

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh rozvaděče pro analyzátor sítě

Autor práce: **Tomáš Jedlička**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Bohumil Skala Ph.D.**

2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš JEDLIČKA**
Osobní číslo: **E18B0144P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Téma práce: **Návrh rozvaděče pro analyzátor sítě**
Zadávací katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte návod na instalaci analyzátoru sítě DMG 800 od firmy Lovato.
2. Dimenzujte vnitřní i připojovací vnější svorky a vnitřní kabeláž.
3. Navrhněte výkres skříně pro laboratorní použití analyzátoru. Zpracujte technickou dokumentaci.
4. Navrhněte zapojení interních programovatelných relé pro univerzální využití.
5. Navržené konstrukční díly realizujte a zkompletujte rozvaděč. Shrňte dosažené výsledky.



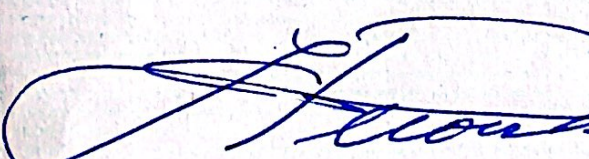
Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

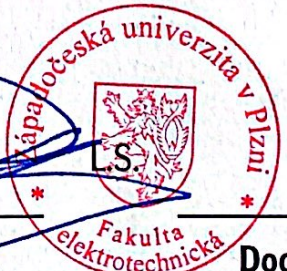
Seznam doporučené literatury:

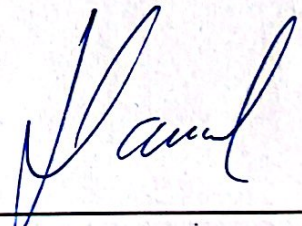
1. https://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=I272IGBFE02_17.pdf&ic=110
2. https://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=I317IGB12_19.pdf&ic=110
3. https://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=I374GBI02_17.pdf&ic=110
4. https://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=I537GBI08_17.pdf&ic=110

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.**
Katedra výkonové elektroniky a strojů

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**


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




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

Dodatek k zadání Bakalářské práce

Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni v akademickém roce 2020/2021

V souvislosti s krizovým opatřením vyhlášeným dle krizového zákona a mimořádným opatřením vydaným podle zvláštního zákona, na základě kterých došlo k omezení osobní přítomnosti studentů v prostorách vysoké školy a s ohledem na nutnost využití infrastruktury FEL při vypracování kvalifikační práce v období tohoto omezení a v plné míře s přihlédnutím k realizovatelnosti práce po dobu trvání tohoto omezení se v intencích čl. 54 odst. 4 Studijního a zkušebního řádu Západočeské univerzity v Plzni upravuje zadání práce takto:

Body 1 - 4 zůstávají v plném rozsahu.

Bod 5. Navržené konstrukční díly realizujte a zkompletujte rozvaděč. Shrňte dosažené výsledky.

je změněn na:

5. Shrňte dosažené výsledky.

Beru na vědomí a souhlasím.

V Plzni dne 31.03.2021

V Plzni dne 07.04.21

Bohumil Kala

Vedoucí práce:

S. Křížan

Student:

V Plzni dne

08.04.21

Zdeněk Peroutka

prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.

děkan Fakulty elektrotechnické
Západočeské univerzity v Plzni

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na prvotní nastavení a možnosti analyzátoru DMG 800 od firmy Lovato, dimenzování vodičů a svorek použitých k jeho instalaci, zpracování 3D modelů a technické dokumentace oceloplechové skříně a návržení zapojení programovatelných relé pro univerzální použití.

Klíčová slova

Analyzátor sítě DMG 800, napětí, proud, dimenzování vodičů, modelování, technická dokumentace, schéma.

Abstract

The Bachelors thesis is focused on initial setup and possibilities of network analyzer DMG 800 by manufacturer Lovato, wire and clamps dimensioning used for its installation, 3D models processing and technical documentation of steel sheet metal cabinet and wiring design of programmable relays for universal use.

Key Words

Network analyzer DMG 800, voltage, current, wire dimensioning, modelling, technical documentation, scheme.

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 26.5. 2022

Tomáš Jedlička

Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Bohumilu Skalovi Ph.D, za přínosné rady a připomínky při tvoření této bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	- 11 -
1 Analyzátor sítě Lovato DMG 800	- 13 -
1.1 Lovato Electric	- 13 -
1.2 Základní technické parametry	- 14 -
1.2.1 Napájecí napětí	- 14 -
1.2.2 Napěťové vstupy	- 15 -
1.2.3 Proudové vstupy	- 15 -
1.2.4 Přesnost analyzátoru	- 15 -
1.3 Ovládání a nastavení	- 16 -
1.3.1 Menu	- 16 -
1.3.2 Prvotní nastavení.....	- 17 -
1.4 Mechanická instalace zařízení a rozšíření.....	- 17 -
1.4.1 Mechanická instalace zařízení	- 18 -
1.4.2 Mechanická instalace rozšíření.....	- 18 -
1.5 Wiring test.....	- 18 -
2 Dimenzování svorek a kabeláže	- 20 -
2.1 Obecné podmínky pro průřez vodiče	- 20 -
2.1.1 Dovolená provozní teplota.....	- 20 -
2.1.2 Mechanické a tepelné účinky zkratového proudu.....	- 24 -
2.1.3 Dovolенý úbytek napětí	- 26 -
2.1.4 Hospodárnost	- 27 -
2.2 Vybrané průřezy podle obecných podmínek.....	- 28 -
2.3 Obecné podmínky pro rozměr svorek	- 29 -
2.4 Vybrané svorky a zdířky	- 29 -
3 Navržení skříně a zpracování technické dokumentace.....	- 32 -
3.1 Solid Edge	- 32 -
3.2 Kovová skříň Spacial S3D	- 33 -
3.2.1 Základní technické informace [19]	- 33 -
3.2.2 Upravení dna na přední stranu analyzátoru	- 34 -

3.2.3	Upravení vrchní strany na zadní stranu analyzátoru.....	- 36 -
3.3	Přední panel analyzátoru	- 37 -
3.3.1	Textit.....	- 39 -
3.3.2	Řezání vodním paprskem.....	- 39 -
4	Navržení zapojení interních relé pro univerzální využití	- 40 -
	Zhodnocení a závěr.....	- 42 -
	Seznam literatury a informačních zdrojů.....	- 43 -
	Seznam obrázků.....	- 46 -
	Seznam tablek.....	- 47 -
	Přílohy.....	I

Úvod

Měření je základní činností každého elektrotechnika. Zdokonalování jak osobní, tak i přístrojové posouvá dosažené výsledky k čím dál větším přesnostem. Proto je potřeba neustálá obměna měřících zařízení za taková, která takovýto posun umožňují. To stojí za vznikem této bakalářské práce, tedy návrh sestavení nového zařízení využívající digitální analyzátor sítě DMG 800 od firmy Lovato.

Text této práce je rozdělen do čtyř částí a první z nich se zaměřuje na obecné nastavení tohoto analyzátoru, jeho různorodé možnosti měřených veličin a v neposlední řadě jeho samotnou mechanickou instalaci do skříně zařízení.

Druhá část se zabývá problematikou dimenzování vodičů a svorek takovým způsobem, aby zařízení bylo bezpečné. Je zde pojednáváno o konkrétních hodnotách vodičů s jejich proudovými možnostmi pro jednotlivé měřící rozsahy.

Ve třetí části je uveden 3D modelovací program ve kterém jsou zpracovány modely a technická dokumentace výsledného zařízení, pro správné rozvržení jednotlivých komponent.

Poslední část se věnuje možnostem rozšíření zařízení pro jeho komplexnější využití a návrh zapojení pro práci s nimi.

Seznam symbolů a zkratk

CAD	Computer-aided design – Počítačem podporované navrhování
COM	Common terminal connection – Běžné připojení k terminálu
ČSN	Česká soustava norem
DIN	Německý institut pro normy a standardizace
IEC	International Electrotechnical Commission - Mezinárodní elektrotechnická komise
IP20	International Protection 20 – Stupeň ochrany krytem 20
IP65	International Protection 65 – Stupeň ochrany krytem 65
NC	Normally closed terminal – Základně otevřený terminál
NO	Normally open terminal – Základně otevřený terminál
PVC	Polyvinylchlorid
RAL	Říšský výbor pro dodací podmínky
R. H.	Relative humidity – Relativní vlhkost
USB	Universal Serial Bus – Univerzální sériová sběrnice
VAC	Volts Alternating Current – Volty střídavého napětí
VDC	Volts Direct Current – Volty stejnosměrného napětí
2D / 3D	Dvoudimenzionální / trojdimenzionální

1 Analyzátor sítě Lovato DMG 800

Analyzátor sítě DMG800 z produkce italské firmy Lovato Electric je digitální přístroj navržen tak, že spojuje snadnou instalaci se širokým polem využití. Analyzátor jako takový není určen k samostatnému použití, a tudíž je vyžadována jeho instalace, společně s dalšími komponenty do komplexního zařízení, které pokrývá např. napájení, měřicí vstupy.



Obr. 1 Analyzátor DMG 800. (převzato z [1])

1.1 Lovato Electric

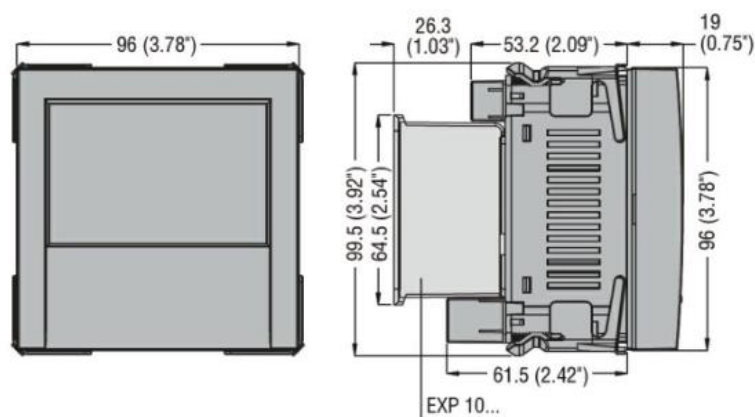
Firma byla založena v roce 1922 v severoitalském městě Bergamo. Původní zaměření bylo pouze na olejové a vzduchové spínače [3].

Po více než 100 letech fungování, nyní již na celosvětovém trhu, dnes firmu řídí již 4. generace původní zakladatelské rodiny. Nyní je hlavním zaměřením vývoj a výroba nízkonapěťových elektrických přístrojů pro průmyslové aplikace. Působení firmy se rozrůstá každým rokem a již nyní se může chlubit přítomností na trzích, ať už hlavní či dceřiné společnosti, přesahující stovku zemí. Portfolio obsahuje více než 18 000 přístrojů z kategorií: motorové spouštěče, stykače, ovladače a signálky, odpínače, koncové spínače, digitální multimetry, měřicí přístroje, softstartéry, frekvenční měniče, automatické regulátory účinníku, jednotky pro řízení motorgenerátorů [2]. Cílem firmy je poskytování konkurence schopných výrobků splňujících nejprísnější požadavky mezinárodních standardů a norem [2].

1.2 Základní technické parametry

Zařízení je, s ohledem na snadnou instalaci do panelů, provedeno značně kompaktně o rozměrech 96x96 milimetrů. Hloubka po desku panelu bez instalace zásuvných modulů je 61,5 mm a před panel vystupuje pouhých 19 mm. [5]

Na zadní straně se nachází 4 sloty pro zásuvné moduly, které rozšiřují šířku využití a komunikace.



Obr. 2 Rozměry DMG 800. (převzato z [5])

1.2.1 Napájecí napětí

Napájení analyzátoru je možné jak stejnosměrným, tak střídavým napětím. Obě možnosti mají veliké tolerance, a tudíž je spousta možností, jak jej napájet. Správnost polarity připojení je ošetřena na vstupu zařízení napěťovým usměrňovačem. Imunitní čas zabraňující ovlivnění je menší nebo roven 50 ms. Pokud dojde k většímu výpadku, zařízení přestane pracovat. [4]

Tabulka 1 Hodnoty napájecího napětí [4,5]

Stejnoseměrné napájecí napětí	110 – 250 VDC
Střídavé napájecí napětí	100 – 440 VAC
Stejnoseměrné provozní napětí	93,5 – 300 VDC
Střídavé provozní napětí	90 – 484 VAC
Frekvence	45 – 66 Hz
Maximální příkon	3,9 VA
Maximální ztrátový výkon	3,4 W

1.2.2 Napět'ové vstupy

Analyzátor umožňuje připojení tří fází a nulového vodiče. Nejvyšší dovolené napětí, které je umožněno připojit mezi fázovým a nulovým vodičem je 400 VAC a mezi dvěma fázemi je povoleno až 690 VAC. [4,5]

Provozní rozsah napětí je opět jiný pro různé způsoby zapojení. Mezi dvěma fázemi je rozpětí 20 – 830 VAC a mezi fázovým a nulovým vodičem 10 – 480 VAC. Tolerance frekvence provozního napětí je stejná jako u napájecího: 45 – 66 Hz. [4,5]

1.2.3 Proudové vstupy

Měření proudu umožňuje dvě možnosti nastavení. Při první hodnotě, která je 1 A, je měřicí rozsah 0,01 – 1,2 A. Druhá hodnota o velikosti 5 A umožňuje rozpětí 0,01 – 6 A. Z těchto hodnot vyplývá, že kapacita pro měřené přetížení je +20 % nastaveného proudu. Maximální velikost přetížení, které analyzátor dokáže zvládnout bez poškození komponent je 50 A, ale pouze po dobu jedné vteřiny. Jakýkoliv větší proud nebo jeho delší působení způsobí zničení zařízení. [4,5]

1.2.4 Přesnost analyzátoru

Přesnost analyzátoru nezávisí pouze na samotném zařízení, ale také na vlivu a hodnotách okolního prostředí. Uvedené tabulkové hodnoty jsou naměřené při teplotě +23 °C ±2 °C a vlhkosti ve vzduchu 45 ±15 % R.H. [5]

Tabulka 2 Přesnosti naměřených hodnot

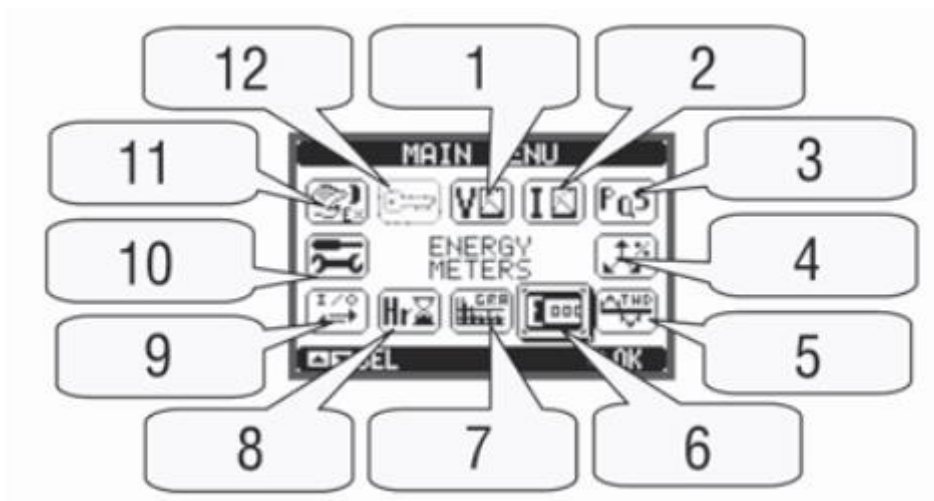
Napětí mezi nulovým vodičem a fází	±0,2 % ±0.5 digit
Napětí mezi dvěma fázovými vodiči	±0,2 % ±0.5 digit
Proud	±0,2 % ±0.5 digit
Frekvence	±0,05 % ±0.5 digit

1.3 Ovládání a nastavení

K ovládání a nastavení se používají 4 tlačítka na přední straně panelu (viz. Obr. 1). První tlačítko MENU (dále pouze tlačítko 1) je určené ke vstupu a opuštění vizualizace a menu nastavení. Následující dvě tlačítka slouží k přepínání variabilních displejových stránek a pohybu v menu nastavení. Také pomocí nich měníme hodnoty. Poslední ovládací prvek označený šipkami (dále pouze tlačítko 4) tvořící kruh umožňuje procházení alternativních stránek, potvrzení výběru nastavení a přepínání mezi vizualizacemi. [6]

1.3.1 Menu

Stisknutím tlačítka 1 vyvoláme obrázkové zkratky menu. Vybraná možnost je vždy zvýrazněna tmavým kruhem okolo ikony. Pokud je některá z možností světle šedivá a nelze vybrat, znamená to, že daná funkce není dostupná [4].



Obr. 3 Menu analyzátoru (převzato z [4])

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1 – Hodnoty napětí | 7 – Graf trend |
| 2 – Hodnoty proudu | 8 – Hodiny |
| 3 – Hodnoty výkonu | 9 – Rozšiřovací moduly |
| 4 – Frekvence/asymetrie | 10 – Nastavení |
| 5 – Harmonická analýza | 11 – Příkazové menu |
| 6 – Měřič energie | 12 – Nastavení hesla |

1.3.2 Prvotní nastavení

Abychom dosáhli správného čtení hodnot zařízení, je potřeba provést prvotní nastavení a určení proudu na primárním a sekundárním obvodu transformátoru. To provedeme tak, že stisknutím tlačítka 1 otevřeme menu a vybereme ikonu číslo 10 (viz. Obr. 3). Poté potvrzením první možnosti nazvané „M01 GENERAL“ otevřeme kýžené nastavení. Primární vinutí nastavíme šipkami na danou hodnotu v rozmezí 1 až 10 000 A [6]. Delší stisknutí tlačítka způsobí rychlejší změnu hodnoty daným směrem. Čím déle budeme držet, tím rychlejší změna bude. Na sekundárním vinutí jsou možnosti pouze dvě a to: 1 A a 5 A[6].

Pokud je zařízení umístěno ve středně nebo vysoko napětovém obvodu, je třeba nastavit i hodnoty napětí na jednotlivých vinutích.

Posledním krokem pro dokončení prvotního nastavení je určení zapojení měřeného systému. Na výběr je mezi třífázovým, dvoufázovým a jednofázovým systémem [6].

Po trojitém stisknutí tlačítka 1 dojde k aplikování nastavených hodnot a následuje restart zařízení, po kterém je vše připraveno k používání s aktualizovanými hodnotami.

Analyzátor umožňuje mechanické uzamknutí nastavení, aby bylo zamezeno nechtěnému změnění hodnot. Na zadní straně v levé horní části se nachází dva přepínače typu DIP, které zmíněný zámek umožňují. První přepínač zabraňuje změně nastavení vstupních parametrů a druhý uzamyká příkazové menu. Pro změnu pozice daného přepínače je nejprve důležité ho odpojit od zdroje napětí a až poté měnit jeho polohu. [4]

1.4 Mechanická instalace zařízení a rozšíření

V naší aplikaci je třeba znát princip uchycení zařízení, tak i jeho modulů. To hlavně z důvodů rozvržení přední části panelu a správnému postupu při instalaci, aby nedošlo k poškození nebo zdravotní újmě. Výrobce zaručuje hodnotu odolnosti proti vlivům vody a prachu IP65 z přední části a IP20 ze strany terminálů [4].

1.4.1 Mechanická instalace zařízení

Instalace zařízení je navržena tak, aby k úkonu nebylo zapotřebí žádného náčiní. DMG800 splňuje normu IEC 61554 [4], která určuje rozměry a uchycení pro elektrických a elektronicky operujících zařízení tak, aby bylo možné jejich zaměnění s různými výrobci [7]. Na každém rohu z vnitřní části panelu jsou plastové klipy, pomocí kterých se zařízení upevní k panelu a zamezí nechtěnému vypadnutí. Po zasunutí do otvoru v panelu je důležité zkontrolování správného usazení těsnicí gumy, která doléhá na čelo panelu, aby se zamezilo dostání vlhkosti a kapalin do zařízení a byla dodržena úroveň ochrany před vodou a prachem IP65.

1.4.2 Mechanická instalace rozšíření

Analyzátor DMG800 má na zadní straně 4 sloty umožňující rozšíření. Ty jsou kompatibilní se sérií EXP, která umožňuje široké spektrum dalšího využití. Před instalací je potřeba odpojit opět zařízení od napětí, aby nedošlo k úrazu. Poté odejmeme kryt rozšiřujícího slotu a vložíme vybraný modul. Po opětovném připojení a naběhnutí systému dokáže analyzátor sám rozpoznat typ a slot v jakém je modul připojený. Přístup k jeho nastavení najdeme v menu pod zkratkou číslo 9 (viz. Obr. 3).

1.5 Test správnosti zapojení

Poslední krok před uvedením analyzátoru do pracovní schopnosti je provedení testu správnosti zapojení. Ten má za úkol zkontrolovat správnost zapojení všech externích vstupů. Aby bylo možné provedení, musejí být splněny následující podmínky:

- Připojený třífázový systém se všemi fázemi aktivními a napětí v jednotlivých fázích větší než 50 VAC.
- Proud tekoucí v každé fázi větší než 1 % na primárním vinutí proudového transformátoru.
- Pozitivní tok energií

Spuštění testu se provádí v menu přes příkazové menu (viz. Obr. 3). Po dokončení se na displeji zobrazí výsledky, které části byly úspěšné a které nikoliv (viz. Obr. 4). Prováděné zkoušky probíhají v následujících sekvencích:

- Hodnoty daných fází
- Sekvence fází
- Napěťová nevyváženost
- Reverzní polarita každého proudového transformátoru
- Nesoulad mezi napěťovými a proudovými fázemi



Obr. 4 Test správnosti zapojení. (převzato z [4])

1 – Testovací sekvence

2 – Výsledek testu

2 Dimenzování svorek a kabeláže

Pro správné a bezpečné fungování rozvaděče je důležitou součástí dimenzování jeho kabelů a svorek. To předejde možným poruchám vlivy toku proudu. Následující kapitoly tedy pojednávají o technických a ekonomických parametrech vodičů a svorek.

2.1 Obecné podmínky pro průřez vodiče

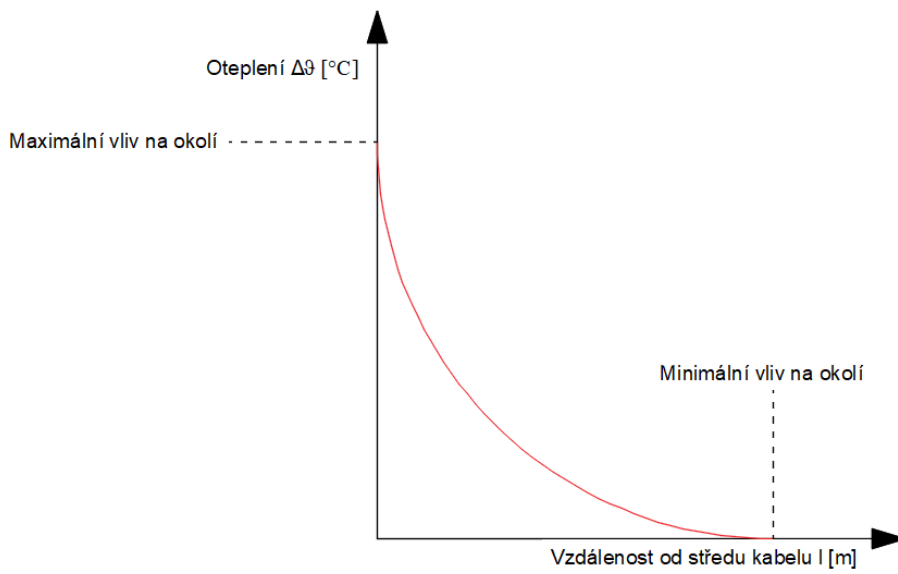
Pokud má vodič správně plnit jeho účel, je zapotřebí správně nadimenzovat jeho hodnoty. Ty se dělí podle různých aplikací, a proto si zde uvedeme pouze ty, které byly použité pro mou aplikaci.

2.1.1 Dovolená provozní teplota

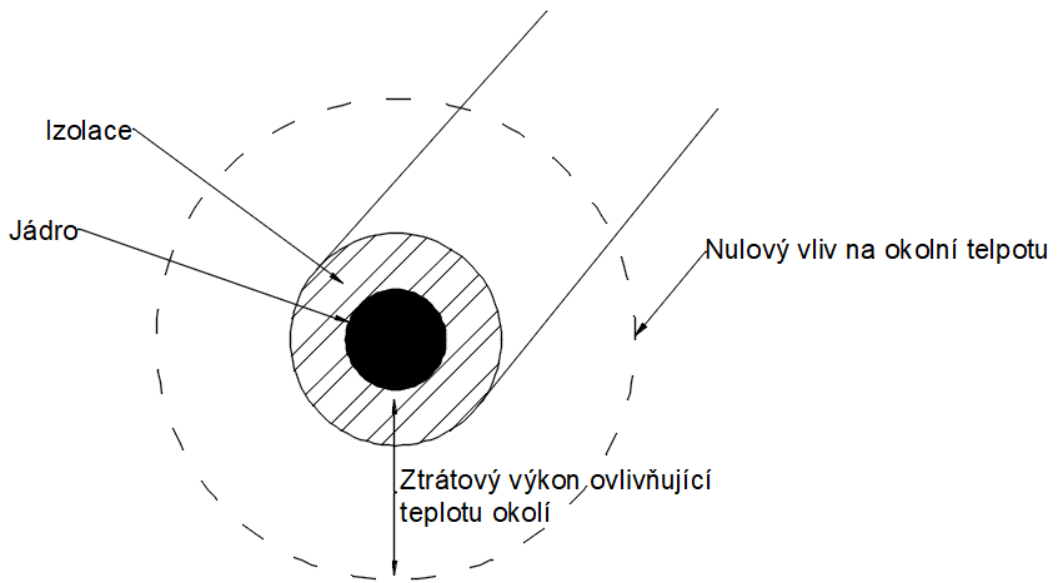
Dovolená provozní teplota stanovuje teplotu vodiče, která nezrychluje stárnutí jeho materiálu přes hodnotu hospodárnosti. Závisí na izolaci, na provozních podmínkách, na proudovém zatížení, teplotě prostředí [8]. Pokud se vodič nachází ve venkovním prostředí, mají na provozní teplotu vliv i sluneční paprsky.

Všechny použité vodiče musí být schopné vést stanovený proud bez dosažení kritické teploty. Teplo, způsobené ztrátovým výkonem, odchází do okolního prostředí což způsobuje nechtěný růst teploty uvnitř zařízení. Teplo vydané vodičem do okolí je přímo úměrné velikosti proudu, který jím protéká. Rychlost odvodu tepla do okolí závisí na tepelné vodivosti izolace vodiče. Průběh oteplení vodiče znázorňuje Obr. 5, kde můžeme vidět, že s rostoucí vzdáleností klesá jeho vliv na okolí.

Zobrazení ovlivnění okolí vodiče jeho tepelným výkonem vykresluje Obr. 6, který je přímo provázán s Obr. 5 a můžeme vypořádat, že po dosažení dané vzdálenosti od jádra vodiče je jeho vliv na okolní teplotu nulový [8].



Obr. 5 Vliv tepelného výkonu na okolní teplotu.



Obr. 6 Zobrazení ovlivnění okolí vodiče jeho tepelným výkonem.

Konkrétní hodnotu oteplení čili hodnotu tepelného výkonu, vypočteme následovně [8]:

$$P = R \cdot I^2 = \frac{\Delta\vartheta_m}{T} (W) \quad (2.1)$$

kde:

P ... je tepelný (ztrátový) výkon (W)

R ... je elektrický odpor vodiče (Ω)

I ... je proud protékající vodičem (A)

$\Delta\vartheta_m$... je maximální dovolené oteplení vodiče ($^{\circ}\text{C}$ nebo K)

T ... je tepelný odpor ($(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$)

Maximální dovolené oteplení vodiče zjistíme ze dvou hodnot. Jedna je určená výrobcem daného vodiče a závisí na materiálu jádra i izolace. Druhá hodnota je teplota okolí, která (pokud není určeno jinak) se jako základní parametr bere 30°C , pokud je vodič na vzduchu [8]. Jestliže je vodič umístěn v zemi, základní hodnota klesne na 20°C [8].

$$\Delta\vartheta_m = \vartheta_m - \vartheta_0 \text{ (}^{\circ}\text{C nebo K)} \quad (2.2)$$

kde:

ϑ_m ... je maximální provozní teplota vodiče ($^{\circ}\text{C}$ nebo K)

ϑ_0 ... je teplota okolí ($^{\circ}\text{C}$ nebo K)

Po dosazení hodnot:

$$\Delta\vartheta_m = 70 - 30 = 40 \text{ (}^{\circ}\text{C nebo K)} \quad (2.3)$$

Použitím dosavadně nabytých vědomostí dokážeme z rovnice vyjádřit proud, který určuje maximální oteplení vodiče:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta_m}{R \cdot T}} (A) \quad (2.4)$$

Kontrola na oteplení vodiče vychází ze vztahu (2.4), tedy že porovnáme proud procházející vodiče vůči maximální dovolené hodnotě proudu pro konkrétní podmínky [9]. Hodnoty dovoleného proudu určuje norma vycházející z měření a výpočtu elektrotepelných dějů [9].

$$I_P \leq I_D \quad (2.5)$$

kde:

I_P ... je proud procházející vodičem (A)

I_D ... je dovolená hodnota proudu (A)

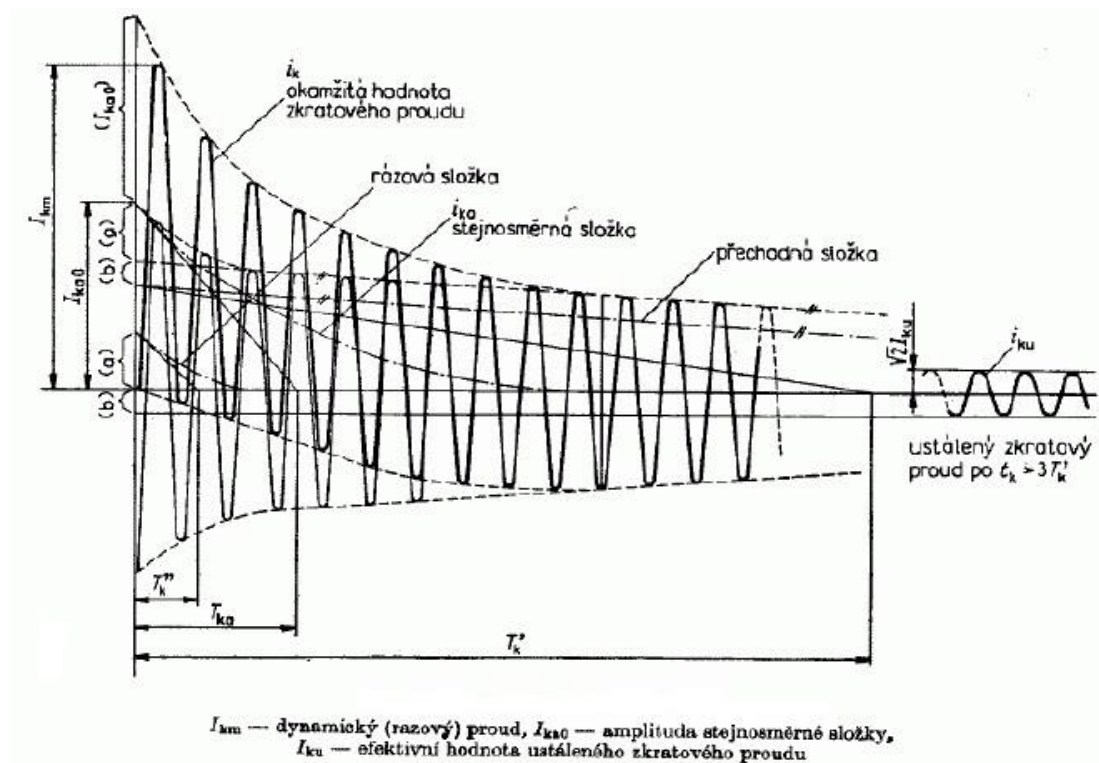
Izolace má tedy hlavní roli v určení správného vodiče. Správné zvolení materiálu umožní splnění požadované provozní teploty (viz Tabulka 3).

Tabulka 3 Dovolené provozní teploty izolace. (převzato z [9])

Typ izolace	Dovolená provozní teplota [°C]	Základní teplota vzduchu [°C]
PVC	70	30
Zesíťovaný polyethylen XPE	90	30
Přez („guma“)	60	30
Teplotně odolná přez	80	30
Impregnovaný papír	80	30
Izolace ze skleněných vláken	130	90
Holé vodiče	80	30

2.1.2 Mechanické a tepelné účinky zkratového proudu

Pro zjištění jakýchkoliv vlivů zkratového proudu na soustavu je nutné znát jeho hodnotu. Vzhledem k jeho časové proměnnosti (viz. Obr. 7) je potřebné zavést tzv. ekvivalentní oteplovací proud [10].



Obr. 7 Nesouměrný průběh zkratového proudu. (převzato z [10])

Mechanické účinky zkratového proudu určují vzájemné působení síly vzniklé protékajícím proudem dvěma vodiči. Vzorec (2.5) je obecný vzorec pro výpočet této síly, kterou se buď přitahují nebo odpuzují [11]. Pokud na sebe vodiče působí příliš velkou silou, která by mohla vést k jejich porušení, je třeba zvýšit jejich mechanickou odolnost buď větším průměrem vodiče, změnou materiálu vodiče nebo odolnější izolací.

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} i_1 i_2 \frac{l}{a} \quad (N) \quad (2.6)$$

kde:

$i_1, i_2 \dots$ jsou proudy ve vodičích (A)

$\mu_0 \dots$ je permeabilita vakua = $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$

$l \dots$ je souběžná délka vodičů

$a \dots$ je vzdálenost vodičů

Tepelné účinky zkratového proudu určuje přípustnou dobu zkratu, aby nebyl poškozen samotný vodič. V předchozí kapitole jsme sice zjistili dlouhodobé teplotní účinky vodiče na okolí a vliv izolace. Ovšem tato teplota je brána z dlouhodobého hlediska používání. Například PVC izolace dokáže vydržet teploty mnohonásobně vyšší, avšak po omezenou dobu. Dlouhodobější vystavení zkratu, a tudíž teplotám překračujícím standartní hodnoty zapříčiní zhoršení izolačních schopností a v kritickém případě až její zničení. Pro tuto dobu se zavádí vzorec (2.6), který určuje maximální přípustný čas zkratu daným vodičem [11]. Pokud by byla vyžadována delší doba výdrže zkratu, je třeba změnit průměr, materiál nebo izolaci vodiče.

$$t = \left(k \cdot \frac{S}{I} \right)^2 \quad (s) \quad (2.7)$$

kde:

$k \dots$ je součinitel respektující nejen rezistivitu ρ (měrný odpor) jádra vodiče, teplotní koeficient nárůstu rezistivity s teplotou a tepelnou kapacitu materiálu vodiče, ale i odpovídající počáteční a konečnou teplotu jádra vodiče [11]

$S \dots$ je plocha průřezu vodiče (mm^2)

$I \dots$ je elektivní hodnota zkratového proudu (A)

2.1.3 Dovolенý úbytek napětí

Úbytek napětí vzniká, pokud se vodičem přenáší energie. Velikost daných ztrát se odvíjí od hodnoty vlastního odporu vodiče. Vzorec pro výpočet napětí je rozdílný pro jednofázový a třífázový rozvod [12]. Zatímco u 3f vedení se úbytky projevují pouze na fázovém vodiči, u 1f vedení hodnota klesne i na vodiči nulovém. Velikost úbytku napětí se vypočte následovně [12]:

- Pro 1f vedení

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{S} \cdot \frac{P}{U_f} \quad (V) \quad (2.8)$$

- Pro 3f vedení

$$\Delta U = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot \frac{P}{U_S} \quad (V) \quad (2.9)$$

kde:

ρ ... je měrný odpor vodiče ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

S ... je průřez vodiče (mm^2)

l ... je délka vodiče (m)

P ... je přenášený výkon (W)

U_f, U_S ... je fázové/sdružené napětí (V)

Hlavním kritériem stanovení dovoleného úbytku napětí je jeho procentuální poměr na začátku vedení vůči jakémukoliv odběrnému bodu nebo konci. Je stanoveno normou ČSN 33 2130 ED.3, že úbytek by neměl přesahovat více než 3 % pro osvětlení a 5 % pro ostatní aplikace. Výpočet poměru popisuje vzorec (2.9).

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.10)$$

kde:

ΔU ... je hodnota napětí v odběrném bodu (V)

U ... je počáteční hodnota napětí (V)

Pro správně dimenzovaný vodič platí po celé jeho délce vztah (2.10). Pokud by tomu tak nebylo, je zapotřebí zvolit vodič s nižším vlastním odporem.

$$\Delta u_{\%} \leq \Delta u_{DOV} (\%) \quad (2.11)$$

kde:

$\Delta u_{\%}$... je procentuální hodnota úbytku napětí (%)

Δu_{DOV} ... je hodnota dovoleného úbytku napětí (%)

2.1.4 Hospodárnost

Nejen elektrotechnické parametry jsou důležité u dimenzování vodičů. Podstatným kritériem je také ekonomická stránka projektu. Ve výpočtu se zohledňuje hodnota provozních a pořizovacích nákladů. Pokud je vodič poddimenzován, bude zařízení poruchové a náklady na jeho provoz porostou. Naopak při předdimenzování jsou zbytečně velké vstupní náklady na realizaci. Hospodárnost se zohledňuje hlavně u vodičů trojfázového vedení při době plných ztrát větších než 1000 hodin za rok a za předpokladu provozu zařízení minimálně deset let [13]. Pokud jsou splněná daná kritéria, postupuje se podle vzorce (2.11) pro výpočet hospodárného průřezu vodiče.

$$S = k \cdot I_b \cdot \sqrt{\tau_z} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (2.12)$$

kde:

k ... je součinitel druhu vodiče (mm^2/A)

I_b ... je výpočtový proud (A)

τ_z ... je doba plných ztrát

2.2 Vybrané průřezy podle obecných podmínek

Vodiče byly vybrány pro každý proudový rozsah rozdílné, s ohledem na hodnoty určené výrobcem. U všech 4 možností nastavení vačkového přepínače je zvolena stejná izolace. Jedná se o měkčené PVC, které splňuje veškeré požadavky na odvod i výdrž tepla. Zároveň je to jedna z nejdostupnějších, a tedy i nejlevnějších variant. Tím pádem i hospodárnost projektu je dodržena.

Tabulka 4 Hodnoty vybraných vodičů.

Rozsah	60	30	10	2
Průměr vodiče	10	4	1,5	0,75
Izolace	PVC	PVC	PVC	PVC
Barva izolace	Černá	Hnědá	Modrá	Hnědá
Třída vodiče	5	5	5	5
Maximální provozní teplota jádra	+70 °C	+70 °C	+70 °C	+70 °C
Maximální provozní teplota při zkratu	+160 °C	+160 °C	+160 °C	+160 °C

Označení vybraných vodičů vždy skrývá veškeré informace o něm. Pro naši aplikaci máme vodiče se zkratkou CYA. První písmeno nás informuje o materiálu vodiče, v tomto případě měď [15]. Na druhé pozici je uveden materiál izolace [15], tedy již zmíněné PVC. Poslední písmeno určuje druh jádra, zdali se jedná o pevné nebo ohebné [15]. Vzhledem k potřebě namotání závitů do transformátorů, jsme zvolili jádra ohebná.

2.3 Obecné podmínky pro rozměr svorek

Pro správné a bezpečné určení minimálního rozměru svorek je zapotřebí znát proudovou hustotu. Ta je závislá na velikosti daného proudu a plochy protékaného materiálu (3.1). Základní jednotkou proudové hustoty je $A \cdot m^{-2}$, ovšem v praxi se nejčastěji uvádí $A \cdot mm^{-2}$.

$$J = \frac{I}{S} (A \cdot mm^{-2}) \quad (3.1)$$

kde:

I ... je proud (A)

S ... je protékaná plocha (mm^2)

Pro zjištění minimální plochy svorky je třeba vzorec (3.1) upravit do takového stavu, kdy neznámou bude právě protékaná plocha. Poté dosadíme hodnotu proudu pro maximální hodnotu proudu z možností nastavení (60 A). Maximální proudová hustota pro dlouhodobé zatížení je stejná jak pro hliník, tak i měď, což je tabulková hodnota ($4 A \cdot mm^{-2}$). Poté už je rovnice kompletní (3.2) a zjistíme minimální plochu dané svorky.

$$S = \frac{60}{4} = 15 mm^2 \quad (3.2)$$

2.4 Vybrané svorky a zdířky

Pro proudové vstupy i výstupy jsme zvolily izolované přístrojové zdířky (viz. Obr. 8). Díky vlastní izolaci od okolí již není třeba přidávat další izolaci skříně, čímž opět dosáhneme snížení výrobních nákladů. Zároveň poskytují možnosti připojení různých koncovek kabelů. První možnost je zasunutí tzv. banánků o průměru 4 mm, které jsou ve školním laboratorním prostředí hojně používané. Zbylé dvě možnosti vyžadují odmontování plastové krytky. V případě koncovky kabelovou vidličkou stačí pouze povolit krytku a po zasunutí pod matici opět utáhnout. Na vnitřní straně skříně jsou vodiče upevněny na závitě M8, na kterém jsou dvě matice. První upevňuje zdířku ke skříně a druhá má za účel pevné přichycení oka kabelu. Tyto svorky mají proudovou zatížitelnost uvedenou výrobcem 50 A.



Obr. 8 Zdířky proudových vstupů/výstupů. (převzato z [16])

Další panelové svorky jsou potom potřeba k připojení vstupů na programovatelná relé, kterých je dohromady šest. Pro odlišení od proudových vstupních zdířek jsou v barvě žluté. Tyto svorky mají dovolenou proudovou zatížitelnost 10 A uváděnou výrobcem.

Uvnitř skříně analyzátoru se nachází DIN lišta s propojovacími svorkami. Pro naši aplikaci jsme zvolili svorky od firmy Elektro Bečov, konkrétně typ RSA 10 A, který splňuje veškeré požadavky pro správnou funkci. Maximální velikost lankového vodiče s dutinkou je 10 mm^2 [17], což je také dostačující i pro nejvyšší proudový rozsah. Firma nabízí různé barevné varianty, čehož jsme využili pro větší přehlednost uvnitř skříně. Pro nižší rozsahy nebyla vybrána svorkovnice menšího rozměru z důvodu žádoucího elektrického pospojení. Bylo tedy potřeba do jedné zdířky vtisknout vícero vodičů. Menší svorkovnice byla použita akorát u rozsahu 10 A, protože zde je průřez vodiče menší a není třeba více vodičů. Zde se jednalo o model RSA 2,5 A, který má maximální možnou velikost vodiče s dutinkou $1,5 \text{ mm}^2$ [17].

Pro spojení kostry musela být použita barevně odlišná svorkovnice. Opět byl vybrán výrobek firmy Elektro Bečov, tentokrát model RSA 6 PE A. Ten je určen ke spojování ochranných vodičů v soustavách TN-C, TN-S [17].

Poslední svorkovnicí na DIN liště jsou pojistkové svorky. Ty jsou potřeba pro nejmenší možný rozsah analyzátoru. Vzhledem k malému průměru vodiče ($0,75 \text{ mm}^2$) hrozí, že při špatném zacházení hrozí jejich přetížení. Proto se pro každý transformátor do obvodu sériově přidávají tavné pojistky F10A, které ho ochrání. Pojistková svorkovnice opět od firmy Elektro Bečov s modelovým označením RSP-4 je dimenzována až na hodnotu proudu 6,3 A, což je postačující. Největší průřez lankového vodiče s dutinkou je 4 mm^2 [17].

Tabulka 5 Maximální dlouhodobé proudové zatížení komponent (A).[17]

Rozsah	60	30	10	2
Vodiče	80	41	23	15
Svorky	57	57	24	57
Pojistková svorka	6,3			
Svorky proudových vstupů/výstupů	63			
Svorky vstupů relé	10			
Vačkové spínače	63			
Kontrolka	0,2			
Euro konektor GSD3	10			

3 Navržení skříně a zpracování technické dokumentace

Před realizací projektu je třeba veškeré díly správně umístit, aby vše mělo dostatek prostoru, ale zároveň byl přístroj co nejkompaktnější z důvodu práce v laboratoři. Proto byl zhotoven návrh jednotlivých částí v programu Solid Edge, který umožňuje 2D i 3D zobrazení.

3.1 Solid Edge

Solid edge je 3D CAD systém od firmy Siemens Digital Industries Software, který se primárně používá ve strojírenství. První verze tohoto programu byla vydána již v roce 1996, kdy americká společnost Intergraph uvedla na trh Solid Edge 1.0 [18]. Největším zlomovým bodem na cestě k popularitě a úspěchu se stal rok 2007, kdy došlo ke změně majitele na dnešní Siemens Digital Industries.

Dnešní verze programu má široké možnosti využití. Program dokáže jak vykreslení součástky ve 3D, ale také složení daných součástí do jednoho modelu. To umožňuje vymodelování a vyladění projektů ještě předtím, než jsou vyrobené. Hlavním využitím je tedy zefektivnění práce a snížení nákladů na projekty z oborů elektrotechniky, strojírenství, stavebnictví atd.

S rostoucím výkonem dnešních počítačových zařízení se vývojářům programu otevírají nové možnosti, jako je například animování vzniklých modelů, jejich tepelné či mechanické zkoušky. Široké spektrum uživatelů programu přináší také rozmanitý výběr komunitních knihoven, projektů a blogů, které umožňují naučit se s programem i úplným začátečníkům.

Tento program byl zvolen z důvodu jeho podpory pro studenty. Siemens nabízí tuto běžně placenou platformu po dobu studia naprosto zdarma a bez jakéhokoliv omezení. Jediné, co stačí je při registraci uvést právě studovanou univerzitu a poté je program volně ke stažení.

3.2 Kovová skříň Spacial S3D

Po rozložení všech dílů a zjištění přibližných rozměrů výsledného analyzátoru, byla vybrána kovová skříň Spacial S3D jako základ pro upravení na naše potřeby. Původní určení skříňe je sice pro instalaci rozvaděče na nástěnnou montáž [19], ale po modifikaci poslouží jako kvalitní a bezpečné uložení veškerých komponent analyzátoru.

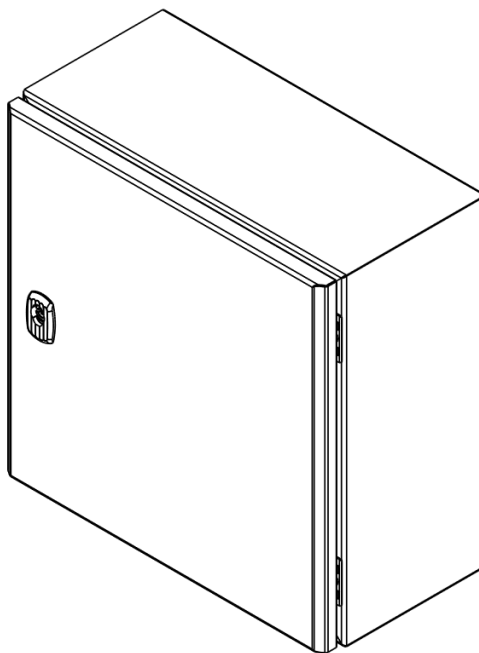
Skříň je vyrobena z oceli o šířce 1,2 mm, což je dostatečné pro ochranu proti mechanickým vlivům okolí a poničení při manipulaci. Zároveň je dimenzována na stupněm ochrany IP 66 [19], který zaručuje ochranu před vniknutím vody a prachu. Samozřejmě tato ochrana nemůže úplně platit po veškerých úpravách, které jsou potřeba.

Dveře rozvaděče jsou vhodné jako rychlý a snadný servisní přístup, pokud by došlo například k poškození pojistek, které jsou zmíněné v předchozích kapitolách. Před nechtěným a neodborným vniknutím do živé části analyzátoru je možnost použití zabudovaného zámku dveří.

Uvnitř skříňe je již nainstalována odizolovaná montážní deska z pozinkované oceli [19], na kterou nainstalujeme DIN lišty.

3.2.1 Základní technické informace [19]

- Jmenovitá výška rozvaděče: 400 mm
- Jmenovitá šířka rozvaděče: 400 mm
- Jmenovitá hloubka rozvaděče: 200 mm
- Hmotnost přístroje: 8 kg
- Povrchová úprava: práškový epoxidový polyester
- Barva: (RAL 7035)



Obr. 9 Oceloplechová skříň Spacial S3D. (převzato z [19])

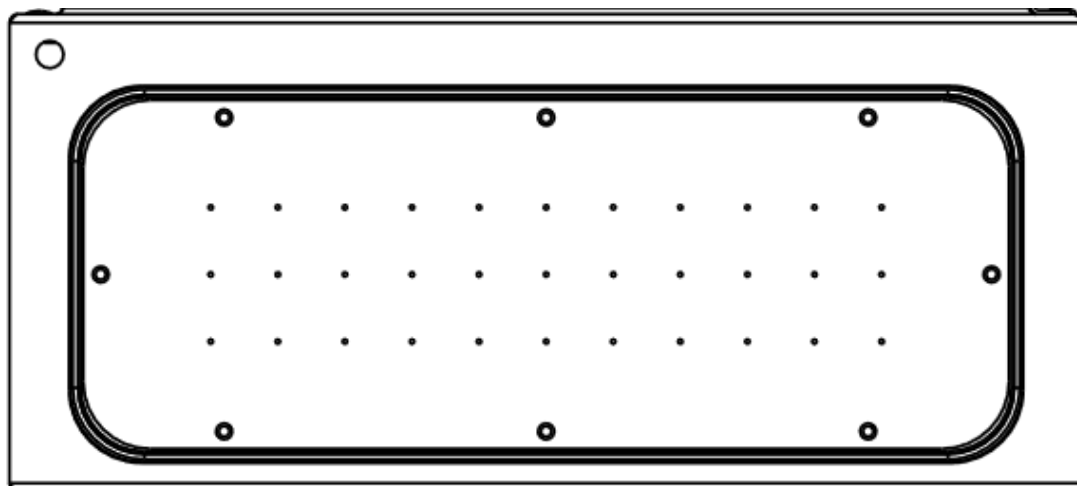
3.2.2 Upravení dna na přední stranu analyzátoru

Dno skříně je vybaveno odnímatelným dnem, což je důvod, proč byla právě spodní strana zvolena jako přední strana analyzátoru. Jak je patrné, budeme skříň používat tak, že bude ležet na svých zádech.

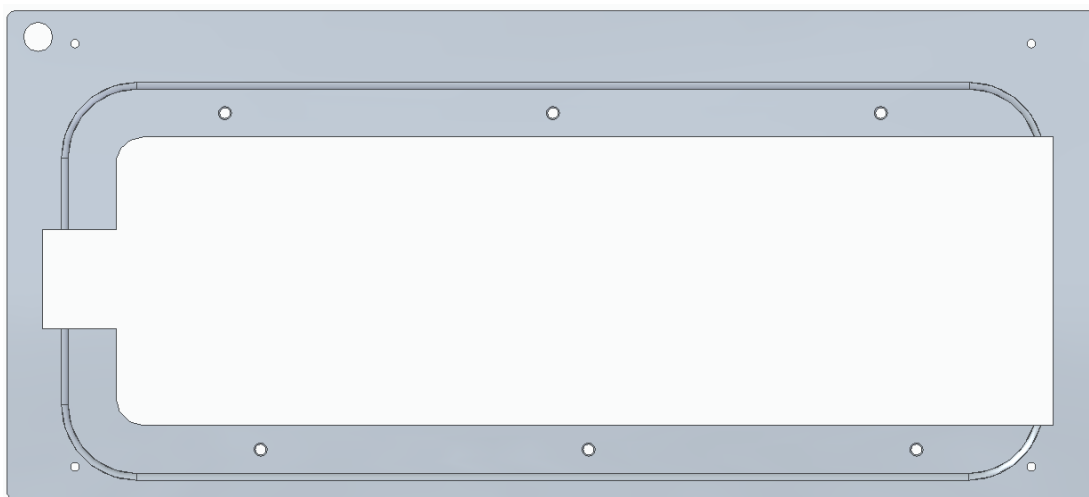
Jak již bylo uvedeno, spodní část je ideální pro čelo analyzátoru, protože po odejmutí osmi šroubů M5 je vyžadována pouze malá modifikace na umístění všech komponent. Tato úprava spočívá ve zvětšení otvoru do jeho stran (viz. Obr. 10) takovým způsobem, aby na levý okraj vešel hlavní vypínač a na pravý DMG 800. Pravá strana by modifikaci nevyžadovala z důvodu samotného DMG 800, ale kvůli ušetření místa pro ostatní komponenty.

Poslední potřebná úprava je vyvrtání děr pro uchycení přední desky z textitu, na kterou jsou poté přichyceny veškeré ovládací komponenty.

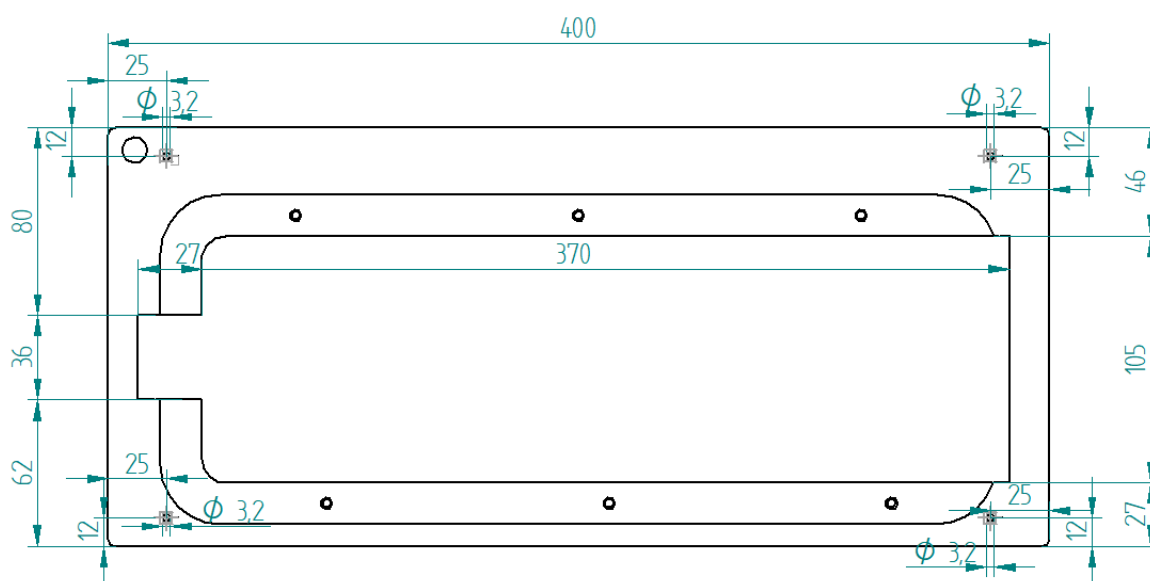
Veškeré úkony jsme prováděli pomocí ručních nástrojů. Pro zvětšení otvoru jsme využili úhlovou brusku s nasazeným řezným kotoučem. Pro otvory byla použita vrtačka s nasazeným vrtákem o průměru 3 mm.



Obr. 10 Dno skříně před modifikací. (převzato z [19])



Obr. 11 3D model dna po modifikaci.



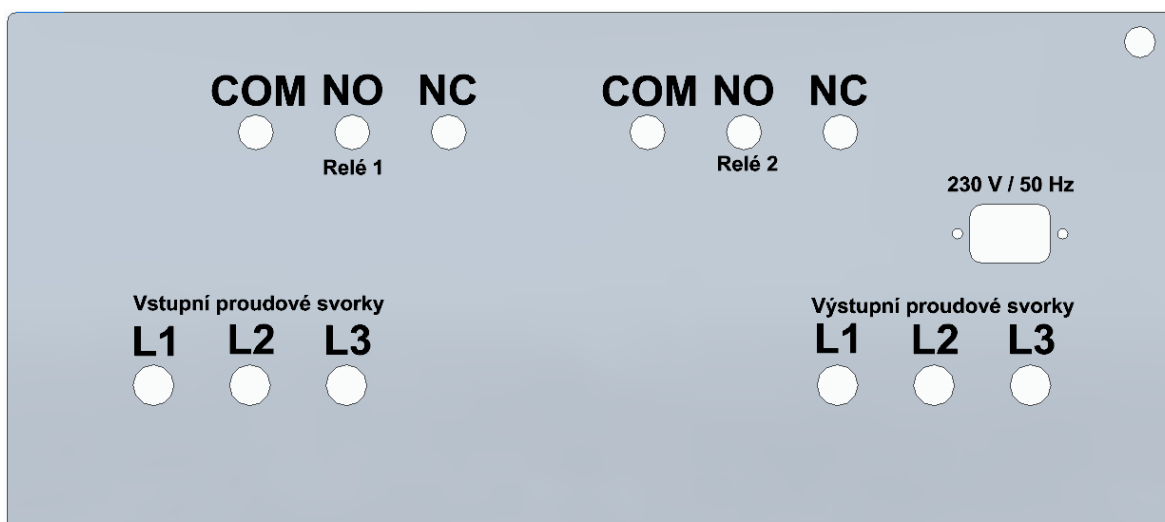
Obr. 12 Technická dokumentace pro úpravy spodní strany.

3.2.3 Upravení vrchní strany na zadní stranu analyzátoru

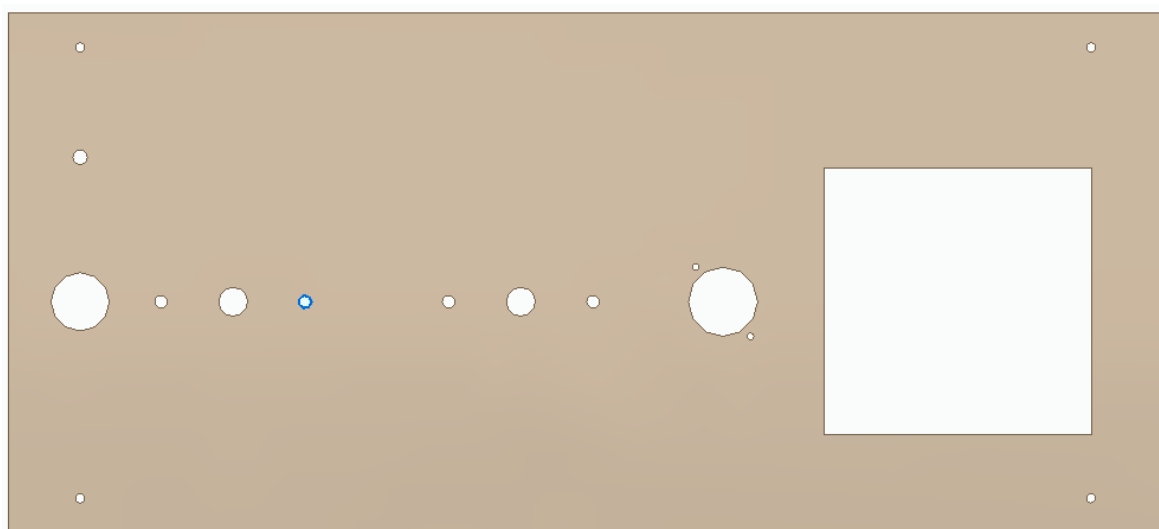
Vrchní strana skříně vyžadovala otvory pro proudové vstupy a výstupy. Dále také pro EURO konektor s otvory na uchycení a v neposlední řadě otvory pro rozšiřující relé instalována v DMG 800.

Opět byla využita ruční vrtačka, tentokrát s vrtáky o průměru 12, 14 a 3,5 mm. Otvor pro napájecí konektor byl vyříznut úhlovou bruskou osazenou řezným kotoučem a poté rohy vyvrtány pomocí vrtáku 8 mm.

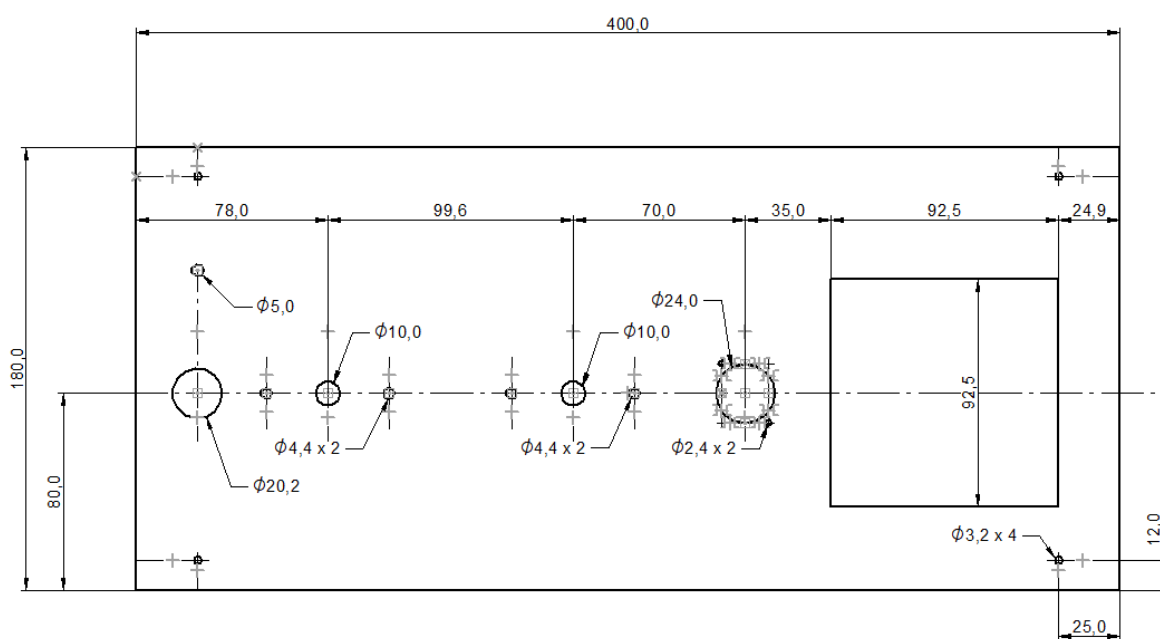
Poslední úpravou je popis jednotlivých svorek dle schématu zapojení dostupném ve druhé části práce vytvořenou kolegyní Marešovou [24].



Obr. 13 3D model zadní části analyzátoru.



Obr. 15 3D model předního panelu.



Obr. 16 Technická dokumentace pro přední panel.

3.3.1 Textit

Textit je vrstvený izolant vyrobený z bavlněné tkaniny a krezolformaldehydové živice [20], který i přes svou nízkou hmotnost je velice pevný. Zároveň je velice odolný vůči olejům a slabým kyselinám, což pro něj dělá ideální materiál do pracovního prostředí. Je velice snadno obrobitelný, lze řezat, brousit, vrtat, frézovat či dělit vodním paprskem s možností křivkových tvarů [20].

3.3.2 Řezání vodním paprskem

Jak již bylo uvedeno, pro opracování desky textitu byl použit vodní paprsek. Metoda řezání touto technologií spočívá v erozi materiálu stejně, jako jakékoliv proudění vody. Ovšem enormní tlak a zacílení na jeden bod docílí značného urychlení procesu než kdekoliv ve volné přírodě. Hlavní výhodou této metody je, že materiál není vystaven žádnému tepelnému namáhání jako tomu je například u řezání laserem [21].

Existují dvě varianty řezání [21]. První varianta je pouze využití síly tlaku vody a je primárně používána k řezu nekovových materiálů. Díky tomu, že voda není obohacena o žádná abraziva, se značně snižuje opotřebování vysokotlaké trysky, a tedy i provozní náklady na výrobu.

Ve druhé možnosti řezání je již voda obohacena o nějaký druh abraziva, které zvyšuje průraznost materiálem, i rychlost řezu. Ovšem zrychluje se i opotřebení hlavice trysky, která buď musí být z dražšího a odolnějšího materiálu nebo častěji vyměňována.

Tryska je řízena počítačovým programem, do kterého je nahrán požadovaný tvar a dráha řezu. K tomu například může být využit program Solid Edge, o kterém je zmíněno v předchozích kapitolách. Po vložení materiálu do stroje a nahrání grafického souboru musí dojít ke kalibraci přístroje před začátkem řezu.

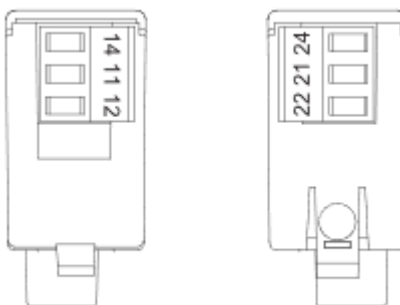
4 Navržení zapojení interních relé pro univerzální využití

Jak již bylo zmíněno, DMG 800 se dá rozšířit moduly řady EXP [4]. Pro naše zařízení byly dokoupeny dva různé typy. První modul EXP10 10 rozšiřuje konektivitu k zařízení pomocí USB. Ovšem tento konektor je typu USB-B [22] a proto je potřeba na čelní panel umístit redukci z daného typu na USB-A. Poté je již možné zařízení propojit s jakýmkoliv PC. Správná komunikace mezi zařízeními proběhne až po instalaci ovladačů dostupných ze stránek výrobce [22].

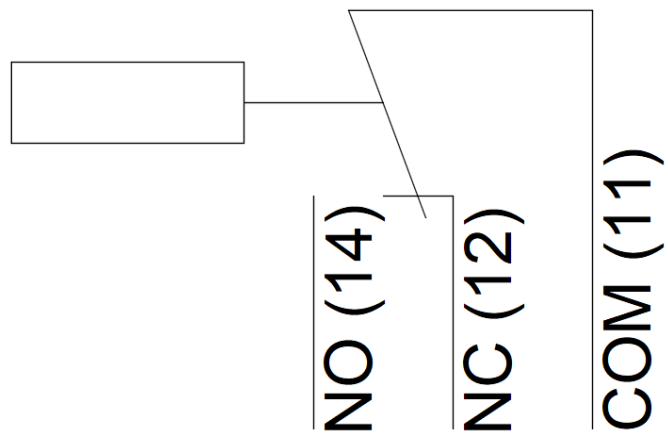
Druhý nainstalovaný modul EXP10 03 rozšiřuje zařízení o dvě interní programovatelné relé. Ten má dohromady šest kabelových vývodů, které jsou vyvedeny na zadní stranu skříně (viz. Obr. 13). Každé relé má kontakt COM, který se překlápí mezi NO a NC. K nastavení hodnot, kdy má k přepnutí dojít, použijeme uživatelské rozhraní DMG 800 [23], které automaticky rozezná druh připojeného rozšíření.

Druhy relé se nechají rozdělit na tři druhy: spojovací, rozpojovací a přepínací. V modulu jsou instalována relé přepínací, což znamená, že po dosažení hodnoty nastavené v analyzátoru dojde k přepojení kontaktu.

Uvedené zapojení (viz. Obr. 18) je pouze pro Relé číslo 1, ale pro druhé platí to samé s upravenými hodnotami pinů (viz. Obr. 17).



Obr. 17 Piny modulu EXP10 03. (převzato z [23])



Obr. 18 Zapojení přepínacího relé.

Zhodnocení a závěr

Závěrem bych chtěl zmínit, že zabýváním se problematikou této bakalářské práce, jsem nabyl spoustu nových znalostí a rozšířil základní vědomosti dosažené během studia. Zejména problematika dimenzování vodičů i svorek byla zvláště přínosná a vedla k úspěšnému zvolení komponent na sestavení cíleného zařízení.

Jediná změna, kterou bych při příští iteraci podobné práce provedl, je zvýšení průřezů vodičů pro hodnoty proudů 60, 30 a 10 A. I když jejich technická dokumentace dovoluje uvedené hodnoty, při výpočtu jejich proudových hustot zjistíme, že přesahují tabulkovou hodnotu pro dlouhodobé používání. Ovšem to není zábrana v používání ani nebezpečí, protože pro laboratorní činnost jsou zvolené průměry dostačující.

Modelování a zpracování technické dokumentace je studenty často opomíjeno. A proto rozšíření znalostí v této kapitole je vítanou hodnotou, která bude určitě nápomocná v řešení dalších projektů. Zároveň vzniklé modely usnadní sestavení dalších zařízení, i vzhledem k přesným hodnotám a postupům k úpravě oceloplechové skříně pro montáž analyzátoru a jeho dalších komponent.

První a poslední část se věnovala samotné obsluze hotového zařízení. Probraná tematika první části, ovládání zařízení, přes jeho měřicí možnosti a napájení až po samotnou instalaci, může posloužit jako návod pro obsluhu studentům, kteří budou zařízení používat.

Zároveň poslední část uvádí základní zapojení relé pro jeho základní funkce a seznamuje s instalovanými rozšířeními do analyzátoru.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Analyzátor sítě DMG 800. In: Manufacturas electricas [online]. Lima: Manufacturas electricas, c2010-2022 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://manelsa.com.pe/productos/analizador-de-redes-dmg-800-96-x-96-mm/>
- [2] O nás | Lovato Electric. In: Lovato electric ENERGY AND AUTOMATION [online]. Bergamo: Lovato electric ENERGY AND AUTOMATION, c2022 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.lovatoelectric.cz/O-n%C3%A1s/1/cnt>
- [3] Historie | Lovato Electric. In: Lovato electric ENERGY AND AUTOMATION [online]. Bergamo: Lovato electric ENERGY AND AUTOMATION, c2022 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.lovatoelectric.cz/Historie/2/cnt>
- [4] Digital multimeter instruction manual. In: Lovato electric [online]. Bergamo: Lovato electric, c2022 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: https://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=I272IGBFE02_17.pdf&ic=110
- [5] DMG800. In: Lovato electric [online]. Bergamo: Lovato electric, c2022 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.lovatoelectric.cz/HandlerPLM.ashx?id=DMG800&c=ces>
- [6] LOVATO Electric - DMG800 presentation and initial setup. Youtube [online]. San Bruno: LOVATO electric, 2014 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=KK4nALJqqRc>
- [7] Dimensions for panel mounting. Standards [online]. Ženeva: International Electrotechnical Commission, 1999 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/555b70ee-d27c-473c-9b75-cb3f33af7dfd/iec-61554>
- [8] Dimenzování vodičů a kabelů. Elektroenergetika 1 [online]. Nové Město: Ing. Anna Mudruňková, 2016 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/260/03.html>
- [9] Dimenzování. Cvičení elektroenergetika [online]. Plzeň: doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D., 2021 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/CV-EE1-4-Dimenzovani_vodicu_1.pdf
- [10] Zkratky v elektrických sítích. O Energetice [online]. Nové Dvory: Jan Moravec, 2015 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/zkratky-v-elektrickyh-sitich>

- [11] Zkratové proudy, základní veličiny, jejich výklad. IN-EL [online]. Hradec Králové: Ing. Michal Kříž, 2013 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.in-el.cz/referat/103020/zkratove-proudy-zakladni-veliciny-jejich-vyklad-pozadavky-na-ochranu-pred-zkratovymi-proudy-priklady-vypoctu#2.2>
- [12] Dimenzování a jištění elektrických vedení. IN-EL [VSB]. Ostrava: Václav Vrána, 2007 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: https://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC_FBI/Prednasky/dimenzovani_pres.pdf
- [13] Dimenzování [online]. Plzeň: Doc. Ing. Pavla Hejtmánková, Ph.D., 2002 [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~hejtman/PEC/Prednasky/pred4.pdf>
- [14] Vodiče a kabely [online]. Liberec: Ing. Miroslav Novák, Ph.D. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view>
- [15] Použití vodičů a kabelů [online]. Hradec Králové: Ing. Michal Kříž, 2006 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.in-el.cz/referat/100701/pouziti-vodicu-a-kabelu>
- [16] ZL40R zdírka červená. In: NEON elektronika [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Jaroslav Harvánek, c2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.neon-el.cz/zl40r-zdirka-cervena>
- [17] K&V Elektro [online]. Praha: K & V ELEKTRO, c2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/>
- [18] SIEMENS [online]. Tushar Suradkar, 2018 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://blogs.sw.siemens.com/solidedge/solid-edge-history-v1-to-v5/>
- [19] Spacial S3D [online]. Praha: Schneider Electric, c2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/NSYS3D4420P/spacial-s3d-pln%C3%A9-dve%C5%99e-s-mont%C3%A1%C5%BE%C3%ADm-panelem-v400x%C5%A1400xh200-ip66-ik10-ral7035-/?range=2536-spacial-s3d>
- [20] Pertinax - Textit [online]. Přelouč: plastics.cz, c2019 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.plastics.cz/prehled-plastu/pertinax-textit>
- [21] DĚLENÍ MATERIÁLŮ BEZODPADOVÝMI TECHNOLOGIEMI [online]. Brno, 2013 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64543.
Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [22] EXPANSION MODULE - OPTOISOLATED USB INTERFACE [online]. Bergamo: Lovato electric [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: https://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I293IGBFE09_18.pdf&ic=113

- [23] EXPANSION MODULE - 2 RELAY OUTPUTS [online]. Bergamo: Lovato electric [cit. 2022-05-23]. Dostupné z:
https://lovatoelectric.cz/HandlerDoc.ashx?s=I290IGBFE09_18.pdf&ic=113
- [24] Návrh zapojení analyzátoru sítě [online]. Plzeň, 2021 [cit. 2022-05-26]. Dostupné z:
https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/44511/1/MaresovaSimona_Navrh%20zapojeni%20analyzatoru%20site.pdf. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni FEL.

Seznam obrázků

Obr. 1 Analyzátor DMG 800. (převzato z [1])	- 13 -
Obr. 2 Rozměry DMG 800. (převzato z [5])	- 14 -
Obr. 3 Menu analyzátoru (převzato z [4])	- 16 -
Obr. 4 Test správnosti zapojení. (převzato z [4])	- 19 -
Obr. 5 Vliv tepelného výkonu na okolní teplotu.	- 21 -
Obr. 6 Zobrazení ovlivnění okolí vodiče jeho tepelným výkonem.	- 21 -
Obr. 7 Nesouměrný průběh zkratového proudu. (převzato z [10]).....	- 24 -
Obr. 8 Zdířky proudových vstupů/výstupů. (převzato z [16])	- 30 -
Obr. 9 Oceloplechová skříň Spacial S3D. (převzato z [19])	- 34 -
Obr. 10 Dno skříňe před modifikací. (převzato z [19])	- 35 -
Obr. 11 3D model dna po modifikaci.	- 35 -
Obr. 12 Technická dokumentace pro úpravy spodní strany.	- 35 -
Obr. 13 3D model zadní části analyzátoru.....	- 36 -
Obr. 14 Technická dokumentace pro úpravy zadní strany analyzátoru.....	- 37 -
Obr. 15 3D model předního panelu.	- 38 -
Obr. 16 Technická dokumentace pro přední panel.	- 38 -
Obr. 17 Piny modulu EXP10 03. (převzato z [23])	- 40 -
Obr. 18 Zapojení přepínacího relé.	- 41 -

Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnoty napájecího napětí [4,5].....	- 14 -
Tabulka 2 Přesnosti naměřených hodnot.....	- 15 -
Tabulka 3 Dovolené provozní teploty izolace. (převzato z [9])	- 23 -
Tabulka 4 Hodnoty vybraných vodičů.....	- 28 -
Tabulka 5 Maximální dlouhodobé proudové zatížení komponent (A).[17]	- 31 -

Přílohy

Příloha A – 3D návrh přední části panelu s osazenými komponenty – čelní pohled

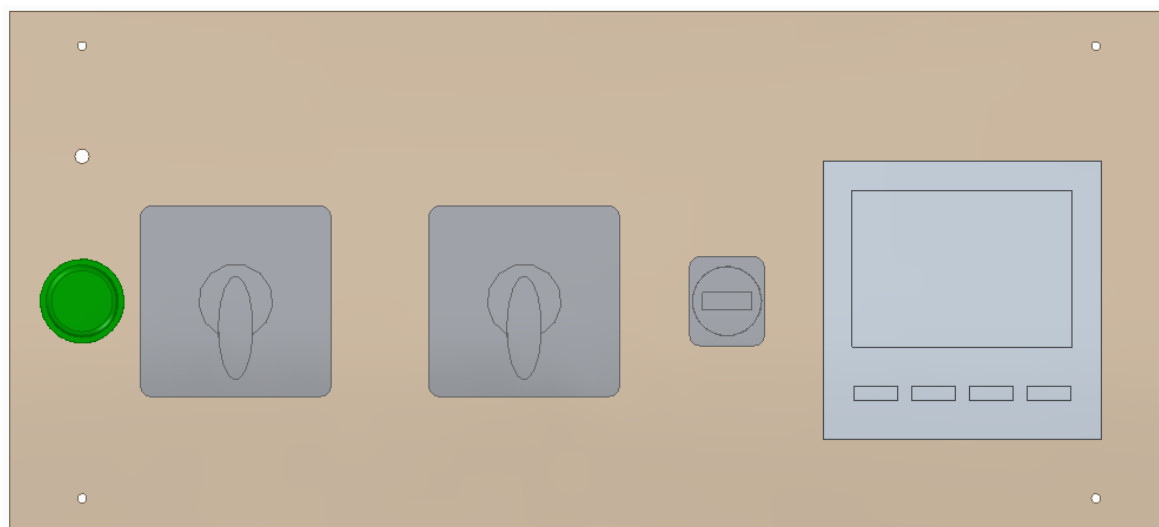
Příloha B – 3D návrh přední části panelu s osazenými komponenty

Příloha C – 3D návrh zadní části panelu s osazenými komponenty – čelní pohled

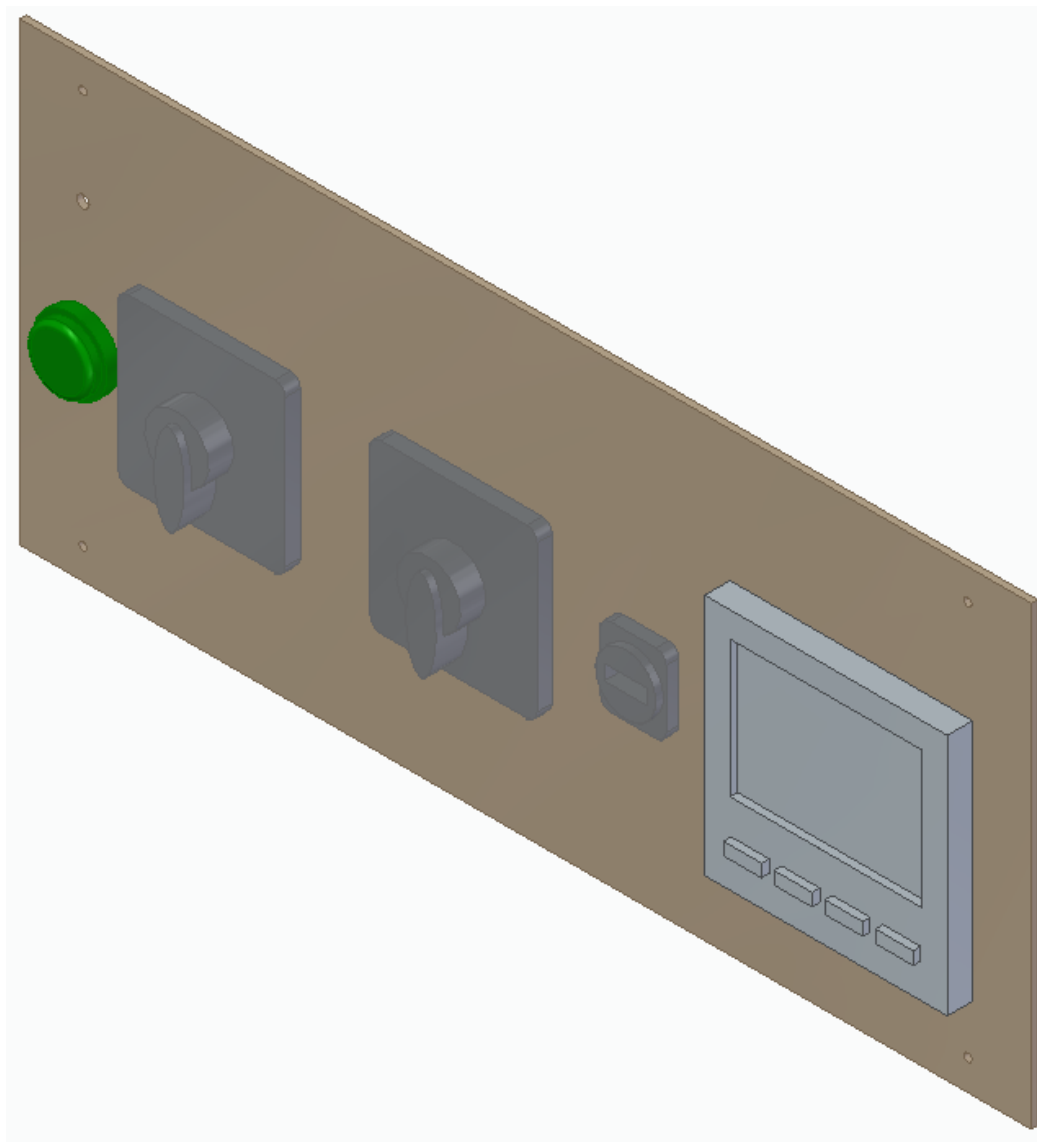
Příloha D – 3D návrh zadní části panelu s osazenými komponenty

Příloha E – Fotografie před dokončením zařízení

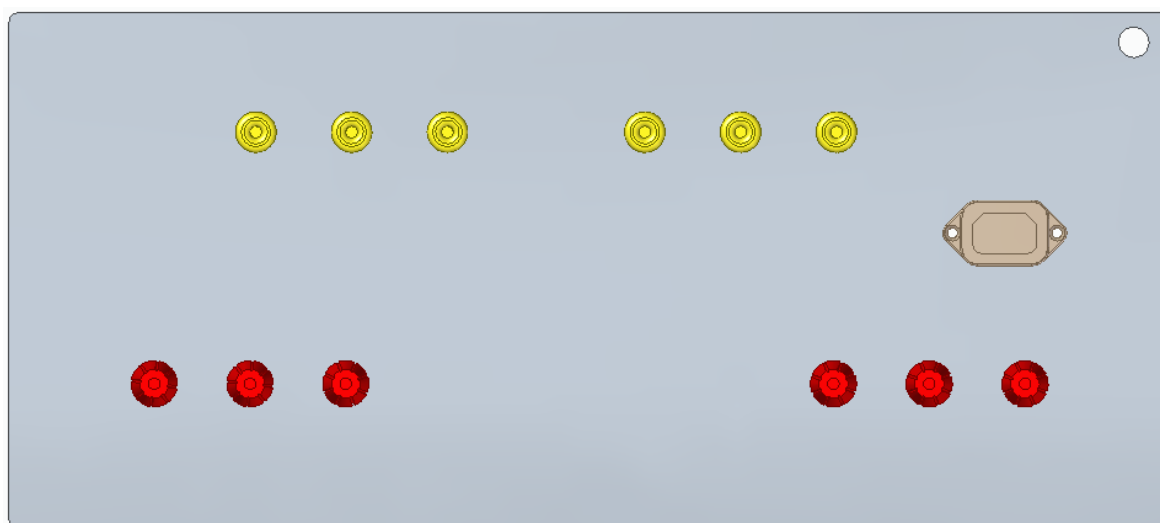
Příloha A



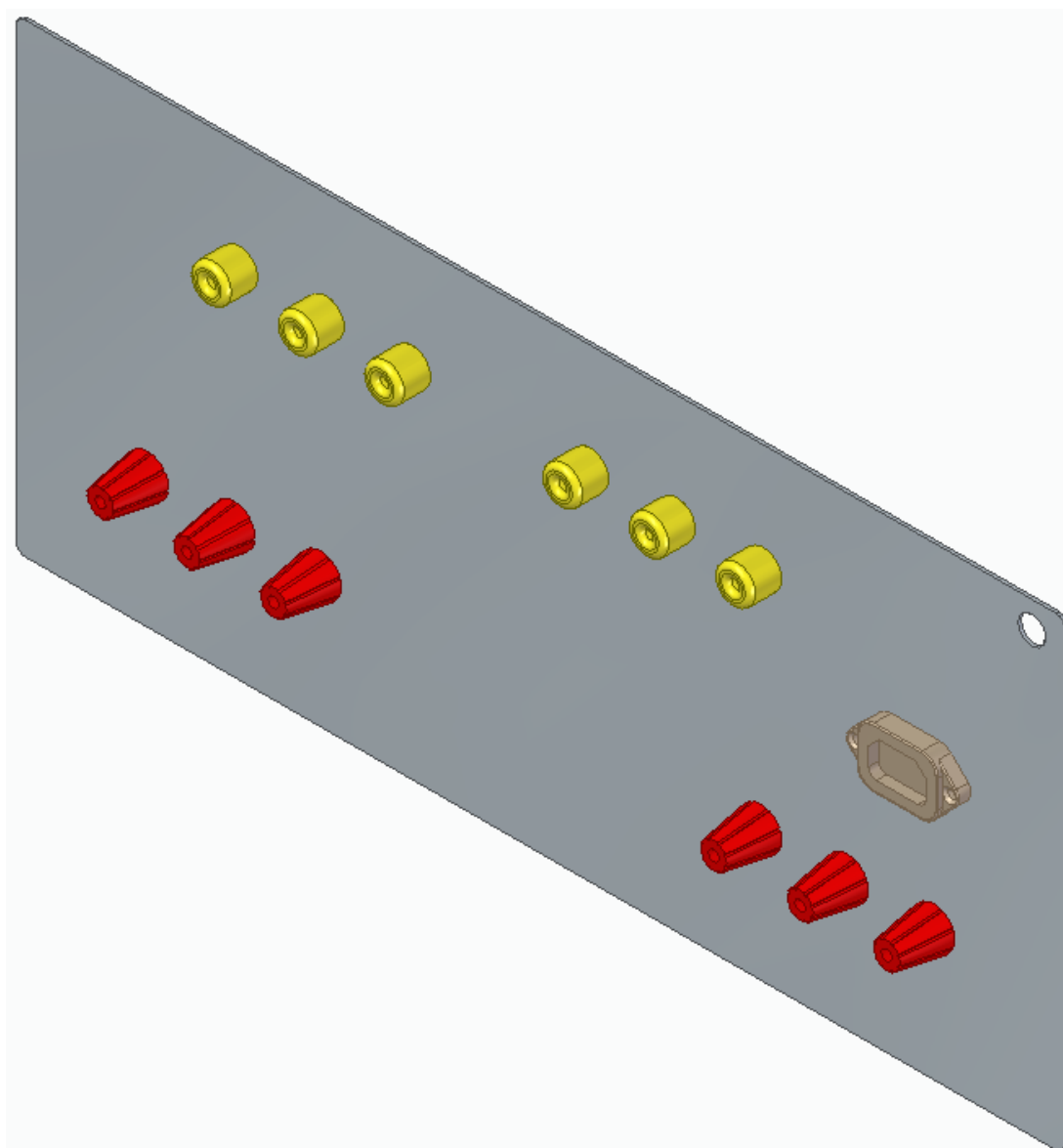
Příloha B



Příloha C



Příloha D



Příloha E

