 mm. Na pravou DIN lištu se muselo vejít osm šedých pojistkových svorkovnic typu RSP-4, každá o šířce 9 mm, a dvě zelenožluté svorkovnice typu RSA 2,5 A pro ochranný vodič o šířce 7 mm. Délka této DIN lišty byla zvolena 100 mm. Při návrhu otvorů pro šrouby uchycující DIN lišty ke dnu skříně bylo třeba brát v úvahu výrobní rozměry lišt tak, aby šrouby přesně vyšly do jejich oválných otvorů.

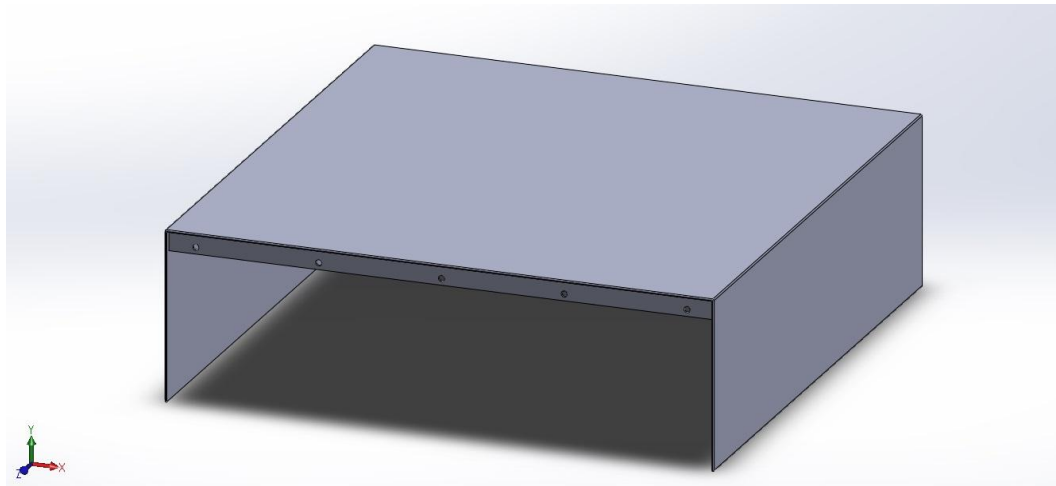


Obrázek 20: Model dna skříně analyzátoru výkonu vytvořený v programu SolidWorks.

### 2.1.5 Horní kryt skříně analyzátoru výkonu

Poslední částí skříně analyzátoru výkonu je horní kryt o tloušťce plechu 1,5 mm. Jeho rozměry jsou 407x126,5x410 mm. Přesahuje vůči rovině čelního panelu o 3 mm. Vůči rovině zadního panelu nepřesahuje, ale zároveň s ní lícuje. Lišty potřebné k uchycení

předního i zadního panelu jsou navařeny k hornímu krytu s otvory tak, aby pasovaly na vyvrtané otvory panelů. Průměr děr je 4,5 mm, čili totožný jako u vnějších panelů. Spojovacím materiálem budou šrouby M4 přiměřené délky.

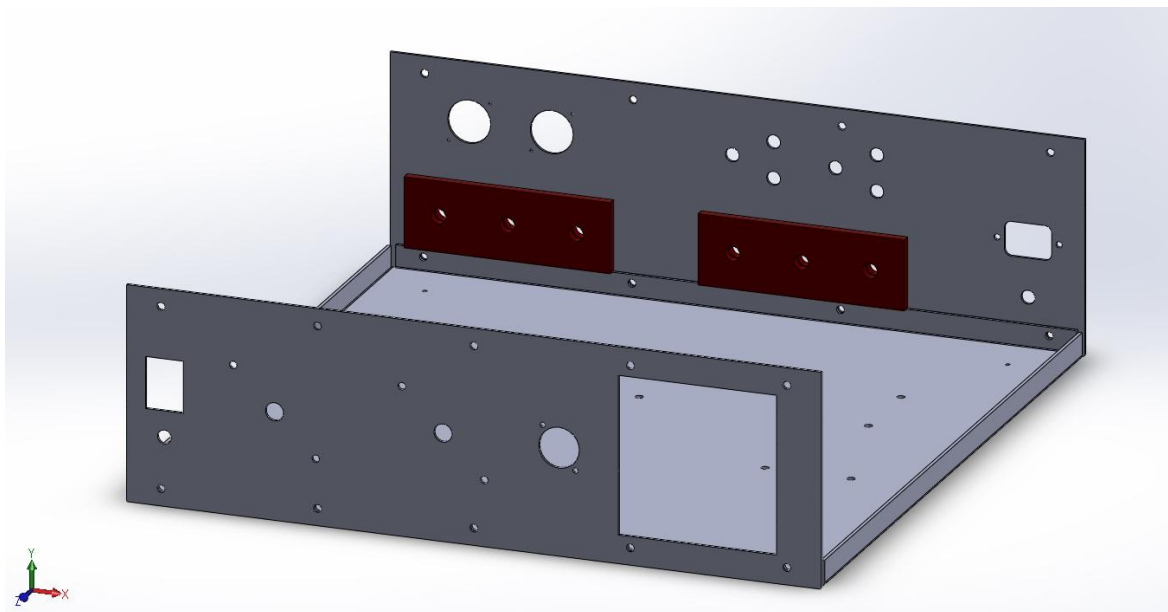


Obrázek 21: Model horního krytu skříně analyzátoru výkonu v programu SolidWorks.

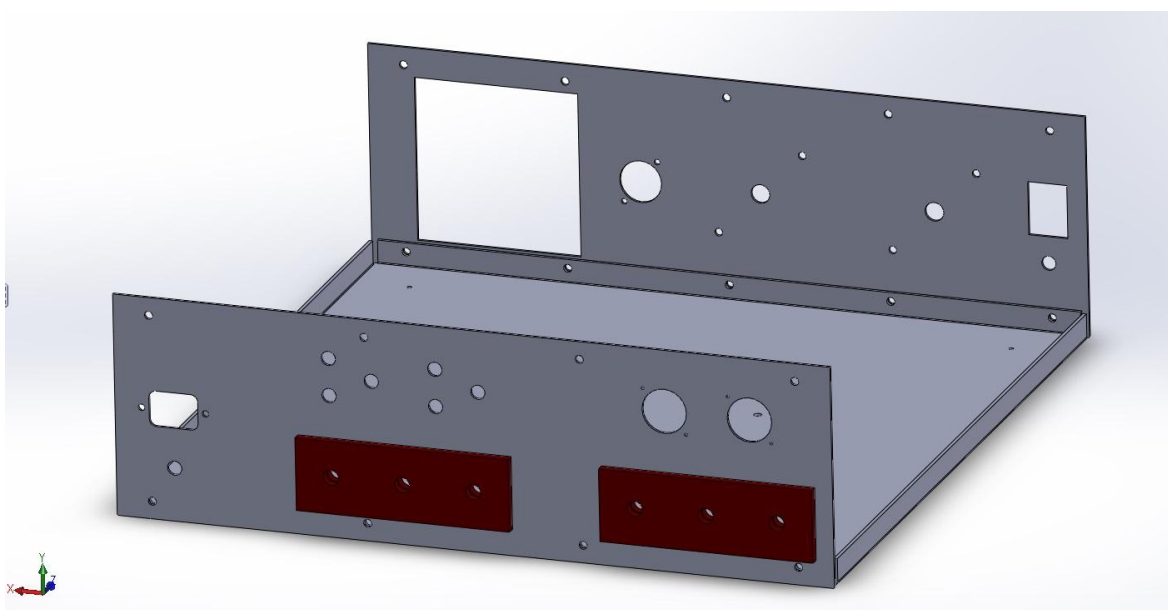
### 2.1.6 Sestavení modelu skříně analyzátoru výkonu

Nyní jsou všechny potřebné díly skládky hotové a nezbyvá nic jiného, než skříň složit dohromady. To je možné udělat tím, že při zakládání nového dokumentu v programu SolidWorks zvolíme možnost Sestava (viz. obrázek č. 14). Po vytvoření dokumentu vložíme do pracovního prostoru všechny potřebné části šasi. Jedná se o vnější panely, dno, horní kryt a čtyři pertinaxové izolační destičky. V záložce Sestava vybereme možnost Vazba a poté klikneme na plochu nebo hranu určité části, kterou chceme přesunout. Druhým kliknutím na levé tlačítko myši zvolíme referenční bod, hranu, či plochu, ke které se bude vazba vztahovat. Po potvrzení se první část přesune ke druhé s respektováním námi určené vazby. Pokud chceme například připojit přední panel ke dnu skříně, tak k tomu potřebujeme tři sjednocené vazby. K uchycení pertinaxových izolačních destiček k zadnímu panelu stačí například dvě vazby. Jedna z těchto vazeb je vazba sjednocená, která spojuje plochu jedné strany izolační destičky a plochu jedné strany zadního panelu. Druhou vazbou je vazba soustředná, která k sobě připojí dva středy otvorů na destičce a zadním panelu tak, že středy těchto kruhových otvorů leží na stejné ose.



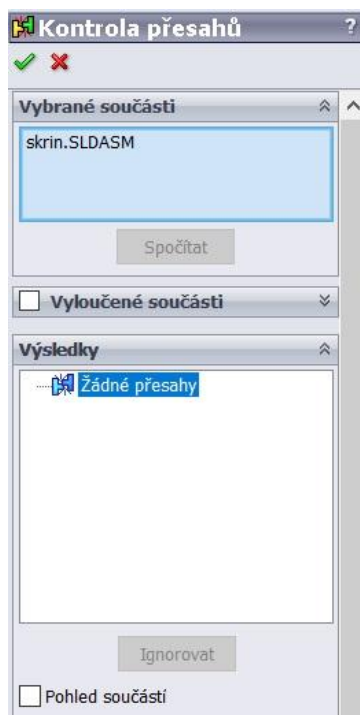


Obrázek 22: Pohled na přední panel při sestavování skříně v programu SolidWorks.



Obrázek 23: Pohled na zadní panel při sestavování skříně v programu SolidWorks.

Po sestavení celého šasi bylo zapotřebí zkontrolovat návrh z hlediska možných nežádoucích přesahů. K této kontrole se použije nástroj zahrnutý ve výbavě programu SolidWorks. V záložce Analýzy klikneme na ikonu Kontrola přesahů, kde následně vybereme oblast, ve které bude kontrola provedena. Klikneme na tlačítko Spočítat. Když kontrola neobjeví žádné přesahy, tak zazní zvukový signál a zároveň s ním se zobrazí výsledky kontroly.



Obrázek 24: Úspěšný výsledek kontroly přesahů.

Tímto by byl návrh skříně pro analyzátor výkonu z hlediska rozměrů všech jích částí zakončen. Všechny soubory vytvořené v programu SolidWorks, které byly vytvořeny v souladu s tématem této bakalářské práce, jsou zkopírovány na přiloženém CD.

## 2.2 Vizualní návrh skříně analyzátoru výkonu

Skříň přístroje bylo nutno v samotném závěru barevně ošetřit, jelikož samotné plechy byly ošetřeny pouze nevzhlednou šedou základní barvou. V souvislosti s volbou použitých barev pro čelní a zadní panel přístroje a pro jeho vrchní kryt, byl proveden vizuální návrh barevných kombinací, v té době ještě ani nesloženého přístroje. Návrh byl proveden pomocí grafického editoru GIMP.

### 2.2.1 Grafický editor GIMP

GNU Image Manipulation Program čili ve zkratce GIMP je počítačový software určený pro grafické úpravy fotek, tvorbu obrázků či tvorbu webových stránek. Největší výhodou tohoto programu je, že je dostupný zcela zdarma, je tedy volně šiřitelný a v případě zájmu je uživatelům zpřístupněn zdrojový kód softwaru, který mohou dále upravovat a program takto rozšiřovat. Využití programu GIMP je tak široké a může nalézt uplatnění například u fotografů, ilustrátorů, grafických tvůrců. Lze jej však využívat i na

méně náročné úkony a i obyčejný uživatel jej může využívat pro své konkrétní účely. Důležité je také zmínit, že GIMP pracuje s rastrovou grafikou. [13]



Obrázek 25: Logo GIMP. Převzato z [13]

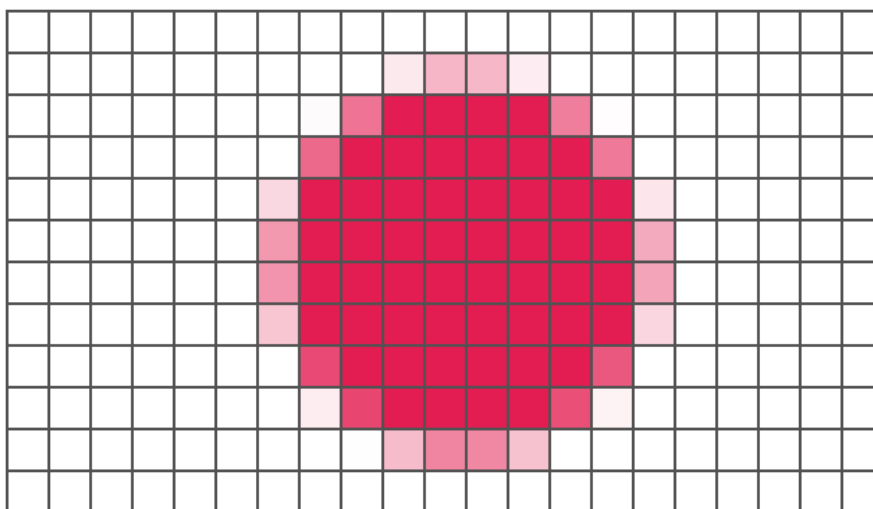
Výhody programu jsou například, že jej lze stáhnout a nainstalovat zcela zdarma a to bez jakéhokoli omezení ohledně doby používání, či omezení některých funkcí programu, jak bývá a takovýchto volně dostupných programů zvykem. GIMP je dostupný ve velkém počtu jazyků, mezi nimiž lze nalézt samozřejmě i češtinu. Proti profesionálním placeným programům je GIMP mnohem jednodušší na používání, jelikož nedisponuje natolik velkou škálou funkcí, které uživatel na domácí či poloprofesionální úrovni nevyužije. Z programu lze exportovat obrázky do široké škály formátů, mezi nimiž samozřejmě nechybí rozšířené formáty jako JPG, PNG, GIF, BMP a podobně. Na oficiálních webových stránkách programu lze nalézt mnoho tutoriálů, které mohou pomoci začátečníkům ohledně základního používání programu. Avšak lze zde nalézt i návody zkušenějším uživatelům, které již pak popisují například editování fotografií, malování pomocí speciálních nástrojů, či editování programu a psaní jednoduchých skriptů.

Mezi nevýhody lze pak zahrnout, že pro upravování fotek ohledně změny filtrů a barev, tedy kontrastu a jasu, je program už zbytečně složitý a na tuto aplikaci je vhodné použít nějaký jiný, méně rozsáhlý software. Program také neumí pracovat s barevným prostorem CMYK. V profesionálním softwaru sloužícím pro úpravy grafiky je to samozřejmě problém, avšak při úpravách fotografií pro elektronická alba nebo k domácímu tisku není tento nedostatek natolik zásadní. Dále program nedokáže pracovat v barevné hloubce 16 bitů na kanál, tato hloubka je pak potřebná při zásadních úpravách barevnosti nebo kontrastu fotografií. Při těchto úpravách pak nedochází k zachování natolik velkého množství polotónů, které pak vytváří plynulé tóny barev. [14]

### 2.2.1.1 Rastrová grafika

Základní vlastností rastrové, nebo také bitmapové grafiky je ta, že je složena z obrazových bodů neboli takzvaných pixelů. Používá se k zaznamenávání digitálního tedy nespojitého obrazu. Obraz je tak složen z mnoha maličkých bodů, přičemž každý z těchto bodů má svoje vlastní souřadnice. Společně pak tyto body vytvářejí celistvý obraz. Typicky se lze s rastrovou grafikou setkat třeba u fotografií, nebo u digitálně namalovaných obrázků. Dobrým příkladem pak může být například program Malování, jenž je součástí operačního systému Microsoft Windows. Hodí se pro záznam realistického obrazu a jejím cílem je v digitální podobě přesně zachovat zachycenou scénu. [15]

Mezi výhody rastrové grafiky patří například snadná tvorba souboru tohoto typu. Lze je tak vytvořit pomocí domácího scanneru, pořízením fotoaparátém či sejmutím z obrazovky počítače. Lze je snadno modifikovat, tedy lze snadno měnit třeba jas, kontrast a barevné odstíny. Tyto soubory lze pak snadno zobrazovat například na obrazovce či je možné je rovnou vytisknout. Nevýhodami souborů rastrové grafiky pak může být jejich velikost, kdy při velmi velkém rozlišení může mít soubor řádově desítky až stovky megabajtů. Při snaze snížit fyzickou velikost souboru pomocí použití datové komprese se pak může značně snížit rychlost čtení a tím i rychlost, se kterou se obraz rekonstruuje. Další typická nevýhoda spočívá ve změně měřítka obrazu, kdy při zvětšování nebo zmenšování může docházet k deformaci celé předlohy. Při přílišném zvětšení je pak možné již rozeznat jednotlivé pixely, z kterých je obraz složen. [16]



Obrázek 26: Přílišné zvětšení souboru rastrové grafiky. Převzato z [15]

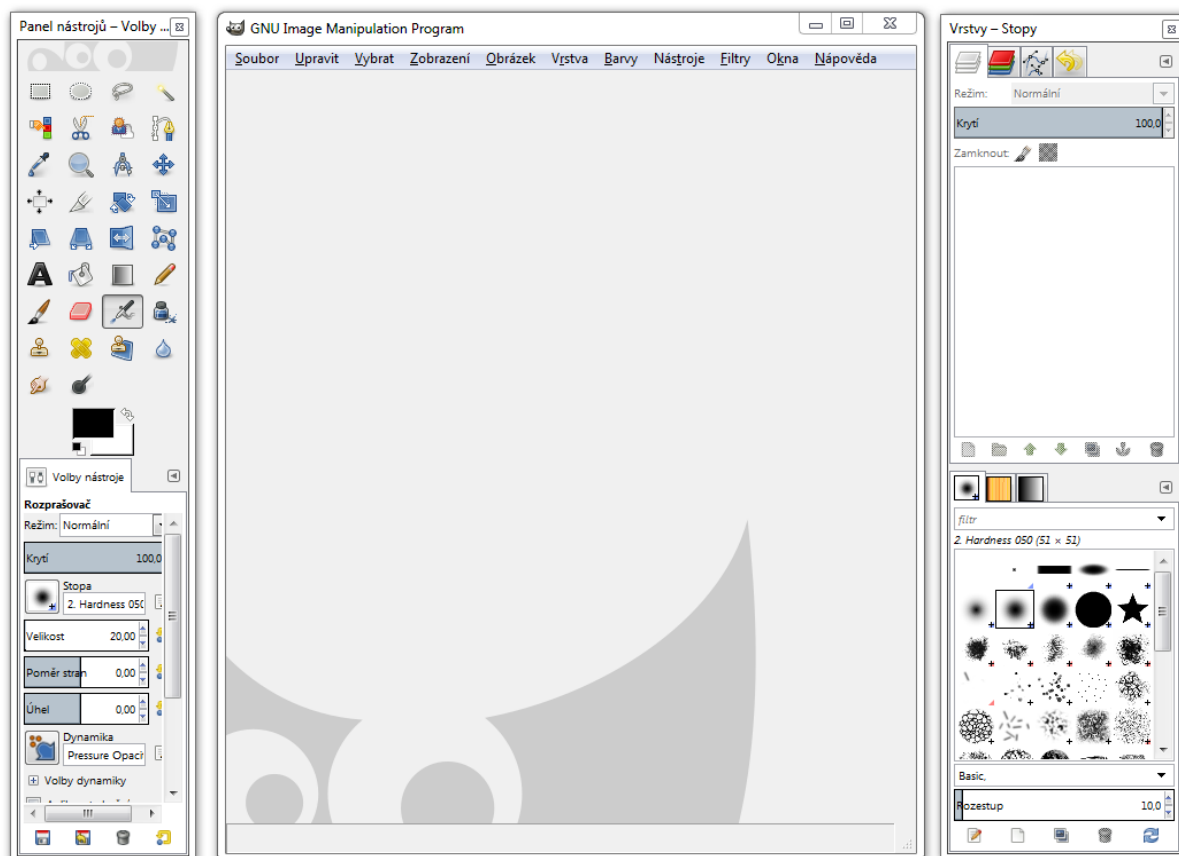
## 2.2.2 Stručný popis prostředí programu GIMP

Po prvním otevření programu je patrné, že jeho prostředí se skládá ze tří částí, tedy ze tří oken. Prvním je Panel nástrojů - Volby nástroje, druhým je okno Vrstvy - Stopy a třetím oknem je již pracovní plocha, ve které pracujeme s editovaným obrazem. Výhodu trojího rozdělení lze pak uplatnit při práci na více obrazovkách, kdy na jednom monitoru můžeme v plné velikosti zobrazit okno s obrazem, na kterém pracujeme. Na druhém monitoru pak budeme mít okna s potřebnými nástroji a přehledy vrstev obrazu. Při práci na jediné obrazovce je však toto rozdělení spíše nevýhodou, avšak v nastavení jej lze snadno změnit na režim s jedním oknem.

V panelu nástrojů nalezneme spoustu užitečných funkcí, jimiž program disponuje. Najdeme mezi nimi například funkce pro výběr obdélníku nebo elipsy, výběr od ruky, posun obrazu, jeho otočení či změnu velikosti, různé deformace a překlápění, tužku, štětec, gumu, nástroj pro klonování části obrazu či nástroj pro ztmavení či zesvětlení vybrané části obrazu.

Jedním ze zajímavých nástrojů programu je i vkládání textu do obrazu. Hned pod tímto výběrem pak ke každému nástroji nalezneme jeho volby, kde si můžeme volit například jeho velikost, typ a další, vlastnosti, které jsou pro daný nástroj specifické. V okně Vrstvy – Stopy pak najdeme seznam vrstev, kanálů a cest, s kterými pracujeme. Lze zde najít také historii změn, které jsme v obrazu udělali. Také zde můžeme rovnou nastavit intenzitu krytí jednotlivých vrstev, můžeme je zde slučovat či jinak s nimi dále pracovat.

V hlavním okně programu pak pracujeme přímo s obrazem. V horní liště pak nalezneme záložky, v kterých můžeme například obraz uložit, exportovat do jiného formátu, vracet provedené změny, pracovat s barvami a filtry. Také zde nalezneme nastavení programu a mnohé další. Podobnou nabídku lze pak vyvolat i kliknutím pravého tlačítka myši na pracovní ploše.



Obrázek 27: Prostředí programu GIMP - režim se třemi okny.

### 2.2.3 Vytvoření grafických návrhů pro konstruované zařízení

Pro vytvoření barevného návrhu konstruovaného zařízení, bylo nejprve potřeba nafotit jeho příslušné části, které budou jeho součástmi. Došlo tedy k vyfocení ještě neosazené skříňe přístroje, vypínačů a analyzátoru sítě DMG 800. Focení všech komponentů bylo provedeno pod stejným úhlem, s jakým budou na přístroji usazeny na vytvářené fotce, tímto tak dojde k ušetření práce v programu, když už není potřeba výrazně měnit například jas a kontrast komponentů, či měnit jejich tvar. Z jednotlivých fotek pak pomocí programu byly jednotlivé komponenty „vystříhnuty“ a vloženy do fotky skříňe přístroje. Pomocí dalších nástrojů pak bylo docíleno virtuální usazení přístrojů do čelního panelu nástroje, byly vytvořeny jejich stíny a doplněny další drobné komponenty jako indikační LED, hlavní vypínač a USB port. Výsledkem práce byl pak obraz přístroje, jak bude ve skutečnosti vypadat. S tím že lze pomocí programu snadno nadefinovat barevné kombinace, ve kterých přístroj může být později nalakován.

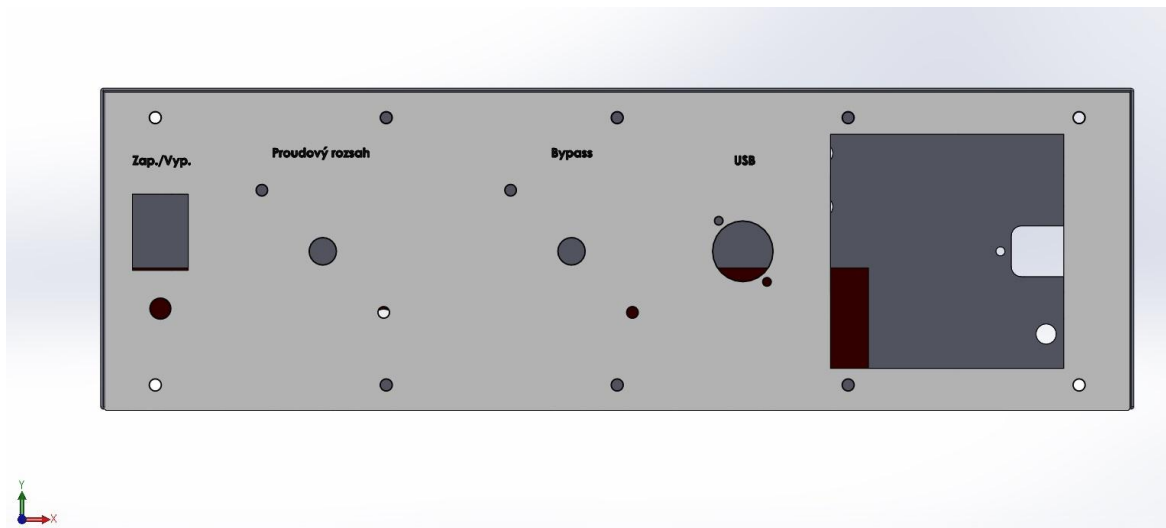


Obrázek 28: Vizualní návrhy barevných provedení konstruovaného přístroje.

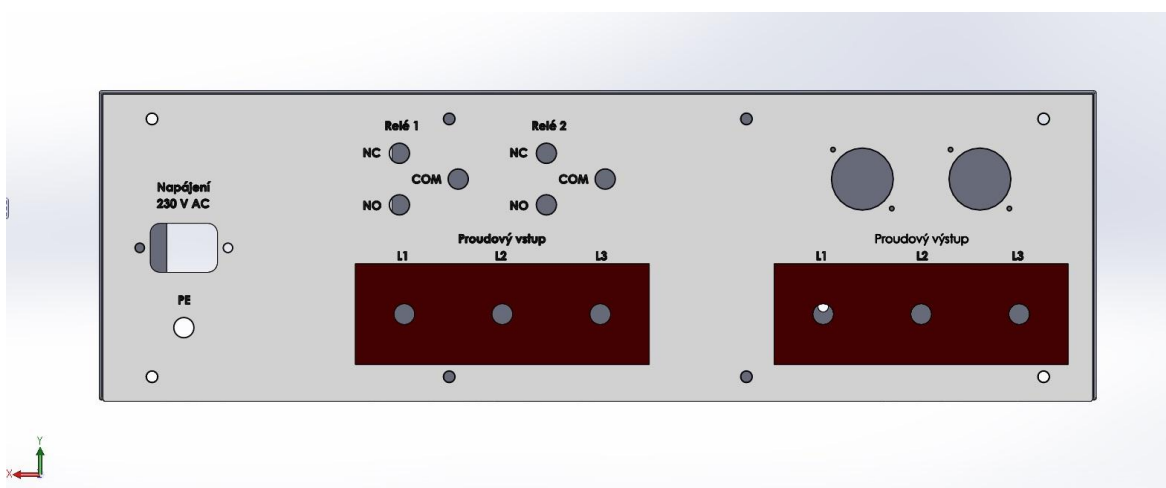
Na *obrázku č. 28* můžeme vidět čtyři vizuální návrhy barevných provedení konstruovaného přístroje. Jde pouze o barevný vzhled šasi. Barevné provedení na měření přístrojem nemá samozřejmě žádný vliv. Polohy přepínačů, USB portu a indikační LED v návrhu neodpovídají skutečnému provedení přístroje, jelikož bylo nutné, během konstrukce zařízení tyto pozice z technických důvodů změnit.

### 2.3 Návrh potisků vnějších panelů

Ve finále bylo zapotřebí provést návrh potisků vnějších panelů. Na *obrázcích č. 29 a 30* je zobrazeno šasi z předního a zadního pohledu včetně navrhovaných potisků. Na předním vnějším panelu je popsán hlavní vypínač přístroje, přepínač rozsahů proudů, bypass a USB rozhraní. Na zadním panelu je označený pro napájení ze sítě 230 V AC. Dále jsou zde značeny kontakty reléových vstupů a proudový vstup/výstup.



Obrázek 29: Čelní pohled na šasi přístroje s možným návrhem potisku v programu SolidWorks.



Obrázek 30: Zadní pohled na šasi přístroje s možným návrhem potisku v programu SolidWorks.

### 3 Sestavení skříně, osazení přístroji, svorkami a konektory

Jedním z úkolů byla praktická realizace, čili fyzické sestavení dvou stejných měřicích přístrojů. Díly pro sestavení obou skříní a část potřebných materiálů a přístroje poskytla elektrotechnická fakulta Západočeské univerzity v Plzni. Všechny komponenty instalované v přístroji byly upevněny k čelnímu nebo zadnímu panelu nebo na dno skříně z důvodu možnosti snadného odejmutí horního krytu šasi. Při potřebě například výměny tavných



pojistek stačí povolit pět šroubů spojujících horní kryt s předním vnějším panelem a čtyři šrouby, které spojují zadní vnější panel s vrchním krytem.

Sestavování skříně započalo vyvrtáním otvorů do dna skříně podle návrhu, které umožňují šroubové upevnění DIN lišt pro přístrojové transformátory proudu a pro potřebné svorkovnice. Následovalo vyvrtání čtyř otvorů pro přístrojové nožičky, na kterých bude přístroj stát. Poté se ke dnu skříně přišroubovaly vnější panely. Na přední panel se nasadily všechny uvažované části, tj. hlavní vypínač napájení, LED indikující zapnutí, přepínač proudových rozsahů, propojovací spínač „bypass“, USB redukce a konečně samotný panelový měřič DMG 800. Hlavní vypínač napájení a objímka pro signalizační LED byly implementovány pouhým nacvaknutím do montážních otvorů, zatímco měřič DMG 800 měl od výrobce čtyři plastové stahovací příchytky, kterými se přístroj stáhl ze zadní strany čelního panelu, zbytek příslušenství čelního panelu byl uchycen šrouby. Při propojování jednotlivých svorek, přístrojů a komponent vodiči bylo nutné několikrát vyndat přepínač proudových rozsahů pro ulehčení práce při montáži. To platilo především u spodních svorek z důvodu stísněného prostoru při dotahování vodičů. Na zadní panel se upevnily panelové zdířky K214 pro snímání externího napětí a vyvedení ochranného vodiče. Dále EURO konektor pro přívod AC napájení ze sítě. K větracím otvorům se z vnitřní strany samořeznými šroubky uchytilo kovové síto, které zabraňuje průniku větších cizích těles do vnitřku šasi. Izolační pertinaxové destičky byli z obou stran zadního panelu uchyceny mezi matkami na závitových tyčích. Bylo zapotřebí srovnat destičky tak, aby se závitová tyč nedotýkala neživé části skříně. Při dokonalém vystředění je mezi závitovou tyčí a neživou částí mezera 5 mm. Poté byly namotány vhodně dlouhé primární vodiče procházející skrze proudové transformátory. Po upevnění všech DIN lišt se na tyto lišty upevnily potřebné svorkovnice. Proudové transformátory byly upevněny na DIN lištách plastovými svorkami dodanými výrobcem. Do pojistkových svorkovnic RSP-4 byly vloženy odpovídající tavné pojistky. Každá pojistková svorkovnice obsahuje v plastovém držáčku uvnitř odklápěcích dvířek pojistku náhradní.

Po upevnění všech komponent se mohlo začít se zapojováním. Postup zapojování byl takový, že se nejprve určila optimální délka daného vodiče. Izolace na koncích vodičů se oholila speciálními kleštěmi nebo nožem a nalisovala se na něj daná koncovka. Nejčastěji používané koncovky byly lisovací dutinky a očka. Mimo jiné se použily také například koncovky typu FASTON pro vývody z hlavního vypínače napájení a vývody z EURO

konektoru. Na závěr byly vývody lakovaných vodičů opatřeny tepelně smršťovací páskou pro lepší izolační schopnosti. Vodiče se uspořádaly tak, aby byly pokud možno co nejvíce přehledné. Na některých místech se stáhli binder páskami a spirálovými omotávkami.

## 4 Oteplovací zkouška

Před uvedením zařízení do plnohodnotného provozu bylo zapotřebí provést zkoušku oteplení. Při běžném provozu se zařízení a všechny jeho části nesmí příliš ohřát. Podle domluvených zásad se teplota určuje ve stupních Celsia ( $^{\circ}\text{C}$ ) a maximální oteplení v kelvinech (K). V praxi se využívá miniaturních teplotních senzorů, které jsou připojeny k zařízení, která vyhodnocují teplotní údaje. V případě provedení oteplovací zkoušky u tohoto zařízení se využil rychlejší avšak méně přesný způsob, a to zaznamenání průběhu teploty pomocí termokamery. Měření oteplení se provádí za běžných provozních podmínek, při největším možném zatížení a při nejméně příznivých podmínkách pro zkoušené zařízení. [17]

### 4.1 Efektivní hodnota střídavého proudu a napětí

V praxi nás zajímají spíše efektivní a střední hodnoty těchto veličin za dobu jedné periody, nežli hodnoty okamžité, a to z důvodu určení celkových tepelných či chemických účinků. Efektivní hodnota střídavého proudu způsobí stejné tepelné účinky jako maximální hodnota proudu stejnosměrného. Efektivní hodnoty se označují velkými písmeny dané veličiny. Když bychom chtěli porovnat stejné tepelné účinky těchto dvou proudů, tak vyjdeme z výkonu na rezistoru s elektrickým odporem  $R$ . Při úvaze stejnosměrného napětí a proudu platí rovnice č. 3. [18]

$$P = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (W; \Omega; A; V; \Omega) \quad (3)$$

Při úvaze střídavého napětí a proudu platí pro okamžitý výkon na odporu rovnice č. 4. [18]

$$p = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (W; \Omega; A; V; \Omega) \quad (4)$$

Za dobu  $\Delta t$  vznikne tepelná energie  $\Delta A$ . Pokud vodičem protéká střídavý proud, tak je tepelná energie dána rovnicí č. 5. [18]

$$\Delta A = Ri^2 \Delta t \quad (J; \Omega; A; s) \quad (5)$$

Za jednu periodu je tepelná energie určena *rovnici č. 6.* [18]

$$A = \int_0^T Ri^2 \Delta t \quad (J; \Omega; A; s) \quad (6)$$

Pokud protéká rezistorem stejnosměrný proud za dobu jedné periody, tak se vytvoří v rezistoru tepelná energie určena *rovnici č. 7.* [18]

$$A = RI^2T \quad (J; \Omega; A; s) \quad (7)$$

Z rovností tepelných energií způsobených průchodem proudu střídavého a stejnosměrného plyne *rovnice č. 8.* [18]

$$RI^2T = \int_0^T Ri^2 \Delta t \quad (8)$$

Po úpravě *rovnice č. 8* dostaneme vydělením R a T a dosazením průběhu sinusového střídavého proudu s amplitudou  $I_{MAX}$  *rovnici č. 9.* [18]

$$I^2 = \frac{I_{MAX}^2}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt \quad (9)$$

Vyřešením *rovnice č. 9* za pomoci vyšší matematiky vznikne *rovnice č. 10.* [18]

$$I^2 = \frac{I_{MAX}^2}{2} \quad (10)$$

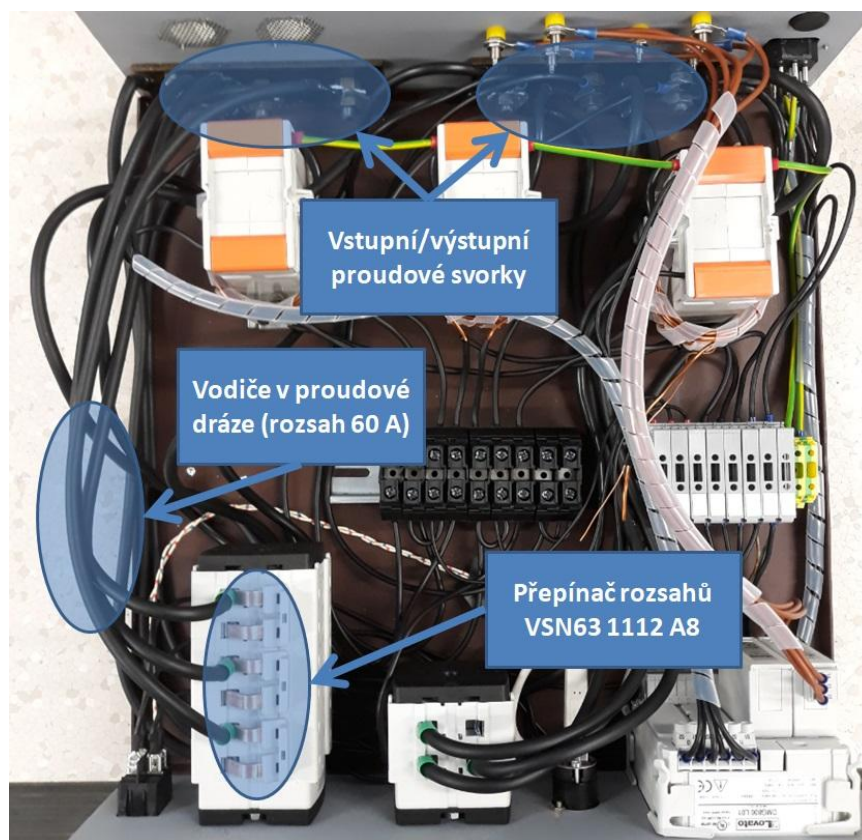
Z *rovnice č. 10* lze snadnou matematickou úpravou získat *rovnici č. 11.* Tímto odvozením se získal jeden z nejdůležitějších vzorců v elektrotechnice. [18]

$$I = \frac{I_{MAX}}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

## 4.2 Postup měření oteplení

Zkouška zařízení byla zaměřena především na části, které jsou při provozu nejvíce tepelně namáhány, čili na vodiče v proudové dráze, vačkový přepínač rozsahů, vstupní a

výstupní proudové svorky na zadním panelu. Odvod tepla zajišťují dva průduchy o průměru 25 mm, které jsou vidět na obrázku č. 31 vlevo nahoře.

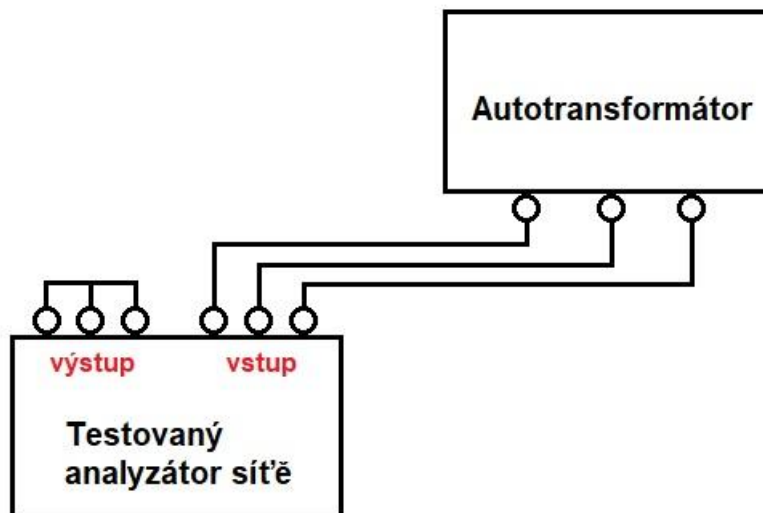


Obrázek 31: Zvolené části pro zjištění jejich oteplení.

Při zkoušce se vstupní proudové svorky analyzátoru sítě připojily na autotransformátor a výstupní proudové svorky byly spojeny nakrátko. Protékající proud se udržoval na 60 A po celou dobu měření. Termokamerou se každých 5 minut zaznamenala teplota zmíněných částí přístroje. Zkouška trvala 35 minut. V tabulce č. 2 můžeme vidět změřený časový vývoj teplot a vypočítané oteplení daných částí přístroje. Schéma zapojení je znázorněno na obrázku č. 32.

Tabulka 2: Naměřené a vypočítané hodnoty při oteplovací zkoušce.

t (min)	5	10	15	20	25	30	35
$\vartheta$ přepínače rozsahů (°C)	26	28	31	35	39	40	40
$\vartheta$ vodičů na rozsahu 60 A (°C)	33	45	51	52	53	53	53
$\vartheta$ vstupních svorek (°C)	30	31	32	33	33	33	33
$\Delta\vartheta$ přepínače rozsahů (K)	3	5	8	12	16	17	17
$\Delta\vartheta$ vodičů na rozsahu 60 A (K)	10	22	28	29	30	30	30
$\Delta\vartheta$ vstupních svorek (K)	7	8	9	10	10	10	10
$\vartheta$ okolí (°C)	23	23	23	23	23	23	23



Obrázek 32: Schéma zapojení při oteplovací zkoušce.

Oteplení se spočítá jako rozdíl teplot měřené části zařízení a teploty okolí. Po uplynutí 35 minut od začátku zkoušky se hodnoty oteplení ustálily na následujících hodnotách: přepínač proudových rozsahů na 17 K, vodiče v proudové dráze na 30 K a vstupní svorky na 10 K. Oteplení se vypočítá dle rovnice č. 12. [17]

$$\Delta\vartheta = \vartheta - \vartheta_{\text{okolí}} \quad (K) \quad (12)$$

### 4.3 Oteplení vačkového přepínače proudových rozsahů

Každá součást je navrhována pro použití v určitých konstrukčních mezích. To platí i pro přepínač proudových rozsahů VSN63 1112 A8 použitý v měřicím přístroji. Maximální provozní teplota přepínače je dle výrobce 80 °C. V návodu pro použití je uvedeno, že zařízení může pracovat při teplotě okolí do +60 °C. Naměřené oteplení v kelvinech připočteme k hodnotě 60 °C dle rovnice č. 13, a tím dostaneme teplotu této části při nejvyšší povolené teplotě okolí. V našem případě bude při této teplotě okolí teplota spínače 60 °C + 17 K = 77 °C. Pokud je výrobcem povolená pracovní teplota měřené součásti vyšší, je vše v pořádku, což je i náš případ (80 °C > 77 °C). [19]

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{přepínače rozsahů}} - \vartheta_{\text{okolí}} = 40 - 23 = 17 \text{ K} \quad (13)$$

Pokud by byla povolená pracovní teplota součásti srovnatelná s námi vypočtenými 77 °C, nacházeli bychom se v oblasti, kdy by již použití takové součásti představovalo určité riziko.

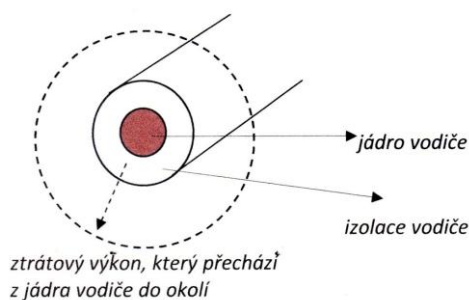
#### 4.4 Oteplení vodičů v proudové dráze

K ohřátí okolí vodiče dochází teplem. Teplo vyzařuje z jádra vodiče, kterým protéká proud. Čím větší je hodnota proudu protékajícího vodičem a čím více tepelně izolační látky brání v přechodu tepla z vodiče do okolního prostředí, tím více se vodič zahřívá. Tepelný odpor je míra toho, jak moc tepelně – izolační látky brání průchodu tepelného výkonu do okolí. Výpočet ztrátového výkonu určuje rovnice č. 14, kde  $\Delta\vartheta_m$  je maximální dovolené oteplení vodiče a T je tepelný odpor. [19]

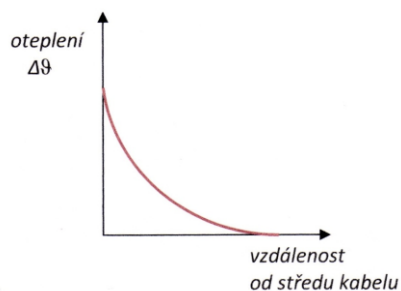
$$P = RI^2 = \frac{\Delta\vartheta_m}{T} \quad (14)$$

Po vyjádření proudu z rovnice č. 14 dostaneme rovnici č. 15, která určuje maximální proud, kterým může být vodič zatěžován. [19]

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta_m}{RT}} \quad (15)$$



Obrázek 33: Znárodnění ztrátového výkonu přecházejícího z vodiče do okolního prostředí. Převzato z [19]



Obrázek 34: Průběh oteplení okolí v závislosti na vzdálenosti od středu vodiče. Převzato z [19]

Pro zjištění oteplení vodiče se používá výpočet, který se zakládá na měření odporu vodiče před oteplovací zkouškou, čili za studena a na konci zkoušky za ustáleného teplotního stavu, čili za tepla. Stav teploty lze zjistit měřením přírůstku oteplení vnějšího povrchu vodiče. Před začátkem zkoušky je vodič zahřátý na okolní teplotu. Odpor vodiče byl změřen co nejdříve po odpojení zdroje pro maximalizaci přesnosti měření. Oteplení měděného vodiče se vypočítá následujícím způsobem podle rovnice č. 16.[17]:

$$\Delta\vartheta = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \cdot (234,5 + \vartheta_1) - (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad (16)$$

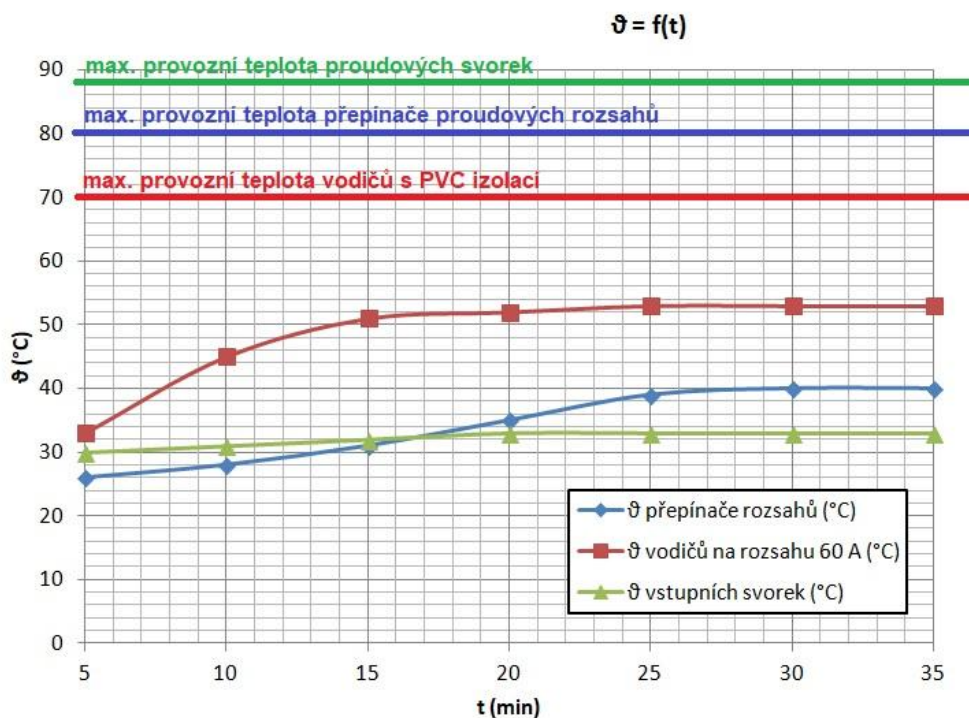
,kde  $\Delta\vartheta$  je oteplení vodičů,  $R_1$  je elektrický odpor vodičů na začátku zkoušky,  $R_2$  je elektrický odpor vodičů na konci zkoušky,  $\vartheta_1$  je teplota okolní místnosti na začátku zkoušky a  $\vartheta_2$  je teplota okolní místnosti na konci zkoušky.

Po dosazení naměřených hodnot do rovnice č. 16 vychází rovnice č. 17 následovně:

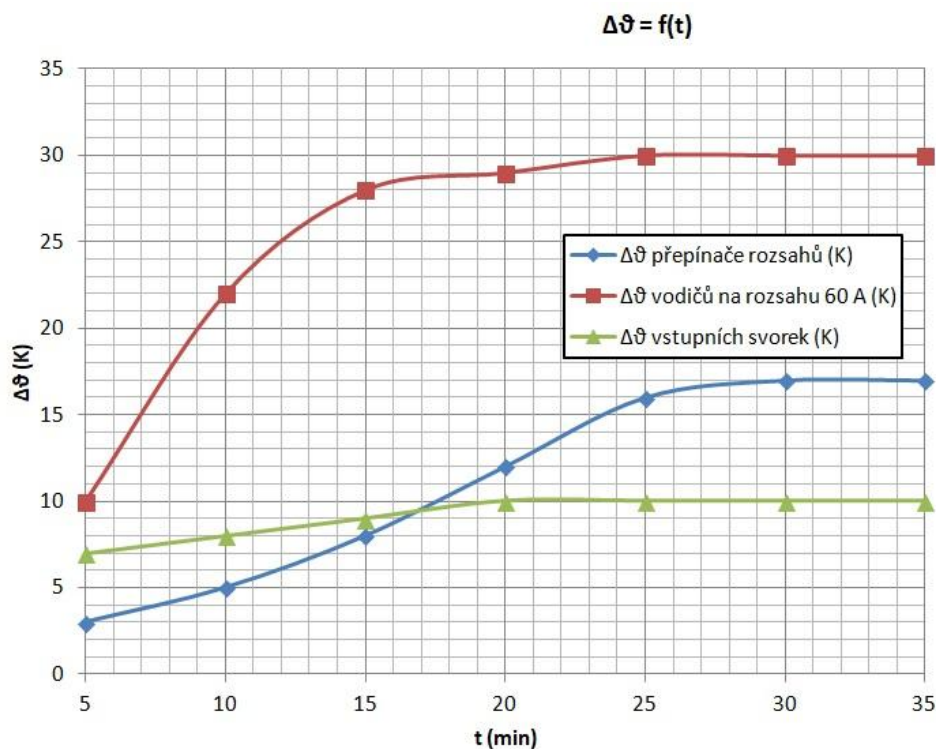
$$\Delta\vartheta = \frac{0,7 \cdot 10^{-3} - 0,626 \cdot 10^{-3}}{0,626 \cdot 10^{-3}} \cdot (234,5 + 23) - (23 - 23) = 30,44 \text{ K} \quad (17)$$

#### 4.5 Časové průběhy teploty a oteplení

Nakonec byly hodnoty z tabulky č. 2 vyneseny do grafů časových závislostí teploty a oteplení na obrázcích č. 35 a 36. Z grafů je vidět, že se postupem času teplota ustaluje na určitých hodnotách a v 35. minutě se může považovat za ustálený stav. Za ustálenou teplotu přepínače rozsahů můžeme považovat 40 °C. Teplota vodičů v proudové dráze se ustálila na hodnotě 53 °C a teplota vstupních proudových svorek na hodnotě 33 °C.



Obrázek 35: Časový průběh teplot vybraných částí přístroje.

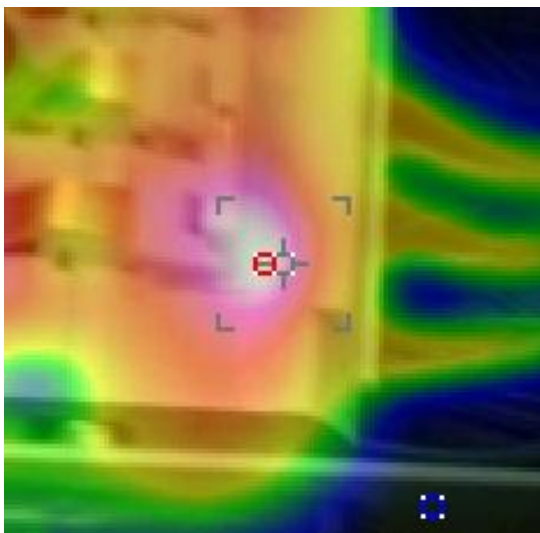


Obrázek 36: Časový průběh oteplení vybraných částí přístroje.

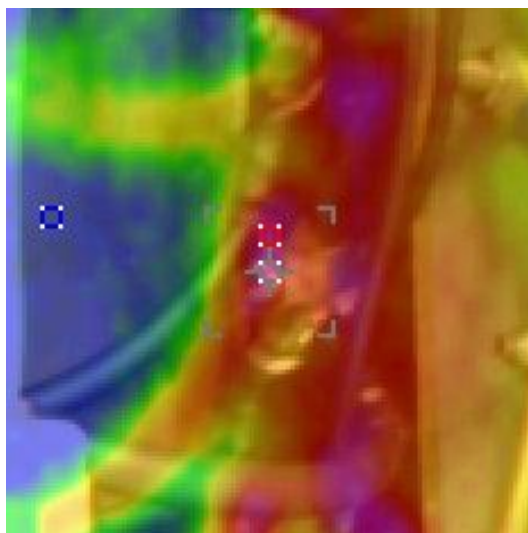
Z grafu na obrázku č. 35 vidíme časové průběhy teplot vybraných částí přístroje. Modře je značena teplota přepínače proudových rozsahů, červeně teplota vodičů a zeleně



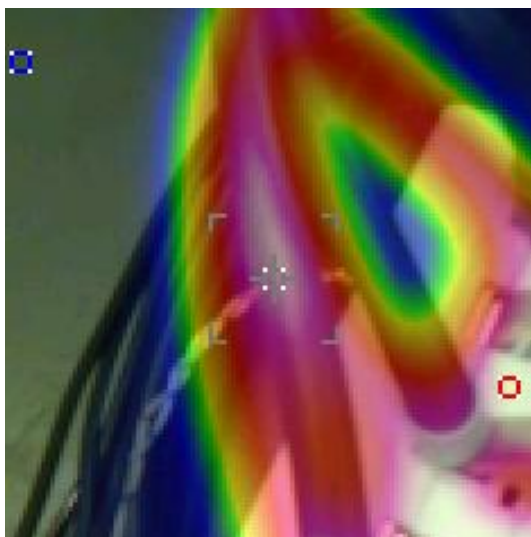
teplota vstupních proudových svorek. Je zde vyznačena i maximální provozní teplota zmíněných částí přístroje. Z grafu je vidět, že během zkoušky žádná z daných částí nepřekročila maximální provozní teplotu. Zkouška prokázala, že se žádná část přístroje nadměrně nezahřívá. Přístroj je schopen se uchládit svým vlastním povrchem. Z toho lze usoudit, že zkouška byla úspěšná.



Obrázek 37: Fotografie přepínače rozsahů z termokamery.



Obrázek 38: Fotografie proudových svorek z termokamery.



Obrázek 39: Fotografie vodičů s PVC izolací z termokamery.

## 5 Souhrn dosažených výsledků

Výsledkem této bakalářské práce jsou dva funkční stejně navržené a odzkoušené měřicí přístroje s panelovými měřiči DMG 800. V první kapitole byly popsány přístroje potřebné ke správnému fungování měřicích přístrojů. V druhém bodě jsem se zabýval návrhem šasi, které jsem pro vizuální představu vymodeloval v programu SolidWorks, který jsem se naučil ovládat při studiu na ZČU. Dále jsem se zabýval možnostmi barevného provedení skříní analyzátorů výkonu v programu GIMP. Ve třetím bodě jsem popsal přibližný postup při fyzickém sestavování přístrojů a ve čtvrté kapitole jsem rozebral oteplovací zkoušku. Tuto zkoušku oba přístroje úspěšně absolvovali. Teploty jader kabelů nepřekročily povolené hodnoty, podobně i přepínač proudových rozsahů a proudové svorky. Přístroje byly zhotoveny tak, aby byly snadno ovladatelné a pokud možno co nejpřehlednější pro obsluhu. Po snadném odejmutí vrchního krytu je uvnitř vše přehledné, vodiče jsou zformovány pro maximální přehlednost. Přístroje mohou nyní sloužit ve školních laboratořích k výuce studentů současných i budoucích.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

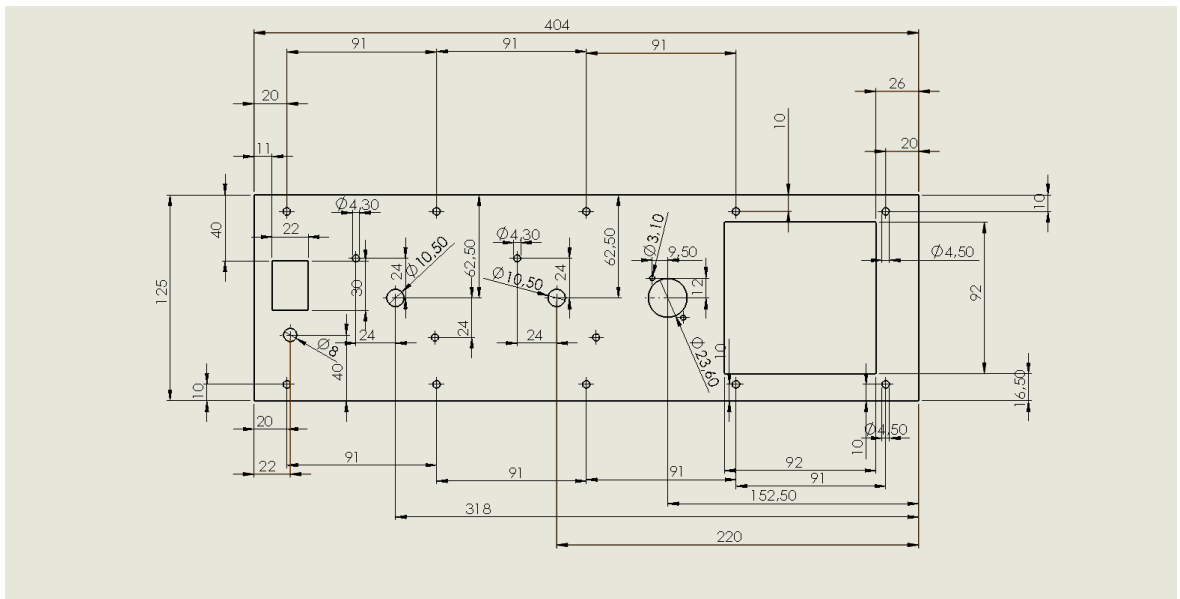
- [1] *Manuál DMG800*. [online]. Poslední změna 5.5.2019. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: [http://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I272IGBFE02\\_17.pdf&ic=110](http://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I272IGBFE02_17.pdf&ic=110).
- [2] *Lovato electric. Energy and automation*. [online]. Poslední změna 5.5.2019. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://lovatoelectric.cz/-FLUSH-MOUNT-LCD-MULTIMETER,-EXPANDABLE,-GRAPHIC-128X80-PIXEL-LCD,-HARMONIC-ANALYSIS,-AUXILIARY-SUPP/DMG800/snp>
- [3] *Katalog Lovato: Měřicí přístroje a proudové transformátory*. <https://www.lovatoelectric.cz> [online]. Poslední změna 5.5.2019. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: [http://www.lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=24%20-%20Měřicí%20přístroje%20a%20proudové%20transformátory\\_01\\_18.pdf&ic=371#page=33](http://www.lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=24%20-%20Měřicí%20přístroje%20a%20proudové%20transformátory_01_18.pdf&ic=371#page=33)
- [4] *Lovato electric. Energy and automation*. [online]. Poslední změna 5.5.2019. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.lovatoelectric.cz/-CURRENT-TRANSFORMER,-ACCURACY-SOLID-CORE,-FOR-Ø28MM-CABLE.-FOR-30X10MM,-25X15MM,-20X20MM-BUSBARS,-6/DM1TP0060/snp>
- [5] *Wikipedie. Otevřená encyklopedie*. [online]. Poslední změna 5.5.2019 [cit. 2019-05-05] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Měřicí\\_přístroj](https://cs.wikipedia.org/wiki/Měřicí_přístroj)
- [6] VACULÍK, Vlastimil. *Diplomová práce: Snímače proudu*. [online]. Poslední změna 5.5.2019. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30298342.pdf>
- [7] *Obzor*. [online]. Poslední změna 11.5.2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.obzor.cz/vyrobky/prumyslova-elektroinstalace/vackove-spinace-vs>
- [8] *Manuál EXP10 03*. [online]. Poslední změna 12.5.2019. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [http://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I290IGBFE09\\_18.pdf&ic=113](http://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I290IGBFE09_18.pdf&ic=113)
- [9] *Manuál EXP10 10*. [online]. Poslední změna 12.5.2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [http://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I293IGBFE09\\_18.pdf&ic=113](http://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I293IGBFE09_18.pdf&ic=113)
- [10] *Obzor*. [online]. Poslední změna 12.5.2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.obzor.cz/eshop/vackovy-spinac-vs-63-a>
- [11] *SolidWorks*. [online]. Poslední změna 23.5.2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.solidworks.com/>
- [12] *Wikipedie. Otevřená encyklopedie*. [online]. Poslední změna 28.5.2019 [cit. 2019-05-28] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Pertinax\\_\(materiál\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Pertinax_(materiál))
- [13] *GIMP - GNU Image Manipulation Program* [online]. Poslední změna 23.4.2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.gimp.org/>
- [14] *Jak chutná GIMP: začínáme – DIGIarena.cz* [online]. Poslední změna 22.4.2019 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: [https://digiarena.e15.cz/jak-chutna-gimp-zaciname\\_6](https://digiarena.e15.cz/jak-chutna-gimp-zaciname_6)
- [15] *Úvod do počítačové grafiky - Rastr vs. vektor* [online]. Poslední změna 23.4.2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/grafika/uvod/uvod-do-pocitacove-grafiky-rastr-vs-vektor>
- [16] BARTONĚK, Dalibor. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, POČÍTAČOVÁ GRAFIKA I, MODUL M01, TEORIE GRAFICKÝCH FORMÁTŮ STUDIJNÍ OPORY PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA* [online]. Poslední změna 23.4.2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: [http://fast.darmy.net/opory\\_-\\_II\\_Bc/GE09-Pocitacova\\_grafika\\_I--M01-Teorie\\_grafickyh\\_formatu.pdf](http://fast.darmy.net/opory_-_II_Bc/GE09-Pocitacova_grafika_I--M01-Teorie_grafickyh_formatu.pdf)

- [17] VLČEK, Jiří. *Bezpečnost elektrických zařízení – příručka pro konstruktéry*. Praha: BEN – technická literatura, 2007. 57 s. a 58 s. ISBN 978-80-7300-222-0.
- [18] BLAHOVEC, Antonín. *Elektrotechnika II*. 5. vyd. Praha: Informatorium, spol. s.r.o., 2005. 13 s. až 15 s. ISBN 80-7333-044-X.
- [19] KŘÍŽ, Michal. *Dimenzování a jistění elektrických zařízení – tabulky a příklady*. 1. vyd. Praha: IN-EL, spol. s.r.o., 2001. 74 s. až 79 s. ISBN 80-86230-21-X.

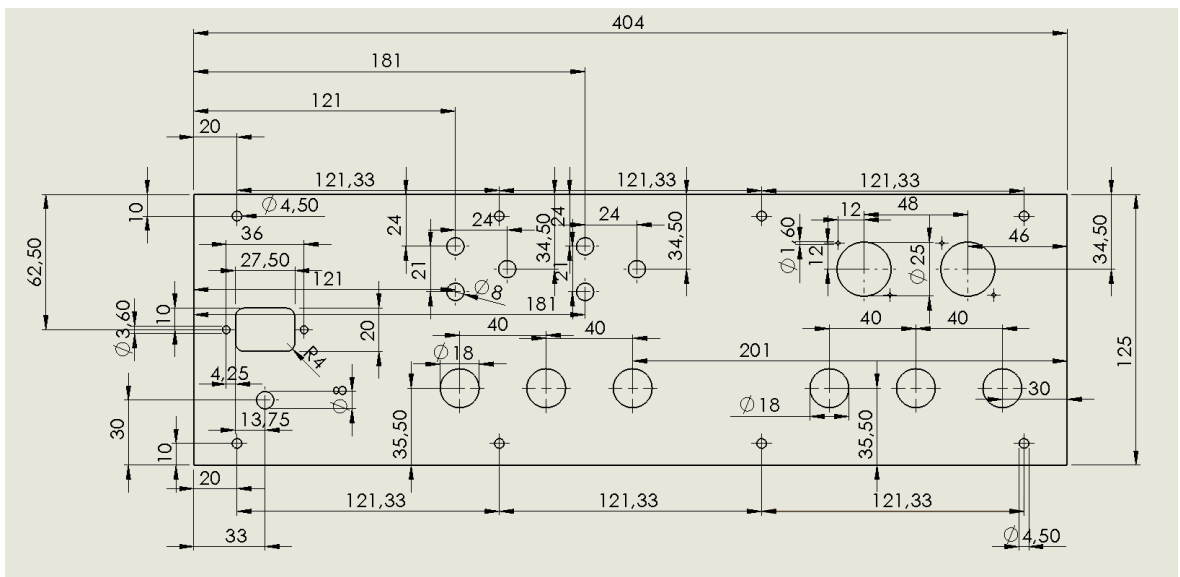
## **Přílohy**

- Příloha A – Výkres čelního panelu vygenerovaný programem SolidWorks**
- Příloha B – Výkres zadního panelu vygenerovaný programem SolidWorks**
- Příloha C – Výkres dna šasi vygenerovaný programem SolidWorks**
- Příloha D – Výkres horního krytu šasi vygenerovaný programem SolidWorks**
- Příloha E – Pohled na model šasi ze strany čelního panelu v programu SolidWorks**
- Příloha F – Pohled na model šasi ze strany zadního panelu v programu SolidWorks**
- Příloha G – Fotografie s detailem na přepínač rozsahů a „bypass“**
- Příloha H – Fotografie s detailem na zadní stranu DMG 800 a jeho přídatné moduly**
- Příloha I – Fotografie zhotoveného přístroje se sejmutým horním krytem**
- Příloha J – Fotografie s detailem na přístrojový proudový transformátor DM1TP**
- Příloha K – Fotografie s detailem na pojistkové svorkovnice RSP-4**
- Příloha L – Fotografie s detailem na svorky RSA 16 A**
- Příloha M – Fotografie s detailem na externí napěťové vstupy a proudové svorky**
- Příloha N – Fotografie hotového analyzátoru sítě**
- Příloha O – Fotografie hotového analyzátoru sítě z přední strany**
- Příloha P – Fotografie hotového analyzátoru sítě ze zadní strany**

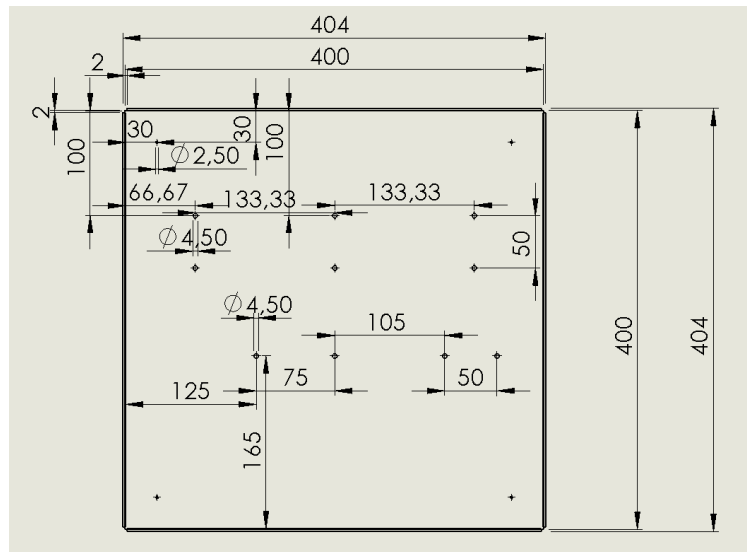
Příloha A



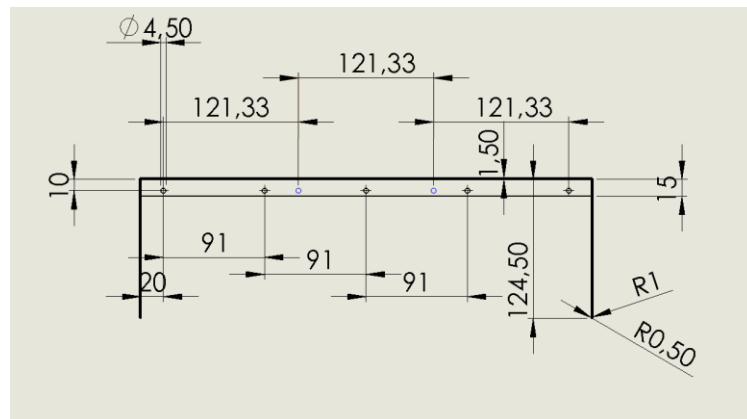
Příloha B



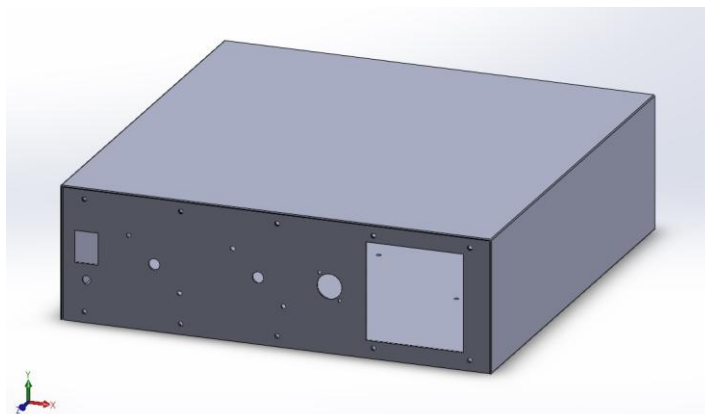
Příloha C



Příloha D

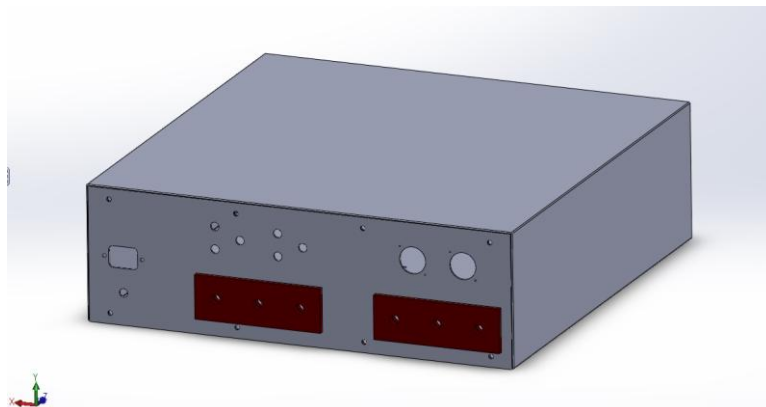


Příloha E





Příloha F



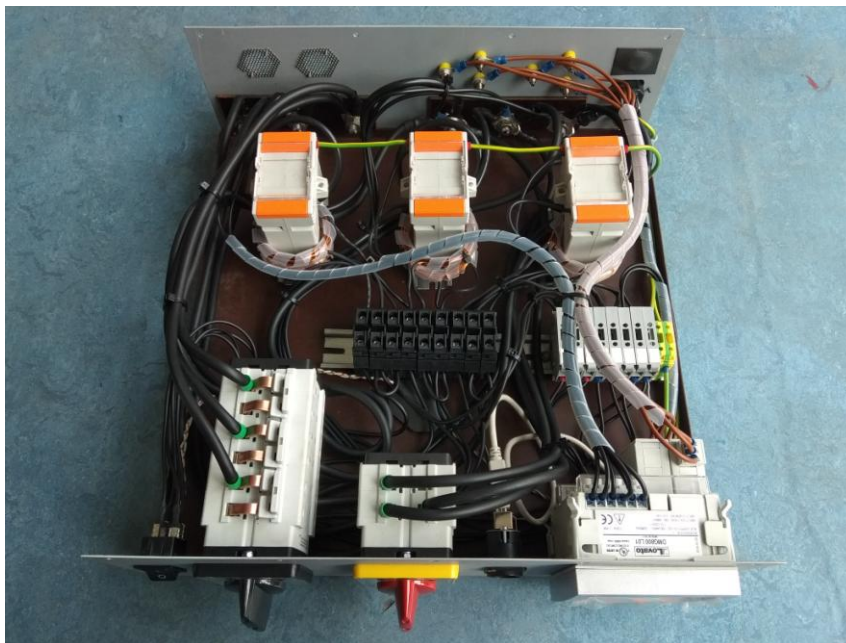
Příloha G



Příloha H



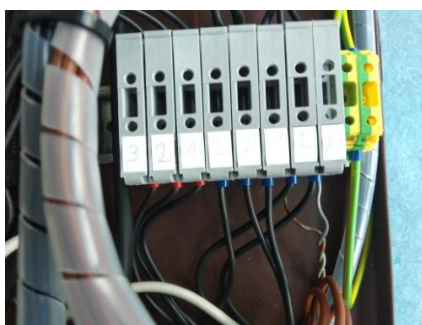
Příloha I



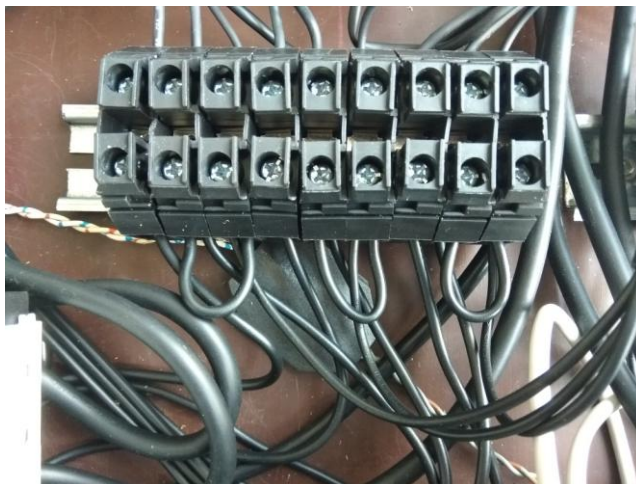
Příloha J



Příloha K



Příloha L



Příloha M



Příloha N



Příloha O



Příloha P

