

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačního inženýrství



Bakalářská práce

Spotřeba elektřiny v inteligentním domě

Michal Krátoška

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Krátoška

Systémové inženýrství a informatika
Informatika

Název práce

Spotřeba elektřiny v inteligentním domě

Název anglicky

Electric power consumption in a smarthouse

Cíle práce

Cílem této práce je navrhnout softwarové řešení a najít vhodný hardware pro inteligentní řízení spotřeby elektřiny v rodinném domě, kam je elektřina dodávána ve dvou různých cenových tarifech a také je připojena fotovoltaická jednotka. Elektřina se používá na pohon topné soustavy s tepelným čerpadlem. Navržený systém bude regulovat spotřebu elektřiny s ohledem na dosažení nižší ceny.

Metodika

V první části práce bude literární rešerše popisující použité technologie se zaměřením na jejich softwarové rozhraní a ovládání. V druhé části bude vlastní návrh a implementace softwarového řešení. Budou dodržovány standardy softwarového inženýrství, především UML. Na programování bude použito vývojové prostředí Mosaic.

Doporučený rozsah práce

30 – 60 stran

Klíčová slova

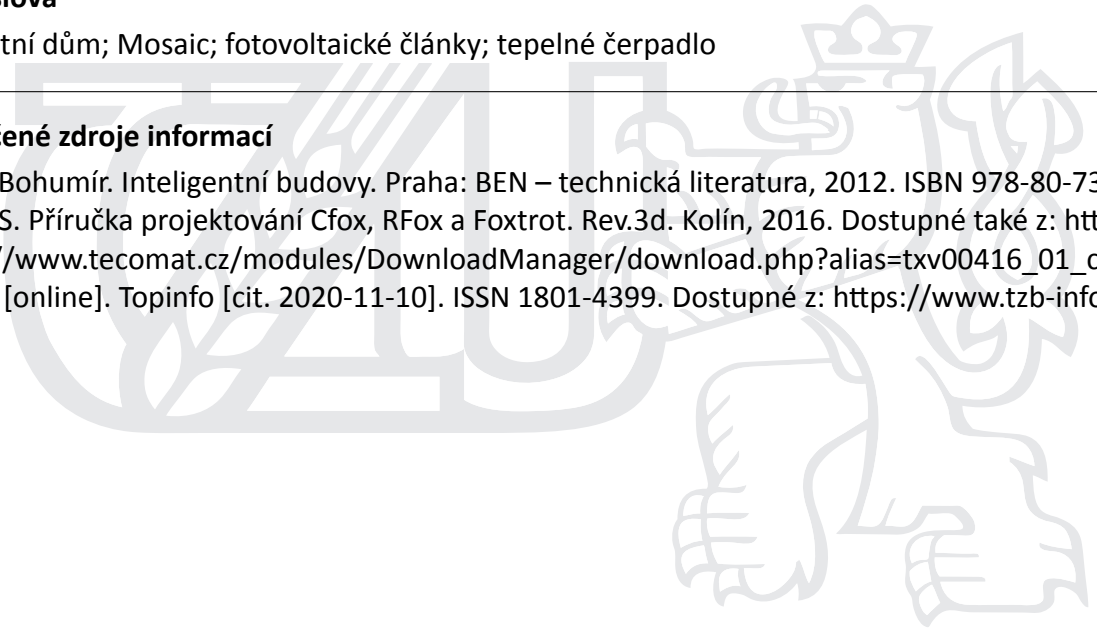
inteligentní dům; Mosaic; fotovoltaické články; tepelné čerpadlo

Doporučené zdroje informací

GARLÍK, Bohumír. Inteligentní budovy. Praha: BEN – technická literatura, 2012. ISBN 978-80-7300-440-8.

TECO A. S. Příručka projektování Cfox, RFox a Foxtrot. Rev.3d. Kolín, 2016. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00416_01_cfoxrfoxprojektovani_

TZB-info [online]. Topinfo [cit. 2020-11-10]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/>



Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Vojtěch Merunka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Spotřeba elektřiny v inteligentním domě" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Vojtěchu Merunkovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, cenné rady a připomínky. Dále pak Tomášovi Šikýřovi, DiS. za konzultace technického řešení.

Spotřeba elektřiny v inteligentním domě

Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje úspoře a využití vyrobené elektrické energie v inteligentním domě s fotovoltaickou elektrárnou. Práce využívá softwarové prostředky i hardwarové komponenty inteligentní elektroinstalace od českého výrobce Teco a.s. Teoretická část se nejprve zaměřuje na představení vývojového prostředí Mosaic určeného pro práci a programování této inteligentní elektroinstalace. Dále je představen hardware potřebný pro realizaci cílů práce. V závěru teoretické části jsou popsány významné spotřebiče v rodinném domě a zdroje elektrické energie.

V praktické části je nejprve provedena analýza spotřebičů. Dále je řešeno řízení bazénové filtrace na základě předpovědi výroby fotovoltaické elektrárny a zejména řešení využití přebytků výroby fotovoltaické elektrárny při výrobě teplé užitkové vody. Uživatelům jsou také zpřístupněny informace o aktuální spotřebě domu.

Klíčová slova: Inteligentní dům; Mosaic; Fotovoltaické články; Tepelné čerpadlo

Electric power consumption in a smarthouse

Abstract

This bachelor thesis is devoted to saving and using electrical energy in the smarthouse with a photovoltaic power plant. It presents software devices and hardware components used in smart houses from Czech company Teco a.s. The theoretical part presents development environment the Mosaic determined for work and programming of this smart houses. The second part presents used hardware which is necessary to achieve the objectives of this bachelor thesis. At the end of the theoretical part are described home appliances in the house and electric power sources.

In practical part is performed analyse of used home appliances, described turning on pool filtration based on power plant production forecasting. Also is addressed usage of surpluses production of photovoltaic power plant in hot-water production. At the end is described displaying information about current electricity consumption.

Keywords: Smart house; Mosaic; Solar cells; Heat pump

Obsah

1 Úvod	12
2 Cíl práce a metodika	13
2.1 Cíl.....	13
2.2 Metodika	13
3 Teoretická východiska	14
3.1 Vývojové prostředí Mosaic	14
3.1.1 Licenční politika	14
3.1.2 Programovací jazyky	14
3.1.2.1 IL (Instruction List).....	15
3.1.2.2 ST (Structured Text).....	15
3.1.2.3 LD (Ladder Diagram).....	16
3.1.2.4 FBD (Function Block Diagram).....	17
3.1.2.5 CFC (Continuous Flow Chart)	17
3.1.2.6 SFC (Sequential Function Chart)	18
3.1.3 I/O Configurator	18
3.1.3.1 Sledování dat poskytovaných jednotkou.....	19
3.1.3.2 Přidání HW jednotky	20
3.1.3.3 Přidání komunikačního kanálu UNI.....	22
3.1.4 WebMaker	23
3.1.4.1 Nástroje WebMaker	23
3.1.5 IEC manažer	25
3.1.5.1 Předpisy programovatelných organizačních jednotek – POU.....	26
3.1.5.2 Typy proměnných.....	26
3.1.5.3 Globální proměnné	26
3.1.5.4 Organizace úloh a instancí – konfigurace programu.....	27
3.1.5.5 Knihovny	27
3.1.6 Simulátor PLC	28
3.1.7 Firmware Updater	28
3.2 Použitý Hardware.....	29
3.2.1 CP-1005	29
3.2.2 CF-1141	30
3.2.3 C-OR-0011M-800.....	31
3.2.4 IT-1604	31

3.2.5	C-EM-0401M.....	33
3.2.6	C-IR-0303M.....	35
3.2.7	C-RC-0003R	35
3.2.8	SSR relé	36
3.2.9	C-IS-0404S	36
3.3	Významné spotřebiče v domě	36
3.3.1	Tepelné čerpadlo.....	36
3.3.2	Zásobník teplé užitkové vody (TUV).....	37
3.3.3	Další spotřebiče.....	37
3.4	Zdroje elektrické energie.....	37
3.4.1	Rozvodná síť	37
3.4.2	FVE.....	38
3.4.2.1	Střídač – SUNNY TRIPOWER 5000TL.....	38
3.4.2.2	Fotovoltaické panely	38
4	Praktická část – řízení spotřeby elektřiny	39
4.1	Analýza spotřebičů v domě.....	39
4.2	Řízení bazénové filtrace.....	40
4.2.1	Předpověď osvitů.....	40
4.2.2	Výpočet nejvýhodnějších hodin chodu.....	43
4.2.3	Webové rozhraní pro ovládání bazénové filtrace	46
4.3	Ohřev TUV pomocí přebytků z výroby FVE.....	48
4.3.1	Popis algoritmu	49
4.3.2	Přehledová data ve webovém rozhraní	51
4.3.3	Řízení tepelného čerpadla.....	52
4.3.4	Webové rozhraní pro ovládání ohřevu TUV	53
4.4	Zpřístupnění informace o aktuálním stavu spotřeby elektrické energie	54
5	Závěr.....	57
6	Seznam použitých zdrojů	58
7	Přílohy	61

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Uvítací obrazovka Mosaic (Teco a.s., 2010)	14
Obrázek 2 - Příklad kódu v jazyce IL (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)	15
Obrázek 3 - Příklad kódu v jazyce ST (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)	16
Obrázek 4 - Příklad kódu v jazyce LD (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)	16
Obrázek 5 - Příklad kódu v jazyce FBD (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)	17
Obrázek 6 - Příklad kódu v jazyce CFC (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)	17
Obrázek 7 - Příklad kódu v jazyce SFC (Vojáček, 2011).....	18
Obrázek 8 - – Konfigurační strom jednotek v nástroji I/O Configurator (Teco a.s., 2020b)	19
Obrázek 9 – Struktura předávaných dat a jejich aktuální hodnoty (Teco a.s., 2020b)	20
Obrázek 10 - Aktivace a konfigurace modulu v I/O Configuratoru (Teco a.s., 2020b)	20
Obrázek 11 - Příklad vlastního alias jména	21
Obrázek 12 - Konfigurace kanálu UNI pomocí I/O Configuratoru (Teco a.s., 2020d).....	22
Obrázek 13 - Nástroje WebMaker (Teco a.s., 2013)	23
Obrázek 14 - Graf zobrazený pomocí kreslicího plátna funkcemi z knihovny CanvasObjectsLib (Teco a.s., 2016a)	25
Obrázek 15 - Zapojení PLC CP-1005 (Teco a. s., 2016).....	29
Obrázek 16 - CIB master CF-1140 (Teco a.s., 2020b)	30
Obrázek 17 - Příklad zapojení spínání světel pomocí modulu C-OR-0011M-800 (Teco a. s., 2016).....	31
Obrázek 18 - Modul IT-1604 (Teco a.s., 2020c)	32
Obrázek 19 - Příklad zapojení modulu C-EM-0401M (Teco a.s., 2020b)	33
Obrázek 20 - Struktura předávaných dat z modulu C-IR-0303M (Teco a.s., 2020b)	35
Obrázek 21 - Typy rozložení LCD displeje modulu C-RC-0003R (Teco a.s., 2020b)	35
Obrázek 22 - Schéma zásobníku teplé vody (Panasonic Corporation, 2013a).....	37
Obrázek 23 - Webové rozhraní pro ovládání bazénové filtrace – nastavení proměnných ..	47
Obrázek 24 - Webové rozhraní pro ovládání bazénové filtrace	47
Obrázek 26 - Webové rozhraní pro ovládání TUV – Nastavení.....	53
Obrázek 25 - Webové rozhraní pro ovládání TUV.....	53
Obrázek 27 - Webové rozhraní pro ovládání TUV – Časový program	54
Obrázek 28 - Zobrazení aktuální spotřeby domu na třetí fázi	56

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Parametry komunikačního kanálu (Teco a.s., 2020d)	22
Tabulka 2 - Přehled procesů uživatelského programu a jejich určení (Teco a.s., 2007b) ...	27
Tabulka 3 - Podporované snímače modulem IT-1604 (Teco a.s., 2012a).....	32
Tabulka 4 - Hodnoty předávané z elektroměru (KMB systems, s.r.o., 2016) (Šmejkal, 2017)	34
Tabulka 5 - Parametry komunikace UNI kanálu	41

Seznam kódů

Kód 1 - Funkční blok fbPVF_Forecast.....	41
Kód 2 - Funkční blok fbPVF_GetPower	42
Kód 3 - Přesun získaných dat do nového pole.....	42
Kód 4 - Seřazení pole algoritmem Insertion sort.....	42
Kód 5 - Výpočet nadvýroby a počtu hodin chodu	43
Kód 6 - Přiřazení hodin s nadvýrobou a preferencí uživatele.....	44
Kód 7 - Doplnění hodin s výrobou alespoň vyšší než průměrná spotřeba domu	44
Kód 8 - Doplnění hodin podle plánu preferovaných hodin	45
Kód 9 - Spínání výstupu podle aktuální hodiny	46
Kód 10 - Výpočet nadvýroby.....	49
Kód 11 - PID regulátory pro jednotlivé fáze	49
Kód 12 - Jednoúrovňový termostat MFT1 pro ovládání teploty v nádrži TUV	50
Kód 13 - Blokace po restartech PLC	50
Kód 14 - Řízení elektrických patron PWM výstupy pro ohřev TUV	51
Kód 15 - Přehledová data ve webovém rozhraní.....	52
Kód 16 - Řízení chodu TČ.....	52
Kód 17 - Zobrazení ikony na displeji	54
Kód 18 - Odchyt stisku tlačítka a řízení podsvícení displeje.....	55
Kód 19 - Práce s režimy zobrazení	55
Kód 20 - Zobrazení hodnot aktuální spotřeby na displeji.....	56

Seznam použitých zkratek

PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
DI	Digitální vstup (Digital input)
AI	Analogový vstup (Analog input)
DO	Digitální výstup (Digital output)
AO	Analogový výstup (Analog output)
PWM	Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
SSR	Solid state relé (Solid State Relay)
FVE	Fotovoltaická elektrárna
TUV	Teplá užitková voda
TČ	Tepelné čerpadlo
POU	Programové organizační jednotky

1 Úvod

V dnešní době se stává solární elektrárna stále častěji součástí střech rodinných domů. Instalací fotovoltaické elektrárny majitelé sledují úsporu nakupované elektrické energie, ale zároveň si také čím dále více uvědomují nutnost ochrany životního prostředí. Fotovoltaická energie je totiž jedním z nečistších možných zdrojů elektrické energie pro životní prostředí.

Dalším trendem při výstavbě moderních budov je inteligentní elektroinstalace. Inteligentní domy umožňují nejen řízení vlastních spotřebičů v domě, ale také stále efektivnější řízení samotné spotřeby elektřiny. Významné je i využití elektřiny vyrobené vlastní fotovoltaickou elektrárnou.

Samotná myšlenka této práce vycházela ze snahy o další zvýšení využití těchto dvou technologií v našem rodinném domě. Po několika letech provozu obou technologií samostatně jsem se na základě informací z jejich provozu rozhodl obě technologie více propojit a tím docílit maximálního využití vlastní vyrobené elektrické energie.

Ve své práci čtenáři podrobně představím vývojové prostředí Mosaic, jeho možnosti a práci s ním. Popíši také využívané hardwarové komponenty inteligentní elektroinstalace od české společnosti Teco a.s.

V praktické části detailně představím všechna vytvořená softwarová řešení. Bude provedena analýza spotřebičů. Bude řešeno řízení bazénové filtrace na základě předpovědi výroby fotovoltaické elektrárny. Budou využity přebytky z výroby fotovoltaické elektrárny pro výrobu teplé užitkové vody. Uživatelům budou zpřístupněny informace o aktuální spotřebě domu.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl

Cílem této práce je navrhnout softwarové řešení a najít vhodný hardware pro inteligentní řízení spotřeby elektřiny v rodinném domě, kam je elektřina dodávána ve dvou různých cenových tarifech a také je připojena fotovoltaická jednotka. Elektřina se používá na pohon topné soustavy s tepelným čerpadlem. Navržený systém bude regulovat spotřebu elektřiny s ohledem na dosažení nižší ceny.

2.2 Metodika

V první části práce bude literární rešerše popisující použité technologie se zaměřením na jejich softwarové rozhraní a ovládání. V druhé části bude vlastní návrh a implementace softwarového řešení. Budou dodržovány standardy softwarového inženýrství, především UML. Na programování bude použito vývojové prostředí Mosaic.

3 Teoretická východiska

3.1 Vývojové prostředí Mosaic

Vývojové prostředí Mosaic je produktem od společnosti Teco a.s. Kolín. Je určeno pro tvorbu a ladění programů pro jejich programovatelné logické systémy (PLC) TECOMAT ®. Toto prostředí je dodáváno již od roku 2000. Obsahuje nástroje, které usnadňují tvorbu aplikačních programů a zlepšují komfort práce programátora. (Teco a.s., 2010)



Obrázek 1 - Uvítací obrazovka Mosaic (Teco a.s., 2010)

3.1.1 Licenční politika

Program je volně dostupný ze stránek <https://www.tecomat.cz/ke-stazeni/software/mosaic/>. Zde je také možné stáhnout jeho pravidelné aktualizace.

Program je možné využívat i bez zakoupení licence a to v tzv. Lite verzi. V ní je možné využívat všechny nástroje, které vývojové prostředí obsahuje. Bez jakýchkoliv omezení umožňuje programování nejmenší PLC z řady PLC TECOMAT®. Pro vyšší typy PLC je již nutné zakoupit licenci umožňující práci s větším počtem I/O modulů. (Teco a.s., 2010)

Licenci je možné zakoupit ve dvou variantách. V podobě vývojového HW klíče nebo koupí MOSAIC Single Licence Foxtrot, která je vázána na konkrétní výrobní číslo daného PLC. Při variantě s licenci v PLC je nutné být pro překlad projektů připojen k PLC. (Mosaic Single licence - Nová alternativa licencování, 2012)

3.1.2 Programovací jazyky

Dokumentace (Teco a.s., 2007) uvádí, že ve vývojovém prostředí Mosaic lze programovat celkem šesti programovacími jazyky. Všechny tyto jazyky jsou podřízeny normě IEC 61131-3.

Textové jazyky:

- IL (Instruction List): jazyk seznamu instrukcí
- ST (Structured Text): jazyk strukturovaného textu (Teco a.s., 2007)

Grafické jazyky:

- LD (Ladder Diagram): jazyk příčkového diagramu (jazyk kontaktních schémat)
- FBD (Function Block Diagram): jazyk funkčního blokového schématu
- CFC (Continuous Flow Chart): jazyk volně propojovaný bloků
- SFC (Sequential Function Chart): jazyk sekvenčního funkčního schéma (Teco a.s., 2007)

3.1.2.1 IL (Instruction List)

Jazyk IL se řadí mezi nízko úroňové jazyky až na úrovni Asembleru. Program se vytváří na základě práce až z jednotlivými bity paměti. Díky tomu využívá pouze několik operací jako je načtení proměnné, porovnání, logické operace nad paměti a registry nebo podmíněné a nepodmíněné skoky. (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)

```
//Poloviční sčítačka - IL
FUNCTION_BLOCK FB1_sčitacka_IL
  VAR_INPUT
  END_VAR
  VAR_OUTPUT
  END_VAR
  VAR_IN_OUT
  END_VAR
  VAR
  END_VAR
  VAR_TEMP
  END_VAR

  //Funkce XOR
  LD Ustup1      //načíst Ustup1
  XOR Ustup2     //Ustup1 XOR Ustup2
  ST Uystup1     //Uložit do Uystup1

  //Funkce AND
  LD Ustup1      //Načíst vstup1
  AND Ustup2     //Ustup1 AND Ustup2
  ST Uystup2     //Uložit výsledek do Uystup2

END_FUNCTION_BLOCK
```

Obrázek 2 - Příklad kódu v jazyce IL (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)

3.1.2.2 ST (Structured Text)

Jazyk ST popisuje (Urban, 2005) jako textový programovací jazyk vyšší úrovně. Je obdobou programovacím jazykům jako jsou C nebo Pascal. Jeho syntaxe z těchto jazyků také vychází. Pomocí příkazů tohoto jazyka je možné zapsat i složité algoritmy s částmi vzájemně vnořenými do sebe. I složitější algoritmy jsou většinou názorné a přehledné. Velké uplatnění nachází při vytváření funkčních bloků a knihoven, které mohou být poté využity i v jiných jazycích.

Tento jazyk jsem hojně využíval při své praxi a z toho důvodu ho použiji i v praktické části této práce.

```

//Poloviční sčítačka - ST
FUNCTION_BLOCK FB2_scitacka_ST
VAR_INPUT
END_VAR
VAR_OUTPUT
END_VAR
VAR_IN_OUT
END_VAR
VAR
END_VAR
VAR_TEMP
END_VAR

Vystup1 := Vstup1 XOR Vstup2; //Funkce XOR - součet bez přenosu
Vystup2 := Vstup1 AND Vstup2; //Funkce AND - přenos

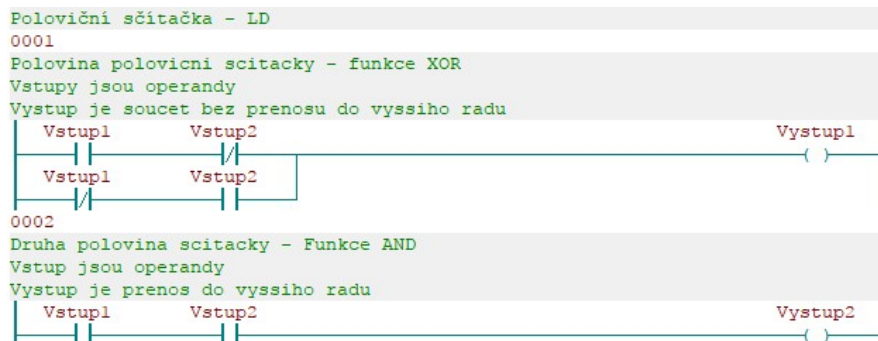
END_FUNCTION_BLOCK

```

Obrázek 3 - Příklad kódu v jazyce ST (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)

3.1.2.3 LD (Ladder Diagram)

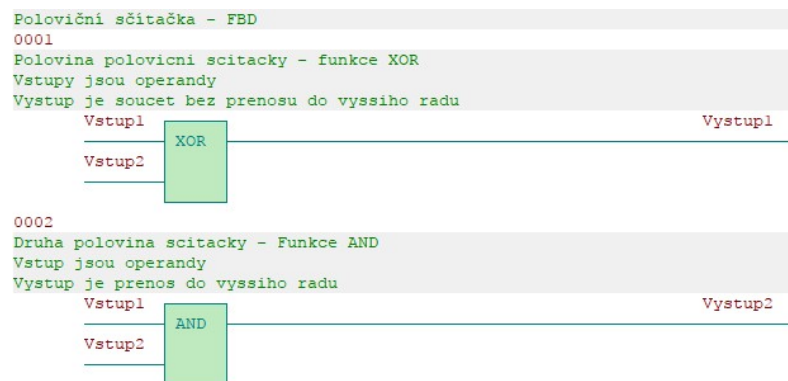
Na stránce (What Is Ladder Diagram) se o jazyce LD dozvíme následující. Tento jazyk je často používaným grafickým jazykem pro záznam logických struktur. Grafický zápis jazyka vychází ze schémat obvodů reléové logiky. Nazývá se diagramem žebříků, kde svislé čáry znázorňují zdroje (vstupy) a vodorovné čáry vedení. Výstupy se výhradně zakreslují do pravé části vedení. Jazyk je velice výhodný při přepracovávání starých reléových systémů do moderních systémů řízených pomocí PLC. Díky zápisu kopírujícímu schémata elektrických obvodů ho hojně využívají elektrikáři nebo servisní technici.



Obrázek 4 - Příklad kódu v jazyce LD (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)

3.1.2.4 FBD (Function Block Diagram)

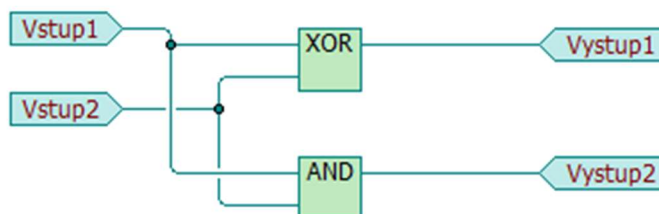
Jak je uvedeno v (Garlík, 2012) jedná se o grafický jazyk skládající se z funkčních bloků a logických operací. Tyto jsou znázorňovány pomocí obdélníků. Značky na logických blocích odpovídají značkám logických obvodů.



Obrázek 5 - Příklad kódu v jazyce FBD (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)

3.1.2.5 CFC (Continuous Flow Chart)

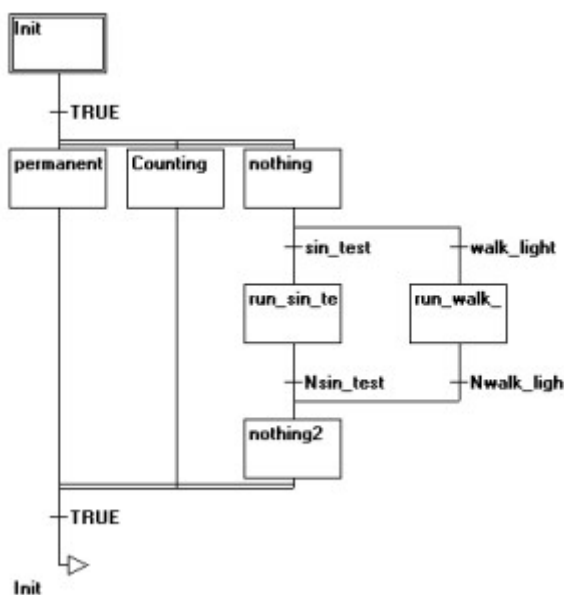
Podle bakalářské práce (Grechka, 2019) je jazyk CFC grafickým jazykem vyvinutým z jazyka FBD. Jazyk je využíván při návrzích řídicích systémů pro kontinuální technologické procesy. Samotné psaní v jazyce se skládá z bloků již vytvořených funkcí a základních logických operací. Jednotlivé řídicí bloky je možné libovolně umisťovat na plochu a pomocí čar je propojovat se vstupy a výstupy. Hlavní využití nachází u menších programů, kde se uplatňuje jeho logičnost a přehlednost kódu. S přibývajícím složitostí kódu může být zápis v tomto jazyce již nepřehledný.



Obrázek 6 - Příklad kódu v jazyce CFC (PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018)

3.1.2.6 SFC (Sequential Function Chart)

O jazyce SFC se v bakalářské práci (Grechka, 2019) píše následující. SFC je označován za plnohodnotný programovací jazyk, ale jedná se pouze o pomocný nástroj pro strukturování programů. Je využíván pro určování sledů událostí prováděných řídicím systémem. Zápis se skládá z kroků a přechodových podmínek. Jednotlivé kroky jsou znázorněny jako obdélníky a podmínky jsou značeny příčnou čarou přes spoj. Samotné podmínky jsou napsány jako text vedle příslušné příčky.



Obrázek 7 - Příklad kódu v jazyce SFC (Vojáček, 2011)

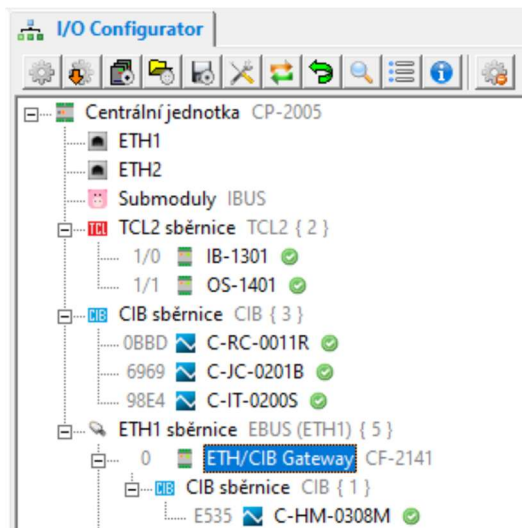
3.1.3 I/O Configurator

I/O Configurator je nástroj sloužící ke konfiguraci použitých HW jednotek a komunikačních kanálů. Nástroj také umožňuje nastavit všechny parametry a alias jména pro jednotlivé vstupy a výstupy.

I/O Configurator vytváří soubory s popisem I/O konfigurace, které jsou při překladu programu zahrnuty do výsledného kódu zasílaného do PLC. Výsledný soubor obsahuje o každém I/O modulu následující informace:

- Adresa modulu a jeho logické označení
- Struktura a počet přenášených vstupních a výstupních dat modulu
- Mapování dat modulu do paměti PLC
- Inicializační data pro modul (Teco a.s., 2020)

Konfigurace všech jednotek je přehledně graficky zobrazena ve formě stroměčku. Jednotlivé jednotky je možné přidávat ručně nebo nechat automaticky načíst aktuální konfiguraci z řídicí jednotky PLC. (Teco a.s., 2020)



Obrázek 8 - Konfigurační strom jednotek v nástroji I/O Configurator (Teco a.s., 2020)

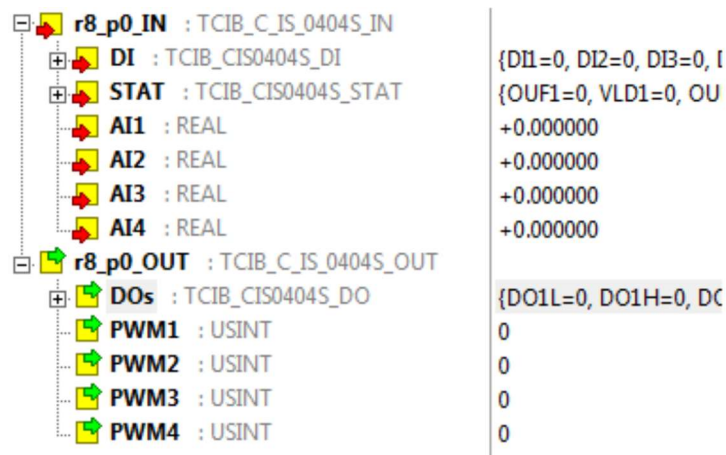
Po výběru konkrétní jednotky se zobrazí okno aktivních proměnných. Zde je možné vidět jednotlivé proměnné daného modulu a jejich aktuální stav.

U každé jednotky se také zobrazuje zda jednotka komunikuje s PLC (zelená fajfka nebo červený trojúhelník). Dalším symbolem zobrazovaným u jednotek je (oranžové kolečko) detekující aktivovaný manuální režim. (Urban, 2011)

Manuální režim blokuje veškeré příkazy vycházející z programu. Při jeho aktivaci je možné si fyzickými tlačítky na jednotce aktivovat či deaktivovat jednotlivé výstupy. Toto se často využívá ve fázi montáže k testování, kdy ještě není program zcela dokončen.

3.1.3.1 Sledování dat poskytovaných jednotkou

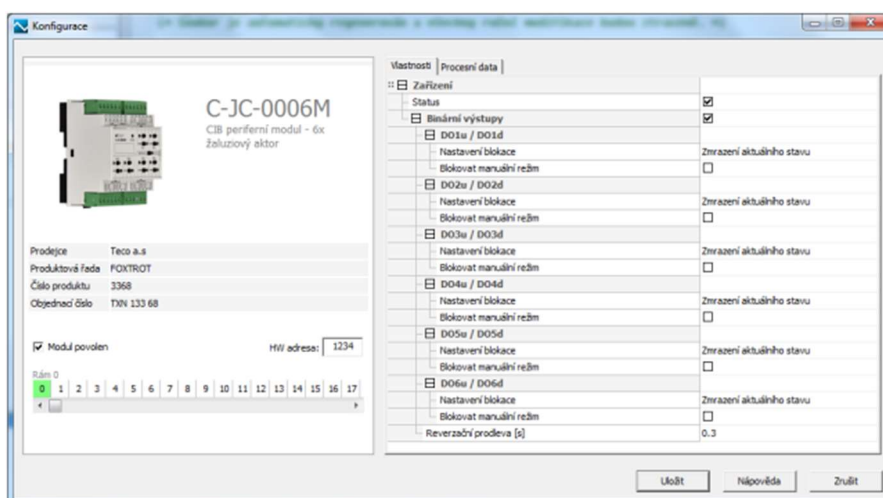
O sledování dat z jednotek se v (Teco a.s., 2020) píše doslova toto. „Pod stroměčkem konfigurace je okno, ve kterém se zobrazují aktivní data poskytovaná modulem označeným ve stroměčku. Pokud máme proměnné pojmenovány vlastními jmény pomocí funkce Alias, jsou zde zobrazeny pod těmito jmény. V tomto okně můžeme také zapisovat data do výstupních proměnných modulu, a to buď přímým zápisem hodnoty, nebo její tzv. fixací v případě, že je výstupní proměnná nastavována z uživatelského programu. Fixaci aktivujeme klepnutím na ikonu zámku na příslušném řádku. Fixovaná proměnná si udržuje nastavenou hodnotu bez ohledu na uživatelský program i komunikace.“



Obrázek 9 – Struktura předávaných dat a jejich aktuální hodnoty (Teco a.s., 2020)

3.1.3.2 Přidání HW jednotky

Přidání nové jednotky se provádí ve třech krocích. Prvním krokem je vybrání sběrnice CIB nebo TCL, na které je daná jednotka připojena ve stromu konfigurace. Dalším krokem je zvolení typu jednotky. Kliknutím na nástroj přidat se zobrazí nabídka se všemi podporovanými jednotkami, ze kterého si vybereme příslušný typ jednotky. Posledním krokem je samotná konfigurace jednotky. Zde zadáme HW adresu modulu a nastavíme jeho vlastnosti. Mezi ty patří např. aktivace či deaktivace analogového vstupu a určení jeho druhu na základě připojeného zařízení. Některé jednotky umožňují nastavit, zda bude vstup digitální nebo analogový. Možnosti podporovaných druhů analogových či digitálních vstupů se liší podle druhu jednotky. Další možností je zakázání manuálního režimu pro konkrétní



Obrázek 10 - Aktivace a konfigurace modulu v I/O Configuratoru (Teco a.s., 2020)

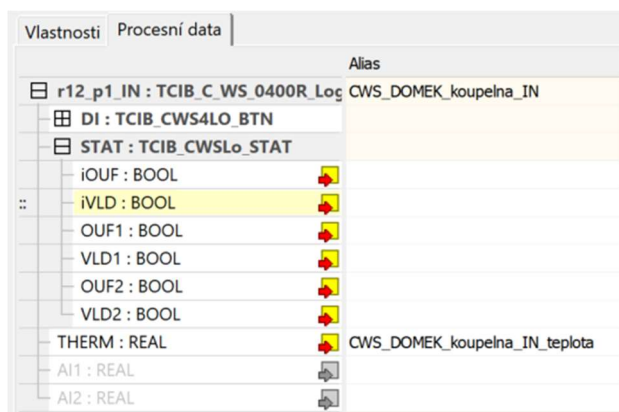
výstupní relé. V okně *Procesní data* se jednotlivým proměnným, ale i samotné jednotce nastavují alias jména, se kterými se dále pracuje v programu.

3.1.3.2.1 Hardwarová adresa

Každá jednotka v systému musí mít jedinečnou adresu, která slouží k jeho identifikaci. Adresa je modulu pevně přidělena již při výrobě. Na krytu každém modulu je tato adresa viditelně vyznačena. Adresou je čtyřciferné číslo v hexadecimální soustavě. (Teco a.s., 2020)

3.1.3.2.2 Alias jméno

V interním dokumentu společnosti Teco a.s. (Teco a.s., 2020) se o alias jménech píše doslova toto. „Každá proměnná modulu je z aplikačního projektu dostupná pod úplným názvem nebo pod zkráceným názvem. Úplný název je vygenerován automaticky na základě indexu rámu a indexu modulu v rámci daného rámu. Pro pohodlnější přístup k proměnné (struktúře) lze zadat vlastní symbolické jméno, pod kterým bude v aplikačním projektu proměnná dostupná. Symbolické jméno lze zadat do sloupce Alias. Toto symbolické jméno musí být unikátní v celém aplikačním projektu.“



	Alias
r12_p1_IN : TCIB_C_WS_0400R_Log	CWS_DOMEK_koupelna_IN
DI : TCIB_CWS4LO_BTN	
STAT : TCIB_CWSLo_STAT	
iOUF : BOOL	
iVLD : BOOL	
OUF1 : BOOL	
VLD1 : BOOL	
OUF2 : BOOL	
VLD2 : BOOL	
THERM : REAL	CWS_DOMEK_koupelna_IN_teplota
A11 : REAL	
A12 : REAL	

Obrázek 11 - Příklad vlastního alias jména

Příkladem automaticky generovaného jména je *r12_p1_IN.THERM* odkazující na vstupní proměnnou THERM z modulu C-WS-0400R. Alias může být naopak srozumitelnější a v kódu čitelnější například *CWS_DOMEK_koupelna_IN_teplota*. Oba přístupy ke vstupním nebo výstupním proměnným je možné v programu kombinovat.

3.1.3.3 Přidání komunikačního kanálu UNI

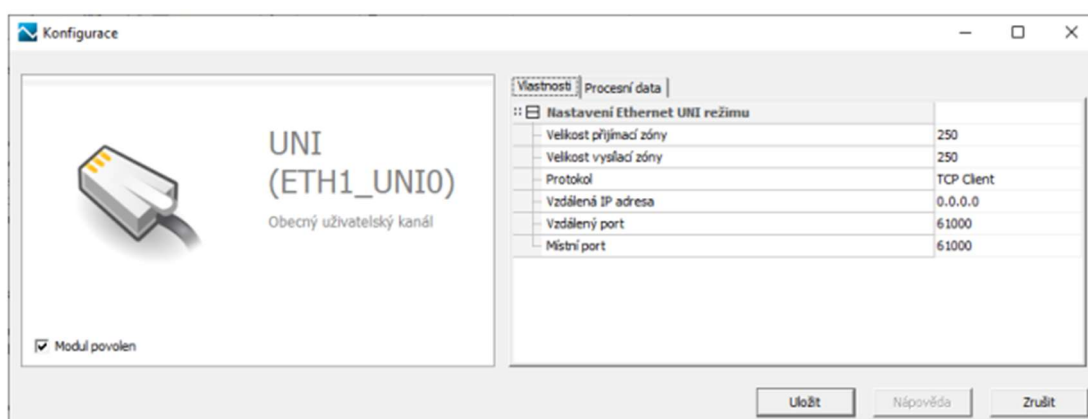
Komunikační kanál UNI (obecný uživatelský kanál) slouží pro příjem dat pomocí protokolu UDP nebo TCP. Maximální počet UNI kanálů pro jedno PLC je 8 spojení. Další navýšení komunikačních UNI kanálů je možné pomocí funkcí z knihovny ComLib. (Teco a.s., 2020)

Při samotné konfiguraci komunikačního kanálu je potřeba vyplnit následující parametry:

Tabulka 1 - Parametry komunikačního kanálu (Teco a.s., 2020)

Parametry komunikačních kanálů	
Velikost přijímací zóny	
Velikost vysílací zóny	
Typ protokolu	
TCP Client	
TCP Server	
UDP	
Vzdálená IP adresa	
Vzdálený port	
Místní port	

Samotnou obsluhu jednotlivých kanálů z programu zajišťují funkce z knihovny ComLib nebo další speciální funkce k tomuto účelu vytvořené. (Teco a.s., 2020)



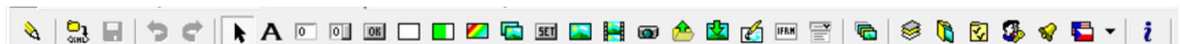
Obrázek 12 - Konfigurace kanálu UNI pomocí I/O Configuratoru (Teco a.s., 2020)

3.1.4 WebMaker

Úvodní slova o Webmakeru v manuálu (Teco a.s., 2013) jsou doslova takováto „*WebMaker je nástroj určený primárně pro tvorbu webových stránek pro systémy Tecomat s webovým serverem. Druhou funkcí je možnost využít nástroj pro vizualizaci v prostředí Mosaic*“

3.1.4.1 Nástroje WebMaker

Jednotlivé stránky je možné vytvářet pomocí následujících nástrojů. Samotný HTML kód je poté generován automaticky.



Obrázek 13 - Nástroje WebMaker (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.1 Statický text

Umožňuje vložit do stránky statický text. Lze jej na základě proměnné skrýt nebo může sloužit jako hypertextový odkaz. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.2 Zadávací pole

Zadávací pole je určeno k zobrazování a editaci proměnných. Nastavené hodnoty jsou do PLC odeslány až po stisknutí globálního odesílacího tlačítka. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.3 Zadávací pole s tlačítkem

Manuál (Teco a.s., 2013) říká, že zadávací pole s tlačítkem je používanější variantou zadávacího pole. Díky lokálnímu odesílacímu tlačítku je editace proměnných jednodušší. Pole kromě editace slouží také k zobrazování aktuální hodnoty proměnných. Do PLC jsou data odeslána po stisknutí konkrétního odesílacího tlačítka.

3.1.4.1.4 Odesílací tlačítko pro pole bez vlastního tlačítka

Po stisknutí tohoto tlačítka jsou do PLC odeslány data ze všech zadávacích polí bez odesílacího tlačítka. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.5 Obdélník

Tímto nástrojem je možné vložit do stránky jednoduchý obdélník. Pomocí proměnné je možné měnit jeho viditelnost nebo kliknutím nastavit do proměnné libovolnou číselnou hodnotu. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.6 Sloupec ovládaný proměnnou

Vloží obdélník, který vyjadřuje hodnotu proměnné pomocí šířky či výšky sloupce. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.7 Obdélník s barvou ovládanou proměnnou

Tomuto obdélníku je možné pomocí proměnné nastavit barvu výplně. Proměnnou musí být struktura o třech hodnotách USINT obsahujících intenzitu barev v RGB (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.8 Dvoustavový obrázek

O jednom z nejpoužívanějších prvků je v manuálu (Teco a.s., 2013) uváděno toto „*Dvoustavový obrázek slouží k ovládní a zobrazování proměnných typu BOOL. Při nenulové hodnotě je zobrazen jeden obrázek při nulové hodnotě druhý. Při kliknutí na obrázek je hodnota proměnné negována. Pro jiné typy proměnných je po nulové hodnotě nastavena hodnota 1 a po nenulové hodnotě 0.*“

3.1.4.1.9 Prvek pro nastavení hodnoty proměnné

Pomocí tohoto nástroje je nastavena určitá hodnota do řídicí proměnné. Prvek může měnit svůj vzhled pomocí dvou obrázků. Jeden se zobrazuje v klidovém stavu a druhý ve stisknutém stavu, tím je zaručena zpětná vazba uživateli po stisku prvku. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.10 Vícestavový obrázek

Vícestavový obrázek umožňuje zobrazovat hodnoty celočíselné proměnné pomocí obrázků. Ke každé hodnotě proměnné je přiřazen konkrétní obrázek, který se zobrazí při nabytí dané hodnoty. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.11 Statický obrázek

V manuálu (Teco a.s., 2013) jsou funkce statického obrázku popsány takto. Tento nástroj vloží statický obrázek, kterému je možné přiřadit hypertextový odkaz ať na jakoukoliv webovou adresu nebo na jinou stránku ovládacího rozhraní. Obrázek je možné skrývat a zobrazovat na základě hodnoty k tomu určené proměnné.

3.1.4.1.12 Obraz z IP kamery

Prvek Obraz z IP kamery periodicky načítá data poskytovaná IP kamerami. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.13 Pole pro odesílání souborů

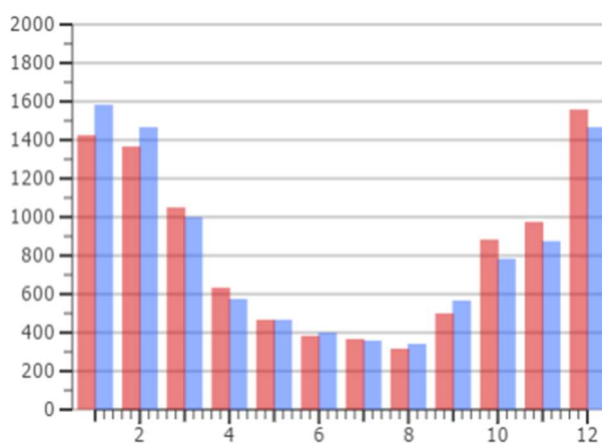
Pomocí tohoto pole je možné z webových stránek odesílat soubory do PLC. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.14 Obrázek řízený řetězcem

Tento nástroj vloží obrázek, kterému je proměnnou typu STRING určeno umístění na stránce. Zdroj obrázku může být na SD kartě vložené v PLC nebo URL odkaz. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.15 Kreslicí plátno

Je prvek, jehož vzhled určuje řídicí struktura. Kreslicí plátno je využíváno například k zobrazení grafů, výběru RGB barvy atd. Řídicí strukturu určují specializované knihovny funkcí k tomu vytvořené. (Teco a.s., 2013)



Obrázek 14 - Graf zobrazený pomocí kreslicího plátna funkcemi z knihovny CanvasObjectsLib (Teco a.s., 2016)

3.1.4.1.16 Vložená webová stránka

Je nástroj umožňující do stránky vnořit jinou webovou stránku. Na této stránce je možné provádět všechny úkony jako při otevření samostatně ve webovém prohlížeči. (Teco a.s., 2013)

3.1.4.1.17 Rozbalovací seznam

Je obdobou standardního ComboBoxu. Jednotlivým prvkům přiřadí zobrazovaný text a hodnota ukládaná do řídicí proměnné po jeho vybrání. Je možné ukládat jak číselné, tak textové hodnoty. Maximálním počtem prvků v jednom seznamu je 10. (Teco a.s., 2013)

3.1.5 IEC manažer

Je nástroj pro organizaci a editaci položek v uživatelském programu. Je rozdělen do pěti podkategorií. (Teco a.s., 2010)

3.1.5.1 Předpisy programovatelných organizačních jednotek – POU

O POU se v (Teco a.s., 2010) dozvíme toto. Ve stromovém seznamu jsou zde zobrazeny všechny programy, funkce a funkční bloky, které jsou součástí projektu. Zanořováním do stromu se zobrazují jednotlivé části programů a proměnné v nich.

- VAR_INPUT
- VAR_IN_OUT
- VAR_OUTPUT
- VAR
- VAR_TEMP
- VAR_CONSTANT
- VAR_GLOBAL

3.1.5.2 Typy proměnných

V následující kategorii IEC manažeru jsou zobrazeny všechny systémové datové typy, ale i typy proměnných definovaných uživatelem v projektu. (Teco a.s., 2010)

3.1.5.3 Globální proměnné

O záložce Globální parametry se v (Teco a.s., 2010) dozvíme toto. V záložce Globální proměnné nalezneme proměnné, ke kterým je možné přistupovat z kteréhokoliv programu, jsou rozděleny na:

- Systémové proměnné (např. data vstupně / výstupních jednotek)
- Globální proměnné, jejichž definice jsou v projektu
- Síťové proměnné

Samotné globální proměnné mohou být definovány do následujících registrů:

- VAR_GLOBAL (jsou nulovány po ztrátě napětí nebo po restartech PLC)
- VAR_GLOBAL_RETAIN (aktuální hodnota je uložena do remanentních registrů, vymaže je pouze studený restart)
- VAR_GLOBAL_CONSTANT (globální konstanty)
- VAR_EXTERNAL (proměnné definované mimo IEC části programu)

3.1.5.4 Organizace úloh a instancí – konfigurace programu

V této záložce jsou zobrazeny organizace jednotlivých procesů, v kterých jsou definovány instance POU (programové organizační jednotky). Jednotlivé instance jsou prováděny podle určeného procesu. (Teco a.s., 2010)

Běžné programy jsou zařazeny do instancí s procesem P0. Tyto programy jsou prováděny v každém cyklu PLC. Dále se využívají procesy P61 a P62. Programy v nich zařazené se provedou pouze po restartech PLC. Této vlastnosti využívám v praktické části tak, že po restartu PLC nechám na mnou definovaný čas ustálit celý systém.

Tabulka 2 - Přehled procesů uživatelského programu a jejich určení (Teco a.s., 2007)

Procesy	Určení
P0	P0 základní proces
P1 až P4	P1 až P4 čtyřfázově aktivované procesy
P5 až P9	P5 až P9 časově aktivované procesy
P10 až P40	P10 až P40 uživatelsky aktivované procesy
P41 až P48	P41 až P48 přerušovací procesy
P49	P49 systémový proces
P50 až P57	P50 až P57 ošetření ladicího bodu
P58, P59	P58, P59 systémové procesy
P60	P60 balík podprogramů
P61	P61 systémový proces
P62	P62 teplý restart
P63	P63 studený restart
P64	P64 závěrečný proces cyklu

3.1.5.5 Knihovny

O knihovnách se v dokumentu (Teco a.s., 2010) píše doslova. „*Ve stromu jsou zobrazeny zařazené knihovny, které mohou přinášet do programu jinde vytvořené definice/předpisy pro funkční bloky, funkce, typy a globální proměnné. Uživatel používá tyto prvky, aniž by v nich mohl nebo musel provádět jakékoliv vlastní úpravy.*“

Uživatel může vytvářet své vlastní nebo do projektu přidávat jakékoliv dostupné knihovny funkcí.

3.1.6 Simulátor PLC

O simulátoru PLC píše (Urban, 2011) následující. „*Vestavěný simulátor PLC dovoluje ladit programy PLC, aniž by musel být připojen reálný hardware. To je důležité zejména ve fázi přípravy projektu. Simulovat lze všechny vyráběné typy PLC Tecomat. Simulační funkce jsou doplněny unikátní schopností systému Mosaic komunikovat s libovolným vizualizačním softwarem.*“

Simulátoru jsem hojně využíval v praktické části při testování programu na ovládání bazénové filtrace.

3.1.7 Firmware Updater

Firmware Updater je podrobně popsán v dokumentaci (Teco a.s., 2014), kde se popisuje i samotná práce s tímto nástrojem. Z dokumentu jsem vybral následující popis. „*Firmware Updater je nástroj pro správu softwarového vybavení v PLC zařízeních typu Tecomat Foxtrot komunikujících po síti Ethernet. Pomocí tohoto nástroje lze jednoduše měnit verze firmwarů centrálních jednotek Foxtrot i k nim připojených periferních modulů na komunikačních sběrnicích TCL2 nebo CIB.*“

V článku na webu TZB-info (Teco a.s., 2012) napsali o aktualizacích doslova toto. „*Přístup k novým verzím firmwaru a jiných souborů vydávaných společností Teco a.s. pak zajišťuje systém aktualizací, který na oficiálním FTP serveru společnosti získává informace o nově vydaných verzích. Firmwary a další potřebné soubory se z FTP serveru stahují v kompletních sadách přímo do počítače, což uživateli dává jistotu, že po úspěšné aktualizaci bude mít k jakémukoliv z těchto souborů přístup i v off-line režimu.*“

3.2 Použitý Hardware

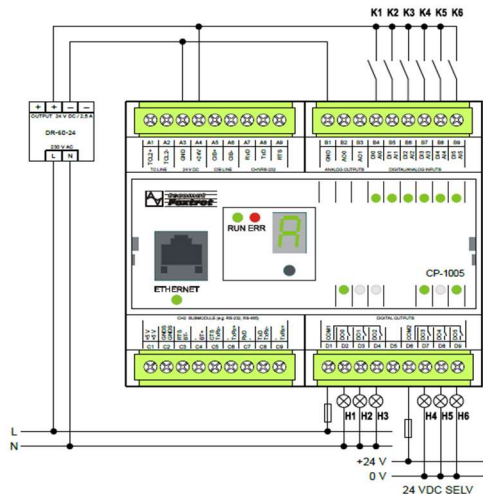
V této kapitole popisují jednotlivé hardwarové komponenty, které využívám při realizaci řešené problematiky.

3.2.1 CP-1005

Je programovatelný automat (PLC) podporující standard IEC EN 61131. Modul umožňuje připojení 6 vstupů. Každý vstup je možné nakonfigurovat jako analogový nebo digitální. Dále obsahuje 2 analogové výstupy 0–10 V a 6 digitálních výstupů. (Teco a.s., 2012)

Výkonnou část PLC zajišťuje centrální jednotka řady K určená pro aplikace s velkými nároky na výkon. Její součástí je zálohovaná paměť typu CMOS RAM pro uživatelské programy, data, tabulky, uživatelské registry a Flash paměť pro zálohování uživatelského programu. (Teco a.s., 2012)

Centrální jednotka umožňuje online programování. Při změně programu není nutné zastavovat PLC. Výměna programu je velmi rychlá a tím pádem jsou eliminovány možné škody vzniklé jeho zastavením. (Urban, 2011)



Obrázek 15 - Zapojení PLC CP-1005 (Teco a. s., 2016)

Pro komunikaci s externími moduly je možné použít dva sériové kanály. Prvním je jednokanálový komunikační kanál s rozhraním CIB (19,2 kbit/s) pro připojení externích periférií. Tento interní CIB kanál, ale neobsahuje napájení pro moduly na něj připojené. Na tuto sběrnici je možné připojit až 32 modulů. Druhým komunikačním kanálem je rozhraní TCL2 (RS-485, 345 kbit/s) určené pro připojení rozšiřujících modulů, které zvyšují počet I/O systému. Na sběrnici TCL je možné připojit až 10 TCL2 modulů + max 4 CIB mastery

CF-1141. CIB kanály vytvořené pomocí CIB masteru již zajišťují současně s komunikací i napájení jednotlivých modulů. Při využití 4 externích CIB masterů připojených ke kanálu TCL2 umožňuje centrální jednotka obsloužit až 256 CIB modulů + 32 modulů připojených na interní rozhraní CIB PLC. Další možností je ethernetová komunikace (100Mbit/s). (Teco a.s., 2020) (Teco a. s., 2016)

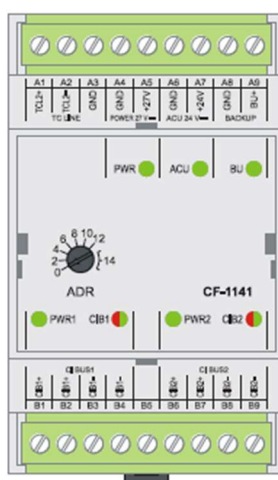
Součástí PLC je zabudovaný webserver umožňující volnou tvorbu webových stránek pomocí nástroje Webmaker. Samotné stránky jsou uloženy na SD kartě, která pro tyto účely musí být vložena do slotu na boku PLC. (Teco a.s., 2020)

Pro proměnné je v paměti vyhrazeno 64 kB z toho 32 kB pro remanentní proměnné. (jsou zachována jejich data i po teplém restartu PLC). Paměť pro uživatelský program a tabulky je 192 kB. (Teco a.s., 2012)

3.2.2 CF-1141

Následující text o CIB masteru jsem zpracoval podle těchto dokumentů. (Teco a.s., 2020) (Teco a.s., 2020). CIB master CF-1141 realizuje komunikaci s CIB periferními jednotkami a získaná data předává po systémové komunikační sběrnici TCL2 do nadřazené centrální jednotky. Modul je určen k rozšíření počtu větví instalační sběrnice CIB připojených pod jeden centrální modul systému Foxtrot. CIB master zároveň zajišťuje napájení modulů obou větví sběrnice. Na každý z kanálů je možné připojit až 32 CIB modulů. Stav komunikace modulů je zobrazován diodou na čele modulu. Červená barva LED dioda značí chybu komunikace některého z připojených modulů. Zelená je v případě bezchybné komunikace se všemi moduly.

CIB master je použit pro napájení některých připojených modulů.

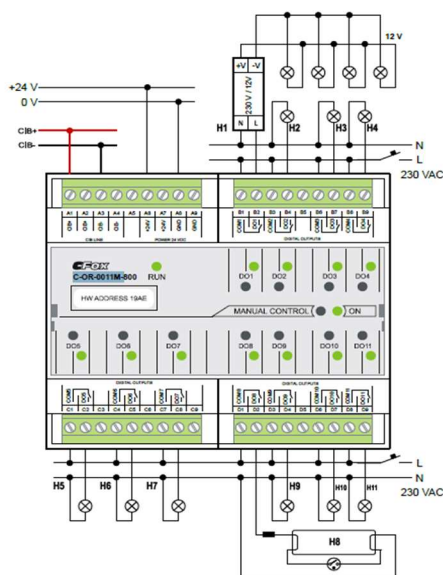


Obrázek 16 - CIB master CF-1140 (Teco a.s., 2020)

3.2.3 C-OR-0011M-800

Je modul obsahující 11 releových výstupů, které jsou určeny pro spínání nezávislých výkonových zátěží a libovolných spotřebičů. Stav jednotlivých výstupů je indikován LED diodami. Po aktivaci ručního režimu je možné výstupy, u kterých není tato funkce v HW konfiguraci zakázána, ovládat pomocí tlačítek nezávisle na řídicí jednotce. Napájení jednotky je možné přímo z CIB sběrnice, ale je preferováno připojením externího 24 V DC zdroje napájení. (Teco a.s., 2020)

V hardwarové konfiguraci je možné nastavit chování modulu v případě zastavení chodu řídicí jednotky tzv. režim HALT nebo její poruchy. Jednotlivým výstupům je možné nastavit, zda si v takovém případě zachovávají aktuální stav výstupů před zastavením řídicí jednotky či daný výstup odpojí (vynulují) bez ohledu na předchozí stav. (Teco a.s., 2020)



Obrázek 17 - Příklad zapojení spínání světel pomocí modulu C-OR-0011M-800 (Teco a. s., 2016)

3.2.4 IT-1604

V dokumentaci k modulu (Teco a. s., 2016) se uvádí následující. „Modul obsahuje 8 analogových vstupů se společnou svorkou a 2 analogové výstupy se společnou svorkou. Vstupy jsou univerzální, nezávisle konfigurovatelné jako napěťové, proudové vstupy, dvou vodičové připojení pasivních odporových čidel. Rozlišení je 16 bit, modul zabezpečuje zpracování naměřené hodnoty, převod na inženýrské jednotky apod. Analogové výstupy jsou

s rozlišením 10 bit, napěťové 0 + 10 V. Analogové vstupy a výstupy jsou galvanicky oddělené od vnitřních obvodů, stav každého vstupu je signalizován na panelu modulu.“

Modul komunikuje s PLC přes sběrnici TCL2. Adresování na této sběrnici je prováděno mechanickým přepínačem na čele jednotky nastavením adres 0-9. Jednotka musí mít externí napájení 24 V DC. (Teco a.s., 2012)

Tabulka 3 - Podporované snímače modulem IT-1604 (Teco a.s., 2012)

Podporované snímače
Pt100 1.385 (-90 / +400 °C)
Pt100 1.391 (-90 / +400 °C)
Pt1000 1.385 (-90 / +400 °C)
Pt1000 1.391 (-90 / +400 °C)
Ni1000 1.617 (-60 / +200 °C)
Ni1000 1.500 (-60 / +200 °C)
OV1000
KTY81-121
NTC termistor 12k / 25 °C
0 ÷ 2 kΩ
0 ÷ 200 kΩ

Na tento modul je připojeno teplotní čidlo z nádrže TUV.

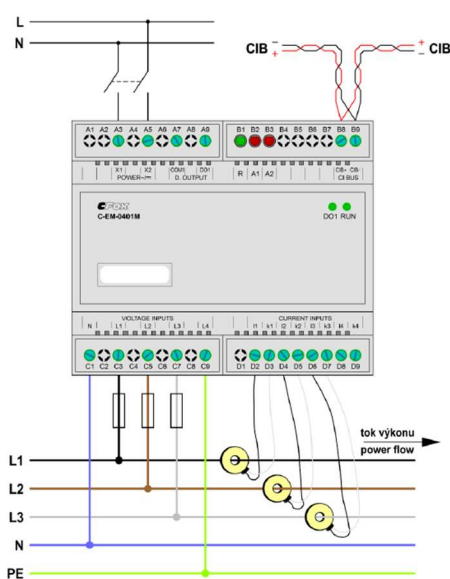


Obrázek 18 - Modul IT-1604 (Teco a.s., 2020)

3.2.5 C-EM-0401M

K tomuto elektroměru poskytuje výrobce (Teco a.s., 2020) tyto informace. „Modul C-EM-0401M je určen pro vzdálený monitoring spotřeby elektrické energie a kvality síťového napětí. Je vybaven 4 napěťovými vstupy, 4 proudovými vstupy a jedním reléovým výstupem (ochranné relé). Proudové vstupy jsou určeny pro připojení externích průvlakových či dělených měřících proudových traf. Modul obsahuje třífázový, čtyř-kvadrantní elektroměr, s oddělenou registrací činné energie odebrané (EP+) a dodané (EP-) do rozvodné sítě.“

Dále se na webu TZB-info v článku (Teco a.s., 2016) uvádí doslova toto. „Elektroměr je zároveň vybaven napěťovou a frekvenční ochranou pro řízení FVE, HFVE (hybridní fotovoltaické elektrárny) a kogeneračních jednotek. Je osazen rychlým reléovým výstupem, pomocí kterého se přímo realizují funkce napěťové a frekvenční ochrany. Rozsahy sledovaného podpětí, přepětí, podfrekvence a nadfrekvence, včetně reakčních časů se nastavují v parametrech elektroměru. Stejně se nastavuje i doba opětovného obnovení po odeznění příčiny aktivace ochrany.“



Obrázek 19 - Příklad zapojení modulu C-EM-0401M (Teco a.s., 2020)

Pomocí funkcí a funkčního bloku z knihovny CFoxLib je možné z elektroměru získat dodatečné informace uložené ve vnitřních registrech.

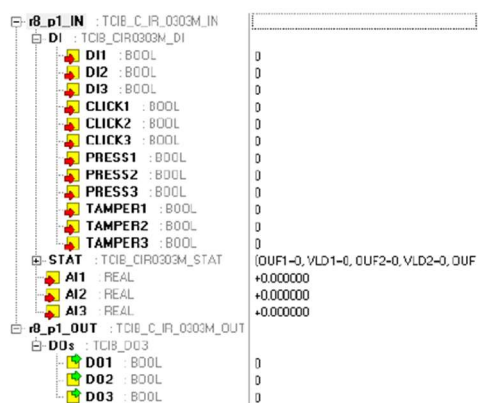
Tabulka 4 - Hodnoty předávané z elektroměru (KMB systems, s.r.o., 2016) (Šmejkal, 2017)

Název proměnné	Význam	Adresa	Datový typ	Jednotka
Frequency	Frekvence	4100	32bit / real	[Hz]
ULN1	Napětí 1	4352	32bit / real	[V]
ULN2	Napětí 2	4354	32bit / real	[V]
ULN3	Napětí 3	4356	32bit / real	[V]
UN	Napětí 4	4358	32bit / real	[V]
I1	Proud 1	4608	32bit / real	[A]
I2	Proud 2	4610	32bit / real	[A]
I3	Proud 3	4612	32bit / real	[A]
IN	Proud 4	4614	32bit / real	[A]
cos(φ)1	Účinník fáze 1	4876	32bit / real	-
cos(φ)2	Účinník fáze 2	4878	32bit / real	-
cos(φ)3	Účinník fáze 3	4880	32bit / real	-
cos(φ)N	Účinník fáze 4	4882	32bit / real	-
P1	Činný výkon 1	4896	32bit / real	[W]
P2	Činný výkon 2	4898	32bit / real	[W]
P3	Činný výkon 3	4900	32bit / real	[W]
PN	Činný výkon 4	4902	32bit / real	[W]
Q1	Jalový výkon 1	4904	32bit / real	[var]
Q2	Jalový výkon 2	4906	32bit / real	[var]
Q3	Jalový výkon 3	4908	32bit / real	[var]
QN	Jalový výkon 4	4910	32bit / real	[var]
S1	Zdánlivý výkon 1	4912	32bit / real	[VA]
S2	Zdánlivý výkon 2	4914	32bit / real	[VA]
S3	Zdánlivý výkon 3	4916	32bit / real	[VA]
SN	Zdánlivý výkon 4	4918	32bit / real	[VA]
3EP+	Celková spotřeba na všech fázích	8192	64 bit/ lreal	[Wh]
3EP-	Celková dodávka na všech fázích	8196	64 bit/ lreal	[Wh]
EP1+	Celková spotřeba 1	8208	64 bit/ lreal	[Wh]
EP2+	Celková spotřeba 2	8212	64 bit/ lreal	[Wh]
EP3+	Celková spotřeba 3	8216	64 bit/ lreal	[Wh]
EP4+	Celková spotřeba 4	8220	64 bit/ lreal	[Wh]
EP1-	Celková dodávka 1	8224	64 bit/ lreal	[Wh]
EP2-	Celková dodávka 2	8228	64 bit/ lreal	[Wh]
EP3-	Celková dodávka 3	8232	64 bit/ lreal	[Wh]
EP4-	Celková dodávka 4	8236	64 bit/ lreal	[Wh]

Modul je instalován na přívodním kabelu do domu a měří aktuální odběr či dodávku elektrické energie do rozvodné sítě.

3.2.6 C-IR-0303M

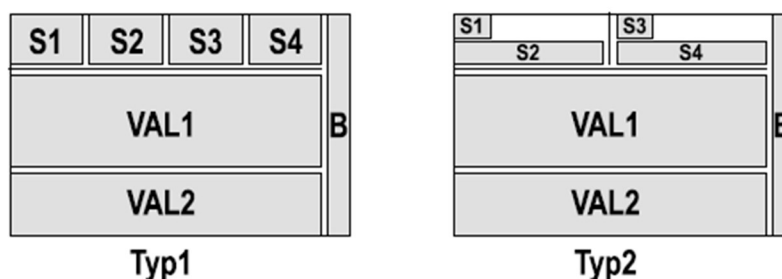
Modul C-IR-0303M je kombinovaný modul obsahující 3 univerzální AI nebo DI vstupy a 3 digitální výstupy. Každý ze vstupů lze nakonfigurovat jako binární vstup (např. kontakt z tepelného čerpadla) nebo jako analogový vstup (např. pro připojení teplotních odporových čidel). Každý ze vstupů lze nastavit buď jako AI nebo jako DI. (Teco a.s., 2020)



Obrázek 20 - Struktura předávaných dat z modulu C-IR-0303M (Teco a.s., 2020)

3.2.7 C-RC-0003R

Modul C-RC-0003R je interiérový ovladač s LDC displejem. Modul se skládá ze dvou částí. Z uživatelské, která se liší podle vybraného designu kompletace a z komunikačního modulu připojeného na sběrnici CIB, který je skryt v montážní krabici. Uživatelská část obsahuje 3místný LCD displej. Na prvním řádku se zobrazují ikony ve 2 zbývajících řádcích jsou čísla. K ovládání displeje složí 3 tlačítka. Modul umožňuje měřit teplotu prostoru, vlhkost vzduchu a připojení jednoho AI/DI vstupu např. pro další čidlo teploty nebo mechanické tlačítko. (Teco a.s., 2020)



Obrázek 21 - Typy rozložení LCD displeje modulu C-RC-0003R (Teco a.s., 2020)

LCD displej umožňuje dva typy formátování (viz. Obrázek 21 - Typy rozložení LCD displeje modulu C-RC-0003R). Podle typu rozložení je možné v oblastech S1-S4 zobrazovat předem určené ikony či texty. Výběr je prováděn zápisem hodnoty do výstupní proměnné *DISP.symbols* datového typu WORD. Oblasti VAL1 a VAL2 jsou určeny pro zobrazování číselných hodnot i s jednotkami. Konkrétní jednotky se určí výstupní proměnnou *DISP.units* hodnotou WORD. Podsvícení displeje může být zhasnuto, trvale svítit nebo blikat podle nastavení výstupní proměnné *DISP.light*. (Teco a.s., 2020)

3.2.8 SSR relé

SSR (Solid State Relé) je polovodičové relé umožňující rychlé spínání a vypínání bez jakýchkoli pohyblivých částí. Je ideální pro spínání v proměnlivých intervalech s rychlou reakcí jako je např. spotřeba spalování elektrické energie v topné spirále. (SSR neznamena jen "super spolehlivé relé", 2015)

Tyto součástky využívám ke spínání topných spirál v nádrži TUV.

3.2.9 C-IS-0404S

Je CIB modul v bužírkovém provedení obsahující 4 konfigurovatelné vstupy AI/DI a 4 výstup DO. Vstupy je možné využít jako binární nebo jako analogové pro měření teploty, odporu 0–100 k Ω nebo napětí 0–2 V. Výstupy je možné využít buď jako half-H můstky nebo jako PWM výstupy. (C-IS-0404S, 2021)

3.3 Významné spotřebiče v domě

V následující kapitole je uveden stručný popis významných spotřebičů v domě.

3.3.1 Tepelné čerpadlo

Zdrojem tepla pro dům je tepelné čerpadlo vzduch – voda Panasonic Aquarea řady systému Bi-blok. Skládá se ze dvou jednotek vnitřní a venkovní. Příkon čerpadla je 2,51 kW a tepelný výkon při ideálních podmínkách je až 9kW. Tepelné čerpadlo je do sítě připojeno třífázově. Nadřazený řídicí systém může tepelné čerpadlo ovládat pouze povelom Zapni/Vypni. (Panasonic Corporation, 2013)

Vyrobené teplo je dodáváno do AKU nádrže nebo do zásobníku TUV (teplé užitkové vody). AKU nádrž je určena pro uchování topné vody do systému vytápění.

3.3.2 Zásobník teplé užitkové vody (TUV)

Zásobník o objemu 275 litrů je primárně vytápěn tepelným čerpadlem pomocí trubkového výměníku umístěného ve spodní části. Voda je vytápěna na požadovanou teplotu využitím výkonu tepelného čerpadla, které dle požadavku střídavě vytápí zásobník TUV a AKU nádrž topné vody. (Panasonic Corporation, 2013)

V případě nedostatečného výkonu tepelného čerpadla řídicí jednotka tepelného čerpadla spíná záložní elektrickou spirálu o příkonu 3kW. Protože topná spirála slouží pouze pro vykrytí aktuálního nedostatku teplé vody, je spirála umístěna ve středu zásobníku. Tím je zkrácena doba reakce systému na požadavek teplé vody. Toto umístěním však neumožňuje vytápět spirálou celý objem zásobníku.

Nádrž je z výroby vybavena dvěma jímkami pro umístění teplotních čidel. Jedna je umístěná pod topnou spirálou a druhá nad ní. Pro řízení topné spirály je nutné využít jímkou umístěnou v horní části bojleru. V této jínce je, ale standardně umístěno čidlo pro tepelné čerpadlo. Z tohoto důvodu bylo nutno do horní jímkou instalovat speciální kombinované teplotní čidlo obsahující snímač jak pro tepelné čerpadlo, tak pro řídicí systém.

3.3.3 Další spotřebiče

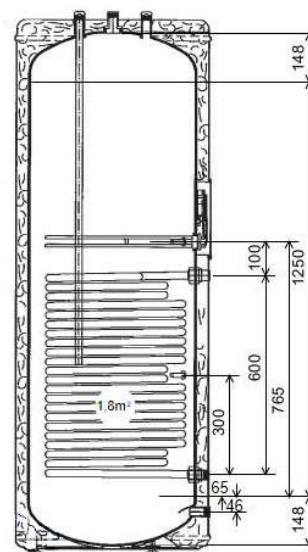
Mezi další významné spotřebiče ovládané pomocí řídicího systému se řadí oběhové čerpadlo filtrace bazénu a oběhové čerpadlo filtrace v zahradním jezírku. Spotřebiče jako myčka nádobí nebo pračka nejsou uzpůsobeny pro automatické řízení nadřazeným systémem.

3.4 Zdroje elektrické energie

Dům využívá energii dodávanou z rozvodné sítě a fotovoltaické elektrárny

3.4.1 Rozvodná síť

Dodavatelem elektrické energie je společnost E.O.N. Energie, a.s. Elektrická energie je do domu dodávána z rozvodné sítě ve dvou cenových tarifech (nízkém a vysokém). Dodavatelem poskytuje denně 22 hodin v nízkém tarifu a 2 hodiny ve vysokém tarifu.



Obrázek 22 - Schéma zásobníku teplé vody (Panasonic Corporation, 2013)

Informaci o aktuálním tarifu získáváme z přijímače HDO (hromadné dálkové ovládání) a tato informace je připojena na vstup do řídicího systému.

3.4.2 FVE

Dalším zdrojem elektřiny je fotovoltaická elektrárna umístěná na střeše domu.

3.4.2.1 Strídač – SUNNY TRIPOWER 5000TL

Jedná se o třífázový strídač s maximálním výkonem 5000 W s účinností až 98 %. Standardními komunikačními rozhraními jsou Bluetooth, multifunkční relé a ethernetové připojení na portál Sunny Portal prostřednictvím funkce SMA Webconnect. Dokoupením submodulu je možné doplnit komunikaci pomocí kanálu RS485. Po připojení na Sunny Portalu je možné vidět aktuální výkon, celkový výkon za den nebo historii výroby v grafech. (SMA Solar Technology, 2014)

3.4.2.2 Fotovoltaické panely

Na jižní části střechy je osazeno 20 fotovoltaických panelů Benq 250w o celkovém výkonu 5kw.

4 Praktická část – řízení spotřeby elektřiny

Cílem této práce je řízení spotřeby elektrické energie v domě. Jako velice neefektivní a finančně nevýhodné se v průběhu let ukázalo nedostatečné využívání přebytků elektrické energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou. Důvodem je značný rozdíl mezi prodejní a nákupní cenou. Jedna kWh elektrické energie je v cenách bez DPH prodávána za 0,5 Kč naproti tomu je však nakupována v průměrné ceně ve vysokém tarifu za 3,36 Kč a v nízkém tarifu za 2,65 Kč. Z tohoto důvodu je efektivní vyrobenou energii spotřebovat v domě a neprodávat ji do rozvodné sítě. Toto je základním cílem navrženého řešení.

V domě je již instalován systém inteligentní elektroinstalace od společnosti Teco a.s. skládající se z řídicí jednotky Foxtrot a sběrníkových jednotek řady CFox. Systém ovládá vytápění, osvětlení a další technologie. Pro splnění cíle práce bylo nutné navrhnout nový software a doplnit stávající hardwarovou instalaci o vstupně-výstupní jednotku C-IS-0404S, 3 kusy SSR relé, inteligentní elektroměr C-EM-0401M a nové kombinované teplotní čidlo do zásobníku TUV. Ostatní využívané komponenty byly již v domě nainstalovány.

4.1 Analýza spotřebičů v domě

V domě se nachází následující spotřebiče:

1. Bazénová filtrace – pro zajištění kvality vody musí být každý den spuštěna po určitý počet hodin. Tento počet se pohybuje v rozmezí 4–8 hodin denně podle teploty vody.
2. Filtrace zahradního jezírka – není možné ji téměř vypínat, protože její součástí je i UV lampa zamezující růstu řas.
3. Vytápění – vytápění domu zajišťuje tepelné čerpadlo, Je největším spotřebičem elektrické energie v domě. Během zimní sezóny, kdy je jeho odběr nejvýznamnější není možné využívat výrobu z FVE, protože je v této době velice malá nebo dokonce žádná. Jedinou možností, jak ušetřit je vypínat TČ v době vysokého tarifu elektřiny na základě signálu HDO.
4. Výroba TUV – ohřev vody zajišťuje tepelné čerpadlo, které také slouží k vytápění domu. Mimo topnou sezónu je tepelné čerpadlo přepnuto pouze na výrobu TUV. Ohřev TUV jsem vyhodnotil jako nejvýhodnější možnou variantu pro spotřebovávání přebytečné energie z FVE, která byla doposud prodávána do rozvodné sítě.
5. Ostatní spotřebiče – do této kategorie spadají spotřebiče jako jsou pračka, myčka, sušička apod. Tyto spotřebiče není možné řídit nadřazeným systémem. Je však možné

poskytnout uživateli informace podle kterých se může rozhodnout, zda je v tomto okamžiku výhodné tyto spotřebiče spouštět nebo počkat na vhodnější okamžik.

Z předchozích bodů vyplývají tyto možnosti řešení:

1. Řízení provozu bazénové filtrace
2. Řízení výroby TUV
3. Poskytnutí uživatelům informace o okamžitém stavu spotřeby elektrické energie

Navržený postup řešení se tedy skládá ze dvou kroků. V prvním kroku bude spuštěna bazénová filtrace na základě předpovědi výroby fotovoltaické elektrárny. V druhém kroku bude nespotřebovaná fotovoltaická energie ukládána pomocí elektrické topné spirály do zásobníku TUV. Tím pádem bude možné zejména v letních měsících, kdy se již dům nevytápí, tepelné čerpadlo úplně odstavit. Na LCD displeji v obývacím pokoji bude zobrazována aktuální spotřeba nebo výše energie dodávané do rozvodné sítě na všech třech fázích.

4.2 Řízení bazénové filtrace

Kvůli nutnosti zajištění chodu bazénové filtrace po definovaný počet hodin přes den, není možné spínat filtraci na kratší časové úseky podle aktuální nadvýroby. Například v den, kdy bude svítit slunce pouze přes poledne, by mohlo dojít k tomu, že nebude voda dostatečně ošetřena. Proto jsem se rozhodl chod filtrace naplánovat s předstihem podle předpovědi osvitů a z toho vyplývající předpokládané výroby elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou.

4.2.1 Předpověď osvitů

Předpověď získávám ze služby PV Forecast, která ji zdarma poskytuje pro konkrétní místo určené zeměpisnými souřadnicemi. Předpověď zahrnuje intenzitu osvitů ve W/m², teplotu a srážkový úhrn v mm. Všechna data jsou dodávána s přesností na hodiny na 5 dní dopředu. Aktualizovanou předpověď je možné stahovat každý den před 12. a 24. hodinou.

Pro komunikaci a příjem předpovědi ze serverů PV Forecast slouží knihovna funkcí PVForecastLib vytvořená společností Teco a.s. a Univerzitním centrem energeticky efektivních budov ČVUT v Praze.

Z knihovny jsem využil dva funkční bloky a struktury pro ukládání dat do polí.

fbPVF_Forecast je funkční blok sloužící ke stahování předpovědi ze serverů PV Forecast. Data jsou získávána na základě unikátního klíče, který jsem získal při registraci na stránkách <http://wp2.pvforecast.cz/registrace/>. Dalšími vstupními parametry jsou zeměpisná délka a šířka. Data přes výstupní proměnnou *data* ukládá funkční blok do pole datového typu *T_PVF_Prediction*. Struktura tohoto pole je také součástí knihovny.

fbPVF_GetPower je funkční blok, který vypočítá předpokládaný výkon elektrárny pro každou hodinu dne v kWh na základě předpovědi osvitů a následujících údajů o fotovoltaické elektrárně:

- Zeměpisná šířka
- Zeměpisná délka
- Sklon FVE panelů ve stupních
- Orientace vůči světovým stranám
- Instalovaný výkon FVE v kWp
- Účinnost systému FVE s měničem

Pro samotnou komunikaci se serverem PV Forecast jsem vytvořil obecný komunikační kanál s následujícími parametry komunikace:

Tabulka 5 - Parametry komunikace UNI kanálu

Parametry komunikace UNI kanálu	
Velikost přijímací zóny	512
Velikost vysílací zóny	512
Protokol	TCP Client
Vzdálená IP adresa	0.0.0.0
Vzdálený port	61000
Místní port	61000

Níže je uveden zápis funkčních bloků s parametry potřebnými pro jejich chod.

```

1. PVF_Forecast(
2.     enable      := (TIME_ACTION_nova_predpoved.out1 OR download_manual OR
                    byl_studeny_restart) AND NOT busy,
3.     chanCode   := ETH1_uni3,
4.     key        := '17he6m',
5.     lat        := 49.466,
6.     lon        := 15.001,
7.     data       := forecast_data,
8.     errorMsg   => error_PVF_Forecast);

```

Kód 1 - Funkční blok fbPVF_Forecast

```

1. PVF_Power( enable      := PVF_Forecast.done,
2.           lat         := 49.466,
3.           lon         := 15.001,
4.           inclination := 15,
5.           azimuth     := 45,
6.           kilowattPeak := 5,
7.           efficiency  := 98,
8.           data        := forecast_data,
9.           errorMsg    => error_PVF_Power);

```

Kód 2 - Funkční blok fbPVF_GetPower

Novou předpověď stahuji každý den v noci ve 23:50 protože jsou vydána nová data s nejpřesnější předpovědí na následující den. Dále je předpověď stahována v případě požadavku uživatele nebo po studeném restartu PLC, kdy dojde ke ztrátě dat.

Po získání nových dat a výpočtu předpokládané výroby FVE si pro potřeby mého algoritmu převedu získaná data o výrobě a jejich časovou značku do nového pole *predpoved_vyroba*. Toto pole je 12 prvků dlouhé, protože filtrace bazénu bude spouštěna vždy pouze přes den v rozsahu maximálně 12 hodin.

```

1. IF PVF_Power.done THEN
2.   FOR i := 7 TO 19 DO
3.     predpoved_vyroba[i].vyroba := forecast_data.power[i].value;
4.     predpoved_vyroba[i].hodina := HOUR_OF_DT(forecast_data.datetime[i]);
5.   END_FOR;
6.   presun_hotovo := TRUE;
7. END_IF;

```

Kód 3 - Přesun získaných dat do nového pole

Toto nově vzniklé pole seřadím algoritmem Insertion sort od největšího po nejmenší podle předpokládané výroby.

```

1. IF TP_serad.Q THEN
2.   FOR y := 7 TO 18 DO
3.     z := y + 1;
4.     tmp_vyroba := predpoved_vyroba[z].vyroba;
5.     tmp_hodina := predpoved_vyroba[z].hodina;
6.     WHILE (z > 7) DO
7.       IF (tmp_vyroba > predpoved_vyroba[z - 1].vyroba) THEN
8.         predpoved_vyroba[z].vyroba := predpoved_vyroba[z - 1].vyroba;
9.         predpoved_vyroba[z].hodina := predpoved_vyroba[z - 1].hodina;
10.        z := z - 1;
11.      END_IF;
12.    EXIT;
13.  END_WHILE;
14.  predpoved_vyroba[z].vyroba := tmp_vyroba;
15.  predpoved_vyroba[z].hodina := tmp_hodina;
16. END_FOR;
17. presun_hotovo := FALSE;
18. predpoved_vyroba_serazeno := TRUE;
19. END_IF;

```

Kód 4 - Seřazení pole algoritmem Insertion sort

4.2.2 Výpočet nejvýhodnějších hodin chodu

Výpočet plánu chodu bazénové filtrace je zahájen ihned po získání nové předpovědi a přípravě nových dat do pole *predpoved_vyroba*. Z webového rozhraní je možné kdykoliv výpočet opakovat ručním zásahem.

Řídícím prvkem tohoto algoritmu je pole *Bazen_automatically_rezim* indexované od 7 do 19, kde je číslo indexu bráno jako denní hodina. Každý prvek pole se skládá ze 3 hodnot *plan*, *nadvyroba* a *chod*. Prvek plán je vyplňován uživatelem přes webové rozhraní a jsou to preferované hodiny chodu filtrace. Do prvku *nadvyroba* je na základě parametrů průměrné spotřeby domu a odběru bazénového čerpadla vypočítáno, zda je v danou hodinu předpokládána dostatečná výroba. Pokud je toto splněno, chod filtrace by v ideálním případě měl být plně pokryt výrobou FVE. Poslední prvek *chod* je již řídicí proměnná, na jejímž základě je spínán výstup pro bazénové čerpadlo.

Na začátku výpočtu jsou určeny hodiny, kdy je předpokládána *nadvyroba*. Oba parametry, se kterými je v tomto výpočtu počítáno jsou uživateli dostupné přes webové rozhraní a může je libovolně upravovat i dle zkušeností během provozu. Aktuální hodnota proměnné *prumerna_spotreba_letu* byla vypočítána podle statistiky spotřeby elektřiny v letních měsících po dobu 3 let. V případě splnění těchto podmínek je do proměnné *nadvyroba* zapsána hodnota TRUE.

Dále je sečteno kolik preferovaných hodin chodu označil uživatel v časovém plánu chodu filtrace. Součet určí počet hodin chodu, který je nutné dodržet.

```
1. FOR i := 7 TO 19 DO
2.     Bazen_automatically_rezim[i].chod := FALSE;
3.
4.     // výpočet předpokládané nadvýroby pro bazén
5.     IF (predpoved_vyroba[i].vyroba - prumerna_spotreba_letu - spotreba_bazen) >= 0
6.         THEN Bazen_automatically_rezim[predpoved_vyroba[i].hodina].nadvyroba := TRUE;
7.             SUMA_nadvyroba := SUMA_nadvyroba + 1;
8.     ELSE
9.         Bazen_automatically_rezim[predpoved_vyroba[i].hodina].nadvyroba := FALSE;
10.    END_IF;
11.
12.    IF Bazen_automatically_rezim[predpoved_vyroba[i].hodina].plan THEN
13.        SUMA_plan := SUMA_plan +1;
14.    END_IF;
15.
16. END_FOR;
```

Kód 5 - Výpočet nadvýroby a počtu hodin chodu

Přiřazování jednotlivých hodin chodu filtrace do plánu probíhá ve třech krocích.

1. Jsou vybrány ty hodiny, ve kterých je předpokládána nadvýroba a zároveň jsou to preferované hodiny chodu podle zadání uživatele.

```
1. WHILE SUMA_chod < SUMA_plan AND x <= 19 AND SUMA_nadvyroba <> 0 DO
2.   IF Bazen_automaticky_rezim[predpoved_vyroba[x].hodina].plan AND
3.     Bazen_automaticky_rezim[predpoved_vyroba[x].hodina].nadvyroba THEN
4.     Bazen_automaticky_rezim[predpoved_vyroba[x].hodina].chod := TRUE;
5.     SUMA_chod := SUMA_chod + 1;
6.   END_IF;
7.   x := x + 1;
8. END_WHILE;
```

Kód 6 - Přiřazení hodin s nadvýrobou a preferencí uživatele

2. V případě, že nebyl prvním krokem pokryt požadovaný počet hodin, jsou jako další hodiny přidávány ty, u kterých je předpověď výroby alespoň vyšší než průměrná spotřeba domu. Tudíž je zde pravděpodobnost alespoň nějaké výroby a tím vzniká částečná úspora elektřiny. Díky seřazení pole *predpoved_vyroba* od největšího po nejmenší jsou jako první přidávány do plánu hodiny s nejvyšší výrobou. Chod filtrace v čase vysokého tarifu je povolen v případě předpokládané nadvýroby. Pokud je v tomto čase předpokládána výroba alespoň vyšší než průměrná, může uživatel z webového rozhraní povolit chod přepínačem „*Sepnutí při VT podmíněno nadvýrobou*“.

```
1. WHILE SUMA_chod < SUMA_plan AND y <= 19 DO
2.   IF predpoved_vyroba[y].vyroba >= prumerana_spotreba_leto AND NOT
3.     Bazen_automaticky_rezim[predpoved_vyroba[y].hodina].chod THEN
4.     IF blokace_HDO AND predpoved_vyroba[y].hodina = 12 AND NOT
5.       Bazen_automaticky_rezim[predpoved_vyroba[y].hodina].nadvyroba THEN
6.       EXIT;
7.     END_IF;
8.     Bazen_automaticky_rezim[predpoved_vyroba[y].hodina].chod := TRUE;
9.     SUMA_chod := SUMA_chod + 1;
10.  END_IF;
11.  y := y + 1;
12. END_WHILE;
```

Kód 7 - Doplnění hodin s výrobou alespoň vyšší než průměrná spotřeba domu

3. Pokud ani ve druhém kroku nebyl pokryt požadovaný počet hodin chodu jsou do plánu přiřazeny preferované hodiny z plánu určeného uživatelem. Tato situace může nastat v případě nízkého slunečního svitu.

```

1. WHILE SUMA_chod < SUMA_plan DO
2.   IF Bazen_automatically_rezim[predpoved_vyroba[z].hodina].plan AND NOT
3.     Bazen_automatically_rezim[predpoved_vyroba[z].hodina].chod THEN
4.     Bazen_automatically_rezim[predpoved_vyroba[z].hodina].chod := TRUE;
5.     SUMA_chod := SUMA_chod + 1;
6.   END_IF;
7.   z := z + 1;
8. END_WHILE;

```

Kód 8 - Doplnění hodin podle plánu preferovaných hodin

Samotné spínání filtrace je ještě podmíněno ručním režimem ovládání. Pokud uživatel tuto možnost aktivuje není již chod řízen automaticky podle algoritmu, ale pouze na základě přepínače *Chod ZAP/VYP*.

Při automatickém režimu pomocí proměnné ze systémového registru PLC na adrese S8 získám číslo aktuální hodiny. Pro tuto proměnnou mám vytvořen vlastní alias *M_DT_actual_hour*. V případě, že se aktuální hodina shoduje s indexem pole *Bazen_automatically_rezim*, jehož proměnná chod je TRUE je sepnut výstup na jednotce C-OR-0011M-800 s aliasem *RVP2_OUT_Z_bazen_technologie*.

```

1. IF RR_bazen_technologie THEN
2.   RVP2_OUT_Z_bazen_technologie := RR_bazen_technologie_on_off;
3.
4. ELSE
5.
6.   CASE M_DT_actual_hour OF
7.     7 :
8.     IF Bazen_automatically_rezim[7].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie := TRUE;
9.     ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
10.    8 :
11.    IF Bazen_automatically_rezim[8].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
12.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
13.    9 :
14.    IF Bazen_automatically_rezim[9].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
15.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
16.    10 :
17.    IF Bazen_automatically_rezim[10].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
18.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
19.    11 :
20.    IF Bazen_automatically_rezim[11].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
21.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
22.    12 :
23.    IF Bazen_automatically_rezim[12].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
24.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
25.    13 :
26.    IF Bazen_automatically_rezim[13].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
27.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
28.    14 :
29.    IF Bazen_automatically_rezim[14].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
30.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
31.    15 :
32.    IF Bazen_automatically_rezim[15].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
33.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
34.    16 :
35.    IF Bazen_automatically_rezim[16].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
36.    ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;

```

```

37. 17 :
38.   IF Bazen_automatically_rezim[17].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
39.   ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
40. 18 :
41.   IF Bazen_automatically_rezim[18].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
42.   ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
43. 19 :
44.   IF Bazen_automatically_rezim[19].chod THEN RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= TRUE;
45.   ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE; END_IF;
46.
47.   ELSE RVP2_OUT_Z_bazen_technologie:= FALSE;
48.
49. END_CASE;
50. END_IF;


```

Kód 9 - Spínání výstupu podle aktuální hodiny

4.2.3 Webové rozhraní pro ovládání bazénové filtrace

Pro ovládání výše popsaného algoritmu jsem v nástroji Webmaker vytvořil následující webové rozhraní. Většina ovládacích prvků jsou dvoustavové obrázky, které mění svůj vzhled na základě stavu řídicí proměnné. U stavových ikon indikujících přiřazení dané hodiny do plánu, je nastaven příznak *Pouze pro čtení*. Tím je uživateli znemožněno kliknutím na obrázek přepsat stav řídicí proměnné. Stejného principu jsem využil u zadávacích polí zobrazujících předpověď výroby. Je jim odebráno odesílací tlačítko a jsou zpřístupněny pouze pro čtení. Kliknutím na tlačítko *Nastavení* je uživatel přesměrován na další stránku, kde může nastavit proměnné pro průměrnou spotřebu a příkon oběhového čerpadla. Po kliknutí na tlačítko *Přepočítat* je znovu spuštěn algoritmus výpočtu časového plánu chodu filtrace. Této funkce by mělo být využíváno opatrně vzhledem k aktuálnímu času a předpokládané změně časového plánu.

Bazén

 Zpět

Ruční režim VYP Chod VYP

Automatický režim:

Sepnutí při VT podmíněno nadvýrobou:

Plán preferovaných hodin:

7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Chod:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Předpověď výroba kW/h

0.00	0.65	1.64	0.60	2.18	0.50	2.49	4.19	3.17	0.94	0.20	0.00	0.00
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Nadvýroba:

Obrázek 24 - Webové rozhraní pro ovládání bazénové filtrace

Bazén nastavení

 Zpět

Průměrná spotřeba domu přes léto: kW/h

Příkon oběhové čerpadlo filtrace: kW

Obrázek 23 - Webové rozhraní pro ovládání bazénové filtrace – nastavení proměnných

4.3 Ohřev TUV pomocí přebytků z výroby FVE

Pro realizaci tohoto bodu bylo nejprve nutné provést instalaci nového hardwaru a úpravu zapojení stávajících komponent.

Bylo provedeno:

1. Instalace elektroměru C-EM-0401M – elektroměr byl instalován do hlavního rozváděče v domě. Na jednotlivé žíly přívodního kabelu byla instalována převodová měřící trať. Do rozváděče byla také připojena novým vodičem komunikační sběrnice CIB.
2. Úprava zapojení topné spirály zásobníku TUV – při realizaci jsem zjistil, že se topná jednotka skládá ze tří topných spirál zapojených z výroby jednofázově. Protože se spotřeba elektrické energie v domě v jednotlivých fázích liší, jsou přebytky energie z FVE dodávané do sítě rozdílné. Z tohoto důvodu byla provedena změna zapojení tak, aby byla každá topná spirála napájena z jiné fáze.
3. Změna zapojení ovládní topné spirály v TČ – nově již TČ nespíná přímo topnou spirálu, ale požadavek TČ na sepnutí spirály byl připojen na vstup jednotky C-IR-0303M. Řídící systém na základě tohoto požadavku sepne napájení topné spirály.
4. Instalace jednotky C-IS-0404S a SSR relé – instalovaná jednotka umožňuje díky PWM výstupům ovládat SSR relé pro každou fázi samostatně. Tím lze v každé fázi spotřebovávat rozdílnou přebytečnou elektrickou energii.
5. Instalace teplotního čidla v zásobníku TUV – aby bylo možné ukončit vyhřívání zásobníku TUV po dosažení maximální teploty, bylo nutné vyměnit stávající teplotní čidlo TČ za kombinované teplotní čidlo. Ve spolupráci s výrobcem teplotních čidel bylo navrženo kombinované teplotní čidlo obsahující jak čidlo pro TČ, tak pro řídicí systém.
6. Informace o stavu tepelné pojistky zásobníku TUV – stav tepelné pojistky indikující přehřátí zásobníku byl připojen na vstup jednotky C-IR-0303M.

4.3.1 Popis algoritmu

Instalovaný elektroměr poskytuje informaci o okamžité hodnotě činného výkonu pro každou fázi samostatně. Tyto hodnoty udávají, zda je elektrická energie nakupována (kladné hodnoty) nebo dodávána do rozvodné sítě (záporné hodnoty). Jsou to vstupní proměnné elektroměru a jejich aliasy jsou *RH_Elektromer_IN.P1* až *P3*.

Po získání aktuálního stavu spotřeby domu je vypočítáno procento maximálního možného příkonu spirály. Při odběru energie z rozvodné sítě je tato hodnota 0 %. Maximální příkon každé dílčí elektrické spirály je 1000 W, a proto je hodnota při nadvýrobě vyšší než 1000 W rovna 100 %. A tato nadvýroba již nebude využita.

Ve výpočtu využívám funkce MAX a MIN, které porovnají dvě zadaná čísla a vyberou to větší či menší z nich. Tím je omezen možný rozsah procent na 0 až 100. Pomocí funkce ABS toto číslo převedu do absolutní hodnoty.

```
1. L1_procenta_prikon_spirala := ABS(MAX(MIN(0, (RH_Elektromer_IN.P1 / 10)), -100));
2. L2_procenta_prikon_spirala := ABS(MAX(MIN(0, (RH_Elektromer_IN.P2 / 10)), -100));
3. L3_procenta_prikon_spirala := ABS(MAX(MIN(0, (RH_Elektromer_IN.P3 / 10)), -100));
```

Kód 10 - Výpočet nadvýroby

Samotnou regulaci realizuji pomocí funkčního bloku PID21. Jedná se o regulátor s přímým řízením. Ten na základě měřené hodnoty MSR a požadované hodnoty RGR vypočítá akční zásah v % a uloží ho do výstupní proměnné OUT. Chování funkčního bloku je nastaveno do proměnné CFI pomocí struktury datového typu *_TPID21_IN_*. Měřenou hodnotou jsou pro každý regulátor vypočtená procenta možného maximálního příkonu spirály z nadvýroby na dané fázi. Požadovanou hodnotou je uživatelem nastavovaná přesnost regulace.

```
1. PID_L1(ACT := TRUE, // aktivace
2.     MSR := L1_procenta_prikon_spirala, // měřená hodnota
3.     RQR := PID_TUV_rqr, // žádaná hodnota
4.     CFI := PID_TUV_CFI_stuct); // řídicí struktura
5.
6. PID_L2(ACT := TRUE,
7.     MSR := L2_procenta_prikon_spirala,
8.     RQR := PID_TUV_rqr,
9.     CFI := PID_TUV_CFI_stuct);
10.
11. PID_L3(ACT := TRUE,
12.     MSR := L3_procenta_prikon_spirala,
13.     RQR := PID_TUV_rqr,
14.     CFI := PID_TUV_CFI_stuct);
```

Kód 11 - PID regulátory pro jednotlivé fáze

Spínání topných spirál provádím pomocí PWM výstupů jednotky C-IS-0404S. Režim výstupů je nastaven na procentní rozsah, frekvence je 5 Hz a polarita je nastavena na log 1. Pro případ poruchy PLC nebo jen jeho dočasného odstavení (režim HALT) jsem všem výstupům nastavil vlastnost nulování výstupu. To znamená, že jakmile není PLC v provozu všechny výstupy jsou nastaveny na 0 a nemůže tak dojít k nekontrolovanému vytápění nádrže.

Ochranným prvkem pro ohřev je kontakt z tepelné pojistky umístěné v nádrži TUV. Řídicím prvkem je funkční blok jednoúrovňového termostatu MFT1. Ten je aktivní pouze v případě, že je aktuálně měřená teplota v nádrži nižší než teplota požadovaná. Požadovanou teplotu si nastaví uživatel z webového rozhraní. Je žádoucí, aby toto byla maximální možná teplota vody v nádrži akceptovatelná uživatelem.

```
1. MFT1_teplota_TUV_FVE(In := RP2_IN_teplota_TUV,  
2.                               Rq := pozadovana_teplota_TUV_FVE,  
3.                               Cfg := MFT1_CFG_struct_TUV_FVE);
```

Kód 12 - Jednoúrovňový termostat MFT1 pro ovládání teploty v nádrži TUV

Automatický režim ohřevu topných spirál blokuji po dobu 10 minut po teplém i studeném restartu PLC. Tento čas slouží pro ustálení všech hodnot a vyrovnání spotřeby v domě. Informaci o restartu PLC získávám z programů umístěných v instancích s procesy 61 a 62. Tyto programy se spustí pouze v první smyčce PLC po jeho restartu.

```
1. TP_restart(IN := byl_studený_restart OR byl_teply_restart, PT := T#10m);
```

Kód 13 - Blokace po restartech PLC

Všechny topné spirály spínám na plný výkon v případě aktivace *Ručního režimu* z webového rozhraní nebo při požadavku z tepelného čerpadla.

Algoritmus PID regulátoru je nastaven tak, že při nákupu elektrické energie ze sítě je jeho výstupní proměnná rovna 100 % a v případě nadvýroby vyšší, než 1000 W je rovna 0 %. Z tohoto důvodu požadovanou procentuální hodnotu na PWM výstupech uvádím v opačné logice tedy (100 - výstup PID regulátoru).

```

1. IF RR_FVE_dohrev_TUV OR RP2_IN_TC_pozadavek_topna_spirala THEN
2.   IF MFT1_teplota_TUV_FVE.Out AND RP2_IN_teplna_pojistka_TUV THEN
3.     RP2_OUT_PWM_L1 := 100;
4.     RP2_OUT_PWM_L2 := 100;
5.     RP2_OUT_PWM_L3 := 100;
6.
7.     L1_prikon      := 1000;
8.     L2_prikon      := 1000;
9.     L3_prikon      := 1000;
10.    celkem_prikon   := 3000;
11.  ELSE
12.    RP2_OUT_PWM_L1 := 0;
13.    RP2_OUT_PWM_L2 := 0;
14.    RP2_OUT_PWM_L3 := 0;
15.  END_IF;
16. ELSIF FVE_dohrev_TUV_povoleno THEN
17.   IF MFT1_teplota_TUV_FVE.Out AND RP2_IN_teplna_pojistka_TUV AND NOT
18.     TP_restart.Q THEN
19.     RP2_OUT_PWM_L1 := REAL_TO_USINT(100.0 - PID_L1.OUT);
20.     RP2_OUT_PWM_L2 := REAL_TO_USINT(100.0 - PID_L2.OUT);
21.     RP2_OUT_PWM_L3 := REAL_TO_USINT(100.0 - PID_L3.OUT);
22.   ELSE
23.     RP2_OUT_PWM_L1 := 0;
24.     RP2_OUT_PWM_L2 := 0;
25.     RP2_OUT_PWM_L3 := 0;
26.   END_IF;
27. ELSE
28.   RP2_OUT_PWM_L1 := 0;
29.   RP2_OUT_PWM_L2 := 0;
30.   RP2_OUT_PWM_L3 := 0;
31. END_IF;

```

Kód 14 - Řízení elektrických patron PWM výstupy pro ohřev TUV

4.3.2 Přehledová data ve webovém rozhraní

Pro přehled uživatele o stavu celého systému vytápění nádrže TUV jsem do webového rozhraní umístil informace o aktuálním odběru domu, aktuálně dodávaném příkonu do topných spirál a orientační spotřebu topných spirál za celý den.

Aktuální odběr domu prezentuji pouze jako vizualizaci okamžité hodnoty činného výkonu pro každou fázi samostatně a součtovou hodnotu všech fází.

Aktuálně dodávaný příkon do TUV vypočítávám ve wattech následujícím vzorcem (100 - výstup PID regulátoru * 10). V případě sepnutí topných spirál v ručním režimu nebo v případě požadavku z TČ je příkon každé spirály 1000 W.

Posledními zobrazenými údaji jsou orientační celkový příkon jednotlivých topných spirál za aktuální den. Data vypočítávám v periodě 100 milisekund.

```

1. IF FVE_dohrev_TUV_povoleno AND NOT RR_FVE_dohrev_TUV THEN
2.   // zobrazení na webu příkon W
3.   L1_prikon      := (100.0 - PID_L1.OUT) * 10;
4.   L2_prikon      := (100.0 - PID_L2.OUT) * 10;
5.   L3_prikon      := (100.0 - PID_L3.OUT) * 10;
6.   celkem_prikon := L1_prikon + L2_prikon + L3_prikon;

```

```

7. // celkový příkon za den Wh
8. IF M_DT_100ms_R_EDGE AND (L1_vykon > 0 OR L2_vykon > 0 OR L3_vykon > 0) THEN
9.   L1_suma_prikon := L1_suma_prikon + L1_prikon * 0.000028;
10.  L2_suma_prikon := L2_suma_prikon + L2_prikon * 0.000028;
11.  L3_suma_prikon := L3_suma_prikon + L3_prikon * 0.000028;
12.  celkem_suma_prikon := celkem_suma_prikon +
    (L1_prikon + L2_prikon + L3_prikon) * 0.000028;
13. END_IF;
14. END_IF;

```

Kód 15 - Přehledová data ve webovém rozhraní

4.3.3 Řízení tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo neumožňuje přímé řízení, ale pouze řízení ON/OFF. Spotřeba TUV se během dne výrazně liší. Největší spotřeba TUV je ve večerních hodinách. Z tohoto důvodu mohou během dne řízením ON/OFF dovolit TČ vytopit TUV na nižší teplotu. Tím si vytvořím prostor pro ukládání energie z FVE. Pro zajištění komfortu uživatelů jsem vytvořil časový program, kde uživatel určí pomocí intervalů, jakou teplotu TUV v danou dobu požaduje.

Tento časový plán realizuji pomocí funkčního bloku *TProg2* a týdenního časového plánu datového typu *_TimeProg2_Week_*. Jednotlivá časová okna vyplní uživatel z webového rozhraní a funkční blok určí, zda je aktuální čas v jednom ze dvou zadaných intervalů. Pokud se tak stane na jeho výstupu, bude hodnota TRUE. Dále uživatel určí, jaká bude požadovaná teplota TUV v rozmezí časových intervalů. Mimo ně bude TČ pracovat samostatně a vytápět TUV na teplotu, která je nastavena v jeho řídicí jednotce.

Pokud je tedy TUV dostatečně nahřáta, rozeptne se kontakt jednoúrovňového termostatu a já povolím odstavení tepelného čerpadla. Aby nebylo TČ zapínáno a vypínáno příliš často, nastavil jsem do konfigurace funkčního bloku termostatu 5 °C hysterezi teplot a zpoždění sepnutí či vypnutí je prodlouženo na 10 minut.

Tento algoritmus bude funkční pouze mimo topnou sezónu kdy TČ neslouží zároveň k nahřívání TUV, ale i k vytápění domu.

```

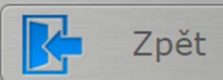
1. TProg2_TUV(TPg := data_TProg2_TUV);
2.
3. MFT1_tepnota_TUV_TC(In := RP2_IN_tepnota_TUV,
4.                    Rq := pozadovana_tepnota_TUV_cas,
5.                    Cfg := MFT1_CFG_struct_TC);
6.
7. TC_TUV_povoleno_odstavit := NOT MFT1_tepnota_TUV_TC.OUT AND TProg2_TUV.Out;

```

Kód 16 - Řízení chodu TČ

4.3.4 Webové rozhraní pro ovládání ohřevu TUV

TUV



Aktuální odběr domu		Aktuální příkon do TUV		Orientační celkový příkon topných spirál dnes	
P1	-96.37 W	L1	220.70 W	L1	665.75 Wh
P2	-87.55 W	L2	366.10 W	L2	888.05 Wh
P3	-78.25 W	L3	207.00 W	L3	832.74 Wh
Celkem	-262.18 W	Celkem	793.80 W	Celkem	2386.34 Wh

Vytápění TUV pomocí FVE **POVOLENO**

Ruční sepnutí spirál **VYP**

Aktuální teplota bojler 39.84 °C

Požadovaná teplota bojler při ohřevu FVE °C

Obrázek 26 - Webové rozhraní pro ovládání TUV

TUV nastavení



Přesnost regulace %

Obrázek 25 - Webové rozhraní pro ovládání TUV – Nastavení

TUV - časový program

Zpět

	OD	DO		OD	DO
Pondělí	22:00	23:59	-	01:00	18:00
Úterý	22:00	23:59	-	01:00	18:00
Středa	22:00	23:59	-	01:00	18:00
Čtvrtek	22:00	23:59	-	01:00	18:00
Pátek	22:00	23:59	-	01:00	18:00
Sobota	22:00	23:59	-	01:00	18:00
Neděle	22:00	23:59	-	01:00	18:00

Požadovaná teplota v intervalu °C

Obrázek 27 - Webové rozhraní pro ovládání TUV – Časový program

4.4 Zpřístupnění informace o aktuálním stavu spotřeby elektrické energie

Pro zobrazení aktuálních informací o spotřebě jsem využil interiérový ovladač C-RC-0003R umístěný v obývacím pokoji. Zvolil jsem typ rozložení 1, protože pomocí ovladače je ještě ovládáno vytápění místnosti a větrání.

Pro lepší orientaci mezi jednotlivými režimy zobrazuji v oblastech S1 – S4 ikony. Na výběr je celkem ze 14 ikon. Výběr konkrétní ikony a její pozici jsem určil zapsáním do proměnné `RC_obyvak_OUT.DISP.SYMBOLS` datového typu `WORD`. Podle dokumentace k tomuto displeji jsem na základě pozice a požadované ikony vypočítal hodnotu v binární soustavě. Tuto hodnotu jsem převedl do desítkové soustavy a díky konverzi `INT_TO_WORD` mohu v programu použít snazší zápis v desítkové soustavě. Hodnota 3584 zobrazí na pozici S3 ikonu domečku.

```
1. CRC_obyvak_OUT.disp.symbols := INT_TO_WORD(3584);
```

Kód 17 - Zobrazení ikony na displeji

Jednotlivé stisky tlačítek odchyťávám funkčními bloky R_TRIG. Tento funkční blok složí k detekci náběžných hran na vstupní proměnné. Pokud vstupní proměnná změní svoji hodnotu na TRUE je na výstup vygenerován puls. Výstup je aktivní pouze po dobu jednoho cyklu PLC.

Podsvícení displeje ovládám pomocí funkčního bloku TON (Timer On Delay). Výstup je nastaven na TRUE v případě, že je na vstupu TRUE po dobu PT (předvolba časovače). V opačném případě je výstup nastaven na FALSE. V případě, že je stisknuto nějaké tlačítko zapíši do proměnné *RC_obyvak_OUT.disp.light*, která je datového typ BYTE, hodnotu určující 50% podsvícení.

```
1. R_TRIG_BTN_mode (Clk := CRC_obyvak_IN.DI.BTN3);
2. R_TRIG_BTN_plus (Clk := CRC_obyvak_IN.DI.BTN2);
3. R_TRIG_BTN_minus(Clk := CRC_obyvak_IN.DI.BTN1);
4.
5. TON_podsviceni(IN := NOT R_TRIG_BTN_mode.Q AND NOT R_TRIG_BTN_plus.Q AND NOT
                  R_TRIG_BTN_minus.Q, PT := T#20s);
6.
7. IF NOT TON_podsviceni.Q THEN
8.   CRC_obyvak_OUT.disp.light := INT_TO_BYTE(50);
9. ELSE
10.  RC_obyvak_OUT.disp.light := INT_TO_BYTE(0);
11. END_IF;
```

Kód 18 - Odchyt stisku tlačítka a řízení podsvícení displeje

Samotnou spotřebu zobrazuji ve čtyřech variantách. Výchozím zobrazením je součtový údaj ze všech fází. Pomocí tlačítek 1 a 2, která interpretuji jako + a –, je možné se přepnout na zobrazení spotřeby na jednotlivých fázích. To, který režim zobrazení je aktivní, určuje proměnná *CRC_vyroba_mode*.

```
1. IF R_TRIG_BTN_plus.Q THEN
2.   CRC_vyroba_mode := CRC_vyroba_mode + 1;
3. END_IF;
4.
5. IF R_TRIG_BTN_minus.Q THEN
6.   CRC_vyroba_mode := CRC_vyroba_mode - 1;
7. END_IF;
8.
9. // omezení na 4 režimy 0 - 3
10. IF CRC_vyroba_mode > 3 THEN
11.   CRC_vyroba_mode := 0;
12. END_IF;
```

Kód 19 - Práce s režimy zobrazení

Hodnoty aktuální spotřeby domu jsou zapisovány do proměnné *CRC_obyvak_OUT.disp.val1*. Do proměnné *CRC_obyvak_OUT.disp.val2* zapisuji číslo fáze v případě součtového odběru pouze nulu. Každá z hodnot má svou proměnnou *units*, která

určuje formát zobrazení a měrnou jednotku. Aktuální spotřebu zobrazují jako desetinné číslo v kW.

```
1. IF CRC_vyroba_mode = 0 THEN
2.   // velka pismena
3.   CRC_obyvak_OUT.disp.val1 := REAL_TO_INT(RH_Elektromer_IN.P1 +
                                             RH_Elektromer_IN.P2 +
                                             RH_Elektromer_IN.P3) / 100;
4.   CRC_obyvak_OUT.disp.units1 := INT_TO_BYTE(5);
5.
6.   // mala pismena
7.   CRC_obyvak_OUT.disp.val2 := 0;
8.   CRC_obyvak_OUT.disp.units2 := INT_TO_BYTE(64);
9.
10. END_IF;
```

Kód 20 - Zobrazení hodnot aktuální spotřeby na displeji



Obrázek 28 - Zobrazení aktuální spotřeby domu na třetí fázi

5 Závěr

Výsledkem této práce je funkční softwarové řešení zajišťující řízení nejvýznamnějších spotřebičů elektrické energie v domě a maximální využití přebytků výroby FVE. Tím bylo dosaženo znatelného snížení spotřeby elektrické energie.

Přebytečná vyrobená energie z FVE je využívána na provoz bazénové filtrace, která je nově řízena na základě předpovědi výroby. Největší úspory jsou dosahovány díky využití této energie na ohřev teplé užitkové vody. Díky nahřátí zásobníku TUV pomocí přebytků energie vyrobené FVE je možné dokonce v některých dnech zcela odstavit největší spotřebič elektrické energie v domě, kterým je TČ. Uživatelé domu mají také k dispozici informace o aktuálním stavu spotřeby elektrické energie. Na základě těchto informací mohou efektivně spouštět další domácí spotřebiče.

Výše uvedená řešení společně splňují zadání a cíle této bakalářské práce.

Další vylepšení celého systému spatřuji v instalaci oběhového čerpadla v nádrži TUV. To by již ohřátou vodu z horní části přivádělo zpět dolů na vstup do nádrže a tím by se podařilo postupně vyhřát celý objem vody. Díky tomu, že má nádrž dvě jímky pro teplotní čidla umístěné v horní a dolní části, by bylo možné spouštět oběhové čerpadlo pouze při určitém rozdílu těchto teplot.

Protože je elektrická energie vyrobená FVE rovnoměrně rozdělována mezi všechny tři elektrické fáze, je vhodné stejně rozdělit také spotřebu mezi tyto tři fáze. Z testovacího provozu vyplynula nutnost změnit zapojení zásuvek pro významné spotřebiče v domě tak, aby byly rozděleny do různých fází elektrické sítě. V aktuálním stavu jsou například myčka nádobí, pračka a sušička připojeny na shodnou fázi a tím dochází k nákupu energie od dodavatele z jedné fáze a prodeji z dalších dvou.

6 Seznam použitých zdrojů

C-IS-0404S, 2021. *Teco Catalog* [online]. Kolín: Teco a. s. [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://catalog.tecomat.cz/produkt/c-is-0404s-1>

GARLÍK, Bohumír, 2012. *Inteligentní budovy*. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 978-80-7300-440-8.

GRECHKA, Vladyslav, 2019. *Nástroj pro výuku programování PLC podle normy IEC EN 61131-3*. Praha. Dostupné také z:

<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/83691/F2-BP-2019-Grechka-Vladyslav-Grechka.B.P.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní. Vedoucí práce Prof. Ing. Milan Hofreiter, CSc.

KMB SYSTEMS, S.R.O., 2016. *Modbus-TCP and Modbus-RTU protocol documentation for panel meters, power quality analyzers and power factor controllers*. Liberec: KMB systems, s.r.o. Dostupné také z:

<http://www.kmb.cz/index.php/cs/component/phocadownload/category/14-dokumenty-komunikace?download=320:komunikacni-protokol-modbus-tcp-a-rtu-en-fw-v2-0>

Mosaic Single licence - Nová alternativa licencování, 2012. *TECO* [online]. Kolín: Teco a. s. [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.tecomat.cz/news/112/131/Mosaic-Single-licence-Nova-alternativa-licencovani/>

PANASONIC CORPORATION, 2013. *Service Manual: Domestic Hot Water Tank Unit System*. Panasonic Corporation. Dostupné také z:

<https://www.manualslib.com/manual/838247/Panasonic-Wh-Td20e3e5.html#manual>

PANASONIC CORPORATION, 2013. *Service Manual: Air-to-Water Heatpump*.

Panasonic Corporation. Dostupné také z:

https://www.panasonicproclub.com/uploads/CZ/catalogues/aquarea/service-manual/SXC9,12_F_E8_service%20manual_PAPAMY1311028CE.pdf

PLC Tecomat 1 – Seznámení a první program, 2018. *MyIms.cz* [online]. [cit. 2020-12-29].

Dostupné z: <https://www.myIms.cz/plc-tecomat-1-seznameni-a-prvni-program/>

SMA SOLAR TECHNOLOGY, 2014. *SUNNY TRIPOWER 5000TL–12000TL: Třífázový střídač (nejen) pro rodinné domy*. SMA Solar Technology. Dostupné také z:

<http://www.sticka.cz/user/10774/upload/stuff/files/14251319-datasheet-sma-sunny-tripower-stp-5000tl-12000tl-20.pdf>

SSR neznamená jen "super spolehlivé relé", 2015. *SOS electronic* [online]. SOS electronic

[cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.soselectronic.cz/articles/no-name/ssr-neznamena-jen-quot-super-spolehlive-rele-quot-1675>

ŠMEJKAL, Ladislav, 2017. Měření v chytrém domě s Tecomat Foxtrot. *AUTOMA*

[online]. **2017**(6), 16-18 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z:

https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10659.pdf

TECO A. S., 2016. *Příručka projektování Cfox, RFox a Foxtrot*. Rev.3d. Kolín. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00416_01_cf_oxrfoxprojektovani_cz

TECO A.S., 2007. *Programování PLC podle normy IEC 61 131-3 v prostředí Mosaic*. Desáté vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00321_01_m_osaic_progiec_cz

TECO A.S., 2007. *PŘÍRUČKA PROGRAMÁTORA PLC TECOMAT*. 13. vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z: [https://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/PLC_sup/TXV00109_\(v13\)_Prirucka_programatora_PLC_TECOMAT.pdf](https://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/PLC_sup/TXV00109_(v13)_Prirucka_programatora_PLC_TECOMAT.pdf)

TECO A.S., 2010. *ZAČÍNÁME V PROSTŘEDÍ MOSAIC*. 8. vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00320_01_m_osaic_progstart_cz

TECO A.S., 2012. *ZÁKLADNÍ DOKUMENTACE K MODULU IT-1604*. 2. vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv11604_00_foxtrot_it-1604_cz_en

TECO A.S., 2012. *Základní dokumentace modulu CP-1005*. 4. vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv11005_00_foxtrot_cp-1005_cz_en

TECO A.S., 2012. Aktualizovaná verze Firmware Updater nyní jako samostatně instalovatelný SW. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/110912-aktualizovana-verze-firmware-updater-nyni-jako-samostatne-intalovatelnny-sw>

TECO A.S., 2013. *Nástroj WebMaker*. Desáté vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00328_01_m_osaic_webmaker_cz

TECO A.S., 2014. *Nástroj Firmware Updater*. 8. vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00311_01_firmware_updater_cz

TECO A.S., 2016. *Knihovna CanvasObjectsLib*. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00397_01_m_osaic_canvasobjectslib

TECO A.S., 2016. Rychlé měření výroby a spotřeby elektrické energie, 3fázový elektroměr C-EM-0401M na sběrnici CIB. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/119122-rychle-mereni-vyroby-a-spotreby-elektricke-energie-3fazovy-elektromer-c-em-0401m-na-sbernici-cib>

TECO A.S., 2020. *PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY TECOMAT FOXTROT 2. 3.* vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z:
https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00450_01

TECO A.S., 2020. *Periferní moduly na sběrnici CIB.* 30. vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z:
https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00413_01_foxtrot_perifcib_cfox_cz-1

TECO A.S., 2020. *Katalog produktů.* Kolín: Teco a.s., 125 s.

TECO A.S., 2020. *SÉRIOVÁ KOMUNIKACE PROGRAMOVATELNÝCH AUTOMATŮ TECOMAT FOXTROT 2. 2.* vydání. Kolín: Teco a.s. Dostupné také z:
https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00469_01_foxtrot2_s-riov-komunikace_u02_c

URBAN, Luboš, 2005. Programování PLC podle normy IEC EN 61131-3 – víc než jednotné jazyky. *AUTOMA* [online]. (2) [cit. 2021-02-24]. Dostupné z:
https://automa.cz/cz/casopis-clanky/programovani-plc-podle-normy-iec-en-61131-3-vic-nez-jednotne-jazyky-2005_02_30310_1237/

URBAN, Luboš, 2011. Mosaic – vývojové prostředí pro PLC Tecomat podle normy IEC EN 61131-3. *AUTOMA* [online]. Teco a. s. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z:
https://automa.cz/cz/casopis-clanky/mosaic-vyvojove-prostredi-pro-plc-tecomat-podle-normy-iec-en-61131-3-2011_10_44444_5603/

VOJÁČEK, Antonín, 2011. Programovací režimy pro PLC dle IEC 61131-3 (CoDeSys). *Automatizace.HW.cz* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z:
<https://automatizace.hw.cz/programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys>

What Is Ladder Diagram. *EdrawMAX* [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z:
<https://www.edrawmax.com/article/what-is-ladder-diagram.html>

7 Přílohy

Výsledkem práce je vytvořený kód s délkou cca 600 řádků odpovídající cca 20 stranám textu je rozdělen do 8 programů každý řeší ucelenou oblast. Program *promenne.st* slouží pouze pro definice proměnných VAR_GLOBAL a VAR_GLOBAL RETAIN. Dále jsou v tomto programu definovány datové struktury a pole těchto datových struktur. Všechny tyto programy jsou přiloženy v elektronické příloze k bakalářské práci v souboru *Zdrojove kody.zip*.

- prg_Bazen.ST
- prg_Elektrarna_predpoved.ST
- prg_TUV.ST
- prg_TC.ST
- prg_Termostaty.ST
- prg_Studený_restart.ST
- prg_Teply_restart.ST
- promenne.ST

Realizace bakalářské práce představovala elektromontážní práce o rozsahu 10 hodin. Bylo nutné zakoupit nový hardware v ceně cca 10 000 Kč. Programování a testování všech funkcí představuje rozsah cca 80 hodin práce.