ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Dálkový sběr dat z měřicích přístrojů

Bc. Josef Váchal **2015**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2014/2015**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Josef VÁCHAL**
Osobní číslo:	**E13N0033P**
Studijní program:	**N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Komerční elektrotechnika**
Název tématu:	**Dálkový sběr dat z měřicích přístrojů**
Zadávající katedra:	**Katedra technologií a měření**

Zásady pro vypracování:

1. Pro vybrané objekty navrhněte možnosti sběru dat z měřicích přístrojů.
2. Upravte SCADA system, tak aby co nejvíce vyhovoval běžným uživatelům.
3. Proveďte praktickou realizaci.
4. Proveďte analýzu naměřených spotřeb elektrické energie a navrhněte možnosti jejich optimalizace.
5. Uveďte závěry pro praxi.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

1. **IME INSTRUMENTI MISURE ELETTRICHE SPA. IME ITALY S.P.A. - Technical Area Support [online]. Dostupné z: http://www.imets.it/index.php-lang=en**
2. **IME INSTRUMENTI MISURE ELETTRICHE SPA. IME [online]. Dostupné z: http://www.imeitaly.com/uk/index.asp**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Stanislav Jiřinec**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Konzultant diplomové práce: **Ing. David Rot, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan

L.S.

Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Cílem předložené diplomové práce je především návrh a realizace systému pro dálkový sběr dat z měřicích přístrojů. Úvodní kapitoly jsou věnovány seznámení s hardwarovou i softwarovou podstatou zvoleného řešení. Dále jsou popsány objekty, v jejichž prostorách bude projekt realizován. Následuje samotný návrh technického provedení, konfigurace všech zařízení, popis a úpravy základního softwarového řešení v rámci jeho personalizace na míru koncovému uživateli. Poslední kapitola je analýzou spotřeb elektrické energie objektů za období jednoho roku. V závěru práce se nachází vyhodnocení výsledku projektu.

Klíčová slova

Centralizace dat, dálkový sběr dat, měření, MODBUS, SCADA, sériový přenos dat.

Abstract

The primary objective of this thesis is design and implementation of the system for supervisory control and data acquisition. The introductory chapters are supposed to make reader familiar with software and hardware of the chosen solution. The next part describes the buildings that are subjects of electrical network monitoring followed by design of technical solution and configuration. Further part is summary of the graphic adjustments made in project. The last chapter analyzes electric energy consumption for the one year period. The conclusion contains evaluation of the project results.

Key words

Data concentration, measurement, MODBUS, remote data acquisition, SCADA, serial data transmission.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 11.5.2015 Josef Váchal

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Stanislavu Jiřincovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH **7**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **8**

ÚVOD **9**

1 SYSTÉM PRO DÁLKOVÝ SBĚR DAT OBECNĚ **10**

1.1 MOTIVACE K SBĚRU DAT O PARAMETRECH ODEBÍRANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE 10
1.2 VOLBA SCADA SYSTÉMU A JEHO POPIS 12
1.2.1 Prostředí Project Manageru *13*
1.2.2 Prostředí MIDAs EVO Configuratoru *15*
1.2.3 Prostředí MIDAs EVO *17*
1.3 HARDWARE STRÁNKA SYSTÉMU IME 19
1.4 PROTOKOL MODBUS 21

2 NÁVRH SYSTÉMU PRO DÁLKOVÝ SBĚR DAT **24**

2.1 POPIS CÍLOVÝCH OBJEKTŮ 24
2.1.1 Objekt č.1 – bytový dům *24*
2.1.2 Objekt č.2 – areál administrativní budovy a haly *26*
2.2 NÁVRH ŘEŠENÍ PRO OBJEKT Č.1 – BYTOVÝ DŮM 27
2.2.1 Volba zařízení pro celkovou analýzu odebírané elektrické energie *27*
2.2.2 Volba zařízení pro čítání dílčích spotřeb elektrické energie *29*
2.2.3 Volba elektroměrného zařízení pro garážové prostory *30*
2.3 NÁVRH ŘEŠENÍ PRO OBJEKT Č. 2 – AREÁL ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY A HALY 31
2.3.1 Volba elektroměrných zařízení a celkového analyzátoru *31*
2.3.2 Volba zařízení pro měření fotovoltaických elektráren *32*
2.4 KOMUNIKACE MEZI SERVEREM A MĚŘICÍMI ZAŘÍZENÍMI 34

3 REALIZACE A KONFIGURACE SYSTÉMU PRO DÁLKOVÝ SBĚR DAT **36**

3.1 REALIZACE INSTALACE OBJEKTU Č. 1 – BYTOVÉHO DOMU 36
3.2 REALIZACE INSTALACE OBJEKTU Č. 2 – AREÁLU ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY A HALY 38
3.3 STRUKTURA KOMUNIKAČNÍ SÍTĚ SYSTÉMU DÁLKOVÉHO SBĚRU DAT 40

4 ÚPRAVA SCADA SYSTÉMU **43**

4.1 GRAFICKÁ PERSONALIZACE 43
4.2 OSTATNÍ NASTAVENÍ 45

5 ANALÝZA SPOTŘEB ELEKTRICKÉ ENERGIE **47**

5.1 VYHODNOCENÍ VÝROBY A SPOTŘEBY EL. ENERGIE OBJEKTU Č. 1 47
5.2 VYHODNOCENÍ VÝROBY A SPOTŘEBY EL. ENERGIE OBJEKTU Č. 2 50
5.3 NÁVRHY OPATŘENÍ PRO EKONOMIČTĚJŠÍ PROVOZ OBJEKTŮ 52

ZÁVĚR **54**

SEZNAM LITERATURY **55**

PŘÍLOHY ..... **I**

PŘÍLOHA A – FUNKCE PRO RYCHLOU ANALÝZU FVE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY I
PŘÍLOHA B – GRAFICKÁ PODOBA VÝKAZU O SPOTŘEBÁCH A NÁKLADECH NA EL. ENERGII (DENNÍ) II
PŘÍLOHA F – ZOBRAZENÍ DAT V MIDAS EVO III
PŘÍLOHA C – REALIZOVANÁ INSTALACE BYTOVÉHO DOMU IV
PŘÍLOHA D – REALIZOVANÁ INSTALACE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY V
PŘÍLOHA E – INSTALACE REALIZOVANÁ NA STŘEŠE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY A V HALE VI

Seznam symbolů a zkratek

CSV ..... comma-separated value
DHCP ..... dynamic host configuration protocol
DPH ..... daň z přidané hodnoty
DS ..... distribuční soustava
ERÚ ..... Energetický regulační úřad
FVE ..... fotovoltaická elektrárna
HTTP ..... hypertext transfer protocol
HMI ..... human machine interface
Imp ..... impulz
LAN ..... local area network
MID ..... measuring instruments directive
MTN ..... měřicí transformátor napětí
MTP ..... měřicí transformátor proudu
PDF ..... portable document format
PLC ..... programmable logic controller
SSR ..... solid-state relay
WAN ..... wide area network
ZB ..... zelený bonus

Úvod

Se zlepšujícími se komunikačními technologiemi se zvyšují nároky kladené na dostupnost informací, jejich přehlednost a správnost. Předmětem této práce tedy bude řešení otázky dostupnosti dat vypovídajících o elektrických parametrech sítě. Konkrétně se bude jednat o návrh systému pro dálkový sběr dat z měřicích přístrojů a jeho následnou praktickou realizaci. Tato realizace bude zahrnovat hardwarovou část, tvořenou skupinou zařízení pro měření a přenos dat, dále software část, umožňující uživatelský přístup k datům a jejich archivaci. Výstupem práce bude i zhodnocení dat o spotřebách elektrické energie objektů, v nichž bude systém pro dálkový sběr dat realizován.

Dálkového sběru dat je v praxi často využíváno pro zjišťování stavů zařízení měřicích spotřebu energií. Pro správce větších objektů, nebo geograficky roztroušených odběrných míst může zavedení takovéhoto systému znamenat značný přínos. Kromě pohodlného přístupu k datům v reálném čase to mohou být i úspory finančních prostředků jinak vynaložené na služby potřebné pro výkon klasického odečtu dat s místní dispozicí. Vzhledem k dnešní nevyhnutelnosti využívání moderních informačních systémů pro efektivní fungování podniků nabízí řada tuzemských i světových dodavatelů řešení dálkového sběru dat pro různé aplikace. Tyto systémy jsou založeny například na principu přenosu dat prostřednictvím technologie GSM, která může poskytovat i dálkové ovládání akčních členů za využití mobilních zařízení. Další možností je přenos dat po elektrickém vedení, který se vyznačuje snadným zaváděním vzhledem k využití stávající elektroinstalace jako datové linky. Všechna tato řešení v praxi vyžadují znalost programování PLC systémů a případně programátorské znalosti pro integraci dat do uživatelsky přijatelného rozhraní. Velmi zajímavé je proto řešení italského výrobce IME, který nabízí systém měřicích přístrojů spolu s uživatelským softwarem jakožto parametrizované řešení s možností doprogramování uživateli na míru. Pro český trh jsou produkty uvedeného výrobce relativně novou záležitostí. Motivací tohoto projektu zavádějícího systém pro dálkový sběr dat je nejen následné uživatelské využití monitoringu elektrické sítě, ale instalace poslouží i pro demonstrační účely.

1 Systém pro dálkový sběr dat obecně

1.1 Motivace k sběru dat o parametrech odebírané elektrické energie

Na projekt elektrotechnické povahy se díváme vždy nejméně ze dvou hledisek. Jedním z nich je technické provedení, druhým je pak ekonomická stránka věci. Konkrétně u elektroinstalací nás zajímá bezpečnost systému, náklady na jeho pořízení a provoz. S rostoucí velikostí projektu roste i význam použití systémů pro dálkový sběr dat. Jako velký projekt může být chápán buďto jeden elektroinstalačně rozsáhlejší objekt, nebo více menších objektů spadajících pod stejný systém správy. Některé z podnětů vedoucí k užití systémů pro měření a sběr dat jsou zmíněny v následujícím textu.

- ***Plnění povinností odběratele***

Prvním z možných důvodů pro měření parametrů odebírané elektrické energie je dodržování odběratelských podmínek. Sbírka zákonů č. 297 obsahuje vyhlášku Energetického regulačního úřadu, která stanovuje podmínky připojení a dodávek elektřiny pro chráněné zákazníky. Podle této vyhlášky nemusí být kvalita elektrické energie dodržena, když je překračována hodnota rezervovaného příkonu, je překračována hodnota negativního zpětného působení odběrného zařízení, nebo je energie odebírána s účiníkem nižším než 0,95. Poslední z uvedených kritérií platí pouze pro zákazníky kategorií A, B, C, kam zjednodušeně patří všechny objekty vyjma domácností využívajících elektrickou energii jen ke vlastní potřebě [1]. Přesnou definici těchto kategorií lze najít v §2 zákonu č. 297/2000 Sb.

Kromě dodržování smluvních podmínek ze strany odběratele lze zároveň sledovat i kvalitu dodavatelem poskytnuté elektrické energie. Dodavatelé by se měli řídit normami uvedenými ve zdrojích [2, 3], které přesně specifikují hodnotu frekvence a přípustné průběhy napětí způsobilé pro dodávku odběrateli elektrické energie.

- ***Vyhotovení vyúčtování za spotřebu elektrické energie dílčím uživatelům objektu***

Tento benefit ocení zvláště pronajímatelé objektů připojených do distribuční soustavy, kteří sestavují vyúčtování za spotřebovanou energii periodicky v závislosti na délce zúčtovacího období. Plný potenciál přístupu k datům o spotřebách a dalších parametrech elektrické energie se projeví zejména v případě správy většího množství objektů, nebo

při značném geografickém rozptýlení objektů. V těchto uvedených případech je přístup k datům na dálku spořičem nákladů i času.

- ***Plánování provozu***

Jedním z přínosů přímo plynoucích z informovanosti o napěťových, proudových a výkonových poměrech je možnost propracovanějšího plánování provozu elektrické sítě objektu. Toto ocení především správci větších a energeticky náročnějších objektů. Díky centralizaci dat o stavech elektrických veličin v rámci celého objektu lze učinit opatření pro optimalizaci funkce elektroinstalace. Software dodávaný k systému pro dálkový sběr dat disponuje funkcí zobrazení vývoje dané veličiny v čase prostřednictvím 2D grafu. Srovnáním grafů měřicích zařízení z různých odběrných míst objektu lze snadno vysledovat, ve který časový interval je část elektrické instalace nevyužita a jiná naopak přetížena. Zatížení jednotlivých částí elektrické instalace není prioritním kritériem pro plánování provozu strojových linek, ale v některých případech lze předejít nežádoucím stavům. V takovýchto případech je systém pro dálkový sběr dat pohodlným nástrojem.

Nepříznivý účinek mohou mít na některá zařízení i poklesy napětí. Samotnou ochranu před poškozením zařízení vlivem poklesu napětí zajistí podpěťová ochrana, avšak o následném vyřazení zařízení z provozu nás může informovat systém pro dálkový sběr dat. Kromě poklesů napětí lze navolit i jiná varování upozorňující na vychýlení specifické naměřené hodnoty z předdefinovaných mezí.

- ***Minimalizace fixních poplatků***

Cena elektrické energie se skládá z regulované části, neregulované části a daní. Poplatky z regulované části jsou distributorem neovlivnitelné, stanovuje je Energetický regulační úřad. Do této první skupiny patří poplatky za rezervovaný příkon, systémové služby, příspěvek na obnovitelné zdroje a poplatek operátorovi trhu. Neregulovaná část platby se odvíjí od samotného množství spotřebované elektrické energie, ve které cenu jedné megawatthodiny stanovuje distributor na základě smluvního tarifu. Třetí část ceny elektrické energie je odváděna státu a je tvořena daní z elektřiny společně s daní z přidané hodnoty, jejichž sazby stanovuje také stát [4].

Velikosti sazeb daní jsou uživatelem neovlivnitelné. Množství spotřebované elektrické energie lze minimalizovat zamezením plýtvání, ale částka za spotřebovanou megawatthodinu

zůstává neměnná. Díky využívání systému pro dálkový sběr dat lze dlouhodobě sledovat celkový odebíraný proud ve všech třech fázích a zjistit tak maxima jednotlivých objektů. Na základě těchto maxim je možno určit minimální jmenovitou hodnotu hlavních jističů. Tímto opatřením dojde k redukci velikosti regulované části platby za elektrickou energii, jelikož distributoři stanovují tuto částku právě na jmenovitých hodnotách hlavních jističů umístěných před hlavním elektroměrem. Do již zmíněného dlouhodobého sledování proudových poměrů objektů je třeba zahrnout období předpokládané nejvyšší spotřeby elektrické energie.

1.2 Volba SCADA systému a jeho popis

Pro účely našeho projektu byl zadavatelem, který je též provozovatelem objektů, zvolen systém pro dálkový sběr dat od italské společnosti IME. Společnost IME se zabývá obory elektrického měření, průmyslovou automatizací a energetickou správou. Společnost má ve své nabídce široký repertoár měřicích přístrojů a komponentů k nim potřebných. Výrobce dělí svoje produkty do několika kategorií, přičemž každý produkt dané kategorie je pojmenován specifickým názvem a kódem. Aktuální pro tento projekt budou především produkty z řady měřicích přístrojů elektrické energie nesoucí název Conto. Do této kategorie spadají především přístroje pro měření spotřeby elektrické energie. Druhou nejčastěji se vyskytující kategorií pak budou multifunkční měřicí přístroje z kategorie Nemo, které jsou vybaveny funkcemi pro podrobnější monitoring odběru elektrické energie. Kromě samotných přístrojů pro měření parametrů elektrické energie budou využita i takzvaná rozhraní, neboli zařízení zprostředkovávající komunikaci dvou sítí rozdílného typu. Celou hardwarovou podstatu věci pak sjednocuje software zvaný MIDAs EVO. Jedná se o systém SCADA, což je zkratka pro anglický originál „Supervisory Control And Data Acquisition". Ve volném překladu se jedná o „dispečerské řízení a sběr dat" [5].

Společnost IME disponuje dvěma druhy softwarových produktů, jejichž prostřednictvím lze pracovat s daty získanými měřicími přístroji. Jedním z těchto produktů je software zvaný CONTO. Jedná se o jednodušší ze dvou nabízených druhů programového vybavení. Software byl navržen pro jednoduché aplikace určených k jednorázovému odečtení aktuálních dat, bez možnosti kontinuálního záznamu průběhu sledovaných veličin. CONTO není navržen pro jakékoliv další zpracovávání dat, jako je tvorba tabulek, grafů, nebo vyúčtování.

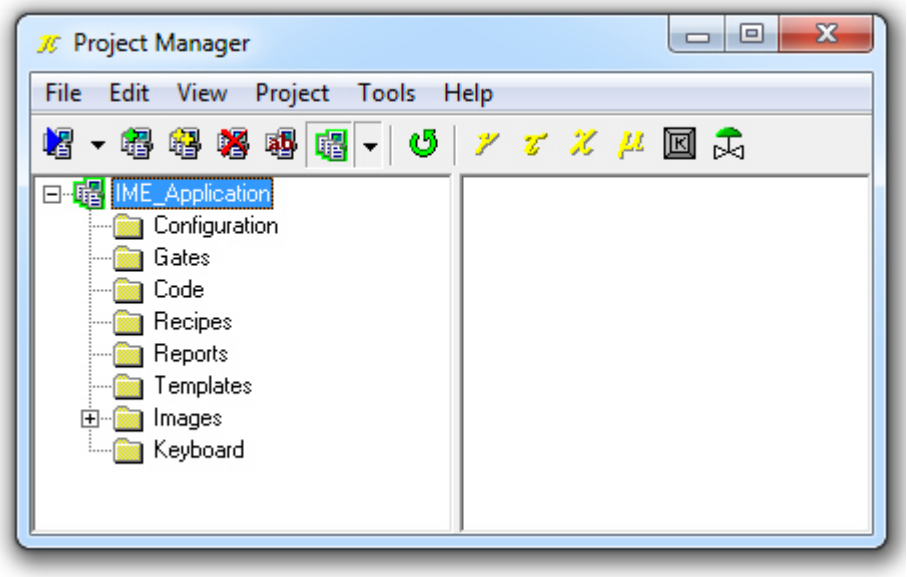
Ve své podstatě slouží tento software pro jednorázový odečet naměřených dat z dostupných měřících zařízení, zpravidla se jedná o aktuální hodnoty stavů energií [6].

Druhou mnohem komplexnější variantou software produktů společnosti IME je MIDAs EVO. Jeho komplexnost a širší funkcionalita ale vyžaduje neustálý online provoz serverového PC, který plní kromě role mastera dožadujícího se dat i roli úložiště pro databázi měřených veličin. Software MIDAs EVO je nabízen ve čtyřech licenčních variantách. Základní varianta povoluje správu maximálně pěti zařízení, pokročilá umožňuje správu až 20 zařízení a nejvyšší verze produktových klíčů jsou určeny pro správu až 100 nebo 1020 zařízení. Kromě rozdílného limitu pro maximální počet připojených zařízení neexistují žádné rozdílnosti mezi jednotlivými licencemi [6]. Důvody pro prodej několika variant téhož produktu jsou tedy čistě komerční. Cenové rozdíly jednotlivých licencí se pohybují v řádech desítek tisíc korun, což opodstatňuje zvážení počtu připojených zařízení. Pokud plánované množství připojovaných zařízení hraničí s licenční mezí, je finančně výhodné omezit toto číslo změnou konfigurace či požadavků na systém, nebo naopak zvážit využití licence vyššího typu s predikcí přírůstku zařízení v budoucím období provozu systému pro dálkový sběr dat.

Kromě samotného MIDAs EVO jakožto SCADA softwaru jsou v základním instalačním balíčku obsaženy také nástroje pro prvotní založení a nastavení softwarové části systému, tedy Project Manager a MIDAs EVO Configurator. Jejich funkcionality budou uvedeny v následujících podkapitolách.

1.2.1 Prostředí Project Manageru

Na jednom PC se SCADA softwarem může existovat více sad projektových souborů, aktivní však může být vždy pouze jedna. Grafické rozhraní Project Manageru (viz *obr. 1.1*) vytváří přehled o všech vytvořených projektech, umožňuje jejich správu a nabízí další nástroje pro vizuální i funkční personalizaci rozhraní samotného MIDAs EVO. Projekty lze duplikovat a tyto duplikáty dále upravovat. Tato funkce je nepostradatelnou v případě provádění úprav na stávajícím projektu. Úpravou duplikátu není uživatel vystaven riziku ztráty funkčního uživatelského rozhraní.



Obr. 1.1 Rozhraní Project Manageru

- ***Gate Builder***

Kromě této základní funkce nabízí Project Manager i několik dílčích nástrojů. Jedním z nich je Gate Builder jakožto utilita pro snadné vytváření, organizaci, odstraňování, nebo modifikaci virtuálních bran, na které lze odkazovat pro získání hodnot z určitého místa v paměti zvoleného zařízení připojeného do sítě. Vytvořené přístupové brány jsou děleny do čtyř základních databází dle jejich datového typu. Brány typu Digital jsou přístupové body k hodnotám v paměti přístrojů o velikosti jednoho bitu, jejichž význam je indikace stavů 0/I. Dalším druhem těchto bran jsou Numerical. Jak již napovídá samotný název, lze odtud získávat data vyjadřující číselné údaje. V praxi se jedná o veškeré hodnoty měřených veličin. Neméně užívanými bránami jsou String odkazující do místa v paměti s textovou náplní. Pro veškeré textové hodnoty nastavitelné v MIDAs EVO existuje tento String přístup. Posledním typem přístupových bran je Composed, který je výsledkem matematické operace provedené mezi dvěma bránami stejného typu. Příkladem může být hodnota míry překročení proudu nad stanovenou mez, nebo napětí mezi dvěma fázemi (sdružené).

- ***Template Builder***

Základní grafické rozložení (jinak layout) nabízí dispečerský přístup ke všem datům získávaných SCADA systémem z měřicích zařízení. Z důvodů lepší přehlednosti, pohodlnějšího a intuitivnějšího přístupu k datům řeší uživatelé otázku přizpůsobení grafického layoutu na míru jeho aplikaci. Příkladem takovýchto řešení mohou být SCADA systémy velkých průmyslových provozů, kde hlavní layout graficky znázorňuje reálné rozložení strojů v oblasti závodu spolu s nejdůležitějšími hodnotami. Dále hlavní obrazovka

vyzdvihuje hodnoty nacházející se mimo stanovené meze, jejichž překročení si žádá pozornost obsluhy. Detailnější informace o měřených veličinách jednotlivých strojů jsou přístupné až po otevření detailů příslušného zařízení. Tímto způsobem zobrazují data takzvané informační systémy v kokpitu [7]. Pro případ nejen takovýchto úprav designu SCADA systému je Project Manager vybaven nástrojem Template Builder, jejímž prostřednictvím lze provádět přizpůsobení jednotlivých layoutů bez větších nároků na programátorské znalosti. Touto cestou do grafického rozhraní zakomponujeme grafické součásti navrhnuté v jiném programovém vybavení a následně uložené ve formátu bitmap. Užitečná je sada předinstalovaných dynamických prvků, jako jsou různá tlačítka, posuvné lišty, otočné regulátory, přepínače stavů, indikační diody atd. Funkčnost těchto elementů je podmíněna jejich správným nastavením, které často zahrnuje i práci s již zmiňovanými branami.

- ***Ostatní nástroje Project Manageru***

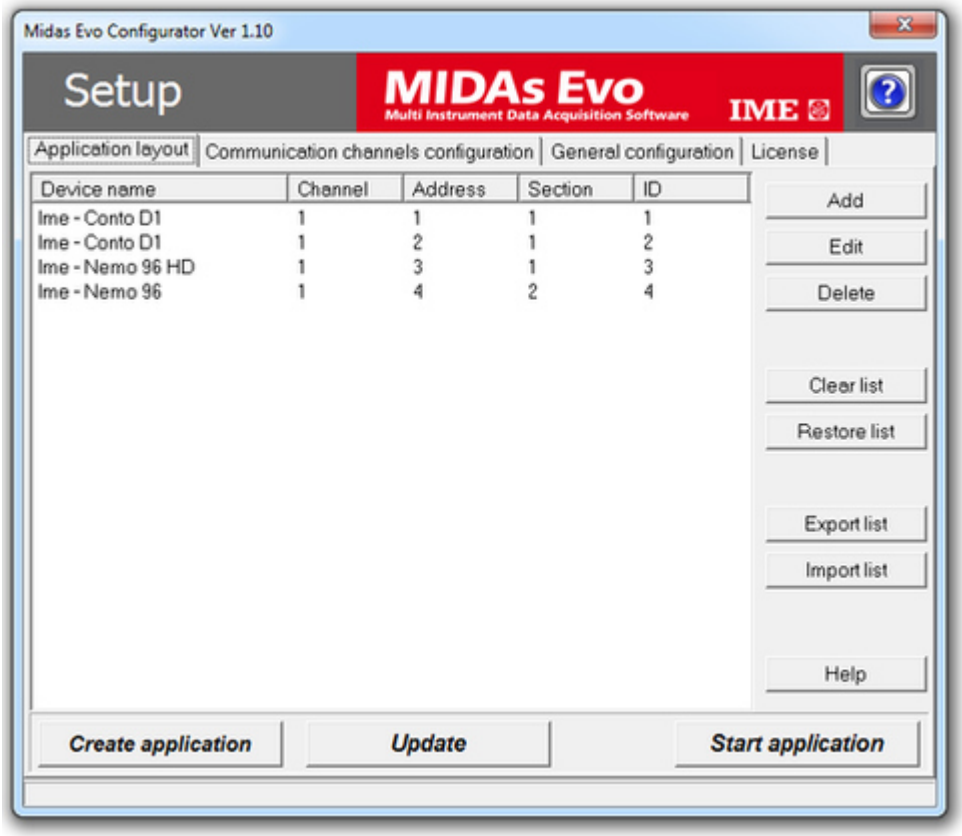
Dalším vybavením Project Manager je Code Builder jakožto nástroj pro zobrazení a úpravu programových kódů. Díky tomuto „Open Source“ provedení jsou uživatelům s dobrou znalostí programovacího jazyka Winlog uděleny neomezené možnosti konfigurace SCADA systému. Lze ocenit také Multilanguage Editor pro tvorbu nových jazykových databází v případech, ve kterých by ani jedna z pěti nabízených jazykových mutací MIDAs Evo nebyla vyhovující. Software pamatuje i na provozy s ovládáním pomocí dotekových displejů a disponuje integrovanou funkcí Keyboard Builder, díky níž lze graficky navrhovat virtuální klávesnice. Terminály založené na „touchscreen“ technologii nejsou postiženy problémem datového vstupu.

1.2.2 Prostředí MIDAs EVO Configuratoru

Druhou částí softwarového balíčku je MIDAs EVO Configurator. Tento segment programového vybavení slouží pro vytvoření a jednoduchou konfiguraci základních projektových souborů SCADA systému. První záložka dialogového okna programu (viz *obr. 1.2*) slouží k přidání jednotlivých zařízení do projektu a jejich nastavení. Nabízeny jsou možnosti konfigurace typu zařízení, ID zařízení, node adresy, sekce a čísla komunikačního kanálu. ID je jakákoliv uživatelem zvolená kombinace povolených znaků pro snadnější identifikaci zařízení v síti. Sekce je též libovolně volitelným parametrem umožňujícím logicky třídit měřicí přístroje do skupin na základě jejich společných rysů (například skupina zařízení monitorující jeden výrobní stroj). Node adresa jednoznačně

identifikuje zařízení v síti sériové komunikace, proto je nezbytné zaručení jedinečnosti. MODBUS podporuje adresy v rozsahu čísel 1 až 255, přičemž horní mez není doporučena k běžnému užívání vzhledem k jejímu využití jako adresy přednastavené z výroby.

Posledním konfigurovatelným parametrem je číslo komunikačního kanálu použitého pro vytvoření spojení mezi PC serverem SCADA systému a měřicím prvkem poskytujícím data o měřených veličinách. Každý využitý komunikační kanál je tedy označen číslem a je dále přizpůsobitelný v druhé záložce dialogového okna MIDAs EVO Configuratoru. První možností je využití protokolu MODBUS RTU – IME pro přímé připojení řady po sériové lince RS485 komunikujících zařízení, nebo samostatného zařízení na lince RS232 k serverovému PC. Druhou variantou komunikačního kanálu je MODBUS RTU TCP - IME využívaný pro navázání spojení PC serveru se skupinou přístrojů sdružených pod společné zařízení s rolí tvorby rozhraní mezi sítí sériové komunikace a sítí založené na technologii Ethernet. Třetí variantou typu komunikačního kanálu je TCP/IP Client, který je volen pro čerpání dat z dalšího počítače provozujícího samostatně svůj SCADA systém. Jedná se tedy o peer-to-peer komunikaci, ve které není ani jeden z obou počítačů nadřazen tomu druhému [8].



Obr. 1.2 Rozhraní MIDAs EVO Configuratoru

Za předpokladu správného provedení konfigurací nacházejících se v prvních dvou záložkách dialogového okna MIDAs EVO Configuratoru jsou naplněny všechny požadavky pro funkční provoz softwarové části SCADA systému. Pro užší specifikaci způsobu ukládání dat na pevný disk serverového PC lze vybrat z možností nabízených v nabídce třetí záložky. Informaci o verzi licence připravené k užívání na základě připojeného USB klíče je možno nalézt v poslední ze záložek dialogového okna. Výběrem tlačítka pro vytvoření aplikace jsou na pevném disku serverového PC založeny složky se souborovým obsahem definujícím celý projekt. Ty lze nadále modifikovat v již zmíněném Project Manageru, nebo využít jejich základního nastavení pro provoz SCADA softwaru MIDAs EVO v základní podobě. Při vytváření aplikace je uživateli učiněna nabídka pro vytvoření webového serveru poskytujícího přístup ke grafickému rozhraní MIDAs EVO s oprávněním omezeným na čtení dat bez pravomoci k jejich úpravě. Tato nastavení zahrnují volbu IP adres a portů, které budou aplikací používány pro publikování webového serveru v LAN, nebo WAN síti.

1.2.3 Prostředí MIDAs EVO

Po provedení veškerých konfiguračních prací je supervizní software MIDAs EVO připravený ke sběru dat, jejich archivaci a interpretaci. Podmínkami pro nepřetržitý záznam dat jsou: funkčnost veškerých přístrojů, neustálá konektivita měřicích přístrojů se serverovým PC, neustálý provoz serverového PC s připojeným USB klíčem, spuštěný software MIDAs EVO. Stejná kritéria musejí být splněna i pro případný provoz webového serveru.

V základním zobrazení jsou měřicí přístroje seřazeny do sekcí, jejichž organizaci definoval uživatel při vytváření projektu v předešlé konfigurační části. Kliknutím na vybraný měřicí přístroj se otevírá nové okno s informacemi o měřených veličinách. Toto okno je graficky stylizováno do reálného designu daného typu zařízení. Lze zde proto najít segmentový displej s možností přepínání zobrazení pomocí příslušných tlačítek. Jedná se tedy o věrnou simulaci fyzického přístupu k instalovanému měřicímu zařízení. Každému takovému vyobrazení navíc náleží tlačítko nastavení, které umožňuje přehlednější interpretaci měřených veličin a další konfiguraci specifickou pro daný typ zařízení.

Důležitým prvkem tohoto rozšířeného zobrazení dat je možnost vykreslení průběhu zvolených elektrických veličin v závislosti na čase do grafů. Pro snadné porovnání průběhů lze vykreslovat až šest různých průběhů do jednoho společného grafu. Pro vymezení časového úseku zobrazeného v grafu je uživatel vyzván zadat čas počátku a dobu trvání

sledovaného intervalu. Čas je možno zadat s přesností na jednotky sekund. Data zobrazitelná grafem mohou být vykazována i ve formě tabulek, které lze následovně tisknout nebo exportovat do formátu PDF. Další užitečnou funkcí rozšířeného zobrazení dat daného měřicího přístroje jsou upozornění, díky kterým má uživatel možnost být informován o jakémkoliv poklesu, či naopak přesažení definovaných hodnot sledovaných veličin. Tato upozornění mohou být v okamžiku jejich vzniku zasílána na zadanou emailovou adresu, což v dnešní době znamená včasnou informovanost uživatele, zároveň i možnost reakce na vzniklý problém bez prodlení. Všechna tato hlášení jsou navíc archivována v historii upozornění.

Obr. 1.3 Základní grafické rozhraní MIDAs EVO

K datům lze přistupovat buď individuálně po otevření detailního okna příslušného měřicího přístroje, nebo souhrnně volbou možností nabízených ve spodní liště okna programu. Uživateli je takto umožněno srovnání vývoje spotřeb elektrické energie různých zařízení ve společném grafu. Souhrnně zobrazitelnou položkou je i přehled aktivních upozornění nebo historie upozornění. V pravém dolním rohu programového okna lze použít ikonu se symbolem klíče pro zadání příslušných přihlašovacích údajů opravňujících měnit nastavení softwaru MIDAs EVO.

1.3 Hardware stránka systému IME

Při instalaci hardwarové části systému pro dálkový sběr dat od společnosti IME není nutný žádný větší zásah do již realizované elektroinstalace, jedná se pouze o přidání dalších elektrických zařízení. Toto platí za předpokladu, že všechny elektroměry instalované ve sledovaném objektu, jejichž data budeme chtít zaznamenávat, jsou vybaveny impulzním výstupem reprezentujícím hodnoty měřených veličin. Každý takovýto elektroměr by měl být opatřen štítkem s informací o délce pulzu a o převodu počtu pulzů na 1 kWh elektrické energie. Analogicky platí to samé pro plynoměry, teploměry a vodoměry, pokud je požadováno jejich připojení do systému pro dálkový sběr dat. Elektroměry, multifunkční zařízení i převodníky jsou přizpůsobené pro montáž na DIN lištu. Společnost IME dodává některá multifunkční a elektroměrná zařízení v provedení uzpůsobeném pro zabudování do panelu [9].

- ***Zařízení připojitelná do systému***

Systémy pro dálkový sběr dat jsou primárně využívány pro získávání dat o spotřebě elektrické energie. Pro tento jednoduchý účel postačí elektroměry, které jsou označovány kmenovým názvem Conto. V této kategorii najdeme jak elektroměry třífázové, tak jednofázové. Veškerá dostupná zařízení této kategorie jsou samonapájená, odpadá tedy potřeba na přívod dalších vodičů pro pokrývání vlastní spotřeby. Třífázové elektroměry měří vždy činnou i jalovou energii. Odlišnost jednotlivých typů elektroměrů spočívá především v komunikačních schopnostech a třídách přesnosti měření [9].

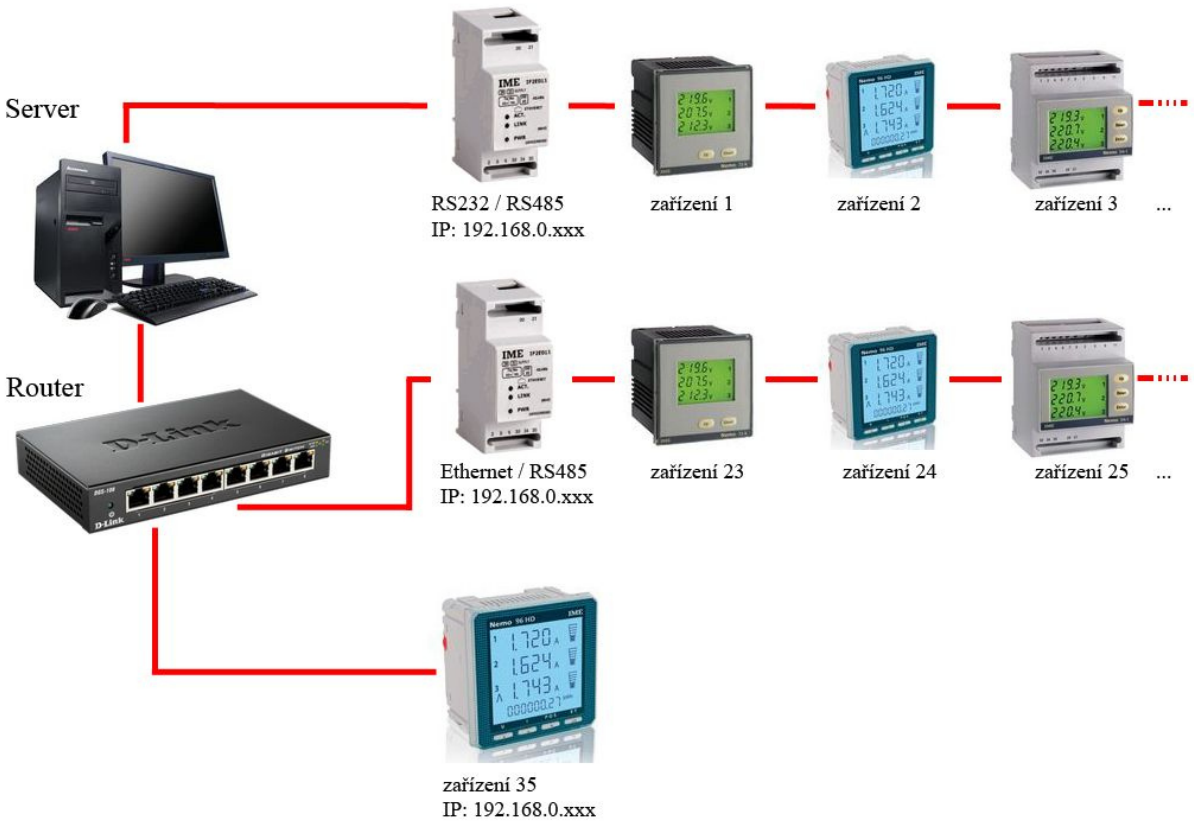
Další kategorií tvoří multifunkční měřicí přístroje Nemo. Tyto přístroje použijeme v případech, ve kterých potřebujeme znát kromě spotřeby elektrické energie i její detailnější parametry, například účiník, harmonické zkreslení, minimální i maximální hodnoty základních veličin a další. Tyto multimetry vyžadují pro provoz připojení napájecího napětí na příslušné svorky, které obvykle nesou číselné označení 20 pro fázový vodič a 21 pro nulový vodič. Některé z přístrojů kategorie Nemo jsou dále rozšířitelné o přídavné moduly, které mohou rozšířit komunikační schopnost přístroje, přidat mu paměť, vybavit přístroj teplotním čidlem nebo výstupem pro relé [9].

Kromě zařízení dodávaných společností IME lze do SCADA systému připojit jakýkoliv měřicí přístroj založený na protokolu MODBUS. Vzhledem k faktu, že přístroj bude pro supervizní systém MIDAs EVO neznámý, nastane problém ve formě složitější konfigurace přístupu k jeho datům.

- ***Komunikace mezi zařízeními***

Většina zařízení je vyráběna v několika různých variantách datové komunikace, pro multimetry Nemo existují přídavné moduly rozšiřující jejich komunikační možnosti. Pro předávku dat sériovou formou bývá ve SCADA systémech společnosti IME často využíváno standardu RS485 a RS232 spolu s protokolem MODBUS RTU. Na místech s využitím technologie Ethernet je použit MODBUS RTU TCP [10].

Standard RS232 podporuje připojení jednoho zařízení na jeden fyzický komunikační kanál, což je vlastností limitující jeho využití. Pro přenos dat sériovou cestou je proto často využíváno standardu RS485, který tímto omezením netrpí. V závislosti na počtu zařízení a rozlohy objektu, v němž se systém pro dálkový sběr dat využívá, se měřicí zařízení zapojují do jednoho či více komunikačních kanálů. Na každém takovémto kanálu probíhá přenos dat na rozhraní RS485. Ty jsou zakončeny přímým sériovým připojením do PC serveru, nebo jsou převedeny z RS485 na Ethernet a tak poskytují PC serveru data prostřednictvím LAN či WAN sítě. Společnost IME nabízí řadu zařízení pracující jako rozhraní mezi sítěmi různého typu. Každému převodníku (rozhraní) na Ethernet je kvůli jeho identifikaci v síti přiřazena jeho specifická IP adresa ručně, nikoliv prostřednictvím místního DHCP serveru, který běžně slouží jako poskytovatel informací konfiguračního charakteru [11]. Některá multifunkční zařízení kategorie Nemo mohou podporovat výstup na rozhraní Ethernet. V tomto případě není třeba převodníku a takováto zařízení mohou být připojena rovnou do LAN/WAN sítě pod svojí vlastní IP adresou. Na každém komunikačním kanálu lze provozovat až 32 zařízení. Pro navýšení počtu zařízení daného kanálu lze připojit opakovač, který tento počet navýší o dalších 32 možných přístrojů. Maximum přístrojů připojených na jeden komunikační kanál je limitováno protokolem MODBUS na 255 [12].



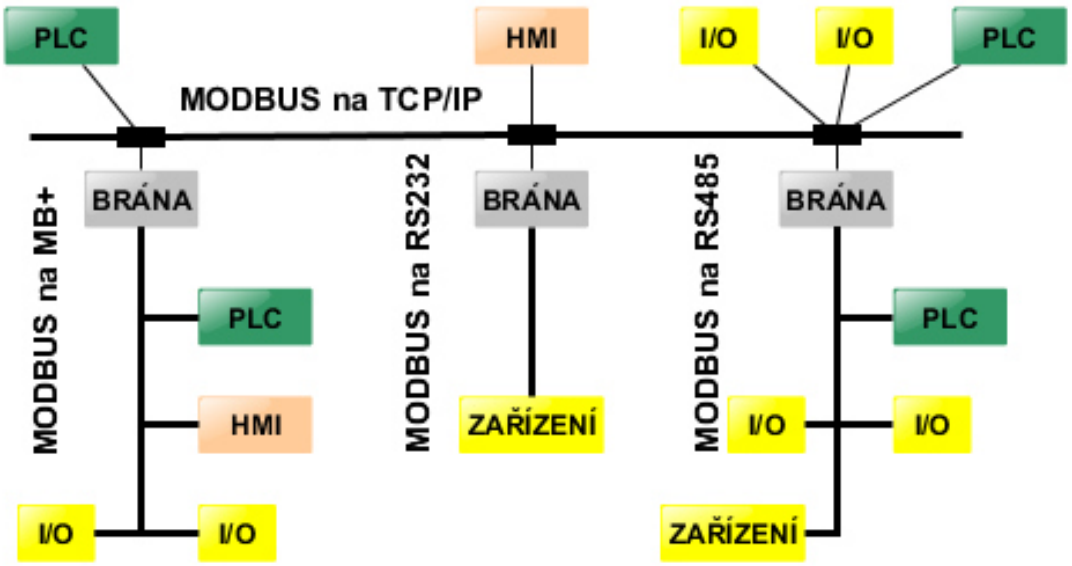
Obr. 1.4 Obecný příklad možné hardware konfigurace

1.4 Protokol MODBUS

Historie tohoto průmyslového standartu sahá až do roku 1979 a jeho současný vývoj pokračuje [12]. MODBUS ASCI a RTU jsou sériové protokoly, které používají pro přenos datových paketů na fyzické úrovni standard RS-232 a RS-485, verze TCP využívá technologii Ethernet. V protokolu MODBUS jsou nadefinovány kódy funkcí a dekódovací schéma pro transfer dat jako jednoduchou jednotku o velikosti 1-bit (tzv. coil), nebo jako 16-bit datový registr. Základní datový paket je potom zapouzdřen podle specifikací pro ASCII, RTU nebo TCP [13].

Nezbytnými komunikačními parametry pro komunikaci MODBUS RTU jsou modulační rychlost (baud rate), parita, node adresa zařízení v roli slave. Pro MODBUS TCP je nutné určení IP adresy v síti. Verze MODBUS TCP definuje prezentační a aplikační vrstvu, tzn. šestou a sedmou úroveň podle referenčního modelu OSI [21]. MODBUS TCP poskytuje komunikaci klient-server mezi zařízeními jež jsou připojena do různých typů sítí, viz *obr 1.5,* přičemž je využíváno portu 502. MODBUS je protokol typu požadavek-odpověď a nabízí služby specifikované kódy funkcí. MODBUS funguje jako protokol master-slave,

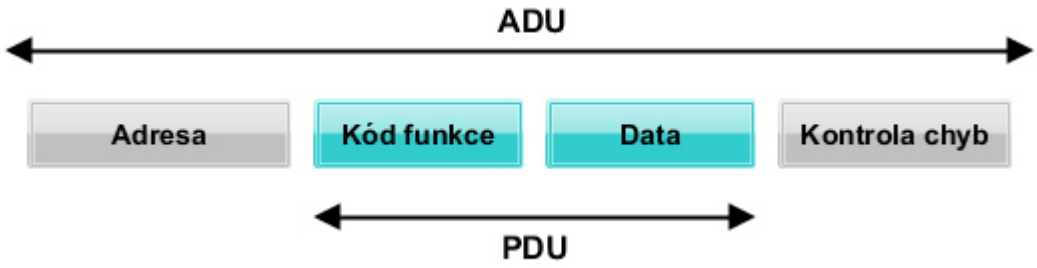
což znamená, že zařízení pracující jako slave nebude odesílat žádná data bez toho, aniž by byla přijata žádost od zařízení v roli master. Toto master zařízení je oprávněno zapisovat a číst data z registrů zařízení slave [12, 13].



Obr. 1.5 Příklad MODBUS síťové struktury [12]

U verze MODBUS TCP je specifikace rolí master-slave méně zřejmá, protože Ethernet umožňuje komunikaci „Peer to Peer", neboli komunikaci dvou zařízení na stejné úrovni co do hierarchie pravomocí. V sítích založených na technologii Ethernet jsou spíše používané názvy rolí klient-server, přičemž může existovat více klientů poptávajících data po serverovém zařízení [13].

Protokol MODBUS definuje strukturu zprávy PDU (Protocol Data Unit) na úrovni protokolu nezávislou na níže ležících komunikačních vrstvách. Podle typu sítě, ve které je protokol použit, je struktura rozšířena segmenty adresy a kontroly chyb, a vzniká tak zpráva ADU (Aplication Data Unit) nacházející se na aplikační úrovni [12]. Obecné schéma MODBUS zprávy je znázorněno na *obr. 1.6*.



Obr. 1.6 Obecná struktura MODBUS zprávy [12]

Následující odstavec stručně objasní obsah jednotlivých buněk o*br. 1.6* znázorňujícího strukturu MODBUS zprávy. Pole adresa a kód funkce datové jednotky jsou zakódována každé v jednom bajtu. Číslo identifikující dané zařízení v síti je obsahem buňky adresa a je stejné pro požadavek i odpověď. Samotný předmět výkonu na dané adrese je reprezentován kódem funkce. Použitelné kódy se nacházejí v číselném rozsahu 1 až 255 desítkové soustavy, přičemž kódy 128 až 255 jsou vyhrazeny pro výjimečné odpovědi, zpravidla chybové odpovědi na požadavky [12]. V poli data se konkrétně u zařízení výrobce IME mohou nacházet tyto datové typy: BYTE, WORD, long. První z těchto datových typů má velikost jednoho bytu a každý následující je co se do velikosti týče dvojnásobkem předchozího. Vznikne-li požadavek zařízení master na zařízení slave, pak vzniká zpráva, jejímiž daty jsou: adresa na konkrétní místo v paměti serverového zařízení a očekávaná velikost odpovědi. Pokud se jedná o zprávu odesílanou slave zařízením na vyžádání, potom jsou obsahem datové části zprávy PDU poptávaná data již bez adresy jejich původního umístění. Pokud se jedná o chybovou transakci, je vrácena odpověď s nastaveným nejvyšším bitem a datová část nese chybový kód specifikující příčinu selhání. Pro zajištění kontroly bezvadného přenosu zprávy je připojen tzv. cyklický redundantní součet (CRC), který je poslední buňkou modelu MODBUS zprávy znázorněného na předešlém obrázku [14].

2 Návrh systému pro dálkový sběr dat

Systém pro dálkový sběr dat musí být pro účely tohoto projektu v prvé řadě schopný kontinuálního záznamu přesných dat, která vyjadřují množství spotřebované energie a základní parametry elektrické energie jednotlivých objektů. Druhou podmínkou je přístupnost dat v jakémkoliv čase nezávisle na aktuální geografické poloze uživatele. Dalšími požadavky jsou jednoduchost a intuitivnost práce v uživatelském rozhraní SCADA softwaru. Nezbytnou součástí instalovaného systému má být i funkce včasného varování na chybové stavy skrze zvolený komunikační kanál dostupný „chytrým“ mobilním zařízením. Návrh se bude týkat hardwarové části zabývající se výběrem zařízení pro následnou instalaci i zavedením příslušného softwaru a jeho úpravou. Softwarová část projektu bude předmětem čtvrté kapitoly diplomové práce.

Volba zařízení pro systém dálkového sběru dat byla učiněna na základě specifikací zařízení přístupných v katalogu na webových stránkách výrobce. Při snaze minimalizovat náklady na realizaci projektu byly rozhodovacím faktorem i pořizovací ceny jednotlivých komponent brané z aktuálního ceníku českého dodavatele Tribase electric s.r.o., který nabízí výrobky společnosti IME. Volba zařízení byla v průběhu návrhu konzultována se zadavatelem projektu, jehož motivací pro instalaci systému dálkového sběru dat byl nejen monitoring jím vlastněných objektů, ale i demonstrace možností systému pro obchodní účely.

2.1 Popis cílových objektů

Návrh a realizace tohoto projektu zasáhne do třech budov, kterými jsou: bytový dům, administrativní budova a hala. Bytový dům bude v diplomové práci označován jako objekt č. 1, administrativní budova a hala budou vzhledem k jejich umístění ve společném areálu označovány jako objekt č. 2. PC server SCADA systému poskytující měřicím přístrojům neustále přístupné úložiště dat bude na požadavek zadavatele projektu umístěn v jednom z bytů nejsvrchnějšího patra objektu č. 1 – bytového domu.

2.1.1 Objekt č. 1 – bytový dům

Prvním z dvou objektů, ve kterých bude realizován dálkový sběr dat z měřících přístrojů, je bytový dům lokalizovaný na okraji města Plzeň, jehož výstavba byla dokončena roku 2007. Jedná se o třípodlažní dům o výměře 156 m^2 dělený na sedm samostatných pronajímaných

bytů. Celý objekt je vytápěn podlahovým topením, jehož teplonosné médium (voda) je ohříváno tepelným čerpadlem vzduch-voda typu Viessmann AW350. Za použití tepelného čerpadla jsou splněny podmínky pro zařazení objektu do energetického tarifu D56d distribuce ČEZ, který poskytuje nízký tarif 22 hodin denně. Pronajímatel objektu pro zjednodušení účtuje svým nájemníkům veškerou spotřebovanou energii za cenu nízkého tarifu, vzhledem k nepatrnému rozdílu ceny NT oproti VT používanému pouze dvě hodiny denně. Kromě tepelného čerpadla dům ekonomizuje i fotovoltaická elektrárna (dále jen FVE) o výkonu 18,2 kWp instalovaná na střeše objektu. Jedná se o FVE složenou z polykrystalických panelů ET Solar 240 Wp. V suterénu se vedle jednoho z bytů nachází technická místnost, ze které je po objektu rozvedena elektrická energie, teplá a studená voda, topná voda, potrubí centrálního vysavače. K bytovému domu náleží odděleně vystavěná garáž.

Obr. 2.1 Objekt č. 1 - bytový dům

Všechna jistící a měřicí zařízení elektrické instalace jsou instalována ve dvou rozvodných skříní suterénu budovy. Výchozí instalace zajišťovala měření dílčích spotřeb elektrické energie prostřednictvím devíti elektroměrů Moeller KWZ-3PHD-D63-D s impulzním výstupem o délce impulzu 32 ms a převodu 500 imp = 1 kWh. Kromě impulzního výstupu nebyla tato zařízení vybavena žádným způsobem komunikace. Tyto podružně instalované digitální elektroměry jsou schopny přímého třífázového měření do 63 A s možností využití dvou tarifů. Třída přesnosti těchto elektroměrů je 2 [15]. Odečet aktuálních stavů byl možný pouze za osobní přítomnosti u digitálních displejů elektroměrů umístěných uvnitř hlavní rozvodné skříně. Nynějším požadavkem je odečet dat podružných spotřeb elektrické energie prostřednictvím SCADA systému.

Každý z bytů je vybaven zásuvkami pro připojení do místní sítě LAN využívající technologii Ethernet. Switch propojující vývody z jednotlivých bytů je umístěn v síťové skříni suterénu budovy, která se nachází přímo mezi elektrickými rozvaděči. Prostřednictvím této sítě je přistupováno k internetu.

Odděleně vystavěná garáž nebyla vybavena podružným elektroměrem pro měření jejích spotřeb elektrické energie. Vzhledem k vizi možného budoucího pronájmu garážových prostor zadal provozovatel objektu požadavek na možnost samostatného měření jejích spotřeb elektrické energie a integraci těchto dat do systému pro dálkový sběr.

2.1.2 Objekt č. 2 – areál administrativní budovy a haly

Dalším místem, na kterém má být aplikován systém pro dálkový sběr dat vypovídající o poměrech elektrických veličin, je areál zahrnující dvě budovy. Jedná se o zděnou halu a dvoupatrovou administrativní budovu o výměře 272 m^2 vystavěnou roku 1975. Hala je určena především pro skladové účely a k občasným montážním pracím. Nebytové prostory administrativní budovy jsou pronajímány jako kanceláře, zasedací místnosti a ordinace. Objekty jsou vytápěny dvojicí tepelných čerpadel vzduch-voda Carrier 38AW115 (venkovní jednotka) a 80AWT00X (vnitřní jednotka) s plynulou regulací výkonu. Každá z budov je vybavena switchem místní LAN sítě, která umožňuje přístup k internetu.

Obr. 2.2 Objekt č. 2 - administrativní budova

Na střeše administrativní budovy jsou instalovány dva stringy (řetězce) fotovoltaických panelů o celkovém výkonu 9,2 kWp pracující v programu „zelený bonus", jehož finanční výhodnost je podmíněna maximálním využitím energie vyrobené alternativními zdroji přímo jejím výrobcem [16]. Tyto dva stringy FVE budou sloužit k porovnávání účinností panelů při ošetření jednoho z řetězců samočisticím nástřikem. Požadavkem na instalovaný systém proto bude schopnost odděleného měření parametrů elektrické energie dodávané každým

z těchto stringů. Střecha haly je vybavena fotovoltaickou elektrárnou uvedenou do provozu v roce 2012. Špičkový výkon FVE haly je 27 kWp a její energetické příspěvky jsou přímo prodávány do distribuční sítě, velikost této produkce má být také předmětem monitoringu instalovaného systému pro dálkový sběr dat.

Spotřeba elektrické energie haly není doposud separátně měřena, tento nedostatek by měl být odstraněn přidáním vhodného přístroje. Dílčí spotřeby administrativní budovy jsou měřeny sedmi podružnými elektroměry typu Maneler 9907D s pulzním výstupem o hodnotě převodu 800 imp/kWh a délkou impulsu 40 ms.

2.2 Návrh řešení pro objekt č. 1 – bytový dům

Vyúčtování za spotřebovanou elektrickou energii kalkuluje distributor na základě dat změřených hlavním elektroměrem, který je svojí přesností způsobilý k těmto účelům a je opatřen plombou revizního pracovníka. Způsoby, jakými je měření elektřiny povoleno, definuje vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu ČR dostupná z odkazu uvedeného ve zdroji [17]. Úpravy potřebné pro realizaci systému pro dálkový sběr dat nijak nezasáhnou do stávající instalace hlavního elektroměru. Všechny prvky instalované v rámci tohoto projektu budou zapojeny do stávající elektroinstalace za hlavním elektroměrem, tzn. na straně spotřeby.

2.2.1 Volba zařízení pro celkovou analýzu odebírané elektrické energie

Pro lepší přehlednost, konzistentnost a přístup k datům nejen v místě hlavního elektroměru bude instalováno zařízení, které bude schopné poskytnout kompletní analýzu odebírané elektrické energie. Tuto funkci by mělo plnit nejlépe jedno multifunkční měřicí zařízení schopné měřit a poskytovat data o celkových tocích výkonů činných, jalových, zdánlivých a potažmo i informace o fázovém a třífázovém účiníku. K získání kontroly nad vytížeností jednotlivých fází bude zapotřebí, aby bylo toto zařízení schopné měřit napětí a proudy jednotlivých fází. Protože se jedná o volbu hlavního analyzátoru odebírané elektrické energie objektu, bylo voleno z funkcionálně nejvyšší třídy multimetrů, ve které jsou výrobcem IME nabízeny tři typy produktů. Porovnání hlavních rozdílů funkcionalit těchto multimetrů je shrnuto v *tabulce 2.1*.

	Nemo96HDL	Nemo96HD	Nemo96HD+
Pulzní výstup	Ano	Ne	Ne
Alarmové výstupy	Ne	Modul	Modul
Analogové výstupy	Ne	Modul	Modul
Pulzní výstupy	Ne	Modul	Modul
Třída přesnosti	1	0,5	0,5
Paměť elektroměru	Ne	Modul	Modul
Napěťový rozsah	80 – 500 V	80 – 500 V	80 – 690 V
Proudový rozsah	1 – 5 A	1 – 5 A	1 – 5 A
Programovatelný převod MTP	1 - 9999	1 - 9999	1 - 9999
Programovatelný napěťový MTN	1 - 10	1 - 10	1 - 1500

Tabulka 2.1 Porovnání funkcí navrhovaných multimetrů

Všechny tři typy zařízení uvedené v předchozím přehledu splňují požadavky kladené v prvním odstavci této podkapitoly a nacházejí se v přibližně stejné cenové relaci. Do role měřicího zařízení plnícího tyto podmínky byl zvolen multimetr typu Nemo96HD. Typ Nemo96HDL nebyl vybrán kvůli nižší třídě přesnosti a jeho horší rozšiřitelnosti přídavnými moduly. Zařízení Nemo96HD+ se od námi zvoleného Nemo96HD liší pouze schopností měřit vyšší napětí a proudy, což je pro bytový dům s nejvyšší vyskytující se napěťovou hladinou 400 V nevyužitelné. Nemo96HD zvládá kromě předem požadovaných funkcí i měření sledu fází, harmonického zkreslení, frekvence, průměrnou a maximální hodnotu proudu. Kromě výborné funkční vybavenosti je multimetr velmi pěkně designově zpracován, viz *obr. 2.3*. Zařízení lze pořídit ve dvou variantách dle napájení, buďto 11-60 V stejnosměrného napájecího napětí, nebo jako variantu s dvojím možným napájením 110-300 V stejnosměrných / 80-265 V střídavých. Vzhledem k výborné dostupnosti napájecích míst na potenciálu 230 V se jako vhodnější jeví druhá z uvedených možností. Kvůli omezenému rozsahu maximálního vstupního proudu na 5A bude Nemo96HD připojen přes měřicí transformátory proudu.

Obr. 2.3 Multimetr Nemo96HD

2.2.2 Volba zařízení pro čítání dílčích spotřeb elektrické energie

V popisu objektu podkapitoly 2.1.1 již bylo uvedeno, že se jedná o dům, jehož jednotlivé byty jsou pronajímány. Z tohoto důvodu je nutné celkovou částku poptávanou distributorem elektrické energie spravedlivě přerozdělovat mezi jednotlivé nájemníky na základě dílčích měření spotřeb elektrické energie. Jelikož byl tento objekt v provozu již před instalací systému pro dálkový sběr dat, měření dílčích spotřeb elektrické energie bylo realizováno za použití devíti digitálních elektroměrů.

Možnou variantou pro realizaci dálkového sběru dat o spotřebách dílčích uživatelů by bylo nahrazení stávajících podružných elektroměrů zařízeními pro měření spotřeby elektrické energie s možností komunikace po sériové lince, která jsou vyráběna přímo dodavatelem námi zvoleného systému. Následovala by nevyhnutelná demontáž a nevyužití plně funkčních elektroměrů a s tím spojená velká ekonomická ztráta, bereme-li v potaz, že cena jednoho elektroměru typu ContoD4-Pd využitelného pro naše účely se pohybuje kolem čtyř tisíc korun českých bez DPH.

Další možností realizace dálkového sběru dat o dílčích spotřebách energie je čítač impulzů ContoImp. Jedná se o zařízení výrobcem katalogově zařazené do kategorie rozhraní. Jeho hlavním úkolem je čítání impulzů přiváděných z impulzních výstupů plynoměrů, vodoměrů, měřičů tepla, nebo elektroměrů a jejich následnou interpretaci jako jednotek daného druhu energie na základě zadaného převodu. Informace nezbytné pro nastavení správného převodu impulzů na jednotky energií jsou vždy štítkovou hodnotou přístroje, jehož výstupní signál je používán. Čítač impulzů ComtoImp je schopný zpracovávat data až z dvanácti elektroměrů zároveň a je již vybaven výstupem pro sériovou komunikaci RS485. Pro montáž tohoto zařízení je potřeba vyhradit místo na DIN liště v rozsahu čtyř modulů. Výrobcem udávaná velikost napájecího napětí je 230 V střídavých.

	Možné varianty provedení	
	Výměna elektroměrů	**Čítač impulzů**
Náročnost na prostor v rozvaděči	36 DIN modulů	80,5 DIN modulů
Využití stávajících elektroměrů	Ne	Ano
Finanční náročnost	33102 Kč bez DPH	4086 Kč bez DPH

Tabulka 2.2 Porovnání variant možného provedení

Z *tabulky 2.2* je zřejmá vysoká finanční náročnost varianty založené na výměně stávajících podružných elektroměrů za nová výrobcem IME dodávaná zařízení pro měření

elektrické energie. Výhodnou by varianta uvedená v prvním sloupci předešlé tabulky byla v případě pořizování zcela nové elektroinstalace objektu. Elektroměry od dodavatele IME jsou nákladově srovnatelné s konvenčně používanými elektroměry a navíc jejich kompaktní provedení nevyžaduje tolik prostoru na DIN lištách.

Po zvážení obou variant uvedených v *tabulce 2.2* bylo z ekonomických důvodů jednoznačně přistoupeno k možnosti sběru dat ze stávajících podružných elektroměrů prostřednictvím čítače impulzů ContoImp dodávaným výrobcem IME.

Obr. 2.4 Čítač impulzů ContoImp

2.2.3 Volba elektroměrného zařízení pro garážové prostory

Z podkapitoly 2.1.1 popisující původní stav daného objektu je známo, že za dobu dosavadního provozu budovy nebylo potřeba separovaného měření odběrů elektrické energie garážových prostor. Ze strany provozovatele bytového domu nově vznikl požadavek na instalaci samostatného elektroměru, který bude tuto funkci plnit. Garáž je připojena třífázově, proto bude vybíráno z nabídky třífázových elektroměrů Conto. Díky již zmíněnému způsobu kalkulace vyúčtování postačí elektroměr s jedním tarifním programem.

Se záměrem bezproblémové komunikace mezi zařízeními instalovanými pro dálkový sběr dat bude elektroměr volen opět z katalogu italského výrobce IME. Vyloučením jednofázových a pro montáž do panelu uzpůsobených elektroměrů se nabídka vhodných kandidátů zúží na tři elektroměrná zařízení, konkrétně se jedná o modely uvedené v *tabulce 2.3*.

	Pořizovací náklady	Proudový rozsah	Resetovatelné dílčí měření
Conto D4Pt	Bez PTP 4820 Kč /s PTP 5570 Kč	5 A	Ano (jednotarif)
Conto D4Pd	5253 Kč	10 A / 63 A	Ano (jednotarif)
Conto D4PdMID	5253 Kč	10 A / 63 A	Ne

Tabulka 2.3 Porovnání navrhovaných přístrojů

Pouze modely v druhém a třetím řádku *tabulky 2.3* lze použít pro měření spotřeby elektrické energie bez použití MTP, jejich vstupní proudový rozsah je 63 A. Náklady na nákup potřebných MTP a zařízení ContoD4Pt by převýšili náklady na přímé řešení, tzn. použití elektroměru schopného měřit s větším proudovým rozsahem. Cena obou zařízení Conto D4Pd a ContoD4PdMID schopných měřit s požadovaným proudovým rozsahem je shodná a rozdíly jejich funkční výbavy jsou minimální. ContoD4PdMID, jak již plyne z názvu modelu, splňuje normy potřebné pro splnění MID direktivy. Elektroměr ContoD4Pd má oproti své MID variantě schopnost dodatečného uživatelem resetovatelného měření spotřeby elektrické energie, které probíhá současně s měřením celkové energie prošlé zařízením od jeho prvního uvedení do provozu. Zařízení nabízí tuto funkci jen za použití jednotarifu. Zadavatel projektu nevyžadoval instalaci zařízení splňující MID direktivu a funkci resetovatelného elektroměru shledal jako užitečnou, proto bylo na pozici elektroměrného zařízení pro garážové prostory zvoleno ContoD4Pd.

Obr. 2.5 Elektroměr ContoD4Pd

2.3 Návrh řešení pro objekt č. 2 – areál administrativní budovy a haly

Volba zařízení určených pro získávání dat vyjadřujících velikosti elektrických veličin v budovách objektu č. 2 bude učiněna s ohledem na výsledky tabulkových porovnání, která byla provedena při navrhování instalace objektu č. 1. Návrh druhé poloviny hardware části SCADA systému bude silnou analogií k návrhu pro první objekt. Oproti prvnímu objektu, kde nebyla volena žádná zařízení pro monitoring produkce FVE, zde existují požadavky na měření příspěvků každé z instalovaných fotovoltaických elektráren.

2.3.1 Volba elektroměrných zařízení a celkového analyzátoru

Pro získání podrobných dat o areálem odebírané elektrické energii bude instalován multimetr Nemo96HD spolu s přídavným komunikačním modulem IF96001. Areál haly není vybaven podružným elektroměrem, proto bude stejně jako v garážových prostorech prvního

objektu využito třífázového elektroměru ContoD4Pd. Spotřeba administrativní budovy je kalkulována mezi nájemníky na základě měření podružnými elektroměry s pulzním výstupem. Pro zavedení hodnot změřených těmito elektroměry do SCADA systému opět poslouží čítač impulzů ContoImp. Tato zařízení byla vybrána ze stejných důvodů, které byly uvedeny v návrhu systému pro dálkový sběr dat pro první objekt.

2.3.2 Volba zařízení pro měření fotovoltaických elektráren

- ***FVE haly***

V popisu objektu již bylo uvedeno, že FVE obou objektů budou kontinuálně měřeny a vývoj jejich výkonů bude sledován v čase. Výkon FVE haly bude měřen na střídavé straně. Data z tohoto měřicího zařízení budou sloužit především pro statistické účely, tzn. k vytvoření přehledu o množství vyrobené elektrické energie za určitá časová období. Kromě měření množství střídačem dodávané elektrické energie by mělo být zařízení schopno sledovat i frekvenci a napětí. Rozvodná skříňka obsahující jistící prvky FVE není zcela zaplněna, proto bude využito volné DIN lišty pro montáž měřicího zařízení pro dálkový sběr dat. Vzhledem k požadované funkcionalitě a montážnímu provedení lze z katalogu výrobce volit mezi třemi typy multimetrů Nemo, kterými jsou D4-b, D4-L, D4-L+. Porovnání funkcí důležitých pro vhodný výběr je uvedeno v *tabulce 2.4*.

	NemoD4-b	NemoD4-L	NemoD4-L+
Měření proudu, napětí, frekvence	Ano	Ano	Ano
Průměrné a maximální proudy	Ano	Ano	Ano
Harmonické zkreslení	Ne	Ne	Ano
Činný, jalový, zdánlivý výkon	Ano	Ano	Ano
Dílčí měření spotřeby	Ne	Ano	Ano
Sled fází	Ne	Ano	Ano
Impulzní výstup	Ne	Ne	Ano
RS485 komunikace	Ne	Ano	Ano

Tabulka 2.4 Porovnání multimetrů pro montáž na DIN lištu

Pro účely sledování energie prodávané do sítě fotovoltaickou elektrárnou haly bude instalováno zařízení NemoD4-L, které je oproti své nižší variantě NemoD4-b vybaveno datovou komunikací za využití standardu RS485. Typ NemoD4-L+ je cca o 600 Kč dražší variantou opatřenou navíc funkcí pro vyhodnocení harmonického zkreslení a impulzním výstupem. Po zvážení využitelnosti těchto funkcí pro budoucí provoz systému nebylo toto zařízení vybráno do role elektroměru FVE haly.

Obr. 2.6 Multimetr NemoD4-L

- ***FVE administrativní budovy***

Na střeše administrativní budovy se nachází FVE dělená na dva stringy polykrystalických panelů. Budoucím záměrem je testovat míru zvýšení účinnosti panelů po jejich ošetření hydrofobními nástřiky se samočisticím efektem založenými na nanotechnologii. Testování bude spočívat v porovnávání výkonu stringu ošetřených panelů vůči výkonu druhého stringu, který nebude nijak ošetřen. Tímto vzniká požadavek na oddělené měření výkonů, které lze vzhledem ke společnému střídači realizovat pouze na stejnosměrné straně. Nabídka měřicích přístrojů společnosti IME není v oblasti stejnosměrných zařízení tak pestrá jako v kategorii zařízení pro analýzu elektrické energie střídavého charakteru. Mezi požadovanou funkcionalitou přístrojů volených pro paralelní monitoring parametrů stringů patří měření okamžitého výkonu, proudu, napětí a sumy protečeného výkonu. Všem těmto požadavkům bude vyhověno instalací stejnosměrných multimetrů typu NemoD4-DC.

Obr. 2.7 Multimetr NemoD4-DC

Jedná se o jediného zástupce výrobků společnosti IME pro měření parametrů stejnosměrných sítí. Je dodáván v základní variantě s napěťovým rozsahem pro přímé měření do 300 V, nebo v sadě spolu s dvoumodulovým děličem napětí navyšujícím napěťový rozsah měření na 1500 V. Změřené svorkové napětí jednoho stringu za jarních slunečních podmínek je přibližně 750 V, na základě tohoto údaje byla vybrána varianta přístroje NemoD4-DC obsahující dělič napětí.

2.4 Komunikace mezi serverem a měřicími zařízeními

Až na výjimky jsou všechny osobní počítače dostupné na trhu s výpočetní technikou vybaveny síťovou kartou pro připojení do sítí za využití technologie Ethernet. Na tomto předpokladu staví i architektura komunikační sítě navrhovaná pro SCADA systém. Zařízení zvolená v předešlých podkapitolách nejsou v základním provedení vybavena pro připojení do sítě Ethernet. Čítač impulzů ContoImp a elektroměr ContoD4Pd jsou nabízeny ve variantách s integrovanou schopností komunikovat na základě standardu sériové komunikace RS485. Samostatný multimetr Nemo96HD nedisponuje komunikací RS485, ale existuje možnost jeho dovybavení přídavným modulem IF96001 *(obr. 2.8)*, který tento nedostatek odstraňuje.

Obr. 2.8 Modul IM96001

Po dovybavení multimetru Nemo96HD modulem IF96001 jsou zařízení zvolená pro instalaci do daného objektu schopna komunikovat sériovou komunikací za použití standardu RS485. Vzhledem k faktu, že v prvním objektu se všechna instalovaná zařízení nacházejí v suterénu budovy a je nutné jejich propojení s PC serverem umístěným v třetím podlaží, se přímo nabízí možnost propojení těchto dvou míst za využití přítomné LAN. Pro vytvoření přechodu mezi měřicími prvky využívajícími komunikaci na RS485 a serveru připojeného do LAN je nutný spojovací prvek schopný předávky dat mezi dvěma sítěmi rozdílného typu. Výrobce IME nabízí k tomuto účelu v kategorii rozhraní svého online katalogu dvoumodulové zařízení IF2E011 (o*br. 2.9*). Toto rozhraní zajišťuje převod dat při maximální přenosové rychlosti 100 Mb/s. Vyráběno je ve dvou variantách podle hladiny napájecího napětí nutného pro krytí vlastní spotřeby. Stejně jako při volbě předchozích zařízení požadujících externí napájení, tak i zde bude využito střídavé napětí 230 V. Na stejném principu bude postavena i síť druhého objektu, kde budou veškerá měřicí zařízení administrativní budovy zapojena do jedné sériové linky a měřicí zařízení haly do druhé

sériové linky. Obě budou zakončeny tímto typem převodníku a následně napojeny k nejbližšímu přístupovému bodu příslušné LAN.

Obr. 2.9 Rozhraní IF2E011

Jako PC serveru bude využito osobního počítače Lenovo IdeaCentre Q190, který se kromě svého kompaktního „Mini Tower“ provedení vyznačuje i nízkou maximální spotřebou napájecího zdroje 65 W. Jeho cena cca 5000 Kč bez DPH je velmi přijatelná vzhledem k faktu, že je dodáván spolu s operačním systémem, konkrétně Windows 8.1. Výkonově slabší procesor a grafická karta nejsou pro účely tohoto projektu překážkou. Pevný disk o velikosti 500 Gb bude zcela postačující.

Obr. 2.10 Lenovo IdeaCentre Q190

3 Realizace a konfigurace systému pro dálkový sběr dat

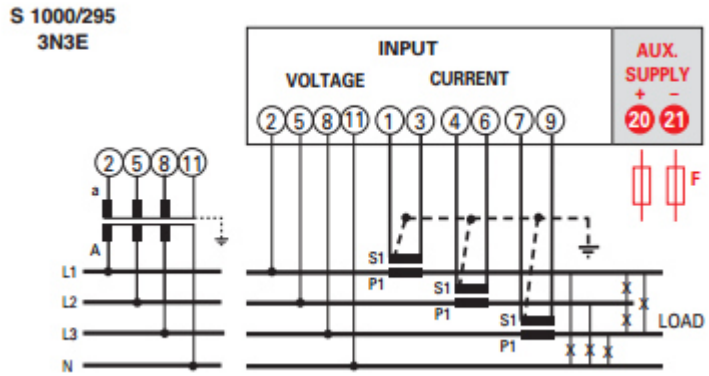
Při instalaci zařízení pro dálkový sběr dat bylo postupováno dle manuálů přiložených ke každému dodanému prvku. Tyto manuály obsahovaly schémata zapojení přístrojů, legendu k číselnému označení svorek a popis přístupu k základnímu nastavení přístrojů. Pro napájení bylo použito pevných vodičů CY 1,5 a splétaných CYA 1,5 jištěných vyhrazeným jističem příslušné hodnoty. Propojení linek sériové komunikace RS485 bylo realizováno kabelem J-Y(St)Y 2x2x0,8 s kroucenými páry vodičů. Jedná se o kabel stíněný pomocí laminované hliníkové fólie s příložným měděným drátem určeným pro sdělovací techniku s vyšší odolností vůči rušení elektromagnetickými vlivy. Veškerá propojení zařízení se sítí LAN založená na technologii Ethernet byla provedena datovým kabelem UTP cat.5e s kroucenými páry a těmito páry dále kroucenými do pláště [18]. Elektroměry byly připojeny vodiči CYA 2,5.

3.1 Realizace instalace objektu č. 1 – bytového domu

- ***Instalace a nastavení zařízení***

Fyzická instalace veškerého zařízení systému dálkového sběru dat nebyla v objektu č. 1 příliš náročná na připojovací práce. Jednalo se o práci v rámci dvou dobře přístupných rozvodných skříní umístěných vedle sebe, která nevyžadovala vodiče délek větších než pět metrů. Větší z rozvodných skříní obsahující podružné elektroměry byla již zcela zaplněna přístroji, proto byla zařízení pro dálkový sběr dat instalována na DIN lištu druhé, menší rozvodné skříně a vodiče pro připojení přístupových měřicích bodů velkého rozvaděče uloženy do PVC lišty. Instalace všech zařízení prvního objektu zabrala místo na DIN liště o velikosti 11 modulů. Výjimkou bylo uložení multimetru Nemo96HD, který byl pro svou konstrukci uzpůsobenou pro montáž do panelu zasazen do připraveného otvoru dveří velké rozvodné skříně.

Všem měřicím zařízením prvního objektu byly následně nastaveny nodové adresy, přenosová rychlost 9600 Bd a jednotná parita. Na analyzátoru sítě Nemo96HD bylo nastaveno zapojení 3N3E, jehož schéma lze vidět na *obr. 3.1*. Dále mu byl navolen proudový převod 16 určený na základě poměru proudů primární a sekundární strany MTP. Pro připojení linky RS485 byl do zadního slotu analyzátoru zasunut komunikační modul.



Obr. 3.1 Zapojení 3N3E proNemo96HD

Konfigurace čítače ContoImp vyžadovala mimo nastavení nodové adresy, přenosové rychlosti a parity také definování hodnot impulzů pro jejich následný převod na jednotky elektrické energie. Délky impulzů všech podružných elektroměrů objektu č. 1 jsou dle štítkových údajů 38 ms. Firmware zařízení ContoImp nabízí ve svém konfiguračním menu nejbližší možné délky impulzů 20 ms a 40 ms. Navolené délky intervalů musí být vždy stejně dlouhé nebo kratší, než délky impulzů poskytované zařízením, jehož data získáváme. Uživatelem zvolený časový interval je totiž minimální délkou přijatého impulzu nutnou pro jeho uznání, proto byla vybrána možnost 20 ms [14]. Dalším krokem bylo nadefinování významu přijatých impulzů, to vycházelo ze štítkových hodnot podružných elektroměrů uvádějících převod 500 imp/kWh. V praxi se jedná o připočtení dvou watthodin spotřebované energie za každý uznaný impulz. Firmware zařízení nabízí pouze desetinásobky čísla 0,001 s maximální hodnotou 1000. S ohledem na převod použitých elektroměrů bylo potřeba nastavit hodnotu váhy impulzu na 2, respektive na 0,002 při volbě kWh jako základní jednotky. Kvůli absenci vyhovující možnosti nastavení byla jako nejbližší možná hodnota váhy jednoho impulzu vybrána 0,001 s následnou softwarovou úpravou pro správné zobrazování hodnoty spotřebované elektrické energie ve SCADA softwaru.

Posledním měřicím zařízením instalovaným v prvním objektu byl elektroměr ContoD4Pd pro záznam spotřeb elektrické energie garáže. Pro jeho správný chod nejsou třeba žádná pokročilá nastavení, postačující je přidělení nodové adresy, parity a přenosové rychlosti.

Po dokončení montáže všech měřicích přístrojů a jejich připojení k měřicím bodům elektroinstalace byly paralelně pospojovány Rx+ / Tx- komunikační vstupy všech zařízení se zakončením v rozhraní IF2E011. Výrobce IME uvádí, že v případě delších sériových linek RS485 může nastat rozdíl mezi potenciály zemí (ground) a tím pádem výskyt chyb datové

komunikace, proto byly propojeny i zemnící svorky sjednocující potenciál všech přístrojů. Využity byly tedy tři ze čtyř žil datového kabelu J-Y(St-Y) 2x2x0,8.

- ***Náklady na realizaci***

V tabulce jsou uvedeny veškeré podstatné nákladové položky nezbytné pro realizaci systému dálkového sběru dat pro objekt č. 1. Zahrnut není PC server spolu s USB klíčem validujícím zakoupení licence, protože se jedná o náklad společný pro oba objekty, pro které byl systém realizován. Uvažována je základní sazba DPH 21 % aktuální pro rok 2015.

Položka	Počet	Cena/ks bez DPH	Cena/ks vč. DPH	Cena bez DPH	Cena vč. DPH
Multimetr Nemo96HD	1 ks	4 393,00 Kč	5 315,53 Kč	4 393,00 Kč	5 315,53 Kč
Elektroměr ContoD4Pd	1 ks	4 342,00 Kč	5 253,82 Kč	4 342,00 Kč	5 253,82 Kč
Čítač impulzůContoImp	1 ks	4 086,00 Kč	4 944,06 Kč	4 086,00 Kč	4 944,06 Kč
Rozhraní IF2E011	1 ks	5 363,00 Kč	6 489,23 Kč	5 363,00 Kč	6 489,23 Kč
Modul IM96001	1 ks	1 328,00 Kč	1 606,88 Kč	1 328,00 Kč	1 606,88 Kč
Jistič Moeller B2	1 ks	190,00 Kč	229,90 Kč	190,00 Kč	229,90 Kč
MTP Lovato 80/5	3 ks	258,26 Kč	312,49 Kč	774,78 Kč	937,48 Kč
Vodič CYA 1,5	28 m	3,45 Kč	4,17 Kč	96,60 Kč	116,89 Kč
Vodič J-Y(St)Y 2x2x0,8	7 m	7,28 Kč	8,81 Kč	50,96 Kč	61,66 Kč
Kabel UTP cat.5e	3 m	6,61 Kč	8,00 Kč	19,83 Kč	23,99 Kč
			Celkem	**20 644,17 Kč**	**24 979,45 Kč**

Tabulka 3.1 Náklady na realizaci systému dálkového sběru dat objektu č. 1

3.2 Realizace instalace objektu č. 2 – areálu administrativní budovy a haly

- ***Instalace a nastavení zařízení***

Zavádění systému dálkového sběru dat do druhého objektu byly náročnější na délky kabelových vedení a oproti prvnímu objektu nebyly využity jen stávající rozvodné skříně, ale byly doplněny dva další přístrojové boxy. Většinu přístrojů instalovaných v administrativní budově obsáhla místnost s hlavní rozvodnou skříní v přízemí. V rozvodné skříni byl instalován čítač impulzů ContoImp, rozhraní IF2E011 a jistič. Analyzátor sítě Nemo96HD spolu s komunikačním modulem byl zasazen do otvoru čelního krytu malého rozvodného boxu dodatečně instalovaného nad hlavní rozvodnou skříň. Kvůli malé hloubce hlavní rozvodné skříně nemohl být Nemo96HD instalován do jejích dveří, protože by zasahoval do prostoru ostatních zařízení instalovaných na DIN liště. Nastavení Nemo96HD a ContoImp proběhlo stejným způsobem, jako tomu bylo při instalaci těchto zařízení v objektu č. 1. Datový UTP kabel pro propojení rozhraní IF2E011 s místní LAN sítí byl veden z hlavní

rozvodné skříně v přízemí kabelovým kanálem do druhého podlaží, kde pokračoval ve skrytu desek minerálního stropu až do místnosti se switchem lokální sítě.

V prostorách střechy administrativní budovy byl instalován další přístrojový box pro dva stejnosměrné multimetry NemoD4-DC. Tento box byl osazen kromě měřicích přístrojů pro monitoring FVE administrativní budovy i jističem jejich napájení, děliči napětí, jističem zásuvky a dvěma pojistkovými odpojovači. Komunikační linka RS485 byla na střeše vedena kabelem v ochranných trubkách přichycených k podloží stahovacími páskami až k ústí kabelového kanálu, jehož prostřednictvím byla napojena na část komunikační linky zavedené při instalaci zařízení hlavní rozvodné skříně. Stejným způsobem bylo na střechu administrativní budovy zavedeno i napájení multimetrů a střešní zásuvky.

Hala spadající do areálu objektu č. 2 byla vybavena vlastním switchem připojeným na LAN administrativní budovy, proto byl komunikační kanál pro sběr dat měřicích přístrojů haly také převeden z RS485 na Ethernet. Tímto se předešlo instalaci dalšího kabelu pro sériovou komunikaci propojujícího halu a administrativní budovu. Elektroměr ContoD4Pd pro měření spotřeby haly a rozhraní IF2E011 byly společně s napájecím jističem umístěny do rozvodné skříně haly. Multimetr NemoD4-L pro monitoring FVE haly vyžadoval vzhledem k množství připojovaných vodičů instalaci v bezprostřední blízkosti střídače, který se nacházel na diagonálně druhé straně místnosti než rozvaděč haly. Využito bylo stávajícího rozvodného boxu s odpojovači FVE. Komunikační spoj RS485 mezi NemoD4-L zařízeními v rozvodné skříni haly byl opět proveden vodičem J-Y(St)Y 2x2x0,8, který byl tažen lištami. Fotografie dokumentující provedení elektroinstalačních prací obou objektů jsou připojeny formou příloh na konci diplomové práce.

- ***Náklady na realizaci***

Tabulka opět vyjadřuje náklady vynaložené na nákup zařízení a montážní materiál potřebný pro realizaci systému dálkového sběru dat v daném objektu za použití sazby DPH 21 %.

Položka	Počet	Cena/ks bez DPH	Cena/ks vč. DPH	Cena bez DPH	Cena vč. DPH
Multimetr Nemo96HD	1 ks	4 393,00 Kč	5 315,53 Kč	4 393,00 Kč	5 315,53 Kč
Elektroměr ContoD4Pd	1 ks	4 342,00 Kč	5 253,82 Kč	4 342,00 Kč	5 253,82 Kč
Čítač impulzůContoImp	1 ks	4 086,00 Kč	4 944,06 Kč	4 086,00 Kč	4 944,06 Kč
NemoD4-L	1 ks	3 576,00 Kč	4 326,96 Kč	3 576,00 Kč	4 326,96 Kč
NemoD4-DC	2 ks	6 078,00 Kč	7 354,38 Kč	12 156,00 Kč	14 708,76 Kč
Rozhraní IF2E011	2 ks	5 363,00 Kč	6 489,23 Kč	10 726,00 Kč	12 978,46 Kč
Modul IM96001	1 ks	1 328,00 Kč	1 606,88 Kč	1 328,00 Kč	1 606,88 Kč
Rozvaděčový box malý	1 ks	378,51 Kč	458,00 Kč	378,51 Kč	458,00 Kč
Rozvaděčový box velký	1 ks	927,00 Kč	1 121,67 Kč	927,00 Kč	1 121,67 Kč
Jistič Moeller B2	2 ks	190,00 Kč	229,90 Kč	380,00 Kč	459,80 Kč
MTP Lovato 80/5	6 ks	258,26 Kč	312,49 Kč	1 549,56 Kč	1 874,97 Kč
Vodič CYA 1,5	18 m	3,45 Kč	4,17 Kč	62,10 Kč	75,14 Kč
Vodič J-Y(St)Y 2x2x0,8	35 m	7,28 Kč	8,81 Kč	254,80 Kč	308,31 Kč
Kabel UTP cat.5e	27 m	6,61 Kč	8,00 Kč	178,47 Kč	215,95 Kč
			Celkem	**44 337,44 Kč**	**53 648,30 Kč**

Tabulka 3.2 Náklady na realizaci systému dálkového sběru dat objektu č. 2

3.3 Struktura komunikační sítě systému dálkového sběru dat

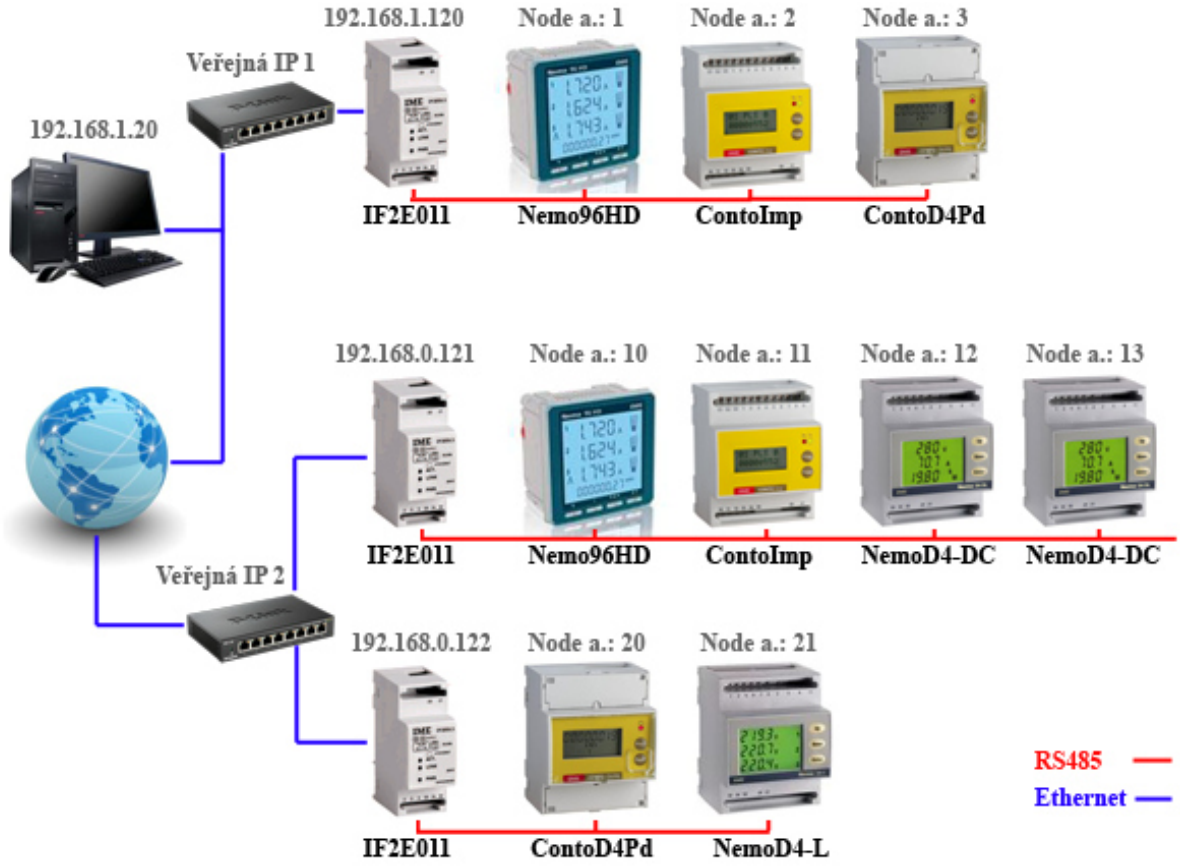
Prvním krokem návrhu a realizace struktury komunikační sítě byla tvorba systému identifikačních názvů jednotlivých zařízení. Softwarově je pro identifikační název (dále jen ID) povoleno použít pěti libovolných znaků. Struktura znaku ID byla pro tento projekt zvolena ve formátu „ččPPčč", kde první „čč" reprezentuje číslo sekce, „PP" je velké počáteční písmeno jména budovy a druhé „čč" značí pořadí tohoto zařízení v dané sekci. Za předpokladu znalosti tohoto klíčování lze již z ID získat základní informace o zařízení. Každá z budov, jež byla osazena zařízeními pro dálkový sběr dat, má přidělené liché číslo sekce pro vnitřní elektroměrná zařízení a po něm jdoucí sudé číslo sekce pro zařízení měřící elektrické parametry příslušné FVE. Použité identifikátory měřicích zařízení připojených do SCADA systému jsou uvedeny v *tabulce 3.3*. Sekci dvě zatím nenáleží žádná zařízení, ale zůstává vyhrazena budově Zátiší, protože vzhledem k existenci FVE náležící tomuto objektu není vyloučena dodatečná instalace měřicích zařízení. Zavedený systém přidělování ID je tedy ošetřen proti potížím s přejmenováním identifikátorů v případě dodatečných instalací.

Zařízení Nemo96HD je analyzátorem přípojky společné pro obě budovy objektu č. 2, z toho důvodu je jeho ID kombinované.

Sekce	ID	Objekt	Budova	Zařízení	Node a.
1	1Z1	Objekt č. 1	Zátiší	Nemo96HD	1
1	1Z2	Objekt č. 1	Zátiší	ContoImp	2
1	1Z3	Objekt č. 1	Zátiší	ContoD4Pd	3
3	3AH1	Objekt č. 2	Administrativní/Hala	Nemo96HD	10
3	3A2	Objekt č. 2	Administrativní	ContoImp	11
4	4A1	Objekt č. 2	Administrativní (FVE)	NemoD4DC	12
4	4A2	Objekt č. 2	Administrativní (FVE)	NemoD4DC	13
5	5H2	Objekt č. 2	Hala	ContoD4Pd	20
6	6H1	Objekt č. 2	Hala (FVE)	NemoD4-L	21

Tabulka 3.3 Přehled ID přiřazených měřícím zařízením

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, pro každou z budov bylo použito samostatného rozhraní IF2E011 připojeného do LAN daného objektu. Celkem se tedy jedná o tři převodníky z RS485 na Ethernet, přičemž ke dvěma z nich je přistupováno skrze internet. Lepší představu o architektuře sítě lze získat pohledem na *obr. 3.2*. První řada přístrojů tohoto obrázku přísluší prvnímu objektu, tedy bytovému domu. Druhá řada náleží administrativní budově a třetí hale.



Obr. 3.2 Schéma komunikační sítě

Serverový PC zajišťující neustálý chod SCADA softwaru MIDAs EVO byl připojen do místní sítě prvního objektu. Pro komunikaci měřicích zařízení objektu se serverovým PC byl vytvořen komunikační kanál číslo jedna. DHCP server místní sítě byl nakonfigurován na přidělování IP adres ostatním účastníkům sítě ve zvoleném rozmezí. IP adresy PC serveru a rozhraní IF2E0011 byly pevně navoleny mimo toto rozmezí. Tím bylo zabráněno případné kolizi některého ze zařízení SCADA systému s jinými zařízeními. Internetové připojení bytového domu disponuje statickou IP adresou, čímž je umožněn překlad lokálních adres na veřejné a vytvoření webového serveru pro přístup k datům místního SCADA systému z internetového prohlížeče ostatních počítačů připojených k internetu. Rozdělení IP adres v lokální síti prvního objektu je uvedeno v *tabulce 3.4*.

IP adresa	Zařízení
192.168.1.1	router
192.168.1.20	PC server
192.168.1.21 až 192.168.1.99	ostatní zařízení (přiděluje DHCP)
192.168.1.100	wattrouter
192.168.1.120	rozhraní IF2E011

Tabulka 3.4 Přidělení IP adres v LAN objektu č. 1

Objekt č. 2 vybavený dvěma rozhraními IF2E011 vyžadoval vytvoření dvou komunikačních kanálů, konkrétně kanál 2 pro administrativní budovu a kanál 3 pro halu. K jejich konfiguraci nestačilo již jako v prvním objektu pouhé zadání lokálních IP adres rozhraní, protože přístup k datům měřicích přístrojů druhého objektu je mimo rámec lokální sítě, v níž se nachází serverový PC. Objektu č. 2 byla poskytovatelem internetového spojení přidělena statická veřejná IP adresa, které bylo využito pro účely přístupu k datům měřicích přístrojů z internetu. Vzhledem k tomu, že rozhraní byla nastavena pro komunikaci na portu 502 a přístup k jejich konfiguraci byl umožněn prostřednictvím protokolu HTTP využívajícího port 80, byl nastaven překlad adres uvedený v *tabulce 3.5*.

Zařízení	IP v LAN objektu č. 2	IP v internetu
Rozhraní IF2E011 admin. budovy	192.168.0.121:502	veřejná IP2:502
	192.168.0.121:80	veřejná IP2:3000
Rozhraní IF2E011 haly	192.168.0.122:502	veřejná IP2:520
	192.168.0.122:80	veřejná IP2:3020

Tabulka 3.5 Překlad IP adres prováděný routerem objektu č. 2

4 Úprava SCADA systému

Na začátku tvorby softwarové části SCADA systému stojí založení složky s obsahem všech souborů, které daný projekt definují a slouží jako podklad softwaru MIDAs EVO pro vytvoření grafického rozhraní zprostředkovávajícího interpretaci měřených dat koncovému uživateli. Prvním krokem bylo zadání sady zařízení instalovaných pro dálkový sběr dat do MIDAs EVO Configuratoru, ve kterém bylo každému z nich přiděleno jeho ID dle klíčování uvedeného v předchozí kapitole, byla mu přiřazena sekce, číslo komunikačního kanálu a nodová adresa (uzlová adresa) lokalizující zařízení pro účely sériové komunikace. Potvrzením zadané sady byly vytvořeny projektové soubory definující základní rozhraní používané SCADA softwarem MIDAs EVO pro vizualizaci dat. Pomocí MIDAs EVO Configuratoru proběhlo ještě nastavení komunikačních kanálů, a tím vznikla zcela funkční SCADA aplikace. Po získání vzdáleného přístupu k hodnotám změřených veličin začala samotná personalizace systému, jejíž součástí jsou změny grafického rozložení (dále jen layout), nastavení upozornění na překročení stanovených hodnot, zprovoznění web serveru a další.

4.1 Grafická personalizace

Vývojáři softwarového vybavení SCADA systému od společnosti IME umožnili uživatelům navrhnout si vlastní specifické grafické rozhraní prostřednictvím integrovaného nástroje Template Builder, jehož bylo využito při personalizaci přístupu k datům tohoto projektu. Úvodní layout (viz *obr 1.3* úvodní kapitoly) třídil všechna měřicí zařízení připojená do systému v řádkových úrovních dle sekcí. Vizí zadavatele projektu byl úvodní layout s grafickými zástupci budov, po jejichž otevření budou vyobrazeny pouze okna přístrojů náležících dané budově. Fotografie objektů použité jako zástupci působily po vzhledové stránce velmi rušivě, proto proběhl návrh a realizace ikon budov ve formátu bitmap za použití externího softwarového vybavení. Každá z budov disponuje svojí vlastní fotovoltaickou elektrárnou a pro některé z nich byla instalována měřicí zařízení. Z tohoto důvodu byl každý grafický zástupce dále rozdělen na dvě části, z nichž jedna obsáhla prvky pro měření FVE daného objektu, druhá zařízení pro monitoring zbylé elektroinstalace. Jako pozadí byla vybrána plná šedá barva RGB: 192,192,192, která byla nastavována také jako okolí vkládaných grafických objektů. Výsledné grafické provedení je na *obr. 4.1*.

Obr. 4.1 Upravený úvodní layout MIDAs EVO

Na předchozím obrázku lze mimo jiné vidět i textové rámečky s názvy budov, jejichž obsah je získáván z příslušných bran typu string definujících názvy sekcí. Dále byla každé budově přiřazena kontrolka indikující funkčnost daného komunikačního kanálu pro získání prvotního přehledu nad konektivitou zařízení. Prvotní přehled získá uživatel i o aktuálním výkonu měřených FVE díky lištám, které se plní procentuálně na základě poměru aktuálního a maximálního možného výkonu dané elektrárny. Pro účely porovnání výkonů dvou stringů fotovoltaických panelů instalovaných na střeše administrativní budovy bylo přidáno tlačítko FVE, po jehož použití se otevře nové okno se společným grafem pro oba stringy vykreslujícím křivky výkonů v čase. Prostřednictvím nového okna lze dále přepnout na graf znázorňující pokrytí vyráběné energie spotřebou (viz příloha A). Spodní lišta zůstala beze změn a umožňuje tak stejně jako před úpravou přístup k přehledům o spotřebách energií, k zobrazení přehledu předešlých a aktuálních chybových hlášení, sekci grafů a tabulek měřených dat, nastavení aplikace a k přihlašování pod uživatelskými účty. Layouty nižších vrstev (jednotlivých sekcí) byly dobře organizovány, proto zůstalo rozložení grafických prvků nezměněné, nahrazena byla pouze původní loga a barva pozadí.

4.2 Ostatní nastavení

Pro využití všech funkcí poskytovaných systémem byla provedena další nastavení přístupná přímo z nabídek softwaru MIDAs EVO. Byl vytvořen jeden uživatelský účet s oprávněním provádět veškerá nastavení programu. Každá z doposud pouze číslovaných sekcí dostala své jméno dle budovy, pro niž byla vytvořena. Sekce pro zařízení měřící fotovoltaické elektrárny získaly jméno dle názvu budovy s příponou „- FVE“. Pojmenovány byly i jednotlivé měřicí přístroje, jejichž název byl odvozen od předmětu jejich měření. Následovalo nastavení ukládání dat pro všechna připojená zařízení. Systém denně vytváří soubory ve formátu CSV, jejichž obsahem jsou veškerá data daného zařízení získaná s minutovou vzorkovací frekvencí. Tyto soubory jsou třízeny do složek pojmenovaných dle ID zařízení a lze je otevřít v tabulkových editorech.

- ***Emailová upozornění***

Další etapou byla konfigurace emailové funkce MIDAs EVO. Varovné emailové zprávy jsou zasílány na adresu správce systému za použití SMTP serveru poskytovaného společností IME pro tyto účely. Případná přerušení dodávky elektrické energie nebo výkyvy měřených frekvencí některého z objektů budou neprodleně ohlašovány správci systému prostřednictvím emailového varování. Tyto zprávy budou odesílány nejen v případě výskytu chybného stavu, ale i při jeho skončení.

- ***Úprava převodu ContoImp***

V předešlé kapitole popisující realizaci fyzické části SCADA systému byl zmíněn problém s nastavením správného převodu impulzů na jednotky elektrické energie. Kvůli omezenému výběru z hodnot vyjadřujících váhu jednoho impulzu přijatého od měřicího prvku s impulzním výstupem byl nastaven převod 1imp/1Wh, který neodpovídá štítkové hodnotě 500 imp/kWh odečítaných elektroměrů. V případě zjišťování stavů podružných elektroměrů v místě instalace je pohodlnější údaje odečítat přímo z jejich displejů, než z čítače impulzů ContoImp, jehož displej je menší. Horší situace nastává při odečtu dat o spotřebách energií z MIDAs EVO, při kterém je zobrazována poloviční než reálná hodnota. Tento problém byl vyřešen softwarovým nastavením převodu pro každý ze vstupů čítače zvlášť. Stejným způsobem byla tato překážka odstraněna i v administrativní budově, která je vybavena podružnými elektroměry s impulzním výstupem o převodu 800imp/kWh.

- ***Vytvoření sady projektových souborů***

Veškerá konfigurace a grafické úpravy měly být prováděny s ohledem na možná dodatečná připojení dalších měřicích přístrojů. Po přidání zařízení pomocí MIDAs EVO Configuratoru je třeba celý projekt aktualizovat, což vede ke změnám některých nastavení a hlavně k návratu k původním layoutům. Tímto způsobem může přijít velká část personalizačních prací v niveč. Z tohoto důvodu byla vytvořena sada projektových souborů pro přepsání základních souborů vytvořených aktualizací projektu po dodatečném přidání zařízení. Jedná se primárně o dodatečně vytvořené layouty, dále pak upravené obrázky ve formátu bitmap a soubory formátu CFG nesoucí uživatelem nadefinovaná nastavení. Při každé další aktualizaci seznamu zařízení již není nutné provádět veškeré práce znovu, ale přepsáním základních souborů modifikovanou sadou se lze snadno navrátit do upraveného projektu.

- ***Zprovoznění webového serveru***

Ke SCADA systému bude primárně přistupováno pomocí softwaru podporujícího „vzdálenou plochu“, přesto však byl pro demonstrování možností systému vytvořen základní webový sever umožňující přístup ke změřeným datům prostřednictvím internetového prohlížeče. Pro chod webového serveru bylo využito portů 8080 a 17000 lokální Ethernet sítě. Pomocí routeru bytového domu, kde se nachází PC server, byl proveden překlad lokální adresy na veřejnou za použití stejných portů. Po zadání veřejné adresy PC serveru spolu s příslušným portem dojde k otevření webové stránky, kde lze procházet zaznamenaná data v tabulkové podobě, nebo má uživatel možnost stáhnout java soubor s miniaplikací o velikosti jen několika kilobajtů. Java aplikace spouští základní grafické rozhraní MIDAs EVO s omezenými možnostmi. Data lze pouze číst, vytváření grafů a výkazů o spotřebách energie není podporováno.

5 Analýza spotřeb elektrické energie

Oba objekty disponují fotovoltaickými elektrárnami rozdílných velikostí za využití různých typů státní podpory, proto bude vyhodnoceno především využití elektrické energie lokální výroby. Vyhodnocení spotřeb elektrické energie jednotlivých objektů je provedeno ke dni, kdy byl systém pro dálkový sběr dat v plnohodnotném provozu po dobu necelého jednoho měsíce. Z tohoto důvodu nelze roční trend výroby a spotřeby zakládat na datech získaných nově instalovaným systémem pro jejich dálkový sběr, ale bude vycházet z dat od společnosti OTE a.s., jejíž povinností je mimo jiné administrace systému pro vyplácení podpory vybraných zdrojů energie [19]. Data v následujících podkapitolách budou vyjádřena tabulkovou formou a pro zobrazení jejich trendu a názorné porovnání výrob a spotřeb bude využito sloupcových grafů.

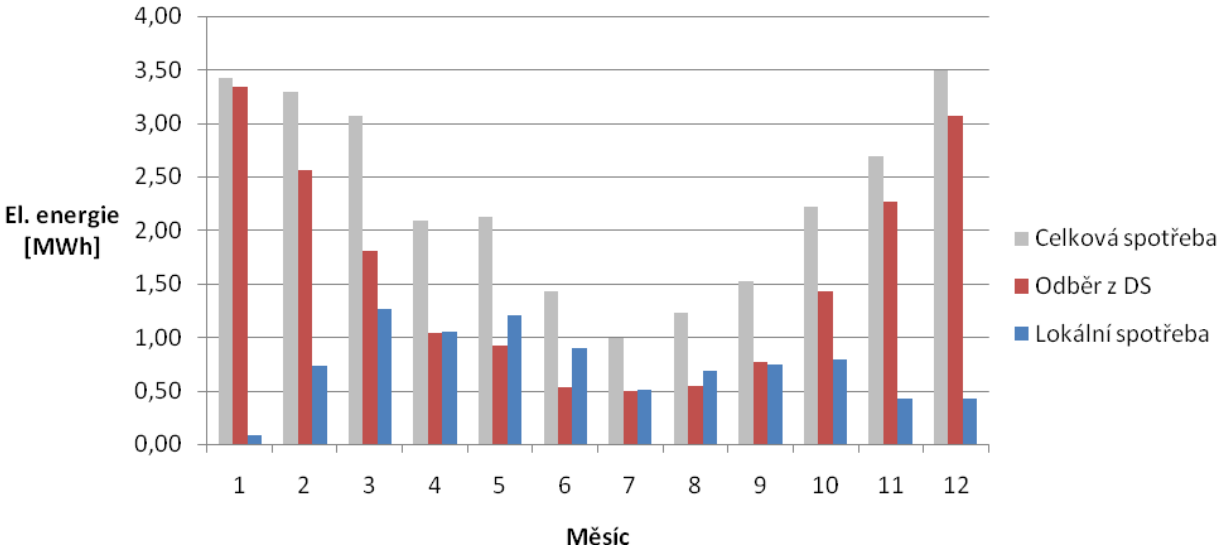
5.1 Vyhodnocení výroby a spotřeby el. energie objektu č. 1

Bytový dům je osazen fotovoltaickou elektrárnou dělenou na dvě části, z nichž první o velikosti instalovaného výkonu 5 kWp byla uvedena do provozu roku 2012, druhá o velikosti instalovaného výkonu 13,2 kWp v roce 2013. Obě FVE jsou podporovány programem „zelený bonus“, který má za cíl maximalizaci lokálního využití elektřiny vyrobené místními alternativními zdroji. Veškerá energie z obou FVE v objektu spotřebovaná je majiteli proplacena dle aktuálního cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu [20]. ERÚ kategorizuje částky zeleného bonusu a ceny prodeje přebytečné energie dle data uvedení místní elektrárny do provozu, proto je každá část FVE objektu č. 1 měřena a účtována zvlášť. Data o spotřebě a výrobě el. energie bytového domu za rok 2014 jsou uvedena v *tabulce 5.1*.

		Měsíc											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Výroba FVE1	[MWh]	0,14	0,30	0,57	0,62	0,69	0,76	0,66	0,60	0,42	0,30	0,14	0,13
Výroba FVE2	[MWh]	0,00	0,64	1,34	1,41	1,60	1,80	1,60	1,35	0,98	0,70	0,32	0,32
Celková výroba	[MWh]	0,14	0,94	1,91	2,03	2,29	2,56	2,26	1,95	1,40	1,00	0,46	0,45
Dodávka do DS	[MWh]	0,05	0,21	0,65	0,98	1,08	1,67	1,76	1,26	0,65	0,21	0,04	0,02
Lokální spotřeba	[MWh]	0,09	0,73	1,26	1,05	1,21	0,89	0,51	0,69	0,75	0,79	0,42	0,43
Odběr z DS	[MWh]	3,34	2,56	1,81	1,04	0,92	0,53	0,49	0,54	0,77	1,43	2,27	3,07
Celková spotřeba	[MWh]	3,43	3,29	3,07	2,09	2,13	1,42	1,00	1,23	1,52	2,22	2,69	3,50
Využití energie FVE	[%]	62	78	66	52	53	35	22	35	54	79	91	95

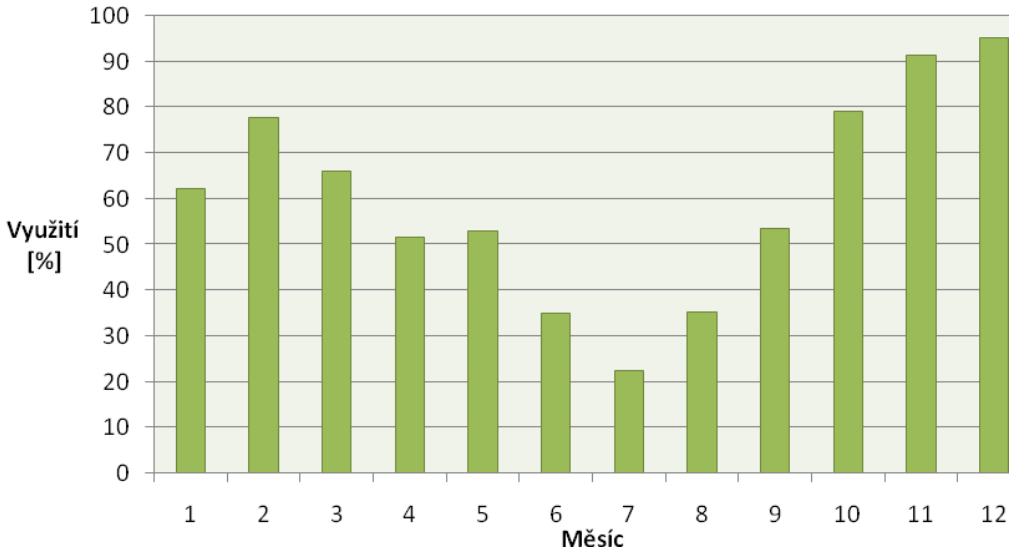
Tabulka 5.1 Výroba a spotřeba el. energie objektu č. 1 za rok 2014

Hodnoty obou měřených míst byly sečteny a na jejich základě byl vytvořen graf na *obr. 5.1*, který lépe znázorňuje energetické poměry bytového domu.



Obr. 5.1 Energetické poměry objektu č. 1 za rok 2014

Celková spotřeba el. energie za období jednoho roku byla dle očekávání klesající až do pololetí, kdy nastal bod zvratu a množství spotřebované energie začalo opět stoupat. Jedná se o klasický trend bytového domu, který je ovlivněn primárně měnícími se nároky na osvětlení a vytápění v průběhu roku. V období od dubna do září pokrývá energie vyrobená místní FVE přibližně polovinu celkové spotřeby.

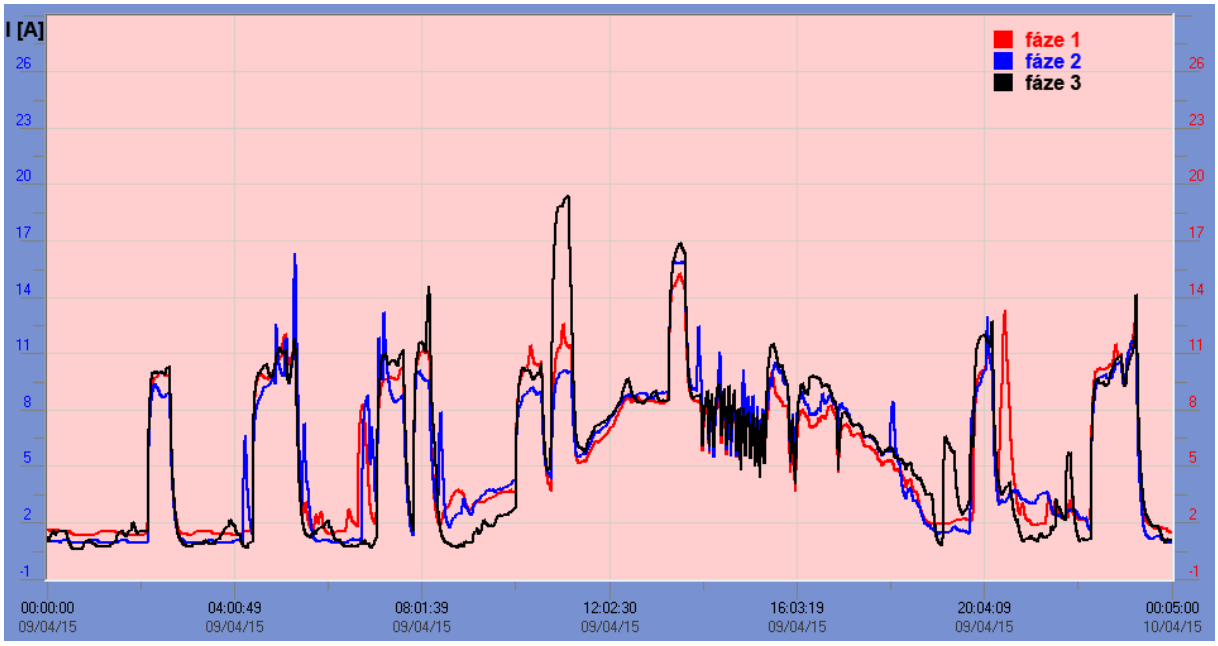


Obr. 5.2 Využití energie FVE objektu č. 1 za rok 2014

Obr. 5.2 vypovídá o míře využití elektrické energie vyrobené místním zdrojem. Ve slunnějších obdobích je zaznamenána vyšší produkce, avšak vzhledem k nižším

energetickým nárokům nelze všechnu využít. Naopak období od října do února je produkčně slabé a energeticky náročné, proto se procentuální využitelnost pohybuje nad hranicí 75 %. Těchto poměrně dobrých výsledků využití energie z vlastní FVE je dosahována hlavně díky instalovanému systému pro řízení toku výkonů. Pokud není lokálně vyrobená el. energie spotřebována běžnými spotřebiči, potom je pomocí wattrouteru využívajícího SSR přesměrována do topné patrony pro ohřev užitkové vody. Po ohřátí TUV v nádrži o objemu 300 litrů dojde k přepnutí ohřevu do zásobníku otopné vody a předehřevu TUV o celkovém objemu 1000 littrů. Systém přepínání mezi topnými patronami je řízen termoregulátorem spolu s PLC.

Na základě dat získaných nově instalovaným systémem pro jejich dálkový sběr byl ze SCADA systému MIDAs EVO exportován následující graf znázorňující proudovou vytíženost jednotlivých fází daného objektu.



Obr. 5.3 Proudové zatížení fází objektu č. 1

Jedná se o odběry proudů jednotlivých fází v rozmezí 24 hodin v náhodně zvolený pracovní den. Velmi podobné průběhy jednotlivých fází potvrzují, že v elektroinstalaci objektu nenastává problém jejich nesouměrného využití. V případě nákupu el. energie ze sítě je objekt víceméně symetrickou zátěží DS.

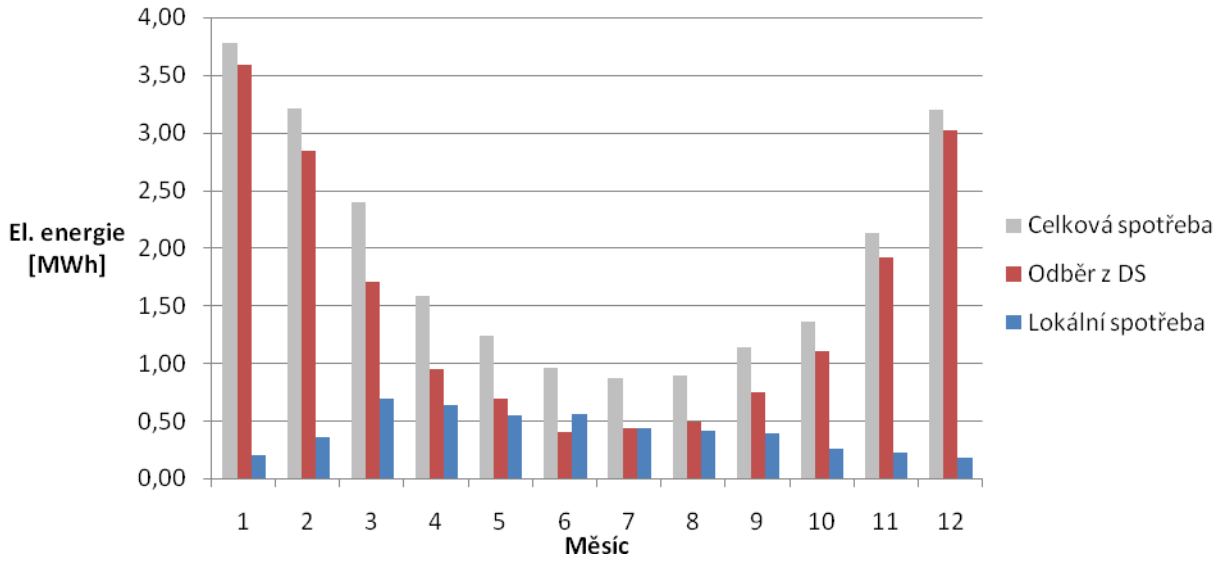
5.2 Vyhodnocení výroby a spotřeby el. energie objektu č. 2

Administrativní budova je vybavena FVE o instalovaném výkonu 9,2 kWp pracující v rámci režimu „zelený bonus“. Hala spadající pod objekt č. 2 je osazena FVE o instalovaném výkonu 27 kWp, jejíž produkce jde do přímého prodeje místnímu distributorovi el. energie. Spotřeby obou budov jsou měřeny pro fakturační účely společným elektroměrem. Data o výrobě fotovoltaické elektrárny administrativní budovy a společné spotřebě celého areálu za rok 2014 jsou uvedena v následující tabulce.

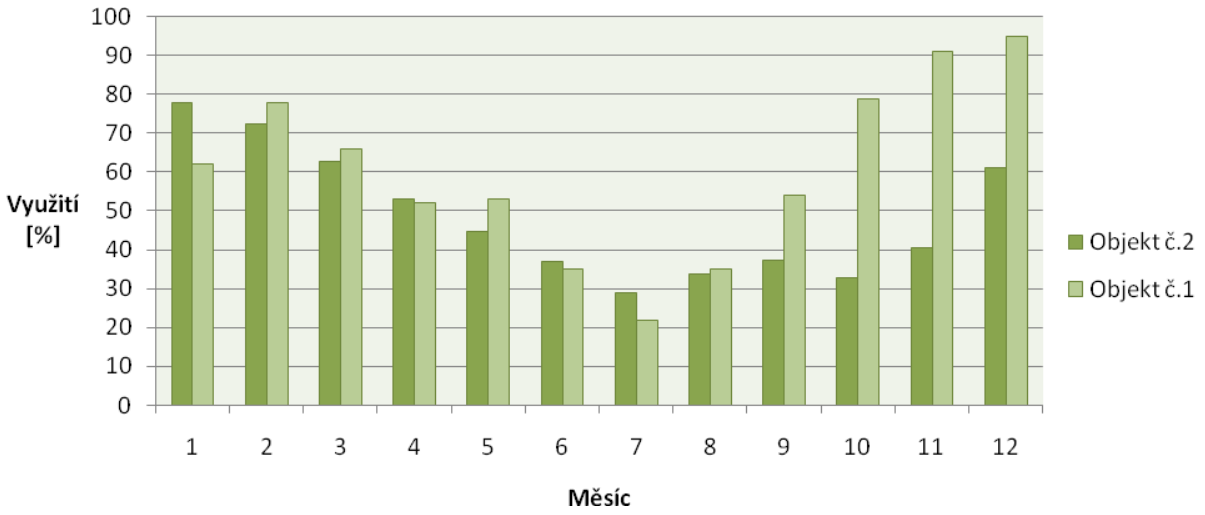
		Měsíc											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Výroba FVE	[MWh]	0,25	0,50	1,10	1,20	1,22	1,50	1,50	1,21	1,05	0,78	0,54	0,30
Dodávka do DS	[MWh]	0,06	0,14	0,41	0,56	0,67	0,94	0,78	0,64	0,39	0,28	0,08	0,02
Lokální spotřeba	[MWh]	0,20	0,36	0,69	0,64	0,55	0,56	0,43	0,41	0,39	0,26	0,22	0,18
Odběr z DS	[MWh]	3,58	2,84	1,71	0,95	0,69	0,40	0,43	0,49	0,74	1,10	1,92	3,02
Celková spotřeba	[MWh]	3,78	3,20	2,40	1,59	1,24	0,96	0,87	0,90	1,14	1,36	2,13	3,20
Využití FVE	[%]	78	72	63	53	45	37	29	34	37	33	40	61

Tabulka 5.2 Výroba a spotřeba el. energie objektu č. 2 za rok 2014

Stejně jako při analýze toků elektrické energie prvního objektu i zde byl zkonstruován graf (*obr. 5.4*) lépe vypovídající o energetických poměrech v průběhu roku 2014. Trendy spotřeb jsou téměř stejného tvaru, jako tomu bylo u prvního z objektů. V období od května do srpna tvořila el. energie získaná z FVE přibližně polovinu celkové spotřeby.

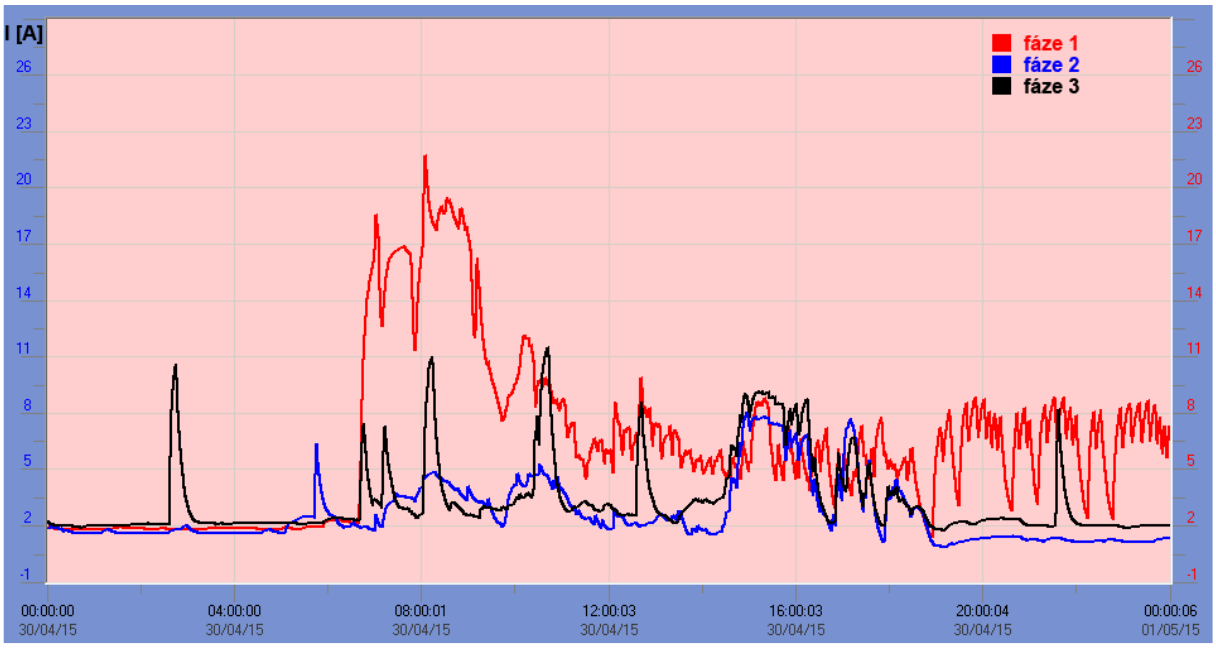


Obr. 5.4 Energetické poměry v objektu č. 2 za rok 2014



Obr. 5.5 Porovnání využití energie FVE obou objektů za rok 2014

Na *obr. 5.5* porovnávajícím využití lokálně vyrobené el. energie obou objektů je patrný rozdíl v období od září do konce roku, kdy objekt č. 1 mnohem lépe hospodaří s produkcí své FVE. Na tento příznivější vývoj využití energie FVE bytového domu má vliv především systém wattrouteru pro řízení toků výkonu a následná regulace ohřevu užitkové a otopné vody.



Obr. 5.6 Proudové zatížení fází objektu č. 2

Pomocí instalovaného systému pro dálkový sběr dat byl i pro druhý objekt exportován graf znázorňující proudové zatížení jednotlivých fází v průběhu náhodně zvoleného pracovního dne, viz *obr. 5.6*. Z nadměrného vychylování hodnot fáze 1 plyne doporučení

připojovat případnou další zátěž na druhé dvě fáze. Celkově se již nejedná o zátěž s takovou mírou symetrie, se kterou pracoval první objekt. Nejvýznamnějším spotřebičem el. energie bytového domu je třífázové tepelné čerpadlo. V objektu č. 2 je tepelné čerpadlo také velmi významným spotřebičem, jedná se o dva kompresory připojené jednofázově, což může symetrii výrazně ovlivnit. Na základě uvedeného průběhu lze začátek silného vytížení fáze 1 přiřadit přibližně sedmé hodině ranní, která by odpovídala zahájení denního provozu kanceláří a ordinací a s ním spojený nárazový požadavek na činnost tepelného čerpadla.

5.3 Návrhy opatření pro ekonomičtější provoz objektů

Za rok 2014 spotřeboval objekt č. 1, bytový dům, 50 % el. energie vyprodukované vlastní FVE. Objekt č. 2, areál administrativní budovy a haly, využil 44 % lokálně vyrobené el. energie. Oba objekty využívají státní podpory „zelený bonus“, proto by oběma objektům prospělo vyšší využití energie získávané z FVE. Tohoto cíle by bylo dosaženo za použití akumulačních baterií. Technologie využívané ke skladování chemické energie nejsou zatím natolik cenově dostupné, aby docházelo k jejich masovému nasazování a tvorbě hybridních systémů FVE. V současné době probíhá například výzkum 3D baterií HE3DA, který by v budoucnosti mohl být jedním z finančně dostupných řešení otázky skladování energie. Kromě nákladů na samotné akumulační baterie je třeba vzít v úvahu i další náklady na elektroniku pro řízení nabíjení. Systém akumulace energie v chemických článcích by určitě zvýšil procento využití lokálně vyrobené energie, ale jeho rentabilita tím není zajištěna, musela by být ověřena důkladnou finanční analýzou.

V textu práce již bylo zmíněno, že první objekt je vytápěn podlahovým topením v součinnosti s tepelným čerpadlem vzduch-voda. Velký objem otopné vody v trubkách podlahového topení a akumulační nádrži zajišťuje vysokou tepelnou setrvačnost objektu. Za tohoto předpokladu by bylo účelné automatické blokování tepelného čerpadla v nočních hodinách při nízkých venkovních teplotách vzduchu, kdy je topný faktor velmi nízký. Vzhledem k velké tepelné setrvačnosti bytového domu by nebyla narušena jeho tepelná pohoda a došlo by k nezanedbatelné úspoře energie. Zavedením tohoto opatření by se pravděpodobně zvýšilo i využití lokálně vyrobené el. energie.

Provozovatel objektu č.2 shledává podstatným energetickým problémem nedostatečnou koordinaci systému vytápění administrativní budovy s funkcí místní FVE. Zároveň zaznamenává problém s plýtváním teplem uživateli objektu. Na základě těchto nedostatků lze

doporučit instalaci systému pro regulaci topné soustavy. Řešením tohoto problému se již zabývá jiný projekt, který stanovuje časové plány automatizované funkce tepelných čerpadel s prioritou využití el, energie lokální FVE. Tento projekt má za cíl zamezit i plýtvání teplem instalací magnetických čidel, která signalizují otevřená okna a blokují funkci příslušných radiátorů. Po kompletní realizaci a optimalizaci chodu tohoto systému je očekáván nárůst využití el. energie místní výroby a snížení nákladů na vytápění objektu.

Data o spotřebách elektrické energie obou objektů jsou dálkově dostupná prostřednictvím internetu. Pro dostupnost dat o kompletních energetických stavech objektů by bylo vhodné instalovat další zařízení pro měření dílčích spotřeb teplé vody, studené vody a otopné vody. Pro jednoduchou integraci této funkce do stávajícího SCADA systému mohou posloužit čítače impulzů ContoImp. Instalací dalších čítačů pro čítání impulzů z výstupů vodoměrných zařízení by byl systém pro sledování energetických poměrů kompletní.

Závěr

Pro účely projektu zavádějícího do dvou objektů systém pro dálkový sběr dat z měřicích přístrojů bylo jako dodavatele technologického řešení zvoleno italské společnosti IME. Náklady na realizaci projektu činily 78.628 Kč, přičemž do této ceny nejsou zahrnuty náklady na PC server a licenci pro MIDAs EVO, protože cena těchto položek je velmi variabilní podle typu zvoleného serverového počítače a licenční verze.

Instalovaný systém pro dálkový sběr dat je schopný kontinuálního záznamu všech celkových i dílčích spotřeb elektrické energie a dalších elektrických veličin. Na základě těchto měření je provozovatel objektů schopen kalkulace vyúčtování za el. energii a sledování poměrů elektrické sítě na dálku. Byly provedeny úpravy softwarové části SCADA systému, které zpřehledňují získávání dat a doplňují některé funkce specifické pro danou aplikaci. Hardwarová část technologického řešení systému dálkového sběru dat od společnosti IME je dobře řešena až na některé drobnosti. Nedostatkem může být nepohodlné a zdlouhavé nastavování přístrojů vybavených pouze dvěma tlačítky, která jsou mnohdy mechanicky tuhá a jejich současné stlačení pro potvrzení volby se často nezdaří na první pokus. Dodavatelem vyvinutý software pro shromažďování a interpretaci měřených dat může být na první pohled chaotický kvůli jeho členění na tři části, ale jinak je dobře koncipován. Nepříjemnou chybou nástroje pro návrh layoutů je nefunkčnost tlačítek pro řazení grafických prvků do vrstev nebo zamrznutí celého Project Manageru při otevření více než jednoho okna s layouty. Tyto chyby nejsou překážkou pro vytvoření plnohodnotného projektu dle přání uživatele a lze očekávat jejich opravu s uvolněním dalších updatů softwaru. Celkově hodnotím řešení realizující dálkový sběr dat od společnosti IME jako dobře zvládnuté.

Na závěr projektu byly vyhodnoceny spotřeby elektrické energie objektu a na jejich základě byla uvedena doporučení pro optimalizaci, která spočívala především ve zkvalitnění kooperace instalovaných FVE a tepelných čerpadel objektů. Pro zvýšení procenta lokálního využití energie FVE bylo doporučeno sledování aktuálních trendů v oblasti akumulace el. energie a následné provedení analýz rentability dostupných řešení.

Seznam literatury

[1] Vyhláška, Energetického regulačního úřadu: kterou se stanoví podmínky připojení a dodávek elektřiny pro chráněné zákazníky. In: *297*. 2001. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/file/pece-a-podpora/297-2001.pdf?

[2] ČSN EN 50 160. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. 2011.

[3] ČSN IEC 38. *Elektrotechnické předpisy. Normalizovaná napětí IEC*. 1993.

[4] Z čeho se skládá cena elektřiny. *Skupina ČEZ* [online]. 2015 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: http://www.cez.cz/cs/elektrina/z-ceho-se-sklada-cena-elektriny.html

[5] Inductive Automation. *What is scada* [online]. 2014 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: https://www.inductiveautomation.com/what-is-scada

[6] IME Istrumenti Misure Elettriche SpA. *Interfaces* [online]. 2013 [cit. 2014-12-2]. Dostupné z: http://www.imeitaly.com/docs/03_Interfaces_software_12.pdf

[7] BASL, Josef a Roman BLAŽÍČEK. *Podnikové informační systémy: podnik v informační společnosti.* 3., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2012, 323 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-4307-3.

[8] KWOK, Yu-Kwong Ricky. *Peer-to-peer computing: applications, architecture, protocols, and challenges.* 1. vyd. Boca Raton, FL: Taylor, 2011, xv, 200 p. ISBN 978-143-9809-341.

[9] Catalogue. *IME Istrumenti Misure Elettriche SpA* [online]. 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://www.imeitaly.com/uk/uk4.asp

[10] Technical Area Support. *Technical guides* [online]. 2012 [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: http://www.imets.it/sito/details.php?type=n&lang=en&con=123220062012on&id=3

[11] NAIK, Dilip C. *Internet: standardy a protokoly*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 1999, xx, 302 s. Internet. ISBN 80-722-6146-0.

[12] MODBUS APPLICATION PROTOCOL. *Modbus* [online]. 2012 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf

[13] Modbus Tutorial: Control Solutions. *Remote Monitoring, Embedded Web Servers, Network I/O: Control Solutions* [online]. 2014 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: http://www.csimn.com/CSI_pages/Modbus101.html#exceptions

[14] Protocol communication: Conto Imp. *IME Istrumenti Misure Elettriche SpA* [online]. 2013 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://www.imeitaly.com/protocolli/PR125.pdf

[15] Elektronické elektroměry KWZ. *Eaton Elektrotechnika s.r.o.* [online]. 2006 [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: http://www.eatonelektrotechnika.cz/files/Jednolist_KWZ_CZ.pdf

[16] Zelený bonus nebo výkupní cena?. *Zelený bonus* [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.zeleny-bonus.eu/statni-podpora/

[17] Vyhláška o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny. In: *82*. 2011. Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/vyhlasky/vyhl_mpo_82-2011-sb0031-2011.pdf

[18] J-Y(ST)Y. *LAMELA ELECTRIC, Kabelovna Chyše* [online]. 2014 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.lamelaelectric.com/kabely/j-y(st)y/42

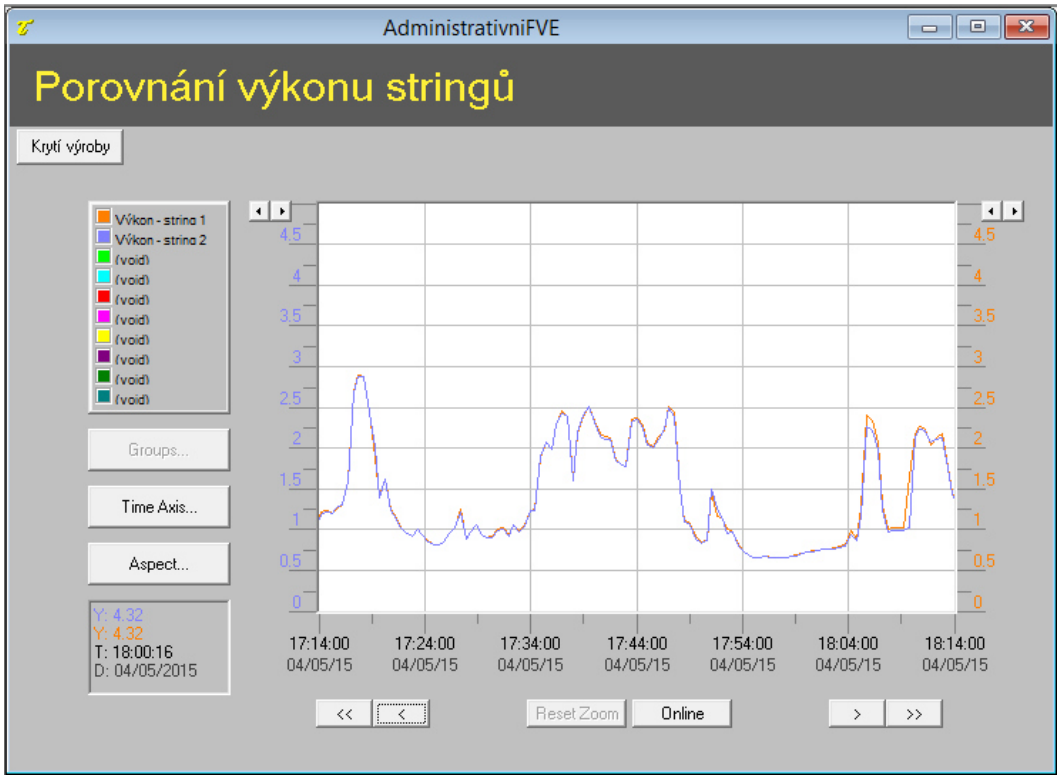
[19] *OTE, a.s*. [online]. 2010 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: http://www.ote-cr.cz/

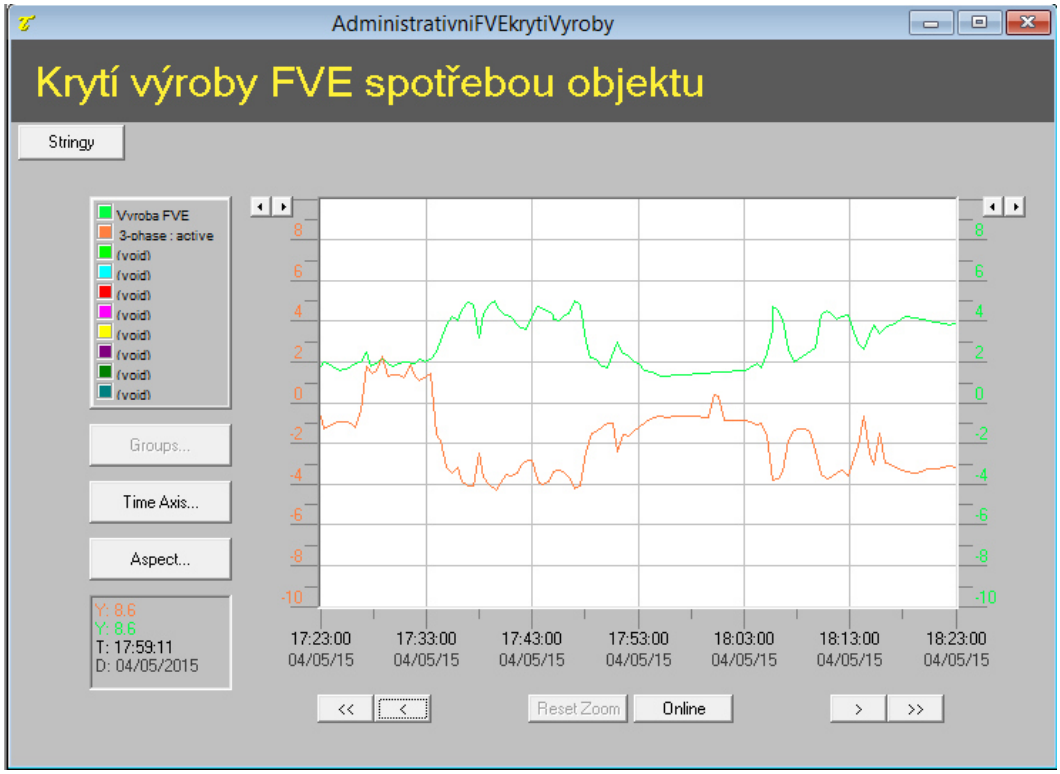
[20] *ERÚ - Energetický regulační úřad* [online]. 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: http://www.eru.cz/cs/

[21] PUŽMANOVÁ, Rita. *Moderní komunikační sítě od A do Z.* Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1998, xvi, 446 s. ISBN 80-722-6098-7.

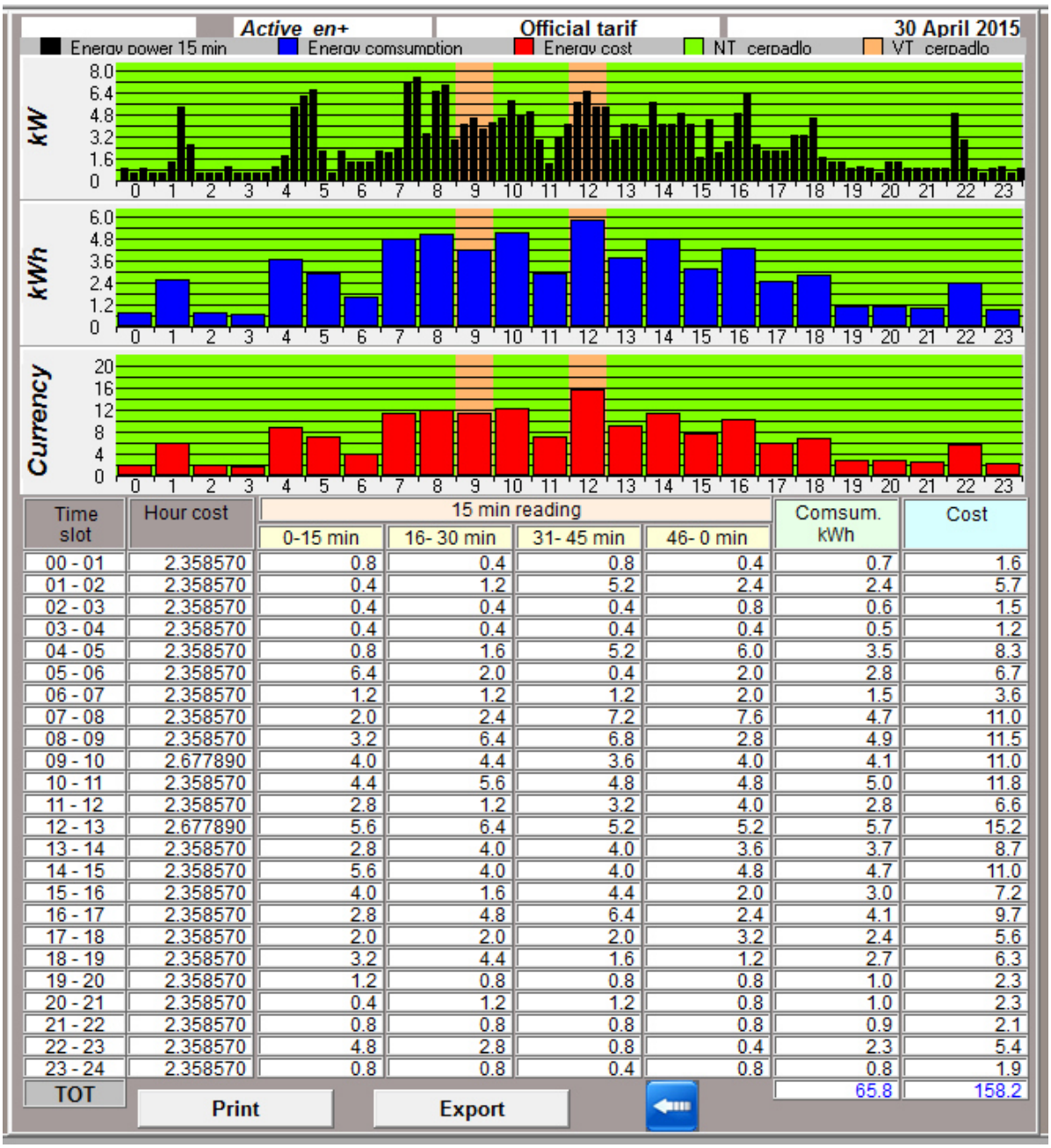
Přílohy

Příloha A – Funkce pro rychlou analýzu FVE administrativní budovy





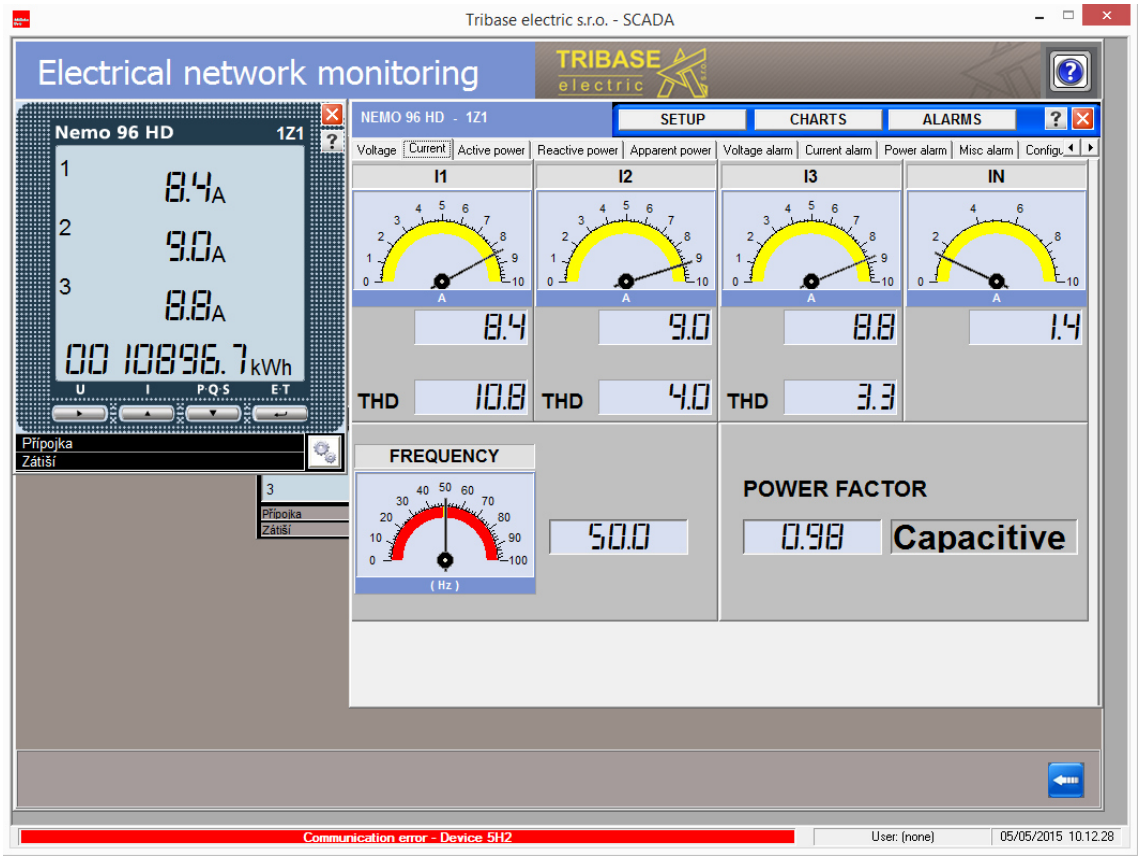
Příloha B – Grafická podoba výkazu o spotřebách a nákladech na el. energii (denní)

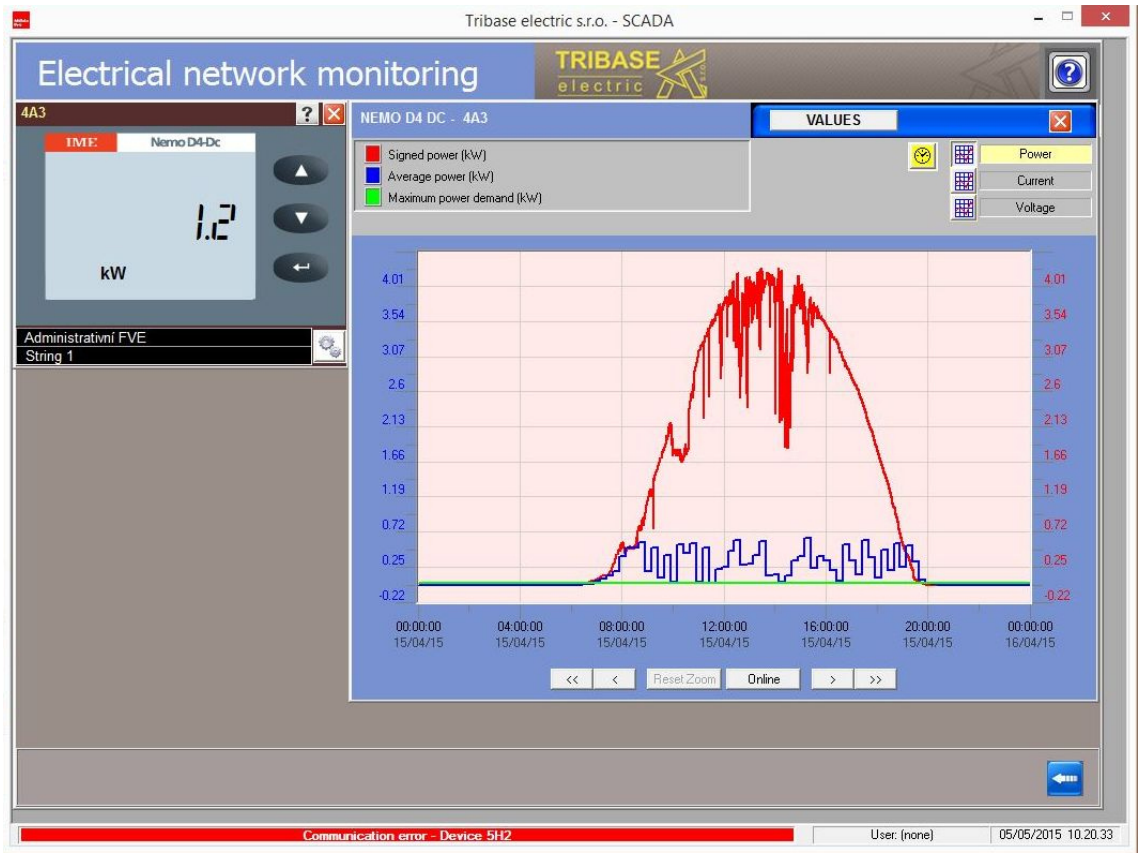


Time slot	Hour cost	15 min reading				Comsum. kWh	Cost
		0-15 min	16- 30 min	31- 45 min	46- 0 min		
00 - 01	2.358570	0.8	0.4	0.8	0.4	0.7	1.6
01 - 02	2.358570	0.4	1.2	5.2	2.4	2.4	5.7
02 - 03	2.358570	0.4	0.4	0.4	0.8	0.6	1.5
03 - 04	2.358570	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	1.2
04 - 05	2.358570	0.8	1.6	5.2	6.0	3.5	8.3
05 - 06	2.358570	6.4	2.0	0.4	2.0	2.8	6.7
06 - 07	2.358570	1.2	1.2	1.2	2.0	1.5	3.6
07 - 08	2.358570	2.0	2.4	7.2	7.6	4.7	11.0
08 - 09	2.358570	3.2	6.4	6.8	2.8	4.9	11.5
09 - 10	2.677890	4.0	4.4	3.6	4.0	4.1	11.0
10 - 11	2.358570	4.4	5.6	4.8	4.8	5.0	11.8
11 - 12	2.358570	2.8	1.2	3.2	4.0	2.8	6.6
12 - 13	2.677890	5.6	6.4	5.2	5.2	5.7	15.2
13 - 14	2.358570	2.8	4.0	4.0	3.6	3.7	8.7
14 - 15	2.358570	5.6	4.0	4.0	4.8	4.7	11.0
15 - 16	2.358570	4.0	1.6	4.4	2.0	3.0	7.2
16 - 17	2.358570	2.8	4.8	6.4	2.4	4.1	9.7
17 - 18	2.358570	2.0	2.0	2.0	3.2	2.4	5.6
18 - 19	2.358570	3.2	4.4	1.6	1.2	2.7	6.3
19 - 20	2.358570	1.2	0.8	0.8	0.8	1.0	2.3
20 - 21	2.358570	0.4	1.2	1.2	0.8	1.0	2.3
21 - 22	2.358570	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	2.1
22 - 23	2.358570	4.8	2.8	0.8	0.4	2.3	5.4
23 - 24	2.358570	0.8	0.8	0.4	0.8	0.8	1.9
TOT						65.8	158.2

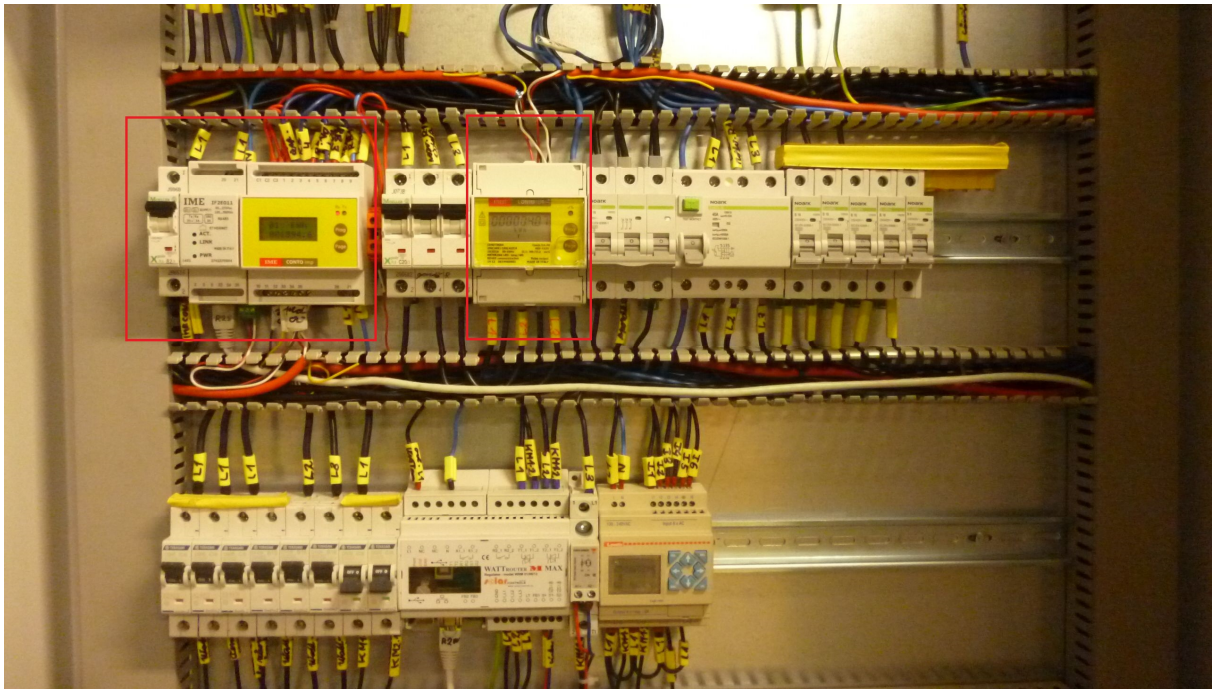
Print Export

Příloha F – Zobrazení dat v MIDAs EVO

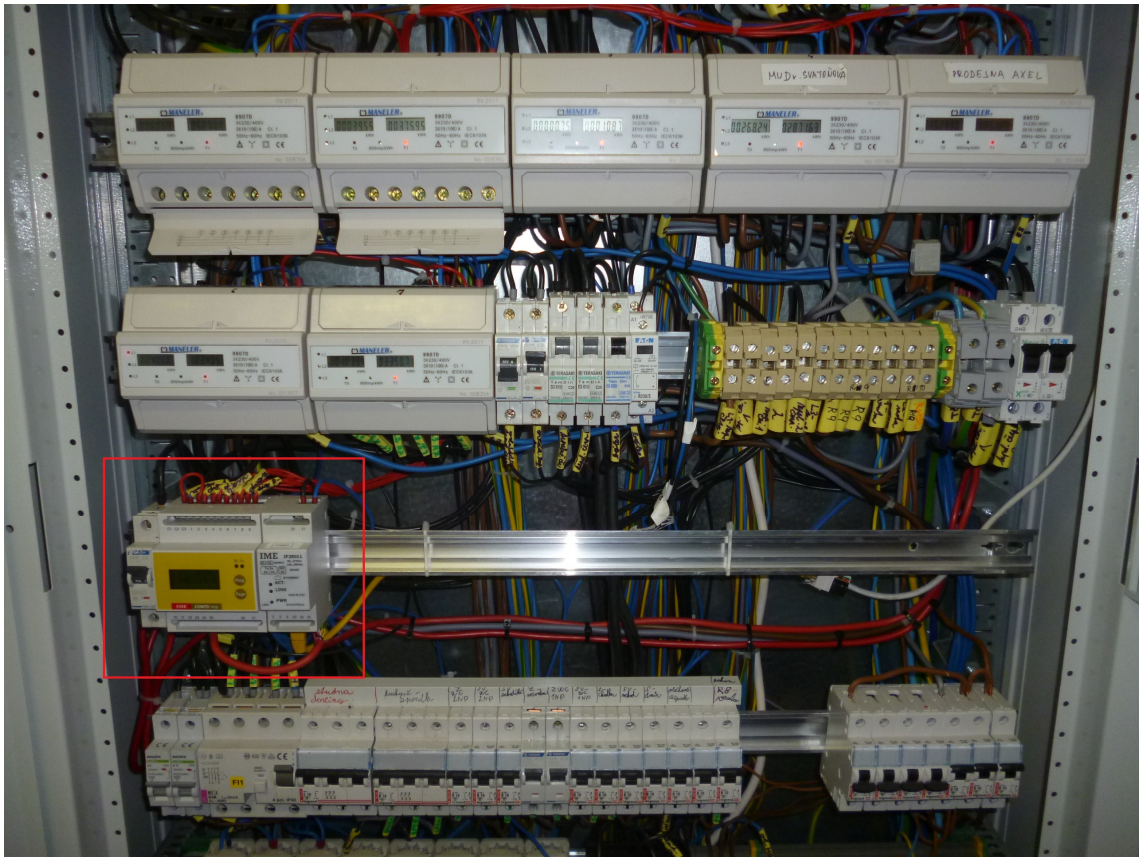


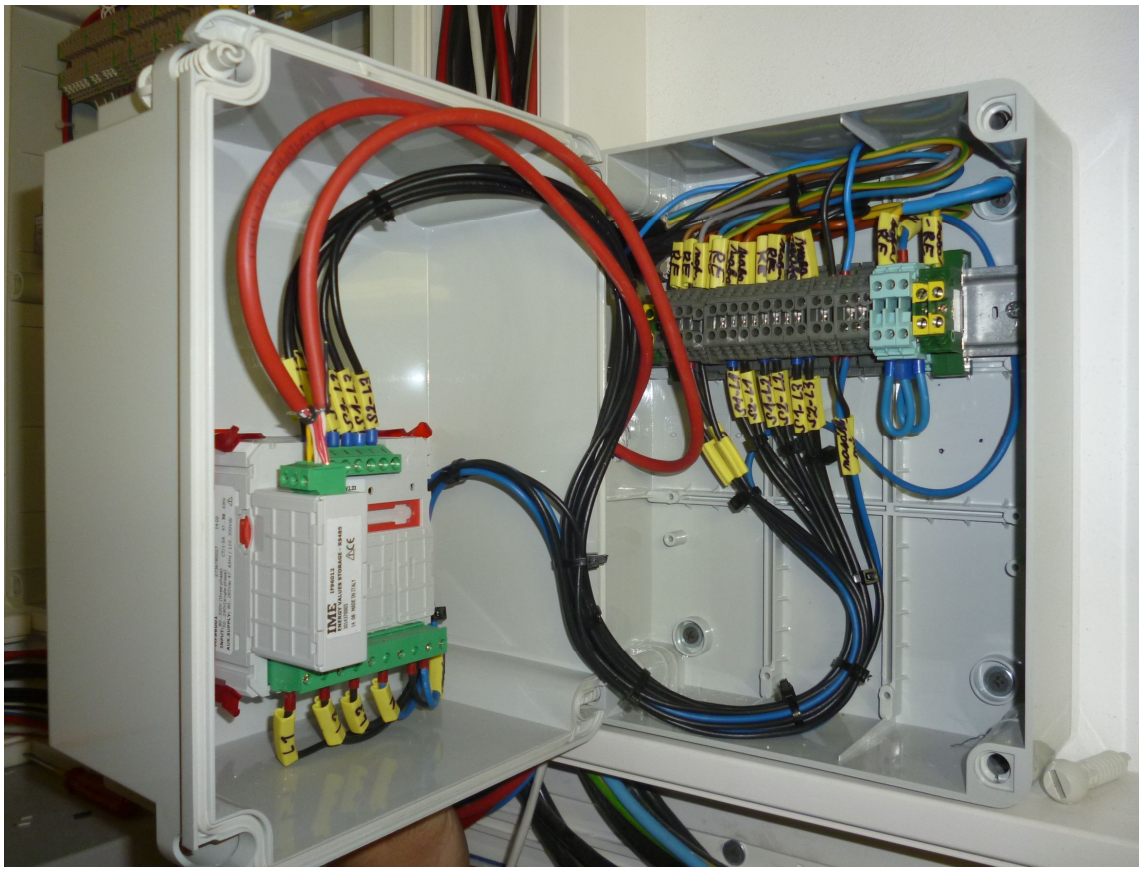


Příloha C – realizovaná instalace bytového domu



Příloha D – realizovaná instalace administrativní budovy





Příloha E – instalace realizovaná na střeše administrativní budovy a v hale