



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## ENERGETICKÝ MANAGEMENT RD S FOTOVOLTAICKÝM SYSTÉMEM

ENERGY MANAGEMENT OF RESIDENTIAL BUILDING WITH A PHOTOVOLTAIC SYSTEM

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kryštof Prášil

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2023

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. Kryštof Prášil

**ID:** 203326

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Energetický management RD s fotovoltaickým systémem**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Rešerše současných řešení pro řízení energetických toků v rodinných domech
2. Návrh zdrojového řešení pro definovaný objekt na základě určené spotřeby energie a kategorizace spotřebičů
3. Sestavení řídicího algoritmu pro monitoring a řízení (management využití přebytků z FVE, prioritizace vybraných okruhů, zachování hodnoty hlavního jistícího prvku)
4. Programování řídicího systému (PLC, Arduino, ...) a jeho testování
5. Zhodnocení energetické a ekonomické efektivity systému

V rámci SP budou zpracovány první tři body zadání.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 22.5.2023

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá zhodnocením spotřeby elektrické energie rodinného domu s fotovoltaickou elektrárnou a elektrickým vytápěním. Pro tento objekt byl navržen řídicí systém zajišťující optimalizaci spotřeby. V práci jsou shrnuty aktuálně dostupné možnosti řízení spotřeby v objektech s FVE. Následně se v práci nachází popis zvoleného způsobu řízení. V další části je sestaven finální algoritmus řídicího systému, kterému předcházelo testování v provozu a optimalizace. Nakonec je v práci uvedeno zhodnocení energetické a ekonomické efektivity systému.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaická elektrárna, fotovoltaika, PLC, programovatelný logický automat, řízení spotřeby, energetický management

## **Abstract**

This thesis deals with the evaluation of the electricity consumption of a family house with a photovoltaic power plant and electric heating. A control system was designed for this object, ensuring the optimization of consumption. The work summarizes the currently available options for power consumption management in buildings with photovoltaic plants. Subsequently, the thesis contains a description of the chosen management method. In the next part, the final algorithm of the control system is put together, which was preceded by operational testing and optimization. Finally, the thesis presents an evaluation of the energy and economic efficiency of the system.

## **Keywords**

Photovoltaic power plant, photovoltaics, PLC, programmable logic controller, consumption control, energy management

## **Bibliografická citace**

PRÁŠIL, Kryštof. Energetický management RD s fotovoltaickým systémem [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/151318>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Mastný.

## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení studenta:** *Kryštof Prášil*

**VUT ID studenta:** *203326*

**Typ práce:** *Diplomová práce*

**Akademický rok:** *2022/23*

**Téma závěrečné práce:** *Energetický management RD s  
fotovoltaickým systémem*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 22. května 2023

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Petru Mastnému, Ph.D. za odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat mému tatkově za možnost mu rozhrabat domovní rozvaděč, i když byl zpočátku proti. Mé mamce patří díky za odhalení neočekávaných provozních stavů při provozu navrhovaného systému.

V Brně dne: 22. května 2023

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1. POPIS OBJEKTU .....</b>	<b>12</b>
1.1 SPOTŘEBIČE .....	12
1.2 ODHAD SPOTŘEBY.....	13
1.3 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA.....	14
1.4 PŘEDPOVĚĎ VÝROBY FVE .....	15
1.5 ZHODNOCENÍ SPOTŘEBY A VÝROBY .....	17
<b>2. MOŽNOSTI ŘÍZENÍ SPOTŘEBY .....</b>	<b>18</b>
2.1 RUČNÍ ŘÍZENÍ .....	18
2.2 POUŽITÍ FUNKCÍ MĚNIČE .....	18
2.3 SYSTÉM KNX A PODOBNÉ.....	18
2.4 WATTROUTER® A PODOBNÉ.....	18
2.5 PLC.....	19
<b>3. ROZDĚLENÍ PLC .....</b>	<b>20</b>
3.1 ROZDĚLENÍ DLE KONSTRUKCE .....	20
3.2 ROZDĚLENÍ PODLE VELIKOSTI .....	20
3.3 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU PROGRAMOVÁNÍ.....	20
3.3.1 Jazyk strukturovaného textu (ST) .....	20
3.3.2 Jazyk funkčního blokového schématu (FBD) .....	21
3.3.3 Jazyk sekvenčního funkčního diagramu (SFC) .....	21
3.3.4 Jazyk seznamu instrukcí (IL).....	21
3.3.5 Jazyk příčkového diagramu (LD).....	21
<b>4. VÝBĚR VHODNÉHO PLC .....</b>	<b>22</b>
4.1 POŽADOVANÉ FUNKCE .....	22
4.1.1 Spotřebiče .....	22
4.1.2 Vstupy do PLC .....	23
4.1.3 Přepínání ostrov/síť .....	23
4.1.4 Vhodné PLC.....	23
<b>5. PROGRAMOVÁNÍ PLC.....</b>	<b>25</b>
5.1 LOGO!SOFT COMFORT.....	25
5.2 FUNKČNÍ BLOKY.....	25
5.2.1 Vstupy a výstupy.....	25
5.2.2 Zpracování analogových hodnot.....	25
5.2.3 Základní funkce.....	25
5.2.4 Časové funkce .....	26
5.2.5 Ostatní funkce .....	26
<b>6. ZAPOJENÍ PLC.....</b>	<b>28</b>

6.1	NAPÁJENÍ PLC .....	28
6.2	ZAPOJENÍ VSTUPŮ PLC .....	28
6.3	ZAPOJENÍ VÝSTUPŮ PLC .....	29
<b>7.</b>	<b>PROGRAM PLC.....</b>	<b>30</b>
7.1	KOMUNIKACE PLC A FVE .....	30
7.2	VÝVOJOVÝ DIAGRAM ALGORITMU .....	30
7.3	NAPROGRAMOVÁNÍ ALGORITMU .....	33
7.3.1	<i>Bojler 1</i> .....	33
7.3.2	<i>Další spotřebiče</i> .....	36
7.3.3	<i>Přepínání ostrov/sít</i> .....	38
7.4	DALŠÍ FUNKCE .....	38
7.4.1	<i>Cursor keys</i> .....	38
7.4.2	<i>Spínání bojleru 1</i> .....	39
7.4.3	<i>Datové obrazovky</i> .....	41
7.4.4	<i>Failsafe systém</i> .....	43
7.4.5	<i>Časování žebříkových radiátorů</i> .....	44
7.5	MOŽNOSTI ROZŠÍŘENÍ .....	45
<b>8.</b>	<b>ZHODNOCENÍ EFEKTIVITY SYSTÉMU .....</b>	<b>46</b>
8.1	ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ.....	46
8.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	47
8.3	UŽIVATELSKÝ POHLED .....	48
<b>9.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>49</b>
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>53</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1	Potřebná dodaná energie na vytápění domu.....	13
Obrázek 1.2	Schéma zapojení FVE.....	15
Obrázek 1.3	Prostředí programu PVGIS [1] .....	16
Obrázek 1.4	Předpokládaná výroba FVE v jednotlivých měsících [1].....	16
Obrázek 1.5	Porovnání spotřeby a výroby z FVE .....	17
Obrázek 7.1	Výřez vývojového diagramu přílohy B zobrazující vzorovou část pro 1 topnou rohož.....	32
Obrázek 7.2	Výřez FBD programu algoritmu pro spínání B1 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort .....	35
Obrázek 7.3	Výřez FBD programu pro spínání T10 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort.....	37
Obrázek 7.4	Výřez FBD programu s kurzorovým tlačítkem dolů pořízený v programu LOGO!Soft Comfort .....	39
Obrázek 7.5	Výřez FBD programu pro přepínání mezi sítí a FVE pořízený v programu LOGO!Soft Comfort .....	40
Obrázek 7.6	Výřez FBD programu s datovými obrazovkami pořízený v programu LOGO!Soft Comfort. ....	41
Obrázek 7.7	Detail datové obrazovky s prioritou 0 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort .....	42
Obrázek 7.8	Detail datové obrazovky s prioritou 3 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort .....	42
Obrázek 7.9	Detail datové obrazovky s prioritou 2 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort .....	43
Obrázek 7.10	Detail datové obrazovky s prioritou 1 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort.....	43
Obrázek 7.11	Výřez FBD programu se systémem failsafe pořízený v programu LOGO!Soft Comfort ..	44
Obrázek 7.12	Výřez FBD programu s ovládáním žebříkových radiátorů pořízený v programu LOGO!Soft Comfort .....	45
Obrázek 8.1	Výroba a spotřeba FVE z prostředí aplikace VRM.....	46
Obrázek 8.2	Spotřeby ze sítě ve sledovaných měsících z aplikace Smappee.....	47

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1	Instalované výkony topných rohoží (T), bojlerů (B) a radiátorů.....	12
Tabulka 4.1	Parametry PLC Siemens LOGO! 6ED1052-1MD08-0BA1 [14].....	24
Tabulka 4.2	Parametry rozšiřujícího modulu 6ED1055-1NB10-0BA2 [15] .....	24
Tabulka 6.1	Přiřazené topné rohože k daným výstupům PLC .....	29
Tabulka 7.1	Priorita spotřebičů a jejich parametry v algoritmu .....	33
Tabulka 8.1	Pořizovací cena jednotlivých komponent .....	47

# ÚVOD

V dnešní době prochází energetika velkou proměnou od centralizované výroby elektrické energie v systémových elektrárnách směrem k decentralizované výrobě v místních výrobnách. Tento jev pramení především z rostoucího počtu instalací obnovitelných zdrojů elektřiny. Jedním z oblíbených zástupců těchto výroben jsou fotovoltaické elektrárny instalované na střechách rodinných domů a podniků. Bohužel se v praxi často setkáváme s nesouběžností výroby a spotřeby v místě instalace, čímž dochází ke zbytečným energetickým a ekonomickým ztrátám. Právě optimalizací spotřeby v místě výroby se zabývá tato práce na příkladu rodinného domu s ostrovní FVE.

Cílem práce je průzkum dostupných řešení pro řízení spotřeby elektřiny v místě její výroby. Na základě tohoto průzkumu zvolit vhodné řešení pro daný objekt. V dalším postupu navrhnout algoritmus pro řízení spotřeby daného objektu v závislosti na výrobě z FVE. Tento algoritmus dále podrobit testovacímu provozu a provést jeho optimalizaci. Na základě získaných dat poté zhodnotit energetickou a ekonomickou účinnost navrženého řešení.

Po provedené rešerši bylo zvoleno řízení spotřeby pomocí PLC. Na základě průzkumu možností PLC byl zvolen vhodný model. Do tohoto modelu byl dále naprogramován navržený algoritmus a došlo k zapojení PLC do rozvodů domu. Algoritmus byl optimalizován na základě dvouměsíčního testovacího provozu. Po ukončení této fáze byla na základě získaných dat odhadnuta energetická a ekonomická efektivita systému.

Tato práce je členěna do 8 kapitol. V první kapitole je popsán sledovaný rodinný dům spolu s instalovanou fotovoltaickou elektrárnou a spotřebiči. Druhá kapitola obsahuje možnosti dostupné na trhu pro řízení spotřeby v místě výroby. Z těchto možností je vybráno řízení pomocí PLC, jehož dělení je popsáno v kapitole 3 a požadavky na PLC pro daný objekt jsou vyjmenovány v kapitole 4. Další kapitola se zabývá způsobem programování vybraného modelu PLC spolu s vysvětlením funkce použitých logických bloků. Kapitola šestá popisuje zapojení PLC. Finální algoritmus a jeho naprogramování spolu s objasněním rozšiřujících funkcí se nachází v kapitole 7. Poslední kapitola se zaměřuje na energetické a ekonomické zhodnocení systému spolu s uživatelským pohledem.

# 1. POPIS OBJEKTU

V této kapitole si popíšeme objekt rodinného domu, pro který bude proveden návrh na optimalizaci řízení spotřeby elektrické energie. Jedná se o novostavbu o obytné ploše 140 m<sup>2</sup>. Dům je dvoupatrový, nemá sklepní ani půdní prostory. Obvodové zdi jsou z tvárníc YTONG, zdi uvnitř jsou pak řešeny sádrokartonem. Zateplení domu je provedeno polystyrenem o tloušťce 200 mm a pod střechou se nachází foukaná izolace spolu se skelnou vatou. Podlahy jsou rovněž tepelně izolovány pomocí podlahového polystyrenu. Na střeše objektu se nachází fotovoltaická elektrárna o instalovaném výkonu 4,32 kWp.

## 1.1 Spotřebiče

Největší energetické náklady v domě jsou na vytápění. Vytápění domu je řešeno pomocí elektrických topných rohoží, které jsou zalité v betonových podlahách. V každé ze dvou koupelen se dále nachází elektrický žebříkový radiátor. Pro přípravu teplé vody jsou instalovány 2 bojlerů o objemu 80 l. Bojlerů jsou zapojeny sériově, kde z bojleru 1 (B1) je vyvedena teplá voda a do bojleru 2 (B2) je přivedena studená voda.

Podlahové rohože jsou celkem ve 13 místnostech, kdy rohož v každé místnosti je ovládána vlastním termostatem. Instalovaný výkon rohoží, bojlerů a žebříkových radiátorů spolu s umístěním jsou v tabulce 1.1.

Tabulka 1.1 Instalované výkony topných rohoží (T), bojlerů (B) a radiátorů

Spotřebič	Místnost	Instalovaný výkon [W]
T1	Vstupní hala	350
T2	Technická místnost	350
T3	Chodba 1.NP	720
T4	Koupelna 1.NP	350
T5	Pracovna	720
T6	Obývací pokoj s jídelnou	1800
T7	Zimní zahrada	750
T8	Šatna	870
T9	Ložnice	960
T10	Koupelna 2.NP	550
T11	Chodba 2.NP	720
T12	Dětský pokoj 1	1100
T13	Dětský pokoj 2	960
B1	Technická místnost	2000
B2	Technická místnost	1000
R1	Koupelna 1. NP	350
R2	Koupelna 2. NP	350

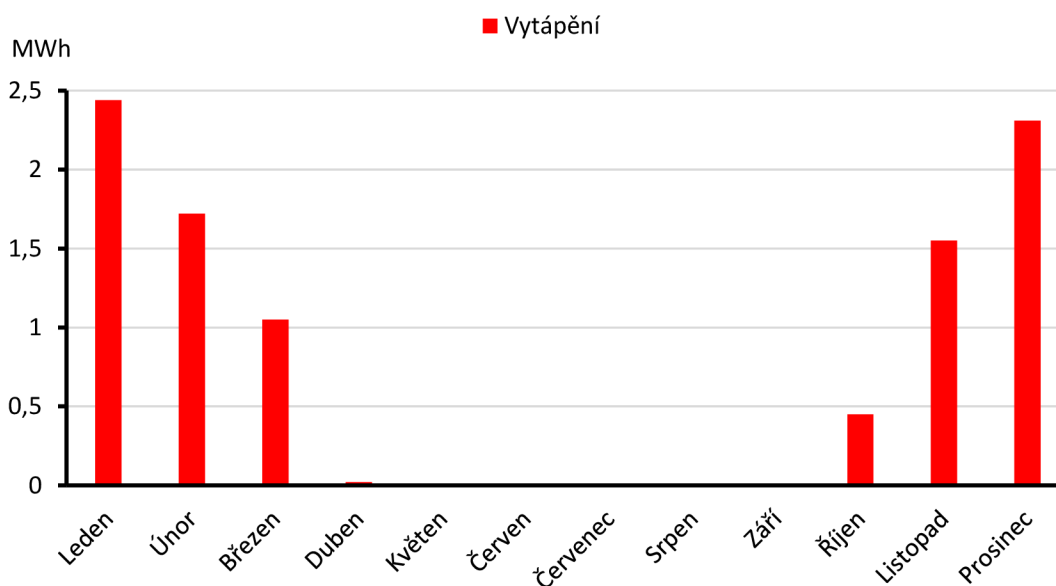
Dále se v domě nachází běžné spotřebiče a osvětlení. Mezi tyto spotřebiče patří:

- Pračka
- Sušička
- Myčka
- Indukční varná deska
- Trouba
- Mikrovlnná trouba
- Lednička
- Televize, počítače a další elektronika

## 1.2 Odhad spotřeby

Pro odhad spotřeby jsou spotřebiče rozděleny do 3 skupin. 1. skupina obsahuje pouze topné rohože. 2. skupina zahrnuje běžné spotřebiče a osvětlení. 3. skupinu zastupují bojlerů pro ohřev teplé vody.

Určení očekávané spotřeby topných rohoží je provedeno pomocí dokumentace k domu. Dle průkazu energetické náročnosti budovy je roční dodaná elektřina pro potřeby vytápění vypočítána na 9,54 MWh. Tuto spotřebu lze dále rozdělit do jednotlivých měsíců dle očekávaných venkovních teplot. Tyto údaje jsou zobrazeny v grafu na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1 Potřebná dodaná energie na vytápění domu

Druhá skupina spotřebičů sestává z osvětlení a běžných spotřebičů. Z důvodu absence dat bylo předpokládáno, že spotřeba této skupiny v domě se nebude zásadně lišit od spotřeby těchto spotřebičů v předešlém bydlení uživatelů. Běžné spotřebiče mimo topení a bojlerů pro ohřev vody mají podobnou skladbu a osvětlení je v obou případech řešeno LED svítidly. Pro získání této hodnoty byla využita data naměřená v předešlém bydlení. Data

byla naměřena během roku 2021 zařízením Smappee. Jelikož naměřená data zahrnují i spotřebu bojleru mimo zimní období, pro určení spotřeby druhé skupiny spotřebičů je využito průměru ze zimních měsíců (listopad – únor), kdy nedocházelo k ohřevu bojleru z FVE. Průměrná spotřeba za zimní měsíce je 180 kWh/měsíc. Tato hodnota tedy poslouží jako spotřeba pro druhou skupinu spotřebičů v novém rodinném domě.

Do poslední skupiny spotřebičů patří 2 bojler, každý o objemu 80 l pro ohřev teplé vody. Bojlery jsou propojeny sériově, aby nebylo nutné mít dva okruhy pro teplou vodu, nebo situaci komplikovat paralelním zapojením bojlerů. Zároveň sériové zapojení umožňuje částečnou stratifikaci teplé vody pro její efektivnější využití v průběhu více dní bez nahřívání. Bojler 2 je zamýšlen jako akumulátor pro využití přebytků ve dnech, kdy to výroba FVE umožní. Odhad spotřeby v tomto případě opět vychází z dat spotřeby uživatelů domu z předešlého bydlení, kde pro ohřev vody v letním období byl využíván jeden bojler o objemu 80 l, nahříváný z přebytků fotovoltaické elektrárny. Jelikož se stávalo, že některé dny nebyla teplota vody v bojleru dostačující, bude počítáno s denní spotřebou elektřiny pro ohřev teplé vody 1,2krát vyšší než v předešlém bydlení. K výpočtu je využita průměrná spotřeba v letních měsících (květen – srpen), která vychází na 282 kWh/měsíc. Od této spotřeby je dále odečtena spotřeba v zimních měsících a spotřeba pak činí 102 kWh/měsíc. Tato hodnota je nakonec vynásobena 1,2krát pro získání spotřeby elektřiny pro ohřev teplé vody s uvažováním denního použití. Výsledná předpokládaná spotřeba pro ohřev teplé vody tak činí 122 kWh/měsíc.

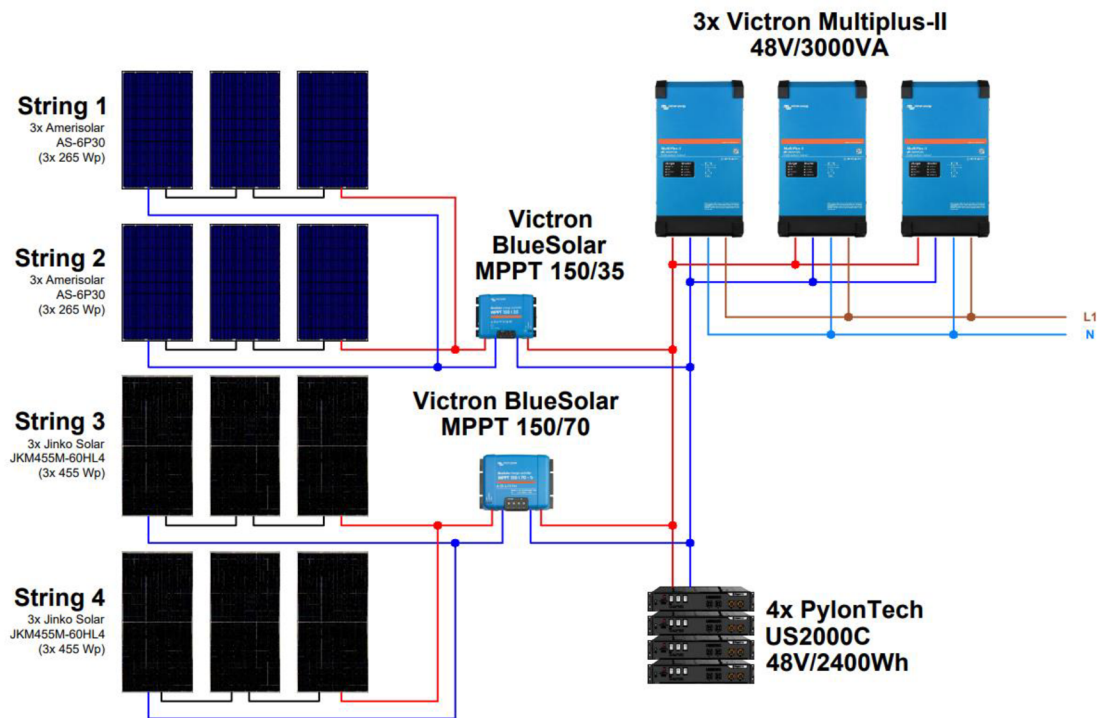
### **1.3 Fotovoltaická elektrárna**

V objektu je instalována fotovoltaická elektrárna o výkonu 4,32 kWp. Na střeše domu se nachází celkem 12 fotovoltaických panelů, které jsou rozděleny do 4 stringů. První dva stringy se skládají z 6 panelů Amerisolar AS-6P30 (265 Wp). Stringy jsou zapojeny paralelně, kde každý string obsahuje 3 panely v sérii. Třetí a čtvrtý string sestává z 6 panelů Jinko Solar JKM455M-60HL4 (455 Wp). Zapojení těchto stringů je obdobné. Schéma zapojení FVE je patrné na obrázku 1.2.

První dva stringy jsou dále napojeny paralelně do zařízení Victron Smart Solar MPPT 150/70. Třetí string je spolu se čtvrtým napojen paralelně do zařízení Victron Smart Solar MPPT 150/35. Oba MPPT jsou napojeny na baterii složenou ze 4 modulů PylonTech US2000C (48 V, 2,4 kWh), které jsou zapojeny paralelně. Dohromady se jedná o baterii 48 V o celkové kapacitě 9,6 kWh.

Elektrárna má dále 3 měniče Victron MultiPlus-II 48V/3000VA. Tyto měniče jsou provozovány paralelně v jednofázovém režimu. Změnou nastavení a zapojení lze měniče provozovat v třífázovém režimu. V obou případech je systém provozován jako ostrov.

Panely jsou na střeše orientovány na jihozápad v azimutu +24°. Sklon panelů je shodný se sklonem střechy a to 25°.

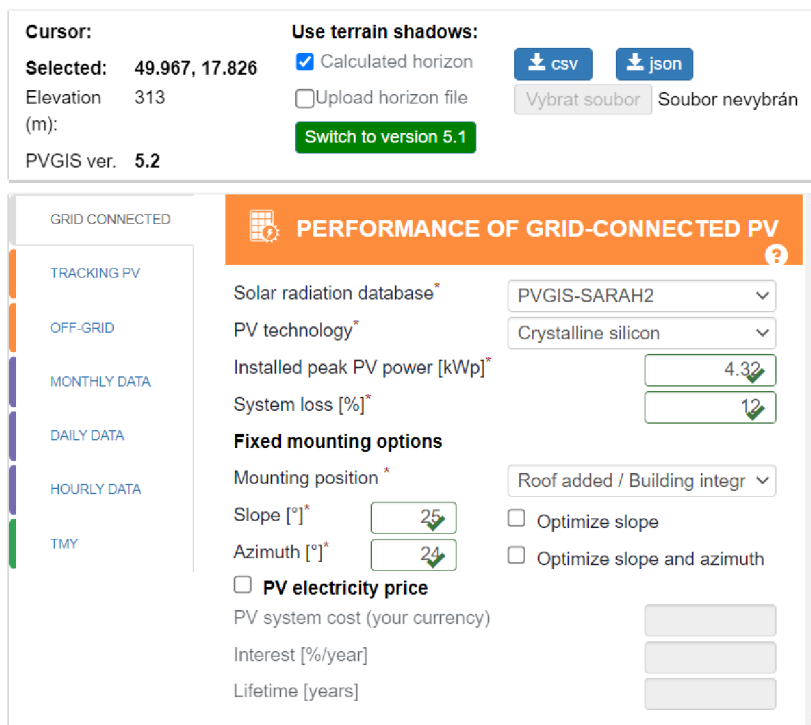


Obrázek 1.2 Schéma zapojení FVE

## 1.4 Předpověď výroby FVE

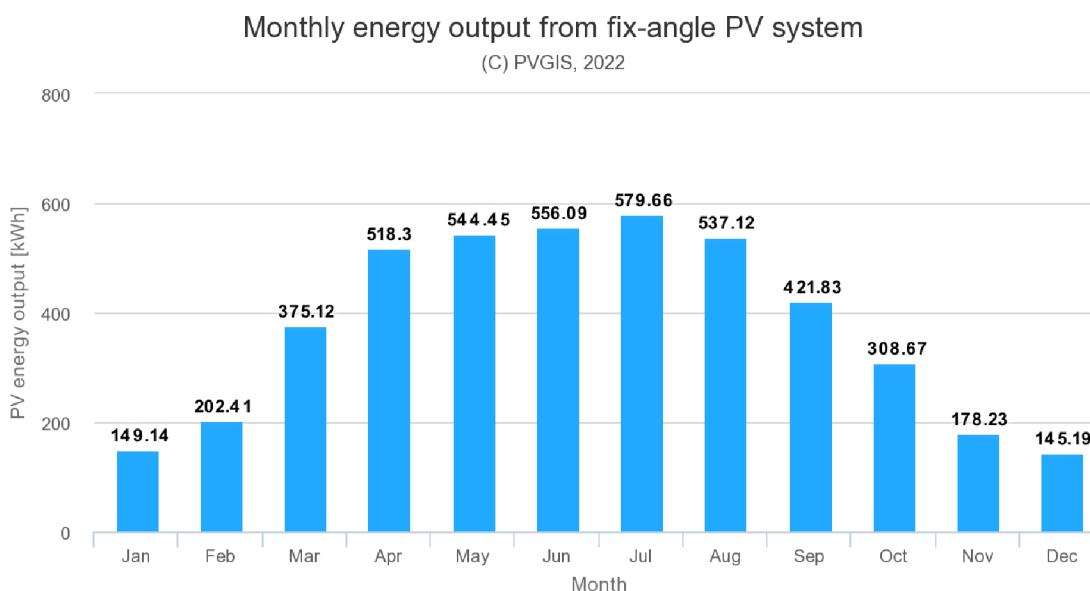
Pro předpověď výroby byl použit nástroj PVGIS. Pomocí výpočtu byla získána předpověď pro případ, kdyby elektrárna byla připojena k síti. Tímto je možné odhadnout teoretické maximum výroby, které je možné dosáhnout v případě, kdy se veškerá vyrobená energie spotřebuje. Ve sledovaném systému ovšem budou ztráty navíc v podobě účinnosti baterie. Větší část ztrát ovšem spočívá v nevyrobení energie v případě, kdy je baterie nabitá a spotřeba je menší než potenciální výroba. Právě řešením této problematiky se zabývá tato práce [1].

Pro provedení výpočtu byla využita databáze PVGIS-SARAH2. Ostatní vyplněné údaje jsou uvedeny na obrázku 1.3 z prostředí programu PVGIS [1].



Obrázek 1.3 Prostředí programu PVGIS [1]

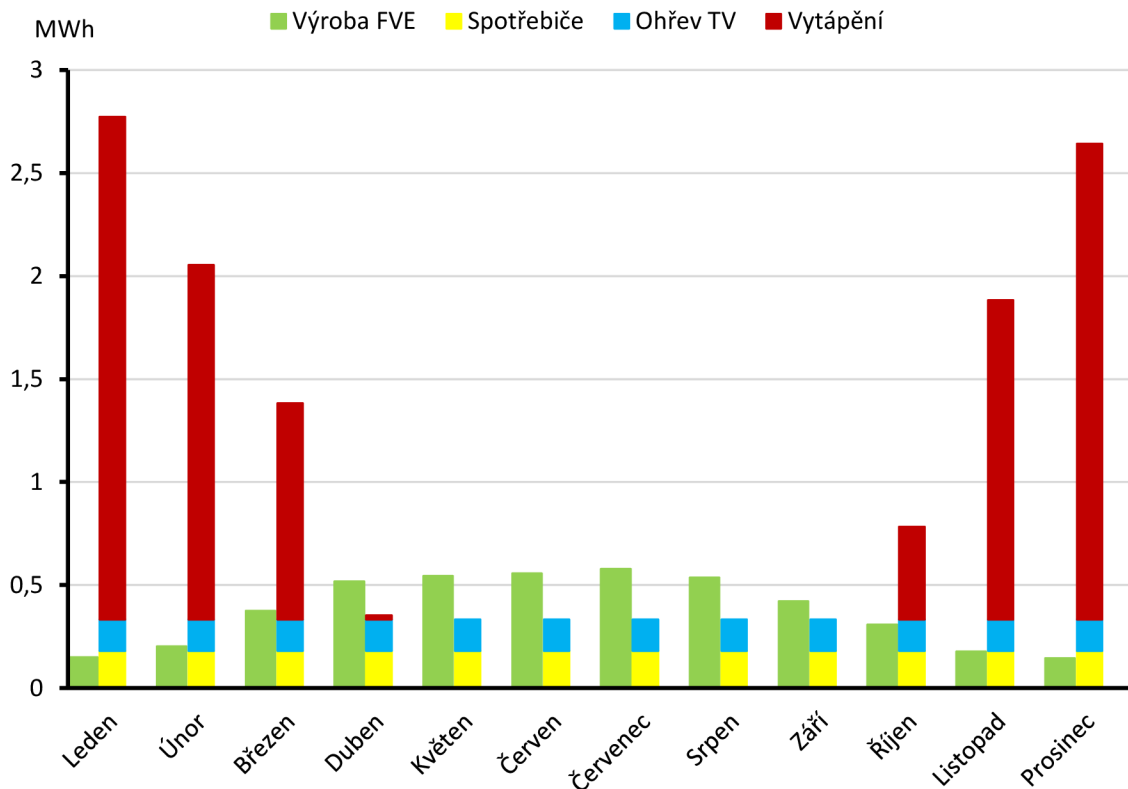
Po provedení výpočtu je předpokládána roční výroba 4,516 MWh. Rozdělení pro jednotlivé měsíce je patrné z grafu na obrázku 1.4, který byl vygenerován v programu PVGIS [1].



Obrázek 1.4 Předpokládaná výroba FVE v jednotlivých měsících [1]



## 1.5 Zhodnocení spotřeby a výroby



Obrázek 1.5 Porovnání spotřeby a výroby z FVE

Z grafu předpokládané výroby a spotřeby (obrázek 1.5) je patrná závislost na ročním období. Bohužel profil spotřeby je opačný než profil výroby, a tak v letních měsících budou nastávat přebytky výroby v tak vysoké míře, že nebude možné je v aktuálním složení spotřebičů spotřebovat, zatímco v zimních měsících bude výroba nedostatečná pro uspokojení spotřeby. Pro využití letních přebytků by v budoucnu mohlo sloužit například nabíjení elektromobilu nebo instalace klimatizace. Klimatizační jednotka s funkcí vytápění by také mohla v zimních měsících vést ke snížení spotřeby elektřiny na vytápění.

## **2. MOŽNOSTI ŘÍZENÍ SPOTŘEBY**

Na trhu se dnes nachází celá řada možných řešení pro řízení spotřeby objektu od jednoduchých řešení až po komplikované systémy. Rozdíly spočívají ve funkčnosti, efektivitě, a především v ceně těchto zařízení.

### **2.1 Ruční řízení**

Nejlevnější možností je ruční řízení pomocí zapínání jednotlivých zátěží uživatelem. Provedení tohoto způsobu může být pomocí jističů, různých spínačů, dálkově ovládaných stykačů nebo zásuvek. Toto řešení ovšem vyžaduje sledování systému uživatelem, jeho častou intervencí a mnohdy se nedosahuje optimálního využití energie, jelikož uživatel obvykle nemá čas systém monitorovat a reagovat na změny výroby nebo požadavky spotřeby. Tato možnost tedy není považována za příliš vhodnou.

### **2.2 Použití funkcí měniče**

Měniče obvykle mívají různé funkce pro řízení spotřeby, například použité měniče Victron MultiPlus-II 48V/3000VA mají každý jeden reléový výstup, který lze spínat při splnění některých podmínek v systému. Navíc má každý měnič 2 digitální/analogové vstupy/výstupy pro další komunikaci. Bohužel využití těchto funkcí je v případě sledovaného systému značně limitující z důvodu nízkého počtu výstupů a funkcí.

### **2.3 Systém KNX a podobné**

Protipólem ručního řízení je plná automatizace objektu například pomocí systému KNX nebo alternativ s podobnými funkcemi. Systémy tohoto typu umožňují navíc k energetickému managementu i řízení osvětlení, vytápění, ventilace, zabezpečení a další. Tyto systémy mají ovšem zásadní nevýhodu v jejich vysoké pořizovací ceně, která se pohybuje okolo 30 000 dolarů pro běžný dům. V případě komplikovanější instalace může být cena násobně vyšší [2].

### **2.4 WATTROUTER® a podobné**

V případě sledovaného objektu je zaměření energetického managementu především na využití přebytků z FVE. Pro využití přebytků z výroby FVE se nabízí regulátor WATTROUTER®. Princip tohoto regulátoru spočívá ve využití elektrické energie v době, kdy je vyrobena, namísto aby byla energie dodána do sítě a v době nízké výroby došlo k odběru ze sítě. To má především finanční výhodu z důvodů nízké výkupní ceny elektřiny a zároveň i výhodu v podobě nižších ztrát, kdy nedochází ke ztrátám v distribuční síti, protože se energie využije v místě výroby [3].

Energie se v tomto případě využívá především pro nahřívání vody, vytápění objektu, dobíjení elektromobilu nebo jinou formu akumulace. Příkladem tohoto je ohřev bojleru v dopoledních hodinách namísto ohřevu v noci [3].

Nevýhodou WATTR OUTER®u je nemožnost provozu v ostrovním režimu, jelikož informaci o přebytecích jsou získávány z okamžité hodnoty proudu, který teče přes hlavní jistič připojující objekt k síti. Druhou nevýhodou je omezení maximálního počtu ovládaných zařízení. WATTR OUTER® podporuje až 8 ovládaných zařízení [3][4].

Další z konkurentů v této kategorii je například regulátor GreenBonO-Aku. Princip funkce je podobný jako u předešlého produktu. GreenBonO-Aku má výhodu v možnosti ostrovního provozu. Druhým rozdílem je maximální počet výstupů a to až 11 v případě GreenBonO-Aku [5].

## 2.5 PLC

Žádná z předchozích možností se plně nehodí pro sledovaný objekt, který z důvodu kombinace ostrovní FVE a připojení k síti spadá mezi méně časté instalace. Řešení je v tomto případě možné nalézt v použití PLC (programmable logic controller, česky: programovatelný logický automat).

PLC je malý počítač rozšířený o další hardware jako jsou digitální nebo analogové vstupy a výstupy. Historicky PLC vzniklo v průmyslové výrobě, kde nahradilo reléovou logiku, která obnášela zdlouhavé přepojování při každé změně výrobního procesu [6].

Podle zvoleného PLC lze dosáhnout velkého rozsahu vstupů a výstupů. Naprogramováním lze definovat podmínky pro spouštění jednotlivých zátěží v závislosti na vstupních podmínkách. Z těchto důvodů byla pro sledovaný objekt zvolena tato možnost pro návrh systému zajišťujícího energetický management.

## 3. ROZDĚLENÍ PLC

Tato kapitola je zaměřena na základní dělení PLC podle jejich konstrukce, velikosti a programovacího jazyka.

### 3.1 Rozdělení dle konstrukce

Podle konstrukce lze PLC dělit na 2 kategorie. První jsou takzvané integrální PLC (nebo také kompaktní), které mají veškeré části jako zdroj, samotný procesor, I/O (input/output) terminály a další součásti jako například komunikační rozhraní v jedné kompaktní konstrukci. Výhodou tohoto řešení je jeho kompaktnost a obvykle nižší cena. Nevýhodou může být menší počet funkcí a omezené možnosti rozšíření [6][8].

Další skupinou jsou modulární PLC. Tento typ se skládá z rámu, do kterého se dají přidávat jednotlivé moduly jako zdroj, procesorová jednotka, jednotka se vstupy/výstupy, komunikační jednotka a další. Výhodou tohoto systému je lepší konfigurovatelnost pro danou situaci a možnost budoucího rozšíření v případě potřeby. Nevýhodou může být vyšší pořizovací cena a možná náročnější instalace [6][8].

### 3.2 Rozdělení podle velikosti

PLC lze rozdělit i podle velikosti, přesněji podle počtu terminálů I/O. Malé PLC moduly mívají do 256 terminálů I/O. Střední mívají od 256 do 2048 a velké mívají více než 2048. Limitací může být i kapacita paměti [6].

### 3.3 Rozdělení podle způsobu programování

Programování PLC je prováděno pomocí zařízení zvaného program loader. Program loader obvykle může nabývat tří podob. Nejstarší je ruční programátor, který sestává z klávesnice a displeje v kompaktním provedení. Z tohoto se vyvinul praktičtější následník s větším displejem a obsáhlejší klávesnicí. V dnešní době je ovšem nejčastěji využívá počítačů. Při použití počítače lze použít několik programovacích jazyků/způsobů programování [7].

#### 3.3.1 Jazyk strukturovaného textu (ST)

Jazyk strukturovaného textu má pevně danou syntaxi pomocí povolených výrazů a příkazů. Vychází z jazyků Pascal a C. Výraz se skládá z operátorů a operandů. Operandy jsou obvykle konstanty nebo funkce. Operátory jsou matematické operace jako sčítání, násobení, ale i komplexnější operace jako negace, OR a další. Strukturovaný text nachází využití v definování složitějších funkčních bloků, které se dále užívají v dalších programovacích jazycích [9].

### **3.3.2 Jazyk funkčního blokového schématu (FBD)**

Jedná se o grafický jazyk, který skládá blokové schéma z jednotlivých funkčních bloků, které jsou vzájemně propojeny. Funkce jednotlivých bloků mohou být jednoduché jako například bistabilní prvky, detektory náběžných a sestupných hran, čítače nebo časovače. Složitější bloky mohou mít funkce jako spínací hodiny, generátory impulsů nebo komparátory. Obvykle je možné naprogramovat vlastní bloky se specifickými funkcemi pro danou aplikaci [9].

### **3.3.3 Jazyk sekvenčního funkčního diagramu (SFC)**

Dalším grafickým jazykem je sekvenční funkční diagram. Spočívá v rozložení celkové úlohy řízení na menší zvládnutelné části, při zachování přehledu o celkovém chování. Skládá se z jednotlivých kroků/stavů, kdy pro každý stav je definován blok akcí a podmínek, které se v dané situaci mají provést [9].

### **3.3.4 Jazyk seznamu instrukcí (IL)**

Jazyk seznamu instrukcí je zástupce textových jazyků. Zjednodušeně se jedná o seznam instrukcí, které se postupně provádí. Instrukce jsou organizovány každá na novém řádku a může obsahovat signál, operátor, operand nebo komentář. Operátor může být doplněn o modifikátor, který může vyjadřovat negaci, podmínku, volání a návrat nebo prioritu [9].

### **3.3.5 Jazyk příčkového diagramu (LD)**

Jedná se o další grafický jazyk. Spočívá v grafické reprezentaci reléové logiky. Skládá se ze 2 svislých sběrnic v grafickém prostředí. Jedna sběrnice se nachází v levé části a druhá v části pravé. Mezi těmito sběrnicemi je takzvaná příčka, která se může dále rozvětvit. Každý úsek příčky má přiřazen stav on/off. Příčky lze dále dělit pomocí kontaktů, cívek nebo funkčních bloků [9].

## 4. VÝBĚR VHODNÉHO PLC

V této kapitole jsou definovány požadované funkce PLC. Tím jsou myšleny počty a druhy vstupů a výstupů. Dále je určen způsob získání informací o FV systému. Následně na základě těchto požadavků bude zvoleno vhodné PLC.

### 4.1 Požadované funkce

Nejprve je potřeba definovat, které prvky je třeba ovládat a jaké vstupní parametry jsou potřeba pro vytvoření algoritmu s požadovanou funkcionalitou.

Vstupy do PLC jsou obvykle digitální nebo analogové. Digitální vstupy umožňují zaznamenání pouze 2 stavů a to zapnuto/vypnuto (logická 1 nebo logická 0). Analogové vstupy jsou sofistikovanější, protože jsou schopny zaznamenávat spojité signály, obvykle ve formě napětí. Pro převod jiných údajů (například teploty) na napětí se používají převodníky. Ty jsou použity za předpokladu, že PLC není vybaveno terminály pro připojení přímo daného senzoru. Dalšími vstupy mohou být vstupy komunikační, které získávají informace od jiných zařízení pomocí některého z komunikačních protokolů přes sběrnici [10].

Na straně výstupů jsou obvyklé 2 možnosti. Nejčastěji se setkáme s digitálními výstupy v podobě relé, nebo tranzistorových spínačů. Reléové výstupy lze oproti tranzistorovým použít pro střídavé napětí a mají obvykle vyšší proudovou zatížitelnost. Na stranu druhou se jedná o mechanickou součást, což se projevuje nižší životností a pomalejším spínáním a rozpínáním. Digitální výstupy mají opět pouze 2 stavy a to zapnuto/vypnuto. Méně častý je analogový výstup, který poskytuje napětí o velikosti dané programem [11]. Jelikož se práce zabývá pouze spínáním zátěží pomocí stykačů, budou potřebné pouze digitální výstupy v podobě relé.

#### 4.1.1 Spotřebiče

Aktuálně je v domě instalováno 13 topných rohoží, kde je každá z rohoží ovládána vlastním termostatem, kdy každý termostat spíná stykač v rozvaděči, který spíná samotné rohože. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu snížení opotřebení relé samotného termostatu a tím prodloužení jeho životnosti. Samotné stykače mají delší životnost a jejich výměna je cenově méně nákladná než výměna termostatu. Pro co nejlepšího využívání přebytků je vhodné, aby každá z rohoží měla vlastní výstup z PLC.

Další spotřebiče s potřebou spínání jsou bojler. Každý bojler má opět vlastní stykač v rozvaděči. Stykače jsou aktuálně spínány ručně.

V budoucnu je plánováno přidání klimatizace. Z toho důvodu je potřeba minimálně 16 spínaných výstupů z PLC pro spotřebiče.

Ostatní běžné spotřebiče nebudou ovládány pomocí PLC, nýbrž bude jejich optimalizace řešena chováním uživatele. Příkladem je zapnutí pračky, myčky a

podobných spotřebičů pomocí funkce zpožděného startu, aby program proběhl v době, kdy je předpokládána výroba z FVE. Při využití více těchto spotřebičů zároveň musí PLC odpojit topné rohože, aby nebyl překročen maximální výkon měničů a baterie nebo maximální proud jištění výstupu z měničů.

#### **4.1.2 Vstupy do PLC**

Pro správnou funkci PLC bude třeba několik dalších vstupních informací. Hlavní informace jsou informace o FV systému, především stav nabití baterie (SoC) a aktuální výkon baterie. Na základě těchto údajů bude PLC rozhodovat o spínání zátěží.

Dalšími vstupy mohou být tlačítka pro spínání zátěží, případně pro aktivaci různých funkcí. Digitální vstupy lze využít i pro monitorování stavů různých fyzických komponent v systému (například sepnutí některých stykačů, signál HDO).

Aktuální výkon baterie lze získat měřením napětí a proudu na svorkách baterie a následně logikou PLC lze dopočítat hodnotu elektrického výkonu. SoC baterie tímto způsobem bohužel získat nelze.

Jednodušší způsob je využití komunikace mezi FVE a PLC. Zařízení Cerbo GX, které se dá chápat jako centrální jednotku FVE, podporuje komunikaci přes protokol Modbus TCP. Přes tuto komunikaci lze přenášet většinu informací o FVE, včetně informací potřebných pro algoritmus PLC.

##### **4.1.2.1 Modbus TCP**

Modbus TCP je komunikační protokol standardně využívaný v průmyslu. Použití lze nalézt například v komunikaci mezi produkty Victron a produkty třetích stran, mezi které patří i PLC podporující tento protokol [12].

#### **4.1.3 Přepínání ostrov/sítě**

Pro účely přepínání napájení spotřebičů mezi ostrovní FVE a sítí je možné spotřebiče rozdělit do 2 skupin. První skupinou jsou všechny běžné spotřebiče, které jsou napájeny prioritně z FVE, v případě nedostatku energie dojde k automatickému přepnutí na první fázi sítě pomocí stykačů s mechanickým blokováním. Druhá skupina sestává z topných rohoží, které jsou napájeny ze sítě z fází L2 a L3 a bojlerů napájených z fáze L1. Tato skupina musí být blokována přes HDO při napájení ze sítě. Při přebytku energie z FVE se ručně přepínají jednotlivé rohože a bojlerů ze sítě na FVE. Tento proces je třeba automatizovat, aby nedošlo k přetížení měničů a zároveň, aby teplota uvnitř objektu příliš neklesala.

#### **4.1.4 Vhodné PLC**

Pro řídicí systém bylo vybráno vhodné PLC podle požadovaných funkcí a zároveň s ohledem na dodržení pořizovací ceny do 20 000 Kč. Vybrané řešení je využití PLC firmy Siemens z řady LOGO!. Řada LOGO! nabízí hlavní kompaktní PLC jednotku, kterou je možné doplnit o další rozšiřující moduly pro více vstupů a výstupů. Navíc hlavní

jednotka obsahuje ethernetový port, který umožňuje komunikaci přes protokol Modbus TCP [13].

Hlavní jednotky jsou rozděleny podle napájecího napětí, počtu a druhu vstupů a výstupů. Po prozkoumání rozdílů a funkcí jednotlivých možností byla zvolena jednotka s označením 6ED1052-1MD08-0BA1. Parametry jednotky se nachází v následující tabulce 4.1.

Tabulka 4.1 Parametry PLC Siemens LOGO! 6ED1052-1MD08-0BA1 [14]

Vstupní napětí	12-24 V DC
Počet digitálních vstupů	8
Z toho analogových	4 (0-10 V)
Počet reléových výstupů	4

Výhodou této jednotky je programovatelný displej, který bude využit pro zobrazení stavu. Navíc se zde nachází i klávesnice, která umožňuje jednoduché změny nastavení a případné manuální změny.

Pro rozšíření počtu výstupů budou použity 2 rozšiřující jednotky 6ED1055-1NB10-0BA2. Parametry této rozšiřující jednotky jsou v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2 Parametry rozšiřujícího modulu 6ED1055-1NB10-0BA2 [15]

Vstupní napětí	12-24 V DC
Počet digitálních vstupů	8
Počet reléových výstupů	8

Kombinací těchto prvků bude docíleno dostatečného množství vstupů a výstupů. Dodatečně je potřeba k PLC přikoupit napájecí zdroj 230 V AC / 24 V DC. Zdroj byl zvolen přímo určený pro použití s PLC LOGO! od výrobce Siemens. Jedná se o zdroj s označením 6EP3333-6SB00-0AY0. Zdroj umožňuje výstupní proud až 4 A.



## 5. PROGRAMOVÁNÍ PLC

Tato kapitola se zaměřuje na programování PLC Siemens LOGO!. Programování se provádí v programu LOGO!Soft Comfort. Nevýhodou systému LOGO! je, že tento program je placený.

### 5.1 LOGO!Soft Comfort

Programování PLC probíhalo v programu LOGO!Soft Comfort v 8.3. V programu je možné programovat dvěma způsoby. Prvním je využití příčkového diagramu (LD). Druhým způsobem je funkční blokový diagram (FBD). Pro řešený systém bude využita druhá možnost.

### 5.2 Funkční bloky

Dále jsou vyjmenovány funkční bloky použité v blokovém schématu a jsou popsány jejich vstupy a výstupy, spolu s jejich funkcí.

#### 5.2.1 Vstupy a výstupy

V rámci vstupů se je využíván blok Network analog input (síťový analogový vstup), který je schopen číst hodnoty z variabilní paměti (VM). Hodnoty do této paměti jsou zapisovány z FV systému pomocí komunikace přes protokol Modbus TCP [16].

Dalším blokem pro vstup je Digital input (digitální vstup), pomocí kterého jsou čteny fyzické vstupy PLC [16].

Posledním vstupním blokem je Cursor key (kurzorové tlačítko) umožňující vstupy pomocí stisku kurzorových tlačítek na samotném PLC [16].

Pro výstup jsou použity bloky Digital output (digitální výstup), kterými jsou ovládány výstupní relé PLC [16].

#### 5.2.2 Zpracování analogových hodnot

Analog threshold trigger (prahová spoušť) upravuje vstupní analogovou hodnotu pomocí parametrů gain (zesílení) a offset. Takto zpracovanou hodnotu dále porovnává s nastavenou hodnotou pro sepnutí a vypnutí. Při vyšší zpracované hodnotě, než je nastavená prahová hodnota sepnutí dojde k sepnutí výstupu bloku. Poté při poklesu zpracované hodnoty na hodnotu menší nebo rovnu prahové hodnotě vypnutí dojde k vypnutí výstupu bloku [16].

#### 5.2.3 Základní funkce

Mezi základní funkční bloky se řadí bloky AND (a) a OR (nebo). Oba bloky mají 4 vstupy. Blok AND sepne výstup v případě, že všechny zapojené vstupy mají hodnotu logické 1. U bloku OR se výstup sepne v případě, kdy na alespoň jeden ze zapojených

vstupu je přivedena hodnota logické 1 [16].

V případě potřeby inverze digitálního signálu poslouží blok NOT (inverzní blok) [16].

#### 5.2.4 Časové funkce

Pro zpoždění zapnutí nebo vypnutí jsou použity bloky On-delay a Off-delay (zpoždění sepnutí a zpoždění vypnutí). Funkce umožňují nastavení časového intervalu, který je spuštěn signálem na vstupu bloku a po uplynutí tohoto intervalu dojde ke změně i na výstupu bloku [16].

Blok Hours counter (počítadlo hodin) umožňuje sepnutí výstupu po uplynutí nastavené doby MI (maintenance interval), po kterou byl sepnut vstup En. Dalšími vstupy bloku jsou R resetující nastavený čas MI a výstup bloku a vstup Ral, který navíc resetuje i celkový čas provozu OT [16].

Weekly timer (týdenní časovač) slouží ke spínání výstupu v definovaném čase v definované dny v týdnu. Blok nabízí až 3 možnosti pro sepnutí a vypnutí, kde každá z možností navíc umožňuje nastavit pouze čas sepnutí nebo čas vypnutí. Nastavení bloku umožňuje i pulzní výstup v definovanou dobu. To je vhodné například pro resetování ostatních bloků v definovaný čas [16].

#### 5.2.5 Ostatní funkce

Latching relay (západkové relé) je funkční blok obsahující výstup, vstup S a vstup R. Při hodnotě logické 1 na vstupu S dojde k sepnutí výstupu a výstup zůstává sepnutý i po změně logické 1 na logickou 0 na vstupu S. Při logické 1 na vstupu R dojde k vypnutí výstupu. Vstup R má prioritu před vstupem S. To znamená, že při hodnotě logické 1 na obou vstupech je výstup vypnutý [16].

Blok Pulse relay (pulzní relé) je podobný předchozímu bloku Latching relay, oproti předchozímu má však jeden vstup navíc, a to vstup Trg. Každý přechod z logické 0 na logickou 1 na tomto vstupu změní stav výstupu. Tento výstup je vyhodnocován pouze pokud je na vstupech S a R logická 0. Priorita mezi vstupy S a R je nastavitelná [16].

Flag (vlajka) uchovává na výstupu bloku hodnotu, která byla na vstupu tohoto bloku v minulém cyklu programu. Můžeme ho použít k vyvedení signálu z výstupu bloku na jeho vstup. Vyvedení signálu z výstupu bloku na jeho vstup není bez bloku flag možné z principu fungování blokového diagramu [16].

Status 1 (high) je blok se stálým výstupem logické 1 [16].

Message text (text zprávy) je blok, jehož výstupem je datová obrazovka přímo na PLC nebo na zařízení LOGO! TD. Datová obrazovka obsahuje 6 řádků, kde každý řádek obsahuje 16 znaků. Zároveň je možné zobrazit až 8 analogových hodnot nebo digitálních hodnot vstupů, výstupů a parametrů funkčních bloků na jedné obrazovce. V případě zobrazení digitální hodnoty je možné tuto hodnotu zobrazit pomocí zprávy o maximální délce 8 znaků. Datovou obrazovku lze aktivovat pomocí logické 1 na vstupu En [16].

Open connector (otevřený konektor) slouží k ukončení výstupu z funkčního bloku, který není dále používán. Příkladem může být například předešlý blok Message text [16].

## 6. ZAPOJENÍ PLC

Tato kapitola se zaměřuje na samotné zapojení PLC. Celé schéma zapojení je zobrazeno v příloze A.

V systému se nachází 2 hlavní stykačové skupiny pro přepínání ostrov/sítě. První skupina (stykače KM1, KM2 a KM3) má za úkol přepínání napájení mezi FVE a sítí pro spotřebiče. Na ovládací svorky A1/A2 má stykač KM1 přivedeno napětí z výstupu měničů. Pokud jsou měniče v provozu, stykač KM1 automaticky sepne spínací kontakty a rozezne rozpínací kontakty. Tím dojde k sepnutí stykače KM2 a rozeznutí stykače KM3, čímž spotřebiče budou napájeny z FVE. Stykače KM2 a KM3 jsou mezi sebou mechanicky blokovány. V případě vypnutí FVE například z důvodu vybité baterie automaticky dojde k sepnutí rozpínacích a rozeznutí spínacích kontaktů stykače KM1. To povede k sepnutí stykače KM3 a rozeznutí stykače KM2. Spotřebiče jsou poté napájeny ze sítě z fáze L1. Stykače KM2 a KM3 spínají fázový a nulový vodič pro oddělení FVE a sítě.

Druhá skupina jsou stykače KM4 a KM5. Tyto stykače slouží k přepínání mezi sítí a FVE pro topení a bojleru. Spínání stykačů je ovládáno pomocí logiky PLC. Stykače jsou vzájemně mechanicky blokovány a zároveň elektricky v programu PLC. Stykač pro síť KM5 je navíc ovládaný přes signál HDO pro dodržení blokování topení a bojlerů v době vysokého tarifu. Sepnutí stykače KM4 vede ke spojení fází L1-L3 na přípojnicí napájející všechny bojleru a topné rohože. Stykače KM4 a KM5 spínají fázové vodiče a vodič nulový pro oddělení FVE a sítě.

### 6.1 Napájení PLC

Pro napájení PLC je použit zdroj Siemens LOGO! Power. Napájení zdroje je provedeno z přípojnice pro spotřebiče. Výstupy + a – zdroje jsou využity pro napájení PLC a přídatných modulů.

### 6.2 Zapojení vstupů PLC

V PLC jsou zapojeny 4 digitální vstupy, a to I3 až I6. Vstupy I1, I2 nebyly použity z důvodu jejich možného využití v budoucnu jako analogové vstupy. Přivedením napětí 24 V DC ze zdroje na vstupy dojde k zaznamenání logické 1 na tomto vstupu, která je dále zpracována programem.

Vstup I3 je použit pro detekci zapnutí bojleru 1. V případě sepnutí stykače bojleru 1 dojde i k sepnutí druhého kontaktu a přivedení napětí 24 V DV na vstup I3. Stykač bojleru 1 nesezne, pokud je při napájení ze sítě aktivní blokování přes HDO. Vstupy I4 a I5 jsou využity pro tlačítko ovládání žebříkových radiátorů. Vstup I6 slouží pro detekci signálu z proudového relé, které je použito pro rychlé odepnutí zátěží při přetížení.

Dalším vstupem je ethernetový port PLC, přes který probíhá komunikace s FVE pomocí protokolu Modbus TCP.

### 6.3 Zapojení výstupů PLC

PLC v použité konfiguraci nabízí 20 reléových výstupů. Výstup Q2 je využit pro spínání fáze na ovládací kontakt stykače KM5. Výstup Q3 je pak využit pro spínání nulového vodiče ovládacího stykače KM4.

Výstupy Q1 a Q4 jsou použity pro spínání nulového vodiče pro ovládací stykačů napájecích žebříkové radiátory 1 a 2. Výstupy Q5 a Q6 spínají nulový vodič pro ovládací stykačů pro bojler 1 a 2. Nulové vodiče stykačů topných rohoží jsou ovládané pomocí výstupů Q7 až Q19. Přiřazení výstupu PLC k danému stykači topné rohože je patrné z tabulky 6.1.

Tabulka 6.1 Přiřazené topné rohože k daným výstupům PLC

<b>Výstup</b>	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13
<b>Topná rohož</b>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
<b>Výstup</b>	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	
<b>Topná rohož</b>	T8	T9	T10	T11	T12	T13	

## 7. PROGRAM PLC

V předešlých kapitolách byly vysvětleny možnosti programování a samotné zapojení PLC. Tato kapitola se blíže zabývá požadovaným chováním při provozu pro využití přebytků. Dále je kapitola zaměřena na samotný program PLC pro řízení. Vývoj algoritmu zaručujícího vhodné chování byl doprovázen testovacím provozem a během tohoto provozu byl upravován a optimalizován. V této kapitole je popsána finální verze programu. Funkční blokový diagram celého programu se nachází v příloze C.

### 7.1 Komunikace PLC a FVE

Jak již bylo předestřeno, komunikace bude probíhat přes protokol Modbus TCP. PLC bude komunikovat se zařízením Cerbo GX, které je řídicím prvkem FVE. Předmětem komunikace budou 2 údaje, a to SoC baterie a výkon baterie. Údaje budou zapisovány do paměti proměnných v PLC na adresy VW0 (SoC) a VW2 (výkon baterie). Tyto údaje jsou v zařízení Cerbo GX dostupné z unit ID 100 pod adresou 844 (SoC) a 843 (výkon baterie). Z pozorování byla zjištěna doba aktualizace údaje o výkonu baterie od momentu změny zatížení až 8 sekund.

### 7.2 Vývojový diagram algoritmu

Logika spínání zátěží je řízena především dvěma parametry. Prvním parametrem je stav nabití baterie (SoC). Druhým parametrem je výkon baterie. Kladný výkon baterie znamená její nabíjení, záporný výkon pak značí její vybíjení.

Vývojový diagram pro vysvětlení základního rozhodování spínání zátěží se nachází v příloze B. Při startu programu se automaticky sepne stykač KM4. Dále je vyhodnoceno, zda je dostatek přebytků. Jedná se o stav, kdy je SoC baterie vyšší než 75 % a výkon baterie je vyšší než 1800 W po dobu alespoň 30 s nebo je SoC baterie vyšší než 89 %. Pokud je podmínka splněna, dojde k sepnutí bojleru 1. Doba 30 sekund je zvolena s ohledem na možné kolísání výkonu a omezení spínání v případě náhlého krátkodobého nárůstu výkonu. Pokud podmínka není splněna, dojde v případě zapnutého topení v PLC k vypnutí stykače KM4 a sepnutí stykače KM5 se zpožděním 2 sekund a následnému spínání jednotlivých topných rohoží.

Po sepnutí bojleru 1 dojde k vyhodnocení podmínek pro vypnutí bojleru 1. K vypnutí může dojít, pokud SoC baterie klesne pod 71 %, nebo dojde k odběru z baterie vyššímu než 1300 W po dobu 10 minut, nebo dojde k odběru z baterie vyššímu než 2000 W po dobu 10 sekund. Doba 10 minut je zvolena tak, aby nedocházelo k dlouhému vybíjení baterie, ale zároveň nedocházelo k častému cyklování stykače. Doba 10 sekund byla zvolena tak, aby podmínka vypnutí působila v době, kdy PLC již má aktualizovanou hodnotu výkonu po vypnutí předešlého spotřebiče, opět aby nedocházelo ke zbytečnému cyklování stykačů. Odběr 1300 W z baterie je zvolen pro omezení cyklování ve dny, kdy

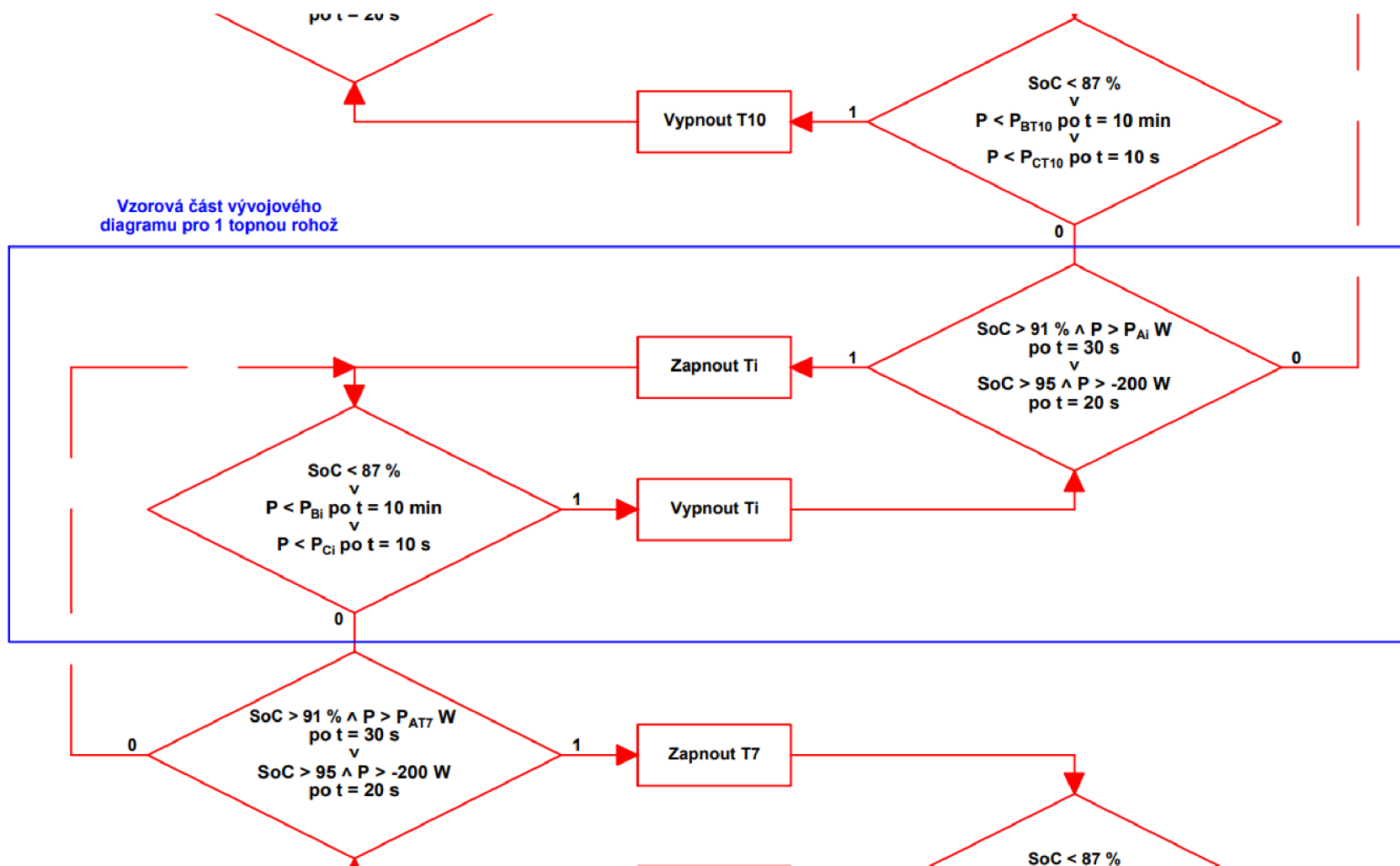
je polojasno a výkon FVE kolísá v závislosti zastínění Slunce mraky. Odběr 2000 W poté představuje sepnutí spotřebiče s vysokým odběrem pro omezení vybíjení baterie. Pokud není splněna ani jedna podmínka pro vypnutí, dojde k posouzení podmínky pro sepnutí dalšího spotřebiče, v tomto případě bojleru 2.

Podmínky pro sepnutí bojleru 2 byly zvoleny jako SoC baterie vyšší než 91 % a zároveň dostatečný výkon baterie (1100 W) po dobu 30 sekund, nebo SoC baterie vyšší než 95 % a zároveň výkon baterie vyšší než -200 W po dobu 20 sekund. Druhá podmínka je především k sepnutí při stavu, kdy se baterie blíží plně nabitému stavu a může tak docházet k poklesu nabíjecího výkonu a utlumení výroby FVE. V případě splnění těchto podmínek dojde ke spuštění bojleru 2.

K vypnutí bojleru 2 dojde při poklesu SoC pod 87 %, nebo pokud je výkon baterie menší než -500 W po dobu 10 minut, nebo je výkon baterie menší než -2000 W po dobu 10 sekund. Pokud tato podmínka nebude splněna, dojde k vyhodnocení sepnutí dalšího spotřebiče.

Další spotřebiče jsou vyhodnocovány obdobnou logikou. V pořadí je topná rohož T10, která má pro sepnutí opět 2 podmínky. První podmínka je SoC baterie vyšší než 91 % a zároveň dostatečný výkon baterie  $P_{Ai}$  po dobu 30 sekund, nebo SoC baterie vyšší než 95 % a zároveň výkon baterie vyšší než -200 W po dobu 20 sekund. Pro vypnutí musí být splněna jedna ze 3 podmínek. První je pokles SoC pod 87 %. Druhá je výkon baterie menší než  $P_{Bi}$  po dobu 10 minut a třetí je výkon baterie menší než  $P_{Ci}$  po dobu 10 sekund. Vzorová část je zobrazena na obrázku 7.1. Parametr  $i$  odpovídá označení dané topné rohože (T10, T4...) a priorita daných spotřebičů je v tabulce 7.1.

Výkony  $P_{Ai}$  byly zvoleny s ohledem na výkon spotřebiče a ztráty v měničích. Výkony  $P_{Bi}$  byly voleny v okolí poloviny výkonu spotřebiče (minimálně však -400 W), aby nedocházelo ke zbytečnému vybíjení baterie a zároveň nedocházelo k častému spínání a vypínání stykačů. Výkony  $P_{Ci}$  byly zvoleny s ohledem na maximální výkon FVE a dodržení zatížitelnosti jističe B25A na výstupu z FVE. Hodnoty zvolených výkonů pro jednotlivé spotřebiče jsou uvedeny v tabulce 7.1.



Obrázek 7.1 Výřez vývojového diagramu přílohy B zobrazující vzorovou část pro 1 topnou rohož



Tabulka 7.1 Priorita spotřebičů a jejich parametry v algoritmu

Priorita	Spotřebič	$P_{Ai}$ [W]	$P_{Bi}$ [W]	$P_{Ci}$ [W]
1	B1	1800	-1300	-2000
2	B2	1100	-500	-2000
3	T10	600	-400	-2000
4	T4	400	-400	-2000
5	T3	800	-400	-2000
6	T11	800	-400	-2000
7	T5	800	-400	-2000
8	T6	2000	-1200	-2500
9	T1	400	-400	-2000
10	T2	400	-400	-2000
11	T8	950	-500	-2000
12	T9	1100	-600	-2000
13	T13	1100	-600	-2000
14	T12	1250	-700	-2000
15	T7	850	-400	-2000

Ve dnech vysoké výroby dochází v kaskádě k dosažení topné rohože T6, kdy ovšem není dostatečný přebytečný výkon pro její sepnutí kvůli spotřebě předešlých spotřebičů a po jejím sepnutí díky podmínky nabití baterie se stávalo, že došlo k vypnutí díky výkonu baterie -2000 W. Hodnota  $P_{Ci}$  pro T6 proto byla nastavena na hodnotu -2500 W, aby se omezilo zbytečné cyklování stykače této rohože a při sepnutí byla sepnuta po dobu 10 minut, než zapůsobí další vypínací podmínka. Posunutí rohože blíže k začátku kaskády je také nežádoucí, z důvodu nahřívání místnosti sluncem v době, kdy dochází k přebytečné výrobě FVE.

## 7.3 Naprogramování algoritmu

Naprogramování pro jednotlivé spotřebiče je provedeno obdobně. Pro příkladné vysvětlení byl zvolen bojler 1 a topná rohož T10.

### 7.3.1 Bojler 1

Bojler 1 je jako první spotřebič v kaskádě, jeho naprogramování se tak od ostatních spotřebičů odlišuje, protože stav jeho sepnutí ovlivňuje další funkce programu. Výřez části blokového schématu zabývající se spínáním bojleru 1 je patrný z obrázku 7.2.

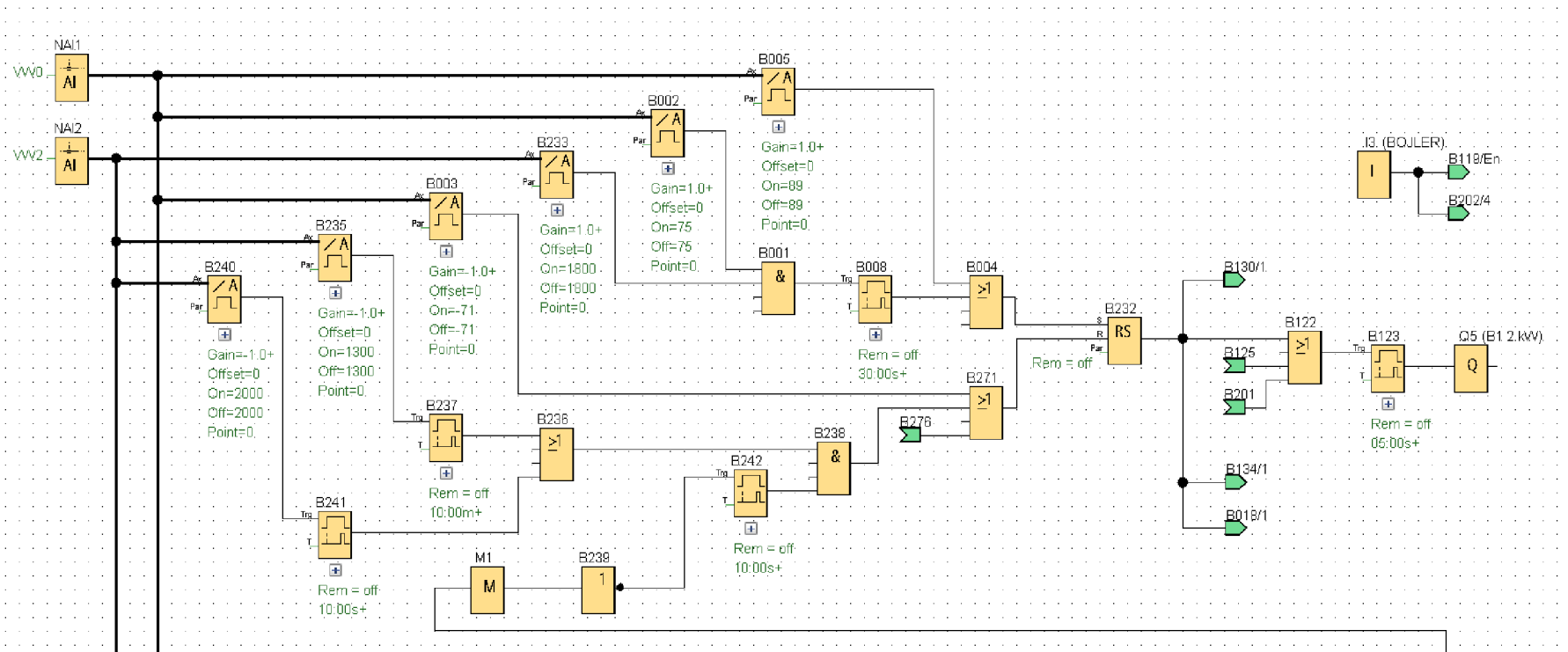
Spínání je rozhodováno západkovým relé B232. Pro sepnutí je třeba splnit jeden ze 2 stavů. První stav spouští zátěž při téměř nabití baterii a druhý stav spouští při přebytečném výkonu.

První stav je SoC baterie vyšší než 89 %, který vyhodnocuje prahová spoušť B005. Druhý stav je potřeba plnit po dobu 30 sekund, kterou monitoruje zpoždění sepnutí B008 a skládá se ze 2 podmínek vyhodnocovaných blokem AND B001. První podmínkou je SoC baterie vyšší než 75 % vyhodnocované prahovou spouští B002. Druhou podmínkou je výkon baterie vyšší než 1800 W vyhodnocovaný prahovou spouští B233.

Vypnutí bojleru 1 (resetování západkového relé B232) může nastat za jednoho ze tří stavů, které jsou vstupem bloku OR B271. Jedním stavem je zapůsobení systému failsafe přivedený z bloku B276. Druhým stavem je pokles SoC baterie pod 71 %, který je monitorován prahovou spouští B003. Třetím stavem je splnění 2 předpokladů na vstupu bloku AND B238. První z nich je vypnutí následujícího bojleru 2 před více než 10 sekundami (B242). Přenos signálu pro tuto podmínku zajišťuje vlajka M1 napojený na výstup západkového relé B132 a blok NOT B239, který sepne svůj výstup v cyklu programu, který následuje po vypnutí B132. Druhým předpokladem sepnutí bloku AND B238 je jedna ze 2 podmínek spouštějící blok OR B236. První z nich je pokles výkonu baterie pod -1300 W sledovaný prahovou spouští B235 na dobu 10 minut, která je sledována zpožděním sepnutí B237. Druhá podmínka je pokles výkonu baterie pod -2000 W sledovaný prahovou spouští B240 po dobu 10 sekund, kterou sleduje zpoždění sepnutí B241.

Všechny prahové spouště vyhodnocující SoC baterie získávají informace z bloku síťového analogového vstupu NAI1, který čte paměť proměnných v pozici VW0. Prahové spouště vyhodnocující výkon baterie jsou napojeny na blok síťového analogového vstupu NAI2, který čte paměť proměnných v pozici VW2. Prahové spouště vyhodnocující pokles hodnoty pod zadanou hladinu využívají parametr Gain o hodnotě -1,0 pro změnu orientace spínání.

Po sepnutí západkového relé B232 dojde k odepnutí stykače KM5 a sepnutí stykače KM4 (pokud již nebyl tento stykač aktivní) přes blok B130. Následně je signál zpožděn o 5 sekund přes zpoždění sepnutí B123, aby nedošlo k sepnutí bojleru před přepnutím stykačů KM4 a KM5. Další napojení do bloku OR B122 jsou vysvětlena dále v sekci 7.4 Další funkce.



Obrázek 7.2 Výřez FBD programu algoritmu pro spínání B1 pořizený v programu LOGO!Soft Comfort

### 7.3.2 Další spotřebiče

Jako vzor pro vysvětlení funkcí blokového schématu pro další spotřebiče bylo zvoleno schéma pro topnou rohož T10, které je na obrázku 7.3. Spínání je rozhodováno západkovým relé B042. Pro sepnutí je třeba splnit jeden ze 2 stavů. První stav spouští zátěž při téměř nabitě baterii a druhý stav spouští zátěž při dostatečném přebytečném výkonu.

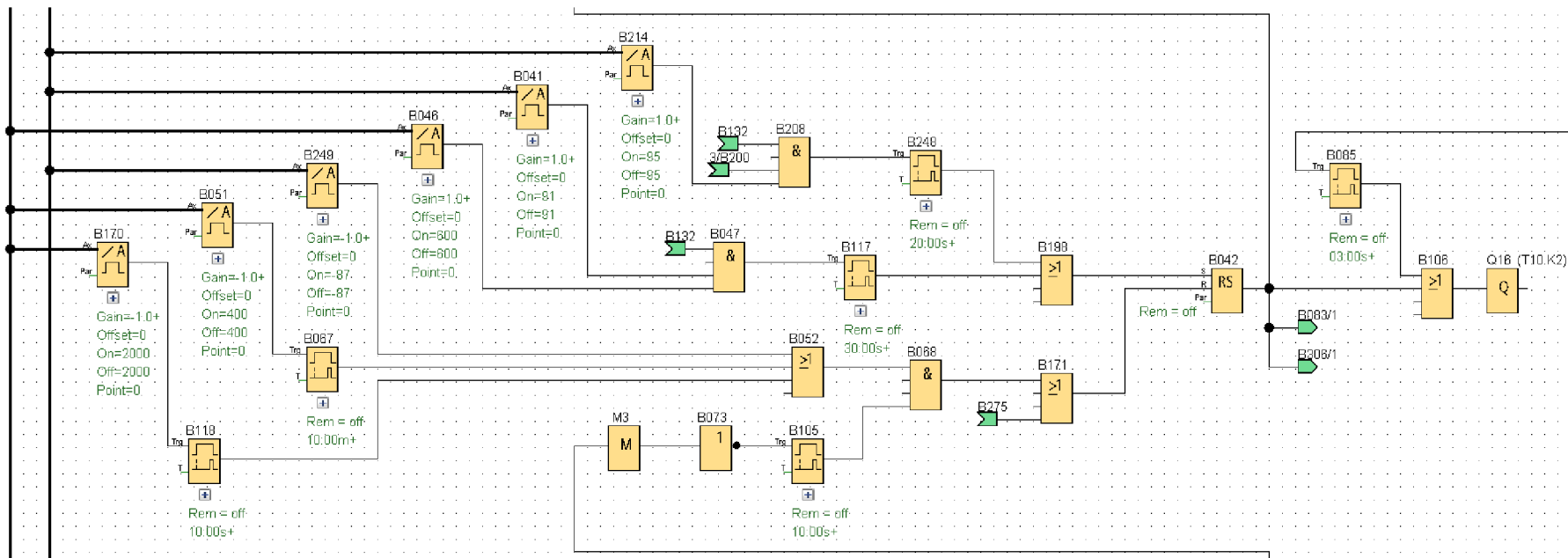
První stav je třeba plnit po dobu 20 sekund, na kterou dohlíží zpoždění sepnutí B248. Stav se vyhodnocuje na základě splnění 3 podmínek pomocí bloku AND B208. První podmínkou je sepnutí předešlého spotřebiče v kaskádě (sepnutí bloku B132). Druhou podmínkou je výkon baterie vyšší než -200 W, kterou vyhodnocuje prahová spoušť B200. Třetí podmínkou pak je SoC baterie vyšší než 95 % vyhodnocované prahovou spouští B214.

Druhý stav je potřeba plnit po dobu 30 sekund a opět se skládá ze 3 podmínek vyhodnocovaných blokem AND B047. Doba 30 sekund kontroluje zpoždění sepnutí B117. První podmínkou je sepnutí předešlého spotřebiče kaskády (sepnutí bloku B132). Druhou podmínkou je SoC baterie vyšší než 91 % vyhodnocované prahovou spouští B041. Třetí podmínkou je výkon baterie vyšší než 600 W vyhodnocovaný prahovou spouští B046. Instalovaný výkon topné rohože je v tomto případě 550 W.

Vypnutí spotřebiče (resetování západkového relé B042) může nastat za jednoho ze dvou stavů, které jsou vstupem bloku OR B171. Jedním stavem je zapůsobení systému failsafe. Druhým stavem je sepnutí bloku AND B068, který sepne při splnění 2 předpokladů. Prvním předpokladem je doba 10 sekund od vypnutí následující zátěže. Tento čas monitoruje zpoždění sepnutí B105. Přenos signálu pro tuto podmínku zajišťuje vložka M3 napojená na výstup západkového relé B078 a blok NOT B073. Druhou podmínkou vyhodnocuje blok OR B052. Výstup tohoto bloku může aktivovat jeden ze 3 stavů. Prvním stavem je pokles SoC pod 87 % sledovaný prahovou spouští B249. Druhým stavem je pokles výkonu baterie pod 400 W sledovaný prahovou spouští B051 na dobu 10 minut, která je sledována zpožděním sepnutí B067. Třetím stavem je pokles výkonu baterie pod 2000 W sledovaný prahovou spouští B170 po dobu 10 sekund, kterou sleduje zpoždění sepnutí B118.

Sepnutí zátěže lze provést i nezávisle na hlavním algoritmu. Spuštění je provedeno sepnutím topení a následným zpožděným sepnutím spotřebiče pomocí bloku B085. Toto zpoždění předchází přetížení zdroje PLC nárazovým proudem pro sepnutí většího množství výstupních relé PLC najednou.

Bojler 2 nelze sepnout ze sítě, jelikož funguje pouze jako akumulátor energie.



Obrázek 7.3 Výřez FBD programu pro spínání T10 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort

### 7.3.3 Přepínání ostrov/sít'

Detail blokového schématu přepínání mezi FVE a sítí je patrné z pravé části obrázku 7.5. Vzájemné elektrické blokování stykačů je provedeno pomocí bloku NOT B127. Ve výchozím stavu je sepnutý stykač KM4. Pro zaručení dostatku času pro manipulaci stykačů jsou použity zpoždění sepnutí B126 a B128. Sepnutí stykače KM5 a vypnutí stykače KM4 je řízeno blokem AND B131. Tento blok má dva vstupy, kde blok B130 slouží v případě přebytků pro přepnutí zátěží na FVE a následné využití těchto přebytků. Signál do bloku B130 je přiveden z pulzního relé B232, které spíná bojler 1 v případě přebytků. Blok OR B129 sdružuje 4 možné stavy pro sepnutí stykače KM5 a připojení zátěží na síť v situaci bez přebytků. První a druhý stav je pro napájení topení ze sítě. Třetí a čtvrtý stav je pro sepnutí bojleru ze sítě. Tyto stavy jsou popsány v sekci 7.4 této práci.

## 7.4 Další funkce

Tato část vysvětluje další naprogramované funkce PLC mimo hlavní algoritmus.

### 7.4.1 Cursor keys

PLC podporuje jako vstup 4 kurzorová tlačítka. Funkci tlačítka lze použít stiskem samotného tlačítka spolu s klávesou ESC. Bez stisku s klávesou ESC fungují kurzorová tlačítka pro navigaci mezi datovými obrazovkami a navigaci v menu PLC.

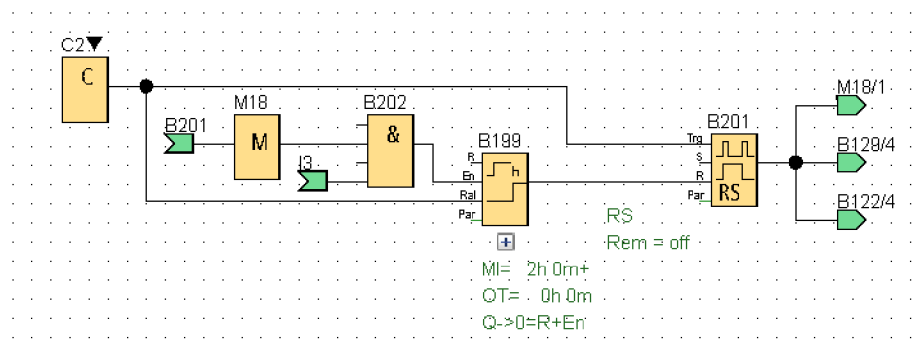
Tlačítko doprava je využito pro povolení/zákaz ohřevu bojleru 1 ze sítě. Při stisku tlačítka je změněn výstupní stav pulzního relé B222, které dále povolí nebo blokuje sepnutí výstupu bloku AND B125. Funkce je vhodná pro použití v případě několikadenní nepřítomnosti osob v domě, nebo pokud zůstal bojler nahřátý z předešlého dne. Detail blokového schématu je patrný z obrázku 7.5.

Tlačítko doleva povoluje/zakazuje sepnutí všech topení ze sítě vyjma T3 a T11. Tlačítko přepíná výstup pulzního relé B072, a to dále způsobí přepnutí topení na síť a postupnou aktivaci jednotlivých topení. Využití této volby je především na jaře a na podzim pro vytápění pouze z přebytků. V případě že je topení povoleno a nastane stav s přebytky, má napájení z FVE přednost. Detail je taktéž ve schématu na obrázku 7.5.

Tlačítko nahoru povoluje/zakazuje sepnutí T3 a T11 ze sítě pro případ, že je potřeba v těchto místnostech topit. Provedení funkce je obdobné jako u předešlého tlačítka, zde pomocí pulzního relé B194. Běžně bude tato možnost vypnuta a chodby budou využity jako akumulátory tepla. Termostaty v chodbách budou nastaveny na vyšší teplotu. Detail funkce je vyobrazen v pravé části obrázku 7.5.

Tlačítko dolů umožňuje sepnout ohřev bojleru 1 ze sítě na 2 hodiny. Sepnutí tlačítka aktivuje pulzní relé B201 a resetuje počítadlo hodin B199. Pulzní relé B201 sepne stykač na KM5 a sepne bojler 1. Počítadlo hodin B199 počítá dobu ohřevu bojleru pomocí relé B201 a vstupu I3, který sleduje stav skutečného připojení bojleru 1 k napájení. Po

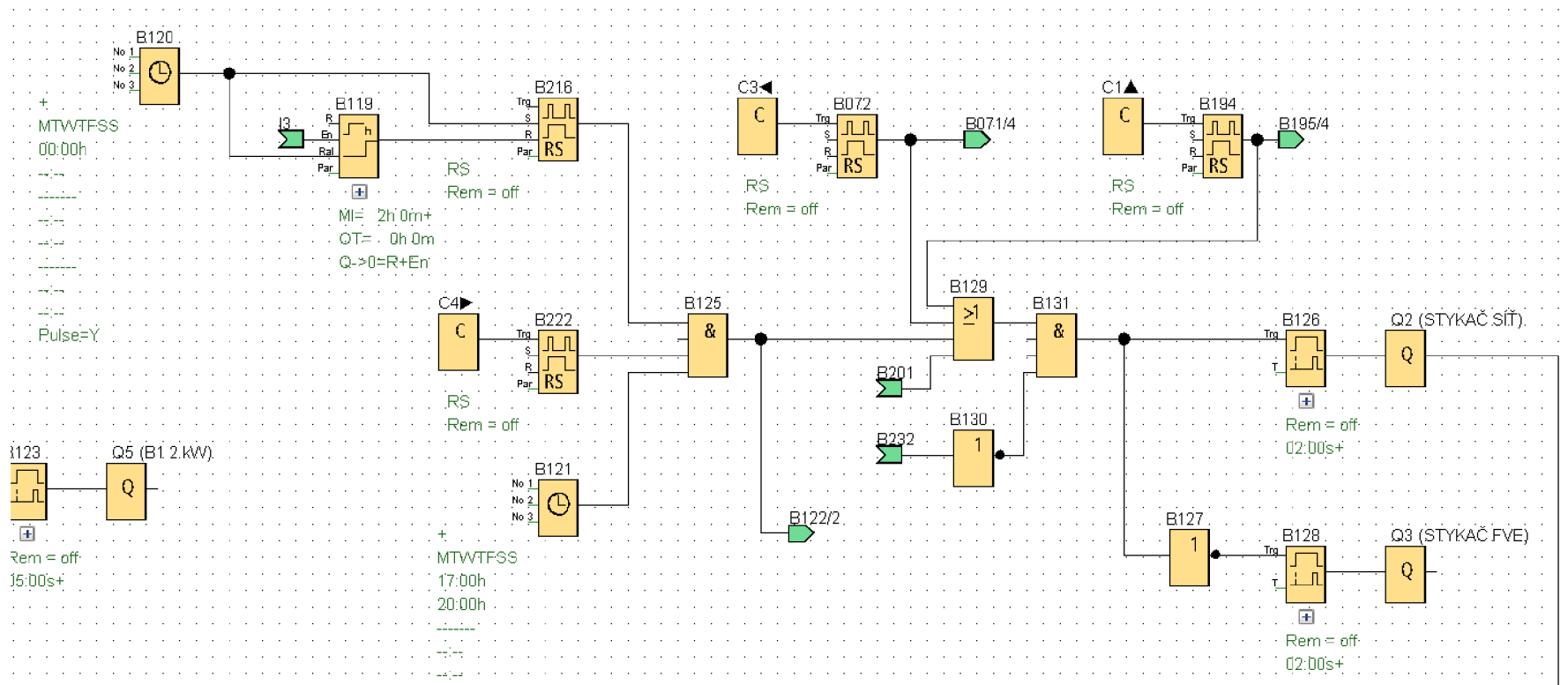
uplynutí 2 hodin ohřevu dojde k resetu (vypnutí) relé B201. Zapojení bloků je patrné z obrázku 7.4.



Obrázek 7.4 Výřez FBD programu s kurzorovým tlačítkem dolů pořízený v programu LOGO!Soft Comfort

#### 7.4.2 Spínání bojleru 1

Nahřátí bojleru 1 trvá okolo 2 hodin. Pro zaručení dostatku teplé vody ve dny, kdy nebyl dostatek přebytků pro ohřev bojleru je naprogramována funkce sepnutí bojleru denně v době od 17 do 20 hod ze sítě. Načasování je provedeno pomocí týdenního časovače B121. Bojler bude v této době sepnut na dobu potřebnou pro splnění 2 hodin ohřevu v daný den. Například pokud v daný den byl bojler 1 nahříván po dobu 1 hodiny z přebytků, tak ho tato funkce sepne na 1 hodinu v době nízkého tarifu. Tuto podmínku hlídá počítadlo hodin B119, které resetuje pulzní relé B216. Počítadlo hodin B119 je resetováno každou půlnoc díky pulznímu výstupu týdenního časovače B120. Předpokladem pro fungování tohoto spínání je povolení ohřevu bojleru pomocí kurzorového tlačítka doprava. Detail tohoto schématu je v levé části obrázku 7.5.

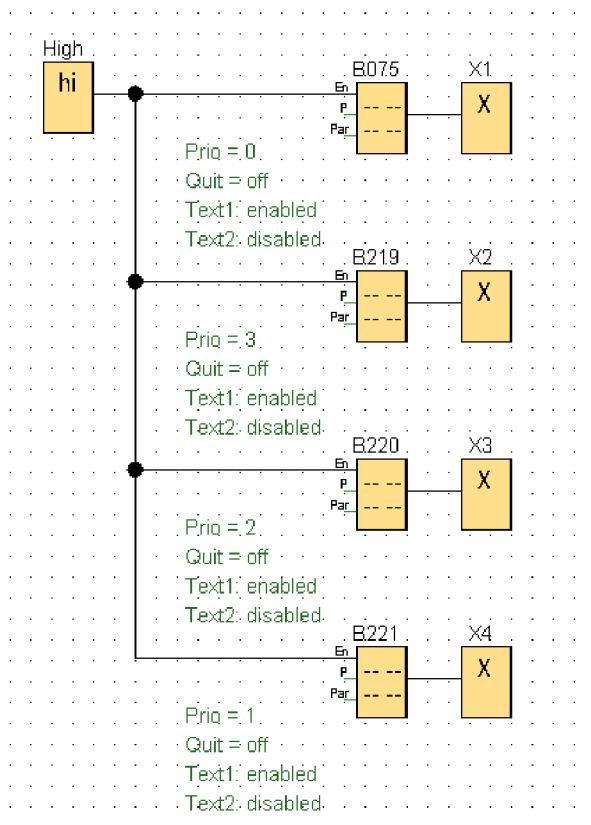


Obrázek 7.5 Výřez FBD programu pro přepínání mezi sítí a FVE pořízený v programu LOGO!Soft Comfort



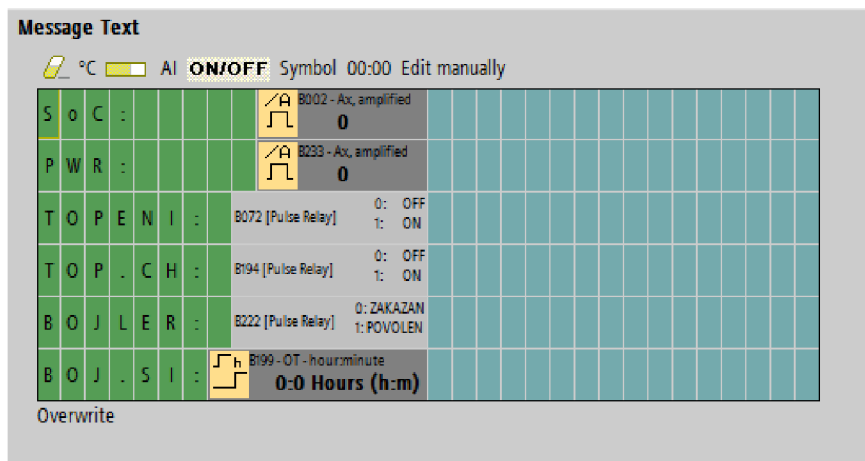
### 7.4.3 Datové obrazovky

Pro monitorování systému jsou naprogramovány 4 datové obrazovky. Pro sepnutí datových obrazovek je použit blok high, který přivádí logickou 1 na vstupy En bloků datových obrazovek. Výstupy bloků datových obrazovek jsou zakončeny bloky open connector. Datové obrazovky mají nastavenou prioritu od 0 do 3 pro určení jejich pořadí. Blokové schéma datových obrazovek je na obrázku 7.6.



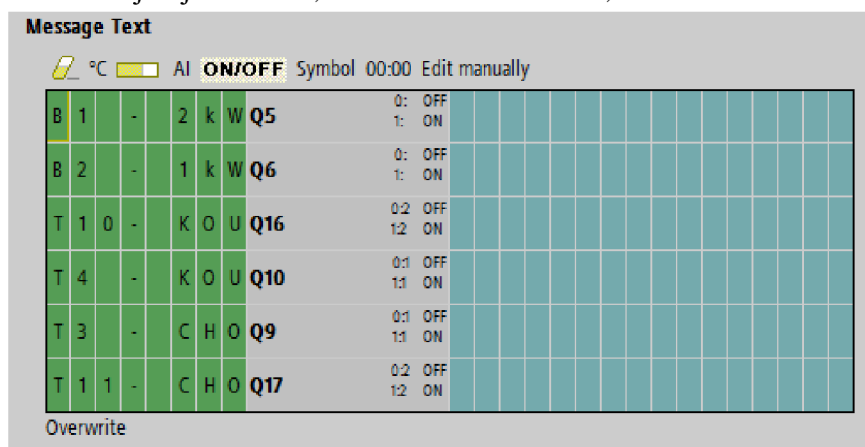
Obrázek 7.6 Výřez FBD programu s datovými obrazovkami pořízený v programu LOGO!Soft Comfort

Datová obrazovka s nejvyšší prioritou B075 zobrazuje SoC baterie, výkon baterie, stav topení, stav topení chodeb, povolení/zakázání bojleru a dobu sepnutí bojleru v případě sepnutí bojleru kurzorovým tlačítkem dolů. Hodnota SoC je získána čtením hodnoty z bloku B002 a hodnota výkonu baterie je získána z bloku B233. Stavys jsou získány z výstupů odpovídajících pulzních relé. Na datové obrazovce jsou při povolení/zakázání bojleru zobrazovány zprávy ve tvaru POVOLEN/ZAKAZAN. Složení datové obrazovky je patrné z obrázku 7.7. Tyrkysová barva značí plochu zobrazenou na zařízení LOGO! TD, které není součástí systému.

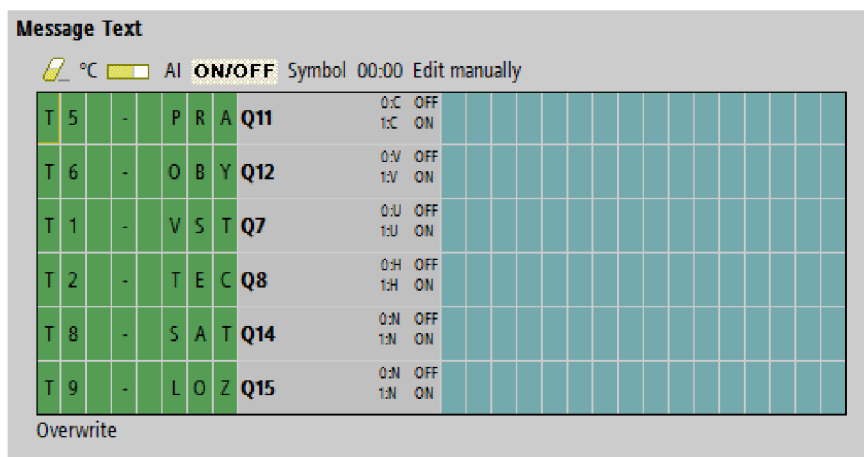


Obrázek 7.7 Detail datové obrazovky s prioritou 0 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort

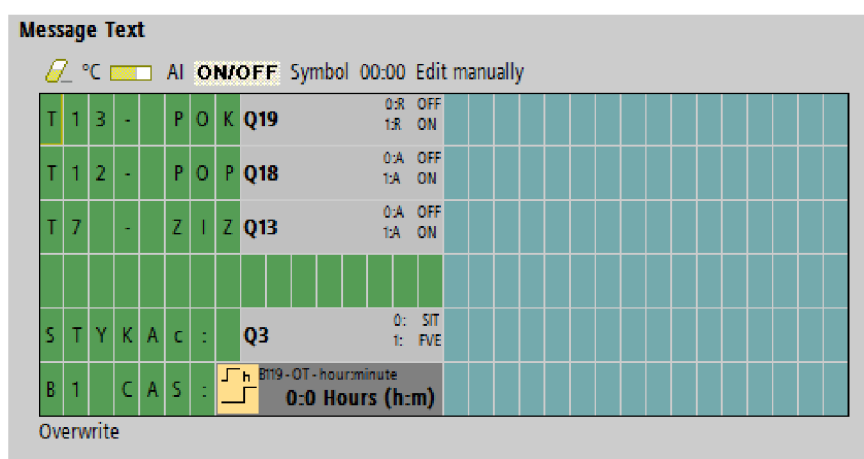
Další 3 datové obrazovky popořadě podle priority v kaskádě zobrazují stavy sepnutí jednotlivých výstupů PLC pro spotřebiče, dále pak právě aktivní stykač pro topení sítě/FVE (KM5/KM4) a dobu sepnutí bojleru 1 v aktuální den. Doba sepnutí je informativní údaj pro případné rozhodnutí uživatele, zda se rozhodne manuálnímu ohřevu bojleru 1 ze sítě. Datové obrazovky se na PLC zobrazují nad hlavní datovou obrazovkou podle priority. Obrazovka s prioritou 3 je nejvýše. Pořadí datových obrazovek s prioritou 1-3 je shora dolů stejně jak v PLC, tak i na obrázcích 7.8; 7.9 a 7.10.



Obrázek 7.8 Detail datové obrazovky s prioritou 3 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort



Obrázek 7.9 Detail datové obrazovky s prioritou 2 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort



Obrázek 7.10 Detail datové obrazovky s prioritou 1 pořízený v programu LOGO!Soft Comfort

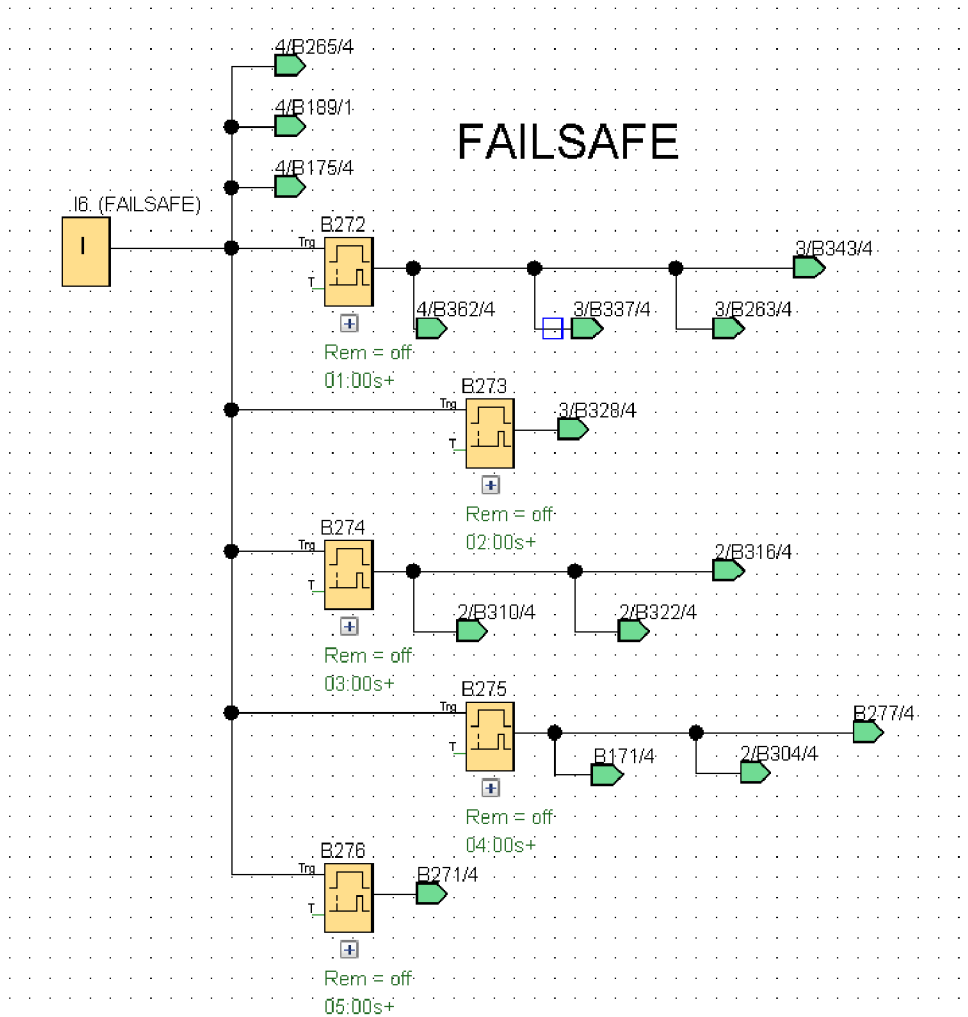
#### 7.4.4 Failsafe systém

Failsafe systém je v programu pro předcházení přetížení jištění na výstupu z elektrárny a přetížení samotné elektrárny. Při výrobě FVE vyšší než 4000 W může dojít současněmu sepnutí více topení o celkovém výkonu vyšším než 4000 W. Tento výkon při napětí 230 V odpovídá proudu okolo 17,4 A. Pokud by v této situaci došlo k sepnutí dalších 2 spotřebičů o výkonu vyšším než 3000 W, převyšoval by celkový proud hodnotu 30 A. To by mohlo vést k vybavení jističe B25, který jistí výstup FVE.

Bohužel na základě informací z měniče, které se aktualizují pomalu a při chování kaskády by nemuselo dojít k odlehčení zátěže včas před vybavením jističe. Pro předcházení tomuto stavu bude použito proudové relé Elko EP PRI-52, které bude měřit proud fázového vodiče z výstupu FVE. Relé umožňuje nastavení spouštěcího proudu v rozsahu 0,5-25 A a časové prodlevy v rozsahu 0,5-10 s [17].

Na relé bude nastaven maximální proud 25 A a čas 0,5 s. Při zapůsobení relé dojde k připojení napětí 24 V DC na vstup I6 PLC. To povede k postupnému vypínání zátěží

po skupinách v kaskádě od konce s prodlevou 2 s. Vypínání bude ukončeno po odeznění působení relé. V případě trvalějšího vybití baterie dále dojde k odpínání zátěží podle logiky algoritmu. Pokud vzniknou přebytky může dojít k dalšímu spínání zátěží. Blokové schéma systému failsafe je vyobrazeno na obrázku 7.11.



Obrázek 7.11 Výřez FBD programu se systémem failsafe pořízený v programu LOGO!Soft Comfort

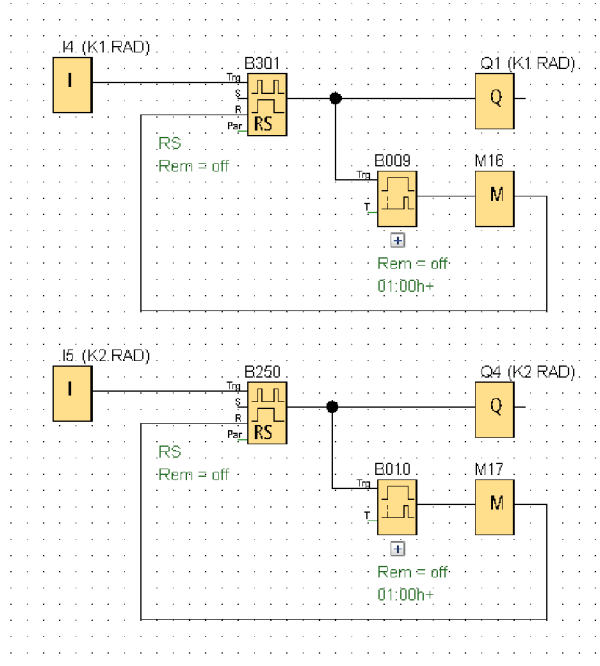
#### 7.4.5 Časování žebříkových radiátorů

Žebříkové radiátory jsou instalovány pro odkládání ručníků a jejich vysušení po použití. Pro sepnutí je u radiátoru tlačítko ovládající časové relé s nastaveným časem 1 hod. Relé dále spíná stykač daného radiátoru. Časová relé nepodporují vypnutí v případě opětovného stisknutí tlačítka.

Pro zlepšení této funkce byla časová relé nahrazena pomocí PLC. Část blokového schématu věnovaná ovládání žebříkových radiátorů je patrná z obrázku 7.12. Ovládací tlačítka jsou připojena na vstupy I4 a I5 PLC, kde při sepnutí přivádí 24 V DC.

Funkci lze demonstrovat na příkladu radiátoru v koupelně 1.NP. Sepnutí vstupu I4 spustí pulzní relé B301, které spustí stykač radiátoru. Časování je provedeno blokem

zpoždění sepnutí B009, který hodinu po sepnutí relé B301 toto relé restuje a tím dojde k vypnutí stykače radiátoru. Stisknutí ovládacího tlačítka v případě, kdy je relé B301 sepnuto, způsobí vypnutí relé B301 a z toho vyplývající vypnutí stykače radiátoru.



Obrázek 7.12 Výřez FBD programu s ovládáním žebříkových radiátorů pořízený v programu LOGO!Soft Comfort

## 7.5 Možnosti rozšíření

Modulárnost systému LOGO! umožňuje v budoucnu přidávat další funkce. Příkladem může být přidání rozšiřujících modulů s analogovými výstupy například pro řízení bezkontaktních relé nebo nabíječky elektroauta pomocí signálu 0-10 V.

PLC Siemens LOGO! umožňuje vytvoření vlastního web serveru pro vzdálený přístup. V rámci serveru lze vytvořit několik webových stránek, které mohou obsahovat prvky zobrazující stavy bloků v blokovém schématu nebo vstupy pro ovládání. Nevýhodou je možný přístup pouze v místní síti, tudíž pro vzdálený přístup by bylo nutné zřídit VPN. Druhá možnost přístupu je hostování web serveru v cloudu. Jedná se ale o placenou službu, kde pro tento řídicí systém cena převyšuje možný užitek. Dále pak vytvořený algoritmus umožňuje automatický provoz bez nutnosti vzdálené správy. Z těchto důvodů nemá vzdálené ovládání zásadní přínos.

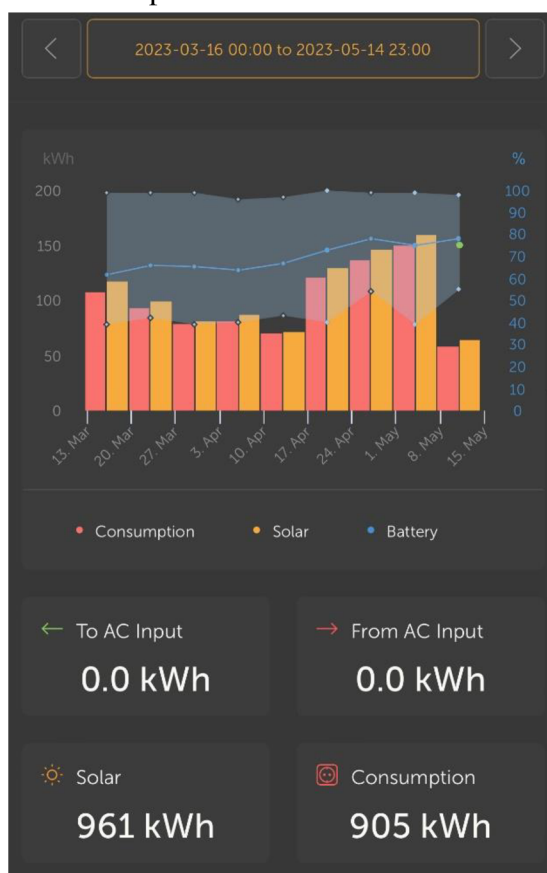
## 8. ZHODNOCENÍ EFEKTIVITY SYSTÉMU

Zhodnocení systému z pohledu ekonomického a z pohledu energetické efektivity je provedeno v této kapitole. Navíc bylo přidáno i zhodnocení z pohledu uživatelského.

### 8.1 Energetické zhodnocení

Vzhledem ke krátké době provozování FVE bohužel neexistují data o výrobě z předešlých let. Pro jisté nastínění funkce je možné vyjít z dat při provozu systému s PLC. Provoz byl spuštěn 16. března 2023 a v rámci této práce byl sledován do 14. května 2023. Během tohoto období bylo topení připojeno k síti pouze po dobu několika dní v období nízké výroby z důvodu poklesu teploty v domě. Nicméně byla spotřebována téměř veškerá energie vyrobená z FVE. Nespotřebované přebytky byly způsobeny nedostatky algoritmu, které byly během tohoto provozu odstraněny.

Za sledované období bylo vyrobeno 961 kWh elektrické energie a spotřebováno 905 kWh. Rozdíl je způsoben ztrátami a vlastní spotřebou měničů a ztrátou v baterii. Data jsou zobrazena na obrázku 8.1 z aplikace VRM.



Obrázek 8.1 Výroba a spotřeba FVE z prostředí aplikace VRM

Měření spotřeby ze sítě bylo provedeno zařízením Smappee. Za sledované období bylo spotřebováno ze sítě přibližně 77 kWh. Spotřeba ze sítě v jednotlivých měsících je zobrazena na obrázku 8.2.



Obrázek 8.2 Spotřeby ze sítě ve sledovaných měsících z aplikace Smappee

Z těchto dat je možné usoudit, že PLC napomáhá využívat elektrickou energii z FVE v maximální možné míře.

## 8.2 Ekonomické zhodnocení

Pořizovací cena jednotlivých komponent systému je uvedena v tabulce 8.1. Celkové náklady na pořízení systému jsou 13221 Kč.

Tabulka 8.1 Pořizovací cena jednotlivých komponent

Komponenta	Počet KS	Cena za KS [Kč]	Cena celkem [Kč]
PLC Siemens LOGO! 6ED1052-1MD08-0BA1	1	3194	3194
Rozšiřující modul 6ED1055-1NB10-0BA2	2	2944	5888
Zdroj Siemens LOGO! Power 6EP3333-6SB00-0AY0	1	2323	2323
Software LOGO!Soft Comfort V8 6ED1058-0BA08-0YA1	1	1816	1816
<b>Celková cena</b>			<b>13221 Kč</b>

Díky absenci dat výroby a spotřeby z FVE nelze přesně vypočítat návratnost investice do systému. Je možné ji ale odhadnout z dat predikované výroby a spotřeby v kapitole 1 této práce. Celková predikovaná výroba v období od října do března je necelých 1360 kWh a tato hodnota je menší než predikovaná spotřeba. Při koncepci systému a možné akumulaci energie ve formě tepla je možné předpokládat, že se veškerá vyrobená elektrická energie v tomto období spotřebuje. Pro akumulaci slouží hlavně bojler 2 a chodby. Odhadem 40 % z výroby v tomto období je energie přebytečná, kterou lze využít pro ohřev boilerů a podlah. Při nákupní ceně elektřiny 6,53 Kč v nízkém tarifu to pak odpovídá úspoře okolo 3500 Kč ročně. Úspora ovšem bude vyšší z důvodu využití energie v ostatních měsících, především pro ohřev TV v bojlerech. Odhadovaná

návratnost by se tedy měla pohybovat do 4 let. Dalším aspektem ve prospěch kratší návratnosti je ušetřený čas, který by byl využíván pro manuální sledování a ovládání.

### **8.3 Uživatelský pohled**

Jak již bylo zmíněno, před instalací PLC bylo využití přebytků ovládáno manuálně. Toto řešení sice bylo funkční, na stranu druhou obnášelo potřebu neustálého monitorování a ručního spínání spotřebičů. Mnohdy se stávalo, že se baterie nabíla na 100 % a byla utlumena výroba, zatímco spotřebiče nebyly zapnuty. Nastával i opačný případ, kdy docházelo k nežádoucímu vybití baterie díky spuštěným zátěžím, zatímco výroba poklesla. Instalací PLC bylo dosaženo automatizace tohoto procesu a odpadla tak nutnost systém neustále kontrolovat.

Navíc bylo zautomatizováno nahřívání bojleru a není tak nutné nahřívání denně řešit. Další výhodou je zjednodušení uživatelského rozhraní, kdy pro ovládání stačí 4 kurzorová tlačítka namísto složitějšího přepínání jističů a stykačů. Posledním doplňkem je nově vzniklá možnost vypnout žebříkové radiátory, například v případě jejich nechtěného zapnutí uživatelem.



## 9. ZÁVĚR

V práci byla probrána problematika optimalizace spotřeby elektřiny v rodinném domě s ostrovní FVE. Došlo k seznámení se sledovaným rodinným domem. Rešerší byly získány informace o možnostech řízení spotřeby elektřiny v místě výroby, s cílem zvýšení výnosů z výroby. Na základě rešerše došlo k výběru vhodné řešení ve formě PLC. Z dostupných možností na trhu bylo vybráno PLC Siemens LOGO! spolu s dvěma rozšiřujícími moduly. Při výběru bylo přihlíženo na požadované funkce a možnou rozšiřitelnost funkcí PLC v případě budoucí potřeby.

Vybrané řešení bylo instalováno ve sledovaném rodinném domě a podrobeno testovacímu provozu. Během tohoto provozu došlo několikrát k přepracování hlavního řídicího algoritmu za účelem jeho optimalizace pro zlepšení využití energie a snížení cyklování stykačů spínajících jednotlivé spotřebiče. Dále došlo k doplnění dalších funkcí do programu PLC jako například ohřev bojleru ze sítě v případě nedostatku přebytků v daný den, možnost centrálního vypnutí topení nebo nahrazení časových relé pro ovládání žebříkových radiátorů.

Výsledkem je systém, který v případě přebytků elektřiny z FVE ohřívá bojler a spíná jednotlivé topné rohože dle jejich priority v programu tak, aby nedocházelo k přetížení měničů i v případě sepnutí dalších zátěží uživatelem. V situaci bez přebytků systém přepojí bojler 1 a topné rohože na síť pomocí stykačů, aby byl zajištěn dostatek teplé vody, a aby nedocházelo k ochlazení prostorů v domě.

Hlavním přínosem instalovaného PLC je jeho autonomie a odpadá tak nutnost manuálního hlídání přebytků a spínání zátěží. Díky tomu je ušetřen čas uživatele. Dále neustálým monitorováním provozních parametrů systém umožňuje využití přebytků v době, kdy je potřeba v objektu vytápět, nebo ohřívát vodu.

## LITERATURA

- [1] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. *European Commission* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- [2] KNX Explained – What is KNX?. *Homey - A Better Smart Home* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://homey.app/en-ie/wiki/what-is-knx/>
- [3] Základní popis funkce. *SOLAR controls s.r.o.* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: [https://solarcontrols.cz/cz/watrouter\\_function.html](https://solarcontrols.cz/cz/watrouter_function.html)
- [4] Přehled typů regulačních systémů WATTrouter. *SOLAR controls s.r.o.* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: [https://solarcontrols.cz/cz/watrouter\\_models.html](https://solarcontrols.cz/cz/watrouter_models.html)
- [5] GBO-Aku - regulátor pro úplné využití přebytků FVE. *YORIX s.r.o.* [online]. [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <http://www.yorix.cz/cz/greenbono/gbo-aku.htm>
- [6] REDAKCE ČASOPISU. Co je programovatelný logický automat (PLC) - 1. část. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 8. ZÁŘÍ 2022 [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/co-je-programovatelný-logický-automat-plc-1-cast>
- [7] REDAKCE ČASOPISU. Co je programovatelný logický automat (PLC) - 2. část. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 16. září 2022 [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/co-je-programovatelný-logický-automat-plc-2-cast>
- [8] SESTAVA PLC. *PLC AUTOMATIZACE* [online]. [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc/plc-hw-sestava.htm>
- [9] PLC - programovací jazyky. *Zandrův svět* [online]. 10.05.2005 [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <http://www.zandruvsvet.opatnet.cz/view.php>
- [10] PLC PERIFERIE. *PLC AUTOMATIZACE* [online]. [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/periferie.htm>
- [11] What you need to know about PLC Outputs. *PLC EDGE* [online]. [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://www.plcedge.com/plc-outputs.html>
- [12] GX Modbus-TCP Manual. *Documentation [Victron Energy]* [online]. [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: [https://www.victronenergy.com/live/ccgx:modbustcp\\_faq](https://www.victronenergy.com/live/ccgx:modbustcp_faq)
- [13] LOGO! – the compact controller with a cloud interface. *Siemens* [online]. [cit. 2022-12-13]. Dostupné z:

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo.html>

- [14] Datenblatt. In: *Conrad Electronic* [online]. [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/002335753DS00/list-technicky-udaju-2335753-siemens-6ed1052-1md08-0ba1-plc-ridici-modul-12-vdc-24-vdc.pdf>
- [15] Datasheet. In: *Conrad Electronic* [online]. [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001268253DS02/list-technicky-udaju-1268253-siemens-logo-dm16-24r-0ba2-rozsirujici-modul-pro-plc-24-vdc.pdf>
- [16] SIEMENS AG. LOGO!Soft Comfort Online Help: Operating Instructions. In: *Siemens* [online]. 1/2022 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/807/100782807/att\\_924632/v1/Help\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/807/100782807/att_924632/v1/Help_en-US_en-US.pdf)
- [17] PRI-52: Hlídací proudové relé úrovně I<sub>max</sub> provlečeným vodičem v 1F - AC. In: *Eshop ELKO EP* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: [https://eshop.elkoep.cz/documents/pri-52/share\\_dokumentace/cs/katalogovy\\_list\\_pri-52.pdf](https://eshop.elkoep.cz/documents/pri-52/share_dokumentace/cs/katalogovy_list_pri-52.pdf)

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
PLC	Programmable logic controller (programovatelný logický automat)
FV	Fotovoltaika
FVE	Fotovoltaická elektrárna
PVGIS	Photovoltaic geographical information system (fotovoltaický geografický informační systém)
RD	Rodinný dům
I/O	Input/Output (vstup/výstup)
HDO	Hromadné dálkové ovládání
SoC	State of charge (stav nabití)
MPPT	Maximum power point tracker (sledovač maximálního výkonu)
TV	Teplá voda
VM	Variable memory (paměť proměnných)
AI	Analog input (analogový vstup)
VPN	Virtual private network (virtuální privátní síť)

# **SEZNAM PŘÍLOH**

**PŘÍLOHA A – SCHÉMA ZAPOJENÍ**

**PŘÍLOHA B – VÝVOJOVÝ DIAGRAM**

**PŘÍLOHA C – FUNKČNÍ BLOKOVÝ DIAGRAM PROGRAMU PLC**