

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Patrik Zbořil

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Monitorování rozsáhlých napájecích sítí
pomocí smart měřicí techniky

Monitoring of Large Power Grids Using Smart
Measuring Technology

2020

Bc. Patrik Zbořil

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Patrik Zbořil**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Monitorování rozsáhlých napájecích sítí pomocí smart měřicí techniky**
Monitoring of Large Power Grids Using Smart Measuring Technology
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor (platná legislativa)
2. Technické prostředky monitorování sítí pomocí smart měřicí techniky
3. Popis konkrétní napájecí sítě zdravotnického zařízení
4. Zpracování naměřených dat dle energetických a zdravotnických standardů
5. Návrh technických opatření pro kontinuální monitorování napájecí sítě

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Platné energetické a zdravotnické standardy
2. ČSN EN 50160 ed. 3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
3. Technická dokumentace měřicích zařízení pro monitorování sítí
4. Další literatura podle pokynu vedoucího práce

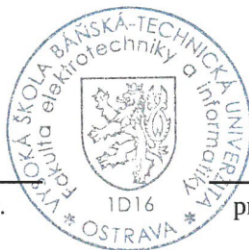
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

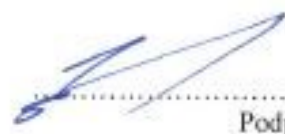



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Olomouci dne: 10.5.2020



.....

Podpis autora

Fakultní nemocnice Olomouc
Statutární zástupce
Ing. Tomáš Uvízl

Prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby:

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských a magisterských studijních programech VŠB-TU Ostrava.“

Diplomová práce

Monitorování rozsáhlých napájecích sítí pomocí smart měřicí techniky

Autor: Bc. Patrik Zbořil

V Olomouci dne: 4.5. 2020

Podpis:

Ing. Tomáš Uvízl

ekonomický náměstek
zástupce ředitele
Fakultní nemocnice Olomouc*

FAKULTNÍ NEMOCNICE OLMOUC*
I.P. Pavlova 185/6
779 00 Olomouc

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá využitím smart měřicí techniky pro monitorování rozsáhlých napájecích sítí. Práce ukazuje na příkladech z praxe možnosti propojení této techniky se systémy MaR. Zaměřuje se na monitoring napájecích sítí pro zdravotnické prostory a zpětnou analýzu nežádoucích událostí.

Klíčová slova

Napájecí síť, elektrické zařízení, kvalita napájecího napětí, zdravotnické provozy, zdroj napájení, dieselagregát, UPS, oddělovací transformátor, signalizace, monitoring, vzorkování, napětí, proud, signálový procesor, převodník, měřicí řetězec, měřicí funkce, datová paměť, efektivní hodnota, událost, kybernetická bezpečnost, frekvence, měřicí rozsah, distribuční síť, cívka.

Abstract

This diploma thesis deals with the use of smart measurement technology for monitoring large power networks. The thesis shows the possibilities of interconnection of this technique with MaR systems. It focuses on the monitoring of supply networks for medical areas and the reverse analysis of adverse events.


Keywords

Supply network, electrical equipment, the quality of power supply, medical services, power supply, diesel generator, UPS, isolation transformer, signaling, monitoring, sampling, voltage, current, signal processor, converter, measuring chain, measuring functions, effective value, event, cyber security, frequency, measuring range, distribution network, coil.

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Olomouci dne: 10.5.2020



.....
Podpis autora

Obsah

Seznam symbolů a zkratek.....	9
Seznam obrázků.....	11
Seznam tabulek.....	13
Úvod.....	14
1 elektrické rozvody v místnostech pro lékařské účely.....	15
1.1 Původní dělení dle ČSN 332140 [2].....	15
1.1.1 Méně důležité obvody - MDO.....	15
1.1.2 Důležité obvody - DO.....	15
1.1.3 Velmi důležité obvody - VDO.....	16
1.1.4 Zdravotnická izolovaná soustava - ZIS.....	16
1.1.5 Shrnutí.....	16
1.2 Rozdělení napájení dle ČSN 33 2000-7-710 [6].....	17
1.2.1 Skupiny zdravotnických prostor.....	17
1.2.2 Bezpečnostní zdroje.....	18
1.2.3 Shrnutí.....	19
1.3 Porovnání norem.....	20
1.4 Struktura napájení rozsáhlého zdravotnického komplexu.....	21
1.5 Vnitřní uspořádání budov.....	22
1.5.1 Technologická část.....	23
1.5.2 Zdravotnická část.....	23
1.6 Provozní problematika.....	23
2 Monitoring napájecích sítí [17].....	25
2.1 Rozsah realizovaného projektu.....	25
2.2 Popis zvoleného měření.....	25
2.3 Výběr měřících míst.....	26
2.4 Použité smart měřicí přístroje – popis.....	27
2.4.1 PQ monitor MEg44 PAN [19].....	27
2.4.2 Meg 44 pan.....	29
2.4.3 Zdroje [21].....	40
2.4.4 Komunikační jednotka MEg201.5 [21].....	42
2.4.5 Snímače střídavých proudů [11], [12], [20].....	43
2.4.6 Měřicí transformátory s děleným jádrem [22].....	45
3 Komunikační infrastruktura a bezpečnost přenosu [17].....	46

3.1	Kybernetická bezpečnost [17].....	47
4	dokumentace realizovaného projektu [18]	49
4.1	Výkresová dokumentace	49
4.2	Příklady instalace	51
5	Návrh Systému hodnocení kvality a kontinuity napájení [17]	53
6	Zpětná analýza naměřených hodnot	56
6.1	Test dieselagregátů se zátěží	56
6.2	MEgA Explorer – vyhodnocení skutečné události.....	58
6.3	Přijatá opatření	59
6.4	Globální pohled na podmínku startu dieselagregátů.....	60
6.5	Kontrola chodu UPS	62
6.6	Sledování události na napětí	63
6.7	Měření kvality	64
6.7.1	Harmonická napětí vyšších řádů	65
6.7.2	Flikr [1]	66
7	Závěr	69
	Seznam použité literatury	70

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN	Česká státní norma
TNI	technická normalizační informace
FNOL	Fakultní nemocnice Olomouc
MVČR	Ministerstvo vnitra ČR
NÚKIB	Národní úřad pro kybernetickou a informační bezpečnost
MDO	méně důležité obvody
DO	důležité obvody
VDO	velmi důležité obvody
ZIS	zdravotnická izolovaná soustava
RH	hlavní rozvaděč
L1,U	označení první fáze
L2,V	označení druhé fáze
L3,W	označení třetí fáze
U_V	napětí výboje
I_V	proud výboje
u_0	napětí elektrického střídavého oblouku
i_0	proud elektrického střídavého oblouku
U_m	maximální hodnota napětí
u_a	napětí oblouku
U_{zn}, u_{zn}	zotavené napětí
i_U	proud ve fázi U
i_V	proud ve fázi V
i_W	proud ve fázi W
u_{pp}	průrazné poobloukové napětí
u_{kid}	ideální napětí na kontaktech
$U_{kid\ max}$	maximální, ideální napětí na kontaktech
Z_U	impedance ve fázi U
Z_V	impedance ve fázi V
Z_W	impedance ve fázi W
U_f	fázové napětí
U_s	sdružené napětí
U_{ss}	stejnoseměrná složka napětí
vn	vysoké napětí
nn	nízké napětí
f	frekvence
t	čas
E_P	činná energie
E_Q	jalová energie
P_{st}	krátkodobá míra vjemu flikru
P_{lt}	dlouhodobá míra vjemu flikru
PF	power faktor
PQ	Power Quality
PC	osobní počítač
UPS	zdroj nepřetržitého napájení
DA	dieselagregát
THDU	činitel tvarového zkreslení napětí

THDI	činitel tvarového zkreslení proudu
HDO	hromadné dálkové ovládání
GOOSE	„Generic Object Oriented Substation Event“ - Generická, objektově orientovaná událost rozvodny
IED	„Intelligent electronic device“ - Inteligentní elektronická jednotka
TA, TP	přístrojový transformátor proudu
TV, TN	přístrojový transformátor napětí
Deg	označení úhlu
NO	pomocný pracovní kontakt
NC	pomocný klidový kontakt
IN	vstup
OUT	výstup
EZS	elektronický zabezpečovací systém
EPS	elektrická požární signalizace
USB	Universal Serial Bus (USB) je univerzální sériová sběrnice
RS485	standard sériové komunikace
ETH	ethernet - souhrn technologií pro počítačové sítě
WEB	World Wide Web – celosvětová síť
MODBUS	otevřený protokol pro vzájemnou komunikaci různých zařízení
LED	Light-Emitting Diode, česky elektroluminiscenční dioda – technologie
GPRS	General Packet Radio Service - označení pro mobilní datovou síť
GSM	Groupe Spécial Mobile - celosvětově nejrozšířenější telekomunikační standard

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Rozvaděče ve zdravotnickém provozu	17
Obrázek 1.2 Porovnání způsobu napájení.....	20
Obrázek 1.3 Přehledová mapa areálu FNOL [16].....	21
Obrázek 1.4 Struktura budov zdravotnického areálu.....	22
Obrázek 2.1 Fotografie informačního panelu	26
Obrázek 2.2 PQ monitor MEG44 v panelovém provedení [19]	27
Obrázek 2.3 Konstrukce PQ monitoru MEG44 PAN [19]	29
Obrázek 2.4 Parametry rozhraní ETH [19].....	32
Obrázek 2.5 Webová stránka přístroje MEG44PAN [19]	33
Obrázek 2.6 Webová stránka – Elektroměr, konfigurace [19].....	33
Obrázek 2.7 Webová stránka – Nesymetrie a THD, Konfigurace [19]	33
Obrázek 2.8 Zapojení MEG44PAN v transformační stanici, proudové transformátory kategorie CAT IV 300V [19].....	36
Obrázek 2.9 Zapojení MEG44PAN v nn síti typu TN-C, měření proudů AMOSm, kategorie CAT IV 300V [19].....	36
Obrázek 2.10 Zapojení MEG44PAN v nn síti typu TN-S, měření proudů KCT, kategorie CAT III [19].....	37
Obrázek 2.11 Zapojení MEG44PAN v nn síti typu TN-S, měření proudů TORv, nebo TORm , kategorie CAT IV [19].....	37
Obrázek 2.12 Zapojení vstupů MEG44PAN [19].....	38
Obrázek 2.13 Zapojení výstupů MEG44PAN [19].....	38
Obrázek 2.14 Komunikace s MEG44PAN přes rozhraní RS485 [19].....	39
Obrázek 2.15 Komunikace monitorů MEG44PAN přes rozhraní ETH a jednotku Switch [19]	39
Obrázek 2.16 Zdroj zajištěného napájení Supply MEG101.4 [21].....	40
Obrázek 2.17 Trojfázový zdroj napájení MEG101.7 [21].....	41
Obrázek 2.18 Komunikační jednotka MEG201.5 [21].....	42
Obrázek 2.19 Rogowského cívka [12].....	43
Obrázek 2.20 Ohebný snímač proudu AMOSM [20]	44
Obrázek 2.21 Měřicí transformátor s děleným jádrem [22].....	45
Obrázek 3.1 Blokové schéma komunikace a přenosu dat [17]	46
Obrázek 4.1 Zapojení MEG44PAN v hlavním rozvaděči, přívod MDO [18]	49
Obrázek 4.2 Schéma zapojení v poli MDO [18].....	50
Obrázek 4.3 Schéma zapojení v poli DO [18]	50

Obrázek 4.4 Zapojení MEG44PAN v hlavním rozvaděči, přívod DO spolu s připojením zdroje a komunikací [18].....	51
Obrázek 4.5 Monitorování centrálních UPS	51
Obrázek 4.6 Rozvaděč pro monitoring centrálních UPS	52
Obrázek 5.1 Přehled událostí pro účely vyhodnocení dle ČSN EN 33 2000-7-710 [17].....	53
Obrázek 5.2 Graf odolnosti pro účely vyhodnocení dle ČSN EN 33 2000-7-710 [17].....	54
Obrázek 5.3 Seznam všech událostí na napětí a detail vybrané události [17]	54
Obrázek 5.4 Vyhodnocení průběhu výpadku (ilustrační průběh) [17].....	55
Obrázek 6.1 Trafostanice TS4 se systémem automatického záskoku.....	56
Obrázek 6.2 Časový diagram – začátek výpadku a převzetí zátěže DO	57
Obrázek 6.3 Časový diagram – konec výpadku a přepnutí na síť.....	58
Obrázek 6.4 Vyhodnocení událostí dle ČSN EN 33 2000-7-710 v prostředí MEGa Explorer .	58
Obrázek 6.5 Zobrazení události	59
Obrázek 6.6 Kumulativní součet událostí na VN [15].....	61
Obrázek 6.7 Časový průběh události na centrální UPS	62
Obrázek 6.8 Průběh události na centrální UPS	63
Obrázek 6.9 Osciloskopický záznam	63
Obrázek 6.10 Grafický přehled měření kvality.....	64
Obrázek 6.11 Vyhodnocení kvality – harmonická napětí vyšších řádů.....	65
Obrázek 6.12 Grafické zobrazení 15. harmonické složky	65
Obrázek 6.13 Hodnocení kvality – budova Y	66
Obrázek 6.14 Hodnocení kvality - Flickr	67
Obrázek 6.15 Grafické zobrazení Flickru.....	68
Obrázek 6.16 Porovnávací graf napětí, proudu a flickru	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 Třídění zdrojů - příloha A ČSN 33 2000-7-710 [6]	18
Tabulka 6.1 Časový průběh testu náhradních zdrojů	57
Tabulka 6.2 Záznam události na centrální UPS	62
Tabulka 6.3 Parametry z měření kvality	64

ÚVOD

Elektrická energie se stala nedílnou součástí naší civilizace, její využití je nezbytné snad ve všech oblastech lidské činnosti. S vývojem společnosti a rozvojem techniky se zvyšuje nejen poptávka po energii, ale i nároky na její kvalitu. Zvyšující se nároky na přístrojovou techniku, její přesnost, složitost, citlivost, samozřejmě vedou i ke zvýšení tlaku na kvalitu dodávané energie.

V mnoha odvětvích je kvalita a nepřetržitost dodávané elektrické energie velmi důležitá. Výpadky napájení mohou způsobit značné ztráty, jak na majetku, tak i na zdraví či životech lidí. K těmto ztrátám může dojít přímo, například ve zdravotnictví, nebo sekundárně, například v chemickém průmyslu při úniku nebezpečných chemických látek. Těmto nežádoucím situacím se musí předcházet, proto se přijímají opatření vedoucí k jejich eliminaci, nebo vedoucí ke zmírnění následků. Veškerá tato opatření sebou nesou značné náklady a to nejen investiční, ale i provozní. Jedná se tedy o napájecí struktury, které se díky jejich rozsahu a koncepci mohou označit za složité. Jedná se o exponované a kritické provozy, jejichž chod je nutný z hlediska ekonomického, bezpečnostního, nebo i s vazbou na fungování státu. Právě složitost a rozsáhlost takovýchto sítí způsobuje jejich nepřehlednost, a vede k problémům s dimenzováním kabeláže, náhradních zdrojů napájení, možnostem plánování rozvoje areálu, připojováním nových technologií s ohledem na jejich odběr a soudobost.

Složité napájecí sítě se budují podle určité koncepce, která odpovídá požadavkům konkrétního odvětví. S ohledem na specializaci autora se práce zaměřuje na napájecí sítě určené pro zdravotnictví, čímž navazuje na jeho bakalářskou práci.

1 ELEKTRICKÉ ROZVODY V MÍSTNOSTECH PRO LÉKAŘSKÉ ÚČELY

Struktura napájecích systémů určených pro zdravotnické provozy a zdravotnická zařízení se vyznačuje značnou složitostí. Specifické požadavky zdravotnických pracovišť, citlivost a různorodost zdravotnických přístrojů spolu s nutností zachovat bezpečnost pro personál a pacienty klade vysoké nároky na technické řešení.

Odlišnost od ostatních napájecích systémů vyžaduje specializaci a vysokou odbornost jak projektantů, tak i veškerého technického personálu. Základním vodítkem pro elektrické rozvody v místnostech pro lékařské účely je ČSN 332140 z roku 1986 [2]. Tato norma již není platná, ale stále existují instalace podle ní tvořené. V lednu roku 2013 vyšla nová norma ČSN 33 2000-7-710 [6], upravující provedení elektroinstalace ve zdravotnických prostorech. S účinností od 9.1.2015 nahradila původní ČSN 332140 [2], a do uvedeného data platily souběžně. Její obsah je harmonizován s evropskými normami, ale v mnoha ohledech se velmi liší od stávajících zvyklostí. Právě odlišnosti od původní normy jsou v mnoha bodech velmi nejasně vysvětleny, což může vést k zásadním chybám při projektování, a to aniž by došlo k porušení platné normy. Tyto nedokonalosti a vlna dotazů z řad odborné veřejnosti vedly tvůrce normy k vytvoření příslušné TNI.

1.1 Původní dělení dle ČSN 332140 [2]

Jednotlivá zdravotnická pracoviště mají kromě požadavků na provedení elektroinstalace i požadavky na způsob napájení, respektive na to, jak budou reagovat při výpadku napájení. Rozdělením dle ČSN 332140 [2] získáme čtyři základní skupiny napájecích obvodů. V následující části jsou uvedeny hlavní zásady dělení napájecích obvodů dle původní normy, jeho výhody, možnosti monitoringu a zhodnocení s pohledu uživatele, tedy možnosti provádění předepsaných kontrol, údržby, atd.

1.1.1 Méně důležité obvody - MDO

MDO jsou obvody bez jakéhokoli zálohování. Při výpadku napájení dojde k jejich přerušení a do obnovení dodávky elektrické energie rozvodnými závody zůstávají bez napětí. Jsou určeny pro méně důležitá zařízení, jako jsou například vybrané části osvětlení, atd. Tyto obvody se obvykle značí bílou barvou - zásuvkové vývody, vypínače, rozdělení v rozvaděčích,...

1.1.2 Důležité obvody - DO

DO jsou obvody, které se při výpadku napájejí z dieselagregátů. Jejich napojení na náhradní zdroj musí proběhnout dle bodu 9.1 ČSN 332140 [2] do 120 s po výpadku základního zdroje napájení. Tento parametr autor práce dlouhodobě sledoval, a dá se konstatovat, že i nejstarší dieselagregáty, u nichž byla provedena modernizace, tedy doplněny o systém předmazávání a moderní digitální řídicí jednotku, jsou schopny dodávat plný výkon do cca 20 s. Tato časová rezerva pak umožňuje opakovaný start v případě jakéhokoli selhání při prvním startu. DO jsou určeny pro zařízení,

kteřá nemohou být dlouhodobě vypnutá, ale krátký výpadek jim nevaďí. Jedná se například o vzduchotechnická zařízení, části nouzového osvětlení, napájení pro UPS, evakuační výtahy atd. Ve zdravotnictví jsou prioritně určeny pro zařízení na podporu základních životních funkcí pacienta, zajištění bezpečnosti provozu a zamezení nenahraditelných ztrát. Tyto obvody se značí zelenou barvou.

1.1.3 Velmi důležité obvody - VDO

VDO jsou obvody napájené ze speciálních zdrojů elektrické energie, v dnešní době se jedná o zdroje UPS, které mohou být bateriové, nebo rotační. Jejich napájení je řešeno z DO. Dělí se na dva typy E1 a E2. Právě u těchto obvodů je asi největší rozpor mezi skutečností a již zastaralým požadavkem normy. Dle bodu 10.1.1. ČSN 332140 [2] může při výpadku základního zdroje dojít až k 15 s přerušení napájení zdroje typu E1 a dle bodu 10.2.1. ČSN 332140 [2] k 0,5 s přerušení u zdroje typu E2. To je v dnešní době naprosto nemyslitelné, především kvůli přístrojové a výpočetní technice, kde jakékoli přerušení napájení znamená restart systému. Dalším velmi důležitým parametrem je doba zálohování, která je stanovena na dobu 3 hodin po výpadku. VDO jsou tedy obvody nepřetržitého napájení a k jejich barevnému označení se využívá oranžová barva.

1.1.4 Zdravotnická izolovaná soustava - ZIS

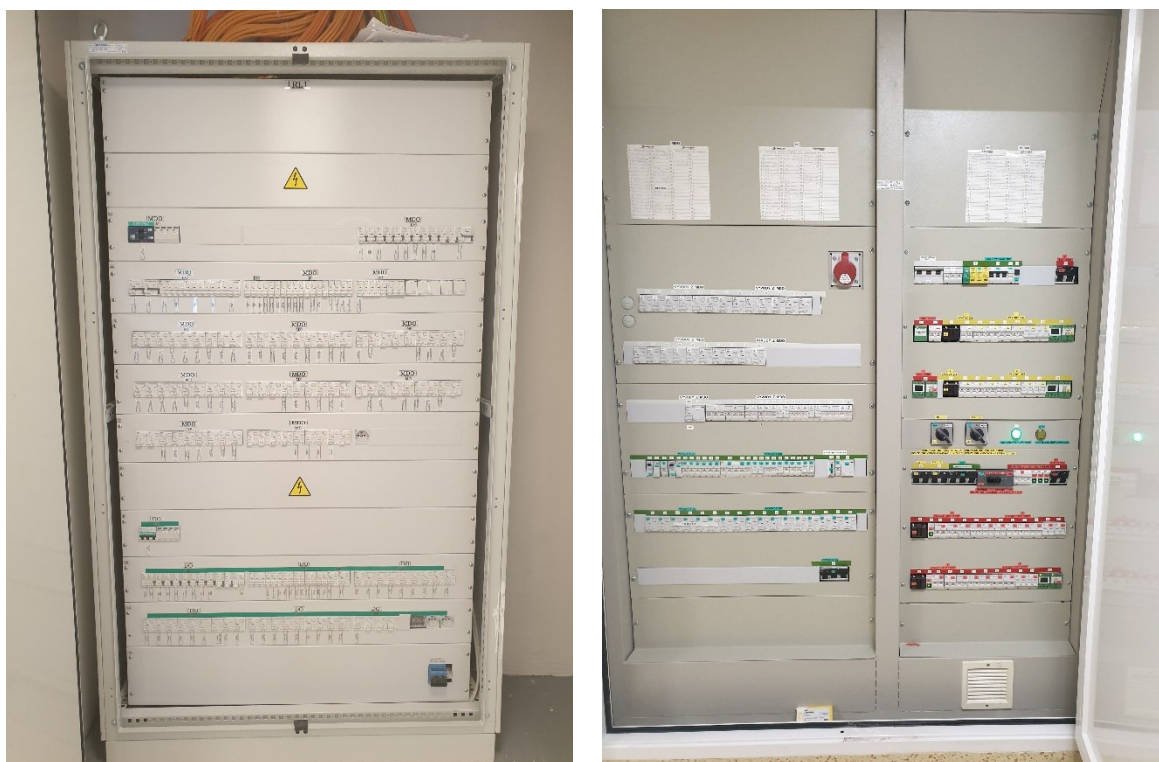
Zdravotnická izolovaná soustava se využívá pouze pro napájení zdravotnické techniky, tedy v místnostech pro lékařské účely. Je tvořena oddělovacím transformátorem, který je napájen buďto z DO, nebo VDO. Její smysl spočívá v tom, že u přístrojů důležitých pro život pacienta dovoluje jejich chod i při první poruše, tedy při spojení krajního vodiče s neživou částí. V takovémto případě se aktivuje akustická a optická signalizace, ale přístroj zůstává funkční. Prakticky jde o zvýšení bezpečnosti pacienta připojeného na zdravotnický přístroj, nebo v dosahu elektrického zařízení. V případě dotyku s živou částí nedojde díky odděleným zemím, tedy principu oddělovacího transformátoru k průchodu elektrického proudu tělem člověka. Pro barevné odlišení od ostatních obvodů se využívá žlutá barva.

1.1.5 Shrnutí

Takto dělené napájecí obvody jsou jasně definované a oddělitelné. Právě tento parametr je velice důležitý z provozního hlediska. Samostatně vedená kabeláž MDO, DO a VDO se dá jasně identifikovat, je možné dodržet vzájemné oddělení těchto obvodů například ve výkopech, ve stupačkách nebo v rozvaděčích. Jednotlivé části, jako je transformátor, nebo pole hlavního rozvaděče je možné oddělit protipožárními úseky atd. Zároveň je možné samostatně provádět měření na jednotlivých kabelech a tím zjistit nejen jejich stav s pohledu revizí páteřních napájecích sítí, ale především máme možnost dlouhodobě monitorovat parametry DO.

Právě toto považuji za stěžejní problém, který si vyžaduje značnou pozornost. Jedině dlouhodobým monitorováním můžeme ověřit kapacitní možnosti náhradních zdrojů, případně sledovat kolísání zátěže v průběhu dne, roku, atd. Bez těchto údajů se nedá s jistotou tvrdit, že zálohovací systémy jsou schopny bezpečně převzít zálohovanou zátěž. Přetížení záložního zdroje a jeho selhání je ve zdravotnickém zařízení naprosto nemyslitelné.

Rozvaděče s barevným rozdělením obvodů DO a VDO znázorňuje Obrázek 1.1. Na první pohled jsou všechny obvody přehledně popsány, očíslované a jasně identifikovatelné.



Obrázek 1.1 Rozvaděče ve zdravotnickém provozu

1.2 Rozdělení napájení dle ČSN 33 2000-7-710 [6]

V této normě se již nehovoří o důležitých, nebo méně důležitých obvodech, ale je zde použita zcela nová terminologie a způsob rozdělení napájecích obvodů. Hovoříme zde o základním napájení a bezpečnostním napájení. Nově jsou definovány skupiny zdravotnických prostor, požadavky na náhradní zdroje, způsoby přepínání zdrojů, nebo i požadavky na tvorbu projektové dokumentace.

1.2.1 Skupiny zdravotnických prostor

skupina 0 článek 710.3.5 ČSN 33 2000-7-710[6] - zdravotnický prostor, kde se nepředpokládá použití žádných příložných částí a kde porucha (zkrat) zdroje nemůže způsobit ohrožení života

skupina 1 článek 710.3.6 ČSN 33 2000-7-710[6] - zdravotnický prostor, kde při první závadě nebo při přerušení základního napájení je možné připustit přerušení provozu (funkce) zdravotnických elektrických přístrojů, aniž by došlo k ohrožení pacienta. V tomto zdravotnickém prostoru se předpokládá použití příložných částí:

- zevně
- uvnitř těla, ale ne v místech, která jsou vyhrazena skupině 2.

skupina 2 článek 710.3.7 ČSN 33 2000-7-710[6] - zdravotnický prostor, kde se předpokládá použití aplikovaných částí:

- pro intrakardiální použití; nebo
- pro náročná ošetření, nebo chirurgické zákroky, kde výpadky (přerušení) napájení mohou ohrozit pacienty

1.2.2 Bezpečnostní zdroje

Všeobecné požadavky na bezpečnostní zdroje pro zdravotnické prostory skupiny 1 a 2 jsou podrobně popsány v kapitole 710.556 ČSN 33 2000-7-710[6], viz. Tabulka 1.1.

Tabulka 1.1 Třídění zdrojů - příloha A ČSN 33 2000-7-710 [6]

Třída 0 (bez přerušení)	Napájení zajištěno automaticky bez přerušení
Třída 0,15 (velmi krátké přerušení)	Napájení zajištěno automaticky do 0,15 s
Třída 0,5 (krátké přerušení)	Napájení zajištěno automaticky do 0,5 s
Třída 5 (normální přerušení)	Napájení zajištěno automaticky do 5 s
Třída 15 (střední přerušení)	Napájení zajištěno automaticky do 15 s
Třída >15 (dlouhé přerušení)	Napájení zajištěno automaticky za více než 15 s

kapitola 710.556.5.2.1 ČSN 33 2000-7-710 [6] Napájecí zdroje s dobou přepnutí do 0,5 sekundy včetně

V případě výpadku na jednom, či více fázových vodičích v rozváděči se musí použít bezpečnostní napájení, které musí zajistit napájení osvětlení operačních stolů a ostatního nezbytného osvětlení, jako jsou například endoskopy, minimálně po dobu 3 hodin, obnovení napětí musí proběhnout do 0,5 sekundy.

kapitola 710.556.5.2.2 ČSN 33 2000-7-710 [6] Napájecí zdroje s dobou přepnutí do 15 sekund včetně

Elektrické zařízení podle článku 710.556.7.5 (Bezpečnostní osvětlení) a 710.556.8 (Ostatní zařízení) musí být připojeno do 15 s na bezpečnostní zdroj schopný dodávat energii minimálně po dobu 24 hodin, když se napětí na jednom nebo více napájecích vodičích hlavního rozváděče budovy pro bezpečnostní účely sníží na méně než 90% jmenovité hodnoty na dobu delší než 3 s.

kapitola 710.556.5.2.3 ČSN 33 2000-7-710 [6] Napájecí zdroje s dobou přepnutí nad 15 sekund

Napájení pro ostatní elektrická zařízení zdravotnického vybavení, která nespádají do požadavků článků 710.556.5.2.2.1 a 710.556.2.2.2 a jsou požadována pro zdravotnické služby, mohou být připojena k bezpečnostnímu napájení automaticky, nebo ručně. Tento bezpečnostní

zdroj musí být schopen dodávat energii minimálně po dobu 24 hodin. Těmito elektrickými zařízeními mohou být:

- sterilizační přístroje
- technické vybavení budov, například topení nebo klimatizace, větrání, obsluha budovy a zařízení pro likvidaci odpadků
- chladicí zařízení
- vybavení kuchyní
- nabíječky akumulátorů.

1.2.3 Shrnutí

Tato norma zavádí zcela nový pohled na způsob zálohování zdravotnických napájecích systémů. Především se snaží o decentralizaci přepínání mezi hlavním a bezpečnostním napájením. Z obsahu normy vyplývá, že v běžném provozu má být napájení realizováno pomocí kabeláže hlavního napájení. Teprve při výpadku, nebo při poklesu napětí v libovolné z fází na 90% a dobu delší než 0,5 sekundy, má dojít k automatickému přepnutí na síť pro bezpečnostní účely. Automatické přepínání je požadováno v hlavním rozvaděči budovy, nebo v rozvaděči oddělení.

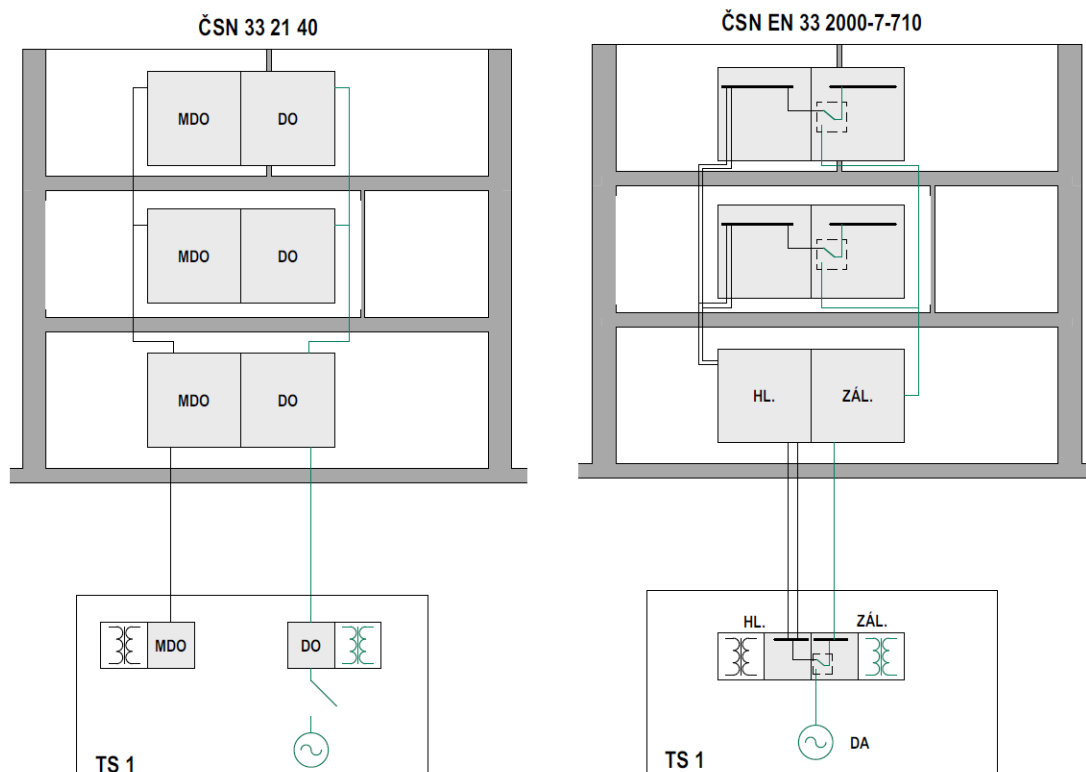
- norma neobsahuje žádný výkres, nebo popis přepínání
- není jasné jak sledovat parametry kabeláže záložního napájení, která je při běžném provozu pouze nachystána převzít zátěž. Poškození, respektive nefunkčnost záložního přívodu musí být nějakým způsobem vyhodnoceno, aby nedošlo k přepnutí na nefungující záložní napájení. Způsob řešení norma neuvádí.
- sloučení hlavního a záložního napájení znamená zvýšený požadavek na průřez kabeláže hlavního napájení a především znemožňuje samostatně sledovat zatížení záložního napájení

Nově se doporučuje napájení ze záložního zdroje, nebo alespoň možnost ručního přepnutí i u zařízení, jako jsou sterilizátory, nebo zařízení na likvidaci odpadu, a mnohá další. To ovšem reprezentuje obrovskou zátěž nouzových zdrojů, kterou je nutné rezervovat. Požadavky na náhradní zdroje napájení jsou velmi nejasně formulovány. Například doba chodu dieselaagregátu 24 hodin

- požadavky na naftové hospodářství náhradního zdroje nejsou uvedeny
- není jasné, jestli je možné průběžné doplnění nafty do provozní nádrže, nebo jestli náhradní zdroj musí 24 hodin běžet bez zásahu obsluhy. To by prakticky znamenalo instalaci naftového hospodářství, jehož pořizovací cena je srovnatelná s cenou dieselaagregátu. Jako příklad uvedu zdroj 1000 kVA instalovaný v trafostanici TS2. Při plné zátěži má uvedenu spotřebu 218 l/h. To je pro představu více než barel nafty. Pokrytí provozu na 24 hodin tedy reprezentuje více než 24 barelů. Případná úprava stávajících náhradních zdrojů má zásadní vliv i na posouzení požárně bezpečnostního řešení stavby. Jinak řečeno instalovat nové naftové hospodářství k dieselaagregátu, který je umístěn v podzemí zdravotnického zařízení je technicky velmi problematické.

Způsob rozlišení jednotlivých napájecích obvodů není uveden. Norma nerespektuje stávající systém barevného značení a nový neuvádí.

1.3 Porovnání norem



Obrázek 1.2 Porovnání způsobu napájení

Původní ČSN 332140 [2], s ohledem na dobu kdy vznikla, nepočítá s rozvojem výpočetní techniky a jejím širokým využitím ve zdravotnické technice. Modernizace přístrojové techniky spolu s vývojem lékařských metod, klade nové nároky na způsoby napájení zdravotnických pracovišť. Díky tomu se některé požadavky z praxe posunuly mimo rámec vyhrazený normou. Především požadavky na nepřetržité napájení, nebo rychlost přepnutí náhradního zdroje jsou již prakticky nepoužitelné. Norma ovšem velmi jasně popisuje rozdělení napájecích obvodů a naprosto jednoznačně stanovuje jejich rozlišení.

Nová ČSN 33 2000-7-710 [6] zavádí zcela nový popis a rozdělení napájecích obvodů. Především decentralizace přepínání mezi základním a bezpečnostním napájením je mnohem složitější, než je původní systém. Zavádí do napájecích sítí velké množství elektromechanických prvků pro automatické přepínání. Jejich použití sebou nese riziko zvýšeného výskytu poruch a tudíž i zvýšené náklady na testování, provoz a údržbu. Způsob provedení přepínání zátěží v normě není uveden. Stejně tak chybí i barevné značení napájecích obvodů, které je pro zdravotnický personál naprosto nezbytné. V textu normy se vyskytuje řada chyb a nejasností, které byly konzultovány se spoluautorem normy ing. Dvořáčkem, ale k jejich oficiálnímu objasnění zatím nedošlo. Velice kladně hodnotím část popisující požadavky na schémata a dokumentaci, což je v praxi velmi podstatné a nyní jsou požadavky provozovatele zakotveny přímo v normě. Důležité části nejsou kompletně vysvětleny, nerespektuje stávající systém zdravotnických provozů a neobsahuje vysvětlující výkresovou dokumentaci.

Po zániku platnosti původní ČSN 332140 [2], je vzhledem k zásadním koncepčním rozdílům obou dokumentů velmi problematické skloubení nové a stávající technologie. Například rekonstrukce jednoho patra budovy, nebo implementace nové budovy do stávajícího komplexu budov připojených k jedné trafostanici a jednomu dieselařegátu, tedy náhradnímu zdroji napájení.

Zjednodušený způsob, jakým se podle jednotlivých norem řeší páteří rozvody v budově, znázorňuje Obrázek 1.2. U nové koncepcce je na první pohled zřejmé, že:

- struktura napájení je mnohem složitější
- potřebujeme podstatně větší množství kabeláže, prostor pro stupačky atd.
- v každém rozvaděči zdravotnického pracoviště je přepínač napájení
- při běžném provozu (bez výpadku) je napájení realizováno po hlavních napájecích kabelech. Rozdělení jednotlivých skupin napájecích okruhů tedy splývá v jedno. Bez výpadku hlavního napájení nelze určit jaká je zátěž, kterou musí převzít zdroje náhradního napájení.
- stav záložního napájení se musí monitorovat, čímž vzniká potřeba centrálního dispečinku a systému vzdáleného dohledu tak, aby při výpadku hlavního napájení nemohlo dojít k přepnutí na nefunkční záložní přívod ...

1.4 Struktura napájení rozsáhlého zdravotnického komplexu

Napojení zdravotnického komplexu se provádí vždy z více stran, a to kvůli zvýšení bezpečnosti a nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Vedení VN pak napájí jednu, nebo více areálových trafostanic.



Obrázek 1.3 Přehledová mapa areálu FNOL [16]

Jejich počet a rozmístění je dán rozlohou a topologií konkrétního zdravotnického areálu. Páteřní rozvody NN pak dále napájí jednotlivé objekty.

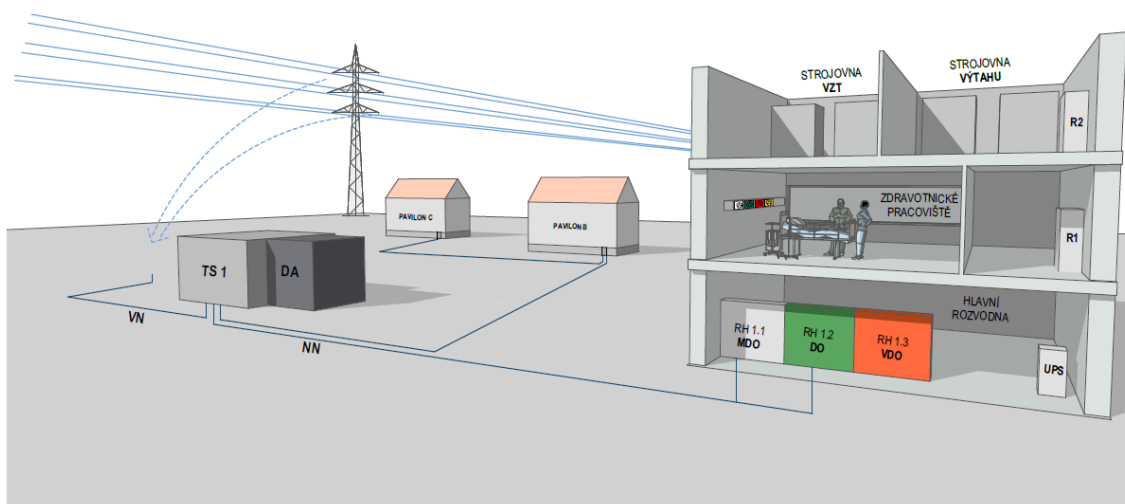
Na konkrétním případě FNOL se dá názorně demonstrovat rozloha takového areálu a množství budov, které se musí včlenit do napájecí struktury zdravotnického zařízení. V tomto případě je využito pět trafostanic 22/0,4kV, přičemž tři z nich jsou propojeny vlastním areálovým rozvodem VN. Větší počet trafostanic je logickým důsledkem velkých vzdáleností, které se musí překonat při napojení jednotlivých budov a množstvím požadovaného výkonu. Na mapě areálu viz. Obrázek 1.3, je patrné barevné rozdělení budov podle toho, ze které trafostanice jsou napájeny.

Způsob provedení páteřních areálových rozvodů NN je vždy závislý na mnoha aspektech:

- Vzdálenosti budov, tedy délka kabeláže
- Jak velký je přenášený výkon
- Jak je řešeno zálohování napájení
- Existence energetických kanálů a kolektorů
- Křížení a souběhy s ostatními inženýrskými sítěmi
- Historický vývoj areálu
- Ekonomika provozu

1.5 Vnitřní uspořádání budov

Provozní požadavky jednotlivých klinik, zdravotnických a nezdravotnických pracovišť se od sebe značně liší. S tím je samozřejmě spojena různorodost provedení elektroinstalace nejen budov, ale i vzájemně jednotlivých podlaží. Obecně se dá říci, že strukturu budovy se zdravotnickým provozem popisuje Obrázek 1.4.



Obrázek 1.4 Struktura budov zdravotnického areálu

1.5.1 Technologická část

V každé takovéto budově je část zdravotnická, tedy například vyšetřovny, ambulance, operační sály, a dále pak část podpůrná technologická. Ta slouží k vytvoření a udržení potřebných provozních podmínek zdravotnického pracoviště, hygienických podmínek, bezpečnostních požadavků, atd. Jedná se například o tyto systémy:

- Vzduchotechnika
- Chlazení
- Výměníky tepla
- Výtahy
- Osvětlení a nouzové osvětlení
- Elektronické zabezpečovací systémy EZS
- Elektrická požární signalizace EPS

1.5.2 Zdravotnická část

Zdravotnické pracoviště je vždy tvořeno odborným personálem, který k výkonu své profese nutně potřebuje množství technologického a přístrojového vybavení. Právě pro moderní zdravotnické přístroje je nutné vytvořit vhodné provozní podmínky, tak aby byla zajištěna jejich správná funkce, a aby nedošlo k poškození zdraví pacienta, nebo k poškození přístroje samotného.

Z pohledu napájení zdravotnické techniky hraje rozdělení napájecích obvodů a barevné značení vývodů podstatnou roli. Proškolený personál je tak schopen sám určit, který přístroj kam zapojit. Znamená to, že si zvolí způsob zajištění dodávky elektrické energie.

1.6 Provozní problematika

Rozdělení napájení na jednotlivé druhy, podle úrovně zajištění nepřetržitosti dodávky má zásadní vliv na celou energetiku nemocnice. Při tvorbě projektu, nebo při připojování nového zařízení se musí vždy zohlednit důležitost jeho provozu. Jak znázorňuje Obrázek 1.4, na jednu trafostanici a jeden náhradní zdroj, je připojeno více budov. Vybudování takovéhoho energocentra spolu s dělením páteřních rozvodů stojí nemalé finanční prostředky a jejich případná úprava se nedá realizovat bez zásadního omezení provozu nemocnice. Proto se kapacita hlavních i záložních zdrojů plánuje s ohledem na budoucí rozvoj areálu, tedy s rezervou.

Napojování na jednotlivé okruhy se musí maximálně optimalizovat, aby nedošlo ke zbytečnému zatěžování zdrojů nouzového napájení. Jinak řečeno rezervovaný výkon na záložním zdroji je drahý a proto se jím musí šetřit.

Při udržování chodu rozsáhlého areálu vzniká celá řada požadavků a činností, které se musí buďto pravidelně, nebo jednorázově realizovat. S ohledem na technologickou provázanost celého areálu je vždy bezpodmínečně nutné tyto vazby zohlednit a minimalizovat nežádoucí omezení provozu.

Ke zvolení správného a bezpečného postupu je nutné mít k dispozici aktuální výkresovou dokumentaci, revizní zprávy, atd. V oblasti elektrotechniky se ale musíme zabývat i stavem a kvalitou napájení. K získání komplexního přehledu o energetice areálu je nutné instalovat smart

měřící techniku a pracovat s naměřenými daty. Provozní problematiku, která se dnes již bez využití smart měřících a řídicích technologií neobejde, se může rozdělit do několika oblastí:

Údržba

- běžné opravy
- plánování preventivních činností
- kontrola činností údržby
- testy náhradních zdrojů a dalších bezpečnostních systémů

Rozvoj

- projekce
- dimenzování páteřních rozvodů
- dimenzování kapacity náhradních zdrojů

Řešení nežádoucích událostí

- ukládání naměřených dat
- vizualizace naměřených dat
- vyhodnocování událostí dle ČSN EN 332000-7-710
- predikce poruch náhradních zdrojů vlivem přetížení

Využití databáze naměřených údajů

- možnost zpětné analýzy
- sledování událostí
- porovnání různých období
- statistické údaje pro zřizovatele

Monitorování energetických sítí se tedy stává nutnou a nedílnou součástí technologie každého rozsáhlého areálu.

2 MONITORING NAPÁJECÍCH SÍTÍ [17]

Účelem monitoringu je především analýza kvality a kontinuity napájení, ale i sledování systémů záložního napájení s ohledem na požadavky normy ČSN EN 33 2000-7-710. Mimo to použité přístroje poskytují další informace o spotřebách a využití elektrické energie v celém areálu Fakultní nemocnice. Především možnost sledovat skutečnou zátěž záložního napájení při reálném výpadku je v praxi neocenitelné.

2.1 Rozsah realizovaného projektu

Pro monitorování všech důležitých míst napájecí sítě FNOL se využilo přístrojů firmy MEGa – Měřicí Energetické Aparáty, a.s., které se podařilo propojit se stávajícím systémem MaR firmy HONEYWELL. Ten se využívá k řízení a vzdálené správě vzduchotechniky, topení, chlazení, medicínálních plynů, atd. Vzhledem ke specifickému provozu, jakým zdravotnictví je, jsem navrhl úpravu vyhodnocovacího SW tak, aby bylo možné napájení posuzovat nejen podle hledisek kvality, ale i podle požadavků normy ČSN EN 33 2000-7-710 a původní ČSN 332140. Souhrn instalované přístrojové techniky nejlépe přiblíží, o jaký rozsah projektu se jedná:

- 103 měřených míst
- Osazeny oba přívody VN na TS1 a TS4
 - MEG39 – měření záznamníku, událostí, energií i kvality
- Osazeno 101 NN měřících míst, obvody MDO, DO a VDO
 - 16 x MEG44PAN L - měření záznamníku, událostí, energií a kvality
 - 81 x MEG44PAN S - měření záznamníku, událostí a energií
 - 4 x MEG44DIN - měření záznamníku, událostí a energií
 - z toho na 10-ti místech ohebné snímače proudu AMOS, díky čemuž nemuselo dojít k rozpojení měřeného obvodu
- 48 komunikačních jednotek MEG201.5
- 51 zdrojů (30 x 12V - MEG101.4 a 21 x 24V - MEG101.7)
- Rozšíření IT infrastruktury o aktivní prvky a kabeláž
- Návaznost na stávající systém ARENA
- Nový systém pro ukládání naměřených dat a jejich analýzu MEGa_Explorer upravený pro použití ve zdravotnictví

2.2 Popis zvoleného měření

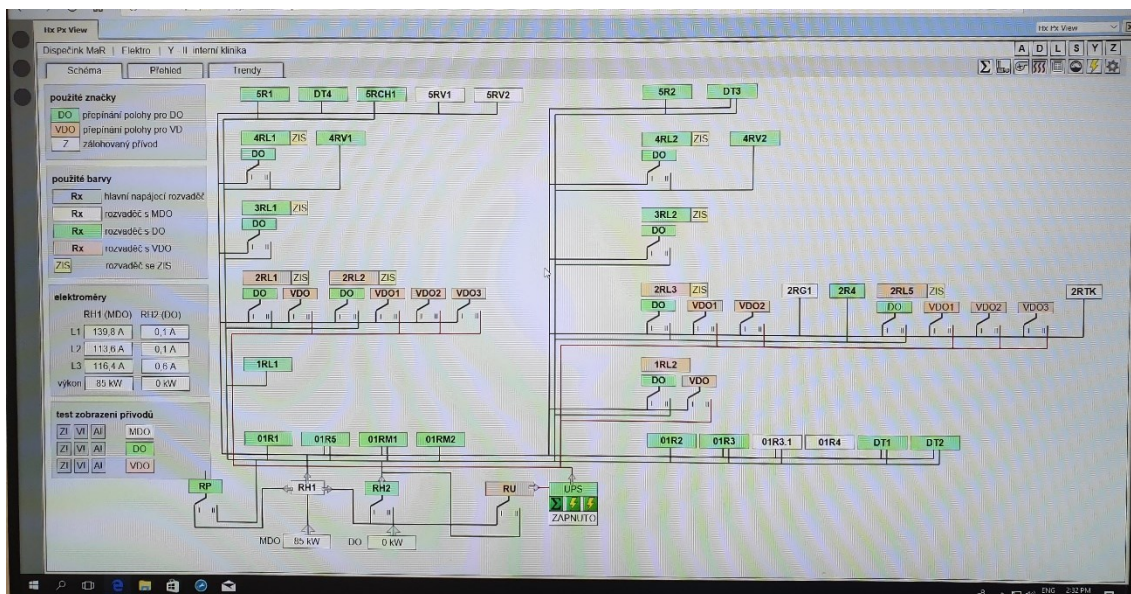
Na straně vysokého napětí jsou použity PQ monitory MEG39. Měření na straně nn je potom provedeno Power Quality monitory MEG44PAN ve dvou provedeních. V trafostanicích, tedy v napájecích uzlech, jsou přístroje v plné SW výbavě, poskytující úplný přehled o kvalitě napájení dle normy ČSN EN 61 000-4-30 ed. 3 s vyhodnocením dle normy ČSN EN 50160 a především

zdravotnické normy ČSN EN 33 2000-7-710. Na odběrných místech v areálu jsou osazeny přístroje v základní variantě, která umožní vyhodnocení událostí na napětí dle normy ČSN EN 33 2000-7-710 i ČSN EN 50160 a součástí je záznamník základních elektrických veličin (napětí, proudy, výkony) pro další analýzy. Základní varianta se v odběrných místech uvažuje z ekonomického hlediska, ovšem v případě potřeby je možný upgrade na plnohodnotný PQ monitor dle ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 a to pouze změnou firmwaru bez zásahů do instalace.

2.3 Výběr měřicích míst

V jednotlivých trafostanicích areálu se monitoruje VN strana v předávacích bodech od distributora elektrické energie a výstupy NN za jednotlivými transformátory. Na straně nízkého napětí je monitoring navržen tak, že se sledují především hlavní a záložní přívody na patě každé z budov areálu. Sleduje se tedy napájení od distributora elektrické energie a v případě výpadku také napájení ze záložních zdrojů napájení. Tímto způsobem je možné ověřit nastavení automatik a jejich správnou funkci v případě reálné poruchy, případně ověřit reálné zatížení náhradních zdrojů a také například vhodně dimenzovat přívody a mnoho dalšího...

Propojení se systémem HONEYWELL umožňuje vytvoření vizualizačních obrazovek, na kterých je možné sledovat aktuální stav technologie. Obrázek 2.1 je příkladem konkrétního využití. Jde o informační panel umístěný v hlavní rozvodně jedné z budov. Ve spodní části jsou vidět přívody MDO (hlavní napájení) a DO (záložní napájení). Nalevo jsou potom aktuální měřené proudy na těchto přívodech. Hlavní část obrazovky znázorňuje přívody do jednotlivých patrových rozváděčů, jejich stav a polohu přepínačů v rozváděčích. Vzhledem k tomu, že se jedná o moderní budovu postavenou dle nové koncepce, jsou za běžného provozu přívody záložního napájení bez zatížení.



Obrázek 2.1 Fotografie informačního panelu

2.4 Použité smart měřicí přístroje – popis

Stěžejním prvkem řešeného projektu je PQ monitor MEG44 PAN, který je díky svým vlastnostem a displeji vhodný nejen pro vzdálený dispečerský dohled, ale i pro běžnou obsluhu přímo na místě, a to bez použití PC. Přehledné uspořádání hlavních měřených parametrů poskytuje technikům provádějícím údržbu ucelený přehled o stavu napájení.

2.4.1 PQ monitor MEG44 PAN [19]

Panelový PQ monitor MEG44PAN je určen k měření na hladině nn, měří tři napětí a tři proudy, lze jej použít i pro jednofázová měření. Realizuje funkci přímého měření a zobrazování měřených veličin, funkci záznamníku, funkci elektroměru, funkci analýzy kvality napětí a funkci záznamu telegramů HDO, které provádí současně, bez přerušení a bez mezer. Lze jej použít i k oscilografickým záznamům všech měřených veličin.

Parametry kvality napětí i proudů měří metodami třídy A s přesnostmi třídy S. Všechny standardem ČSN EN 61000-4-30, ed. 3 stanovené parametry včetně harmonických a meziharmonických do řádu 125 i rychlých změn napětí statisticky vyhodnocuje. Zaznamenává jejich časové průběhy v jednotlivých fázích. Energie měří ve čtyřech kvadrantech a měření zaznamenává trojfázově i pro jednotlivé fáze s pomocí šestic v čase rozložených registrů. Provádí i dynamické měření činných energií. Ve funkci záznamník monitor měří a zpracovává všechny měřené veličiny, vyhodnocuje výkony, energie a harmonické do řádu 64. Při záznamu napětíových jevů a událostí na proudtech provádí s pretriggerem vedle záznamu průběhů $U_{RMS1/2}$ a $I_{RMS1/2}$ také oscilografický záznam všech měřených napětí a proudů.



Obrázek 2.2 PQ monitor MEG44 v panelovém provedení [19]

Napětíové měřicí vstupy jsou určeny pro přímá měření napětí na hladině nn i v CAT IV 300 V. Proudové vstupy jsou určeny pouze pro nepřímá měření volitelně přístrojovými transformátory proudů, externími toroidy, transformátory s dělenými jádry nebo ohebnými snímači. Monitor MEg44PAN má dva dvojstavové vstupy a dva kontrolované výstupní spínací kontakty relé. Má sériová rozhraní USB, RS485 a ETH. Rozhraní USB je určeno k místní a rozhraní RS485 a ETH k dálkové parametrizaci a vyčítání dat. K uchování naměřených dat lze použít mikro SD paměťovou kartu.

Monitor MEg44PAN se vyrábí ve dvou provedeních buď s napájecím střídavým napětím 230 V (CAT IV 300 V) nebo s napájecím napětím stejnosměrným v rozsahu od 10 V do 30 V.

2.4.1.1 Informace o SW

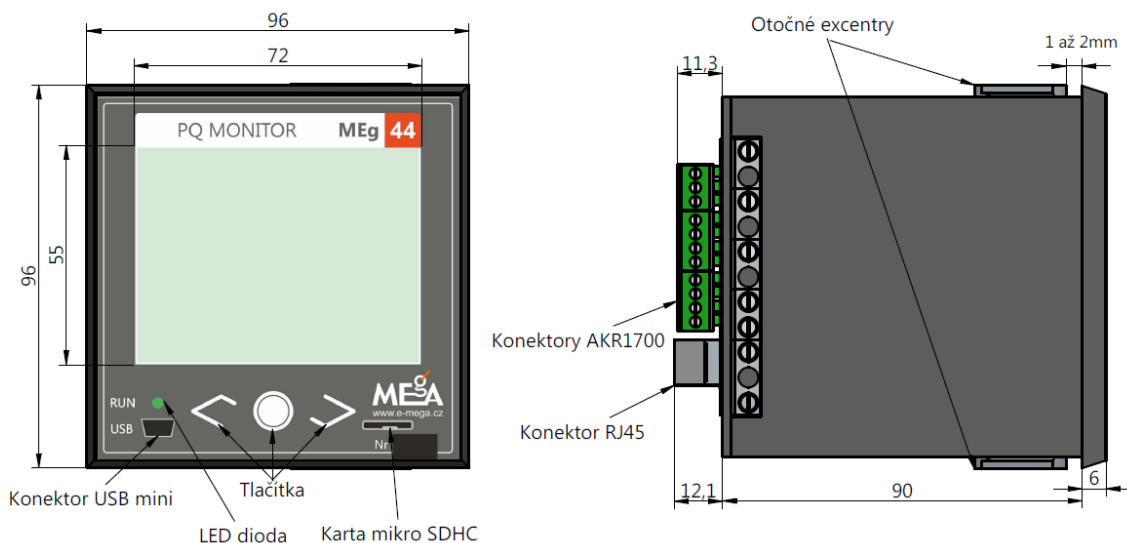
Panelový PQ monitoru MEg44PAN obsahuje CD s uživatelskými programy. Parametrizaci měření, vyčítání naměřených dat, zobrazení přímého měření provádí program PQ_MEg. Zobrazení změřených dat v grafické i tabulkové formě jednoho datového souboru, export změřených dat a tiskové úlohy zajišťuje jednotný program Data Viewer DVMEg. Funkce uvedených programů jsou popsány v samostatných uživatelských příručkách.

Pro práci nad datovými soubory jednoho nebo více přístrojů i různých typů je připraven program WebDatOr, který je dodáván samostatně.

Dálkově lze přenášet naměřené hodnoty formátem MODBUS. Má web rozhraní umožňující zobrazení okamžitých hodnot vybraných veličin přes webový prohlížeč.

2.4.1.2 Konstrukce

Černý nehořlavý plastový plášť panelového PQ monitoru MEg44PAN s rozměry 90 × 90 × 90 mm je na přední straně zakončen rámečkem 96 × 96 mm výšky 6 mm. K připevnění do panelu o síle plechu 1 mm až 2 mm slouží dva bílé excentry, vložené otočně v otvorech horní a spodní strany pláště monitoru. V rámečku je umístěn panel s folií, která překrývá barevný podsvícený LCD displej s 320 × 240 body a zobrazovací oblasti 72 × 55 mm. K ovládání zobrazování je pod displejem umístěna vystředěná trojice tlačítek. Dvě krajní tlačítka jsou směrová a slouží k posouvání zobrazovaných stránek nebo funkcí a prostřední tlačítko umožňuje přechod na hlavní stránku a výběr funkcí. LED dioda RUN na předním panelu signalizuje kmitavým svitem provozní stav přístroje. Trvalý svit nebo trvalé zhasnutí diody RUN vyjadřuje poruchový stav nebo stav bez napájení. Zepředu přístupný konektor USB mini B je určen pro místní parametrizaci měření a vyčítání změřených dat počítačem přes kabel USB mini. Změřená data v CSV formátu se rovněž ukládají na paměťovou kartu mikro SDHC třídy 4 s kapacitou do 32 GB. Na předním panelu je uvedeno výrobní číslo přístroje, které se shoduje s výrobními čísly externích ohebných proudových snímačů typu AMOSm nebo proudových transformátorů s děleným jádrem typu KCT nebo toroidů typů TORm nebo TORv. Externí proudové snímače jsou kalibrovány spolu s monitorem.



Obrázek 2.3 Konstrukce PQ monitoru MEG44 PAN [19]

Zadní panel přístroje viz. Obrázek 2.2 překrývá proudové, napěťové a napájecí svorkovnice se třmeny. Svorkovnice jsou typu MV 462 nebo MV 463 s roztečí 6,35 mm a šrouby M3. Umožňují připojení lanek do průřezu 4 mm² a drátů do průřezu 6 mm². Ve slaboproudých konektorech sériového rozhraní RS485 s kontakty A, B a G, dvou dvoustavových vstupních signálů IN1, IN2, dvou spínacích kontaktů relé se svorkami OUT11, OUT12 a OUT21, OUT22, jejichž funkce je kontrolována procesorem, jsou při dodávce osazeny tři trojpólové a jeden dvojpólový konektor typu ARK 1700. Pod nimi je konektor sériového rozhraní ETH typu RJ45 v němž je osazen krimpovací konektor WS 8-8 pro drátové připojení.

Na zadním panelu je kromě loga výrobce uveden typ a jmenovitá hodnota proudových vstupů monitoru. Proudové vstupy monitoru jsou ve čtyřech variantách. Standardní se jmenovitým proudem 5A nebo 1A pro transformátory s uzavřeným jádrem nebo pro transformátory s děleným jádrem PTD2. Pro ohebné snímače AMOSm se jmenovitým proudem z řady 30 A / 100 A / 300 A / 1000 A / 3000 A, pro transformátory s děleným jádrem KCT s průměrem vodiče od 6 mm do 36 mm a jmenovitým proudem od 5A do 600A a pro externí toroidy TORm se jmenovitým proudem 1A nebo 5A nebo TORv se jmenovitým proudem 10A nebo 50A.

Měřicí napěťové vstupy se jmenovitou hodnotou fázového napětí 230 V_{ef} a maximální hodnotou fázového napětí 300 V_{ef} platnou pro prostředí CAT IV. Dále jsou na zadním panelu uvedeny zákonné informace.

PQ monitor MEG44PAN se vyrábí se dvěma rozdílnými napájecími napětími, která se přivádí na svorky S1 a S2. Při síťovém napájení je jmenovité napájecí napětí 230 Vstř, 50 Hz a přístroj má příkon 8 VA. Při napájení stejnosměrným napětím se jmenovitou hodnotou od 12 Vss do 24 Vss má přístroj příkon 5 W.

Pro uchycení na panel nn skříňe lze použít tvarovaný U profil vyrobený z plechu tloušťky 1,5 mm, který se na volnou plochu připevňuje třemi samořeznými šrouby ST4.8×13 (DIN7981). Monitor se k U profilu připevní otočením dvou excentrů osazených v otvorech horní a spodní stěny pláště monitoru.

2.4.2.1 Funkce monitoru

PQ monitor MEg44PAN je přístroj třídy S s měřicími metodami splňujícími požadavky třídy A dle EN 61000-4-30, ed. 3, jeho metody měření a nejistoty měřených veličin jsou testovány zkušebními testy dle ČSN EN 62 586-2 a dále vlivy provozních podmínek dle postupů specifikovaných v ČSN EN 62 586-1. To znamená, že parametry kvality napětí měří bez přerušení a bez mezer. Měří všechny napěťové a proudové jevy, které se v měřeném místě v průběhu měření vyskytly a i statistická vyhodnocení včetně extrémních hodnot vyjadřují všechny stavy měřených veličin. Vedle normou požadovaného statistického měření napětí hromadného dálkového ovládání umožňuje monitor i záznam telegramu HDO.

Vedle výpočtu efektivních hodnot za periodu s opakováním výpočtu po půlperiodě všech měřených napětí a proudů zaznamenává i s pretriggerem oscilografické průběhy všech měřených veličin při napěťových jevech i nadproudových událostech a změnách na dvoustavových signálech.

PQ monitor MEg44 lze použít také k oscilografickému záznamu měřených napětí i proudů. Monitor MEg44PAN má dva vstupní signály s volitelným externím nebo interním napájecím napětím a dva spínací kontakty dvou relé, jejichž druhé kontakty jsou kontrolovány procesorem.

2.4.2.2 Změřené veličiny

Rozsah změřených veličin závisí na měřicím zapojení a parametrizaci měření. Změřená data se dělí na data průběžných jevů kvality napětí, data při jednorázových napěťových jevech (událostech), data záznamníku, data funkce elektroměru a data signálů HDO.

Data průběžných jevů kvality trojfázového napětí vývodu pro interval agregace (10 min):

- Frekvence v rozsahu $\pm 1\%$, $+4\%$ až -6% , mimo rozsah $\pm 1\%$, $+4\%$ až -6% , s flagováním i bez flagování
- Frekvence f – průměr, minimum, maximum
- Nesymetrie napětí u_2 a proudu i_2
- Nevyváženost napětí u_0 a proudu i_0

Data průběžných jevů kvality fázových napětí a proudů pro každý interval agregace (10 min):

- Napětí – průměr, minimum, maximum v časové a ve frekvenční doméně
- Proudů – průměr, minimum, maximum v časové a ve frekvenční doméně
- Odchylky napětí U_{over} , U_{under}
- Flicker P_{st} a P_{lt}
- Činitel tvarového zkreslení napětí THDU
- Stejnosečná složka U_{SS}
- Základní až 125. harmonická napětí
- Vycentrované podskupiny meziharmonických napětí do řádu 125.
- Základní až 125. harmonická proudů
- Vycentrované podskupiny meziharmonických proudů do řádu 125.
- Napětí signálů na napětí (HDO) – průměr, maximum
- Počet 3s intervalů vyhodnocení HDO

- Počet 3s intervalů s napětím HDO nad mezí.
- Činná a jalová energie E_{P+} , E_{P-} , $E_{QC/P+}$, $E_{QL/P+}$, $E_{QC/P-}$, $E_{QL/P-}$

Data rychlých změn napětí – RVC

- Doba trvání rychlé změny napětí v ms
- Průměrné napětí v ustáleném stavu před RVC
- Maximální absolutní rozdíl mezi $U_{RMS1/2}$ při RVC a ustáleného napětí před RVC
- Absolutní rozdíl desetiperiodového napětí U_{RMS10} při RVC a ustáleného napětí před RVC
- Průběhy napětí $U_{RMS1/2}$ a proudů $I_{RMS1/2}$ při RVC
- Oscilogramy průběhů napětí a proudů při RVC

Data při jednorázových jevech na napětích i proudech

- Čas vzniku jevu
- Doba trvání jevu
- Okamžiky překročení hranic přerušeni, poklesů a zvýšení napětí i proudu
- Zbytkové a maximální hodnoty napětí, maximální hodnoty proudů
- Průběhy napětí $U_{RMS1/2}$ a proudů $I_{RMS1/2}$
- Oscilogram průběhů napětí a proudů při jednorázovém jevu
- Harmonická napětí a proudy při jednorázovém jevu

Data záznamníku pro každý interval agregace a fázi (od 1s do 15 min dle parametrizace).

Fázová:

- Napětí U_{ef} , – průměr, minimum, maximum
- Činitel tvarového zkreslení napětí THDU
- Stejnoseměrná složka napětí U_{SS} ,
- Harmonické složky napětí řádu 1. až 64. U_{Hn} ,
- Proudů I_{ef} , – průměr, maximum
- Činitel tvarového zkreslení proudu THDI
- Harmonické složky proudu řádu 1. až 64. I_{Hn} ,
- Činný výkon – průměr, minimum, maximum
- Jalový výkon – průměr, minimum, maximum
- Zdánlivý výkon – průměr, minimum, maximum
- Deformační výkon – průměr, minimum, maximum
- Power faktor PF
- $\cos\phi$
- Činný výkon 1.H – průměr, minimum, maximum
- Jalový výkon 1.H – průměr, minimum, maximum
- Zdánlivý výkon 1.H – průměr, minimum, maximum
- Činná a jalová energie E_{P+} , E_{P-} , $E_{QC/P+}$, $E_{QL/P+}$, $E_{QC/P-}$, $E_{QL/P-}$.

Trojfázová:

- Činný výkon - průměr, minimum, maximum
- Jalový výkon - průměr, minimum, maximum
- Zdánlivý výkon - průměr, minimum, maximum

- Deformační výkon - průměr, minimum, maximum
- Výkon nesymetrie -průměr, minimum, maximum
- Power faktor PF
- $\cos\phi$
- Činný výkon 1.H - průměr, minimum, maximum
- Jalový výkon 1.H - průměr, minimum, maximum
- Zdánlivý výkon 1.H - průměr, minimum, maximum
- Výkon nesymetrie 1.H - průměr, minimum, maximum
- Teploty T1, T2

Data funkce elektroměru pro vývod a každou fází od začátku firemního nastavení a od začátku měření

Činná a jalová energie E_{P+} , E_{P-} , $E_{QC/P+}$, $E_{QL/P+}$, $E_{QC/P-}$, $E_{QL/P-}$.

2.4.2.3 Popis datového rozhraní WEB

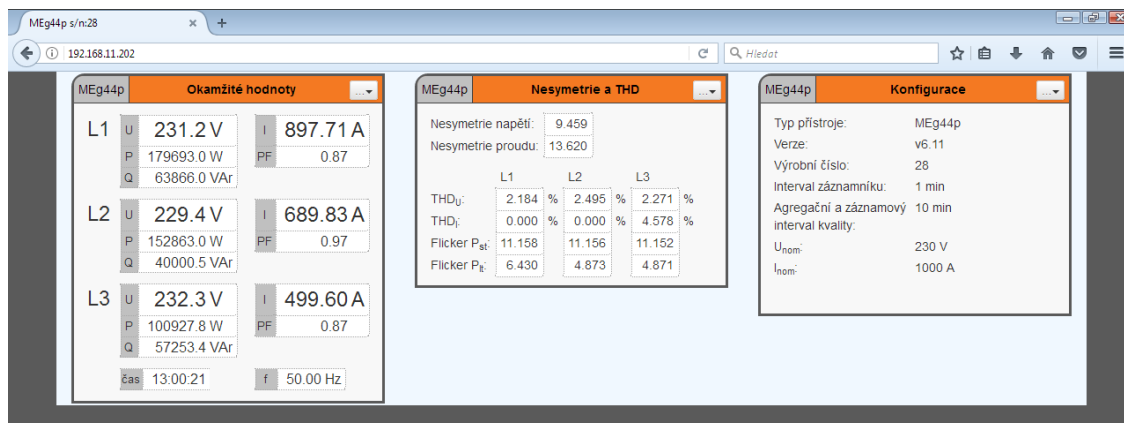
Měřicí přístroj MEg44PAN má implementován webový server, který umožňuje zobrazení okamžitých hodnot vybraných veličin přes webový prohlížeč. Web server dále umožňuje zobrazení základní konfigurace přístroje a možnost nastavení parametrů rozhraní Ethernet.

Základní uživatelské nastavení zahrnuje IP adresu přístroje, masky podsítě a výchozí brány, jejich nastavení se provádí pomocí dodávaného software PQ_MEG a přístrojem připojeným k počítači přes rozhraní USB. Uživatelem zadané parametry lze ověřit přímo na displeji přístroje, volbou položky menu „Nastavení“, viz Obrázek 2.4.

13:17:59	Nastavení	02/03/18
MEg44PAN	FW: 6.11	S/N: 28
Nastavení	Jmen. napeti [V]: 230	Transf. prevod [A]: 1000/5
Ethernet	IP: 192.168.11.202	MA: 255.255.255.0
	GW: 192.168.11.1	
Info		(1/1)

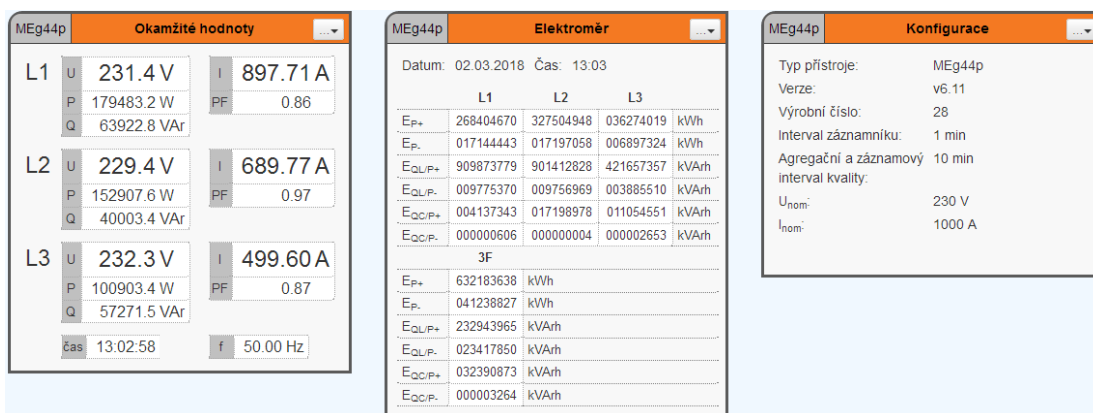
Obrázek 2.4 Parametry rozhraní ETH [19]

Po zadání IP adresy přístroje do webového prohlížeče je zobrazena dynamická stránka se třemi okny, viz Obrázek 2.5, která se automaticky přizpůsobí rozlišení použitého mobilního telefonu, tabletu nebo počítače.

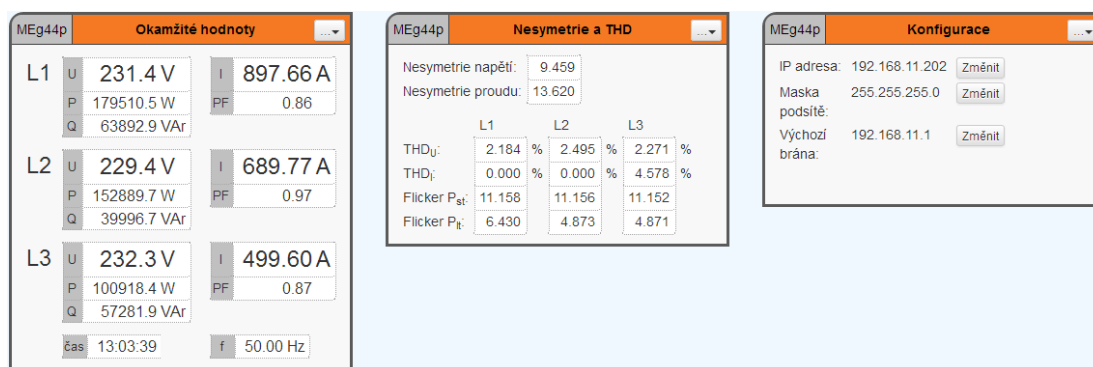


Obrázek 2.5 Webová stránka přístroje MEG44PAN [19]

V prvním okně jsou zobrazovány okamžité hodnoty napětí, proudů, činných, jalových výkonů a účinníků pro každou fázi. Současně je zobrazen aktuální čas vyčtený z přístroje a frekvence měřeného napětí. Zobrazení okamžitých hodnot je aktualizováno v intervalu 2 sekundy. Volbou menu na pravé straně lišty okna, lze aktualizaci okamžitých hodnot vypnout. Druhé okno lze přepínat volbou v pravé části lišty mezi funkcí elektroměru se šesti registry, viz Obrázek 2.6 a zobrazení THD napětí a proudů, flikru v každé fázi, a dále nesymetrie napětí a proudu, viz Obrázek 2.7. Třetí okno zobrazuje informaci o konfiguraci přístroje a je zde také možné změnit nastavení parametrů připojení do sítě Ethernet, viz Obrázek 2.7.



Obrázek 2.6 Webová stránka – Elektroměr, konfigurace [19]



Obrázek 2.7 Webová stránka – Nesymetrie a THD, Konfigurace [19]

2.4.2.4 Měřicí a komunikační zapojení, zapojení vstupů a výstupů

Panelový PQ monitor MEG44PAN je určen pro měření v energetických provozech nn sítí a distribučních nn sítích i v nejnáročnějších provozních podmínkách. Je navržen v měřicí kategorii a kategorii přepětí CAT IV 300 V a v bezpečnostní třídě II. To je předpokladem jeho spolehlivého chodu bez nutnosti jištění měřicích a napájecích obvodů. Vstupní a výstupní dvoustavové signály jsou připraveny pro modifikaci řídicího programu monitoru i řízení technologie podle změřených veličin. Přes rozhraní místní i dálkové komunikace RS485 a ETH s protokolem MODBUS RTU mohou být již provozované měřicí a informační systémy dodatečně rozšířeny o funkce poskytované monitorem MEG44PAN.

Fázová napětí jsou měřena proti střednímu vodiči. Napětíové vstupy přístroje jsou označeny U1, U2 a U3.

Vysokofrekvenční uzemnění přístroje na svorce označené zemí v kroužku, je připojeno k zemi případně k vodiči PEN.

Monitor MEG44PAN se vyrábí se dvěma variantami napájení. Provedení se jmenovitým napájecím napětím 230 V je určeno pro napájení ze sítě nebo ze zdroje zajištěného napájení se střídavým i stejnosměrným napětím. PQ monitor v tomto provedení může být napájen střídavým napětím od 55 V do 300 V. Provedení přístroje se jmenovitým stejnosměrným napájecím napětím 12 V nebo 24 V pracuje v rozsahu od 10 V do 30 V.

Proudové vstupy MEG44PAN jsou vyráběny ve čtyřech provedeních, které jsou spolu se jmenovitou hodnotou měřeného proudu uvedeny na zadním panelu přístroje. Provedení i jmenovitá hodnota proudu platí pro všechny tři proudové vstupy. Proudové vstupy I1, I2 a I3 monitoru mají označené svorky k a l. U všech provedení se k nim připojují shodně označené vodiče snímačů.

V základním provedení monitoru jsou proudové vstupy I1, I2 a I3 navrženy pro standardizovaný jmenovitý proud 5 A nebo 1 A. Zapojují se do sekundárních obvodů pevně instalovaných přístrojových proudových transformátorů nebo proudových transformátorů s děleným jádrem PTD2, viz Obrázek 2.8. Nejsou-li proudové transformátory vybaveny možností zkratování sekundárního obvodu, je vhodné do proudových přívodů zapojit zkratovací svorky pro potřebu demontáže monitoru bez nutnosti vypnutí síťových obvodů. Pro dodatečné měření proudů v tvarově nebo konstrukčně složitých provedeních sběren (zdvojená sběrna, malé vzdálenosti mezi sběrnami apod.) i v prostorách s CAT IV 300 V je výhodné použít ohebné snímače proudů AMOSm. Ty se vyrábí s délkou smyčky 20 cm, 40 cm nebo 60 cm a se jmenovitým proudem 30 A, 100 A, 300 A, 1000 A nebo 3000 A. Lze dodat i jinou jmenovitou hodnotu. Příklad zapojení je na Obrázek 2.9. Výhodou je rychlost instalace, kterou lze provést i postupem práce pod napětím bez nutnosti vypínání.

K měření fázových proudů nn sítě PQ monitorem MEG44PAN lze použít i transformátory s děleným jádrem typu KCT se jmenovitým proudem 5 A, 10 A, 20 A, 60 A, 75 A, 100 A, 120 A, 200 A, 300 A, 400 A, 500 A a 600 A, které mají otvory pro vodič s měřeným proudem 6 mm, 10 mm, 16 mm, 24 mm a 36 mm. Zapojení viz Obrázek 2.10. Monitor MEG44PAN má pak upravené proudové vstupy pro nestandardní, ale energeticky výhodný jmenovitý sekundární proud řádu desítek mA. Transformátory s děleným jádrem typu KCT lze instalovat i do sekundárních obvodů měřicích proudových transformátorů určených k měření elektrické energie elektroměry a tak galvanicky oddělit měření množství a měření kvality elektrické energie.

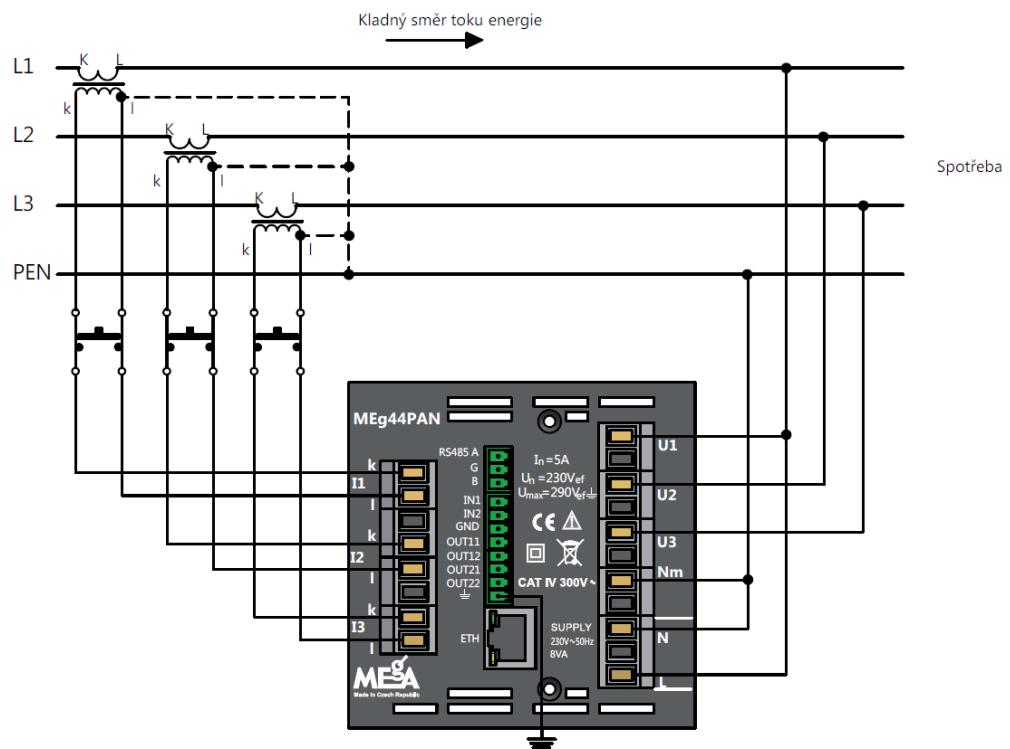
Toroidy TORm a TORv je vhodné použít, jestliže je možnost rozpojení nn obvodů fázových proudů. Toroidy umožňují přesné měření i malých proudů. Toroid TORm s otvorem o průměru 6 mm lze použít pro $I_{jm} = 1$ A nebo 5 A a toroid TORv s otvorem o průměru 15 mm pro $I_{jm} = 10$ A a 50 A. Toroidy obou typů splňují požadavky CAT IV 300 V. Oba toroidy lze pro své malé rozměry použít pro přímé měření v nn rozvodech domů. Toroid TORm lze rovněž použít pro měření sekundárních proudů přístrojových proudových transformátorů. Příklad zapojení demonstruje Obrázek 2.11, kde má PQ monitor MEg44PAN stejnosměrné napájecí napětí od 12 V do 24 V.

Zapojení dvou vstupů PQ monitoru MEg44PAN je na Obrázek 2.12. Při interním napájení lze mezi vstupní svorku a společný vodič GND zapojit spínací kontakt přímo. Dále je zde rovněž použito externí stejnosměrné napětí 12 V nebo 24 V.

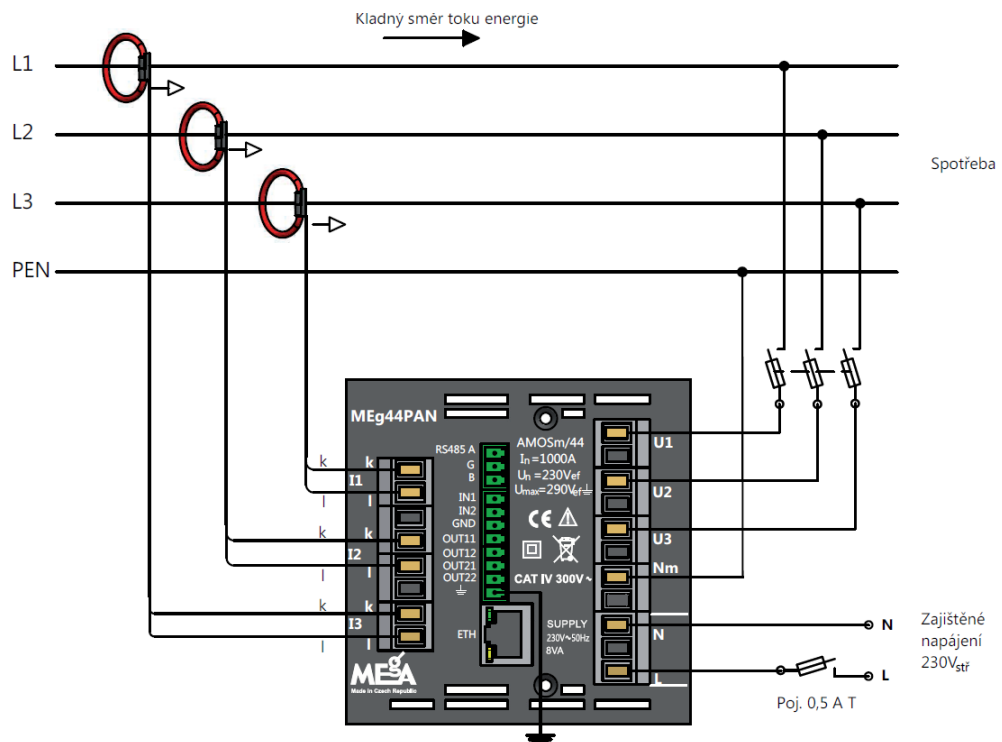
Obrázek 2.13 je příklad přímého připojení zátěže na svorky OUT21 a OUT22 výstupního kontaktu při napájení stejnosměrným i střídavým napětím o velikosti 24 V. Při spínání zátěže v transformační stanici napájené jejím nn napětím je nutné použít k oddělení relé s CAT IV/300V, které je ovládáno výstupním kontaktem se svorkami OUT21 a OUT22.

Dálková komunikace pomocí jednotky MEg202.5/LTE nebo GPRS sítí GSM i dálková komunikace pomocí jednotky MEg201.5 sítí Ethernet případně místní komunikace s energetickým měřicím a řídicím systémem viz Obrázek 2.14, je realizována přes sériové rozhraní RS485 monitoru. Využívá se buď proprietární protokol nebo otevřená komunikace protokolem MODBUS RTU. V rámci jednoho rozhraní RS485 lze adresovat až 32 komunikujících zařízení. Uvedené komunikační jednotky nejen přenášejí měřená data do dálkových sítí nebo místních informačních systémů, ale rovněž přenášená data komprimují a řídí komunikaci.

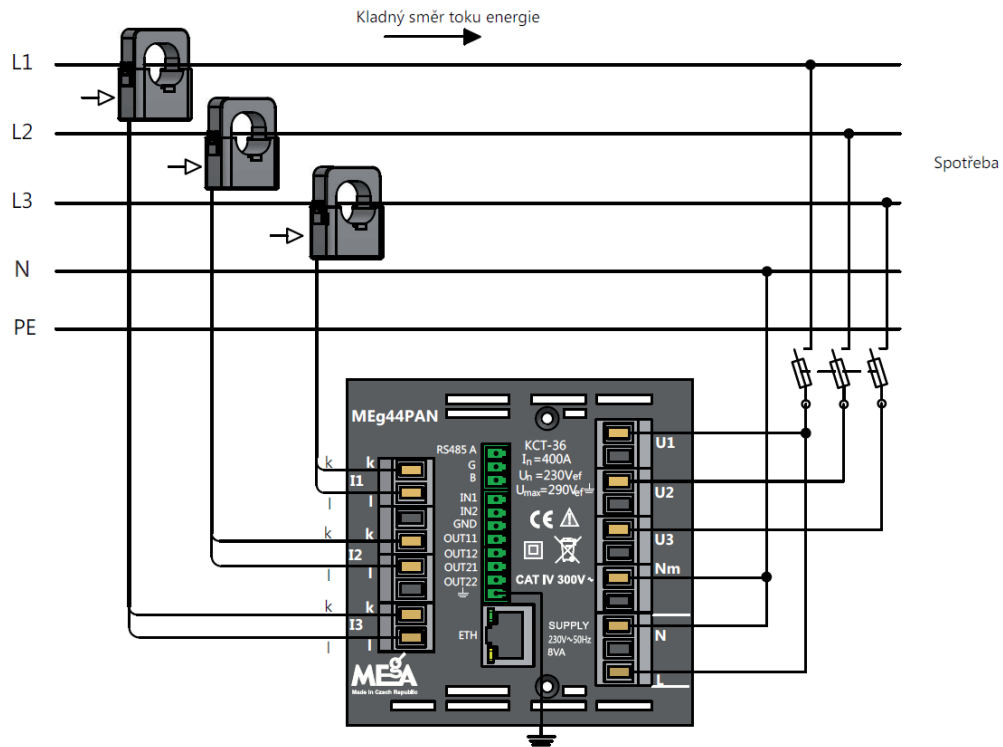
Na Obrázek 2.15 je vidět využití sériového rozhraní ETH s konektorem RJ45 pro dálkový přenos dat více PQ monitorů MEg44PAN při použití jednotky Switch. V monitoru je osazen krátký konektor RJ45 typu WS 8-8 pro vodič, umožňující připojení do sítě Ethernet i přístroj instalovaný v U profilu.



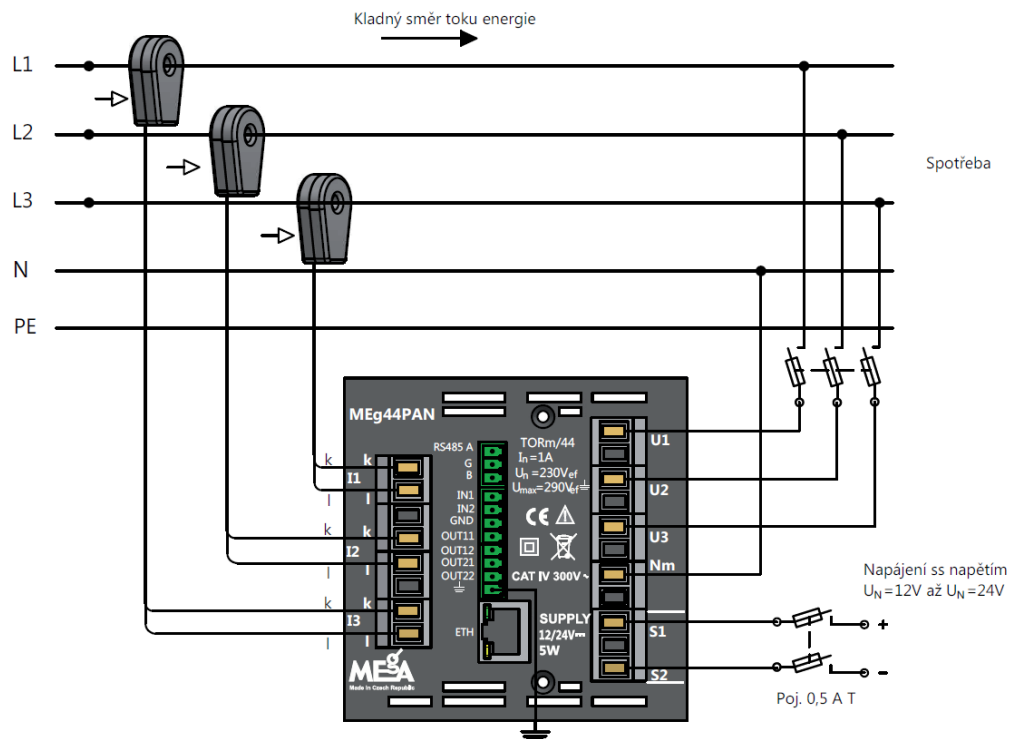
Obrázek 2.8 Zapojení MEG44PAN v transformační stanici, proudové transformátory kategorie CAT IV 300V [19]



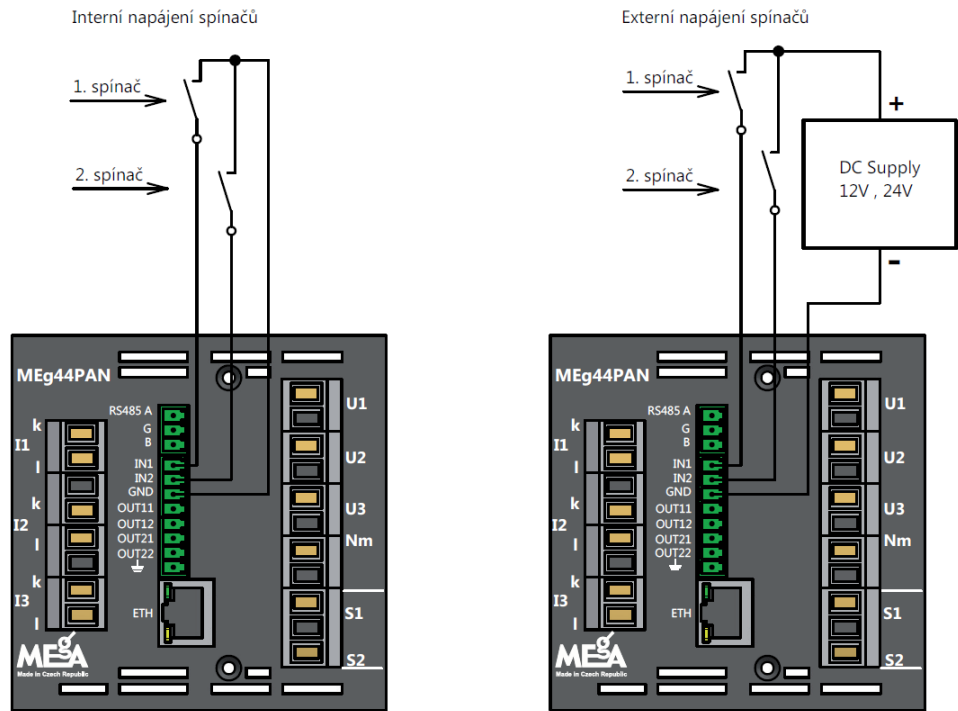
Obrázek 2.9 Zapojení MEG44PAN v nn síti typu TN-C, měření proudů AMOSm, kategorie CAT IV 300V [19]



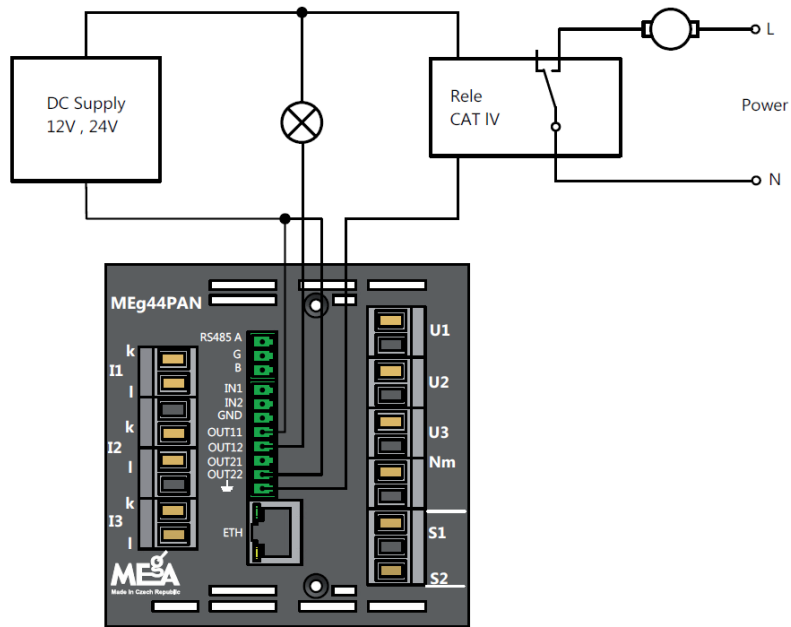
Obrázek 2.10 Zapojení MEG44PAN v nn síti typu TN-S, měření proudů KCT, kategorie CAT III [19]



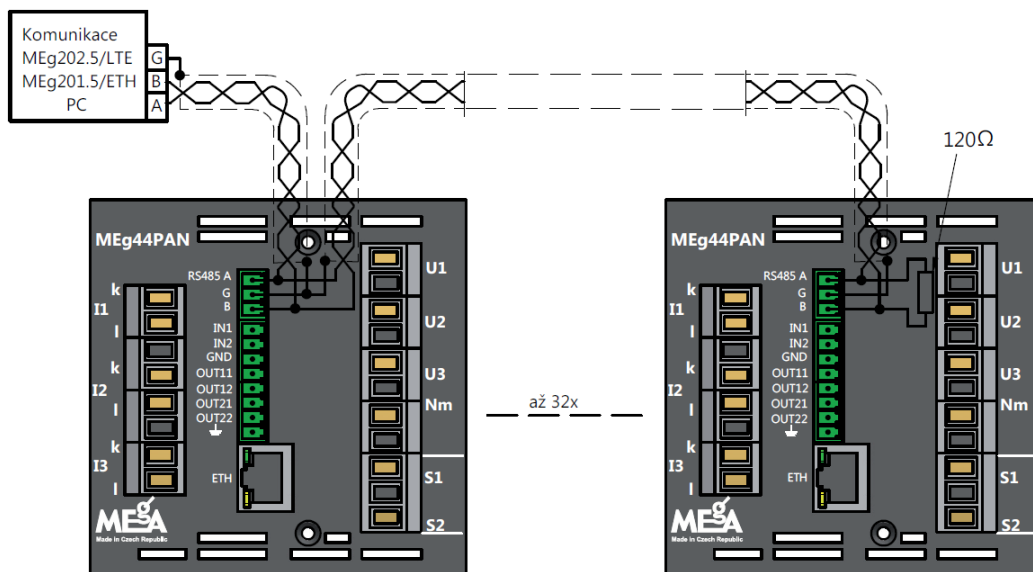
Obrázek 2.11 Zapojení MEG44PAN v nn síti typu TN-S, měření proudů TORv, nebo TORm, kategorie CAT IV [19]



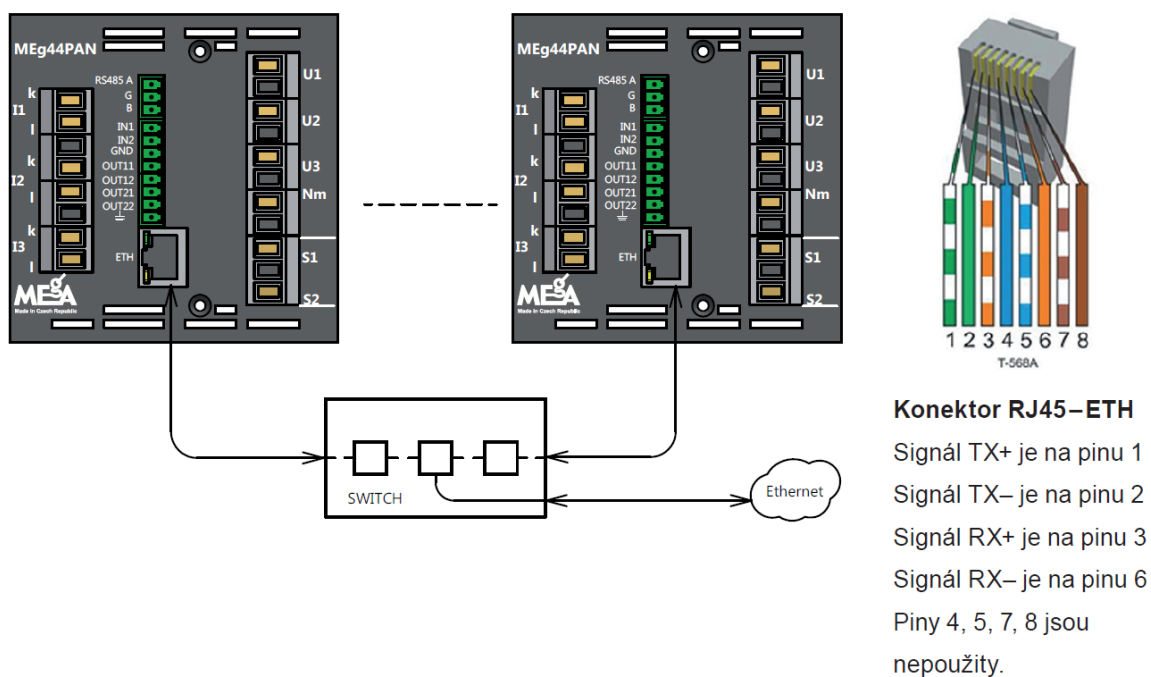
Obrázek 2.12 Zapojení vstupů MEG44PAN [19]



Obrázek 2.13 Zapojení výstupů MEG44PAN [19]



Obrázek 2.14 Komunikace s MEG44PAN přes rozhraní RS485 [19]



Obrázek 2.15 Komunikace monitorů MEG44PAN přes rozhraní ETH a jednotku Switch [19]

2.4.3 Zdroje [21]

Zdroje jsou určeny pro napájení měřicích zařízení. Lze je použít i pro napájení zařízení jiných výrobců. Zdroje poskytují standardně výstupní napětí 12 V. Rozsahy vstupních napětí zdrojů se liší. Vyrábí se varianty zdrojů se zálohovaným napájením pomocí akumulátorů pro dlouhé časy (řádově minuty až hodiny), a nebo pomocí superkapacitorů pro krátké časy (řádově sekundy).

2.4.3.1 Zdroj MEg101.4 [21]

Zdroj zajištěného napájení Supply MEg101.4 je určen pro napájení měřicích a komunikačních zařízení MEgA, a. s., se jmenovitým stejnosměrným napájecím napětím 12 V. Jeho základem je vysokofrekvenční měnič napětí, který s vysokou účinností převádí napájecí napětí na výstupní zajištěné stejnosměrné napětí. Při přerušení napájecího napětí dodává zdroj výstupní stejnosměrné napětí po dobu minimálně 3 s z interního superkapacitoru nebo při připojení externího akumulátoru o kapacitě 12 Ah a maximálním zatížení po dobu minimálně 4 hodin. V případě potřeby lze dodávku zajištěné elektrické energie na výstupu zdroje blokovat. Zdroj je na svém výstupu vybaven nadproudovou ochranou a na vstupu vně přístupnou výměnnou pojistkou. Rovněž obvod akumulátoru je opatřen výměnnou pojistkou.



Obrázek 2.16 Zdroj zajištěného napájení Supply MEg101.4 [21]

2.4.3.2 Zdroj MEG101.7 [21]

Trojfázový zdroj napájení MEG101.7 má tři řízené výstupy. Je určen pro napájení měřicích a komunikačních zařízení se jmenovitým stejnosměrným napájecím napětím 12 V nebo 24 V. Jmenovité napájecí napětí zdroje MEG101.7 je 230 V_{STŘ} nebo 220 V_{SS}. Jeho základem je vysokofrekvenční měnič napětí, který s vysokou účinností převádí napájecí napětí na stejnosměrné napětí všech výstupů. Pro zajištění napájení lze ke zdroji připojit externí akumulátor nebo baterii superkapacitorů, jejichž stav nabití je monitorován. Při přerušení napájecího napětí je pak dodávka energie na jednotlivé výstupy řízena stavem nabití akumulátoru. V případě potřeby lze dodávku zajištěné elektrické energie na výstupech zdroje blokovat i dálkově. Dálkově je rovněž možné přenášet informace o stavu obvodů zdroje i stavu nabití externí baterie.

Zdroj je konstruován pro instalaci na DIN lištu, na svých výstupech je vybaven nadproudovými ochranami a na napájecích vstupech vně přístupnými výměnnými pojistkami. Rovněž obvod akumulátoru je opatřen výměnnou pojistkou.

Zdroj MEG101.7 splňuje požadavky kategorie přepětí CAT IV / 300 V, a proto je vhodný i do nn distribučních sítí.



Obrázek 2.17 Trojfázový zdroj napájení MEG101.7 [21]

2.4.4 Komunikační jednotka MEg201.5 [21]

Komunikační jednotky jsou určeny pro dálkovou komunikaci měřicích přístrojů s centrem. Umožňují komunikovat buď prostřednictvím sítě mobilních operátorů GSM/GPRS a GSM/UMTS/HSPA nebo pomocí komunikačního rozhraní Ethernet. Vedle naměřených veličin je možné dálkově přenášet stavy či změny stavů binárních vstupů a výstupů.

Komunikační jednotka MEg201.5 v základním provedení zajišťuje prostřednictvím sítě Ethernet a IP protokolů dálkový přenos stavů či změn stavů binárních vstupů a povelů. Z připojených měřicích přístrojů přes sériovou komunikační linku s rozhraním RS485 nebo vstupní a výstupní signály sbírá změřené a stavové hodnoty a dálkově je přenáší např. protokolem MODBUS. Implementuje standardizovaný komunikační protokol dle normy ČSN EN 60870-5-104 a umožňuje tak zařadit připojená zařízení do systému SCADA buď přímo, nebo prostřednictvím koncentrátorů.

Jednotka MEg201.5 se vyrábí ve dvou provedeních. Provedení MEg201.5a má dvě rozhraní ETH a komunikační jednotka MEg201.5b má vedle jednoho rozhraní ETH k připojení do sítě Ethernet dvě sériová rozhraní RS232 umožňující připojení např. k radiomodemu. Pro spojení s technologií mají obě provedení dvě galvanicky oddělená rozhraní RS485 s galvanicky oddělenými napájeními



Obrázek 2.18 Komunikační jednotka MEg201.5 [21]

2.4.5 Snímače střídavých proudů [11], [12], [20]

K měření proudů se používají buďto pevně instalované měřicí transformátory, nebo ohebné snímače střídavého proudu. Jedná se vlastně o Rogowského cívku, která je známa již od roku 1912. Cívka je navinuta na nemagnetickém a elektricky nevodivém jádře, které zároveň svými mechanickými vlastnostmi umožňuje flexibilitu cívky. Princip snímání je stejný jako u proudových transformátorů. Vazba mezi měřícím proudem a měřeným obvodem je induktivní. Tím, že je jádro z nemagnetického materiálu, nedochází k nasycení jádra, a tudíž její výstup zůstává lineární. Na svém výstupu má ale mnohem menší úroveň signálu než proudový transformátor. Její využití v měřicí technice bylo po dlouhou dobu limitováno citlivostí přístrojů.

Rogowského cívka umožňuje měření velkého rozsahu proudů od jednotek mA do MA a frekvencí od desetin Hz do jednotek MHz. Výstup cívky mohou vyjádřit pomocí vzorců (2.1) a (2.2):

$$u = M \cdot \frac{di}{dt} \quad (2.1)$$

M - vzájemná indukčnost (H)

$\frac{di}{dt}$ - změna proudu v čase

Pokud známe rozměry jádra cívky, můžeme vypočítat vzájemnou indukčnost:

$$M = \frac{\mu_0}{2\pi} nW \cdot \ln \frac{b}{a} \quad (2.2)$$

M - vzájemná indukčnost (H)

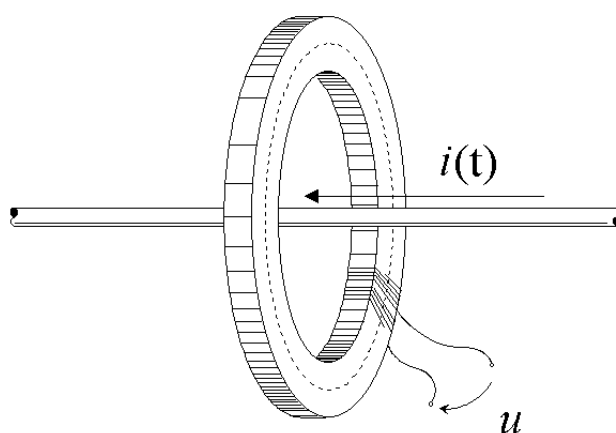
μ_0 - permeabilita vzduchu ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$)

n - počet závitů cívky

W - tloušťka jádra (m)

a - vnitřní poloměr jádra (m)

b - vnější poloměr jádra (m)



Obrázek 2.19 Rogowského cívka [12]

2.4.5.1 Aktivní měřicí ohebný snímač střídavého proudu AMOS M [20]

Ohebné snímače střídavých proudů jsou určeny k bezpečnému měření střídavých proudů nn sítí v prostorově stísněných podmínkách. V našem případě se jedná o rozvaděče, které je z provozního hlediska problematické vypnout na delší dobu. Lze je použít k provozním měřením střídavých proudů technických kmitočtů ve vodičích nestandardních průřezů a v prostorově úsporných rozváděčích. Snímače jsou používány v kombinaci s PQ monitory, dají se ale použít i s dalšími přístroji.

Aktivní měřicí ohebný snímač střídavého proudu AMOS M je určen pro měření střídavých proudů v distribučních nn sítích. Vyznačuje se malým průměrem snímací smyčky a zvýšenou odolností proti stékající vodě. Snímače AMOSM se vyrábí v jednom měřicím rozsahu, proto je tento rozsah rozšířený. Snímač AMOSM převádí střídavý proud na střídavé napětí, přičemž díky aktivnímu zpracování signálu v zesilovači a provedení snímací smyčky měří proudy v široké frekvenční oblasti s minimalizovaným fázovým posuvem mezi měřeným proudem a výstupním napětím. Přesnost měření proudu ohebnými snímači AMOSM závisí na umístění uzávěru smyčky vzhledem k vodiči protékajícímu měřeným proudem. Snímač AMOSM je kalibrován při umístění uzávěru smyčky co nejdále od vodiče s měřeným proudem. Z důvodu snížení vlivu proudů tekoucích v sousedních vodičích na výstupní napětí snímače AMOSM je účelné umístit uzávěr smyčky co nejdále od sousedních vodičů. Při měření proudů musí být oba díly uzávěru úplně zasunuty. Napájení snímače probíhá z měřicího přístroje a je signalizováno svitem LED diody RUN.



Obrázek 2.20 Ohebný snímač proudu AMOSM [20]

2.4.6 Měřicí transformátory s děleným jádrem [22]

Při instalaci nové technologie je vždy kladen důraz na minimální omezení chodu dotčených pracovišť. To je ale při instalaci měřících transformátorů za provozu velmi obtížné. Instalace do stávajících rozvaděčů je limitována prostorem. V okamžiku, kdy je v rozvaděči nedostatek místa, jsme nuceni provést úpravu. To v praxi znamená nejen vypnutí na dobu instalace měřících transformátorů, ale mnohem delší a nákladnější úpravu celého rozvaděče.

Měřicí proudové transformátory s děleným jádrem slouží k měření střídavých proudů na izolovaných vn a nn kabelech bez jejich demontáže. Jejich konstrukce umožňuje dodatečně instalovat do provozovaných rozvaděčů bez nutnosti jakýchkoliv úprav.

Na nn sítích je možné transformátory instalovat na izolované části, na hladině vn je nutné umístit transformátor na izolované žíly vn kabelu, který zajistí napětovou izolaci s dodržením požadovaných povrchových a vzdušných vzdáleností.

Přístrojový transformátor proudu PTD s děleným jádrem je vybaven izolací, která v provozním stavu transformátoru splňuje povrchové i vzdušné vzdálenosti měřicí kategorie CAT IV. Přístrojový transformátor proudu PTD s děleným jádrem lze použít i při měření proudů ve vn sítích.

Jmenovitý primární proud: $I_{jm \text{ prim}}$: 200 A, 400 A, 600 A, 900 A

Jmenovitý sekundární proud: $I_{jm \text{ sec}}$: 20 mA Lze dodat s $I_{jm \text{ prim}}$ 100 A, 300 A, 500 A.

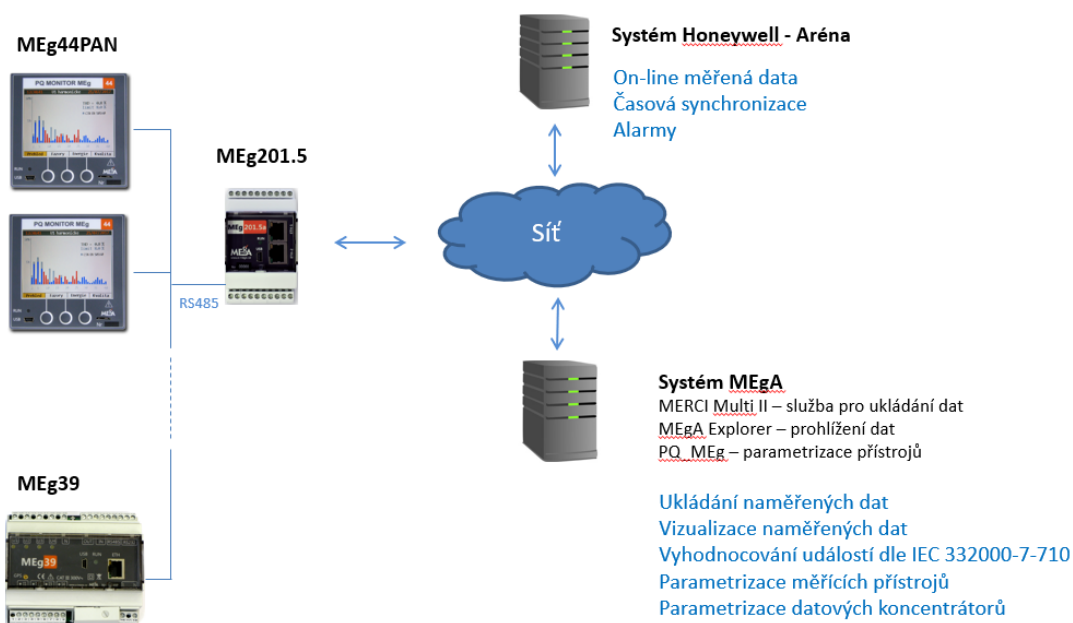
Měřicí transformátory se používají v kombinaci s univerzálními monitory, případně dalšími přístroji.



Obrázek 2.21 Měřicí transformátor s děleným jádrem [22]

3 KOMUNIKAČNÍ INFRASTRUKTURA A BEZPEČNOST PŘENOSU [17]

Data z měřicích přístrojů jsou integrována do stávajícího informačního systému. Pro přenos dlouhodobých dat a aktuálních hodnot z měření jsou měřicí přístroje v daném místě připojeny ke komunikační jednotce MEG201.5 ve funkci datového koncentrátoru s rozhraním ethernet. Komunikační jednotka obsluhuje samotné měřicí přístroje přes linku RS485 a přes síť LAN přenáší data z přístrojů do nadřazených systémů.



Obrázek 3.1 Blokové schéma komunikace a přenosu dat [17]

Datové koncentrátoři jsou komunikačně navázány do dvou systémů. Do stávajícího systému Aréna od firmy Honeywell jsou přenášena on-line data měření napětí, proudů, výkonů, účinnků atd. Tato data jsou systémem vizualizována, je možné nastavit alarmy pro překročení úrovně hlídané veličiny a také provádět časovou synchronizaci měřicích přístrojů.

Druhý systém umožňuje hromadné ukládání naměřených dat (služba MERC Multi) a jejich vizualizaci (MEgA Explorer). Služba MERC Multi periodicky vyčítá přírůstky naměřených dat z měřicích přístrojů a ukládá je do databáze pro další zpracování. SW MEGa Explorer přistupuje do databáze naměřených dat a dle požadavků je vizualizuje. Díky tomu je možné provádět detailní analýzu nad naměřenými daty. Součástí tohoto systému jsou i aplikace pro dálkovou zprávu měřicích zařízení a datových koncentrátorů. Na Obrázek 3.1 je uvedené blokové schéma přenosu dat do vyhodnocovacích systémů.

3.1 Kybernetická bezpečnost [17]

NÚKIB představuje ústřední orgán pro oblast kybernetické bezpečnosti v rámci České republiky a jeho doporučení jsou pro vybrané subjekty závazné a jejich dodržování se ověřuje. Zároveň NÚKIB implementuje do českého prostředí evropské předpisy, např. směrnici NIS [23] a další. Doporučení a požadavky NÚKIB se tedy v rámci ČR považují za klíčové a nejvíce relevantní z důvodu povinnosti jejich implementace, která je dána zákonem.

Technické požadavky NÚKIB jsou definovány Zákonem o kybernetické bezpečnosti [24], opatření pro jejich naplnění jsou uvedena především ve Vyhlášce o kybernetické bezpečnosti [25] a v Doporučení v oblasti kryptografických prostředků [26].

Doporučení v oblasti kryptografických prostředků [26] dále upřesňuje požadavek č. 10 v následujících oblastech kryptografického zabezpečení a definuje kryptografické algoritmy, které jsou z pohledu NÚKIB bezpečné. Rozlišuje dvě skupiny, tj. dosluhující algoritmy, které by se již neměly nově zavádět a jejich použití je omezeno pouze do roku 2023 s omezenými datovými objemy, a schválené algoritmy, které by měly být bezpečné minimálně ve střednědobém horizontu. Algoritmy jsou rozděleny do následujících kategorií: symetrické algoritmy, asymetrické algoritmy a algoritmy hashovacích funkcí. Ty jsou pak dále členěny do podkategorií.

1. Symetrické algoritmy

a. Blokové a proudové šifry

- i. Schválené: AES-128, AES-192, AES-256, TWOFISH-128 – TWOFISH -256, SERPENT-128, SERPENT-192, SERPENT-256, CAMELLIA-128, CAMELLIA-192, CAMELLIA-256, SNOW2.0-128, SNOW2.0-256, SNOW3G-128, SNOW3G-256, ChaCha20-256
- ii. Dosluhující: 3DES-112, BLOWFISH-128 a KASUMI-128

b. Módy šifrování

- i. Schválené: CCM, EAX, OCB1, OCB3, GCM, ChaCha20+Poly1305, Encrypt-then-MAC, XTS, EME, HMAC, EMAC, CMAC, UMAC
- ii. Dosluhující: CTR, OFB, CBC, CFB, HMAC-SHA1, CBC-MAC-X9.19

2. Asymetrické algoritmy

a. Digitální podpis

- i. Schválené: DSA-3072 a více, EC-DSA-256 a více, RSA-3072 a více, EC-Schnorr-256 a více
- ii. Dosluhující: DSA-2048, ECDSA-224, RSA-2048, EC-Schnorr-224

b. Dohody na klíčích, šifrování klíčů

- i. Schválené: DH-3072 a více, ECDH-256 a více, ECIES-KEM-256 a více, PSEC-KEM-256 a více, ACE-KEM-256 a více, RSA-OAEP-3072 a více, RSA-KEM-3072 a více
- ii. Dosluhující: DH-2048, ECDH-224, ECIES-KEM-224, PSEC-KEM-224, ACE-KEM-224, RSA-OAEP-2048, RSA-KEM-2048

3. Algoritmy hashovacích funkcí

- i. Schválené: SHA-256, SHA-384, SHA-512, SHA-512/256, SHA3-256, SHA3-384, SHA3-512, SHAKE-128, SHAKE-256, Whirlpool, BLAKE2
- ii. Dosluhující: SHA2-224, SHA3-224, RIPEMD-160

Doporučením pro bezpečnou komunikační infrastrukturu v komplexech budov kritické infrastruktury je zahrnout všechny požadavky NÚKIB do kritérií výběru technologií a následné implementace do komunikační jednotky. Kritické požadavky, které se považují za nutné a jejichž splnění musí být z našeho pohledu vyžadováno, jsou:

- Zajištění důvěrnosti přenášených zpráv v celém řetězci AMM
- Zajištění autentičnosti a integrity přenášených zpráv v celém řetězci AMM
- Zajištění dostupnosti systému a odolnosti vůči útokům typu DoS
- Zajištění řízení přístupu k aktivům a uživatelským účtům
- Zajištění logování bezpečnostních událostí a incidentů
- Zajištění filtrace nežádoucího provozu
- Zajištění možnosti bezpečné vzdálené aktualizace zařízení a systémů

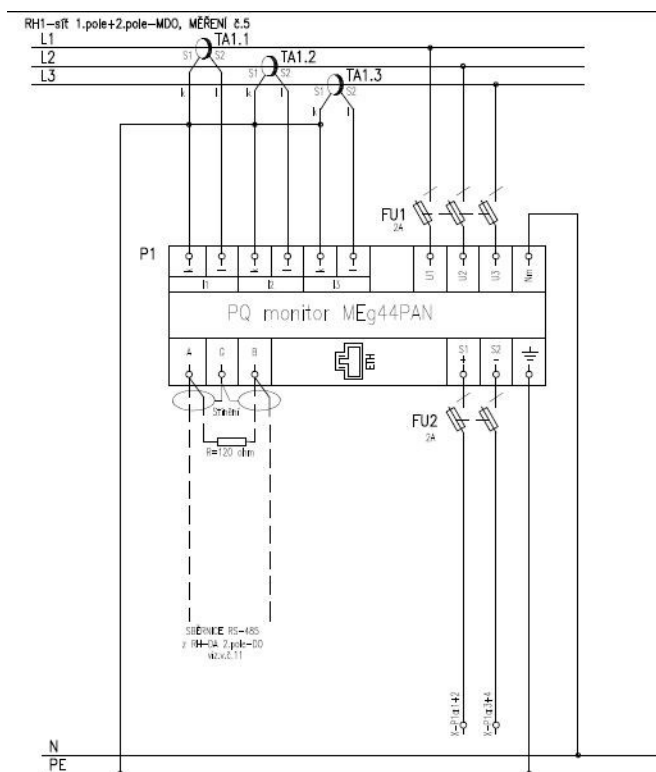
Na tyto požadavky navazuje výzkum v rámci projektu MV ČR „Monitoring a management energetické soustavy v rozsáhlých komplexech budov kritické infrastruktury“. Zatím neexistuje žádný jednoduchý mechanismus, který by poskytl všechny uvedené bezpečnostní služby. Proto je nutné jednotlivé bezpečnostní nástroje, které jsou k dispozici, kombinovat. Ve většině případů se využívá více uvedených mechanismů najednou a vznikají tak hybridní systémy. Cílem je tedy analýza a implementace kryptografických prostředků nejenom pro pouhé šifrování, ale pro vybudování celého bezpečného systému s kompletním klíčovým hospodářstvím a digitálními podpisy atd.

4 DOKUMENTACE REALIZOVANÉHO PROJEKTU [18]

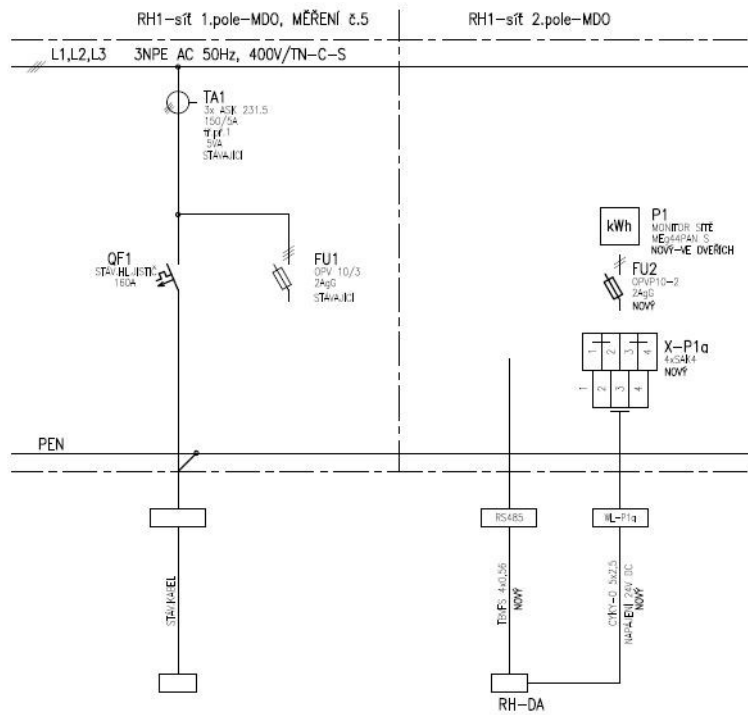
Při realizaci projektu bylo nutné respektovat provozní podmínky a především stávající možnosti existujících rozvaděčů, do kterých se postupně implementovala nová smart technologie. Zpracování projektové dokumentace předcházelo vytvoření studie proveditelnosti celého díla s odhadem nákladů na realizaci. Jednotlivé budovy se od sebe liší jak stářím a způsobem provedení instalací, tak i například prostorovým uspořádáním hlavních rozvaděčů. Proto bylo nutné řešit každé ze 103 instalovaných měřících míst samostatně a vypracovat pro ně nejen instalační výkresovou dokumentaci, ale i harmonogram práce, který musel nutně respektovat provozní požadavky nemocnice.

4.1 Výkresová dokumentace

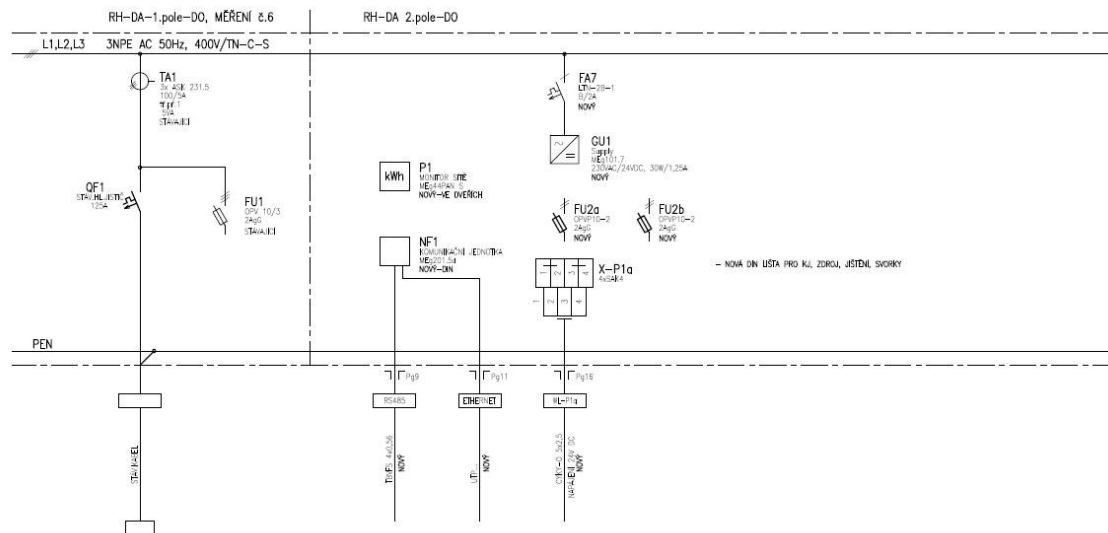
Pro všechna měřící místa se vytvořila dokumentace s detaily zapojení, umístěním jednotlivých prvků, způsobem napájení a připojením ke komunikační síti FNOL. Pro názornost je vybrána jedna z méně složitých budov, kde jsou pouze dva nezávislé napájecí přívody. Vzhledem k původní koncepci tedy MDO a DO.



Obrázek 4.1 Zapojení MEG44PAN v hlavním rozvaděči, přívod MDO [18]

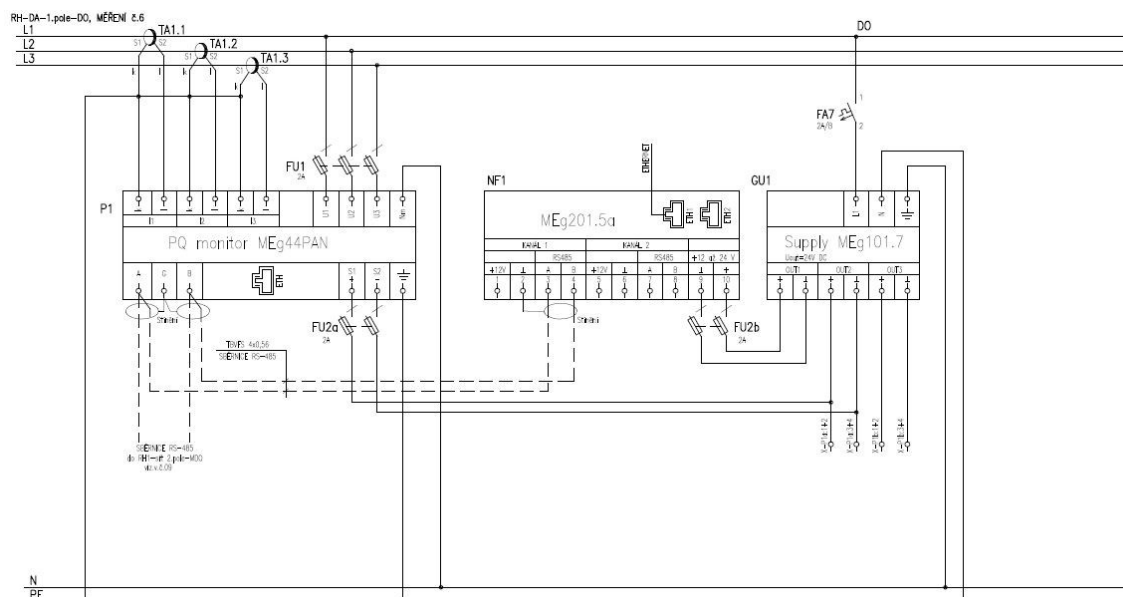


Obrázek 4.2 Schéma zapojení v poli MDO [18]



	PŘÍVOD DO	SEZNĚNÍ RS485	EMBNET	NAKLEPI 24V DC
		KANAL 1		PO MONITORY

Obrázek 4.3 Schéma zapojení v poli DO [18]



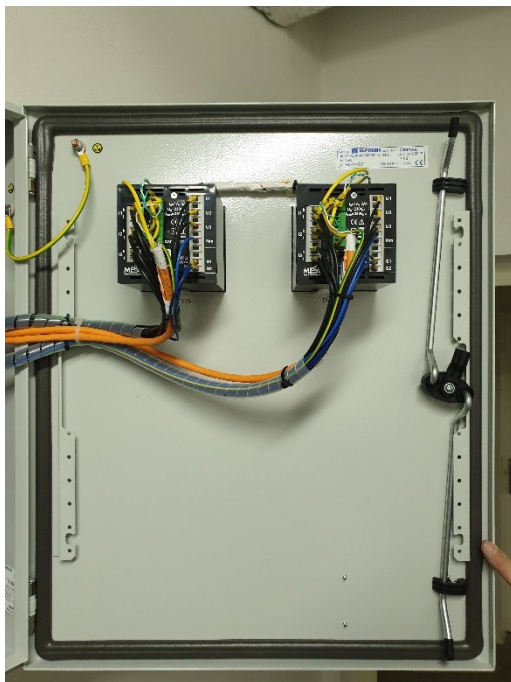
Obrázek 4.4 Zapojení MEG44PAN v hlavním rozvaděči, přívod DO spolu s připojením zdroje a komunikací [18]

Napájení zdrojů a komunikačních jednotek se volí vždy ze zdroje s nejvyšším stupněm zajištění, který je v daném místě dostupný. Tím se zvýší funkčnost celého systému i v okamžiku poruchy hlavního napájení (MDO) a zároveň k zamezení ztráty dat nutných ke zpětné analýze události.

4.2 Příklady instalace



Obrázek 4.5 Monitorování centrálních UPS



Obrázek 4.6 Rozvaděč pro monitoring centrálních UPS

Obrázek 4.5 zachycuje uspořádání místnosti s centrálními UPS v trafostanici TS4. Jde o samostatný, požárně oddělený a klimatizovaný prostor, ve kterém jsou umístěny tři centrální UPS pro několik budov. Jsou určeny pro napájení operačních sálů a jednotek intenzivní péče, respektive okruhů VDO. Ty jsou přednostně využívány pro napájení přístrojového vybavení, které slouží k podpoře základních životních funkcí pacienta. Jedná se o velmi důležitou část energetiky FNOL.

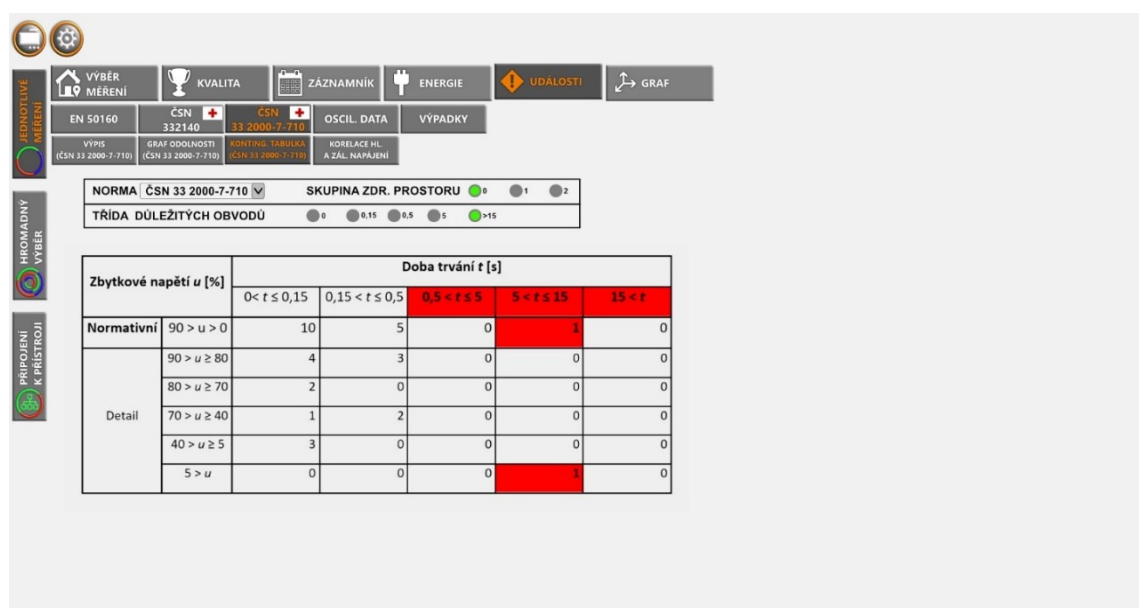
V tomto případě se s ohledem na nedostatek místa ve stávajících rozvaděcích přistoupilo k instalaci nového rozvaděče, určeného výhradně pro potřeby monitoringu.

5 NÁVRH SYSTÉMU HODNOCENÍ KVALITY A KONTINUITY NAPÁJENÍ [17]

Vyhodnocovací SW MEgA Explorer umožňuje tabulkové i grafické zobrazení a porovnání měřených parametrů kvality jako jsou události na napětí, flickr, vyšší harmonické, meziharmonické, stejně tak jako běžných energetických ukazatelů jako je napětí, proud, výkony a energie v šesti registrech. Permanentní sběr dat a možnost jejich vyhodnocení se s ohledem na nároky zdravotnické a laboratorní přístrojové techniky stává naprostou nezbytností.

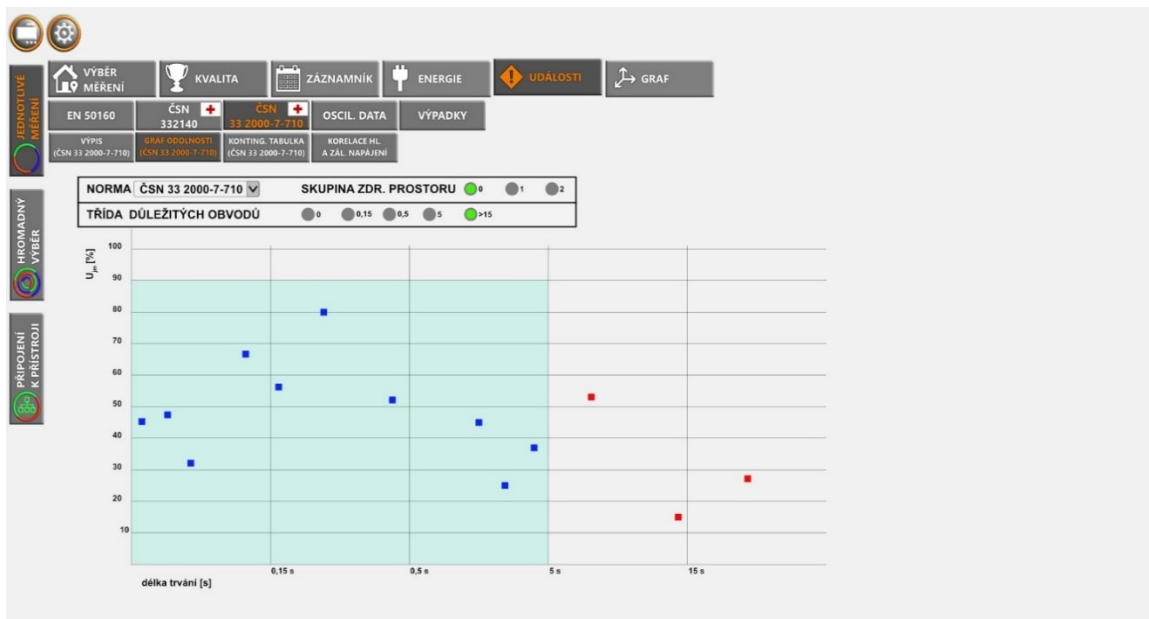
Aby se tato technologie dala použít ve zdravotnictví, navrhl jsem doplnění funkce vyhodnocení událostí na napětí dle normy ČSN EN 33 2000-7-710. To uživateli umožňuje snadnou kontrolu funkce systémů pro záložní napájení, a především zpětnou analýzu nežádoucích událostí.

Software zaznamenané události automaticky třídí podle hloubky poklesu a doby trvání do tabulky dle ČSN EN 50160 a také podle ČSN EN 33 2000-7-710 (Obrázek 5.1). To umožňuje obsluhu okamžitě určit, zda nedošlo k výpadkům, které by byly v nesouladu s normou pro danou skupinu zdravotnického prostoru. Porovnání záznamů z areálu a z napájení z distribuční soustavy, také umožňuje kontrolu náběhu záložních zdrojů. Zde je nutné si uvědomit, že tyto přístroje jsou vhodné i k instalaci do rozvaděčů zdravotnického pracoviště, tedy do maximální blízkosti ke zdravotnické technologii.

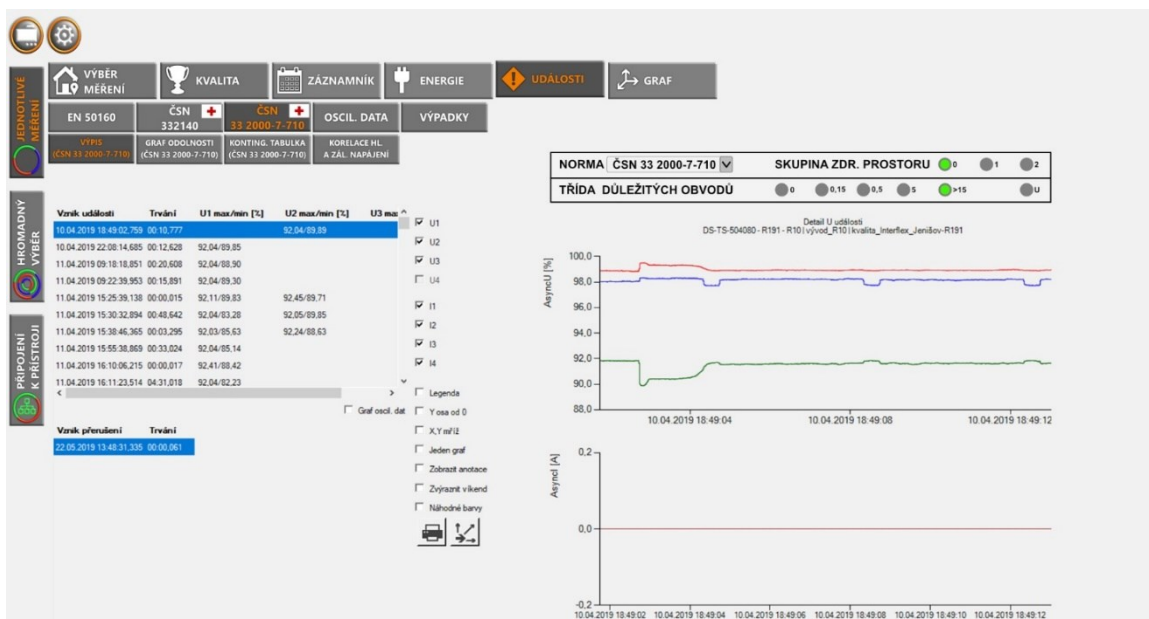


Obrázek 5.1 Přehled událostí pro účely vyhodnocení dle ČSN EN 33 2000-7-710 [17]

Obrázek 5.2 ukazuje graf odolnosti uzpůsobený požadavkům normy ČSN EN 33 2000-7-710. Obrázek 5.3 je potom celkový seznam všech napěťových událostí v daném měřicím bodě s detailem průběhu hodnot RMS1/2.



Obrázek 5.2 Graf odolnosti pro účely vyhodnocení dle ČSN EN 33 2000-7-710 [17]



Obrázek 5.3 Seznam všech událostí na napětí a detail vybrané události [17]



Obrázek 5.4 Vyhodnocení průběhu výpadku (ilustrační průběh) [17]

Speciálně pro kontrolu funkčnosti systému záložního napájení je navržen způsob vyhodnocení událostí viz Obrázek 5.4. Na horním grafu je znázorněno napětí na hlavním napájení při výpadku. V barevném obdélníku je znázorněno časové zpoždění, které je definované jako impuls pro spuštění dieselařegátů. Na spodním grafu je potom průběh napětí na záložním napájení a v barevném obdélníku je vidět doba náběhu náhradního zdroje. Tento způsob zobrazení ze dvou měřicích míst umožní obsluze přesnou kontrolu funkčnosti záložního systému. Dále se kvůli průkaznosti a nezaměnitelnosti měření do grafického výstupu automaticky generuje:

- místo měření
- datum a čas události
- zařazení dle skupiny zdravotnického provozu
- délka trvání události
- název normy, dle které se provádí vyhodnocení

6 ZPĚTNÁ ANALÝZA NAMĚŘENÝCH HODNOT

Plošný monitoring celého areálu, respektive klíčových míst napájecí sítě poskytuje řadu informací, z nichž jsou generovány podněty k řešení. Pro zajištění provozu nemocnice je automatické přepínání vybraných částí provozu na záložní zdroje napájení velmi důležité. Vše se odehrává automaticky dle možností a nastavení řídicích jednotek náhradních zdrojů.

Určitým omezením pro implementaci požadavků normy ČSN EN 332000-7-710 je fakt, že tato zařízení byla vyrobena dlouho před vznikem nové normy. Z těchto důvodů se proto nejdříve zaměříme na problematiku dieselařegátů.

6.1 Test dieselařegátů se zátěží

Provozování dieselařegátů podléhá ve FNOL přísnému režimu zkoušek a testování, které se plánují na rok dopředu. Každý týden se provádí ruční zkouška bez připojení zátěže a jednou měsíčně se provádí řízený výpadek napájení na straně VN, kdy se testuje celý systém automatického přepnutí na záložní napájení. Celá zkouška pak trvá hodinu.

Po tuto dobu je sice omezen provoz nemocnice tím, že jsou napájeny pouze obvody DO, VDO a ZIS, ale je to zároveň jediná možnost odstavení některých částí technologie, provedení údržby, revizních zkoušek a především zjištění skutečné zátěže náhradních zdrojů.



Obrázek 6.1 Trafostanice TS4 se systémem automatického zásokou

Údaje ze zkoušky náhradních zdrojů uvedené v Tabulka 6.1 odhalily způsob nastavení řídicích jednotek. Odlišnosti časového průběhu pramení z různého data výroby a také koncepce různých výrobců technologie. Sledované parametry jsou nastaveny výrobcem a jejich ověření je bez instalované smart měřicí techniky v podstatě nemožné. Podstatný vliv na celkovou dobu přepnutí má i provedení záskokového automatu.

Tabulka 6.1 Časový průběh testu náhradních zdrojů

Místo měření	Celkový čas obnovy napájení z dieselařegátu t	Souběh DA/sít' před návratem na síť t_s	Prodleva při návratu na síť t_p
	(s)	(min:s)	(s)
TS1	26,920	03:00	2,04
TS2	26,340	00:08	0,16
TS3	28,140	03:00	12,00
TS4	31,880	01:36	6,00

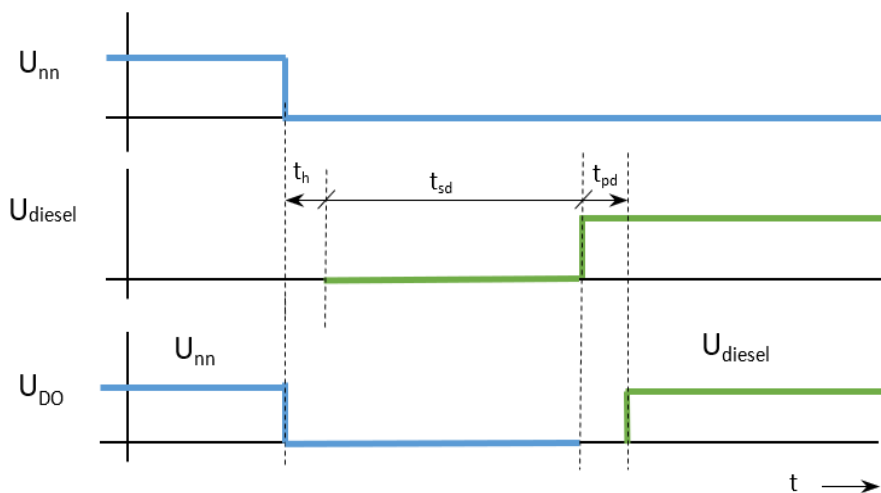
t_h – předepsaná podmínka startu DA - hlídána řídicí jednotkou (90% $U_{jm}/0,5s$)

t_{sd} – délka startu dieselařegátu

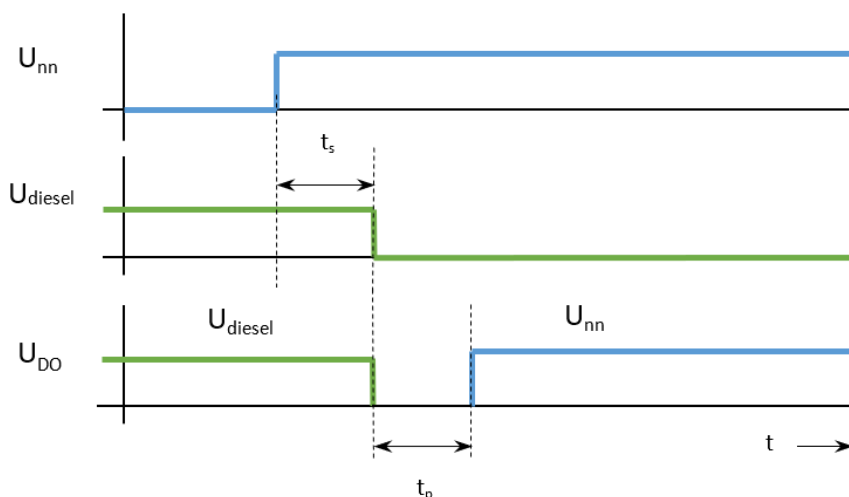
t_{pd} – prodleva nutná k připnutí zátěže na dieselařegát

t_s – souběh napájení síť/dieselařegát při návratu k napájení ze sítě

t_p – prodleva (krátký výpadek) při návratu k napájení z distribuční sítě



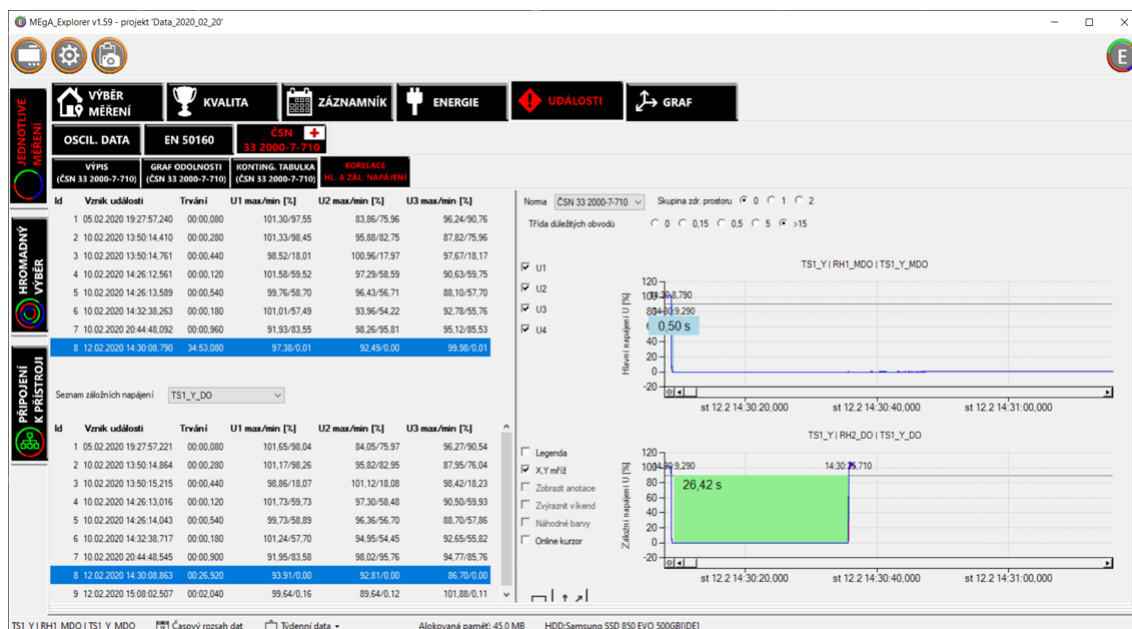
Obrázek 6.2 Časový diagram – začátek výpadku a převzetí zátěže DO



Obrázek 6.3 Časový diagram – konec výpadku a přepnutí na síť

6.2 MEGa Explorer – vyhodnocení skutečné události

Navržené úpravy SW MEGa Explorer vychází z požadavků praxe. Obrázek 6.4 zachycuje vyhodnocení skutečné události, která vznikla při plánovaném testu náhradních zdrojů 12.2.2020. Na horním průběhu je událost na MDO, kde je patrný pokles a přerušení napájení, čímž je splněna podmínka pro start dieselagregátu. Spodní průběh zachycuje stav DO, tedy důležitých obvodů, jejichž napájení je obnoveno až po době nutné ke startu dieselagregátu a přepnutí zátěže na tento zdroj.



Obrázek 6.4 Vyhodnocení událostí dle ČSN EN 33 2000-7-710 v prostředí MEGa Explorer

Jedná se o zpracování naměřených dat ze dvou měřících přístrojů, tedy ze dvou měřících míst. Překrytí obou grafů je možné díky automatické synchronizaci času všech měřících přístrojů. Díky společné časové ose je možné porovnávat změřené průběhy v celém areálu. Takto lze sledovat vznik, případně šíření poruchy.



Obrázek 6.5 Zobrazení události

Obrázek 6.5 zobrazuje konec testu náhradního zdroje napájení. Pro tuto událost je zvoleno vyhodnocení podle ČSN EN 50160 ed.3. Na horním grafu je patrná prodleva při přepnutí na síť. Zelně je označen pás tolerance $\pm 10\%$.

6.3 Přijatá opatření

Vyhodnocení naměřených dat vedlo k přehodnocení nastavení řídicích jednotek dieselagregátů. Po konzultaci se servisní organizací jsme zvolili optimální nastavení, které vyhovuje požadavkům výrobce, tedy neohrožuje funkčnost dieselagregátu. Dalším kritériem pak bylo maximální přiblížení se k požadavkům ČSN EN 332000-7-710.

TS3

Náhradní zdroj BCV 430

- Zpoždění pro pokyn ke startu při výpadku sítě (pokles pod 90% z nominální hodnoty) ... **1 sec**
- Zpoždění pro aktivaci startéru po aktivaci elektroniky motoru. ... **0,2 sec**
- Nastartování motoru- cca. **6 sec** (tento čas je individuální a může být ovlivněn kvalitou paliva, teploty okolí , atd.)
- Ochranné zpoždění pro stabilizaci motoru, promazání a natlakování turbokompresoru. ... **5 sec**.
- Poté následuje odepnutí síťového jističe a zpoždění pro připnutí GEN jističe. Zpoždění nastaveno na **6sec**. (**nastrádání spouštěčů**)

Celkem 18,2 sec

TS4

Náhradní zdroj BCV 660

- Zpoždění pro pokyn ke startu při výpadku sítě (pokles pod 90% z nominální hodnoty) ... **1 sec**
- Zpoždění pro aktivaci startéru po aktivaci elektroniky motoru. ... **0,2 sec**
- Nastartování motoru- cca. **6 sec** (tento čas je individuální a může být ovlivněn kvalitou paliva, teploty okolí , atd.)
- Ochranné zpoždění pro stabilizaci motoru, promazání a natlakování turbokompresoru. ... **5 sec**.
- Poté následuje odepnutí síťového jističe a zpoždění pro připnutí GEN jističe. Zpoždění mezi přepnutím jističů nastaveno na **2sec**.

Celkem 14,2 sec

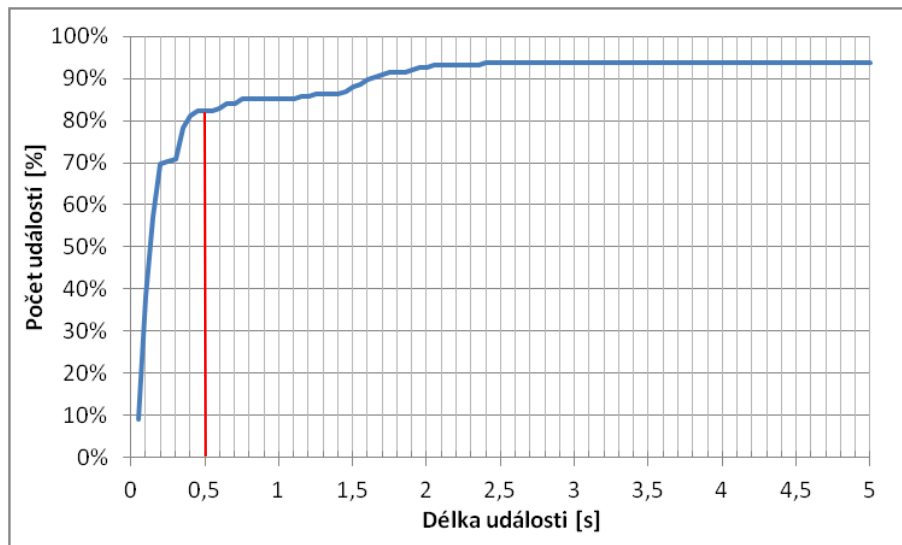
Nové nastavení řídicích jednotek u dvou podobných soustrojí vykazuje rozdíl 4 sekund. To je dáno rozdílným typem automatického přepínače zátěže. V TS3 je použit typ, který teprve po přivedení napětí z dieselaagregátu nastrádá spouštěč a následně dojde k připojení zátěže na dieselaagregát. To ovšem znamená zpoždění, které v době, kdy na znovuobnovení napájení bylo 90 sekund, nebylo podstatné.

6.4 Globální pohled na podmínku startu dieselaagregátů

Určujícím parametrem pro start dieselaagregátu je požadavek normy, kterým je pokles napětí v libovolné ze tří fází na 90% jmenovité hodnoty trvající déle jak 0,5 sekundy. Je ale nutné si uvědomit, co se poté v napájecí síti zdravotnického zařízení děje, a že toto rozhodnutí je nevratné:

- Spouští se start dieselaagregátu
- Trvá výpadek napájení, i když se vrátí napětí z distribuční sítě (ochrana proti rychlým po sobě jdoucím poklesům či výpadkům)
- Hlavní napájení (respektive MDO i DO) je bez napětí
- Záložní napájení z DA se dostává pouze do části okruhů (DO)
- Po překlenutí výpadku a splnění podmínek pro návrat k síťovému napájení dojde k dalšímu výpadku na celé síti

Celkově tedy místo jednoho krátkého výpadku napájení 0,5 sekundy, vzniknou výpadky dva, nesrovnatelně delší. Po celou dobu provozu na DA je větší část nemocnice mimo provoz.



Obrázek 6.6 Kumulativní součet událostí na VN [15]

V období od května 2009 do července 2012 probíhalo dlouhodobé sledování událostí na napětí pomocí přístroje MEg10. Obrázek 6.6 je kumulativním součtem událostí, ke kterým během sledované doby došlo. Z výsledného průběhu je patrné, že cca 83% událostí trvá méně než 0,5 sekundy. Limitní hodnota pro řídicí jednotky je ale 1 sekunda. Rozdíl mezi dobou reakce 0,5 a 1 sekunda je téměř neznamatelný, což je patrné z grafu.

Vzniká tedy situace, kdy na jedné straně stojí požadavky nové normy a na straně druhé možnosti stávající technologie. Předčasné, nebo zbytečně rychlé přepnutí do režimu záložního napájení má dalekosáhlý vliv na fungování zdravotnického zařízení. Dojde k omezení provozu, zvýšení počtu přechodných stavů při přepínání a tím i ke zvýšení možnosti poškození přístrojového vybavení. Má to tedy negativní dopad na provoz a ekonomiku.

Jedná se zatím o dílčí závěry, ale po zvážení dostupných informací, se posun reakční doby směrem k delším časům jeví jako výhodný. Tato oblast ovšem vyžaduje hlubší prozkoumání na větším vzorku zdravotnických pracovišť a s daty z posledních let.

6.5 Kontrola chodu UPS

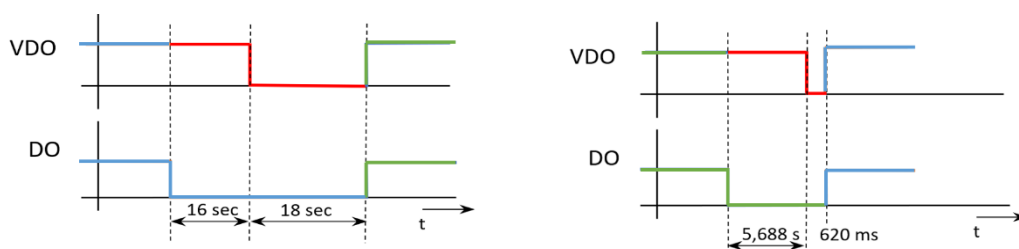
Dalším příkladem praktického využití této technologie je možnost sledování chodu UPS a porovnání výsledků bateriových testů.

Nejdůležitější částí zdravotnického provozu, jako jsou operační sály a jednotky intenzivní péče vyžadují nepřetržité napájení. K tomuto účelu jsou vyčleněny napájecí obvody VDO (velmi důležité obvody). Záloha napájení se zde provádí pomocí centrálních UPS, které jsou napájeny z DO, tedy dieselangregátem. Při výpadku napájení jejich baterie překryjí dobu náběhu dieselangregátu. Kapacita baterií je pak dimenzována na dobu až tří hodin.

Při testu náhradních zdrojů se zátěží vznikla na jedné z centrálních UPS událost, jejíž průběh je patrný z následující tabulky. Závažnost této poruchy je umocněna i tím, že bateriový test, který se provádí prostřednictvím ovládacího panelu UPS, žádnou poruchu neodhalil. Při výpadku napájení tato UPS nepřeklenula požadovanou dobu a vzniklo přerušení napájení VDO.

Tabulka 6.2 Záznam události na centrální UPS

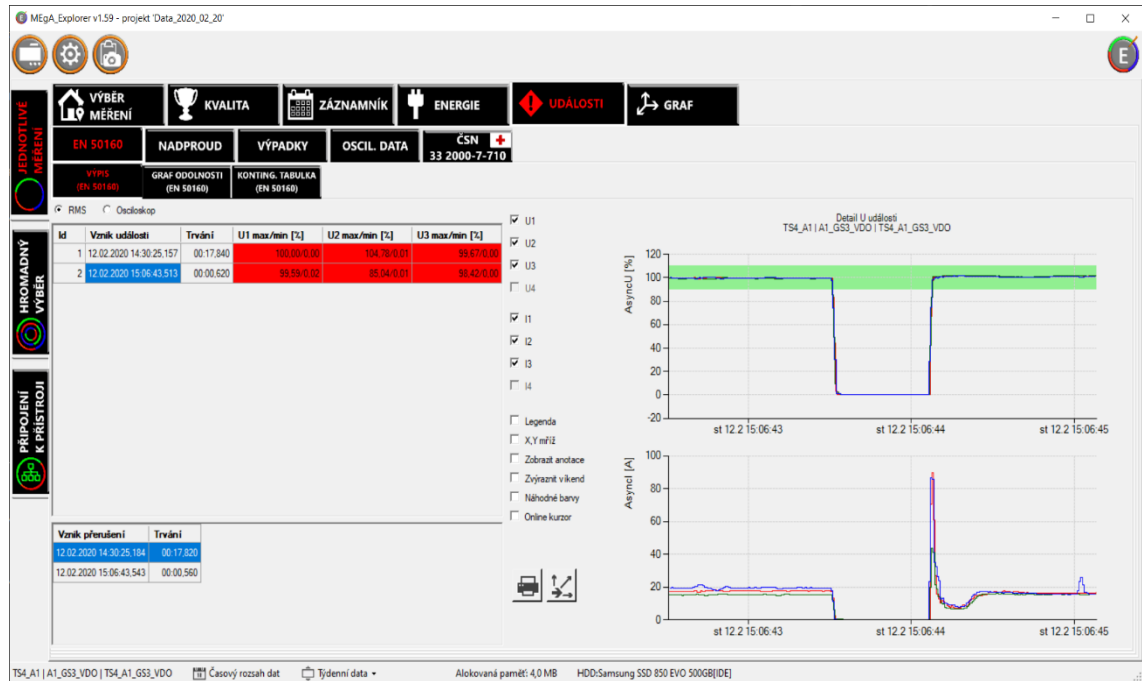
Místo měření	Událost		
	Začátek (h:m:s)	Délka (m:s)	Konec (h:m:s)
TS4_A1_GS3_VDO	14:30:25,000	00:17,840	14:30:42,840
TS4_D1_DO	14:30:08,819	00:34,180	14:30:42,999
TS4_A1_GS3_VDO	15:06:43,513	00:00,620	15:06:44,133
TS4_D1_DO	15:06:37,825	00:06,220	15:06:44,045



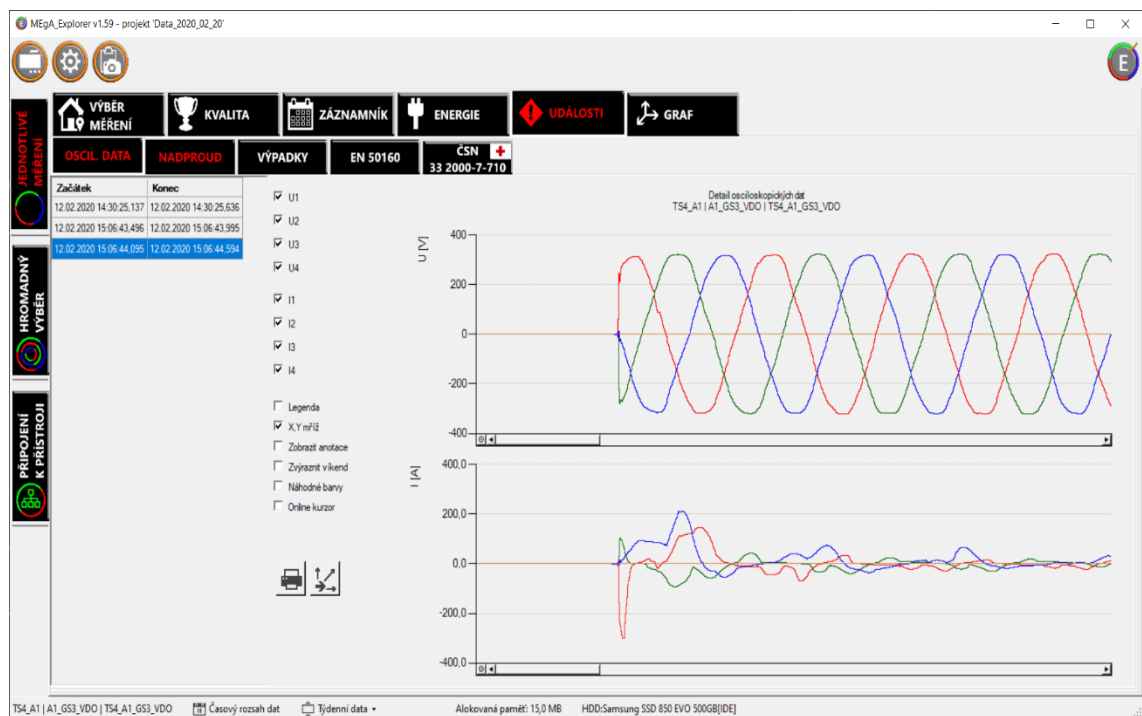
Obrázek 6.7 Časový průběh události na centrální UPS

zelená - napájení z dieselangregátu
 modrá - síťové napájení
 červené – napájení z UPS

Průběh události zobrazuje Obrázek 6.8 a Obrázek 6.9, ze kterých se dá vyčíst, že špičkový proud dosahoval hodnoty 300A.



Obrázek 6.8 Průběh události na centrální UPS



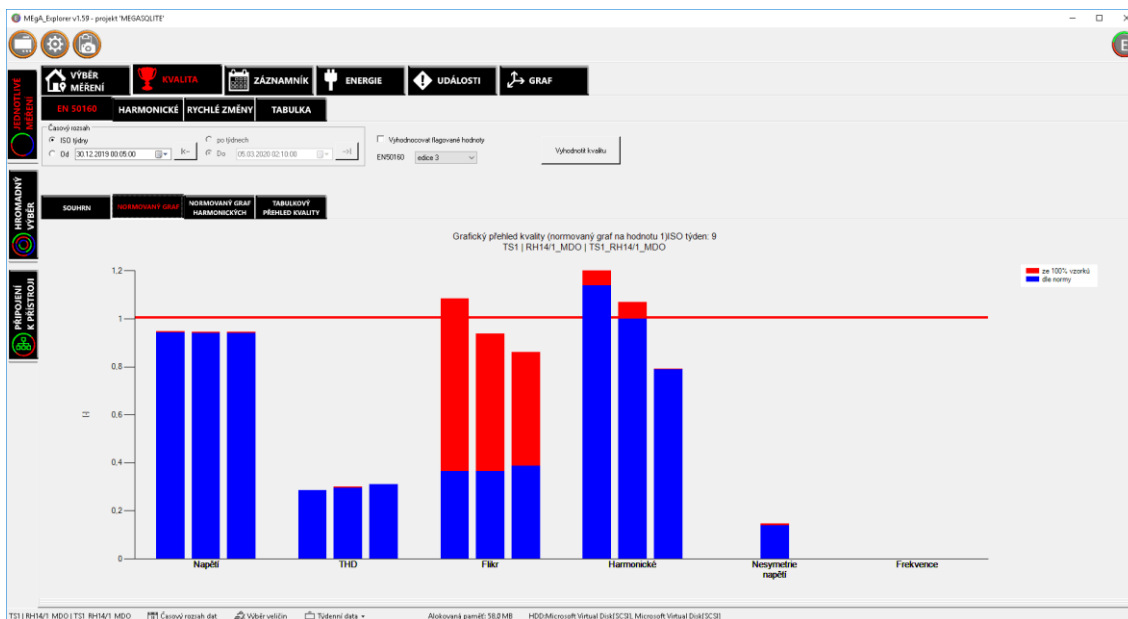
Obrázek 6.9 Osciloskopický záznam

6.7 Měření kvality

Parametry napájení je nyní možné hodnotit i z pohledu normy ČSN EN 50160 ed. 3, tedy měřením kvality. Pro tuto možnost je vybráno 16 měřicích míst, jejichž počet je možné v případě nutnosti rozšířit změnou SW vybavení zvoleného měřicího přístroje. Po relativně krátké době provozu se dají vyhodnotit první zjištěné parametry, které překračují povolenou mez.

Tabulka 6.3 Parametry z měření kvality

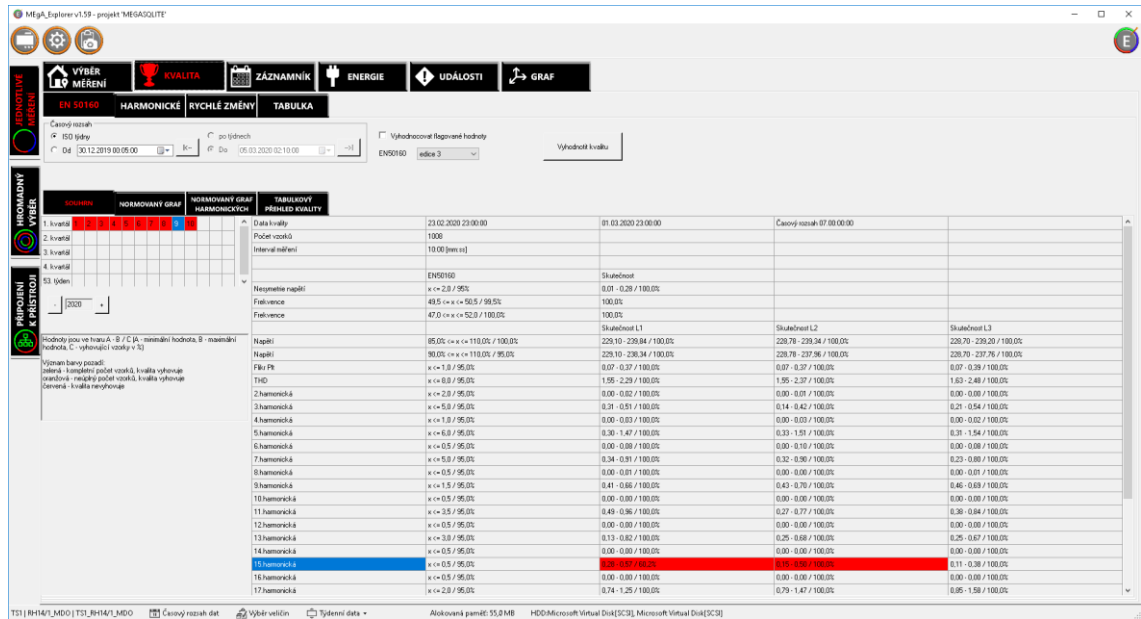
Místo měření	Parametr mimo meze	Poznámky
TS1_RH14/1_MDO	15. harmonická	Ve všech týdnech v L1 (L2 na hranici)
TS1_Y_MDO	15. harmonická	Ve všech týdnech v L1 (L2 na hranici)
TS4_A1_GS3_VDO	Flikr	Ve všech týdnech v různých fázích
TS4_A1_GS1_VDO	Flikr	Pouze 4-tý týden L3
TS4_A1_T3_MDO	15. harmonická	Pouze 9-tý týden L3



Obrázek 6.10 Grafický přehled měření kvality

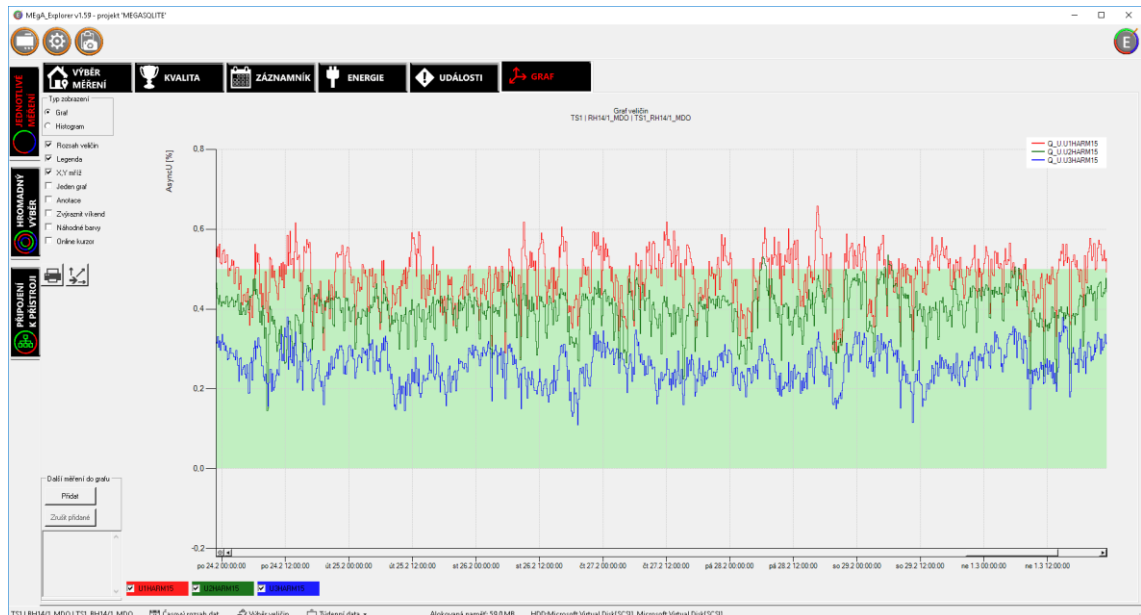
Na Obrázek 6.10 je celkový přehled kvality vztažený v normovaném grafu k hodnotě 1.

6.7.1 Harmonická napětí vyšších řádů



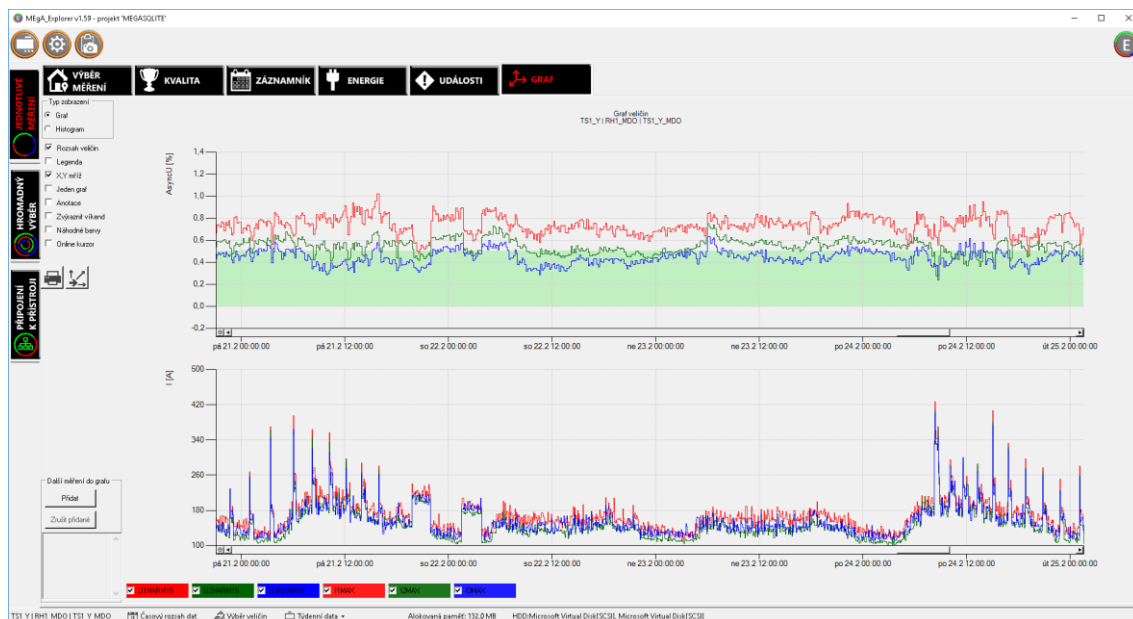
Obrázek 6.11 Vyhodnocení kvality – harmonická napětí vyšších řádů

Při volbě parametru vyšší harmonické můžeme na výstupu do tabulky okamžitě zjistit, které složky vyšších harmonických jsou mimo povolený rámec. V našem případě se jedná o 15. harmonickou. Tento řádek je automaticky zvýrazněn červeně.



Obrázek 6.12 Grafické zobrazení 15. harmonické složky

Na Obrázek 6.12 je detailní zobrazení 15. harmonické složky ve všech fázích. Místem měření je RH 14 v trafostanici TS1. Zelený pás graficky vymezuje povolenou mez.



Obrázek 6.13 Hodnocení kvality – budova Y

Dalším místem měření je budova napájená z TS1. Na Obrázek 6.13 jsou do grafu vybrány parametry 15. harmonické složky napětí a na spodním grafu maximální hodnoty proudu. Proudové rázy na spodním grafu odpovídají spouštění vzduchotechnických jednotek dané budovy.

6.7.2 Fliker [1]

Další parametr, který se dá s použitím této techniky snadno vyhodnotit, je fliker. Jeho definice je provedena v ČSN EN 50160 ed.3 [1]:

- v kapitole 3.3 fliker (*flicker*): vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase (IEV 161-08-13)

POZNÁMKA Kolísání napětí způsobuje změnu jasu svítidel, které mohou způsobovat zrakový vjem nazývaný fliker. Nad určitou prahovou hodnotou se stává fliker nepříjemný. Nepříjemnost vzrůstá velmi rychle s amplitudou kolísání. Při určitém kmitočtu opakování mohou být nepříjemné již velmi malé amplitudy.

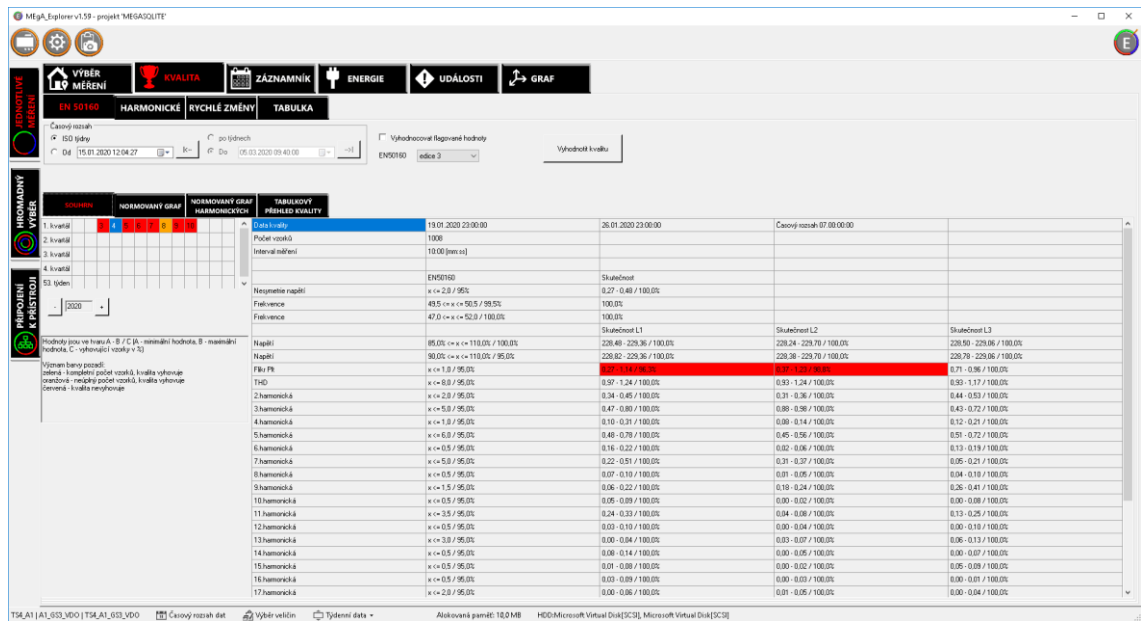
- v kapitole 3.4 míra vjemu flikru (*flicker severity*): intenzita nepříjemnosti flikru definovaná následujícími veličinami:
 - krátkodobá míra vjemu P_{st} (*short term severity* P_{st}) je měřena po dobu deseti minut;
 - dlouhodobá míra vjemu P_{It} (*long term severity* P_{It}) je vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot P_{st} po dobu dvouhodinového intervalu použitím následujícího vztahu:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (6.1)$$

- v kapitole 4.2.3.2 Míra vjemu flikru
Za normálních provozních podmínek musí být po 95% času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$.

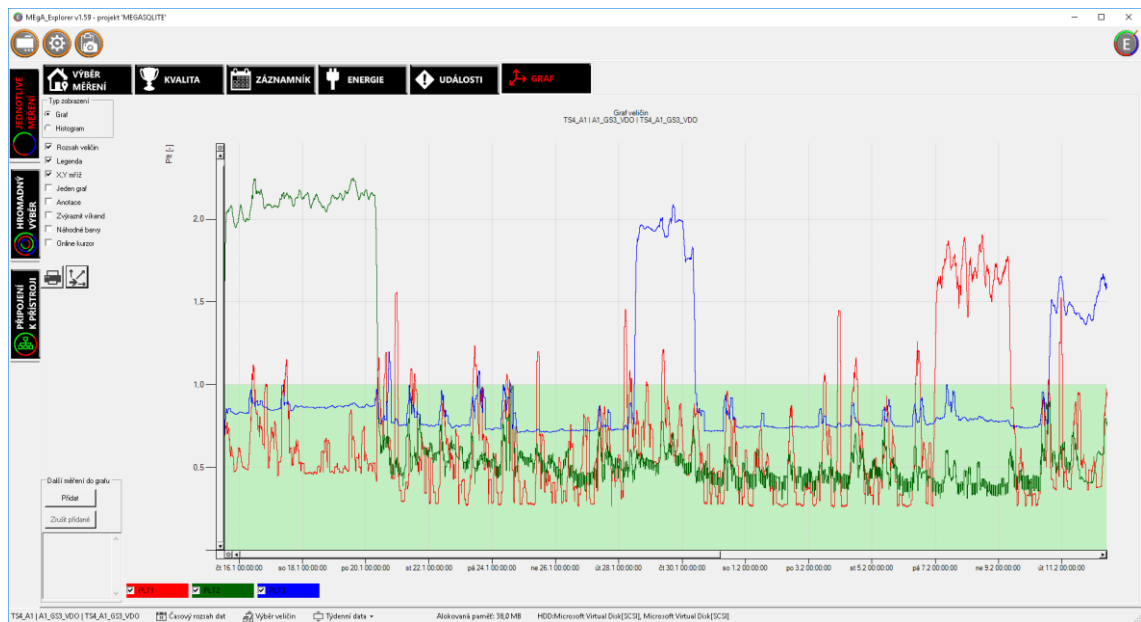
POZNÁMKA Reakce na flikr je subjektivní a může se měnit v závislosti na příčině flikru a na délce doby, po kterou se vyskytuje. V některých případech způsobuje $P_{lt}=1$ obtíže, zatímco v jiných případech vyšší hladina P_{lt} obtíže nevyvolává.

Vyhodnocení kvality na Obrázek 6.14 uživatele okamžitě upozorní na parametry, které jsou nevyhovující. V tomto případě se jedná o flikr ve dvou fázích. Tento údaj se pro přehlednost automaticky zvýrazní červenou barvou.

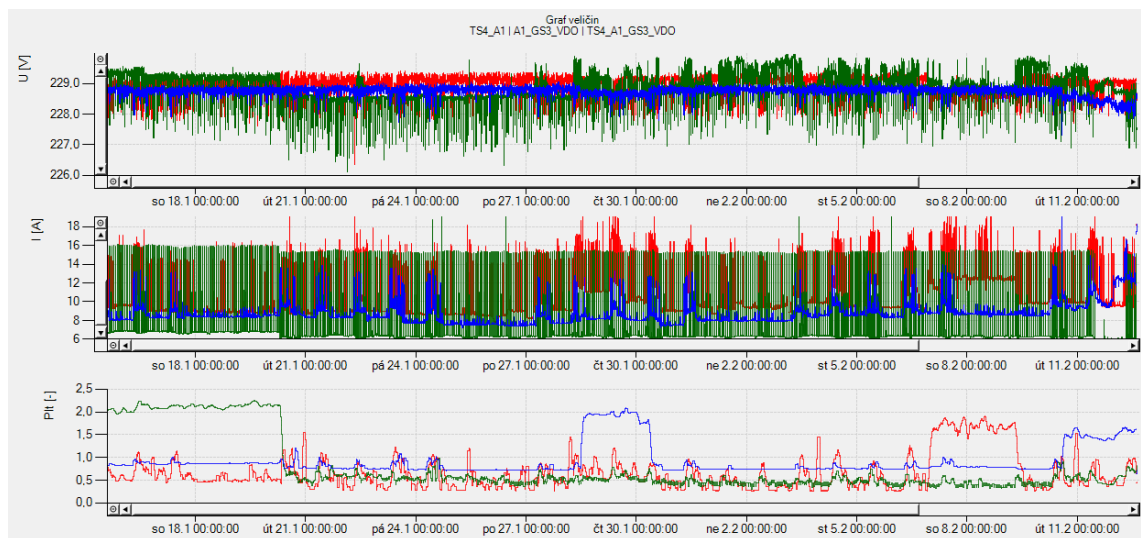


Obrázek 6.14 Hodnocení kvality - Flikr

Grafický detail flikrů je možné zobrazit do grafu, kde jednotlivé fáze jsou odlišeny barevně. Povoleno je zobrazit povolený pás, ve kterém se mají hodnoty flikru pohybovat, je v grafu opět zvýrazněn zelenou barvou.



Obrázek 6.15 Grafické zobrazení Flickru



Obrázek 6.16 Porovnávací graf napětí, proudu a flickru

Porovnání delšího období, po které se provádělo měření, viz Obrázek 6.16, zároveň umožňuje porovnat napětí a proudy. Všechny tři grafy mají stejnou časovou osu, a proto se dají snadno porovnávat.

7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá monitorováním napájecích sítí v rozsáhlých komplexech budov kritické infrastruktury. Především se zaměřuje na strukturované napájecí sítě zdravotnických areálů. Jde o odvětví elektrotechniky, které kvůli své složitosti a úzké specializaci vyžaduje značné odborné znalosti a zkušenosti. Právě proto je projektování zdravotnických provozů obtížné a ne každý projektant se v této problematice dostatečně orientuje. Diplomová práce sestává z několika logických na sebe navazujících částí, které mají vytvořit ucelenou představu o struktuře napájení zdravotnických provozů. Dále pak předkládá možnosti využití smart měřících technologií a jejich propojení se systémy měření a regulace.

V první části popisným a názorným způsobem vysvětluje dva základní směry budování napájecích sítí zdravotnických budov, které jsou dány historickým vývojem a existencí dvou norem. Vychází z provozních zkušeností a poukazuje na zásadní úskalí, která pramení z rozdílnosti dotčených norem a především z nových požadavků ČSN 33 2000-7-710.

Následně je popsáno navržené řešení monitoringu napájení, a to jak v obecné rovině, výčtem parametrů měřících přístrojů, komunikačních jednotek, zdrojů a měřících transformátorů, tak i příklady prováděcí výkresové dokumentace. Na konkrétních příkladech vyhodnocení naměřených dat jsou demonstrovány praktické možnosti použité technologie. Především odhalení skrytých závad na centrálním zdroji nepřetržitého napájení, nebo možnosti precizního nastavení řídicích jednotek dieselagregátů jsou neocenitelné. Na základě některých již známých informací, spolu s novými daty, je diskutována podmínka pro spuštění dieselagregátu. Z provozního hlediska je tato otázka natolik závažná, že si do budoucna vyžádá hlubší prozkoumání na širším vzorku dat. Zatím je možné z omezených informací konstatovat, že stanovený čas 0,5 s je příliš krátký. Prodloužení tohoto času prakticky znamená menší počet startů dieselagregátů. Tedy doby, kdy má nouzový režim negativní dopad na provoz a ekonomiku zdravotnického zařízení.

Hlavním přínosem této diplomové práce je návrh nové části vyhodnocovacího SW a vytvoření rozsáhlé monitorovací sítě sto tří měřících míst. Doposud žádný z dostupných monitorů kvality nedovedl vyhodnocovat kvalitu napájení pro zdravotnické prostory i s pohledu normy ČSN 33 2000-7-710. Tento projekt byl realizován v prostředí zdravotnického komplexu Fakultní nemocnice Olomouc, ale jeho využití s propojením na systémy MaR jsou širěji použitelné v jakémkoli komplexu kritické infrastruktury. Toto variabilní a pružně rozšiřitelné řešení zároveň akceptuje jak přísná kritéria na přesnost měření, tak v neposlední řadě i na kybernetickou bezpečnost.

Realizovaný projekt dává k dispozici velké množství informací, jejichž vyhodnocením se otevírá možnost k detailní analýze napájecích sítí. Dává okamžitý přehled o poruchových stavech, efektivitě chodu a mnoho dalšího. Především je ale uceleným nástrojem pro technika v dotčené organizaci a umožňuje preventivní analýzu a predikci nežádoucích stavů. Své uplatnění najde v provozně právní problematice, při řešení pojistných událostí, případně jiných nežádoucích událostí spojených s kvalitou napájení. Využití této technologie má kladný vliv na provoz a ekonomiku monitorovaného areálu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 50160 ed.3 *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [2] ČSN 332140 *Elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely*. Praha: Vydavatelství norem, s účinností od 1.9.1987. Nahrazuje ČSN 332140 z 27.12. 1983.
- [3] TNI 332140 *Elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely-Komentář k ČSN 332140*. Praha: Český normalizační institut, 2007
- [4] ČSN EN 61010-1 *Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1: Všeobecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2003
- [5] ČSN EN 61000-4-30 (33 3432) *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie*. Praha: Český normalizační institut, 2003. Včetně OPRAVY 1 z 2006-08.
- [6] ČSN 33 2000-7-710 *Elektrická instalace nízkého napětí-Část 7-710: Zařízení jednocelová a ve zvláštních objektech-Zdravotnické prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Leden 2013
- [7] MEG 30, PQ Monitor, *Uživatelská příručka*. MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s., Dostupné 9.5.2013 z: <http://e-mega.cz/meg-30>
- [8] MEG 40+, Universal energy meter, *Uživatelská příručka*. MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s., Dostupné 9.5.2013 z: <http://www.e-mega.cz/meg-40plus>
- [9] MEG 38, Přenosná souprava PQ monitoru, *Uživatelská příručka*. MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s., Dostupné 9.5.2013 z: <http://www.e-mega.cz/meg-38>
- [10] MEG 10, Trojfázový statický voltmetr událostí, *Uživatelská příručka*. MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s., Dostupné 9.5.2013 z: http://www.e-mega.cz/doc/meg10_mail.pdf
- [11] AMOS PQ, Aktivní měřicí ohebný snímač střídavého proudu, *Uživatelská příručka*. MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s., Dostupné 9.5.2013 z: http://www.e-mega.cz/doc/amospq_mail.pdf
- [12] MUSIL, M. Využití Rogowskiho cívky při měření proudu a analýza dosažených parametrů, *Bakalářská práce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2006. 36s. Vedoucí bakalářské práce byl ing. Pavel Mlejnek,

Dostupné 9.5.2013 z: http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne_prace/BP_2007_Musil_Marek_locked.pdf

- [13] TemPower 2, Vzduchový jistič TERASAKI, *Katalogová informace*. LOVATO Electric s.r.o., Dostupné 9.5.2013 z: <http://www.lovato.cz/katalog/Ostatni/clanky/TP2.pdf>
- [14] POSPÍCHAL, Ladislav. Monitor PQ pro měření kvality a kontinuity elektrické energie. *ELEKTRO: odborný časopis pro elektrotechniku*. 2004, roč. 2004, č. 8. Dostupné 17.4.2013 z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25968
- [15] ZBOŘIL, Patrik a Jan SOUČEK. Monitoring napájecích sítí ve zdravotnictví - přepínání zdrojů. *Energetika: Odborný měsíčník pro elektrárství, teplárství a použití energie*. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2013, roč. 63, č. 3, s. 156-158. ISSN 0375-8842. DOI: ISSN 0375-8842.
- [16] Geodetické zaměření inženýrských sítí FN Olomouc, *Neveřejná elektronická dokumentace*. Fakultní Nemocnice Olomouc, Dostupné 9.5.2013 z: Archiv odd. Energetiky FN Olomouc
- [17] ZBOŘIL, Patrik, Pavel KUBÍČEK, Jan SOUČEK, František ŽENOŽIČKA a Petr MLÝNEK. *Monitoring kvality elektrické energie a management energetické soustavy v rozsáhlých komplexech budov kritické infrastruktury*. Konference ČK CIRED 2019 Tábor: ČESKÝ KOMITÉT CIRED, 2019.
- [18] Projektová dokumentace FN Olomouc, *Neveřejná elektronická dokumentace*. Fakultní Nemocnice Olomouc, Dostupné 12.4.2020 z: Archiv odd. Energetiky FN Olomouc
- [19] Monitory PQ: Uživatelské návody. *MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s.* [online]. Česká 390, 664 31 Česká [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <http://www.e-mega.cz/monitory-pq>
- [20] Snímače střídavých proudů: Uživatelské návody. *MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s.* [online]. Česká 390, 664 31 Česká, 1.6.2018 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <http://www.e-mega.cz/snimace-stridavych-proudu>
- [21] Komunikační jednotky a zdroje: Uživatelské návody. *MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s.* [online]. Česká 390, 664 31 Česká [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <http://www.e-mega.cz/komunikacni-jednotky-zdroje>
- [22] Měřicí transformátory: Uživatelské návody. *MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s.* [online]. Česká 390, 664 31 Česká, 1.1.2018 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <http://e-mega.cz/?pg=ptd>

- [23] Směrnice NIS, 06.07.16, *Obecná doporučení EK pro harmonizaci a spolupráci v EU*.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016L1148&from=EN>
- [24] Zákon o kybernetické bezpečnosti, 29.08.14. *Určení povinností pro provozovatele KII či základní služby*. https://www.govcert.cz/download/kii-vis/ZKB_uplne_zneni.pdf
- [25] Vyhláška č. 82/2018 Sb., *o bezpečnostních opatřeních, kybernetických bezpečnostních incidentech, reaktivních opatřeních, náležitostech podání v oblasti kybernetické bezpečnosti a likvidaci dat (vyhláška o kybernetické bezpečnosti)* 28.05.18.
https://www.govcert.cz/download/kii-vis/NovaVKB/VKB_82-2018sb.pdf
- [26] Doporučení v oblasti kryptografických prostředků: *Minimální požadavky na kryptografické algoritmy* 28.11.18 Konkrétní technické požadavky na kryptografii.
https://nukib.cz/download/uredni-deska/Kryptograficke_prostredky_doporuceni_v1.0.pdf