

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrotechnologie

Porovnávač radiačních dávek – návrh zařízení

Radiation dose comparator – design of the device

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Karel Künzel, CSc.

Ondřej Zbytek

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zbytek** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **457099**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnávač radiačních dávek - návrh zařízení

Název bakalářské práce anglicky:

Radiation dose comparator - design of the device

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s požadavky na zařízení.
Navrhněte koncepci zařízení prezentujícího porovnání radiačních dávek.
Navrhněte elektrickou část zařízení.
Stanovte požadavky na řídicí systém.
Ověřte funkčnost zařízení jako celku.

Seznam doporučené literatury:

Vyhláška č. 422/2016 Sb., Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
Zákon č. 18/1997 Sb., Zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon)
Ionizující záření, účinky a zdroje, UNEP
Ullmann, V.: Jaderná a radiační fyzika, skripta, Ostravská univerzita 2009

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Künzel, CSc., katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **16.01.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Karel Künzel, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 23. 5. 2018

Ondřej Zbytek

Abstrakt

Tato bakalářská práce zpracovává návrh nového zařízení – Porovnávače radiačních dávek, určeného pro výstavu pojednávající o radiační bezpečnosti. Teoretická část se zabývá návrhem konceptu zařízení, jeho designem, principem fungování a specifikací výrobních požadavků a pokynů na řídicí systém. Praktická část popisuje samotný proces návrhu zařízení, definuje a rozebírá strojní výrobní podklady a elektrotechnické výrobní podklady. Součástí této bakalářské práce je i ověření funkčnosti zařízení včetně testování produktu na nečekané stavy.

Klíčová slova

Porovnávač radiačních dávek, návrh zařízení, vývoj, testování

Abstract

This bachelor thesis deals with the design of a new device – Radiation dose comparator for public exhibition on problematics of radiation protection. The theoretical part begins with the conceptual foundations of the device, its design, functionality and specification of manufacturing requirements and requirements for control system. The applied part of the thesis describes the developments of the device. The work defines mechanical model and electrical production drawings. The thesis includes functionality check and testing for unexpected modes of operation.

Key words

Radiation dose comparator, design of a device, development, testing

Poděkování a prohlášení

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Karel Künzelovi, CSc. za pomoc při vytváření této práce, cenné připomínky, rady a postřehy. Rovněž bych chtěl poděkovat Alaně Krug-MacLeod za její podporu a pomoc během psaní bakalářské práce. Zároveň prohlašuji, že tato práce vznikla ve spolupráci se společností Nuledo s.r.o., v níž působím jako jednatel. V rámci svého působení ve společnosti mi bylo umožněno zpracovat návrh zařízení pro zákazníka formou této bakalářské práce.

Ondřej Zbytek

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Požadavky na zařízení od investora.....	9
2.1	Účel zařízení.....	9
2.2	Požadavky na funkcionalitu zařízení	9
2.3	Požadavky na vzhled zařízení.....	10
3	Návrh zařízení – obecné postupy	14
3.1	Blokové schéma zařízení	14
3.1.1	Blokové schéma hlavních částí zařízení	14
3.2	Rozdělení částí zařízení z hlediska technické specializace.....	17
3.2.1	Šasi – nosné konstrukce.....	18
3.2.2	Funkční mechanicky-strojní komponenty – specializované funkční díly a sestavy	18
3.2.3	Elektrická výzbroj (kromě řídicího systému) – elektrická zařízení různého určení.....	18
3.2.4	Řídicí systém – specializované elektrické zařízení pro zpracovávání signálů, jejich vyhodnocování a posílání zpětných signálů	19
3.2.5	Design, okrasné a informační prvky – elementy sloužící k předávání informací a zvýšení vizuální přitažlivosti	19
3.3	Postup při realizaci zakázky	19
3.3.1	Návrh a výroba mechanicky strojní části (vč. nosných a designových prvků)	20
3.3.2	Návrh a výroba elektrické části	22
4	Shrnutí teoretické části	25
5	Výrobní specifikace zařízení.....	26
5.1	Návrh mechanicky strojní části (vč. nosných a designových prvků).....	26
5.2	Specifikace požadavků pro řídicí systém	32
5.2.1	Zvolený řídicí systém [5].....	32
5.3	Návrh elektrické části zařízení	35
5.3.1	Použité komponenty	35
5.3.2	Liniová a obvodová schémata	36
5.4	Ověření funkčnosti zařízení – testování zařízení	36
5.4.1	Návrh testovacího procesu.....	36
5.4.2	Testovací protokol	37
6	Závěr	38
7	Zdroje	39
8	Seznam obrázků	40
9	Seznam příloh	41
10	Přílohy	42

Předmluva autora

Předmětem této bakalářské práce je návrh nového zařízení pro veřejnou výstavu zabývající se problematikou radiační ochrany. Zařízení má sloužit jako způsob, jak poutavě a poučně široké veřejnosti osvětlit složité jevy, které s danou problematikou souvisí. Společnost Nuledo, ve které působím, byla vybrána pro realizaci zakázky vývoje a výroby nového zařízení, jež má za cíl přiblížit neodborné veřejnosti koncept radioaktivního záření, a především pak obdržených radiačních dávek a jejich nebezpečností, respektive bezpečností.

Podoba a funkcionalita zařízení vychází z pokynů investora, které definují základní parametry a podobu zařízení. Toto zadání bude pro účely této bakalářské práce bráno jako výchozí vstupní informace a bude představovat požadavky na zařízení.

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je navrhnout koncept zařízení – Porovnávače radiačních dávek, dle předem daných požadavků investora. Cílem bakalářské práce je rovněž provedení analýzy a popsání procesu vývoje zařízení včetně stanovení požadavků na řídicí systém. Součástí práce je i testování vyrobeného zařízení.

Práce nejprve popisuje požadavky investora, následně rozebírá obecné postupy pro řešení problematiky – návrhu zařízení. V další části práce lze nalézt konkrétně navržený koncept zařízení a požadavky na jednotlivé jeho části.

V závěrečných oddílech bakalářské práce jsou popsány výsledky testování a na úplný konec je zařazeno závěrečné shrnutí se zhodnocením dosažených výsledků.

2 Požadavky na zařízení od investora

Požadavky na zařízení jsou definovány v designové studii investora, která formou vizualizací, nákrešů a textu popisuje požadované kvality přístroje. Bližší analýzou studie je možné rozdělit požadavky na tři části – účel zařízení (k čemu zařízení slouží), funkcionalitu zařízení (co zařízení dělá) a vzhled zařízení (jak zařízení vypadá). Těmto třem částem se věnují následující kapitoly.

2.1 Účel zařízení

Co do účelu zařízení, studie investora stanovuje následující:

„Porovnávač radiačních dávek je mobilní interaktivní pokusný přístroj, který umožňuje návštěvníkům názorně porovnat různě velké obdržené dávky radioaktivního záření. Díky tomuto přístroji je možné těžko uchopitelnou problematiku uvést na pravou míru a zasadit ji do celkového kontextu.

Díky tomuto unikátnímu zařízení může návštěvník například zjistit, že při sněžení jednoho banánu obdrží větší dávku záření, než kdyby žil jeden rok v těsné blízkosti jaderné elektrárny. V tomto kontextu je pak daleko jednodušší si uvědomit, že radioaktivita je přítomna běžně kolem nás po celý náš život a není třeba se jí automaticky bát. Teprve velikost obdržené dávky rozhoduje, zda má vliv na lidské zdraví“

Z výchozího textu je patrné, že zařízení bude sloužit pro širokou veřejnost a jeho účelem bude osvěta v oblasti fyziky ionizujícího záření, radiační ochrany a vlivu radioaktivity na zdraví. Především pak bude klíčové správné, názorné a jednoduché vyjádření různě velkých obdržených radiačních dávek, které často není intuitivní správně porovnat.

Z výchozího textu je tedy patrné, že zařízení bude muset být uživatelsky přívětivé, jednoduché na porozumění demonstrovaného jevu a přizpůsobené pro veřejný provoz.

2.2 Požadavky na funkcionalitu zařízení

Co do funkcionality studie investora stanovuje následující:

Přístroj se skládá z dvou nádob na kapalinu a ovládacího panelu. Na ovládacím panelu jsou dvě sady tlačítek. Každému tlačítku odpovídá příslušná nádoba a reprezentace obdržené dávky radioaktivního záření. Návštěvník si stiskem dvou tlačítek navolí aktivaci experimentu v podobě zaplnění nádob kapalinou do příslušné výšky, který odpovídá poměrné radioaktivní dávce.

Přístroj tedy funguje na principu reprezentace obdržené radiační dávky formou akumulace odpovídající množství kapaliny v příslušném vodním sloupci.

Přístroj v sobě obsahuje kapalinovou nádrž, ke které je připojeno čerpadlo. To je aktivováno řídicí jednotkou, která po stisku tlačítka načerpá do příslušného vodního sloupce reprezentativní množství kapaliny. Po určité době se aktivuje ventil, který vodu vypustí zpět do akumulací nádrže.

Pokud jsou stisknuta dvě tlačítka naráz, řídicí jednotka dá pokyn natankovat příslušné množství kapaliny do obou vodních sloupců. Díky tomuto

jednoduchému principu je možné názorně a líbivě porovnávat různé hodnoty obdržených radiačních dávek v pro veřejnost lehce uchopitelné formě. “

Z výchozího textu jasně vyplývá, na jakém principu bude zařízení fungovat. Meritum jeho fungování spočívá ve vizuální reprezentaci fyzikální veličiny – obdržené radiační dávky. Návštěvník si interaktivně vybere pomocí ovládacího panelu příslušnou radiační událost, jejíž závažnost, z radiologického hlediska, přístroj zobrazí formou příslušného množství kapaliny ve válci, který je součástí zařízení.

Z této části zadání vyplývá, že zařízení bude interagovat s uživatelem (bude tedy aktivní, nikoliv pasivní), bude obsahovat řídicí a ovládací systém a bude obsahovat mechanická a elektromechanická zařízení na realizaci dané funkce, tedy kapalinové reprezentace závažnosti radiologické události.

2.3 Požadavky na vzhled zařízení

Co do vzhledu zařízení, studie investora uvádí jak textový, tak grafický popis.

Textově je vzhled zařízení definovaný takto:

„Zobrazovací část se skládá ze dvou průhledných vodních sloupců, ve kterých dochází k akumulaci kapaliny, k reprezentaci přijaté radiační dávky.

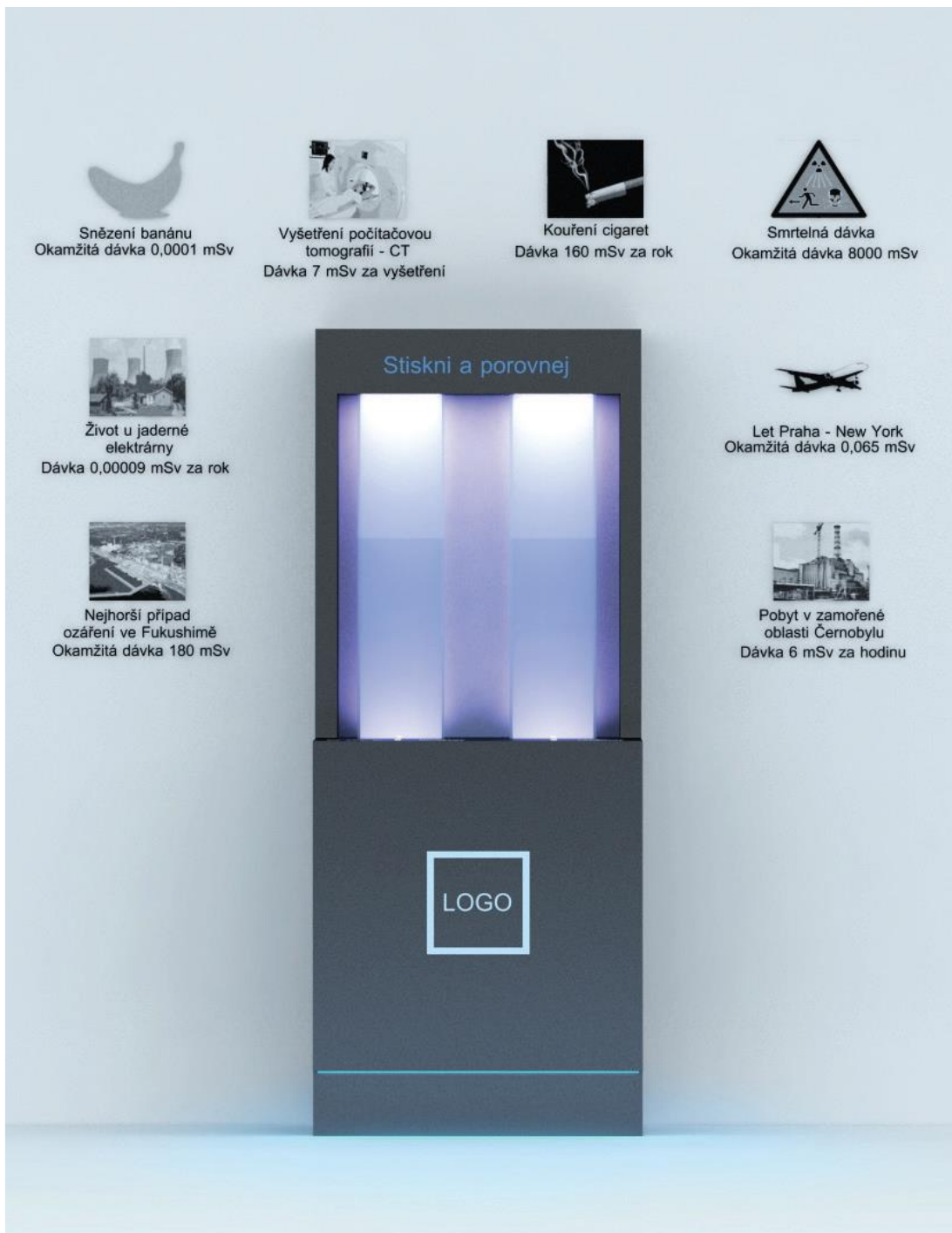
Ovládací část zařízení slouží k interakci s návštěvníky, kteří pomocí tlačítek, umístěných v této části, volí radiační dávku k zobrazení.

Strojová, podpůrná, část slouží jako zázemí přístroje, ve které se nachází veškeré potřebné vybavení pro fungování experimentu. “

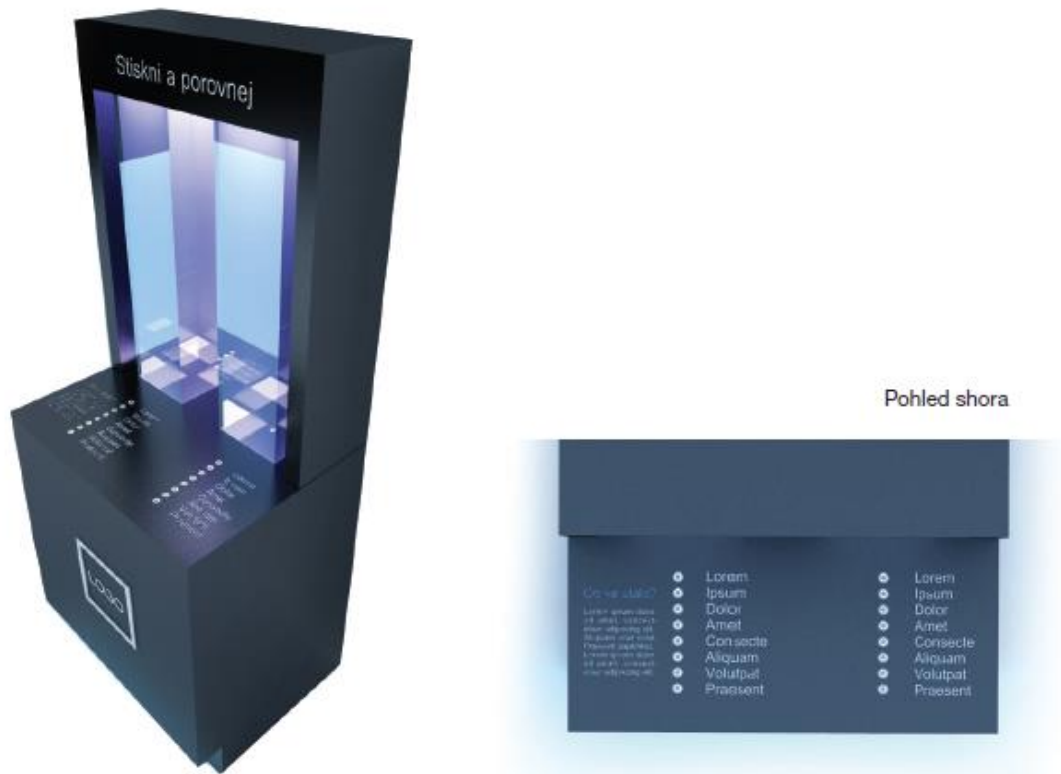
Studie rovněž definuje vzhled přístroje formou uměleckých vizualizací a nákrešů, které jsou uvedené na následujících stránkách.



Obrázek 1– Porovnávač radiačních dávek, umělecká představa, rozměrová rozvaha



Obrázek 2 – Porovnávač radiačních dávek, umělecká představa, přední pohled



Obrázek 3 – Porovnávač radiačních dávek, umělecká představa, izometrický pohled a pohled shora

Z uvedeného textu a dostupných vizualizací získáváme základní představy investora na podobu zařízení. Využijeme uvedeného rozdělení do tří sekcí, které bude práce dále respektovat a používat: **zobrazovací část, ovládací část a podpůrná, strojná, část.**

Prezentované vizualizace a doprovodný text jsou dostatečně detailní a kvalitní na to, aby posloužili přímo jako inspirace pro vznik 3D modelu, který bude diskutován v dalších částech bakalářské práce. Z toho důvodu se tato práce nebude zabývat estetickým designem zařízení a pouze převeze jeho podobu ze zadávací dokumentace

3 Návrh zařízení – obecné postupy

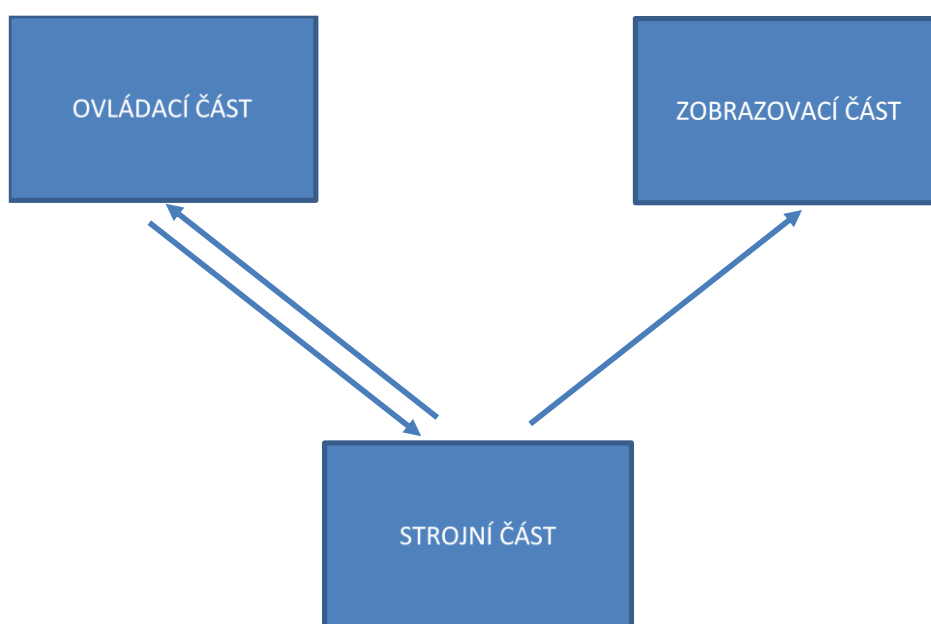
Předchozí kapitola se zabývala rozbořením požadavků investora na podobu zařízení, jehož návrhem se tato práce zabývá. V této kapitole jsou popsány obecné postupy, jak z dostupného zadání vytvořit konkrétní technologický návrh zařízení.

3.1 Blokové schéma zařízení

Základním nástrojem pro vývoj zařízení je vytvoření blokového schématu, které nám jednoduchým a intuitivním způsobem rozdělí zařízení na jednotlivé části a podčásti a znázorní vztahy mezi nimi. Na základě blokového schématu zařízení je pak možné zkoumat a definovat jednotlivé části zvlášť, a přitom respektovat jejich vzájemné propojení.

3.1.1 Blokové schéma hlavních částí zařízení

V kapitole 2 – Požadavky na zařízení od investora, bylo nastíněno rozdělení zařízení na 3 části – zobrazovací část, ovládací část a podpůrnou, strojní, část. Využijeme toto rozdělení a vytvoříme základní blokové schéma pro tyto tři hlavní části na základě principu fungování přístroje, které bylo popsáno v kapitole 2.2 – Požadavky na funkcionalitu zařízení. Pomocí šipek pak znázorníme informační toky mezi jednotlivými bloky.



Obrázek 4 – Hlavní blokové schéma zařízení

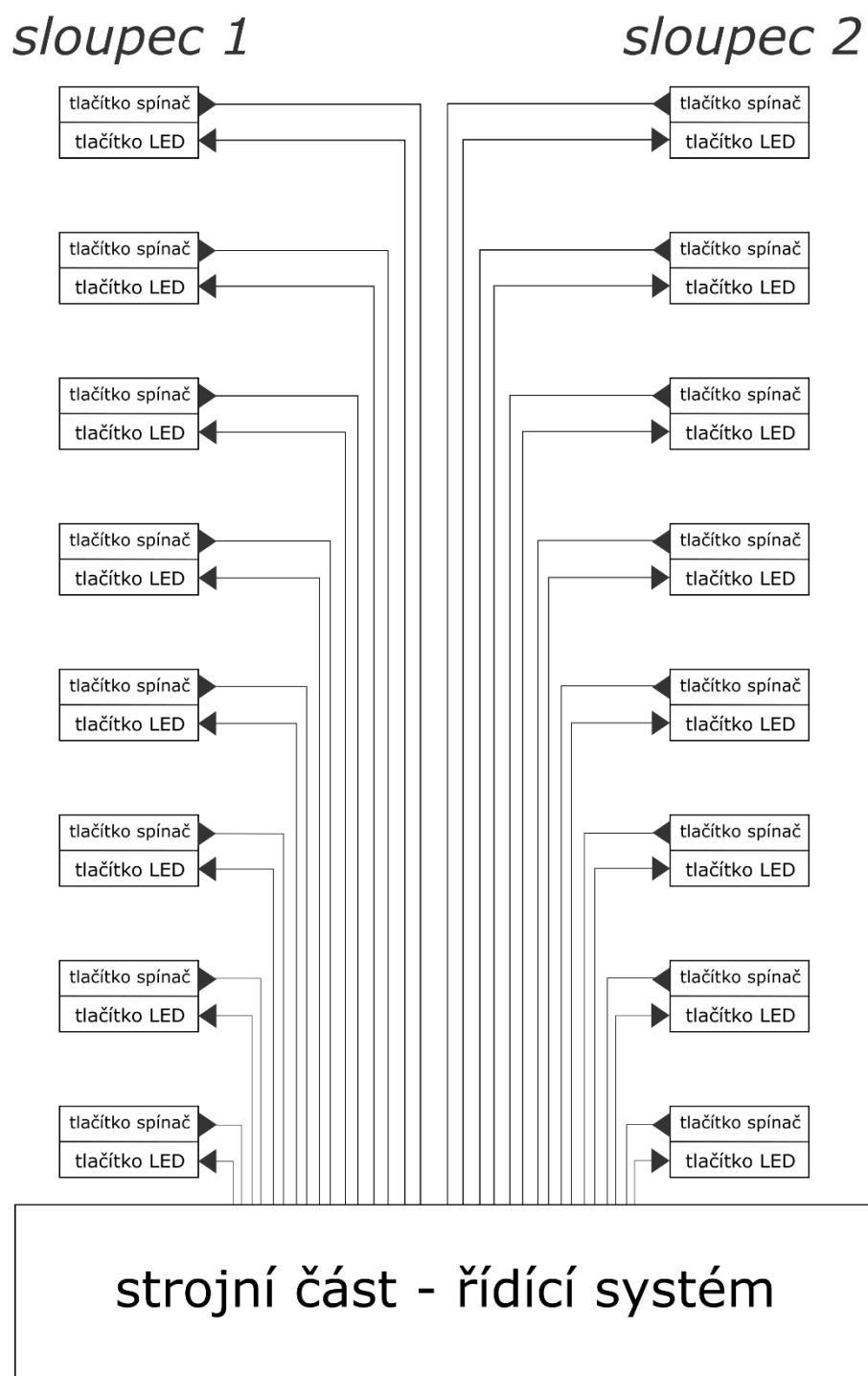
Na Obrázek 4 vidíme jednotlivé části zařízení a komunikační toky mezi nimi. Blok ovládací části představuje především ovládací panel, jež obsluhuje návštěvník – uživatel. Informace z ovládací části jsou pak přenášeny do podpůrné strojní části, kde jsou vyhodnocovány. Na základě vyhodnoceného pokynu jsou vydány další pokyny pro další zařízení ve strojní části, které vedou k změně v zobrazovací části. Na rozdíl od zobrazovací části, která nemá žádnou zpětnou komunikaci, ovládací část nejenže vydává pokyny do strojní části, ale zároveň dostává od strojní části informace a poskytuje tak uživateli zpětnou vazbu.

3.1.1.1 Ovládací část

Nejprve se zaměříme na ovládací část a uvedeme její zjednodušené blokové schéma. Ovládací část je ta část, kterou uživatel komunikuje se zařízením, ovládá ho. V našem případě se jedná dle zadání investora o panel, který se nachází na přední části zařízení. Na panelu je umístěno 16 mechanických tlačítek se zpětnou světelnou vazbou. Každé tlačítko v sobě obsahuje kontakt, který se při stisknutí sepne a umožní průchod elektrickému proudu. Zároveň je v každém tlačítku zabudován LED modul, který při napájení podsvítí tlačítko po jeho obvodu.

Každé tlačítko reprezentuje jednu radiační událost a na základě výběru se naplní příslušný kapalinový válec do odpovídající hladiny. Formálně jsou tlačítka rozdělena do dvou sekcí po osmi tlačítkách. Každá sekce (tedy každých osm tlačítek) je pomyslně přiřazena k jednomu ze dvou kapalinových válců. Osazená světelná zpětná vazba (ve formě rozsvícení podsvícení tlačítka) informuje uživatele o tom, jaké tlačítko, respektive jakou radiační událost, si vybral.

Co se toku informací týče, tlačítka jsou napojena na řídicí systém nacházející se ve strojní části. Během provozu zařízení tak ovládací část vysílá pokyny do strojní části a rovněž od strojní části přijímá pokyny. Konkrétně stisknutí tlačítka sepne kontakt, což se projeví v detekci protékajícího proudu na příslušném vstupu v řídicím systému, který se nachází ve strojní části. Na základě detekovaného signálu řídicí systém vyhodnotí, který vstup byl sepnut a pošle zpět informace do ovládací části, kde se rozsvítí či zhasnou příslušná tlačítka.



Obrázek 5 – Blokové schéma ovládací části zařízení

3.1.1.2 Strojní část

Strojní část je nejsložitější částí celého zařízení. Nachází se v ní většina elektroniky a podpůrných zařízení a systémů pro fungování přístroje. Pro komplikovanost je blokové schéma této části již rovnou nahrazenou liniovými schémata v kapitole 5.3 - Návrh elektrické části zařízení.

Podstatnou část strojní části tvoří rozvaděč, který obsahuje elektrické jádro zařízení. V rozvaděči se nachází kompletní napájecí výzbroj, řídicí systém (PLC), ovládací elektronika, jištění a bezpečnostní prvky, ale rovněž se zde nacházejí neméně důležité soustavy svorkovnic, pomyslných křižovatek, které rozvádění nejen elektrický proud do jednotlivých komponent zařízení, ale zároveň přes ně vedou signály, do řídicího systému či z něj.

Neméně důležitou částí strojního segmentu jsou zařízení zajišťující specifické funkce přístroje. Jedná se o elektrická čerpadla, která zajišťují čerpání kapaliny do vodních sloupců ze zásobní kapalinové nádrže. Dalším zařízením jsou elektricky ovládané výpustní ventily, které na pokyn řídicího systému vypustí kapalinu ze zobrazovacích válců. Pro zvýšení estetického efektu a poutavosti celého zařízení je ve strojní části umístěn také vzduchovací motorek pro dodávku vzduchu do perlících kamenů umístěných ve spodních částech vodních válců. Tyto kameny tvoří ve válcích bublinky, které stoupají kapalinou a podstatně zvyšují atraktivitu demonstrace.

Vzhledem k tomu, že strojní část obsahuje řídicí systém, jedná se o část představující informační uzel v celém zařízení. Do strojní části putují informace z ovládací části. Řídicí systém ve strojní části tyto informace vyhodnocuje a posílá pokyny jak do zobrazovací části, zpět do ovládací části, tak do funkčních zařízení v rámci strojní části. Samotné funkce řídicího systému a posloupnosti jeho pokynů jsou natolik složité, že jim bude v druhé části této práce věnována samostatná kapitola.

3.1.1.3 Zobrazovací část

Zobrazovací část tvoří technologicky nejjednodušší část zařízení. Pro uživatele je však tou nejdůležitější, protože reprezentuje navolenou radiační dávku – je de facto výstupem zařízení. Kromě základních technických požadavků jsou na ni kladeny poměrně vysoké estetické nároky, jelikož se uživatel většinu času dívá právě na tuto část celého zařízení.

Zobrazovací část se skládá z dvou vertikálně uložených dutých vodotěsných válců, do kterých je zespodu zaveden přívod kapaliny ze zásobní kapalinové nádrže a také odtok vedoucí do zásobní kapalinové nádrže. Oba válce jsou podsvíceny speciálním RGB LED modulem, který je řízen ze strojní části řídicím systémem.

Součástí každého válce je vzduchovací kámen, který plní funkci perlátoru. V momentě, kdy je válec zaplněn vodou, perlátor zajišťuje čření vodní hladiny a zvýšení estetického dojmu. Každý sloupec rovněž obsahuje bezpečnostní přepad, který chrání zařízení při poruše řídicího systému, která by se projevila přetečením válce.

Na rozdíl od ostatních částí, zobrazovací část je pouze příjemcem informací. Přijímá pokyny od řídicího systému, nijak však zpětně nekomunikuje (v této části není přítomna zpětná vazba). Do zobrazovací části putují informace především formou přesně odměřeného množství kapaliny přitékající do válců a zároveň signál k rozsvícení RGB LED modulu příslušnou barvou na základě vybrané radiační události. Analogicky pak dochází k vypouštění vody, což se děje otevřením elektronicky ovládaného ventilu ve strojní části, který je spojen s válci pomocí hadice.

3.2 Rozdělení částí zařízení z hlediska technické specializace

Jedním z velice užitečných nástrojů pro vývoj zařízení tohoto typu a následnou přípravu výrobních podkladů je rozdělení částí zařízení na základě jejich technické funkce.

Toto rozdělení pomůže při vývoji zařízení a při delegování a rozdělování prací na jednotlivé profese dle jejich expertízy.

Vyvíjené zařízení, Porovnávač radiačních dávek, se skládá z těchto základních celků:

- **Šasi** – nosné konstrukce
- **Mechanicky strojní komponenty** – specializované funkční díly a sestavy
- **Elektrická výzbroj (kromě řídicího systému)** – elektrická zařízení různého určení
- **Řídicí systém** – specializované elektrické zařízení pro zpracovávání signálů, jejich vyhodnocování a posílání zpětných signálů
- **Design, okrasné a informační prvky** – elementy sloužící k předávání informací a zvýšení vizuální přitažlivosti

V následujících kapitolách budou prozkoumány jednotlivé výše uvedené celky, vč. přiřazení vhodné profesní specializace na vypracovávání výrobních podkladů.

3.2.1 Šasi – nosné konstrukce

Tato funkční část představuje veškeré mechanické prvky, které tvoří základní skelet zařízení – šasi. V případě popisovaného zařízení se jedná především o konstrukci z hliníkového kombi systému ITEM a ohýbaných železných plechů, které jsou na tvářecím, ohýbacím a vyrážecím strojem vytvarovány pomocí přesně daných výrobních podkladů.

Hlavními funkcemi základního skeletu zařízení, šasi, je zajištění mechanické podpory všem vnitřním dílům, oddělení jednotlivých prostor, a i samotné oddělení vnějšího prostředí od vnitřku zařízení. Šasi nezprostředkovává žádnou specializovanou funkční vlastnost a neobsahuje žádné inteligentní, interaktivní či elektrické komponenty.

Tuto část zařízení zpracovává strojní konstruktér na základě návrhu designéra. V tomto případě nebude pozice designera vyžadována, jelikož podklady dodané investorem postačí jako plnohodnotný designový podklad pro strojního konstruktéra.

3.2.2 Funkční mechanicky-strojní komponenty – specializované funkční díly a sestavy

Funkční mechanicky-strojní komponenty představují mechanické a strojní části zařízení, které, na rozdíl šasi, vykonávají specializovanou funkci. Tato funkce je zpravidla složitější než jen pouhé oddělení prostor, či než funkce nosné konstrukce.

U Porovnávače radiačních dávek se jedná například o kapalinovou zásobní nádrž, rozvaděčovou skříň, rozvody kapaliny nebo samotné válce v zobrazovací části.

Funkce každého mechanicko-strojního komponentu je jiná a velmi často navazuje na elektrickou či řídicí funkci.

Z toho důvodu na této části pracuje z větší části strojní konstruktér, úzce ale spolupracuje s elektro projektantem zařízení. V obecném případě by i zde probíhala konzultace s designérem zařízení, která se v tomto případě nerealizuje.

3.2.3 Elektrická výzbroj (kromě řídicího systému) – elektrická zařízení různého určení

Elektrická výzbroj je zásadní součástí navrhovaného zařízení, jelikož zprostředkovává jeho hlavní funkci – reprezentaci obdržené radiační dávky. Elektrická výzbroj vychází ze zadání investora, respektive z určení funkce zařízení a poté z výše zpracovaných blokových schémat.

Funkce jednotlivých elektrických komponent jsou různé. Kapalinová čerpadla například zajišťují načerpávání vody do sloupců, elektricky ovládané ventily pak uvolňují průchod kapalině v případě, že dá řídicí systém pokyn k vypuštění.

Na vývoji elektrické výzbroje zařízení se podílí především elektro projektant, který vychází ze zadávacích podkladů. Ve většině případů spolupracuje se strojním konstruktérem a programátorem, který má na starost řídicí systém.

Jelikož se jedná o nesložitější a z elektrotechnického hlediska nejzajímavější část zařízení, bude jí věnována pozornost v druhé části bakalářské práce.

3.2.4 Řídicí systém – specializované elektrické zařízení pro zpracovávání signálů, jejich vyhodnocování a posílání zpětných signálů

Řídicí systém se skládá z hlavního řídicího počítače a jeho periférií. Nejčastěji se jedná o průmyslový mikropočítač typu PLC – Programmable Logic Controller. Řídicí systém vyhodnocuje vstupy od uživatele, na základě kterých dává pokyny ostatním elektrickým a elektromechanickým komponentům zařízení.

Řídicí systém úzce souvisí s elektrickou výzbrojí zařízení, avšak kromě přípravy a montáže vyžaduje specializovanou činnost – programování ovládacího software.

Na přípravě řídicího systému tak z většiny času pracuje programátor, který definuje softwarové vybavení, které je určující pro správný chod zařízení.

Specifikací řídicího systémem se bude podrobněji zabývat kapitola v druhé části bakalářské práce.

3.2.5 Design, okrasné a informační prvky – elementy sloužící k předávání informací a zvýšení vizuální přitažlivosti

Design zařízení určují kromě šasi i doplňkové designové, informační a okrasné prvky, které plní doplňkové funkce výrazně zvyšující užitek zařízení. Typicky se jedná o popisky a informační potisky. Neméně často jde o čistě estetické elementy, které mají za cíl učinit zařízení esteticky přitažlivější.

V případě Porovnávače radiačních dávek se jedná o výrazná akční slova, která jsou formou polepu umístěna na zařízení a slouží jako zjednodušený návod pro uživatele, co má se zařízením dělat. Stejně tak se jedná i o polepy vedle tlačítek, které jednoznačně ke každému tlačítku přiřazují konkrétní radiační událost.

Na těchto prvcích pracuje grafik a vychází ze zadávací dokumentace.

3.3 Postup při realizaci zakázky

Rozdělení představené v předchozí kapitole je zmíněno především pro ukázání rozdělení jednotlivých činností mezi konkrétní profese ve firmě. V následující kapitole bude probírán postup při realizaci zakázky. Pro tuto kapitolu tak nebude příliš podstatné, jaké konkrétní profese se podílejí na jaké části, a proto použijeme zjednodušené rozdělení zařízení na dva velké celky:

1. Návrh a výroba mechanicky strojní části (vč. nosných a designových prvků)
2. Návrh a výroba elektrické části

I přestože se jedná o zcela zakázkové zařízení kusové výroby, jehož výrobě předchází samostatný vývoj, je nutné si uvědomit, že realizace zakázky je poměrně standardizovanou záležitostí a

sestává se z několika jasně definovaných kroků. V každé společnosti se tyto kroky liší ať už délkou, obsahem, či pořadím, v zásadě jsou si ale napříč průmyslem podobné a lze je zobecnit.

V následujících kapitolách bude probrán obecný postup realizace zakázky z pohledu jednotlivých částí zařízení, tak jak jsou rozděleny výše.

3.3.1 Návrh a výroba mechanicky strojní části (vč. nosných a designových prvků)

Důležitou součástí Porovnávače radiačních dávek jsou mechanické a strojní části, které tvoří neelektrickou část zařízení. Tyto části byly již nastíněny v kapitolách 3.2.1 – Šasi – nosné konstrukce a 3.2.2 – Funkční mechanicky-strojní komponenty – specializované funkční díly a sestavy. Při realizaci zakázky výroby průmyslového zařízení typu Porovnávač radiačních dávek se při návrhu mechanicky strojní části zařízení a její výroby postupuje dle následujícího diagramu.

IDEA → DESIGNOVÁ STUDIE → 3D MODEL → 2D VÝROBNÍ PODKLADY → OBJEDNÁNÍ MATERIÁLU, SUBDODÁVEK A VÝROBA DÍLŮ → MONTÁŽ → TESTOVÁNÍ

Nyní budou rozebrány jednotlivé bloky výše uvedeného diagramu. Po jejich úvodní definici a představení budou jasně představeny tak, jak vypadají pro toto konkrétní zařízení – Porovnávač radiačních dávek.

3.3.1.1 IDEA

Idea představuje prvopočáteční krok, primordiální myšlenku, definující základní představy o novém produktu. V tomto případě tuto fázi nelze ovlivnit, jelikož ji zcela zpracoval investor. Tato část tak nebude dále v této práci rozbírána.

3.3.1.2 DESIGNOVÁ STUDIE

Designová studie představuje ucelený soubor podkladů, které rozpracovávají prvotní myšlenku. Studie rozpracovává účel produktu, jeho obecnou specifikaci a zároveň i fyzickou podobu. Na základě designové studie, která může být často velmi umělecky pojata, může pak strojní konstruktér připravovat technické podklady reálného zařízení.

V případě Porovnávače radiačních dávek, jímž se tato bakalářská práce zabývá, je právě vstupem od investora designová studie. Její podobu nelze ovlivnit a tvoří základní podklad pro tvorbu 3D modelu, dalšího výrobního kroku.

Designová studie byla zcela popsána v kapitole 2.3 – Požadavky na vzhled zařízení, a dále se jí tak již nebude tato bakalářská práce zabývat.

3.3.1.3 3D MODEL

Zcela zásadní a dnes již nezastupitelnou roli v realizaci zakázky spočívající ve výrobě průmyslového zařízení je zpracování jeho 3D modelu, který představuje základní kostru výrobních podkladů.

3D model je dnes již výlučně zpracováván na počítači a to pomocí specializovaného software. Pro vytvoření 3D modelu Porovnávače radiačních dávek byl použit software SolidWorks od společnosti Dassault Systèmes, jeden z nejrozšířenějších inženýrských 3D software současnosti.

V následující části je ve stručnosti představen tento software a základní myšlenky jeho fungování.

3.3.1.3.1 SolidWorks 3D

SolidWorks je software umožňující vytváření 3D modelů zařízení. Dle slov výhradního českého distributora produktů Dassault Systèmes společnosti Solid-Vision:

„SolidWorks je strojírenský 3D CAD systém. Funguje jako tzv. parametrický 3D modelář a nabízí nabízí objemové i plošné modelování, vertikální nástroje pro plechové díly, svařence a formy, práci s neomezeně rozsáhlými sestavami a automatické generování výrobních výkresů.“ [1]

Základními pojmy modelování v tomto 3D softwaru jsou „díl“ a „sestava“. Celé zařízení se skládá z jednotlivých sestav, které se skládají z jednotlivých dílů. Typickým případem dílu může být například plech tvořící stěnu zařízení. Celé vnější šasi je pak sestavou těchto dílů, které spojují mezi sebou vazby.

Díky tomuto software je možné vytvořit virtuální podobu zařízení před tím, než fyzicky vznikne. Na rozdíl od ručně kreslených modelů je virtuální 3D počítačový model věrnější a především umožňuje neomezené generování pohledů a řezů ve všech směrech. Práce na modelu je navíc daleko jednodušší než v případě sestavování papírového modelu, či modelu špejlového.

3.3.1.4 2D VÝROBNÍ PODKLADY a OBJEDNÁNÍ MATERIÁLU, SUBDODÁVEK A VÝROBA DÍLŮ

2D výrobní podklady představují základní sadu instrukcí pro výrobu jednotlivých komponent zařízení. Nejčastěji se jedná o kótované strojní výkresy, které jsou definovány obecně uznávanými normami.

2D výrobní podklady vznikají exportem z 3D modelu a to ať už exportem z dílu či sestav. Ve výše zmíněném software SolidWorks se tento export děje automaticky a není třeba manuálního vypracovávání výkresů. To celý výrobní proces značně urychluje.

Tyto dvojrozměrné výkresy jsou v následujících krocích postoupeny dalším profesím a externím firmám a slouží jako bezprostřední instrukce pro výrobu jednotlivých částí zařízení. Nejčastěji podklady slouží k provedení tradičních řemeslných prací, jako je frézování z polotovarů, soustružení, svařování, ohýbání, opracování laserem a vodním paprskem. V poslední době se pak přidává i metoda 3D tisku.

3.3.1.5 MONTÁŽ

Poté, co jsou naskladněny veškeré díly a komponenty, ze kterých se skládá zařízení, je možné začít s montáží a kompletací. Ta probíhá v případě zakázkového jednorázového produktu vždy ručně, bez použití robotizace či výrobních linek.

Hlavními činnostmi během montáže je spojování jednotlivých dílů pomocí spojovacího materiálu, kabelování a spojování elektrických komponent a popisování jednotlivých částí zařízení pro účely servisu a dokumentace.

3.3.1.6 TESTOVÁNÍ

Poté, co je zařízení smontováno a zkompletováno, dochází k ověření jeho bezchybné a bezpečné funkčnosti v prostorách výrobce. Jsou prováděny výstupní zkoušky a revize a je ověřována reakce zařízení na mezní stavy.

3.3.2 Návrh a výroba elektrické části

Klíčovou součástí Porovnávače radiačních dávek jsou elektrické a elektromechanické komponenty, které tvoří funkční jádro zařízení. Tyto části byly již nastíněny v kapitolách 3.2.3 – Elektrická výzbroj (kromě řídicího systému) – elektrická zařízení různého určení a 3.2.4 – Řídicí systém – specializované elektrické zařízení pro zpracovávání signálů, jejich vyhodnocování a posílání zpětných signálů

Realizace elektrické části zařízení probíhá podobně jako realizace strojní části, nicméně jednotlivé fáze jsou nepatrně odlišné. Zásadní rozdíl pak představuje fakt, že většina použitých komponent se pořizuje formou již hotových modulárních výrobků, komponentů, nikoliv formou unikátní zakázkové výroby.

Pro výrobu elektrické části můžeme použít následující diagram.

IDEA → DESIGNOVÁ STUDIE → BLOKOVÁ SCHÉMATA → 2D ELEKTRICKÁ SCHÉMATA VČ. SCHÉMATA ZAPOJENÍ A EXPORTU KUSOVNÍKŮ → OBJEDNÁNÍ MATERIÁLU, SUBDODÁVEK A VÝROBA DÍLŮ → ZAPOJOVÁNÍ A MONTÁŽ ZAŘÍZENÍ → REVIZE A VÝSTUPNÍ KONTROLA → TESTOVÁNÍ

V následující části jsou rozebrány jednotlivé části diagramu. Po jejich úvodní definici a představení budou jasně představeny tak, jak vypadají pro toto konkrétní zařízení – Porovnávač radiačních dávek.

3.3.2.1 IDEA

Tato část je identická s postupem návrhu strojní části a byla již popsána v kapitole 3.3.1.1 – IDEA

3.3.2.2 DESIGNOVÁ STUDIE

Tato část je identická s postupem návrhu strojní části a byla již popsána v kapitole 3.3.1.2 – DESIGNOVÁ STUDIE

3.3.2.3 BLOKOVÁ SCHÉMATA

Poté, co je jasně stanovena myšlenka fungování zařízení, je třeba detailně rozebrat a dezintegrovat koncept zařízení na jednotlivé celky. Velmi užitečným nástrojem jsou bloková schémata, které nám značně ulehčí další práci na zařízení.

Pro Porovnávač radiačních dávek byla bloková schémata již zpracována v kapitole 3.1 – Blokové schéma zařízení.

3.3.2.4 2D ELEKTRICKÁ SCHÉMATA VČ. SCHÉMATA ZAPOJENÍ A EXPORTU KUSOVNÍKŮ

2D elektrická liniová a obvodovalá schémata představují esenciální podklady pro objednání, zapojení a montáž elektrické části zařízení. V dnešní době se nejčastěji jedná o elektronická liniově modulová schémata a následná elektronická obvodovalá schémata.

Liniově modulová schémata vycházejí z blokových schémat a celkového konceptu zařízení. Obvodovalá schémata pak vytváří používaný software s přístupem do databáze komponent. V dnešní době se již zcela výlučně vytváří elektrická schémata ve specializovaných počítačových

programech. Pro Porovnávač radiačních dávek byl použit software SOLIDWORKS Electrical Schematics, která zvládá vytvářet veškerou potřebnou dokumentaci. Software automaticky vytváří potřebné kusovníky, což značně celý výrobní proces zjednodušuje a urychluje.

3.3.2.4.1 SOLIDWORKS Electrical Schematics

SOLIDWORKS Electrical Schematics je software umožňující vytváření kompletní elektrotechnické dokumentace a výrobních podkladů. Dle slov výhradního českého distributora společnosti Dassault Systèmes společnosti Solid-Vision:

„SolidWorks Electrical je softwarové řešení nejen pro uživatele, kteří navrhují zařízení využívající elektrické rozvody pro napájení, řízení, sběr dat. SolidWorks Electrical zjednodušuje uživatelům proces návrhu elektrických obvodů, napomáhá kontrole procesu celého systému a zároveň integruje důležité aspekty elektrického rozvodu do 3D prostředí mechanické části návrhu v prostředí modelu SolidWorks. Systém představuje okamžité obousměrné propojení mezi 2D schématem a 3D daty modelu.“ [2]

Díky tomuto software je možné vytvořit kompletní a víceúrovňové podklady k elektrotechnické části zařízení před tím, než fyzicky vznikne. Na rozdíl od ručně kreslených schémat je možné dynamicky měnit a upravovat části podle potřeby. Velmi zajímavé a v tomto případě použité řešení, je vybavování použitých částí z databáze. V databázi se zpravidla nacházejí ověřené komponenty od spolehlivých dodavatelů, které se již v praxi osvědčily.

3.3.2.5 OBJEDNÁNÍ MATERIÁLU, SUBDODÁVEK A VÝROBA DÍLŮ

Elektrická schémata a kusovníky jsou v následujícím kroku postoupeny dalším profesím a externím firmám a slouží jako bezprostřední instrukce pro výrobu jednotlivých částí zařízení. V elektrické části se setkáváme téměř výhradně s dodávkami již hotových modulárních komponentů. Zakázková výroba je méně častá a setkáváme se s ní téměř výhradně u sériových výrobků, čímž zkoumané zařízení není.

Mezi tradiční elektromontážní materiál pak patří spojovací kabeláž, elektrické vodiče a s nimi spojené příslušenství, jako jsou kabelové dutinky, popisovače kabelů, kabelové žlaby, či izolační bužírky.

Hlavními činnostmi během montáže je spojování jednotlivých dílů pomocí spojovacího materiálu, kabelování a spojování elektrických komponent a popisování jednotlivých částí zařízení pro účely servisu a dokumentace.

Ke všem výše uvedeným krokům je nejvhodnější využít tzv. kusovníků, které stanoví, jaké části zařízení obsahuje. Kusovníky automaticky exportuje Solidworks Electrical Schematics.

3.3.2.6 ZAPOJOVÁNÍ A MONTÁŽ ZAŘÍZENÍ

Jen co dojde k naskladnění veškerých dílů, materiálu a komponent, ze kterých se skládá zařízení, je možné začít s montáží, zapojováním a kompletací. Vše probíhá v případě zakázkového jednorázového produktu vždy ručně, bez použití robotizace či výrobních linek. Montáž se řídí zapojovacími schématy a provádí ji kvalifikovaní elektro montážníci.

Hlavními činnostmi během elektromontáže je vybavování a kabelování rozvaděčové skříně, spojování kabelů a elektrických komponent a popisování jednotlivých částí zařízení pro účely servisu a dokumentace.

3.3.2.7 REVIZE A VÝSTUPNÍ KONTROLA

Poté, co je zařízení zkompletováno, je na něm provedena revize revizním technikem, který ověří, že zařízení odpovídá základním elektrotechnickým parametrům z hlediska provozní bezpečnosti. Po vystavení revize může začít testování.

3.3.2.8 TESTOVÁNÍ

Poté, co je zařízení smontováno, zkompletováno a je vystavena revize, dochází k ověření jeho bezchybné a bezpečné funkčnosti v prostorách výrobce. Jsou prováděny výstupní zkoušky a je ověřována reakce zařízení na mezní stavy.

4 Shrnutí teoretické části

V kapitole 2 – Požadavky na zařízení od investora, byla detailně analyzována zadávací dokumentace. Ze zadávací dokumentace se podařil jednoznačně definovat účel zařízení, požadavky na jeho funkcionalitu a požadavky na jeho vzhled.

Ze zadaných parametrů bylo vyvozeno rozdělení vyvíjeného zařízení na tři hlavní části – ovládací část, zobrazovací část a strojní část. V následné kapitole byly tyto části jasně definovány pomocí blokových schémat. V těchto schématech je popsána funkce jednotlivých bloků a tok informací mezi nimi. Slouží tak jako základní přehled o tom, jak bude dosaženo účelu, funkcionality a vzhledu zařízení, které vyžaduje investor.

Následně bylo zařízení rozděleno na základě základní technické funkčnosti jeho jednotlivých částí. Ke každému celku byla pak definována profese, která by se vývojem tohoto celku zabývala.

V závěru teoretické části byl identifikován výrobní proces jak pro stojní, tak elektrickou část zařízení.

První část bakalářské práce představuje rozsáhlou a detailní přípravu pro praktickou část, která se zabývá popisem realizace vývoje a výroby zařízení – Porovnávače radiačních dávek.

5 Výrobní specifikace zařízení

Následující část bakalářské práce se bude věnovat specifikaci a přípravě výrobních podkladů pro výrobu Porovnávače radiačních dávek.

Praktická část vychází z poznatků první části bakalářské práce, ze zkušeností z obdobných projektů a z volně dostupných materiálů, především data-listům k jednotlivým komponentům zařízení.

Příprava výrobních podkladů a specifikací je rozdělena do tří tematických částí.

- Návrh mechanicky strojní části (vč. nosných a designových prvků)
- Specifikace požadavků pro řídicí systém a výběr řídicího systému
- Návrh elektrické části

Vzhledem k tomu, že kompletní výrobní podklady představují obchodní tajemství společnosti Nuledo, bude k uveřejnění v této práci vybráno pouze několik reprezentativních dokumentů, na kterých budou dobře patrné trendy a postupy vyskytující se ve všech podkladech.

5.1 Návrh mechanicky strojní části (vč. nosných a designových prvků)

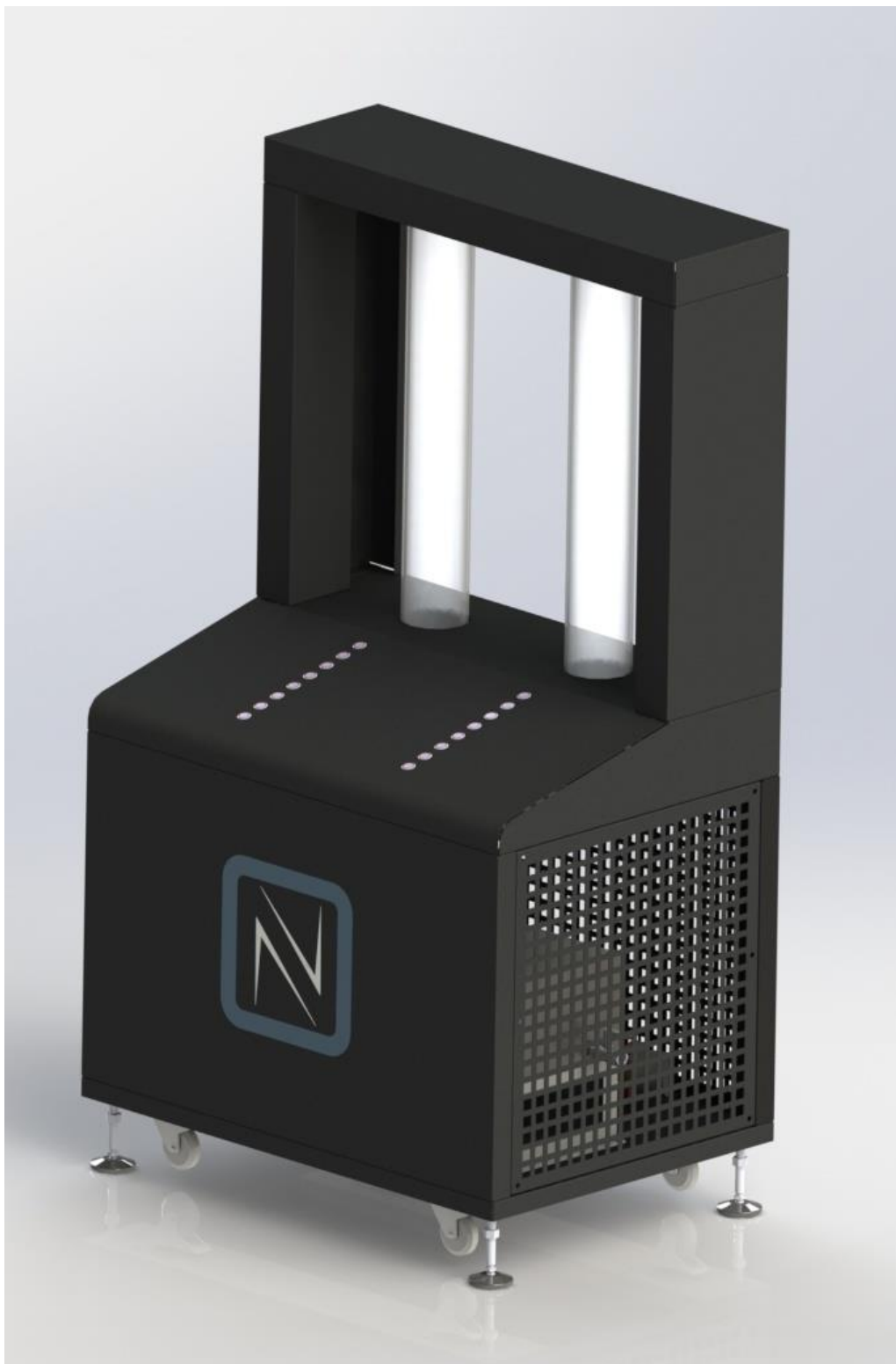
Při návrhu mechanicky strojní části bylo vycházeno především ze zkušeností a standardů, které byly v minulosti úspěšně použity u podobných zařízení.

Z důvodu požadavku na přenosnost, a přitom vysokou mechanickou pevnost, tvoří mechanické jádro zařízení hliníkový kombi systém známý pod zkratkou ITEM od německé firmy Industrietechnik und Maschinenbau GmbH [3]

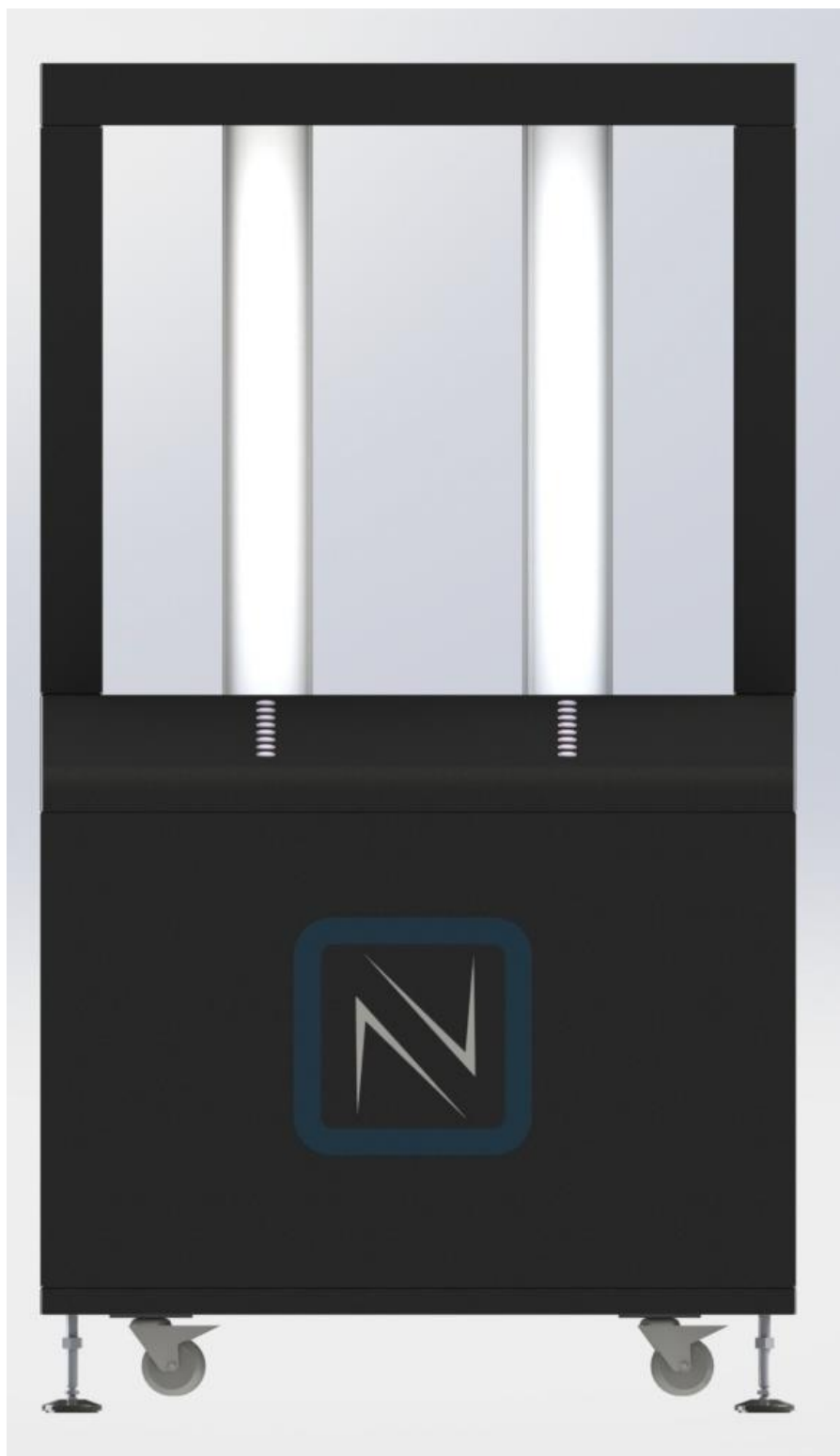
Tento systém nabízí plně modulární řešení, vyznačující se vysokou pevností a přitom lehkostí. K dispozici je více než 2500 různých komponent, které představují dostatečnou jistotu pro nalezení vhodného řešení v rámci tohoto systému. [4]

Celá mechanická konstrukce byla zpracována pomocí systému SolidWorks, jak bylo uvedeno v kapitole 3.3.1.3 – 3D MODEL.

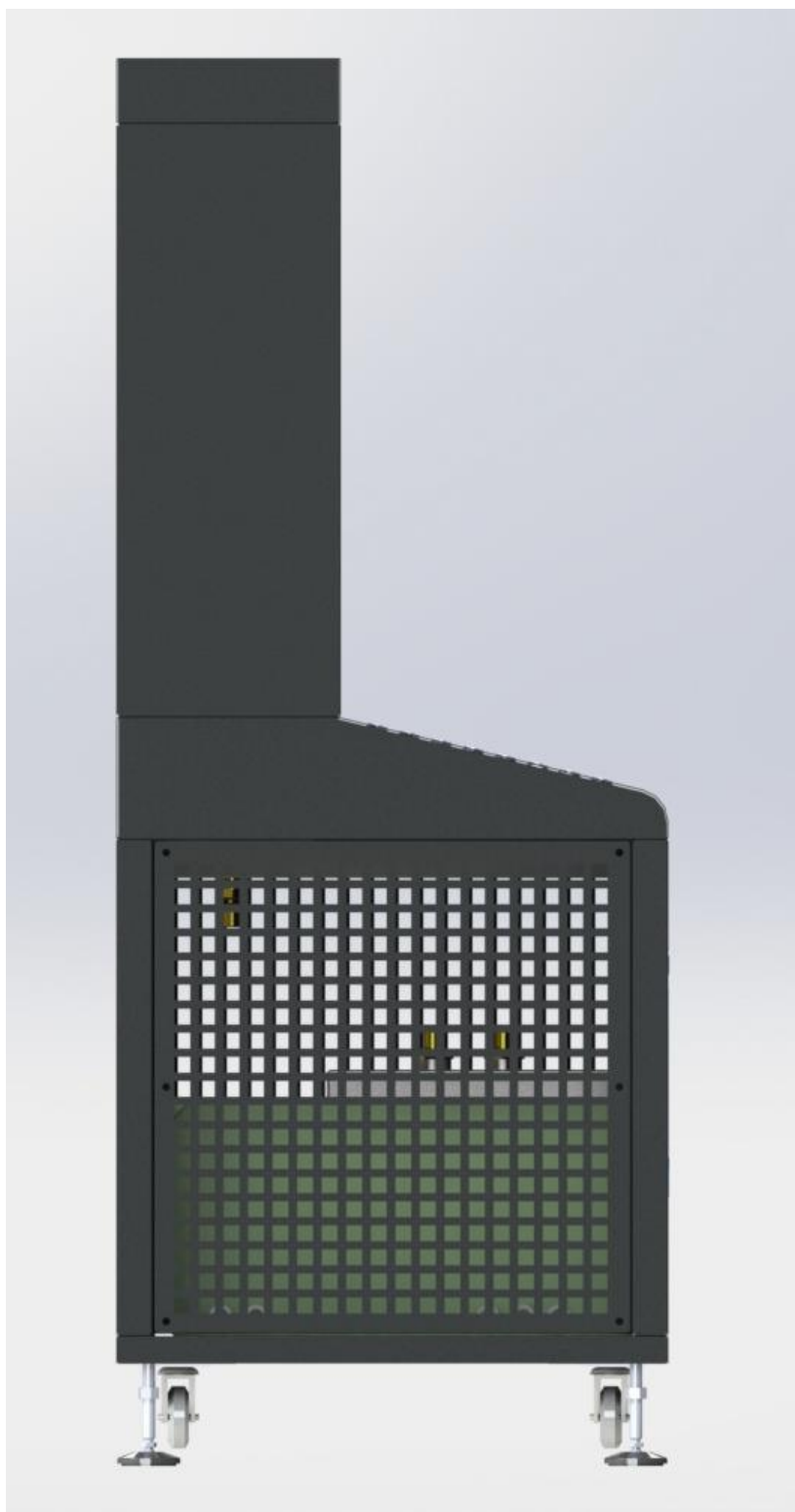
Na následujících stránkách jsou vyvedeny rendery z 3D modelu, které nejlépe demonstrují zvolené strojní zpracování produktu.



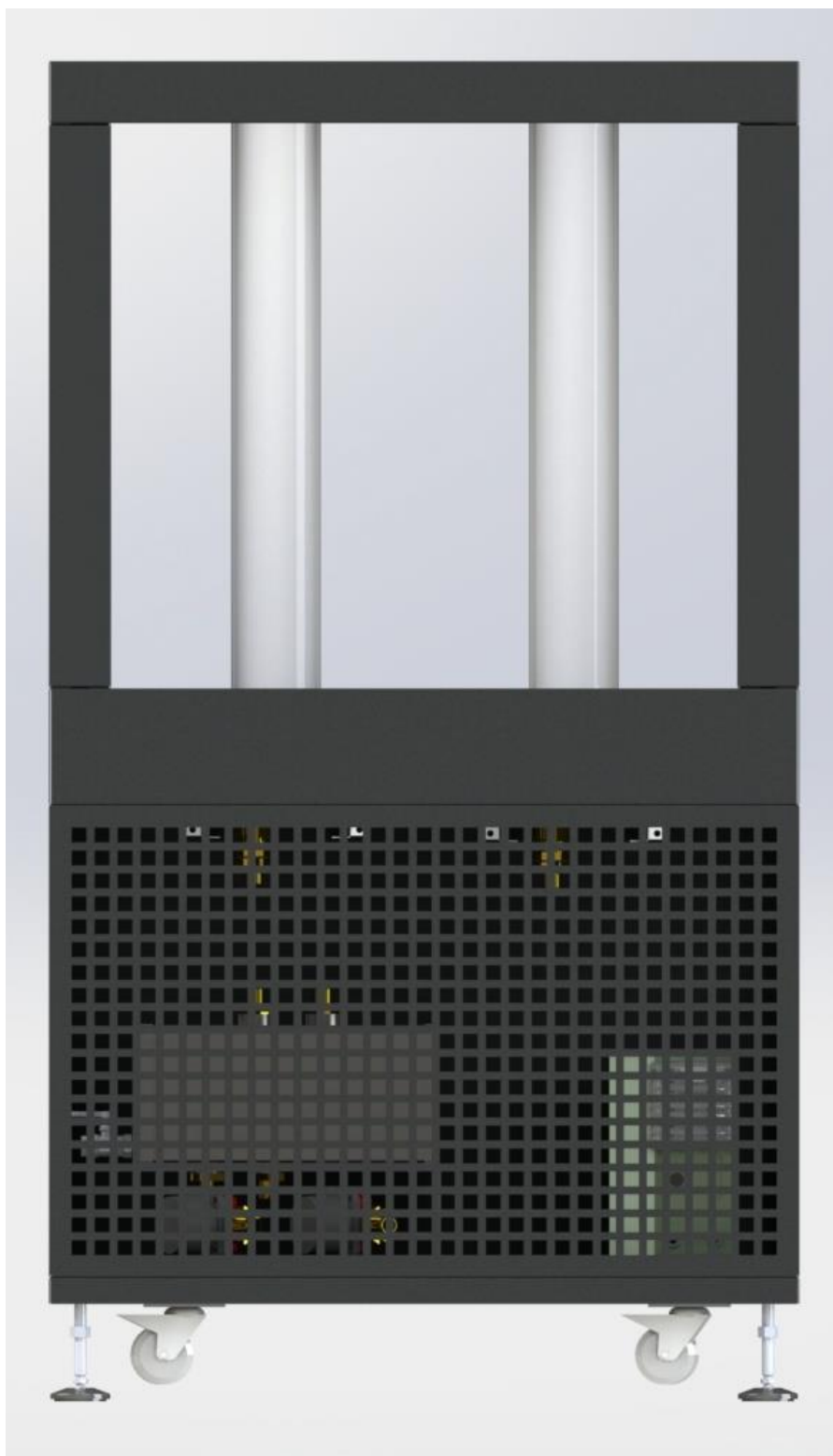
Obrázek 6 – Render z 3D modelu, izometrický pohled



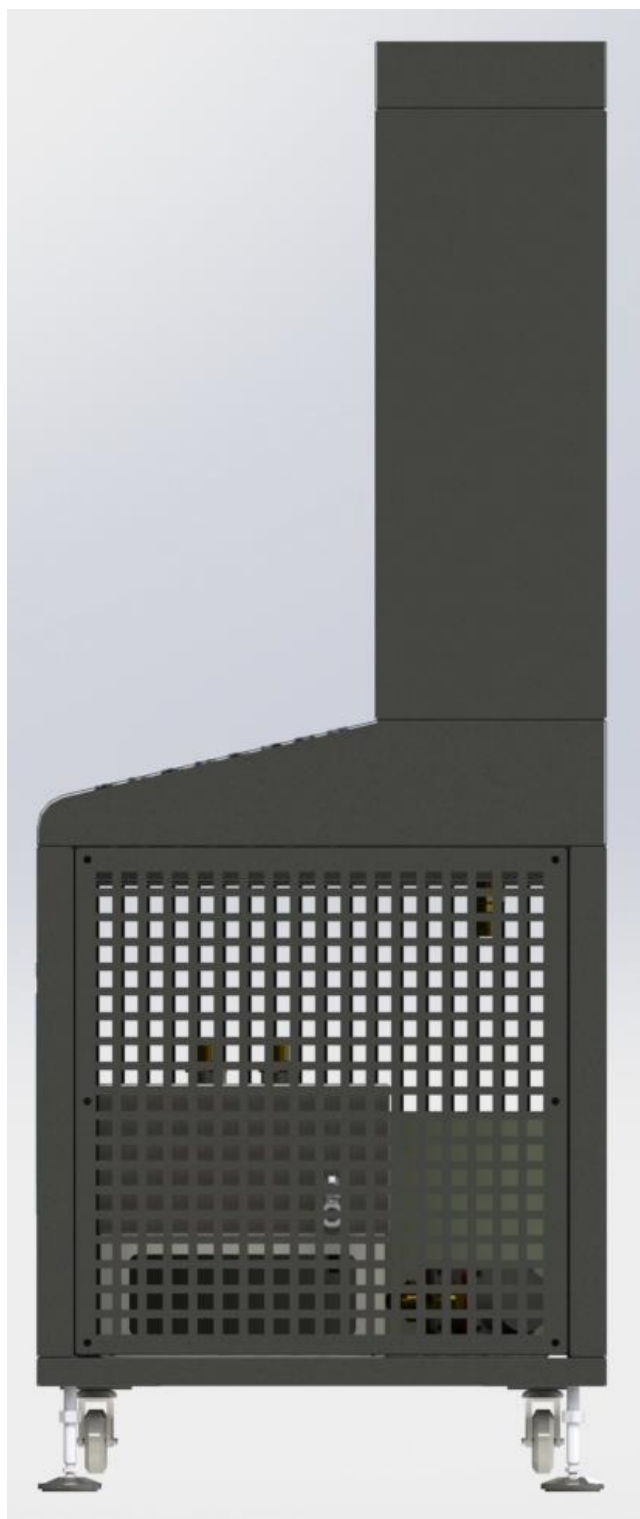
Obrázek 7 – Render z 3D modelu, přední pohled



Obrázek 8 – Render z 3D modelu, levý pohled



Obrázek 9 – Render z 3D modelu, zadní pohled



Obrázek 10 – Render z 3D modelu, pravý pohled

5.2 Specifikace požadavků pro řídicí systém

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.1 – Účel zařízení první části bakalářské práce, hlavní funkcí zařízení je vizuální reprezentace obdržené radiační dávky při různých radiačních situacích. V kapitole 2.2 – Požadavky na funkcionalitu zařízení, je uvedena hrubá představa fungování přístroje, která bude nyní detailněji rozebrána a na základě které bude specifikován vhodný řídicí systém.

Základní myšlenkou je, že návštěvník přijde k přístroji a vybere si z nabídky osmi radiačních událostí dvě, které porovná. Výběr se provádí pomocí tlačítka. Jak je patrné z blokového schématu v kapitole 3.1.1.1 – Ovládací část, každé tlačítko reprezentuje jednu radiační událost a na základě výběru se naplní příslušný vodní válec do odpovídající hladiny. Formálně jsou tlačítka rozdělena do dvou sekcí po osmi tlačítkách. Každá sekce (tedy každých osm tlačítek) je přiřazena k jednomu ze dvou vodních válců. Osazená světelná zpětná vazba (ve formě rozsvícení podsvícení tlačítka) informuje uživatele o tom, jaké tlačítko, respektive jakou radiační událost, si vybral.

Z hlediska řízení tak každé tlačítko představuje kombinovaný digitální vstup a výstup. Celkem tedy potřebujeme 16 digitálních vstupů pro mačkání tlačítek a 16 digitálních výstupů pro LED osvětlení tlačítek.

Stisk tlačítka přímo ovlivňuje následující další komponenty zařízení: LED osvětlení válců (2x), kapalinové čerpadlo (2x), elektromechanický ventil (2x).

Pokud uživatel stiskne pouze jedno tlačítko, dojde po nastavené době k vypuštění válce. Pokud uživatel stiskne i druhé tlačítko, vypustí se po určité době oba válce. Pokud uživatel aktivuje v jedné skupině jednu radiační událost, automaticky se zablokuje tatáž radiační událost v druhé skupině tlačítek.

Řídicí systém rovněž musí obsahovat bezpečnostní, startovací a testovací sekvence pro zajištění bezproblémového a bezpečného chodu přístroje.

Pro Porovnávač radiačních dávek byl konkrétní návrh řídicího systému zpracován Ondřejem Svobodou. Zabývá se jím v rámci bakalářské práce s názvem Porovnávač radiačních dávek – návrh a realizace řídicího systému [5], ze které bude následující část citována.

5.2.1 Zvolený řídicí systém [5]

5.2.1.1 Přehled elektrických zařízení

V zařízení jsou přítomna zařízení, které je potřeba specificky řídit. Jejich soupis se základními vlastnostmi a předpokládaným způsobem řízení je uveden v tabulce níže.

tab. 1: Přehled elektrických zařízení v zařízení Porovnávač radiačních dávek

Zařízení	Kusy	Řízeno přes	Napětí	Vstupy a výstupy PLC
Čerpadlo	2	Relé	24 VDC	Digitální výstup á 1x
Ventil	2	Relé	24 VDC	Digitální výstup á 1x
Perlátor	2	Neřízeno	-	-
LED světlo	2	Stmívač LED	0-10 VDC	Analogový výstup á 3x
Tlačítko	16	Přímo	24 VDC	Digitální vstup á 1x
LED tlačítka	16	Přímo	24 VDC	Digitální výstup á 1x

V tabulce tab. 1 je také ve sloupci „Vstupy a výstupy PLC“ uvedený předpokládaný typ a počet vstupů či výstupů PLC s počtem na jeden kus daného zařízení. V případě LED světla je potřeba ovládat každý barevný kanál zvlášť.

Suma minimálního počtu vstupů a výstupů PLC s rozlišením typu vstupu/výstupu je uvedena v tabulce tab. 2.

tab. 2: Přehled požadovaného počtu vstupů a výstupů PLC

Digitální vstup	Digitální výstup	Analogový výstup 0-10 V
16x	20x	6x

5.2.1.2 Konfigurace

tab. 3: Vybraná sestava základní jednotky a rozšiřujících modulů Siemens LOGO!

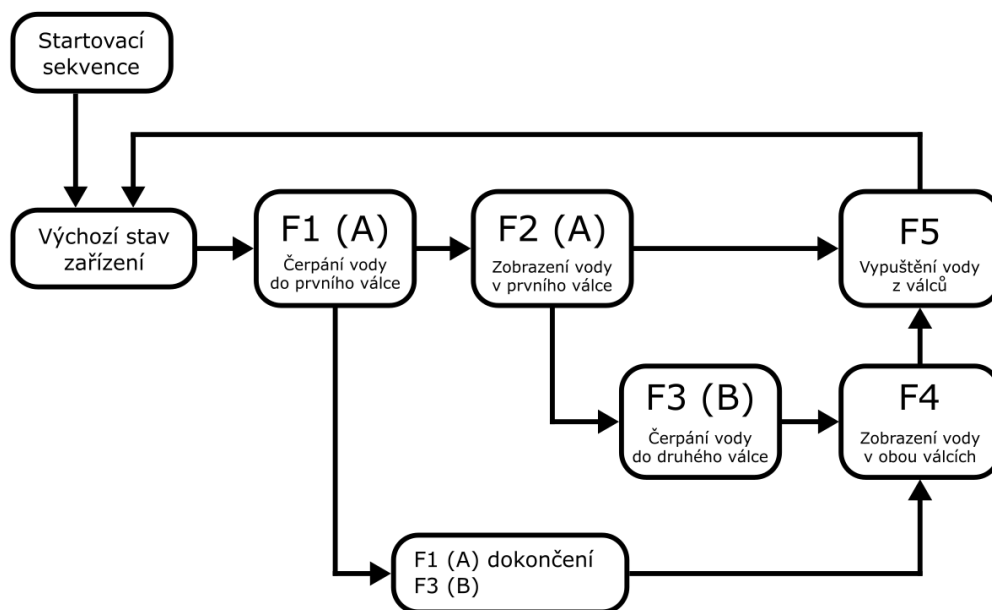
Objednací číslo	Název modulu	DI	DQ	AI	AQ	Cena
6ED1052-1CC08-0BA0	LOGO! 24CE	8x	4x	-	-	114 €
6ED1055-1CB10-0BA2	DM16 24	8x	8x	-	-	101 €
6ED1055-1CB10-0BA2	DM16 24	8x	8x	-	-	101 €
6ED1055-1MM00-0BA2	AM2 AQ	-	-	-	2x	117 €
6ED1055-1MM00-0BA2	AM2 AQ	-	-	-	2x	117 €
6ED1055-1MM00-0BA2	AM2 AQ	-	-	-	2x	117 €
Celkem		24x	20x	0x	6x	667 €

Konfigurace hardware byla provedena pro splnění známých požadavků na řízení dílčích elektrických komponent. Finální hardware představuje řídicí jednotka Siemens LOGO! 24CE, dva rozšiřující moduly digitálních vstupů a výstupů Siemens LOGO! DM16 a tři rozšiřující moduly analogových výstupů Siemens LOGO! AM2.

Po ekonomickém zhodnocení a po přihlédnutí k dalším podmínkám byl pro realizaci zvolen systém Siemens LOGO! v konfiguraci popsané v tabulce.

5.2.1.3 Popis chování systému

Jednotlivé fáze jsou propojeny dle diagramu, viz Obrázek 11. Pro zjednodušení je v této kapitole předpokládáno, že válec A je určen podle toho, z jakého sloupce je první stisknuté tlačítko; druhý válec je v takovém případě určen jako válec B.



Obrázek 11 – Diagram popisující sled jednotlivých fází

5.2.1.3.1 Startovací sekvence

Startovací sekvence slouží k uvedení zařízení do provozu, zároveň jako testovací sekvence a zajišťuje připravenost zařízení na standardní funkční režim. Startovací sekvence zajišťuje i bezpečné obnovení provozu zařízení při výpadku napájení.

5.2.1.3.2 Výchozí stav zařízení

Výchozí stav zařízení popisuje základní stav zapnutého zařízení (po ukončení startovací sekvence), ve kterém je očekáván vstup uživatele. Tímto vstupem je stisknutí libovolného tlačítka, jiné možnosti vstupu zařízení nenabízí.

5.2.1.3.3 Fáze 1: Čerpání vody do prvního válce po stisku prvního tlačítka

Po stisknutí libovolného tlačítka ve výchozím stavu zařízení je načerpáno příslušné množství vody do příslušného válce. Válec, a tím i ventil a čerpadlo, je určen podle toho, z jakého sloupce bylo stlačeno tlačítko. Příslušné množství vody je určeno předem definovanou dobou spuštění čerpadla, které odpovídá reprezentaci dané radiační dávky. LED osvětlení zůstává po dobu čerpání stále vypnuté. Ihned po stisku tlačítka je omezena registrace dalších stisků vybraných tlačítek, konkrétně je ignorováno stisknutí libovolného tlačítka ve stejném sloupci, z kterého je již stisknuté tlačítko. Podsvícení tlačítek je změněno, stisknuté tlačítko po dobu čerpání vody bliká, zatímco ostatní tlačítka ve stejném sloupci zhasnou; všechna tlačítka v druhém sloupci zůstávají podsvícená beze změny.

5.2.1.3.4 Fáze 2: Zobrazení vody v prvním válci

Po načerpání vody do jednoho válce je zapnuto LED osvětlení příslušného válce, jehož barva je určena předem definovaným ovládním stmívače LED; barva odpovídá reprezentaci dané radiační dávky. Zároveň je spuštěn časovač, kdy po uplynutí určité doby a pokud nedojde ke stisku neignorovaného tlačítka, dojde k vypuštění válce, tedy přeskočí se fáze 3 a 4. Podsvícení tlačítka zůstává stejné jako ve fázi 1, kromě toho, že stisknuté tlačítko ve fázi 1 je nyní podsvícené trvale, nikoliv přerušovaně. Ignorace stisků tlačítek zůstává stejná jako ve fázi 1.

5.2.1.3.5 Fáze 3: Čerpání vody do druhého válce po stisku druhého tlačítka

Po stisknutí neignorovaného tlačítka ve fázi 1 nebo ve fázi 2 je načerpáno příslušné množství vody do příslušného válce. Válec, a tím i ventil a čerpadlo, je určen podle toho, z jakého sloupce bylo stlačeno tlačítko. Příslušné množství vody je určeno předem definovanou dobou spuštění čerpadla, které odpovídá reprezentaci dané radiační dávky. LED osvětlení zůstává po dobu čerpání stále vypnuté. Ihned po stisku tlačítka je omezena registrace dalších stisků všech tlačítek. Podsvícení tlačítek je změněno, stisknuté tlačítko po dobu čerpání vody bliká, zatímco ostatní tlačítka ve stejném sloupci zhasnou.

5.2.1.3.6 Fáze 4: Zobrazení vody v obou válcích

Po načerpání vody i do druhého válce je zapnuto jeho LED osvětlení, jehož barva je také určena předem definovaným ovládním stmívače LED; barva odpovídá reprezentaci dané radiační dávky. Zároveň je spuštěn časovač, po jehož uplynutí dojde k vypuštění válce. Jsou ignorována stisky všech tlačítek, přičemž podsvícená jsou pouze dvě dříve stisknutá tlačítka.

5.2.1.3.7 Fáze 5: Vypuštění vody z válců

Tato fáze popisuje vypuštění vody z jednoho, nebo z obou válců. Na bezpečně dlouhou dobu jsou otevřeny výpustní ventily. Bezpečně dlouhá doba je definována v systému pro každou úroveň napuštění válce, přičemž se použije nejdelší doba z předdefinovaných bezpečnostních dob vypuštění pro oba válce. LED osvětlení obou válců je v této fázi vypnuto. Všechna tlačítka jsou ignorována a podsvícení všech tlačítek je vypnuto.¹

5.3 Návrh elektrické části zařízení

Návrh elektrické části vychází především ze zadání investora, které bylo rozebráno v kapitole 2 – Požadavky na zařízení od investora, a z následného rozboru v kapitole 3.1 –Blokové schéma zařízení.

5.3.1 Použité komponenty

Pro Porovnávač radiačních dávek byly vybrány komponenty popsané v příloze 10.1 – Kusovník, formou standardizovaného kusovníku, který sumarizuje použité elektro komponenty. V následující části práce budou okomentovány klíčové komponenty.

5.3.1.1 Ovládací tlačítka

Vzhledem k velkému množství osob, které budou zařízení používat, bylo nutné použít tlačítka v provedení tzv. anti-vandal. Tyto tlačítka jsou kompletně prachotěsná a parotěsná. Rovněž jsou vyráběny z kvalitní nerezové tvrzené oceli, která zajišťuje mechanickou odolnost. Potřebná životnost byla stanovena na 50 000 000 stisknutí. V současnosti jediná tlačítka, která tyto parametry splňují, pracují na tzv. piezoelektrickém principu. Vyznačující se vysokou spolehlivostí a nízkým opotřebením, a proto byla do zařízení zvolena

5.3.1.2 Čerpadla

Hlavním požadavkem na čerpadla byl spolehlivý samonasávací chod, kombinovaný s dostatečnou průtokovou kapacitou. Na základě pokynů investora byla stanovena čerpací kapacita na 50l/minutu. Při takové kapacitě trvá naplnění jednoho sloupce cca 15 sekund, což je dostatečně malý čas pro udržení pozornosti návštěvníka.

¹ Konec citování z [5]

5.3.1.3 Řídicí systém

Jednou z nejdůležitějších komponent je PLC, které celé zařízení řídí. Pro zařízení byl vybrán systém LOGO! od firmy Siemens. Jeho konkrétním naddimenzováním a výběrem komponent se zabývá bakalářská práce Ondřeje Svobody – Porovnávač radiačních dávek – návrh a realizace řídicího systému [5], a proto nebude blíže v této práci rozebírán.

5.3.1.4 Ostatní komponenty

Veškeré zbylé komponenty, které jsou vidět v příložených schématech a kusovnících, tvoří průmyslové standardní součástky, jako jsou například svorky, lišty, žlaby, napěťové zdroje, jističe. Jejich parametry jsou určeny příslušnými normami a konkrétní výběr závisí především na ceně, dostupnosti a předchozích zkušenostech výrobce zařízení.

5.3.2 Liniová a obvodová schémata

Bloková schémata z kapitoly 3.1 – Blokové schéma zařízení, byla přetavena do liniových schémat, které jsou následně přetaveny pro montážní a zapojovací účely do obvodových schémat.

Liniová schémata v příloze 10.2 – Liniová schémata, byla kreslena pomocí softwaru SolidWorks Electrical Schematics, který byl popsán v kapitole 3.3.2.4.1 – SOLIDWORKS Electrical Schematics. Jsou kresleny záměrně bez ohledu na prostorové umístění a mechanické vazby jejich prvků. Ke každému komponentu je přiřazeno označení a vhodná fotografie, která značně usnadňuje orientaci při montáži zařízení.

Vybraná obvodová schémata jsou ukázána v příloze 10.3 – Vybraná obvodová schémata. Vzhledem k tomu, že kompletní dokumentace představuje obchodní tajemství společnosti Nuledo s.r.o., byly vybrány pouze reprezentativní části dokumentace, které jasně ukazují podobu ostatních podkladů.

5.4 Ověření funkčnosti zařízení – testování zařízení

Následující kapitola se zabývá prvotním testováním sestaveného zařízení. V této kapitole bude nastíněn návrh testovacího procesu, samotný popis testování a závěry vyplývající z provedeného testování.

5.4.1 Návrh testovacího procesu

Při návrhu testovacího procesu je třeba nejprve zhodnotit v jakých podmínkách bude daný stroj pracovat a jakým akcím, ze strany uživatele, může být vystaven. Tato kapitola se nebude zabývat testováním z hlediska elektrotechnické bezpečnosti, jelikož z tohoto pohledu je zařízení testováno a schváleno v rámci revize, které se tato bakalářské práce nevěnuje.

Ve případě Porovnávače radiačních dávek se jedná o zařízení, které bude vystaveno ve veřejně přístupné expozici, určené pro děti od 12 let.

Musíme se tedy zaměřit na dva módy testování. První je nečekané chování napájecí sítě či náhodné vypojení z přívodu elektrické energie, druhé, na co se je třeba se zaměřit je, jak se stroj vyrovná s nesprávným ovládním ze strany obsluhy.

Vzhledem k tomu, že zařízení budou využívat nezaškolení návštěvníci, je nutné počítat s tím, že bude docházet k naprosto libovolnému mačkání tlačítek i v rozporu se smyslem zařízení. Řídicí systém si s tím musí poradit a situaci správně vyhodnotit. Z tohoto hlediska byly navrženy tyto testy:

- Mačkání více tlačítek najednou v jedné i obou sekcích
- Mačkání více tlačítek postupně v jedné i obou sekcích
- Vícenásobné mačkání toho samého tlačítka
- Držení stisknutého tlačítka
- Držení více tlačítek najednou v jedné i druhé sekci
- Mačkání tlačítek během vypouštění válců

Z hlediska výpadku proudu sítě je pak potřeba ověřit, zda válce, které budou naplněné, nepřetečou. Je třeba provést jednoduchý test:

- Odpojení zařízení z napájecí sítě v momentu, kdy je ve válcích voda

Testování probíhá dle předem připraveného testovacího postupu, který postupně rozebírá veškeré výše uvedené situace. Osoba pověřená testováním prochází jednotlivými pokyny testovacího protokolu a zaznamenává výsledky.

5.4.2 Testovací protokol

Testovací protokol a průběh testování je vidět v příloze 10.4 – Testovací protokol

Jak je z něj vidět, přístroj si korektně poradil se všemi eventualitami. Drtivá většina situací je ošetřena softwarově v rámci řídicího systému, či vhodným konstrukčním uspořádáním přístroje.

Přístroj je tak možné prohlásit za funkční a plně připravený na dodání zákazníkovi.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout zařízení Porovnávač radiačních dávek, který bude umístěn ve veřejně přístupném výstavním prostoru. Bakalářská práce měla za cíl se nejprve seznámit s požadavky od investora a důsledně je analyzovat. Tomu se věnuje bakalářská práce v první části, konkrétně v kapitole 2.

Druhým bodem zadání bylo navržení koncepce samotného zařízení a jeho fungování, čemuž byly věnovány kapitoly 3 a 5.

Zvláštní pozornost je věnována elektrickému a strojnímu návrhu zařízení, které je detailně rozebráno v praktické části, konkrétně v kapitolách 5.1 a 5.3. Jádrem posledního bodu pak tvoří elektrická schémata, umístěná v přílohách 10.2 a 10.3.

Součástí Porovnávače radiačních dávek je i komplexní řídicí systém, který zajišťuje funkci celého zařízení. Práce měla rovněž za cíl připravit požadavky na tento řídicí systém a citovat výsledky práce, kterou vytvořil spolupracující kolega, který se vývojem řídicího systému zabýval. Tato problematika je rozebrána v kapitole 5.2.

V neposlední řadě bylo pak celé řešení otestováno a proběhla výstupní kontrola funkčnosti zařízení, což popisuje v samém závěru práce kapitola 5.4.

Cíl bakalářské práce byl dosažen a zadání bylo úspěšně splněno ve všech bodech. Zvolené postupy pro vývoj a výrobu Porovnávače radiačních dávek se ukázaly jako správné a efektivní. Návrh zařízení vychází z obecně uznávaných průmyslových standardů a používá komponenty, které se v praxi již osvědčily. Během vývoje zařízení se ukázala velká síla a efektivita moderních inženýrských softwarů jako je SolidWorks 3D CAD a Solidworks Electrical Schematics, které značně celou práci zjednodušily a umožnily odstranit desítky chyb před tím, než bylo samotné zařízení smontováno. To umožnilo snížit časovou náročnost projektu a zároveň se vyvarovat zbytečným nákladům.

Je nutné zmínit také velký přínos práce kolegy Ondřeje Svobody, který se zabýval vývojem a programováním řídicího systému, který tvoří jádro zařízení. Díky zvolené implementaci moderního průmyslového počítače značky Siemens bylo možné veškeré chyby odhalit již během softwarových simulací a simulací typu bread-board. Díky tomu se během testování neobjevilo žádné neočekávané chování systému a bylo možné zařízení předat k instalaci do finální destinace.

Jednoznačně nejzajímavější možností, jak na tuto bakalářskou práci navázat, je dlouhodobé sledování využití Porovnávače radiačních dávek v provozu. Především by bylo dobré se zaměřit na zpětnou vazbu uživatelů, návštěvníků výstavních prostor, kde bude zařízení umístěno.

Takové téma však spadá spíše do oblastí didaktiky fyziky či sociologie a nebylo možné, i z časových důvodů, se v této práci touto problematikou zabývat. Dozajista je však možné, že na základě výsledků takovéto navazující práce by byl design zařízení upraven, aby ještě lépe demonstroval jevy z oblasti jaderné fyziky a radiační ochrany a fungoval ještě spolehlivěji a intuitivněji.

7 Zdroje

- [1] SOLIDVISION S.R.O. *SolidWorks - komplexní nástroj pro 3D CAD navrhování | SolidVision* [online]. 2018 [vid. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/solidworks/>
- [2] SOLIDVISION S.R.O. *SolidWorks Electrical - 2D a 3D návrh elektrických obvodů a rozvodů | SolidVision* [online]. 2018 [vid. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/solidworks-electrical/>
- [3] INDUSTRIETECHNIK GMBH. *item MB Building Kit System: aluprofiles factory equipment engineering - item* [online]. 2018 [vid. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.item24.de/en/productworld/building-kit-system.html>
- [4] INDUSTRIETECHNIK GMBH. *item Industrietechnik – Aluminiumprofile (Aluprofile) & Linearführung - item* [online]. 2018 [vid. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.item24.de/index.html>
- [5] ONDŘEJ SVOBODA. *Porovnávač radiačních dávek – návrh a realizace řídicího systému*. Praha, 2018. bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [6] KOBRLE, Pavel, Jiří PAVELKA, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA. *Elektrické pohony a jejich řízení*. 2016. ISBN 978-80-01-06007-0.
- [7] CIPRA, Mirko, Michal KRÍŽ, Vladimír KŮLA, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA. *Elektrotechnická kvalifikace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04813-9.
- [8] ING. IVANA LINKELOVÁ, PH.D. a DOC. ING. FRANTIŠEK NOVÁK, CSC. *Elektrotechnická schémata a zařízení, desky s plošnými spoji*. In: Praha. 2004.
- [9] DOC. ING. VÁCLAV VRÁNA, CSC. *NORMY A TECHNICKÁ DOKUMENTACE V ELEKTROTECHNICE*. B.m.: VŠB-TUO, FEI. 2007
- [10] DUDORKIN, Jiří, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA. *Systémové inženýrství a rozhodování*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 978-80-01-02737-0.
- [11] JUDR. ZBYNĚK URBAN. *Úloha dokumentace v elektrotechnice*. *Časopis elektro*. nedatováno, **2011**(3).
- [12] JOSEF RÝMUS. *Uplatnění technických norem v malých a středních strojírenských firmách*. B.m.: Česká společnost pro technickou normalizaci. 2008

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Porovnávač radiačních dávek, umělecká představa, rozměrová rozvaha	11
Obrázek 2 – Porovnávač radiačních dávek, umělecká představa, přední pohled.....	12
Obrázek 3 – Porovnávač radiačních dávek, umělecká představa, izometrický pohled a pohled shora	13
Obrázek 4 – Hlavní blokové schéma zařízení.....	14
Obrázek 5 – Blokové schéma ovládací části zařízení	16
Obrázek 6 – Render z 3D modelu, izometrický pohled	27
Obrázek 7 – Render z 3D modelu, přední pohled.....	28
Obrázek 8 – Render z 3D modelu, levý pohled	29
Obrázek 9 – Render z 3D modelu, zadní pohled	30
Obrázek 10 – Render z 3D modelu, pravý pohled	31
Obrázek 11 – Diagram popisující sled jednotlivých fází	34

9 Seznam příloh

10	Přílohy	42
10.1	Kusovník.....	42
10.2	Liniová schémata	45
10.3	Vybraná obvodová schémata	50
10.4	Testovací protokol	55

10 Přílohy

10.1 Kusovník

+MF

Značka	strana, sloupec, řádek	Popis
-M1	/6/A	Čerpadlo samonasávací
-M2	/6/C	Čerpadlo samonasávací
-M3	/6/A	Vzduchovací motorek
-M4	/7/A	Vzduchovací motorek
-S1	/5/A - 10/2/D - 11/2/B	Piezoelektrické tlačítko
-S10	/4/D - 10/6/C - 11/8/B	Piezoelektrické tlačítko
-S11	/2/D - 10/6/D - 11/8/B	Piezoelektrické tlačítko
-S12	/1/D - 10/6/C - 11/9/B	Piezoelektrické tlačítko
-S13	/1/E - 10/6/D - 11/2/E	Piezoelektrické tlačítko
-S14	/2/E - 10/7/C - 11/3/E	Piezoelektrické tlačítko
-S15	/4/E - 10/7/D - 11/3/E	Piezoelektrické tlačítko
-S16	/5/E - 10/7/C - 11/4/E	Piezoelektrické tlačítko
-S2	/4/A - 10/2/C - 11/3/B	Piezoelektrické tlačítko
-S3	/2/A - 10/3/D - 11/3/B	Piezoelektrické tlačítko
-S4	/1/A - 10/3/C - 11/4/B	Piezoelektrické tlačítko
-S5	/1/C - 10/3/D - 11/5/B	Piezoelektrické tlačítko
-S6	/2/C - 10/3/C - 11/6/B	Piezoelektrické tlačítko
-S7	/4/C - 10/4/D - 11/6/B	Piezoelektrické tlačítko

-> +MF

Značka	strana, sloupec, řádek	Popis
-S8	/5/C - 10/4/C - 11/7/B	Piezoelektrické tlačítko
-S9	/5/D - 10/5/D - 11/7/B	Piezoelektrické tlačítko
-YK1	/5/D	ELMG solenoidový ventil
-YK2	/5/E	ELMG solenoidový ventil

+RA1

Značka	strana, sloupec, řádek	Popis
+RA1	'//	ŽLAB 80X25 Lišta DIN
-BST1	/2/C - /3/F	Termostat k vent.
-FA1	/3/D	Jistič 4A/ B
-FA2	/3/A	Miniature circuit breaker - 1P - 20A - B curve Double terminal
-FA3	/3/C	Miniature circuit breaker - 1P - 20A - B curve Double terminal
-FA4	/1/C	Jistič 10A/C
-FA5	/5/C	Jistič 4A/ B
-G1	/3/C	DC-DC měnič 15 W 12 VDC
-J8	/8/D	Koncová spona
-K1	11/4/E - /4/A - /8/A	Polovodičové relé
-K2	11/5/E - /4/C - /8/C	Polovodičové relé
-K3	11/5/E - /8/D - /4/D	Polovodičové relé
-K4	11/6/E - /8/E - /4/E	Polovodičové relé
-MW1	/4/F	Ventilátor ALFA ELECTRIC ALFAA524BPB
-P1-A1	09/1/E - 10/2/F - 11/2/D	LOGO 24CE/24CEo

Nuledo s.r.o.

Porovnávač radiačních dávek

Radiation dose comparator

Nuledo s.r.o. kusovník

Bill Of Materials from Nuledo s.r.o.

0	09.05.2018		
REV.			
			Kresleno dne: 10. 5. 2018

Revize

0

Schéma

14

+RA1

Značka	strana, sloupec, řádek	Popis	
-P1-A2	09/3/E - /7/C - 10/5/F - 11/5/D	LOGO DM16 24	
-P1-A3	09/4/E - 11/2/F	LOGO DM16 24	
-P1-A4	09/6/E - 12/2/F	LOGO AM2 AQ	
-P1-A5	09/7/E - 12/5/F	LOGO AM2 AQ	
-P1-A6	09/9/E - 12/7/F	LOGO AM2 AQ	
-PWM1	12/2/C - /4/B	LED strnívač RGB	
-PWM2	12/5/C - /4/A	LED strnívač RGB	

Nuledo s.r.o.

Porovnávač radiačních dávek

Radiation dose comparator

Nuledo s.r.o. kusovník

Bill Of Materials from Nuledo s.r.o.

0	14.05.2018		
REV.			
			Kresleno dne: 10. 5. 2018

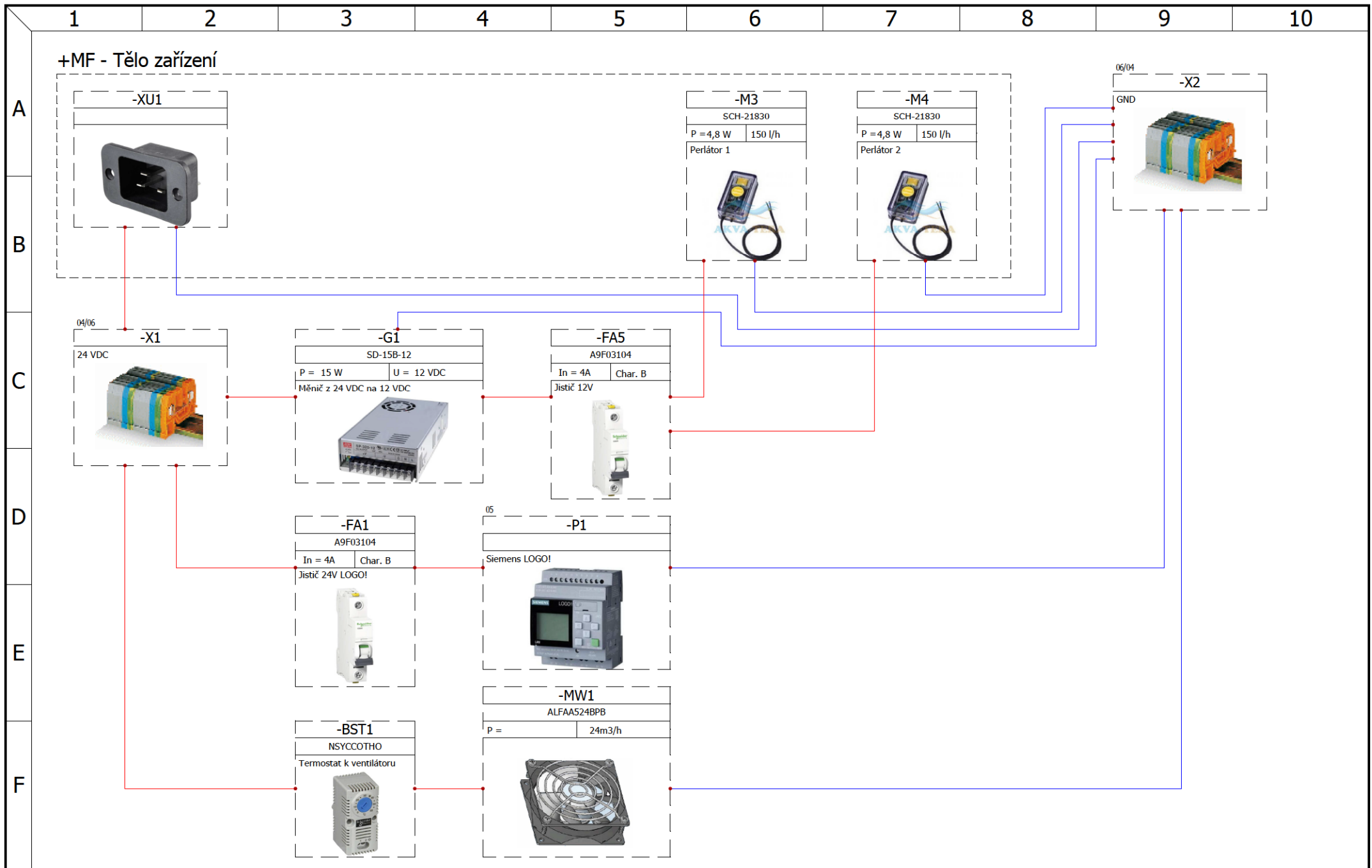
Revize

0

Schéma

15

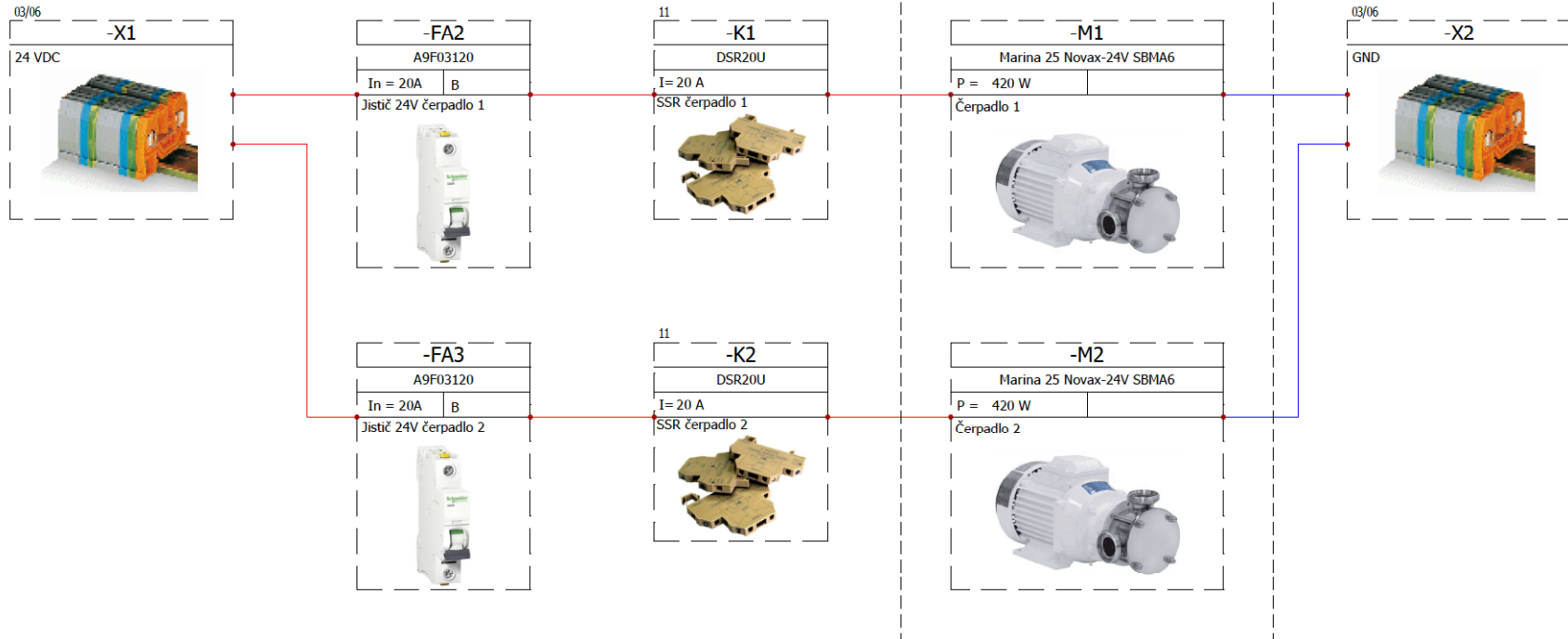
10.2 Liniová schémata

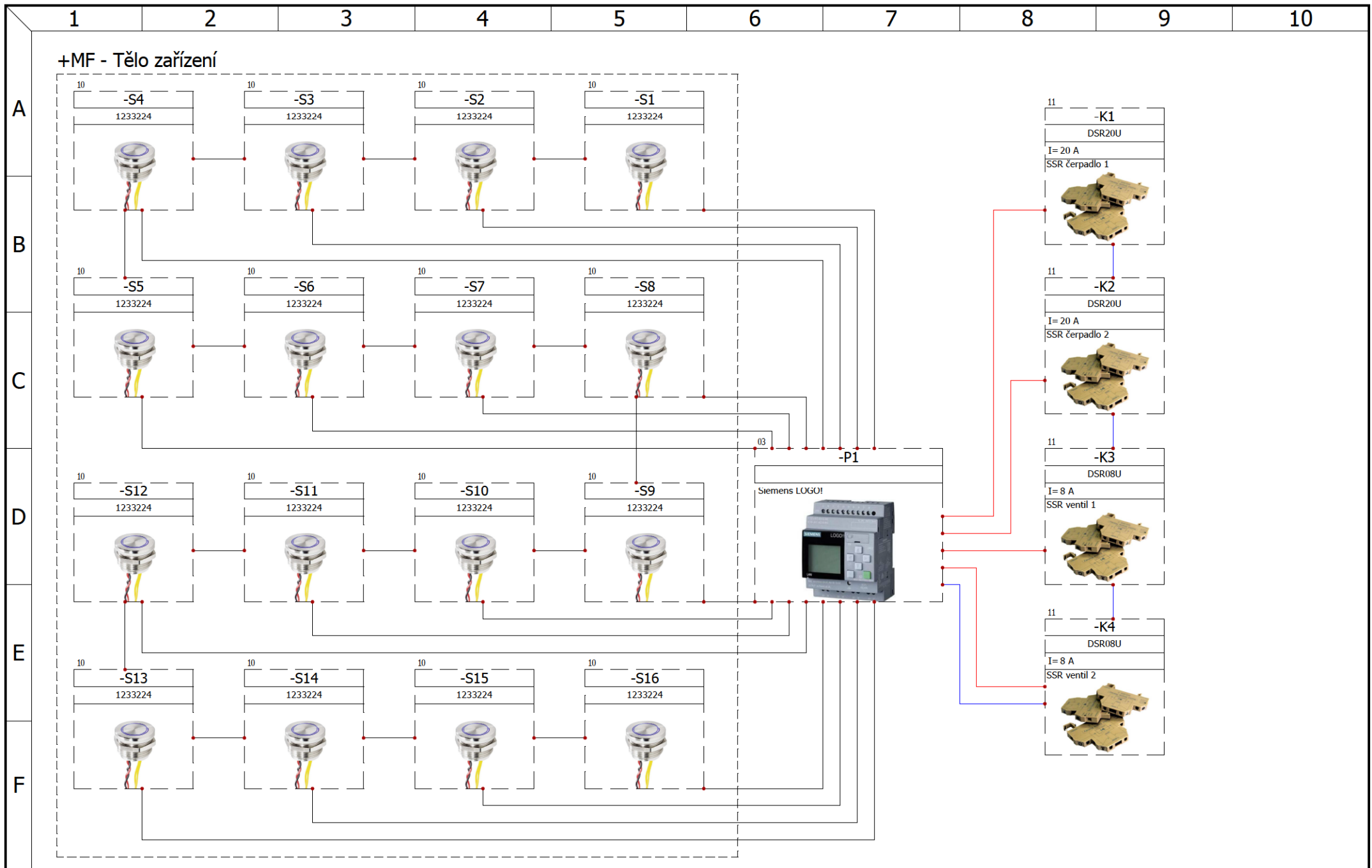


1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A
B
C
D
E
F

+MF - Tělo zařízení

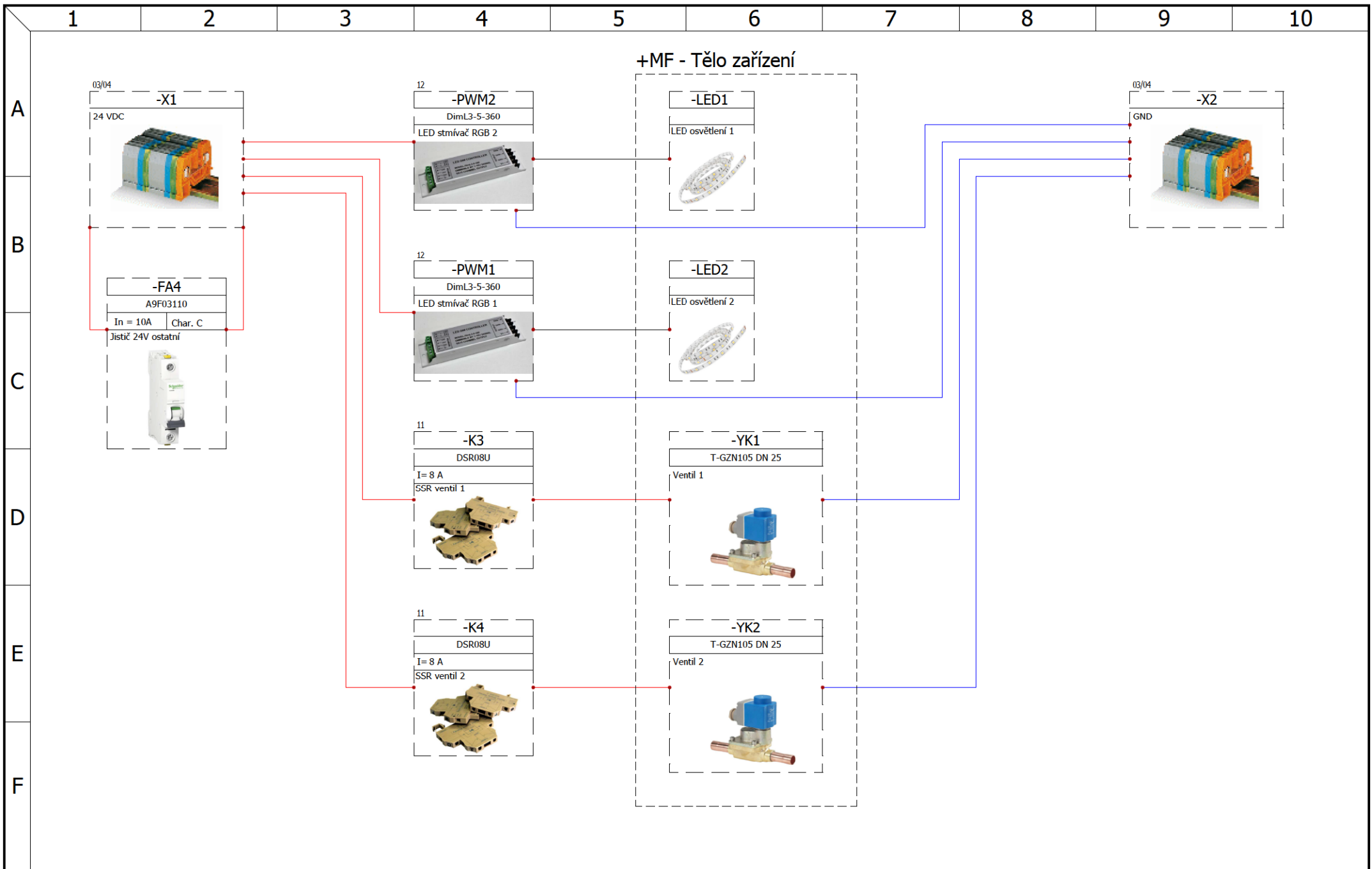




Nuledo s.r.o.

Porovnávač radiačních dávek
 Radiation dose comparator
 Tlačítka, SSR
 Buttons, SSR

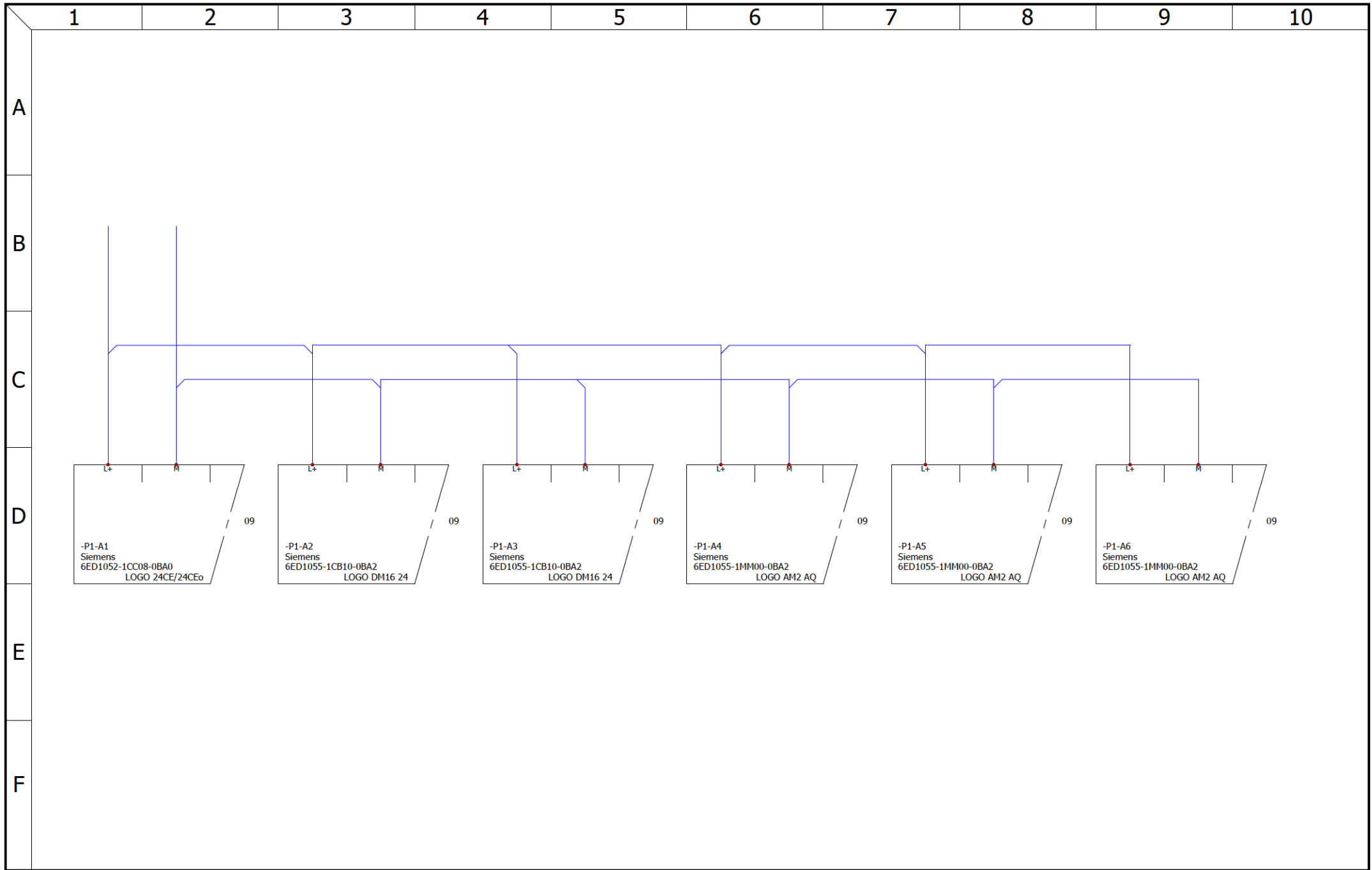
				0
0	09.05.2018			
REV.				
Kresleno dne: 10. 5. 2018				05



+MF - Tělo zařízení

				0
0	11.05.2018			
REV.				
Kresleno dne: 10. 5. 2018				06

10.3 Vybraná obvodová schémata



Nuledo s.r.o.

Porovnávač radiačních dávek
 Radiation dose comparator
 LOGO napájení

				0
0	09.05.2018			
REV.				
			Kresleno dne: 10. 5. 2018	09

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A

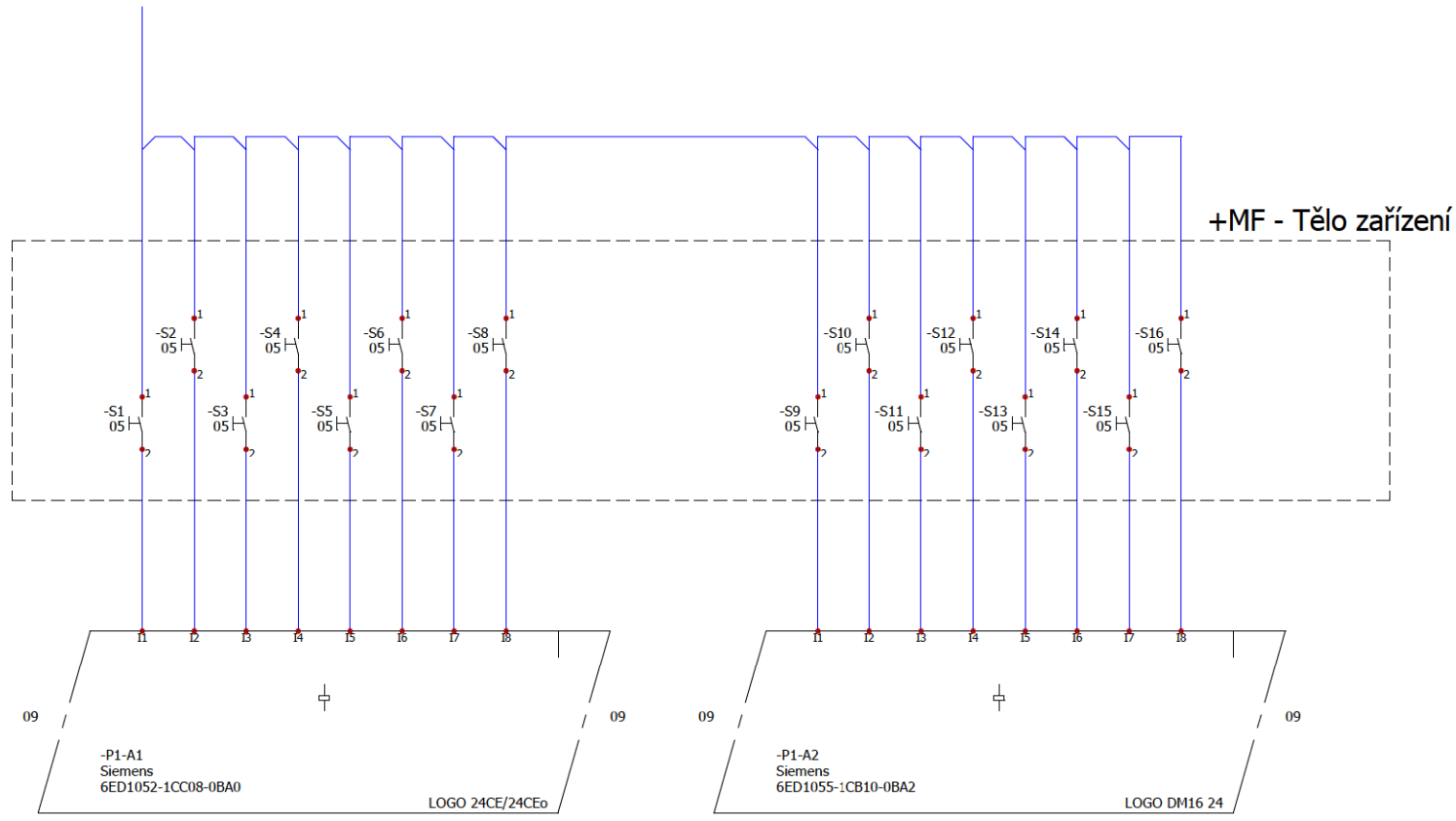
B

C

D

E

F



Nuledo s.r.o.

Porovnávač radiačních dávek

Radiation dose comparator

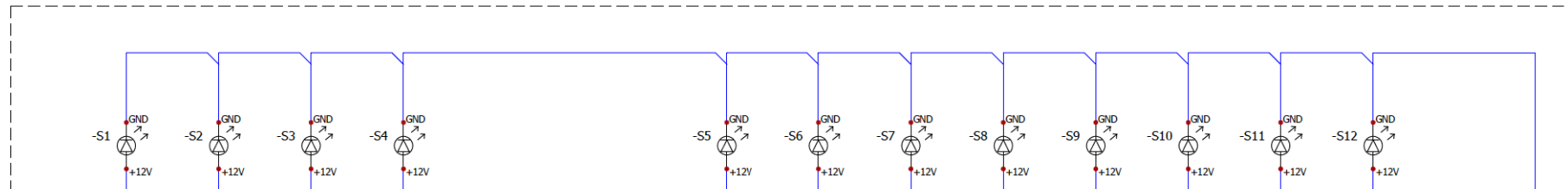
LOGO DI

LOGO DI

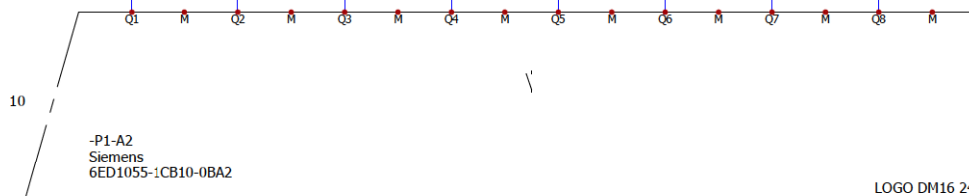
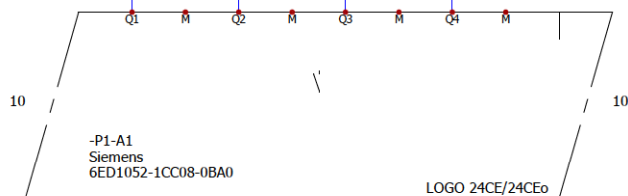
				0
0	09.05.2018			
REV.				
Kresleno dne: 10. 5. 2018				10

A

+MF - Tělo zařízení



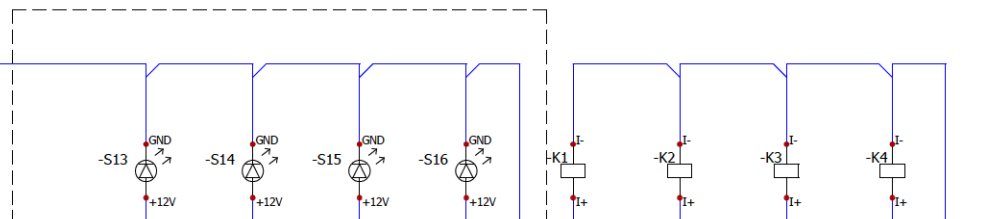
B



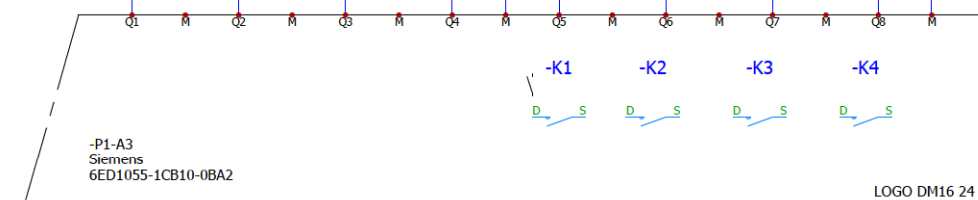
C

D

+MF - Tělo zařízení

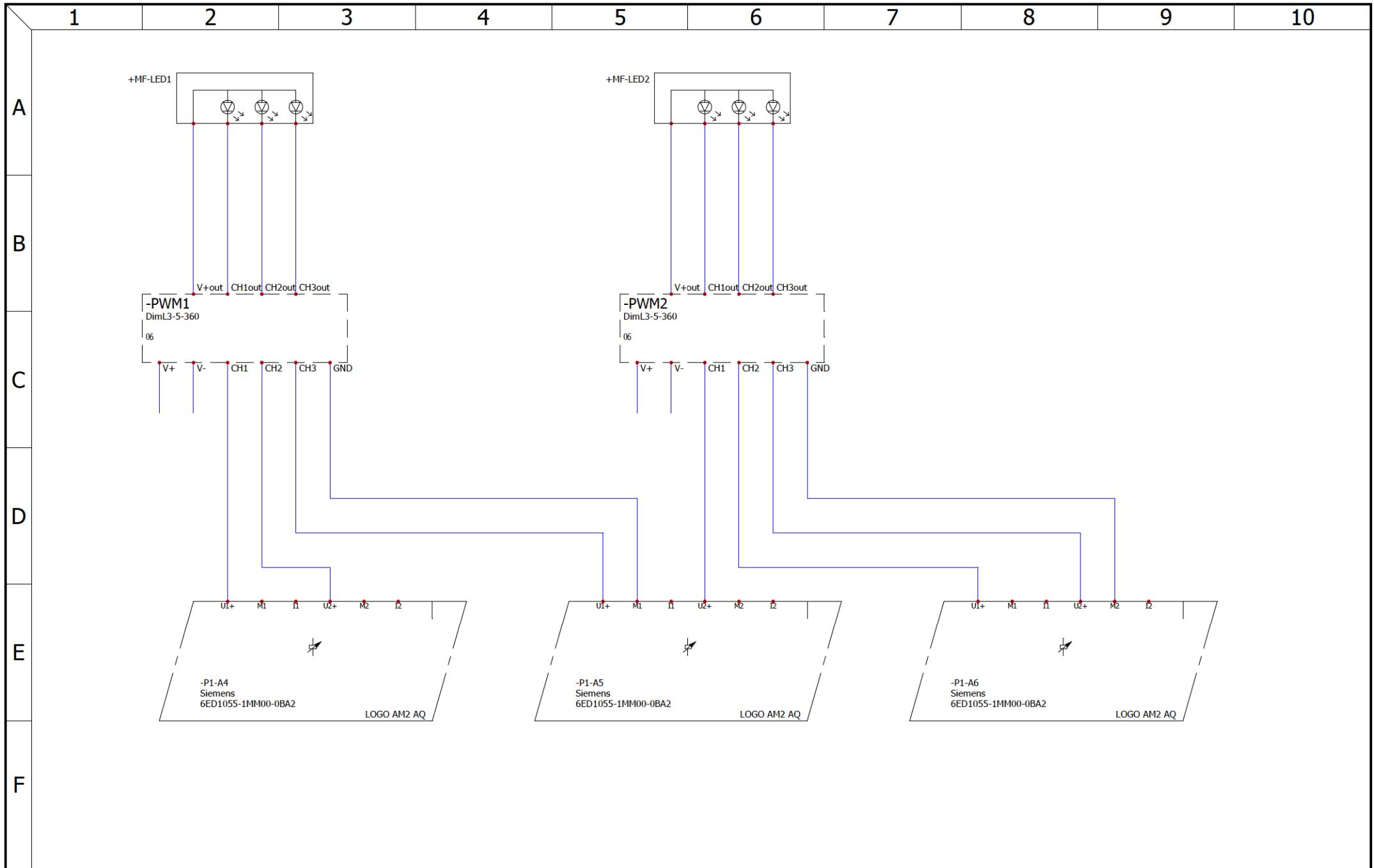


E



F

0	09.05.2018			0
REV.				
Kresleno dne: 10. 5. 2018				11



10.4 Testovací protokol

PROTOKOL TESTOVÁNÍ – DENNÍ LIST

Datum testování	10.5.2018	Zapsal ráno (jméno / iniciály + podpis)	OZ <i>26/16</i>
Den testování	1.	Zapsal odpoledne (jméno / iniciály + podpis)	

Položka	Popis položky	Zápis ráno	Zápis odpoledne
Random multipress	Mačkání více tlačítek najednou v jedné i obou sekcích	PASS	/
Random seqpress	Mačkání více tlačítek postupně v jedné i obou sekcích	PASS	/
Random singlepress	Vícenásobné mačkání toho samého tlačítka	PASS	/
Random holdpress	Držení stisknutého jednoho tlačítka	PASS	/
Random multiholdpress	Držení více tlačítek najednou v jedné i druhé sekci	PASS	/
Random multipress w. drain	Mačkání více tlačítek najednou v jedné i obou sekcích během vypouštění válců	PASS	/
Blackout w. water filled	Odpojení zařízení z napájecí sítě v momentu, kdy je ve válcích voda	PASS	/

Další poznámky

Vše proběhlo v pořádku, bez chyb.
 Po opětovném zapojení po provedení
 blackout w. water filled došlo ke
 korektnímu vypuštění.