**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

## Možnosti integrace FVE do řídícího systému budov

**Bc. Tomáš Tomek** **2021**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

| | |
|---|---|
| Jméno a příjmení: | **Bc. Tomáš TOMEK** |
| Osobní číslo: | **E18N0065P** |
| Studijní program: | **N2612 Elektrotechnika a informatika** |
| Studijní obor: | **Elektroenergetika** |
| Téma práce: | **Možnosti integrace FVE do řídicího systému budov** |
| Zadávající katedra: | **Katedra elektroenergetiky** |

## Zásady pro vypracování

1. Proveďte návrh fotovoltaické elektrárny pro vybraný objekt. Porovnejte jednotlivé druhy střídačů a panelů. Vyberte vhodná řešení a v simulačním programu porovnejte výhodnost jednotlivých systémů.
2. Navrhněte možná řešení pro integraci FVE do řídicího systému budovy tak, aby byla maximálně využita vyrobená elektrická energie.
3. Pro navržený systém vytvořte kompletní projektovou dokumentaci.
4. Proveďte závěrečné zhodnocení navrhovaného řešení.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:


1. MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2367-9
2. MEYER, Willi. KNX/EIB Engineering Tool Software. 1. Heidelberg, Německo: Hüthig, 2015. ISBN 978-3810103710


Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Rot, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2021**

L.S.

**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**
děkan

**Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

# Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá možnostmi integrace fotovoltaické elektrárny (FVE) do řídícího systému budov. Teoretická část diplomové práce seznamuje s komponenty FVE, možnostmi využití přebytečné vyrobené energie z FVE a popisem a využitím řídících systémů budov. V praktické části je navržena fotovoltaická elektrárna pro vybraný objekt a řešení integrace FVE do řídícího systému budov pro maximalizaci využití vyrobené energie. Pro navržený fotovoltaický systém je vytvořena projektová dokumentace, která se nachází v příloze diplomové práce.

# Klíčová slova

Fotovoltaická elektrárna (FVE), akumulace, fotovoltaické panely, akumulátor, střídač, elektromobil, nabíjecí stanice, ohřev vody, řídící systém budov, přebytky vyrobené energie

# Abstract

The diploma thesis deals with the possibilities of integration of photovoltaic power station (PV) into the building control system. The theoretical part of the thesis introduces the components of the PV, the possibilities of using excess energy from PV, and the description and use of building control system. In the practical part, a photovoltaic power station is designed for a selected building. This part of the thesis also gives solutions for integrating PV into the building control system to maximize the use of energy from PV. Project documentation for the proposed photovoltaic system is annexed to the thesis.

# Key words

Photovoltaic power station, accumulation, photovoltaic panels, battery, inverter, electric car, charging station, water heating, building control system, excess energy

# Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 27.5.2021 Bc. Tomáš Tomek

# Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Rotovi Ph.D. a Ing. Jakubu Jiřincovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

**SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK** ..... **10**

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK** ..... **12**

**ÚVOD** ..... **14**

**1 FOTOVOLTAICKÉ PANELY** ..... **15**

1.1 ROZDĚLENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ ..... 15
1.2 VÝBĚR FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ PRO FVE, JEJICH ORIENTACE A SKLON ..... 16

**2 STŘÍDAČ (MĚNIČ)** ..... **18**

2.1 ROZDĚLENÍ STŘÍDAČŮ ..... 18
2.2 VÝBĚR SOLÁRNÍHO MĚNIČE ..... 19
2.3 MONITORING ..... 20
*2.3.1 Lokální monitoring* ..... *20*
*2.3.2 Vzdálený monitoring* ..... *20*

**3 MOŽNOSTI UKLÁDÁNÍ PŘEBYTEČNÉ ENERGIE Z FVE** ..... **22**

3.1 NEGATIVNÍ VLIVY PŘETOKŮ ENERGIE Z FVE DO DS ..... 23
3.2 UKLÁDÁNÍ PŘEBYTEČNÉ ENERGIE DO AKUMULÁTORU ..... 25
*3.2.1 BMS - Battery Management System* ..... *26*
3.3 UKLÁDÁNÍ PŘEBYTEČNÉ ENERGIE DO OHŘEVU VODY ..... 28
*3.3.1 Plynulá regulace výkonu do odporové zátěže* ..... *28*
3.4 ULOŽENÍ PŘEBYTEČNÉ ENERGIE DO NABÍJENÍ ELEKTROMOBILU ..... 31
3.5 ULOŽENÍ PŘEBYTEČNÉ ENERGIE DO VÝROBY METHANU NEBO VODÍKU ..... 33
*3.5.1 Power to Gas* ..... *33*

**4 INTEGRACE FVE DO ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU BUDOV** ..... **35**

4.1 SYSTÉM KNX ..... 35
*4.1.1 Přenosová média pro komunikaci* ..... *35*
*4.1.2 Komunikace KNX* ..... *37*
4.2 MODBUS ..... 37
*4.2.1 Komunikace protokolu Modbus* ..... *37*
4.3 VYUŽÍTI KOMUNIKAČNÍCH PROTOKOLŮ PRO INTEGRACI FVE DO ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU BUDOV ..... 38
*4.3.1 Možnosti využití komunikačních protokolů k optimalizaci spotřeby* ..... *39*

**5 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY** ..... **41**

5.1 POPIS OBJEKTU ..... 42
5.2 SPOTŘEBA OBJEKTU ..... 42
5.3 NÁVRH SOLÁRNÍCH PANELŮ ..... 43
*5.3.1 Orientace solárních panelů* ..... *43*
*5.3.2 Sklon solárních panelů* ..... *44*
*5.3.3 Instalovaný výkon FVE* ..... *47*
*5.3.4 Navrhnuté řešení solárních panelů* ..... *48*
5.4 NÁVRH STŘÍDAČE ..... 49

**6 NÁVRHY ŘEŠENÍ PRO INTEGRACI FVE DO ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU BUDOV PRO MAXIMÁLNÍ VYUŽITÍ VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE** ..... **51**

6.1 NÁVRH ULOŽENÍ PŘEBYTKŮ DO AKUMULÁTORU PŘIPOJENÉHO KE STŘÍDAČI ..... 51
6.2 NÁVRH ULOŽENÍ PŘEBYTKŮ DO AKUMULÁTORU ELEKTROMOBILU ..... 56
*6.2.1 Způsoby nabíjení elektromobilu s použitím řídícího systému budov* ..... *62*
6.3 NÁVRH ULOŽENÍ PŘEBYTKU DO VODY OHŘÍVANÉ ODPOROVOU ZÁTĚŽÍ ..... 63

6.4 PROPOJENÍ NAVRŽENÝCH AKUMULAČNÍCH ŘEŠENÍ DO ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU BUDOV ..... 66
6.5 NÁVRH ULOŽENÍ PŘEBYTKU DO PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ ..... 68
6.6 NÁVRH KOMPLETNÍHO ŘEŠENÍ ..... 69
*6.6.1 Projektová dokumentace ..... 71*
**7 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ ..... 72**
**8 ZÁVĚR ..... 73**
**SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ ..... 74**
**PŘÍLOHY ..... 76**

# Seznam obrázků a tabulek

OBRÁZEK 1 SOLÁRNÍ PANELY, ZLEVA: POLYKRYSTALICKÝ PANEL, MONOKRYSTALICKÝ PANEL, TENKOVRSTVÝ PANEL [3] ..... 16
OBRÁZEK 2 SCHÉMATICKÉ ZAPOJENÍ HYBRIDNÍHO SOLÁRNÍ STŘÍDAČE ..... 19
OBRÁZEK 3 VÝROBA FVE A SPOTŘEBA DOMÁCNOSTI ..... 22
OBRÁZEK 4 VLIV FVE NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ [6] ..... 23
OBRÁZEK 5 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘIJÍMAČE HDO U VÝROBEN S VÝKONEM DO 100 KW [8] ..... 24
OBRÁZEK 6 VYUŽITÍ NAAKUMULOVANÉ ENERGIE ..... 25
OBRÁZEK 7 SCHÉMA ZAPOJENÍ WATTROUTERU PRO ULOŽENÍ ENERGIE DO OHŘEVU VODY S PLYNULOU REGULACÍ ..... 29
OBRÁZEK 8 SPOTŘEBA OBJEKTU A VÝROBA FVE BEZ POUŽITÍ WATTROUTERU [11] ..... 30
OBRÁZEK 9 SPOTŘEBA OBJEKTU ZE SÍTĚ BEZ POUŽÍTÍ WATTROUTERU [11] ..... 30
OBRÁZEK 10 SPOTŘEBA OBJEKTU A VÝROBA FVE S POUŽITÍM WATTROUTERU [11] ..... 30
OBRÁZEK 11 SPOTŘEBA OBJEKTU ZE SÍTĚ S POUŽITÍM WATTROUTERU [11] ..... 31
OBRÁZEK 12 PROPOJENI FVE, NABÍJENÍ ELEKTROMOBILU, DOMÁCÍ SPOTŘEBY A SÍTĚ ..... 32
OBRÁZEK 13 APLIKACE TECHNOLOGIE POWER TO GAS ..... 34
OBRÁZEK 14 STRUKTURA KROUCENÉHO KABELU KNX [16] ..... 36
OBRÁZEK 15 SCHÉMA PŘENOSU KNX-RF [16] ..... 36
OBRÁZEK 16 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ KOMUNIKACE MODBUS ..... 37
OBRÁZEK 17 MODBUS KOMUNIKACE PŘI BEZCHYBNÉM PROVEDENÍ POŽADAVKU ..... 38
OBRÁZEK 18 ZAČLENĚNÍ VYUŽITÍ PŘEBYTKŮ ENERGIE Z FVE DO ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU BUDOV ..... 39
OBRÁZEK 19 PROPOJENÍ AKTORŮ A SENZORŮ PŘES KNX ..... 40
OBRÁZEK 20 OBJEKT PRO NÁVRH FVE ..... 41
OBRÁZEK 21 GRAF VÝROBY FVE BĚHEM DNE - ORIENTACE JIH, SKLON 30°, VÝKON 6,6 KWP ..... 44
OBRÁZEK 22 GRAF VÝROBY FVE BĚHEM DNE - ORIENTACE VÝCHOD A ZÁPAD, , SKLON 30°, VÝKON 6,6 KWP 44
OBRÁZEK 23 POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÉ DENNÍ VÝROBY FVE - ČERVENEC ..... 46
OBRÁZEK 24 POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÉ DENNÍ VÝROBY FVE - ÚNOR ..... 47
OBRÁZEK 25 SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TOKU ENERGIE ZA ROK ..... 48
OBRÁZEK 26 UMÍSTĚNÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ (6,6 KWP) ..... 49
OBRÁZEK 27 SCHÉMATICKÝ DIAGRAM ZAPOJENÍ AKUMULÁTORU DO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU ..... 51
OBRÁZEK 28 SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TOKU ENERGIE ZA ROK PŘI POUŽITÍ AKUMULÁTORU 11 KWH ..... 53
OBRÁZEK 29 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S AKUMULÁTOREM – LEDEN ..... 54
OBRÁZEK 30 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S AKUMULÁTOREM – ČERVENEC ..... 55
OBRÁZEK 31 SCHÉMATICKÝ DIAGRAM ZAPOJENÍ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S AKUMULÁTOREM ..... 56
OBRÁZEK 32 SCHÉMATICKÝ DIAGRAM ZAPOJENÍ NABÍJENÍ ELEKTROMOBILU DO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU ..... 56
OBRÁZEK 33 SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TOKU ENERGIE ZA ROK PŘI POUŽITÍ ELEKTROMOBILU AUDI E-TRON (95 KWH) ..... 58
OBRÁZEK 34 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S ELEKTROMOBILEM - LEDEN, NA NABÍJECÍ STANICI 7:00-16:59, KAPACITA ELEKTROMOBILU 62 KWH, TÝDENNÍ NÁJEZD 300 KM ..... 59
OBRÁZEK 35 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S ELEKTROMOBILEM - ČERVENEC, NA NABÍJECÍ STANICI 7:00-16:59, KAPACITA ELEKTROMOBILU 62 KWH, TÝDENNÍ NÁJEZD 300 KM ..... 60
OBRÁZEK 36 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S ELEKTROMOBILEM - LEDEN, NA NABÍJECÍ STANICI 17:00-6:59, KAPACITA ELEKTROMOBILU 62 KWH, TÝDENNÍ NÁJEZD 300 KM ..... 61
OBRÁZEK 37 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S ELEKTROMOBILEM - ČERVENEC, NA NABÍJECÍ STANICI 17:00-6:59, KAPACITA ELEKTROMOBILU 62 KWH, TÝDENNÍ NÁJEZD 300 KM ..... 61
OBRÁZEK 38 SCHÉMATICKÝ DIAGRAM ZAPOJENÍ OHŘEVU VODY ODPOROVOU ZÁTĚŽÍ DO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU ..... 63
OBRÁZEK 39 SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TOKU ENERGIE ZA ROK PŘI POUŽITÍ AKUMULAČNÍ NÁDRŽE 200 L .. 64
OBRÁZEK 40 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S TOPNÝM TĚLESEM – LEDEN ..... 65
OBRÁZEK 41 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S TOPNÝM TĚLESEM – ČERVENEC ..... 65
OBRÁZEK 42 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S ELEKTROMOBILEM, AKUMULÁTOREM A TOPNÝM TĚLESEM - LEDEN, NA NABÍJECÍ STANICI 7:00-16:59 ..... 67
OBRÁZEK 43 PRŮBĚHY VÝKONŮ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU S ELEKTROMOBILEM, AKUMULÁTOREM A TOPNÝM TĚLESEM -ČERVENEC, NA NABÍJECÍ STANICI 7:00-16:59 ..... 68
OBRÁZEK 44 SCHÉMA OTOPNÉ SOUSTAVY ..... 69
OBRÁZEK 45 PLC WAGO PFC100; 2× ETHERNET, RS-232/-485 [22] ..... 70
OBRÁZEK 46 WALLBOX SCHNEIDER EVB1A22P4ERI [23] ..... 70

TABULKA 1 PARAMETRY SOLÁRNÍHO PANELU HCM60X9 ..... 43
TABULKA 2 ZÁVISLOST ROČNÍ VYROBENÉ ENERGIE Z FVE NA SKLONU SOLÁRNÍCH PANELŮ ..... 45
TABULKA 3 POROVNÁNÍ FVE S RŮZNÝMI VELIKOSTMI VÝKONŮ ..... 48
TABULKA 4 ZÁKLADNÍ PARAMETRY STŘÍDAČE GOODWE GW8K-ET ..... 49
TABULKA 5 ZÁVISLOST SPOTŘEBOVANÉ ENERGIE A ENERGIE PUTUJÍCÍ DO SÍTĚ NA VELIKOSTI KAPACITY AKUMULÁTORU ..... 52
TABULKA 6 ZÁKLADNÍ PARAMETRY AKUMULÁTORU BYD PREMIUM HVM 13,8 ..... 53
TABULKA 7 ZÁVISLOST SNÍŽENÍ PŘETOKŮ DO SÍTĚ NA VELIKOSTI AKUMULÁTORU ELEKTROMOBILU V ČASE 17:00 – 6:59 ..... 58
TABULKA 8 ZÁVISLOST SNÍŽENÍ PŘETOKŮ DO SÍTĚ NA VELIKOSTI AKUMULÁTORU ELEKTROMOBILU V ČASE 7:00 – 16:59 ..... 58
TABULKA 9 ZÁVISLOST SNÍŽENÍ PŘETOKŮ DO SÍTĚ NA VELIKOSTI AKUMULAČNÍ NÁDRŽE ..... 64

# Seznam symbolů a zkratek

°C ..... Stupeň Celsia (jednotka teploty)
1f..... Jednofázový
3D ..... Trojrozměrný
3f..... Třífázový
A ..... Ampér (Jednotka proudu)
AC..... Střídavý proud (Alternating Current)
ADU ..... Aplikační datová jednotka (Application Data Unit)
bit..... Bit (Jednotka dat)
bit/s ..... Bit za sekundu (Jednotka přenosové rychlosti)
BMS..... Systém správy baterie (Battery Management System)
c ..... Měrná tepelná kapacita
CCL ..... Maximální nabíjecí proud (Charge current limit)
DC..... Stejnosměrný proud (Direct Current)
DCL ..... Maximální vybíjecí proud (Discharge current limit)
DOD ..... Stav vybití akumulátoru (Depth of Discharge)
DS ..... Distribuční síť
EZS ..... Elektronická zabezpečovací signalizace
FV ..... Fotovoltaický
FVE..... Fotovoltaická elektrárna
G ..... Generátor
HDO ..... Hromadné dálkové ovládání
Hz ..... Hertz (Jednotka frekvence)
J..... Joule (Jednotka energie)
$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$..... Joule na kilogram a kelvin (Jednotka měrné tepelné kapacity)
Kč ..... Koruna česká
kg ..... Kilogram (Jednotka hmotnosti)
KNX ..... Mezinárodní organizace spravující EIB (Konnex Association)
KNXNET/IP ..... Komunikace KNX po IP sítích
KNX-PL ..... Komunikace KNX po silovém vedení (Power Line)
KNX-RF ..... Komunikace KNX bezdrátovým přenosem (Radio Frequency)
KNX-TP ..... Komunikace KNX po sběrnici (Twisted Pair)

l ..... Litr (Jednotka objemu)
Li-Ion ..... Lithium-iontový akumulátor
m ..... Hmotnost
MTP ..... Měřící transformátor proudu
MTTP ..... Sledování bodu maximálního výkonu (Maximum Power Point Tracking)
NT ..... Nízký tarif
P2G ..... Výroba plynu z elektrické energie (Power to Gas)
PDS ..... Provozovatel distribuční soustavy
PDU ..... Protokolová datová jednotka (Protocol Data Unit)
PHW ..... Teplá užitková voda (Portable Hot Water)
PLC ..... Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
PPDS ..... Pravidla provozování distribuční soustavy
PWM ..... Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
Q ..... Tepelná energie
s ..... Sekunda (Jednotka času)
SELV ..... Bezpečné malé napětí (Safety Extra Low Voltage)
SNG ..... Syntetický methan (Substitute Natural Gas)
SOC ..... Stav nabití akumulátoru (State of Charge)
SOH ..... Stav zdraví akumulátoru (State of Health)
SOP ..... Stav dostupného výkonu (State of Power)
SOS ..... Stav bezpečnosti (State of Safety)
SSR ..... Polovodičové relé (Solid State Relay)
t ..... Teplota
TCP/IP ..... Sada protokolů (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
UPS ..... Nepřerušitelný zdroj energie (Uninterupted Power Supply)
V ..... Volt (Jednotka napětí)
VN ..... Vysoké napětí
VT ..... Vysoká tarif
VVN ..... Velmi vysoké napětí
W ..... Watt (Jednotka výkonu)
Wh ..... Watthodina (Jednotka energie)
Wp ..... Watt-peak (Jednotka výkonu solárního panelu)

# Úvod

V současné době si lidstvo čím dál více uvědomuje omezenost zásob "tradičních" fosilních zdrojů energie. A protože spotřeba elektrické energie neustále roste, je třeba najít alternativní řešení. Tímto řešením je využití obnovitelných zdrojů energie, jako je například geotermální energie, energie bioplynu a biomasy, vody, větru či slunečního záření. Nefosilní přírodní zdroje energie již mají v energetickém mixu České republiky své místo a neustále dochází ke zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie na bilanci spotřeby energie. Sluneční záření je prakticky nevyčerpatelným zdrojem energie. Díky jeho dostupnosti, absenci vzniku škodlivých látek, bezúdržbovému provozu a možnosti instalace v místě spotřeby jsou jedním z nejrozšířenějších typů elektráren vyrábějících energii z obnovitelných zdrojů v ČR fotovoltaické elektrárny.

Fotovoltaické elektrárny jsou vhodným zdrojem energie pro částečné pokrytí spotřeby rodinného domu nebo jiných typů budov. Při použití samotné FVE se část energie spotřebuje a část je dodána do sítě. Proto, aby objekt využil co nejvíce vyrobené energie a snížil přetoky do sítě, je vhodné do solárního systému implementovat akumulační prvky. Pro optimalizaci spotřeby a efektivní řízení akumulačních prvků je vhodné použití řídících systémů budov. Ačkoli systémy pro řízení budov nejsou zatím v ČR příliš rozšířené, na trhu se objevují stále nová a vylepšená řešení. Řídící systémy umožňují komfortnější, efektivnější a ekonomičtější fungovaní budov.

Teoretická část diplomové práce seznamuje s hlavními komponenty fotovoltaické elektrárny. Dále jsou popsány možnosti akumulace energie, které snižují přetoky do distribuční sítě. V závěru teoretické části je uveden popis řídících systémů budov a možnosti využití systémů pro optimalizaci spotřeby a efektivnější využití vyrobené energie z FVE. Praktická část diplomové práce obsahuje návrh fotovoltaické elektrárny pro zadaný objekt pomocí simulačního programu PV*SOL. Při návrhu jsou porovnány různé parametry FVE a jejich vliv na výsledné hodnoty fotovoltaického systému. Dále jsou navržena řešení pro akumulaci energie pro efektivní využití vyrobené energie z FVE pomocí řídícího systému budov. V příloze diplomové práce je kompletní projektová dokumentace pro navržený fotovoltaický systém.

# 1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaický panel přeměňuje elektromagnetickou energii (světlo) na energii elektrickou. Princip přeměny spočívá ve fotoelektrickém jevu, kdy fotony ze slunečního záření dopadají na polovodičový p-n přechod a dochází k uvolnění elektronů z krystalové mřížky. Na p-n přechodu se vytvoří napětí, které u křemíkových fotovoltaických článků dosahuje hodnoty napětí kolem 0,5 V. Pokud se k článku zapojí velice malý spotřebič, začne obvodem procházet elektrický proud. Jelikož má jeden fotovoltaický článek malé napětí i výkon, skládají se články podle požadovaného napětí a proudu sériově nebo paralelně a tím vzniká fotovoltaický panel. Spojením několika fotovoltaických panelů vzniká fotovoltaické pole (string) o určitém výstupním napětí, proudu a výkonu podle specifické potřeby aplikace. [1]

## 1.1 Rozdělení fotovoltaických panelů

**Monokrystalické panely**

- vysoká účinnost při ideálních podmínkách, plocha článků je stejnoměrná a panely mají většinou tmavý odstín do černa
- účinnost monokrystalických článků je kolem 20 % a je ze všech třech typů fotovoltaických článků nejvyšší
- vysoká účinnost je ovšem zaručena jen v místech s dobrými světelnými podmínkami

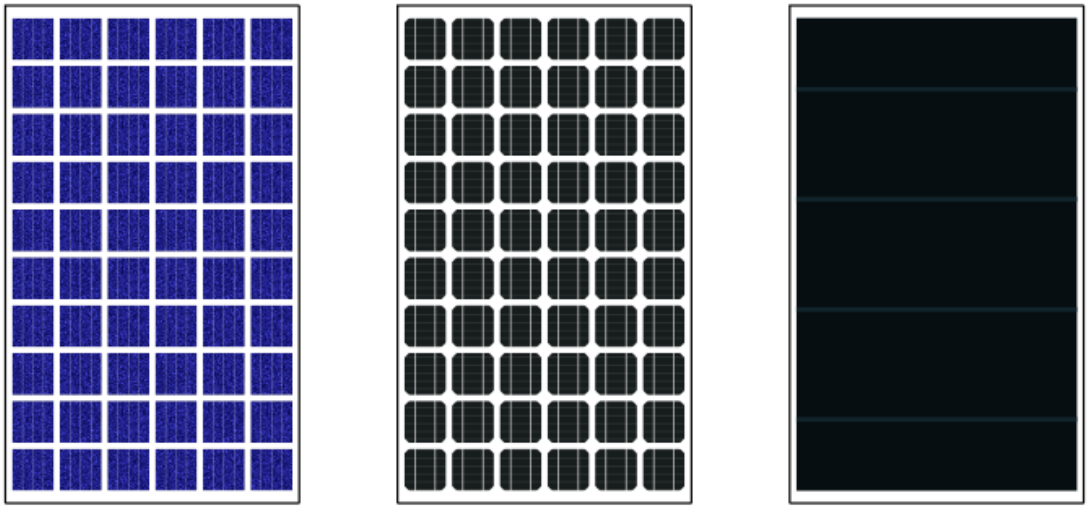
**Polykrystalické panely**

- rovnoměrný výkon při rozptýleném světle
- nižší účinnost cca 17 %
- dají se pořídit za nižší cenu, dnes se však cenový rozdíl snížil na minimum
- hodí se tam, kde je určitá odchylka od ideální orientace (světlo přichází z boku a je více rozptýlené)

**Tenkovrstvé panely** jsou nazývány jako amorfní panely či CIS panely.

- vyšší citlivost při nízké intenzitě svitu (vhodné na velkou plochu, která však není vhodně orientována)
- základem těchto panelů je tenká křemíková vrstva napařovaná na sklo nebo fólii
- účinnost amorfních panelů se pohybuje kolem 13 % a pro dosažení stejného výkonu je potřeba větší plochy

- vyšší citlivost amorfních panelů na rozptýlené sluneční záření, napětí se na článcích udrží i při nižší intenzitě svitu, účinnost s rostoucí teplotou klesá podstatně pomaleji a nedochází tak snadno k přehřívání jako u krystalického křemíku [1] [2]



**Obrázek 1 Solární panely, zleva: polykrystalický panel, monokrystalický panel, tenkovrstvý panel [3]**

## 1.2 Výběr fotovoltaických panelů pro FVE, jejich orientace a sklon

Při výběru panelů je potřeba si uvědomit, kam se budou panely instalovat. Pokud se budou instalovat na střechu objektu například rodinného domu, je potřeba zjistit, kolik je na střeše místa. Nejčastějším způsobem instalace panelů je orientace panelů směrem na jih. Tato orientace panelů zpravidla vygeneruje největší množství energie. Ovšem v posledních letech se také začal uplatňovat způsob umístění panelů na východ a západ. Tento způsob instalace je výhodný u objektu, který má klasickou domácí spotřebu energie, kdy nejvyšší spotřeba objektu je ráno a večer. Při instalaci panelů na východ a západ se nevyrobí maximum energie, ale vyrobí se více energie právě v čas, kdy energii potřebujeme, a to v ranních a večerních hodinách. Naopak v čase, kdy je spotřeba přes den kolem poledne nejnižší se vyrobí méně energie než při orientaci na jih. Dalším parametrem, který ovlivňuje výrobu energie z FVE je sklon panelů. V České republice je doporučovaný sklon panelů kolem 35 °. Je tedy nutné zjistit, jak se mohou panely na střeše rozprostřít, kam je orientovat, jaký sklon nastavit a kolik panelů lze na střechu objektu nainstalovat. Aby solární panely na střeše objektu nenarušovali estetický dojem, je vhodné i praktické panely instalovat vedle sebe do uceleného pole. [1]

Plocha střechy, na kterou je možné panely naistalovat, není často velká a je potřeba ji využít co nejefektivněji. Aby se z této plochy vygenerovalo co nejvíce výkonu, je

vhodné použít nejvýkonnější typ panelu, a proto se dnes nejvíce používají již zmíněné monokrystalické panely, které mají nejvyšší účinnost a jejichž cena se pohybuje v rozumných mezích. Solární panely, které se instalují v sérii do stringu, mají několik parametrů, které je třeba brát v úvahu a podle kterých FVE navrhovat. [1]

Prvním parametrem je nominální výkon panelu, který je udáván v jednotce Wp. Tato hodnota je měřena v laboratorních ideálních světelných podmínkách (intenzita záření 1000 W/m$^2$, rychlost proudění 1 m/s, teplota okolí 25 °C) a při reálných podmínkách se liší. Výkon fotovoltaického panelu závisí na intenzitě dopadajícího světla, náklonu panelu a orientace, vysoké okolní teplotě a znečištěním panelu. Dalšími parametry, které jsou zásadní při návrhu solárních panelů, jsou jmenovité napětí a maximální proud při zátěži. Fotovoltaické panely se skládají sériově a paralelně, tak aby celý výstup pole měl požadované výstupní napětí a proud, který vstupuje do solárního střídače. Pokud je potřeba navyšovat výstupní napětí fotovoltaického pole, jednotlivé panely se řadí sériově, a pokud je potřeba navýšit výstupní proud, panely se řadí paralelně. Jelikož je často výstupní proud panelu kolem 10 A a vstupní proud střídače kolem 10 A nebo 20 A, řadí se panely do série nebo dvě řady sériově zapojených panelů paralelně. Poté se navrhuje, kolik panelů se zapojí do série tak, aby výstupní napětí odpovídalo vstupnímu napětí střídače, které se pohybuje v mezích kolem 180 V – 1000 V. [1]

# 2 Střídač (měnič)

Solární střídač nebo také fotovoltaický střídač je druh měniče, který přeměňuje stejnosměrné napětí na výstupu z fotovoltaických panelů na střídavé napětí, které může být připojeno do distribuční sítě či použito v elektrických rozvodech objektu. Některé střídače umí také pracovat v obráceném směru a usměrňovat střídavé napětí ze sítě a ukládat ho do akumulátorů. Střídače se starají nejen o přeměnu napětí a proudu, ale také o co možná nejefektivnější výrobu z FVE pomocí sledování maximálního bodu výkonu (MPPT). [1]

## 2.1 Rozdělení střídačů

**Střídače síťové (on-grid)**

Pro zajištění maximálního výkonu z fotovoltaických panelů používají MPPT. MPPT je regulátor sledující bod maximálního výkonu stringu. Napětí na výstupu je síťové 230 V a 50 Hz. Používají se na místech, kde je FVE připojena k DS.

**Ostrovní střídače (off-grid)**

Využívají výkon akumulátorů a solárních panelů. Napětí na výstupu je síťově 230 V a 50 Hz. Tyto střídače se využívají v sítích oddělených od DS v odlehlých oblastech.

**Hybridní**

Jsou schopny nabíjet akumulátory z FVE, popřípadě jiného zdroje (větrná turbína, vodní turbína). Jejich předností je, že jsou připojeny k síti a můžou volit mezi režimy napájení. U některých střídačů je také možné nastavit dobíjení akumulátoru v předem daný čas nebo například při nízkém tarifu a spotřebovat levnou energii uloženou v akumulátoru v době vysokého tarifu.

**Jednofázové**

Jednofázové střídače dodávají výkon pouze do jedné fáze v domovním rozvodu. Vyrobený výkon z FVE je tedy využit pouze pro spotřebiče, které jsou připojeny do zvolené fáze, kam je připojený výstup jednofázového střídače.

**Třífázové střídače**

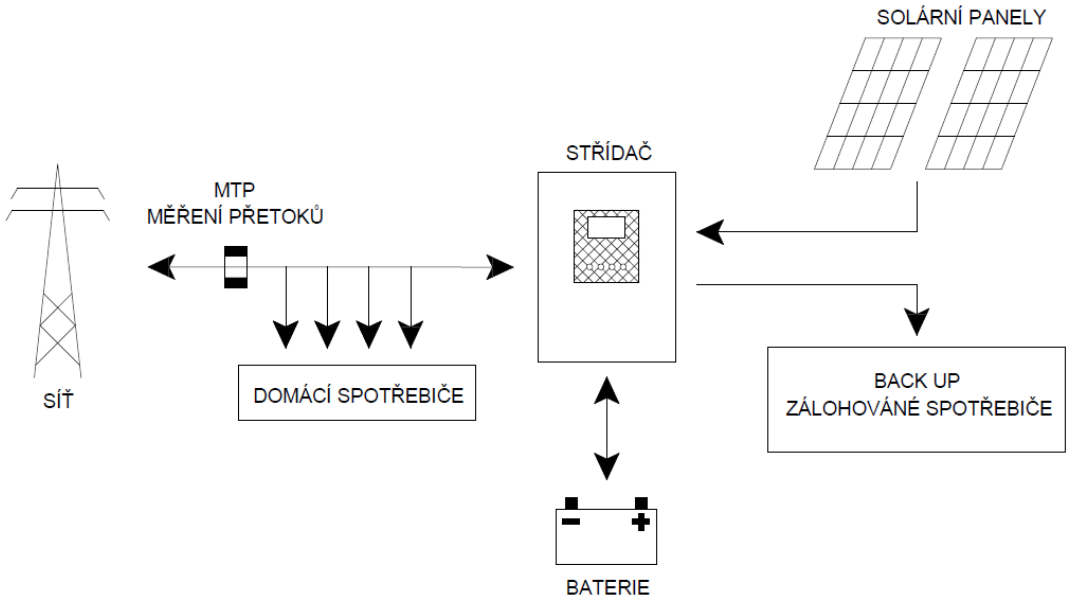
Oproti jednofázovým střídačům dodávají třífázové střídače výkon do všech třech fází domovního rozvodu. Třífázový střídač dokáže tedy napájet v podstatě všechny spotřebiče celé domácnosti. Třífázové střídače se dělí do dvou skupin na třífázové střídače symetrické a asymetrické.

**Třífázový střídač symetrický**

Střídač symetrický dodává stejný výkon do všech tří fází nezávisle na odběru jednotlivých fázích. Pokud je tedy na výstupu střídače výkon 3 kW, do každé fáze putuje výkon 1 kW a výkon ve všech fází bude stejný.

**Třífázový střídač asymetrický**

Oproti symetrickému střídači má asymetrický střídač jednu velkou výhodu a to, že dokáže dodávat výkon do všech třech fází v závislosti na odběru. Pokud bude na výstupu střídače výkon 3 kW, na jedné fázi může být výkon 2 kW, na druhé fázi 1 kW a ve zbývající fázi nebude žádný výkon. Asymetrické střídače mají tzv. poměr nesymetrie. Je udáván v procentech a udává maximální zatížení jedné fáze. Například při poměru nesymetrie 100 % může jednou fází, protékat maximální fázový výkon střídače. Při poměru nesymetrie 50 % může téct jednou fází pouze 50 % maximálního fázového výkonu střídače. Čím větší je poměr nesymetrie tím lépe. [1] [4]




**Obrázek 2 Schématické zapojení hybridního solární střídače**

## 2.2 Výběr solárního měniče

Prvním krokem návrhu solárního měniče je zvolení nejvhodnějšího typu. Pro použití v rodinném domě, je vhodná možnost hybridního měniče, jelikož je objekt připojen k síti a vyrobená energie z FVE slouží pro vlastní spotřebu objektu. K tomuto střídači lze také připojit akumulátor s BMS. Dále je potřeba zvolit mezi variantou jednofázovou nebo třífázovou, popřípadě třífázovou symetrickou nebo asymetrickou. Nejlepším řešením

z pohledu funkčnosti je vybrat střídač 3f asymetrický pro jeho výhody popsané výše, avšak cena těchto 3f střídačů je oproti 1f variantě vyšší. Proto je na místě zvážit rozdělení spotřeby v daném objektu a vhodnější variantu jak ze stránky finanční, tak i funkční. Pokud je v objektu většina trvalé spotřeby na jedné fázi, může být výhodnější vybrat 1f střídač a pokud je spotřeba rozložená rovnoměrně do všech tří fází objektu, může být výhodnější řešení použití 3f střídače. [1] [4]

Při návrhu solárního měniče se volí vhodné vstupní parametry na straně DC z FVE a výstupní parametry střídače na straně AC. Hlavními hodnotami na DC straně střídače jsou maximální vstupní výkon z FVE, rozsah vstupního napětí střídače a maximální vstupní proud střídače. Maximální vstupní výkon FVE bývá o trochu větší než jmenovitý výkon střídače a vstupní hodnoty napětí a proudu střídače jsou dány zapojením solárních panelů. Mezi nejdůležitější výstupní parametry střídače patří jmenovitý výstupní výkon střídače, případně maximální zdánlivý výkon střídače a maximální výstupní proud. Výstupní napětí je fázové 230 V při frekvenci 50 Hz. Dalším důležitým parametrem u střídačů, které dokáží fungovat s připojeným akumulátorem je rozmezí připojitelné kapacity akumulátoru. [1] [4]

## 2.3 Monitoring

Nedílnou součástí střídačů a jednotlivých výrobců střídačů je jejich software pro monitoring střídače a celého systému. Monitoring solárního systému je velmi důležitý pro kontrolu spolehlivé funkce a maximalizaci energetického výnosu. Uživatel má tak přehled o fungování systému, dostává zpětnou vazbu a může nastavit některé parametry systému. [5]

### 2.3.1 Lokální monitoring

Nejjednodušším způsobem, jak monitorovat systém, je odečítání hodnot na samotném střídači. Z důvodu snižování výrobních nákladů se ale u moderních střídačů s displejem nesetkáme a používá se z pravidla vzdáleného monitoringu. Pro další či více podrobné informace o systému je třeba doplnit systém o dodatečné senzory například pro informace teploty panelů, intenzitě osvitu panelů atd. [5]

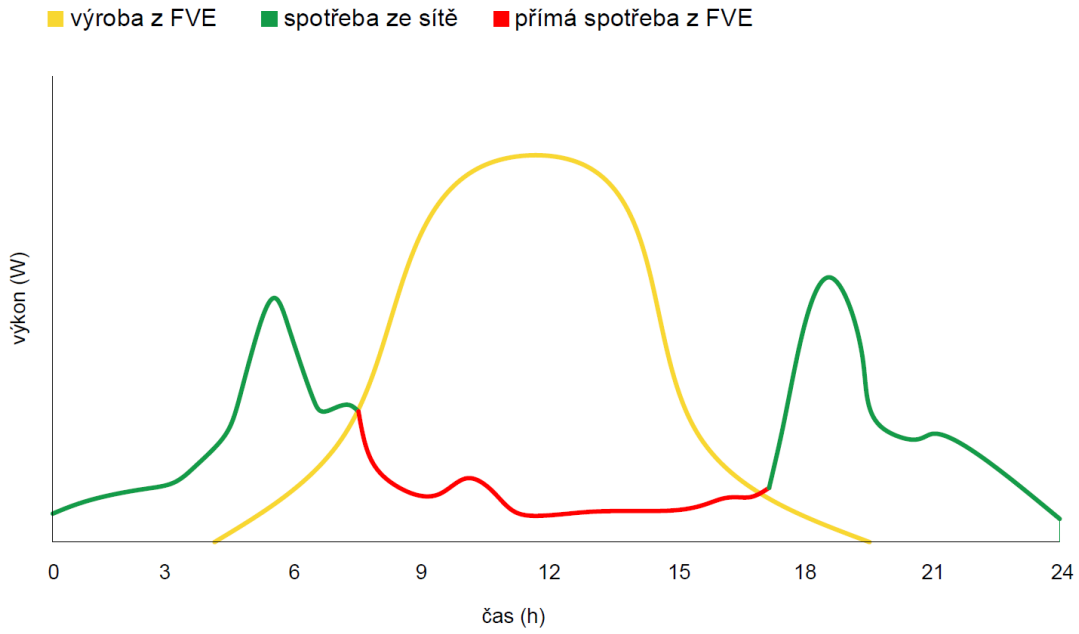
### 2.3.2 Vzdálený monitoring

Lokální monitoring je nejjednodušším způsobem kontroly systému, avšak pro některé uživatele neposkytuje dostatečné množství informací a dnes se již nepoužívá. Pro

podrobnější monitoring systému mají výrobci střídačů svůj software pro vizualizaci a přehledné informování o systému. Pro zobrazení a analýzu dat je možné použít buď k tomu určený server výrobce měničů nebo některé specializované servery, které poskytují velmi komplexní služby. Střídač tedy musí být napojen na internet na server výrobce a uživatel se tak vzdáleně na tento server připojí s údaji pro přihlášení k danému střídači a vytvoří si přístup pro vzdálený monitoring. Ve vzdáleném monitoringu lze jak nastavit samotný střídač, tak vyčíst různé hodnoty jako je aktuální výroba z FVE nebo aktuální spotřeba energie, která se posílá do sítě. Uživatel má také přístup k hodnotám v rámci časového období, takže má přehled o spotřebě za určitý čas, kolik FVE vyrobí energie například za měsíc nebo rok, kolik vyrobené energie z FVE si uživatel sám spotřebuje a další data. Pro co možná největší přehled může uživatel sledovat systém jak prostřednictvím PC, tak i z chytrého telefonu pomocí aplikace a sledovat tak systém odkudkoli. [5]

# 3 Možnosti ukládání přebytečné energie z FVE

Jednou z hlavních nevýhod fotovoltaických elektráren je jejich stochastická výroba, která je úzce závislá na slunečním svitu a aktuálních klimatických podmínkách. FVE začíná vyrábět elektrickou energii v době, kdy slunce ráno začíná svítit a přestává vyrábět energii, když slunce zapadá. Nejvyššího vyráběného výkonu dosahuje FVE kolem poledne a nejnižších hodnot vyráběného výkonu dosahuje ráno a večer, kdy je slunečního svitu nejméně. Oproti tomu je klasický profil spotřeby rodinného domu opačný, kdy je spotřeba elektrické energie nejvyšší ráno a večer. Přes den, kdy jsou lidé pryč ze svého obydlí, je spotřeba nízká, a FVE naopak vyrábí nejvíce energie. Jelikož v čase, kdy FVE vyrábí nejvíce výkonu, je spotřeba nízká, energie není nijak využita a je dodávána do sítě. Naopak v době, kdy FVE vyrábí málo energie a spotřeba je vysoká, dochází v ranních a večerních hodinách k čerpání elektrické energie ze sítě a fotovoltaický systém je tak málo efektivní. [6]



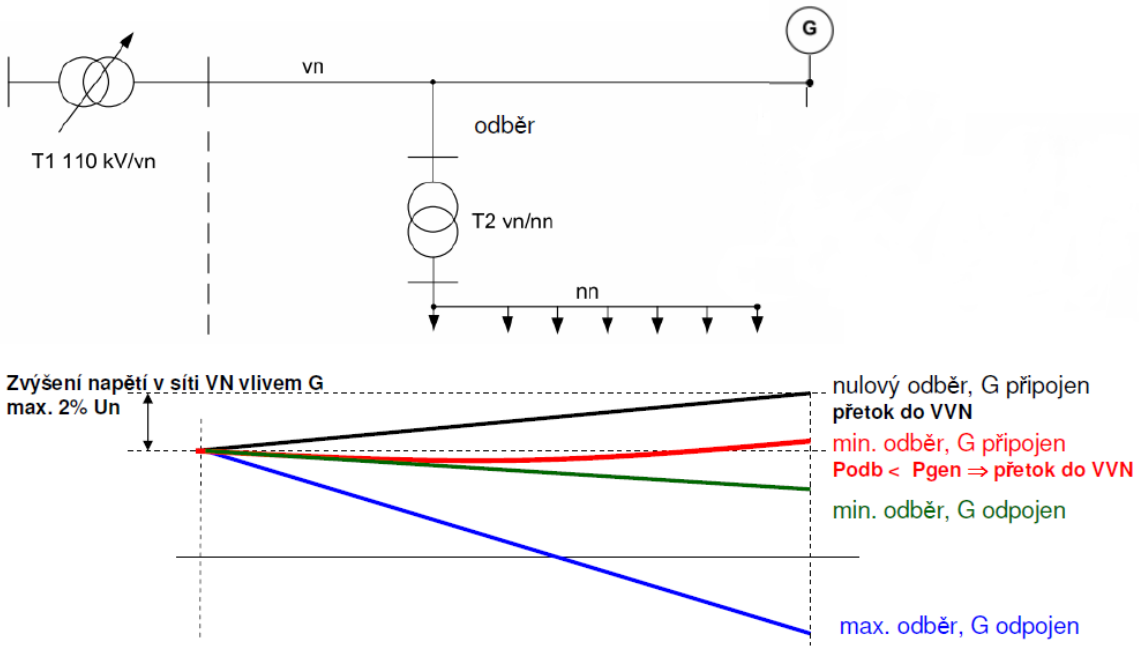

**Obrázek 3 Výroba FVE a spotřeba domácnosti**

Pro zvýšení efektivnosti výroby a spotřeby je potřeba využít přebytečnou energii vyrobenou z FVE (obrázek 3 - plocha mezi žlutou a červenou čarou), pro spotřebu večerní či ranní. Sníží se odběr energie ze sítě a také přetoky energie do sítě. Zefektivnění systému přináší několik výhod. Jednou z nich je finanční úspora, jelikož se sníží odběr energie ze sítě a využije se energie, kterou vyrobí FVE. Dále se také sníží přetoky energie do sítě, které často způsobují problémy v DS, a proto jsou také přetoky do DS limitovány. Jde tedy

o to, aby se co největší množství vyrobené energie z FVE spotřebovalo v místě výroby a energie nemusela přetékat do DS. V této kapitole jsou popsány negativní vlivy přetoků do DS a způsoby využití přebytečné energie z FVE, čímž se sníží nejen již zmíněné negativní vlivy ale i náklady na elektrickou energii. [6]

## 3.1 Negativní vlivy přetoků energie z FVE do DS

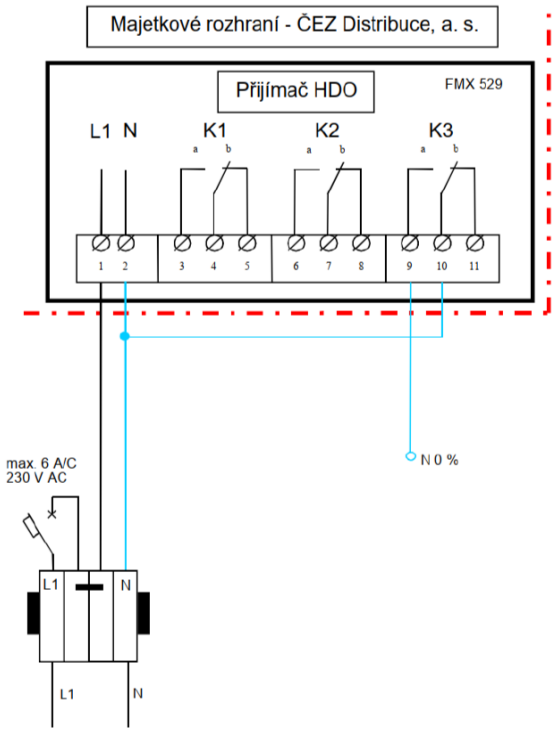
I přes to, že se více mluví o výhodách fotovoltaických elektráren, jejich provoz má také svá negativa. Tím hlavním je negativní vliv na DS. Při provozu fotovoltaických elektráren může v určitých stavech docházet k přepětí a fotovoltaické elektrárny přispívají k tzv. rozevírání nůžek napětí. Dalším negativním vlivem na DS je nestálost toku vyrobené energie, kvůli závislosti výroby na počasí. Například při proměnlivé oblačnosti, je vyráběný výkon velice nestálý a mění se skokově. Negativní vliv rozevíraní nůžek napětí je demonstrován na obrázku 4. [6]




**Obrázek 4 Vliv FVE na distribuční síť [6]**

Na obrázku 4 je fotovoltaická elektrárna označena jako G (generátor). Při stavu, kdy je maximální odběr a FVE je odpojena (večerní odběr), dochází k největšímu úbytku napětí. Naproti tomu, v době nulového odběru (v poledne), kdy FVE vyrábí nejvíce výkonu a odběr je minimální, dochází k přetokům do sítě. Úbytek napětí dosahuje záporné hodnoty, a tudíž dochází ke zvyšení napětí na konci sítě. Pokud je velký rozdíl mezi minimálním a maximálním napětím na konci sítě, je možné, že tyto hodnoty mohou být za hranicí povolených mezí.

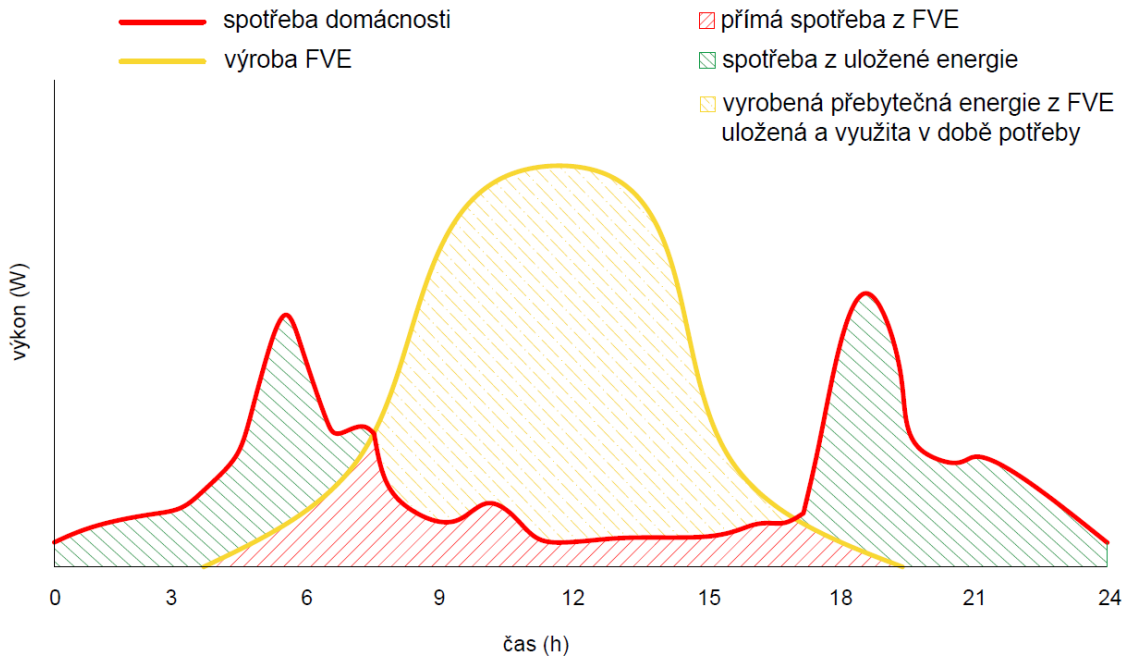
Z pohledu distribnuční sítě existuje několik řešení, jak negativní vliv FVE omezit. Jedním z nich je sezónní regulace napětí. Jedná se o nastavení odboček a napětí na distribučním transformátoru v závislosti na ročním období, jelikož v letním období produkují FVE více výkonu než v zimním. V letním provozu je napětí nastaveno například na 22,8 kV a v zimním provozu na 23,1 kV. Další možností, jak snížit negativní vliv, je použití regulačních tranformátorů pod napětím. Velkou nevýhodou těchto transformátorů je jejich vysoká cena, která je až třikrát vyšší než u klasických transformátorů. Dále také nižší spolehlivost. Proto se dnes s těmito transformátory setkáme jen zřídka v problémových lokalitách. Dalším způsobem je také regulace jalového a činného výkonu zdrojů k regulaci napětí. Dnešní střídače musí podle PPDS být schopny regulace jalového a činného výkonu na základě hodnoty velikosti napětí tzv. Q(U) a P(U) regulace, která pracuje automaticky bez řízení PDS. Dále podle PPDS musí mít střídače v kategoriích A1, A2 a B1, tedy do výkonu 100 kW logické rozhraní, aby bylo možné do pěti sekund od obdržení pokynu prostřednictím HDO přerušit dodávku činného výkonu. Dále skupiny od A2 výše, tedy od 11 kW výkonu, musí být vybaveny rozhraním umožňujcím začlenení těchto výroben do systému dálkového řízení PDS. [6] [7] [8]




**Obrázek 5 Schéma zapojení přijímače HDO u výroben s výkonem do 100 kW [8]**

## 3.2 Ukládání přebytečné energie do akumulátoru

Častým způsobem, jak v současné době uložit přebytečnou energii z FVE, je uložení energie do akumulátorů. Jelikož jsou akumulátory nabíjeny stejnosměrným proudem a FVE stejnosměrný proud vyrábí, nemusí dojít k přeměně napětí a akumulátor se nabíjí přes regulátor nabíjení ze stejnosměrného proudu. Regulátor nabíjení zajišťuje optimální podmínky pro nabíjení, zvyšuje účinnost systému a prodlužuje životnost akumulátoru. [1]




**Obrázek 6 Využití naakumulované energie**

Pokud FVE vyrábí elektrickou energii, která v daný čas nemůže být spotřebována, energie se uloží do akumulátoru. Z akumulátoru se následně použije pro spotřebu, kdy FVE energii nevyrábí, nebo nedodává dostatek energie. Nejdůležitějším parametrem akumulátoru je jeho kapacita, která udává, kolik energie je schopen uložit. Pro rodinné domy se používá kapacita akumulátoru zhruba 5 kWh až 15 kWh, v závislosti na velikosti FVE, spotřebě domu a dalších parametrech. Dalším důležitým parametrem je maximální vstupní a výstupní výkon, respektive proud, kterým je možné akumulátor nabíjet nebo vybíjet. [1] [9]

Uložená energie v akumulátoru se může dále využít například v ostrovním režimu. Pokud dojde k výpadku elektřiny ze strany sítě, uživatel je schopen využít energii z FVE

nebo akumulátoru pro pokrytí určité spotřeby. Střídače, které disponují funkcí ostrovního provozu mají tzv. back-up výstup, kam se zapojují spotřebiče, u kterých uživatel chce, aby při výpadku elektřiny stále fungovaly. Mezi tyto spotřebiče se často řadí světla, lednice, mrazáky, EZS, rolety, či některé zásuvkové okruhy. [1] [9]

Pro akumulaci energie z FVE se využívá různých typů akumulátorů. Jedním z nich je typ olověných akumulátorů. Tato technologie je stará a osvědčená, nicméně má své nevýhody. Jednou z nevýhod je krátká životnost (malý počet nabíjecích cyklů), malá využitelná kapacita baterie a vysoká hmotnost. Kvůli těmto nevýhodám je dnes používanějším typem akumulátoru Li-Ion, neboli lithium iontový akumulátor. Tento typ má dlouhou životnost, nižší hmotnost a vysokou kapacitu. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena, nicméně díky zmíněným výhodám se investice často vyplatí, a proto jsou dnes často používané.

Skupiny lithium iontových akumulátorů řadíme do několika typů v závislosti na jejich chemickém složení, které má specifické vlastnosti.

**Lithium – mangan oxid (LMO)**

- rychlé nabíjení
- v porovnání s ostatními Li-Ion kratší životnost

**Lithium – nikl – mangan – kobalt oxid (NMC)**

- vysoká kapacita
- využití vzácných a ekologicky problematických prvků (kobalt)

**Lithium – nikl – kobalt – hliník oxid (NCA)**

- vysoká kapacita a stabilita
- využití vzácných a ekologicky problematických prvků (kobalt)

**Lithium – železo – fosfát (LFP)**

- dlouhá životnost, dobrá funkce při teplotních výkyvech
- vyžaduje zabudovaný ochranný obvod proti přehřívání [9]

### 3.2.1 BMS - Battery Management System

Technologie akumulátorů se velmi rychle vyvíjí. Zlepšování akumulátorů s ohledem na vyšší výkon a hustotu energie s sebou přináší zvýšení důrazu na BMS. BMS neboli systém správy baterie je elektronický systém, který se stará o nabíjení akumulátoru, sleduje jeho stav a provozní podmínky a zajišťuje co nejdelší životnost a největší

efektivitu. BMS dále monitoruje celkové napětí akumulátoru, jednotlivých článků a jeho teplotu. Kromě zmíněných parametrů BMS monitoruje další velmi podstatné stavy:

- State of Charge (SOC) – stav nabití akumulátoru
- Depth of Discharge (DOD) – stav vybití akumulátoru
- State of Health (SOH) – stav zdraví akumulátoru
- State of Power (SOP) – stav dostupného výkonu
- State of Safety (SOS) – stav bezpečnosti
- Charge current limit (CCL) – maximální nabíjecí proud
- Discharge current limit (DCL) – maximální vybíjecí proud
- energie nabitá či dodaná akumulátorem za poslední cyklus
- počet cyklů [9]

Parametr, který může uživatel ovlivnit nebo nastavit je DOD. Parametr DOD je udán v procentech a vyjadřuje do jaké procentuální hodnoty se může akumulátor vybít. Toto může být užitečné například ve chvíli, kdy je očekáván možný výpadek proudu nebo snížená výroba energie z FVE. Pokud by mělo dojít k omezení napájení spotřeby, akumulátor v sobě uchová potřebné množství energie pro přechodnou dobu, aby byla pokryta nejdůležitější spotřeba objektu. [9]

Řízení nabíjení akumulátoru je možné nastavovat dle předpovědi počasí a tím kontinuálně regulovat hodnotu DOD podle aktuální místní předpovědí počasí. Díky predikci osvitu může algoritmus inteligentního řízení akumulátorového úložiště zvolit vhodnou strategii hospodaření s energií a maximalizovat tak místní využití energie produkované fotovoltaickou elektrárnou. Pro toto řešení založené na předpovědi počasí lze použít data od PV Forecast. Jedná se o službu pro předpověď osvitu pro libovolné místo v České republice a výrobu energie z FVE v závislosti na nainstalovaném výkonu. [9] [10]

## 3.3 Ukládání přebytečné energie do ohřevu vody

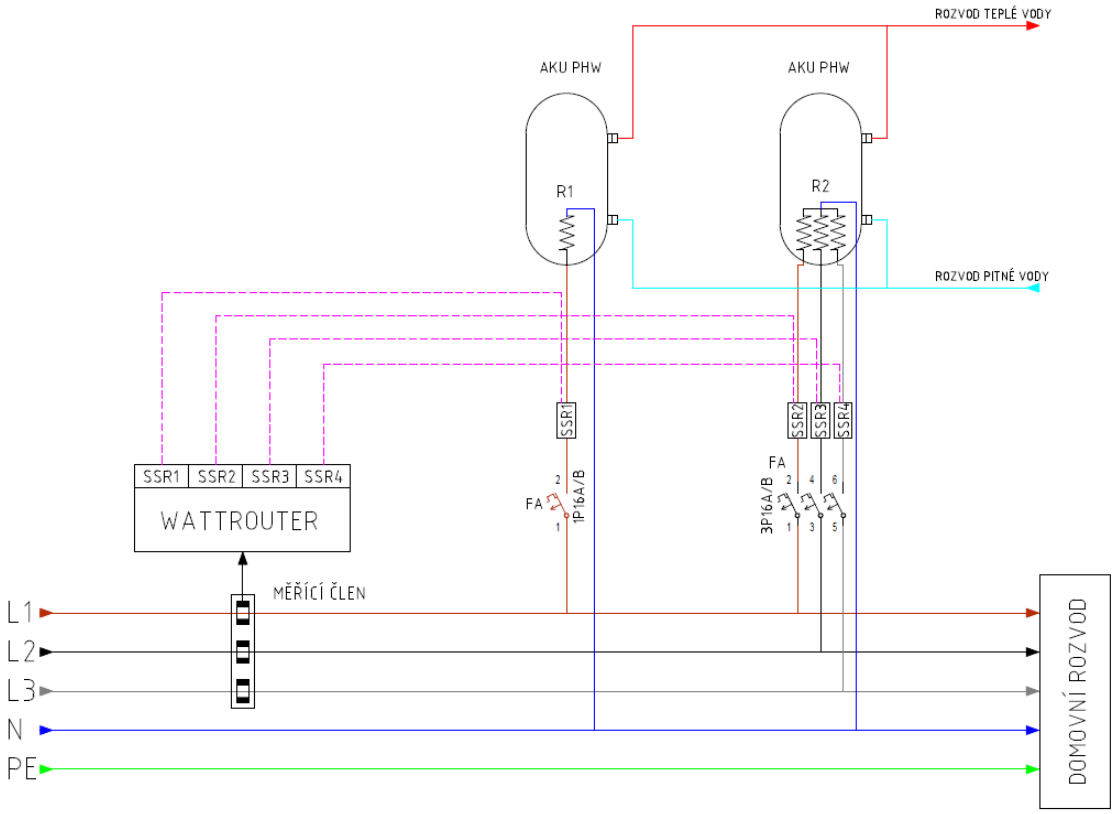
Dalším způsobem, jak využít přebytečnou energii z FVE, je využití energie pro ohřátí vody. Tento způsob si lze představit v podobě bojleru, který poslouží jako velký akumulátor, ovšem zde se nejedná o přeměnu elektrické energie na chemickou, nýbrž o přeměnu elektrické energie na energii tepelnou. Jednou z hlavních výhod je skutečnost, že rodinné domy nebo objekty, na kterých se instaluje FVE, již většinou mají akumulační nádrž jako je bojler. Také není potřeba hybridní střídač, proto finanční investice není tak vysoká, jako tomu bývá u systému s akumulátorem. Investice tedy bude pouze do zařízení, které rozpozná přetok výkonu do sítě a sepne topné těleso ohřívající vodu. Ohřev vody spotřebuje poměrně velké množství energie. Pro ilustraci je níže popsán jednoduchý příklad, který ukazuje, kolik energie je možné uložit do ohřevu vody bez uvažování ztrát při ohřevu.

$Q = m \cdot c \cdot (t_1 - t_2)$
$m = 100$ kg (hmotnost vody)
$c = 4186$ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ (měrná tepelná kapacita vody)
$t_1 = 70$ °C (teplota koncová)
$t_2 = 20$ °C (teplota počáteční)
$Q = 100 \cdot 4186 \cdot (70 - 20)$
$Q = 20930$ kJ = 5,8 kWh
při P = 3 kW cca 2 hodiny (doba ohřevu)

Z tohoto příkladu lze vidět, že energie potřebné pro ohřev vody je velké množství. Pokud by se výsledek přepočetl na kapacitu akumulátoru, jedná se zhruba o 6 kWh kapacity, což je obvyklá hodnota běžně používané kapacity akumulátoru. Mnoho rodinných domů má na své zahradě také bazén, ve kterém je mnohonásobně větší množství vody než v bojleru. Využití přebytku energie do odporového ohřevu bazénu by razantně snížilo přetoky energie do sítě. [11]

### 3.3.1 Plynulá regulace výkonu do odporové zátěže

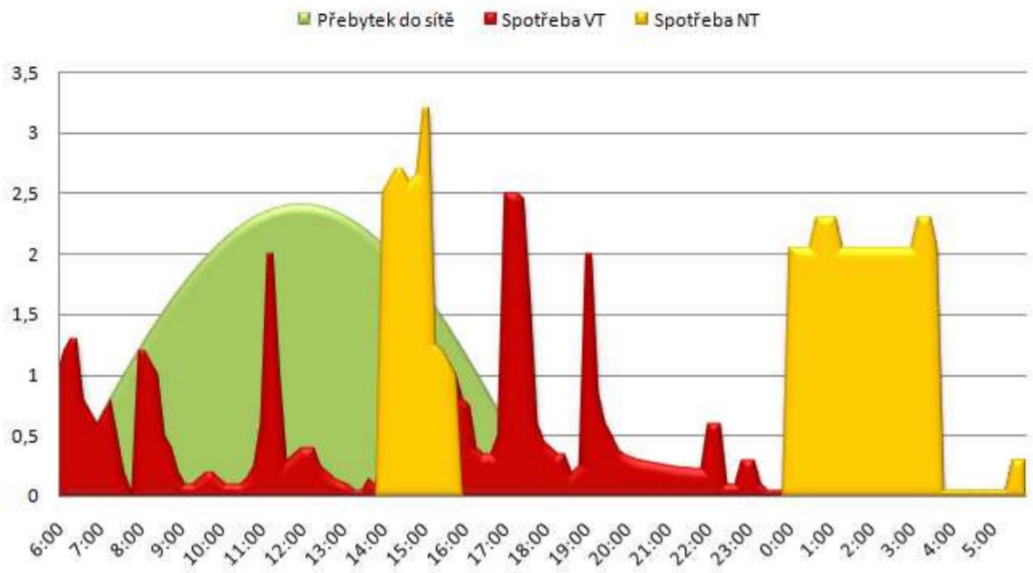
Zařízení pro plynulou regulaci výkonu se používají pro co nejefektivnější využití přebytečné energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou nebo též elektrárnou větrnou. Jedním z nejpoužívanějších řešení je wattrouter. Toto zařízení pomáhá zvýšit vlastní spotřebu objektu a tím snížit, případně zamezit přetokům energie do sítě. [11]



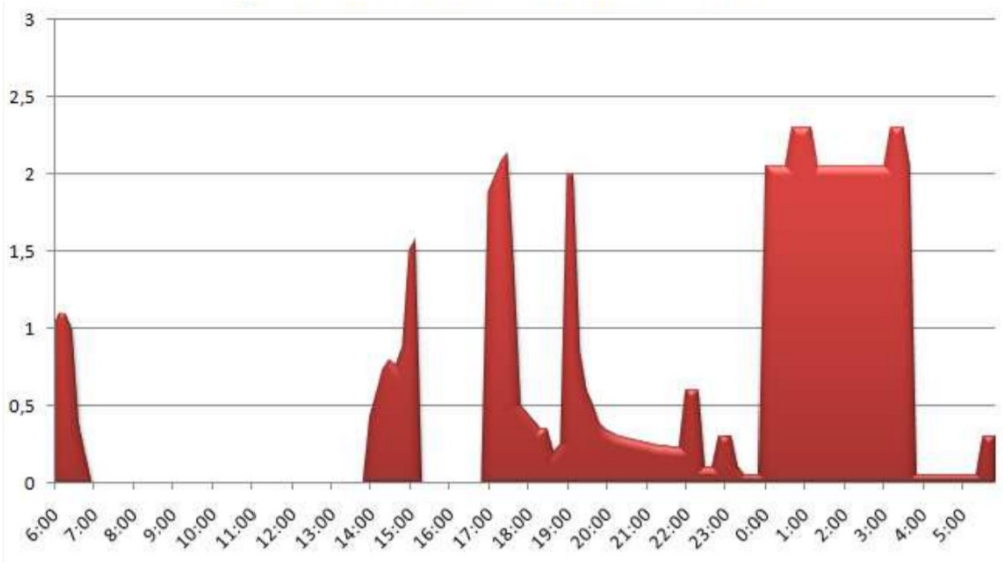

**Obrázek 7 Schéma zapojení wattrouteru pro uložení energie do ohřevu vody s plynulou regulací**

Pro zařízení, která jsou spínána pomocí wattrouteru se používají zejména odporové zátěže jako jsou akumulační nádoby, bojlery, podlahová topení nebo ohřevy bazénů. Po většinou jsou tato zařízení charakteristická vysokou spotřebou a není u nich primárně podstatný přesný čas spotřeby. Jsou to tedy spotřebiče, které mohou účelně využít a akumulovat přebytečnou energii v době, kdy je vyráběna. Pro spínání spotřebičů je wattrouter osazen výstupy SSR (Solid State Relay), což jsou polovodičová relé pro plynulou regulaci výkonu. Tato relé jsou schopna plynule regulovat výkon díky rychlému spínání kolem 10 ms a výkon je regulován pomocí PWM (pulzně šířkové modulace). Spínané spotřebiče mohou být jednofázové nebo třífázové, ovšem u třífázových spotřebičů musí být jejich zapojení vždy do hvězdy s vyvedeným nulovým vodičem. [11]

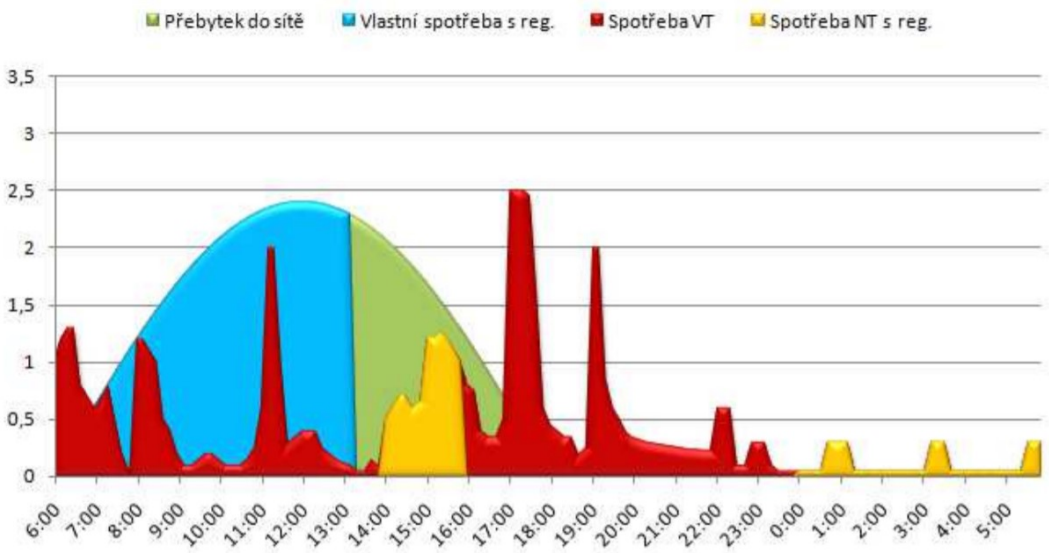
Jak je z Obrázku 8 vidět, v případě bez wattrouteru je dodávána přebytečná energie vyrobena fotovoltaickou elektrárnou do sítě a bojler je spínaný v nízkém tarifu mezi časy 14:00 – 16:00 a 0:00 – 6:00. Na obrázku 9 je zobrazena pouze spotřeba objektu bez použití wattrouteru. Na obrázku 10 je změna provozu objektu, a to zapojením wattrouteru. Je zde patrné využití přebytečné energie pro ohřátí vody v bojleru, který by jinak sepnul v nízkém tarifu, čímž se snižuje celková spotřeba objektu. Obrázek 11 demonstruje snížení celkové spotřeby ze sítě v porovnání s Obr. 9, kde je vidět úbytek celkové spotřeby objektu. [11]



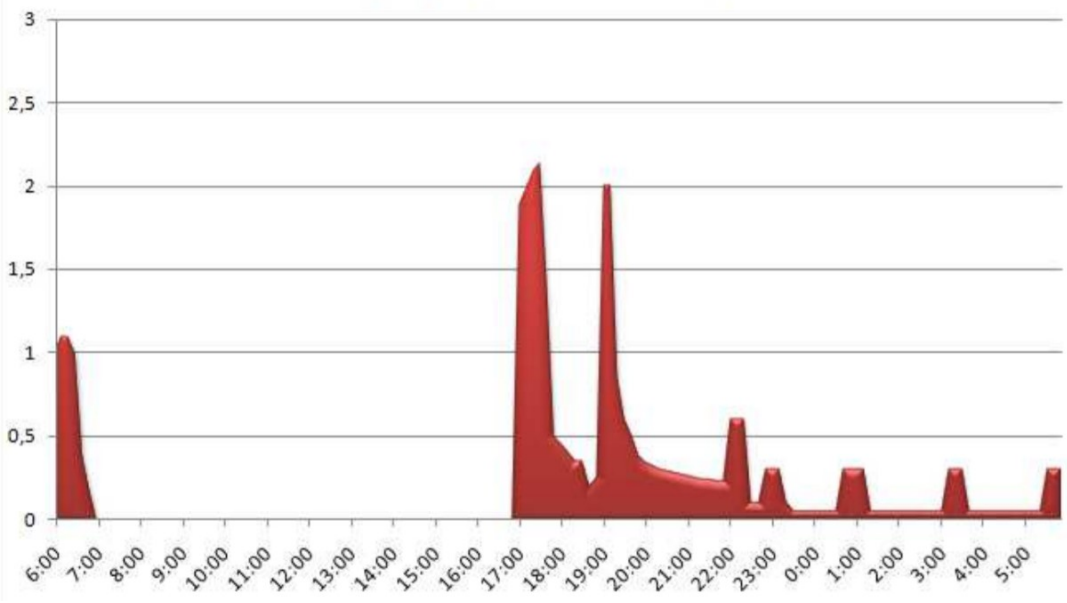

**Obrázek 8 Spotřeba objektu a výroba FVE bez použití wattrouteru [11]**




**Obrázek 9 Spotřeba objektu ze sítě bez použití wattrouteru [11]**




**Obrázek 10 Spotřeba objektu a výroba FVE s použitím wattrouteru [11]**

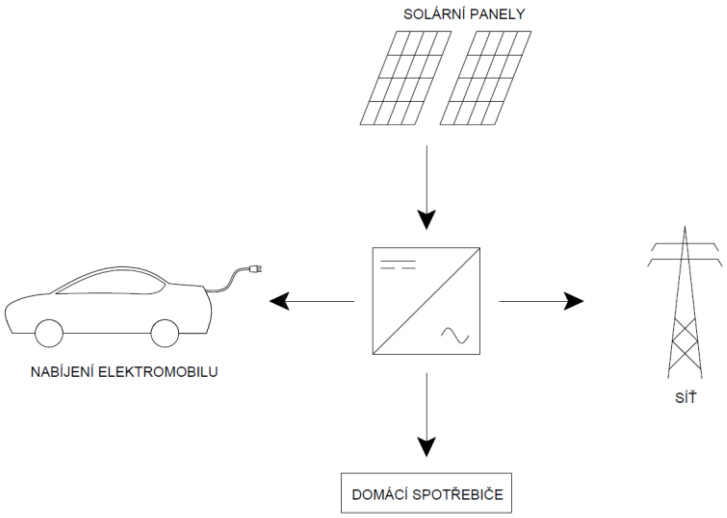



**Obrázek 11 Spotřeba objektu ze sítě s použitím wattrouteru [11]**

Nicméně wattrouter není jediné řešení pro využití přebytků energie z FVE a uložení do vody ohřáté odporovou zátěží. Dalším řešením je například GreenBono, což je regulátor s plynulou regulací výkonu. Jedná o skoro identické řešení jako zmíněný wattouter. Tato řešení fungují tak, že regulátor sleduje tok výkonu v přívodních vodičích mezi domem a distribuční sítí. Pokud zjistí přetok výkonu do sítě, zapne uvnitř domu přednastavený spotřebič a řídí jeho spotřebu tak, aby elektroměr v přípojném místě registroval nulu. Použití těchto zařízení ovšem nemusí být nutností. Uživatel si zařízení jako wattrouter a GreenBono může vytvořit sám. Vlastního zařízení lze dosáhnout například pomocí PLC, které plynule reguluje výkon přes SSR relé do odporové zátěže, která ohřívá vodu v akumulační nádrži. Celý systém tak může být optimalizován pro konkrétní aplikaci s různými požadavky. Systém může spínat spotřebiče v předem nastavených časech v závislosti na předpovědi počasí nebo nastavení dalších specifických požadavků uživatele. Celý systém tak může být ještě efektivnější a přizpůsobitelný. [12]

## 3.4 Uložení přebytečné energie do nabíjení elektromobilu

S rostoucím trendem elektromobility se dá očekávat, že počet elektromobilů v budoucích letech stále poroste. Elektromobilita nepřináší jen nové způsoby dopravy, ale představuje nové výzvy i pro oblast vývoje energetiky. Jelikož elektromobily a jiná elektrická vozidla disponují značnou kapacitou akumulátorů, mohou být v budoucnu využívána pro více komplexní použití. Je možné, že s postupným rozvojem elektromobility dojde k využití velké kapacity akumulátorů pro ukládání přebytečné energie či naopak dodávání výkonu do sítě ve chvílích potřeby. [13]




**Obrázek 12 Propojeni FVE, nabíjení elektromobilu, domácí spotřeby a sítě**

Pro tuto práci je zajímavé spojení fotovoltaické elektrárny a elektromobility. Jak již bylo řečeno, elektrická vozidla mají velké kapacity akumulátorů, a tak by mohla posloužit pro ukládání přebytečné energie vyrobené z FVE. V podstatě se jedná o uložení energie do akumulátoru jako v kapitole 3.2, avšak akumulátor není připojen k hybridnímu střídači a lze jej nabíjet kdykoli (pokud není zcela nabit), ale kapacitu akumulátoru lze využít pouze, pokud je elektromobil připojen k nabíjecí stanici. Dá se tedy usoudit, že nabíjení elektromobilů z přebytečné energie nebude tak praktické, jelikož záleží na čase, kdy je elektromobil připojen k nabíjecí stanici a po jakou dobu. [13]

Aktuální kapacity akumulátorů v dnešních elektromobilech dosahují hodnot zhruba 30 kWh až 100 kWh. Při takových hodnotách kapacit akumulátorů lze usuzovat, že elektromobily dokáží pojmout velké množství elektrické energie a dokázaly by přijmout veškerou přebytečnou energii, kterou fotovoltaická elektrárna rodinného domu vyprodukuje. Pro nabíjení elektromobilů se převážně používají dva způsoby. Jedním z nich jsou veřejné DC nabíječky, které dokáží nabít elektromobil vysokým výkonem stovek kW. Tyto veřejné nabíjecí stanice se využívají převážné pro rychlé nabíjení elektromobilů do 80 % kapacity akumulátoru. Druhým způsobem nabíjení je wallbox, který je využíván hlavně u rodinných domů nebo na veřejných objektech. Oproti DC nabíječkám nabíjí wallboxy elektromobil střídavým proudem a dokáží nabíjet elektromobil od výkonu 3,7 kW do 22 kW. Jelikož malé fotovoltaické elektrárny dosahují instalovaného výkonu v rozmezí 3 kWp až 10 kWp, hodnoty výkonu jsou tedy vhodné pro nabíjení elektromobilu. Takovým výkonem by se elektromobil nabíjel v řádu několika hodin. Tímto způsobem nabíjení, by se tedy elektromobil zcela nenabil, nicméně pro nabití elektromobilu

z přebytků energie z FVE by toto řešení bylo vhodné. [13]

Pro aplikaci využití přebytků energie z FVE pro nabíjení elektromobilu je vhodný například střídač a wallbox v jednom zařízení značky SolarEdge. Jedná se o jednofázový solární střídač a také jednofázový wallbox, který umožnuje uživatelům nabíjet svá elektrická vozidla přímo ze sluneční energie a také nabíjet elektromobil jako klasický wallbox energií ze sítě. Solární střídač lze vybrat z několika výkonových variant od 3,7 kW do 6 kW a maximální výkon nabíječky elektromobilu činí 7,4 kW. Minimální nabíjecí výkon je ovšem 1,5 kW. V případě využití menšího přebytku výkonu z FVE než 1,5 kW, wallbox nebude schopen tento výkon použít pro nabití akumulátoru elektromobilu. Použití tohoto řešení však opět není nutností. Uživatel si může své nabíjení z přebytků energie z FVE vytvořit sám. K tomuto řešení je potřeba PLC s měřícím transformátorem proudu a nabíjecí stanice se schopností komunikace. Poté PLC řídí maximální nabíjecí proud. [14]

## 3.5 Uložení přebytečné energie do výroby methanu nebo vodíku

S rozvojem obnovitelných či udržitelných zdrojů energie se kladou stále větší požadavky na možné uchování elektrické energie. Jelikož jsou ale obnovitelné zdroje úzce závislé na klimatických podmínkách, nemají ideální výrobní charakter a jejich výroba je velmi stochastická. Kvůli této skutečnosti a stále většímu počtu elektráren využívajících obnovitelné zdroje energie se vyvíjí nové nekonvenční technologie pro ukládání energie. Jednou z těchto nekonvenčních technologií pro uložení energie je technologie Power to Gas zkráceně P2G. [15]

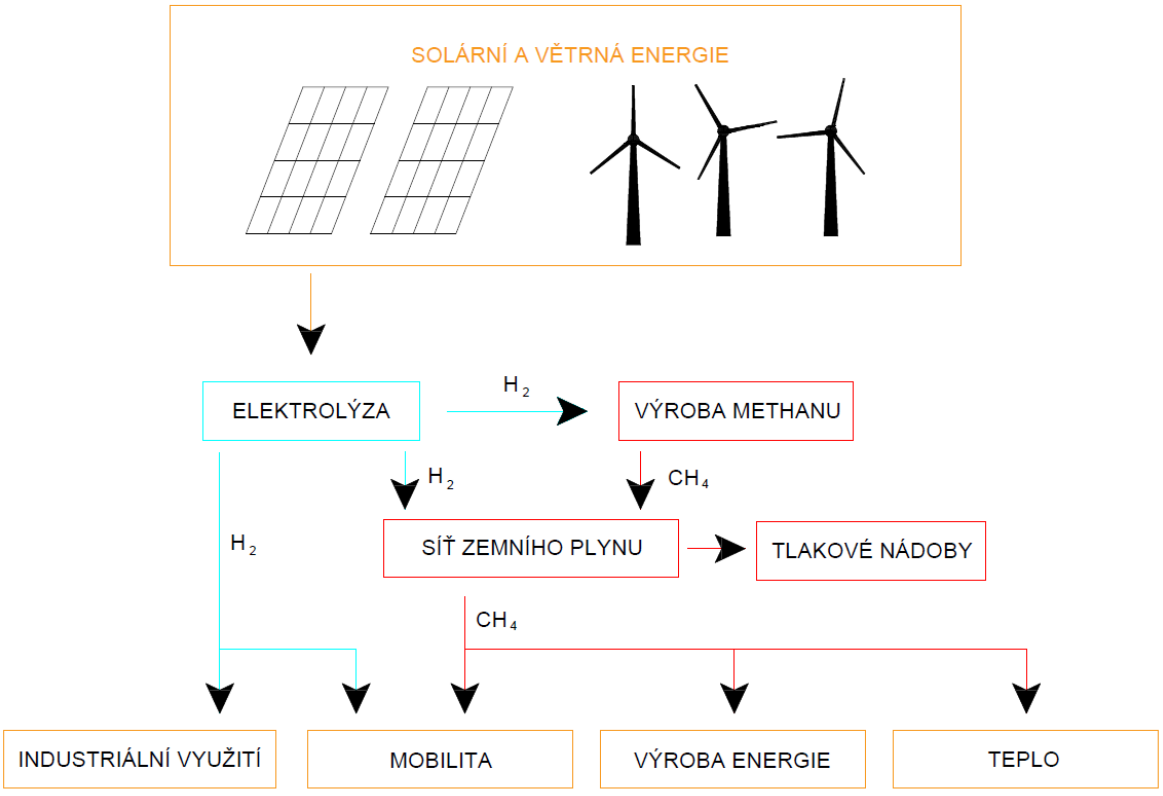
### 3.5.1 Power to Gas

Pomocí nadbytečné energie se za pomoci elektrolýzy vody vyrobí vodík. V současné době, je mnoho způsobů výroby vodíku, avšak elektrolýza je používána pro svoje výhody jako jsou nulové emise, spolehlivost, dostatek vstupních surovin a jediným vedlejším produktem je kyslík. Z vyrobeného vodíku je možné pomocí oxidu uhličitého vyrobit syntetický methan také známý pod zkratkou SNG. Tomuto výrobnímu procesu se říká Sabatierova reakce, kdy při vysokých teplotách a tlacích dochází ke katalytické hydrogenaci. Jelikož je dnes oxid uhličitý vedlejší produkt v mnoha odvětvích, o jeho množství není nouze. Vyrobený plyn může být poté skladován v tlakových nádobách nebo vháněn do sítě zemního plynu. To samé platí i o vodíku, nicméně při vhánění do sítě zemního plynu nesmí přesáhnout koncentrace jednotky procent. Další možností, jak využít vyrobený vodík, je jeho použití pro palivové články a jiná průmyslová využití.

Technologie P2G slouží pro výrobu výhřevných plynů a tyto plyny mohou být uloženy v dlouho trvajícím časovém horizontu. Myšlenka Power to Gas tak spojuje více oblastí jako jsou energetika, teplárenství nebo distribuce paliv a může tak v budoucnu napomáhat k provázanosti jednotlivých odvětví a stát se jednou z částí chytrých sítí. [15]

Účinnost celého systému se dnes pohybuje v hodnotách 30 % - 40 %. Díky technologickému vývoji a pokroku se do budoucna očekává účinnost 40 % - 50 %. Nižší účinnost je vykompenzována výhodami jako je možnost uskladnění energie po dlouhou dobu. Navíc výrobou vodíku elektrolýzou nevzniká žádný vedlejší škodlivý produkt, naopak je spotřebováván oxid uhličitý, který hraje velkou roli v globálním oteplování. [15]

Technologie P2G je momentálně na začátku svého vývoje a také je spíše uvažována pro velkoplošné aplikace. Nicméně s vývojem technologií není vyloučené, že se v budoucnu budou vytvářet aplikace i pro rodinné domy. [15]




**Obrázek 13 Aplikace technologie Power to Gas**

# 4 Integrace FVE do řídícího systému budov

Každodenní život je ovlivňován informačními technologiemi, a proto není divu, že se tyto technologie posouvají vpřed a je to odvětví, které se v současné době rozvíjí nejrychlejším tempem. Díky rychlému rozvoji informačních technologií se také v poslední době rozvíjí odvětví řídících systémů domácností i administrativních budov. Lidé mají vyšší nároky na efektivitu, pohodlí a inovace, což přispívá k novým řešením a novým technologiím. Ačkoli se dnes s automatizací budov setkáme jen zřídka, v průběhu času se na trhu objevuje stále více řešení a systémů, které automatizaci budov vylepšují. [16] [17]

Použití těchto systémů nahrazuje staré elektroinstalace instalacemi inteligentními. Tyto inteligentní instalace mají oproti běžným elektroinstalacím mnoho výhod. Mezi ty hlavní patří ekonomický provoz, efektivita a pohodlnější prostředí pro uživatele. Avšak inteligentní instalace mají i své nevýhody. Tou největší jsou vyšší investiční náklady oproti běžným elektroinstalacím. Nicméně, díky efektivnějšímu provozu, správnému návrhu a konfiguraci dochází ke snížení provozních nákladů budovy a uživatel může ve výsledku ušetřit. Na trhu se dnes najde několik systémů, které umožňují vytvoření inteligentní instalace a vytvoření komplexního systému pro automatické řízení budovy. [16] [17]

## 4.1 Systém KNX

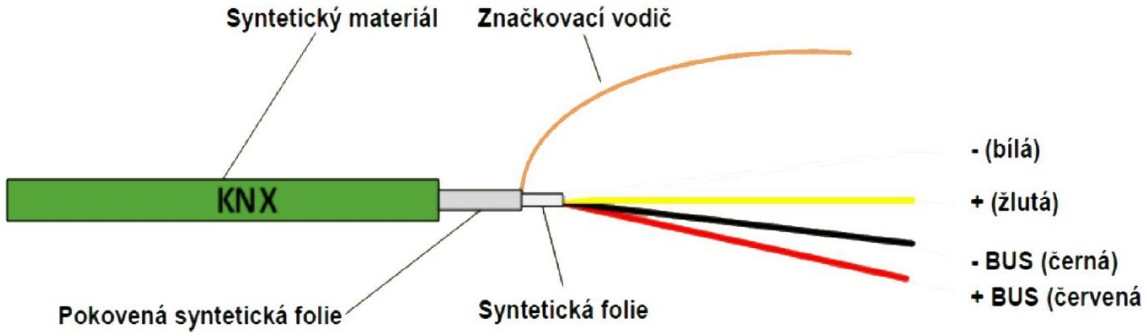
Sběrnicový systém KNX je jedním z nejrozšířenějších systémů pro inteligentní instalace. Je to také celosvětově rozšířený standard pro automatizaci budov. Díky celosvětovému rozšíření systém zajišťuje úplnou kompatibilitu všech produktů, které disponují certifikací KNX od různých výrobců z celého světa. Zařízení KNX mohou spravovat a řídit osvětlení, žaluzie a rolety, zabezpečovací systémy, video a audio zařízení a další spotřebiče v budovách. [16] [17]

Jedním z cílů společnosti KNX bylo definování otevřeného standardu KNX pro inteligentní aplikace pro komerční a rodinné domy. Dalším cílem bylo vytvoření značky KNX jako značky pro kvalitu a komunikaci mezi přístroji různých dodavatelů a v neposlední řadě stanovení standardu KNX jakožto celosvětové normy. [16] [17]

### 4.1.1 Přenosová média pro komunikaci

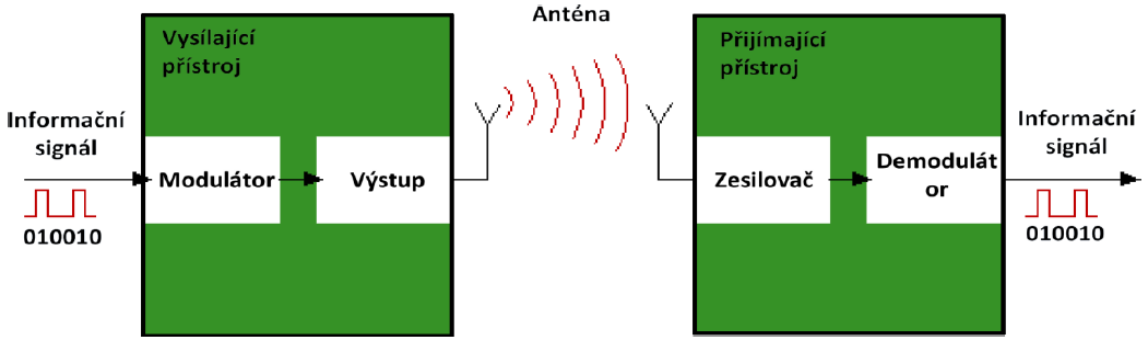
Komunikace mezi zařízeními může probíhat několika způsoby. U systému KNX se nejčastěji používá tzv. twisted pair, což v překladu znamená kroucený pár a jedná se o sběrnicový kabel KNX-TP. Slouží nejen k samotné komunikaci, ale také k napájení

sběrnicových spojek a snímačů. Kabel tedy tvoří dva vodiče, které jsou kroucené z důvodu snížení elektromagnetického rušení a ztrát. Často je instalace prováděna pomocí dvou těchto kroucených kabelů. První kroucený pár má černou a červenou barvu a druhý barvu bílou a žlutou. Použití dvou párů se používá z důvodu rezervy pro případ poškození primárního krouceného páru. Pro komunikaci se používá pravděpodobnostní protokol. Účastníci, kteří jsou připojeni na sběrnici naslouchají nosné, jestli je po sběrnici vysílán signál. Pokud je detekován průchod signálu sběrnicí, účastnici počkají, než se sběrnice uvolní a poté vyšlou signál. Napájení sběrnice je zajištěno bezpečným malým napětím SELV a oddělovacím transformátorem, jenž generuje 30 V DC. Zdroj je schopen napájet 64 prvků při maximálním zatížení 640 mA. [16]




**Obrázek 14 Struktura krouceného kabelu KNX [16]**

Dalším způsobem komunikace je KNX PL 110. Jedná se o využití stávající sítě 230/400 V AC. Výměna informací probíhá po jakémkoli fázovém nebo nulovém vodiči. Pro přenos dat jsou použity frekvence 105,6 kHz a 115,2 kHz. Pokud je vyslán povel 0, generátor vysílá kmitočet 105,6 kHz, v případě povelu 1 je generován kmitočet 115,2 kHz, který je superponován na napájecí síť. Pokud nelze využít kabelových vodičů, lze použít komunikace KNX-RF. Tento způsob komunikace je bezdrátové přenosové médium, které je realizováno pomocí radiofrekvenčního přenosového média ve frekvenčním pásmu 868-868,8 MHz. Rozdíl mezi informací 0 a 1 je nepatrná odchylka od frekvence 868,3 MHz. [16]




**Obrázek 15 Schéma přenosu KNX-RF [16]**

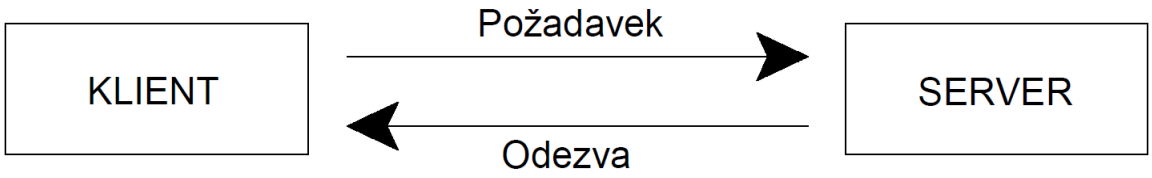
V rozsáhlých aplikacích, kde dochází k limitům způsobu komunikace KNX-TP, lze použít KNXnet/IP routery, které používají mnohonásobně vyšší rychlost přenosu informací. Největším omezením sběrnice je její přenosová rychlost 9,6 kBit/s. Kvůli stále větším nárokům například častějšímu využívání vizualizačních softwarů nebo přístrojů s mnoha kanály. V případě gigabitových IP sítí se rychlost zvýší až 100000 krát. [16]

### 4.1.2 Komunikace KNX

Komunikace probíhá přes zmíněná média KNX-TP, KNX PL 110, KNX-RF nebo KNXnet/IP. Přenášené informace nabývají hodnot 1 nebo 0 tedy 1 bit. Pomocí logiky jsou data dekódována a následně jsou z telegramů vyčteny informace. Komunikace probíhá v zásadě třemi způsoby: komunikace mezi dvěma účastníky sběrnice, komunikace jednoho účastníka s více účastníky sběrnice nebo komunikace účastníka mezi všemi účastníky sběrnice. Pro komunikaci mezi jednotlivými účastníky se volí vhodná přenosová trasa, kde je přenos dat realizován pomocí telegramů. Telegramy nabývají různých velikostí vzhledem k přenášeným informacím. [16]

## 4.2 Modbus

Modbus je otevřeným komunikačním protokolem a je nejrozšířenějším síťovým protokolem v oblasti průmyslového výrobního prostředí. Díky jeho jednoduché struktuře a snadné komunikaci jeho využití stále narůstá. Modbus umožnuje komunikaci typu klient-server mezi zařízeními pro různé typy sběrnic a sítí. V současné době je pro komunikaci podporováno mnoho komunikačních médií například síť Ethernet s využitím protokolu TCP/IP, sériové linky dále také optické a rádiové sítě. [18]

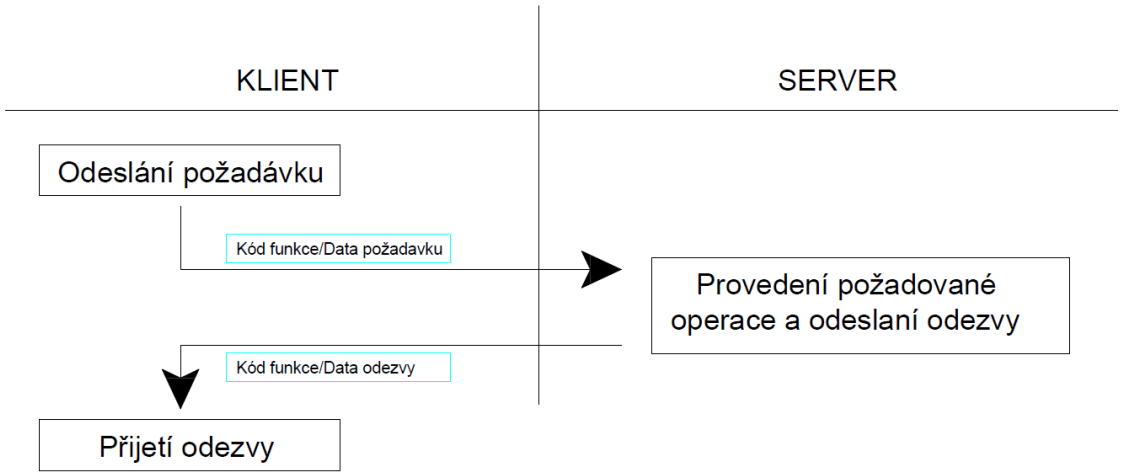



**Obrázek 16 Grafické znázornění komunikace Modbus**

### 4.2.1 Komunikace protokolu Modbus

Komunikace je založena na odeslání balíčku (PDU – Protocol Data Unit). Podle typu sítě, na které je protokol použit, je PDU rozšířena o další části a vytvoří zprávu (ADU – Application Data Unit). Serveru je udán kód funkce, podle kterého server provede požadovanou operaci. Rozsah kódů je 1 až 255 z toho kódy 128 a 255 jsou vyhrazeny pro oznámení chyby. Některé kódy v sobě také obsahují kódy pro podfunkce upřesňující blíže

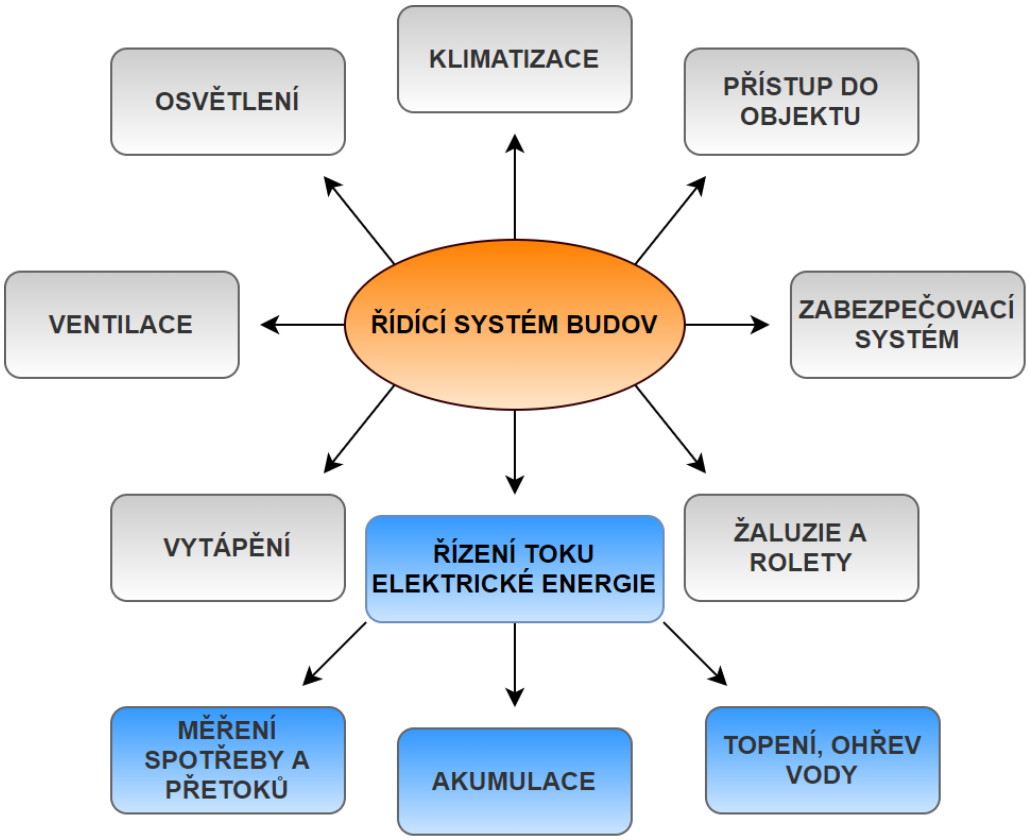
požadovanou operaci. Pokud nedojde k chybě při požadované operaci, server odpoví zprávou, kódem požadované funkce pro indikaci vykonání požadavku. Pokud dojde k chybě při vykonávání požadavku, je vrácen kód požadované funkce s nastaveným nejvyšším bitem, který indikuje neúspěch. [18]




**Obrázek 17 Modbus komunikace při bezchybném provedení požadavku**

## 4.3 Využíti komunikačních protokolů pro integraci FVE do řídícího systému budov

Systémy pro automatizaci budov jsou navzájem propojené mechanické a elektrické části, které monitorují například teplotu, intenzitu osvětlení, přítomnost osob, kvalitu vzduchu a pozice oken a dveří. Jednotlivé řídící jednotky získávají informace, které následně na základě algoritmů vyhodnocují a posílají povely daným aktorům. Aktory uvádějí v činnost dílčí systémy pro osvětlení, vytápění, ohřev vody, větrání, přístup do objektu nebo zabezpečovací systém. Při správném navržení dochází k pohodlnému, bezpečnému a úspornému fungování budovy. Nedílnou součástí systému je přizpůsobená vizualizace, která dává uživateli přehled a potřebné informace o stavu budovy. [17]




**Obrázek 18 Začlenění využití přebytků energie z FVE do řídícího systému budov**

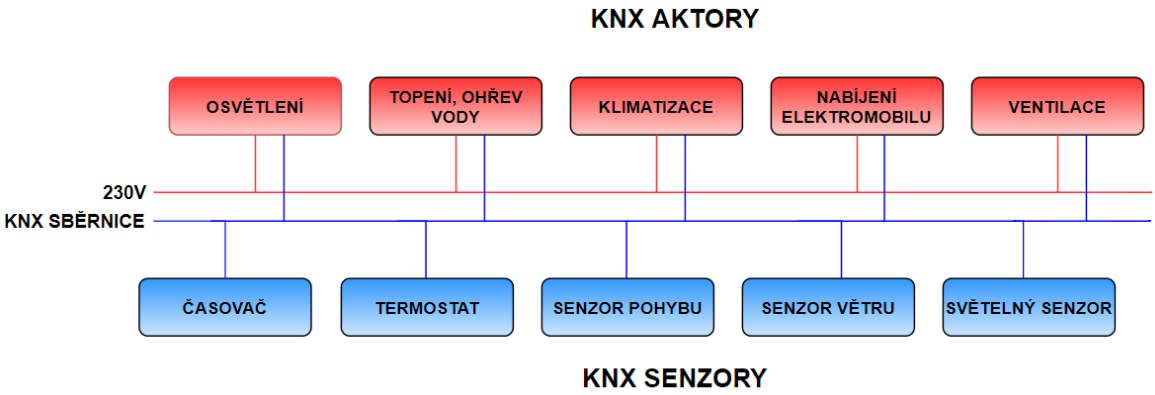
### 4.3.1 Možnosti využití komunikačních protokolů k optimalizaci spotřeby

Obecně platí, že pokud má objekt FVE, je potřeba optimalizovat spotřebu, aby co nejvíce spotřebičů fungovalo během dne, kdy FVE vyrábí energii. U těchto spotřebičů není nutná přesná doba fungovaní, například ohřev PHW nebo filtrace bazénu. Pro optimalizaci spotřeby existuje na trhu velké množství zařízení. Některé jsou popsány v předešlých kapitolách, ovšem tato zařízení jsou často jen jednoúčelová a není možné je integrovat do řídícího systému budov. Pokud chceme vytvářet složitější systémy optimalizace spotřeby a integrovat je do řídícího systému budov, je vhodné použít komunikační protokoly jako jsou KNX nebo Modbus a zařízení, která tyto komunikační protokoly podporují. Velká výhoda těchto zařízení je kompatibilita všech zařízení od různých výrobců, která mají certifikaci například KNX a dají se pomocí těchto zařízení vytvářet rozsáhlejší systémy. Pokud tedy vznikají přetoky do sítě, lze pomocí KNX řídit jednotlivé spotřebiče na základě nastavených preferencí a algoritmů, zajistit optimalizaci spotřeby a snížit přetoky do sítě.

Zařízení pro optimalizaci spotřeby jsou jednak zařízení, která spínají spotřebiče, ale také různá čidla a senzory. Díky všem typům zařízení lze celý systém lépe optimalizovat a využít vyrobenou energii z FVE. Je nespočet scénářů, které se mohou realizovat pomocí

zařízení k optimalizaci spotřeby. Lze například využít teplotní čidla, a pokud vznikají přetoky do sítě, lze si ohřát například bojler, vytopit některou z místností v objektu nebo ohřát vodu v bazénu či akumulační nádrži. Dále lze do systém zakomponovat předpověď počasí, která bude predikovat výrobu energie z FVE a na základě těchto dat nastavovat DOD akumulátoru. Systém může také omezovat spotřebu objektu pro rychlé nabíjení elektromobilu.

Řídící systémy budov vytváří inteligentní instalace, které jsou složitější, komplikovanější a dražší oproti klasickým instalacím. Avšak při správné konfiguraci systému dochází ke komfortnějšímu využívání FVE a systém lépe hospodaří a využívá vyrobenou energii, což by bez řídícího systému budov nebylo možné. Do řídícího systému budov lze pomocí komunikačních protokolů KNX a Modbus zakomponovat nespočet zařízení, ať se jedná o zařízení pro spínaní odporové zátěže, nabíjecí stanice pro elektromobily, hybridní střídače s nabíjením akumulátorů nebo různá měřící zařízení či senzory. Čím lépe a efektivně budou tato zařízení využita, tím se optimalizuje spotřeba objektu a přetoky do sítě se sníží. [17]




**Obrázek 19 Propojení aktorů a senzorů přes KNX**

# 5 Návrh fotovoltaické elektrárny

Tato kapitola popisuje návrh fotovoltaické elektrárny pro zadaný objekt. K návrhu se používají různé programy pro co nejpřesnější simulaci. Pro svůj návrh jsem použil program PV*SOL, který je uznávaným softwarem pro návrhy solárních systémů. PV*SOL umožňuje navrhovat a simulovat různé typy moderních FV systémů od malých až po velké rozsáhle solární systémy, ať pro komerční budovy, rodinné domy či solární parky. Program umožňuje 3D vizualizaci, která zajišťuje přesnější simulaci, například díky zohlednění zastínění, klimatických podmínek nebo přesné orientace panelů či sklonu panelů. Databáze obsahuje stovky solárních střídačů, solárních panelů a dalších zařízení vyskytujících se na trhu.

Prvním krokem návrhu je definování typu systému. Dále se stanoví spotřeba objektu, vytvoří 3D objekt, navrhne konfigurace solárních panelů a střídače. K navržené FVE lze přidat akumulátor připojený ke střídači, akumulační nádrž pro ohřev vody nebo elektromobil pro uložení přebytečné vyrobené energie z FVE. Konečným krokem je simulace a výpočet hodnot FV systému. Podle výsledků, lze navržené řešení upravovat, aby konečný návrh byl co nejefektivnějším a nejvýhodnějším řešením pro danou aplikaci.

**Obrázek 20 Objekt pro návrh FVE**

## 5.1 Popis objektu

Fotovoltaická elektrárna je navržena pro velký rodinný dům o zastavěné ploše 302,8 $m^2$, který je momentálně ve fázi výstavby. Okraje pozemku jsou obehnány stromy. Objekt se nachází v Západočeském kraji. Fotovoltaická elektrárna bude naistalována na části střechy objektu. Vzhledem k velikosti domu a použitým spotřebičům má objekt poměrně vysokou spotřebu elektrické energie, proto je pro něj vhodná solární elektrárna, která částečně pokryje spotřebu objektu. Cílem návrhu je snížení spotřeby energie ze sítě a co nejefektivnější využití vyrobené energie z FVE.

## 5.2 Spotřeba objektu

Návrh FVE se odvíjí převážně od spotřeby objektu. Při návrhu se musí zohlednit velikost spotřeby, a také charakter spotřeby objektu v rámci dne a roku. Není přípustné, aby se navrhla FVE tím způsobem, že se zjistí roční spotřeba objektu a navrhne se FVE, která vygeneruje za rok stejné množství energie. Toto řešení návrhu je nepřijatelné, protože nezohledňuje právě charakter spotřeby. Pokud je spotřeba typická pro rodinný dům, je největší odběr energie v ranních a večerních hodinách. O víkendech se situace mění a velká část spotřeby je kolem poledne.

Charakter spotřeby se bude také lišit v závislosti na tom, jaký typ člověka objekt využívá. Jiný průběh spotřeby v rámci dne je u dvou pracujících lidí, jiný průběh je u rodin s malými dětmi. Jiná situace je například u velkých průmyslových závodů, které mají směnný provoz. Všechny tyto aspekty se musí při návrhu zohlednit, a právě program PV*SOL umožňuje použití typických spotřeb v závislosti na typu objektu a uživatelů.

Objekt, pro který je návrh určen, má kvůli své velikosti, počtu a typu spotřebičů poměrně vysokou spotřebu. Spotřeba byla predikována na základě přednastavených typických spotřeb. Spotřeba má charakter pro rodinu se dvěma dětmi. Velikost spotřeby byla uživatelem objektu stanovena na 4,5 MWh za rok, což je typická hodnota spotřeby pro velký rodinný dům. K této spotřebě byla dále přičtena spotřeba tepelného čerpadla. Tento spotřebič má vysokou spotřebu jak v zimě z důvodu vytápění, tak v létě, kdy slouží pro chlazení. Spotřebu objektu jsem stanovil na 10 MWh za rok. Je nutné dodat, že stanovení spotřeby je vždy odhad snažící se přiblížit reálné spotřebě, ovšem při mnoha proměnných nelze s jistotou predikovat přesnou spotřebu.

## 5.3 Návrh solárních panelů

Při návrhu solárních panelů se volí typ a parametry panelů, počet panelů, a jak budou solární panely naistalovány. Při instalaci lze měnit dva hlavní parametry, a to jsou sklon a orientace panelů. Závislosti sklonů a orientací panelů na výsledné vyrobené energii jsou popsány v následujících kapitolách. Pro navrhovaný solární systém jsem zvolil monokrystalické panely DAH solar HCM60X9, které mají vhodné parametry.

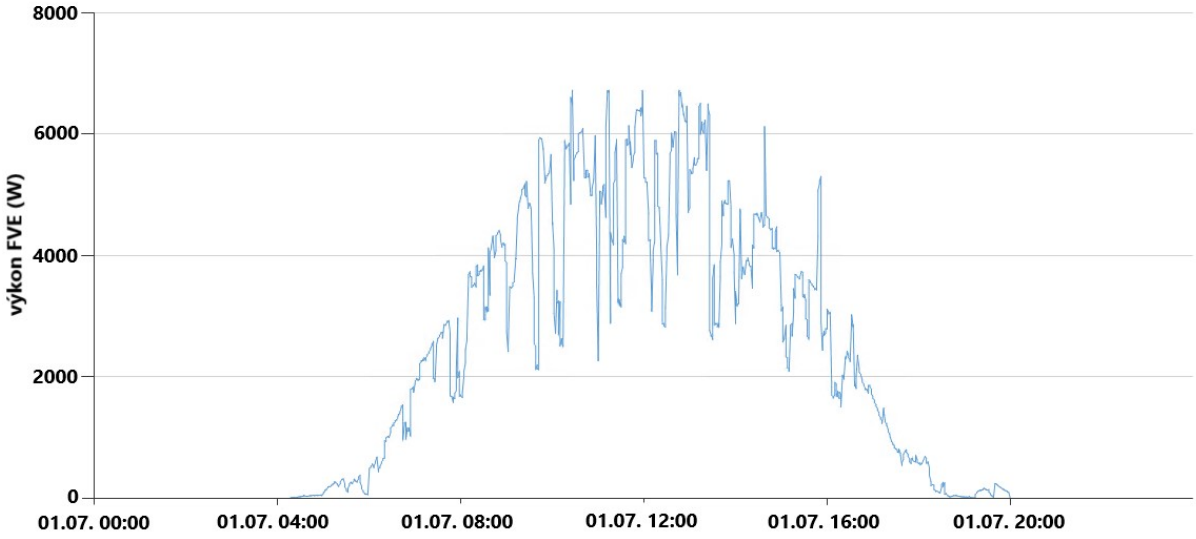
**Tabulka 1 Parametry solárního panelu HCM60X9 [19]**

| | |
|---|---|
| Výkon | 330 Wp |
| Účinnost | 19,53 % |
| Barva | Černá (fullblack) |
| Rozměry | 1686x1002x35 mm |
| Váha | 19 kg |
| Proud při max. výkonu | 9,8 A |
| Napětí při max. výkonu | 33,4 V |

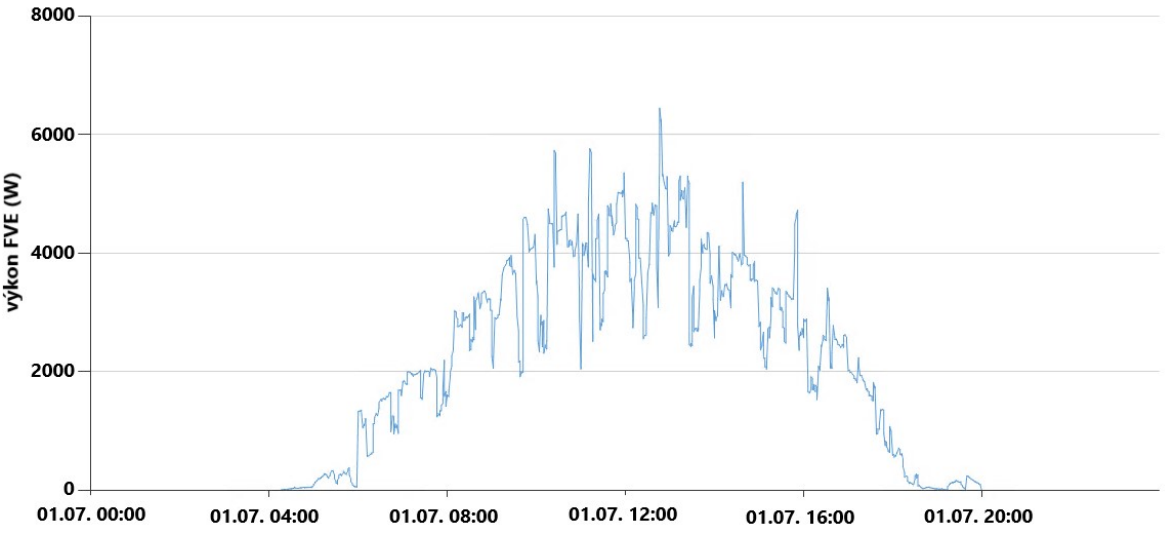
### 5.3.1 Orientace solárních panelů

Jednou z možností, jak ovlivnit výrobu energie solárních panelů je jejich orientace. Při návrhu je nejpoužívanějším způsobem panely orientovat na jih. Za jistých podmínek však může být výhodné orientovat panely na západ a východ. S touto orientací solární panely v součtu dne vyrobí méně energie, ovšem během rána a večeru vyrobí energie více. Orientace panelů na východ a západ tedy může být výhodnější varianta pro objekty, které mají klasickou spotřebu rodinného domu, u kterého je nejvyšší spotřeba ráno a večer. Přes poledne, kdy je výkon solární elektrárny nejvyšší, má rodinný dům spotřebu minimální. Při orientaci panelů na východ a západ je vyrobené energie přes poledne méně než při orientaci na jih. Pokud je FVE instalována na rodinný dům bez akumulačních zařízení, lze uvažovat o orientaci panelů na východ a západ. Pokud má objekt spotřebu částečně kopírující křivku výroby z FVE nebo se jedná o rodinný dům s akumulačními prvky, může být výhodné použití orientace panelů k jihu pro maximální výnos energie vyrobené z FVE.

Pro zadaný objekt jsem provedl simulace, kdy jsou v prvním případě (obrázek 21) všechny panely orientovány na jih a v druhém případě (obrázek 22) je polovina panelů orientována na západ a polovina panelů na východ. Z výsledných grafů lze vidět vliv orientace na výrobu z FVE. Na obrázcích 21 a 22 jsou grafy vyrobené energie během dne ze simulace z jednoho stejného letního dne. Z grafů je patrné, že při orientaci panelů na jih, panely celkem vyrobí více energie, vygenerují více výkonu v poledne ale méně výkonu ráno a večer. Naopak při orientaci panelů na východ a západ panely vyrobí více výkonu ráno a večer a polední výkon panelů je nižší.




**Obrázek 21 Graf výroby FVE během dne - orientace jih, sklon 30°, výkon 6,6 kWp**




**Obrázek 22 Graf výroby FVE během dne - orientace východ a západ, , sklon 30°, výkon 6,6 kWp**

### 5.3.2 Sklon solárních panelů

Další způsobem, jak ovlivnit vyrobenou energii ze solárních panelů, je jejich sklon. V zeměpisné poloze České republiky se doporučuje sklon panelů kolem 35 ° pro maximální dosažitelný výkon. V tabulce 2 jsou popsány výsledky simulace, při různých sklonech solárních panelů a jak sklon panelů ovlivňuje výslednou vyrobenou energii z FVE.

Z nasimulovaných hodnot z tabulky 2 lze říci, že sklon panelů má nezanedbatelný vliv na množství energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou. Od 15 ° do 35 ° sklonu je množství vyrobené roční energie velice podobné. Když se sklon dostává za tuto mez blíže k 0 ° a za 70 ° a více, množství vyrobené roční energie zásadně klesá. Rozdíl mezi sklonem 0 ° a 20° činí více než 10 % vyrobené roční energie.

**Tabulka 2 Závislost roční vyrobené energie z FVE na sklonu solárních panelů**

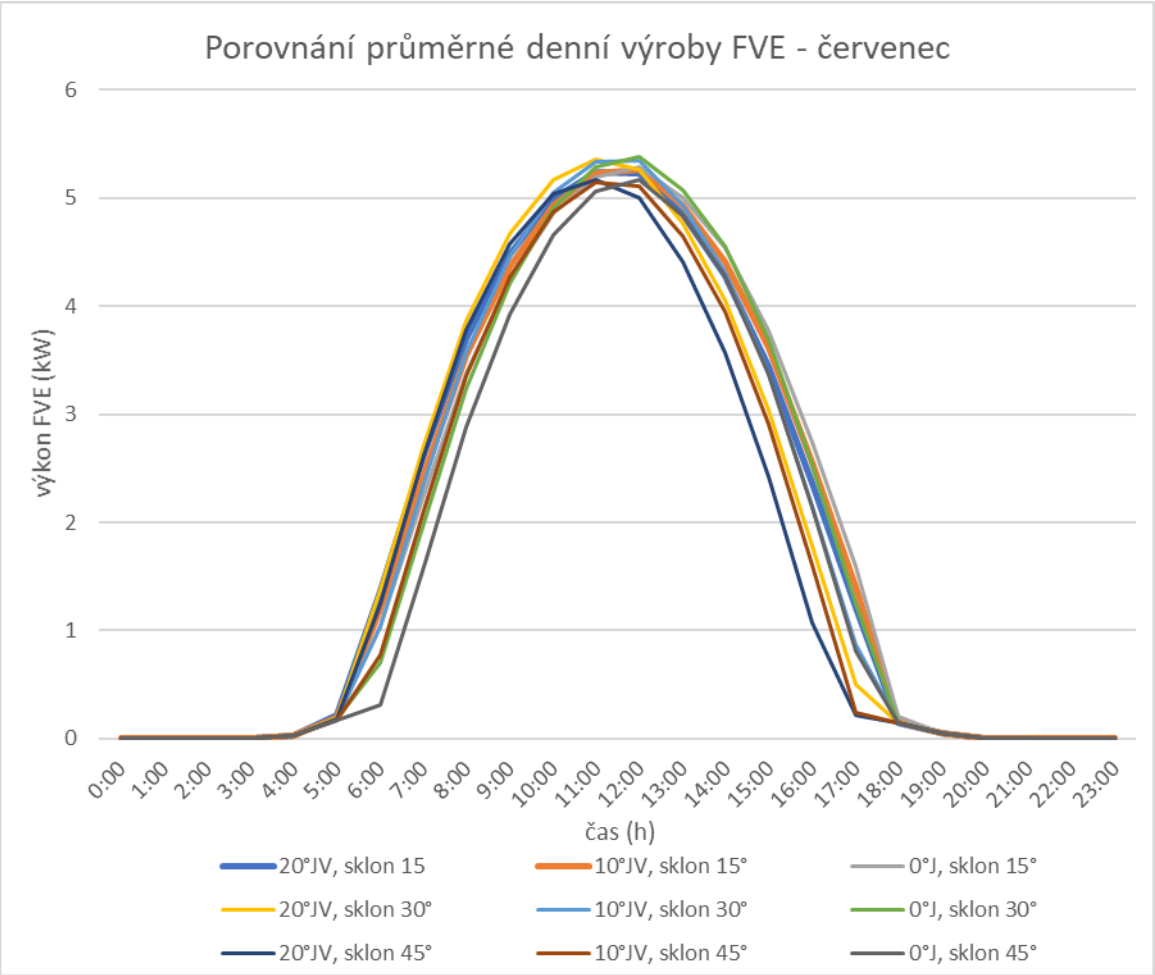
| Sklon solárních panelů | Vyrobená roční energie (kWh/rok) |
|---|---|
| 0 ° | 5397 |
| 10 ° | 5890 |
| 15 ° | 6064 |
| 20 ° | 6094 |
| 25 ° | 6081 |
| 30 ° | 6078 |
| 35 ° | 6063 |
| 40 ° | 5878 |
| 45 ° | 5496 |
| 50 ° | 5300 |
| 70 ° | 4285 |

Pro návrh ideálního sklonu a orientace panelů jsem nasimuloval devět konfigurací solárních panelů, které jsou uvedeny v tabulce 3

**Tabulka 3 Varianty sklonů a orientací solárních panelů pro jejich porovnání**

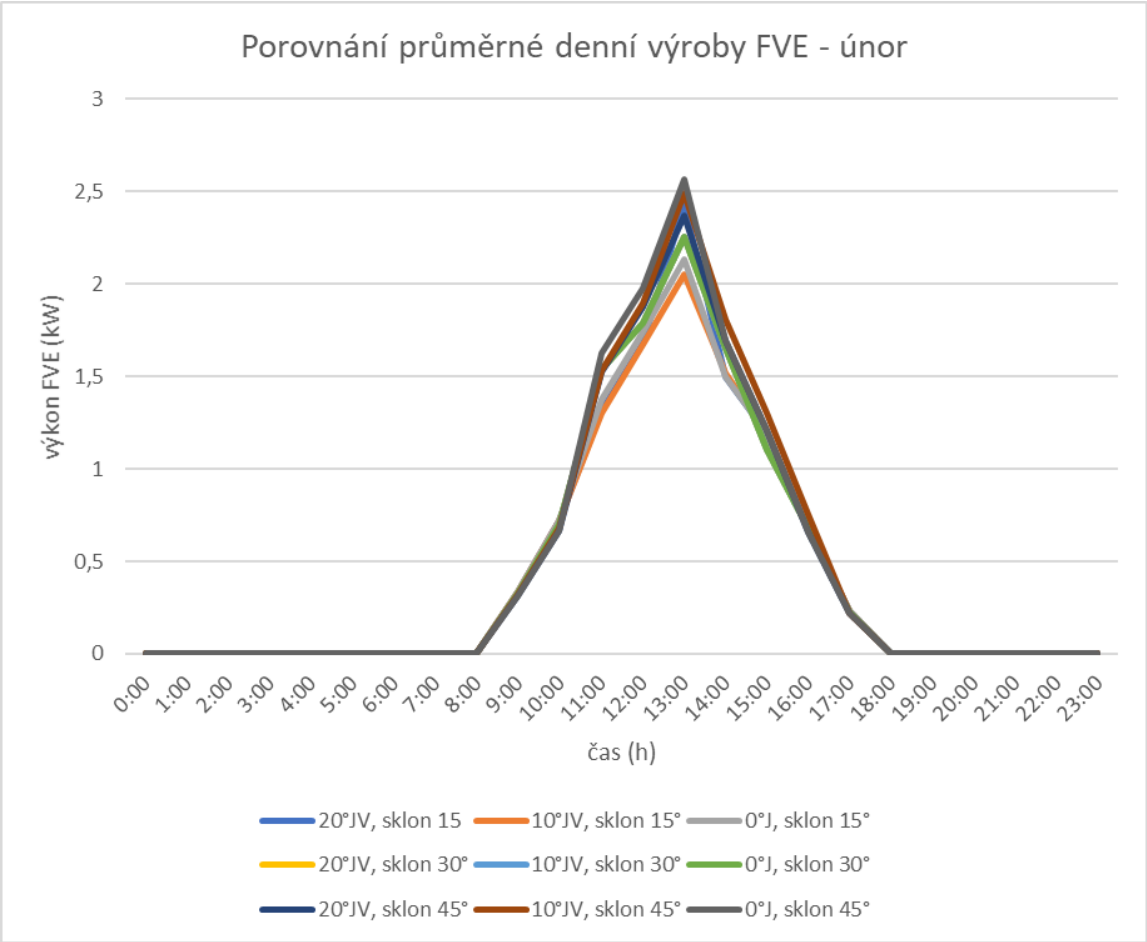
| | | |
|---|---|---|
| 0°J, sklon 45° | 0°J, sklon 30° | 0°J, sklon 15° |
| 10°JV, sklon 45° | 10°JV, sklon 30° | 10°JV, sklon 15° |
| 20°JV, sklon 45° | 20°JV, sklon 30° | 20°JV, sklon 15° |

V letních měsících je výroba energie FVE vysoká a vznikají velké přetoky do sítě. Naopak v zimních měsících FVE vyrábí energie méně a přetoky jsou nižší. Z tohoto důvodu je vhodné použít sklon a orientaci panelů, při které je v zimních měsících dosaženo maximálního výkonu a v letních měsících není potřeba vyrábět maximální možný výkon z FVE. Na obrázku 23 je zobrazen graf s porovnáním denních průběhů výroby FVE v měsíci červenci. Nejvyšší výkon generuje FVE při sklonu 30° a nejméně výkonu při 45°. Při orientaci panelů směrem k východu, je více výkonu generováno v dopoledních hodinách a při orientaci na jih se více výkonu generuje odpoledne.




**Obrázek 23 Porovnání průměrné denní výroby FVE - červenec**

Z obrázku 24 je patrné, že v zimních měsících vyrábí FVE nejvíce výkonu při sklonu 45 ° a nejméně při 15 °. Orientace panelů v zimních měsících neovlivňuje průběh výkonu FVE během dne. Pro návrh FVE jsem zvolil variantu 0 ° J, sklon 45 °, jelikož se více energie vyrobí v zimním období a je zde nižší výroba v období letním. Také je více energie vyrobeno v odpoledních hodinách, kdy se často lidé vracejí z práce nebo ze školy.




**Obrázek 24 Porovnání průměrné denní výroby FVE - únor**

### 5.3.3 Instalovaný výkon FVE

Velikost instalovaného výkonu solární elektrárny je zásadní pro množství vyrobené energie. Instalovaný výkon ovlivňuje energii, která se spotřebuje v objektu i energii, která je dodána do sítě. Při návrhu velikosti výkonu FVE je potřeba zvolit kompromis mezi velikostí instalovaného výkonu, který pokryje co nejvíce vlastní spotřeby objektu a přetoky do sítě. Pro rodinné domy se obvykle navrhuje velikost do 10 kWp, jelikož se jedná o mikrozdroj, jehož provoz je snadnější, protože FVE nepodléhá mnoha regulacím uvedených v PPDS. Velikost výkonu se převážně odvíjí od velikosti spotřeby a jejího průběhu během dne a během roku. Při návrhu je vhodné vytvořit několik velikostí výkonu FVE a z nasimulovaných výsledků vybrat tu nejvýhodnější variantu pro danou aplikaci.

Z tabulky 4 lze vyčíst závislost, pro kterou platí, že čím vyšší je výkon FVE, tím vyšší je množství spotřebované energie z FVE. S vyšším výkonem však vznikají větší přetoky do sítě. Pro omezení přetoků je potřeba zohlednit všechny faktory, jako například implementaci akumulace energie do fotovoltaického systému a vybrat vhodný kompromis. Pro návrh FVE jsem zvolil velikost výkonu 6,6 kWp, navzdory tomu, že oproti výkonu

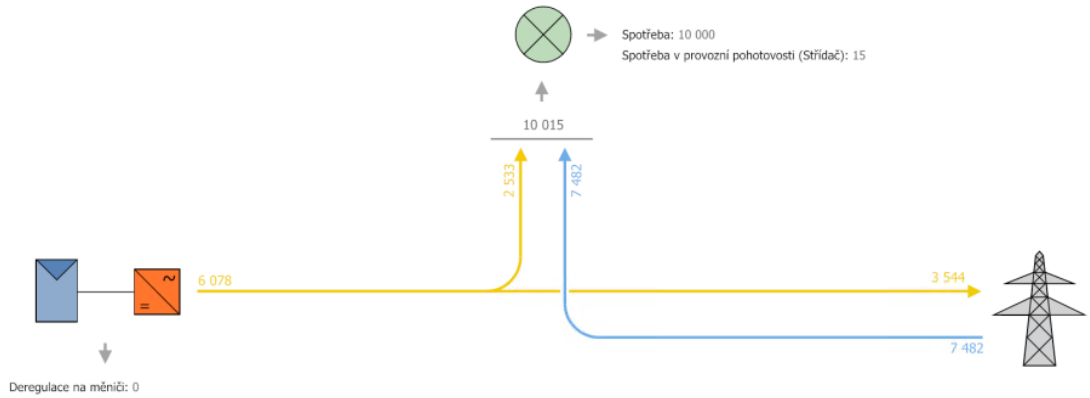
5,3 kWp je dodáno více energie do sítě. Pro celý FVE systém se počítá s prvky akumulace, čímž se přetoky do sítě významně sníží. Pro nainstalovaný výkon FVE platí, že každý nainstalovaný kWp vyrobí za rok o něco méně než 1 MWh energie. Nutné podotknout, že toto pravidlo platí pro Českou republiku a místa s podobnou zeměpisnou polohou a také výsledná vyrobená energie závisí na použitých solárních panelech a dalších parametrech jako je orientace a sklon panelů. Při zvolené hodnotě výkonu 6,6 kWp, lze na FVE čerpat dotaci z programu Nová zelená úsporám. Jednou z podmínek získání dotace ve výši až 170 000 Kč je množství roční vyrobené více energie vyšší než 4000 kWh. Pro čerpání dotace musí solární systém obsahovat akumulaci energie do akumulátorů, s čímž se v návrhu FVE od začátku počítá. Další podmínkou je využití 70 % vyrobené energie pro pokrytí spotřeby objektu. [20]

**Tabulka 4 Porovnání FVE s různými velikostmi výkonů, roční spotřeba objektu 10 MWh**

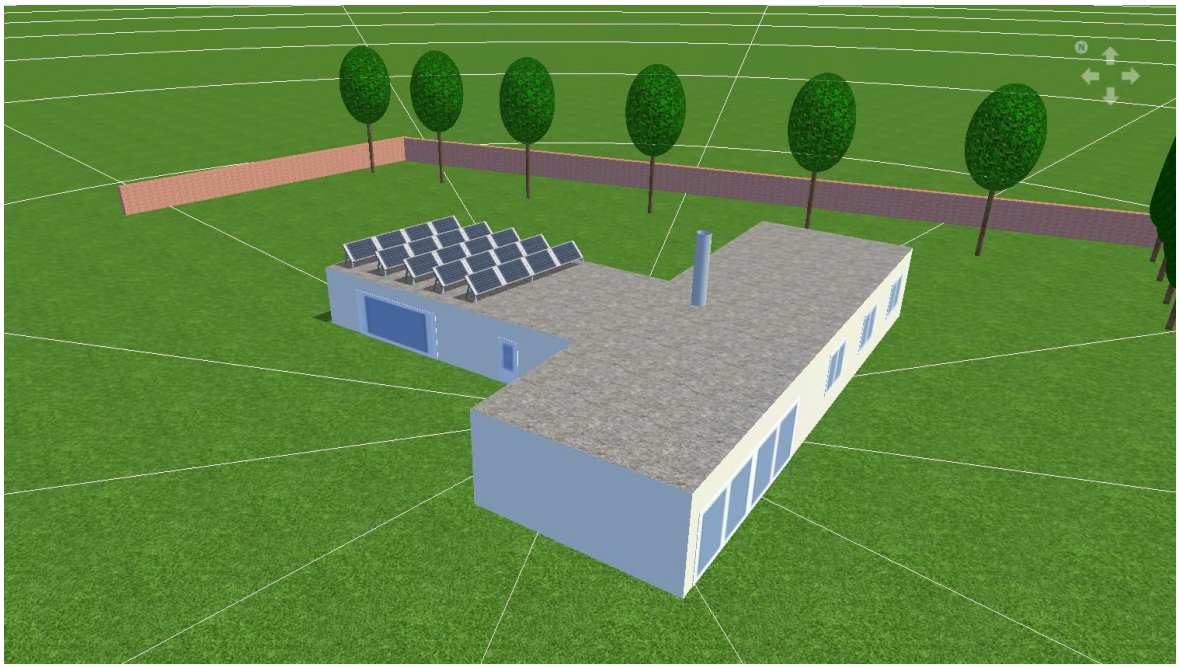
| Počet panelů (ks) | Výkon FVE (Wp) | Roční vyrobená energie (kWh/rok) | Spotřebovaná energie z FVE (kWh/rok) | Přetoky energie do sítě (kWh/rok) |
|---|---|---|---|---|
| 16 | 5280 | 4802 | 2266 | 2536 |
| 20 | 6600 | 6078 | 2533 | 3544 |
| 24 | 7920 | 7316 | 2742 | 4574 |

### 5.3.4 Navrhnuté řešení solárních panelů

Navrhnuté řešení solárních panelů disponuje instalovaným výkonem 6,6 kWp, FVE je navržena z 20 solárních panelů, které jsou orientovány na jih se sklonem 45 °. Solární panely jsou umístěny na rovné střeše, budou instalovány na zatíženou konstrukci, která umožní požadovaný sklon. Panely jsou umístěny nad technickou místností, kde bude umístěn hybridní střídač.




**Obrázek 25 Schématické znázornění toku energie za rok**



**Obrázek 26 Umístění solárních panelů (6,6 kWp)**

## 5.4 Návrh střídače

Střídač je nejdůležitějším zařízením fotovoltaické elektrárny z pohledu řízení a využití vyrobené energie. V kapitole 2 jsou popsány druhy střídačů, jaké mají svoje vlastnosti a jaký střídač je vhodný zvolit pro určité řešení. Na trhu je mnoho výrobců, kteří nabízejí střídače s podobnými parametry. Pro navrženou FVE jsem zvolil třífázový hybridní střídač GoodWe GW8K-ET. Tento střídač je vybrán pro jeho parametry, které jsou vhodné pro danou aplikaci.

**Tabulka 5 Základní parametry střídače GoodWe GW8K-ET [20]**

| | |
|---|---|
| Typ střídače | Třífázový asymetrický, hybridní |
| Max. DC vstupní výkon | 9600 W |
| Rozsah MPPT | 200 – 800 V |
| Počet MPPT | 2 |
| Jmenovitý výstupní výkon | 8000 W |
| Jmenovité výstupní napětí | 400/380, 3L/N/PE |
| Typ baterie | Li-Ion |
| Rozsah napětí baterie | 180-550 V |

Střídač jsem zvolil třífázový, jelikož je spotřeba objektu rovnoměrně rozdělena do všech tří fází. Střídač je asymetrický, disponuje tedy vlastnostmi popsanými v kapitole 2. Díky této kombinaci třífázového střídače s asymetrií se co největší množství energie spotřebuje v místě výroby. Střídač disponuje výkonem 8 kW, což by se mohlo zdát pro FVE s instalovaným výkonem solárních panelů 6,6 kWp jako nadbytečný výkon. Vygenerovaný výkon se rozděluje do všech tří fází a pokud je vyšší výkon střídače, zvýší

se i maximální výkon pro každou fázi. Při návrhu některých FVE je výhodné do jisté míry předimenzovat výkon měniče. Jedinou nevýhodou výkonnějšího střídače je vyšší cena. Střídač GoodWe GW8K-ET s výkonem 8 kW stojí kolem 59000 Kč oproti střídači 5 kW GoodWe GW5K-ET, který stojí kolem 55000 Kč. Výhody použití výkonnějšího střídače však převažují.

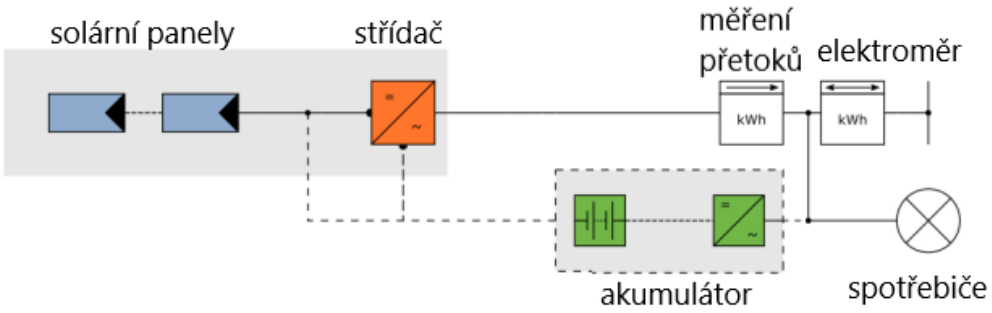
Střídač disponuje dvěma MPPT, což znamená, že solární panely jsou rozděleny do dvou stringů po deseti panelech. Navržený střídač je hybridní, což znamená, že k němu lze připojit akumulátor, je však schopen pracovat i bez něj. Střídač nabízí 2 samostatné výstupy. Na první výstup se připojí fáze rodinného domu a na druhý výstup se připojují zálohované spotřebiče, které v případě výpadku distribuční sítě dále fungují. Přechod do záložního režimu se děje v rámci milisekund. Jedná se tedy o UPS. Samozřejmostí je možnost monitoringu střídače přes internetové připojení.

# 6 Návrhy řešení pro integraci FVE do řídícího systému budov pro maximální využití vyrobené elektrické energie

Při výrobě energie z FVE se část vyrobené energie nespotřebuje a putuje do sitě. Pro omezení přetoků je v této kapitole navrženo několik řešení, která optimalizují spotřebu energie budov a snižují přetoky do sítě. Jedná se o zařízení, která spínají různé spotřebiče, aby spotřebovaly přebytečnou energii. Tato zařízení jsou často pouze jednoúčelová a je obtížné je integrovat do řídících systémů budov. Optimalizaci spotřeby ovlivňuje výběr správného střídače, ukládání vyrobené energie různými způsoby nebo řízení velkých spotřebičů jako je tepelné čerpadlo, klimatizace nebo podlahové topení. Způsoby akumulace jsou například ukládání energie do akumulátoru připojeného k hybridnímu střídači nebo akumulátoru elektromobilu či vody ohřívané odporovou zátěží. Čím více se těchto způsobů optimalizace spotřeby spojí do jednoho systému propojeného pomocí řídícího systému budov, tím efektivněji se využije vyrobená energie a eliminují se přetoky do sítě. V následujících kapitolách jsou navrženy jednotlivé způsoby optimalizace spotřeby a jejich integrace do řídícího systému budov.

## 6.1 Návrh uložení přebytků do akumulátoru připojeného ke střídači

V současné době je využití akumulátoru pro uložení přebytků energie z FVE tím nejčastějším způsobem. Při instalaci akumulátoru do solárního systému je nutné pouze zvolit správný typ střídače (hybridní) a není nutné realizovat složité řízení nebo instalaci dalších zařízení. Solární střídač řídí akumulátor sám.




**Obrázek 27 Schématický diagram zapojení akumulátoru do solárního systému**

Při návrhu akumulátoru se volí typ akumulátoru, nabíjecí a vybíjecí proud, a tedy výkon a kapacita akumulátoru. V současnosti se využívají především akumulátory typu Li-Ion, jejich vlastnosti jsou popsány v kapitole 3.2. Většina výrobců hybridních střídačů udává, jaké akumulátory a od jakých výrobců jsou doporučeny pro konkrétní střídače.

Na ukládání přebytků energie z FVE má zásadní vliv kapacita akumulátoru. Stejně jako u návrhu solárních panelů je nutné vybrat kompromis. Je potřeba zvolit nejvýhodnější řešení a zohlednit kapacitu akumulátoru, která má vliv na množství uložené energie, přetoky do sítě a cenu akumulátoru. Čím větší je kapacita akumulátoru, tím více energie se do akumulátoru uloží a tím méně přetoků je dodáváno do sítě. Aby se pokryly veškeré přetoky, cena kapacitně dostačujícího akumulátoru by byla příliš vysoká a finančně by se toto řešení nevyplatilo. Použití akumulátoru s malou kapacitou je levnějším řešením, nevýhodami jsou však malé množství naakumulované energie a velké přetoky do sítě. Je tedy nutné zvolit vhodný kompromis mezi kapacitou akumulátoru, úrovní přetoků do sítě a pořizovací cenou.

Z nasimulovaných hodnot z tabulky 6 lze vidět, že čím větší je kapacita akumulátoru, tím se liší poměr mezi přímou spotřebovanou energií z FVE a energií, která putuje do sítě. I nejnižší kapacita akumulátoru značně snižuje přetoky do sítě. Pří použití větší kapacity akumulátoru se přetoky snižují, ovšem neúměrně velikosti akumulátoru.

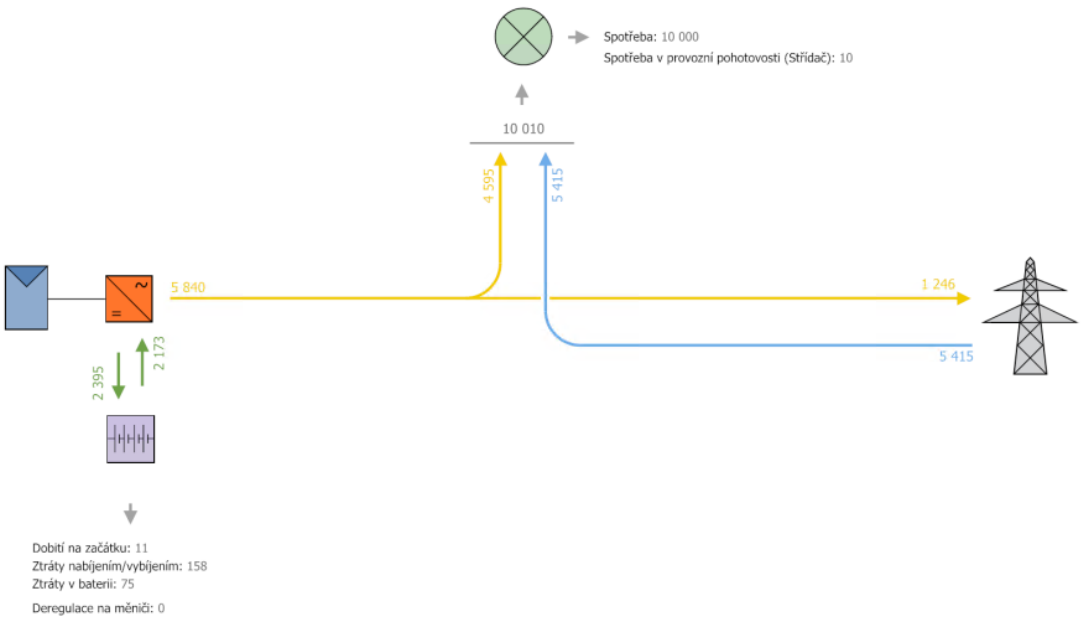
**Tabulka 6 Závislost spotřebované energie a energie putující do sítě na velikosti kapacity akumulátoru**

| Využitelná kapacita baterie (kWh) | Spotřebovaná energie z FVE (kWh/rok) | Přetoky energie do sítě (kWh/rok) |
|---|---|---|
| Bez akumulátoru | 2533 | 3544 |
| 4,1 | 3580 | 2346 |
| 6,1 | 3945 | 1961 |
| 8,2 | 4262 | 1617 |
| 11 | 4595 | 1246 |
| 13,2 | 4779 | 1056 |
| 15,5 | 4904 | 931 |
| 17,7 | 4988 | 847 |

Pro navrhovaný solární systém jsem zvolil výrobcem střídače doporučený akumulátor BYD Premium HVM 13.8. Jedná se o vysokonapěťovou akumulátorovou baterii. Akumulátor je vhodný pro jednofázové a třífázové systémy s flexibilním modulárním systémem. Akumulátor je složen z pěti modulů, které tvoří výslednou kapacitu 13,8 kWh (využitelná kapacita 11 kWh). Tato kapacita omezuje přetoky do sítě na hodnotu 1246 kWh/rok. Při použití akumulátoru přetoky do sítě činí 21 % z vyrobené energie. S touto hodnotou splňuje systém také podmínky pro získání dotace, kdy je množství přetoků do sítě omezeno na 30 % z celkové vyrobené energie.

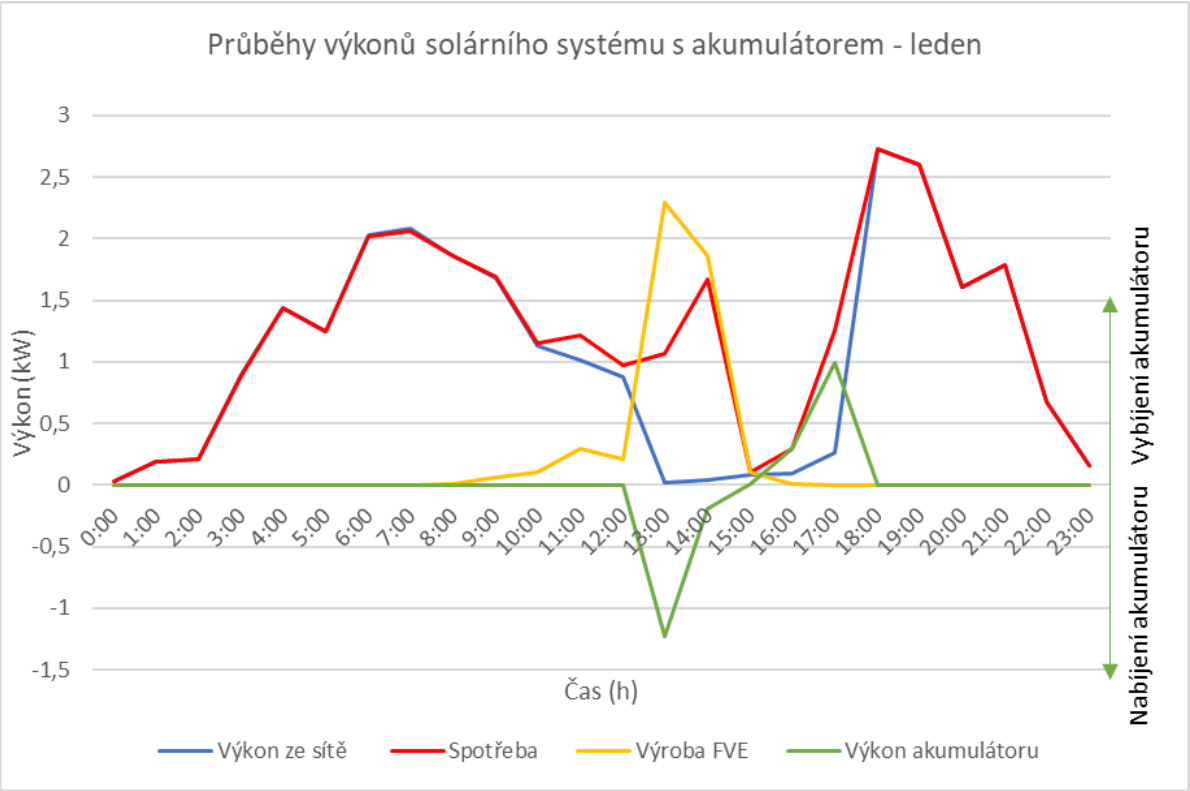
**Tabulka 7 Základní parametry akumulátoru BYD Premium HVM 13,8 [21]**

| | |
|---|---|
| Počet modulů | 5 |
| Kapacita akumulátoru | 13,8 kWh |
| Využitelná kapacita akumulátoru | 11 kWh |
| Max. vybíjecí proud | 50 A |
| Špičkový vybíjecí proud | 75 A, 5 s |
| Jmenovité napětí | 256 V |
| Rozměry | 1178 x 585 x 298 mm |
| Váha | 205 kg |



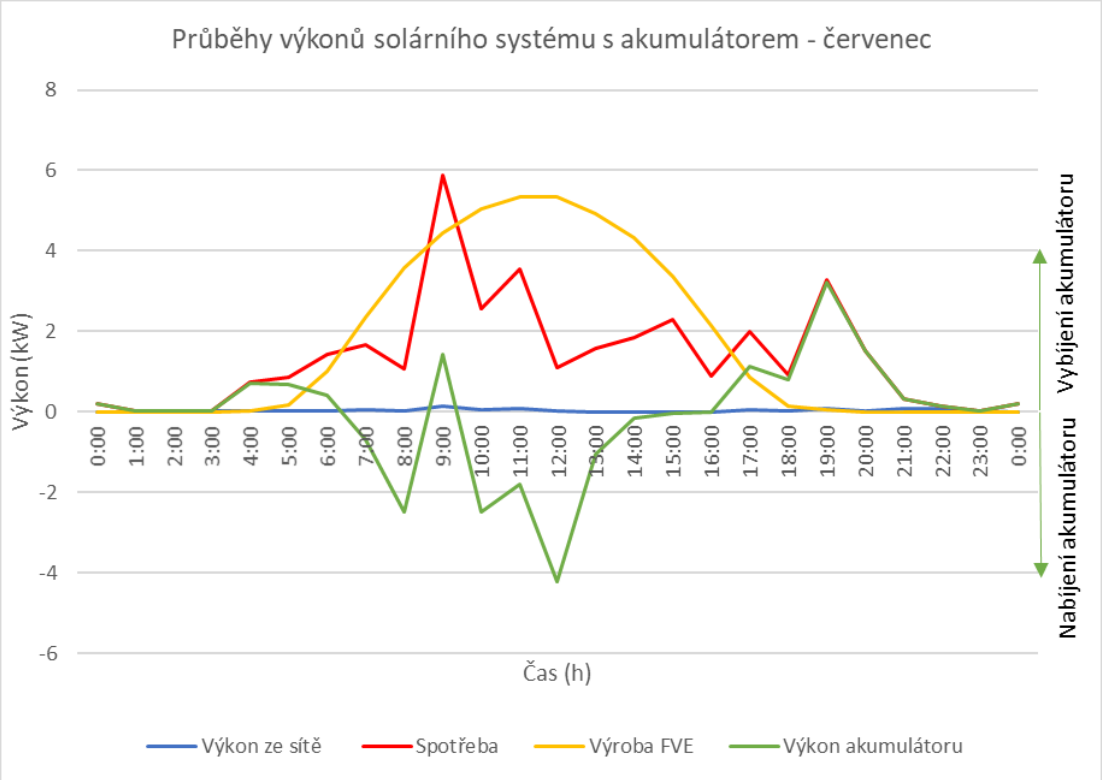

**Obrázek 28 Schématické znázornění toku energie za rok při použití akumulátoru 11 kWh**

Z obrázků 29 a 30 je patrné, že se akumulátor nabíjí z přebytečné energie z FVE a touto energií pokrývá spotřebu v čase, kdy FVE energii nevyrábí. Akumulátor tak snižuje přetoky do sítě i spotřebu energie ze sítě. Na obrázku 29 je průběh výkonu solárního systému během průměrného zimního dne. Je patrné, že přebytky energie v tomto období nejsou tak velké jako v období letním na obrázku 30 a akumulátor je méně využit. Tento i ostatní grafy průběhu výkonů solárních systémů s různými typy akumulace jsou vytvořeny z nasimulovaných hodnot hodinových intervalů. U grafů, kde je zobrazen výkon akumulátoru, je vybíjení akumulátoru zobrazeno ve svislé ose kladnými hodnotami a nabíjení zápornými hodnotami.



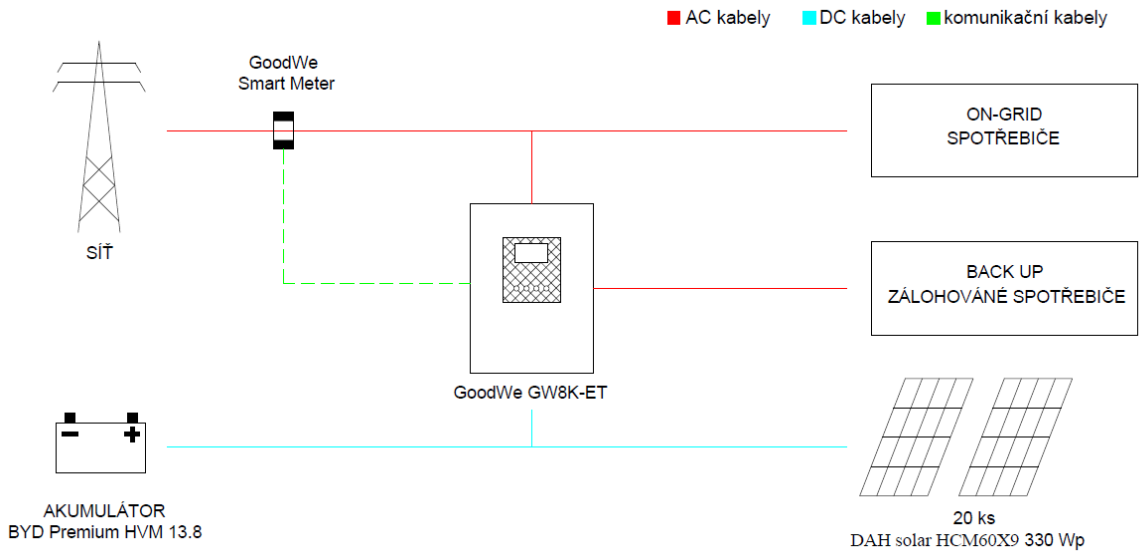

**Obrázek 29 Průběhy výkonů solárního systému s akumulátorem – leden**

V letních měsících je značně vyšší výroba energie z FVE a také i energie, která se ukládá do akumulátoru. Akumulátor také pokrývá větší procento spotřeby v době, kdy FVE nevyrábí. Jelikož v letním období generuje FVE větší množství energie a také je uloženo větší množství energie do akumulátoru, spotřeba ze sítě se podstatně sníží.




**Obrázek 30 Průběhy výkonů solárního systému s akumulátorem – červenec**

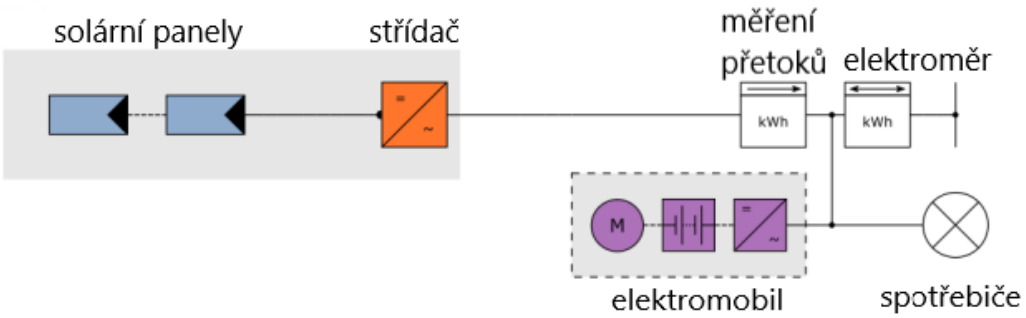
Při návrhu solárního systému s akumulátorem pro ukládání nadbytečné energie z FVE není potřeba vytvářet systém pro řízení nabíjení a vybíjení akumulátoru a hybridní střídač si řízení akumulátoru reguluje sám. Aby mohl střídač správně řídit akumulátor, potřebuje mít na výstupu z objektu informace o toku energie mezi sítí a objektem. Pro získání těchto dat nabízí výrobce střídače měřící zařízení GoodWe Smart Meter. Jedná se o inteligentní elektroměr, který je vhodný pro jednofázové i třífázové zapojení. Smart Meter měří elektrickou energii na vstupu do objektu a posílá naměřená data do hybridního střídače, který na základě těchto dat rozděluje přebytečný výkon mezi spotřebiče, akumulátor a distribuční síť. Díky tomu je výsledné řešení jednodušší než vytváření systému nabíjení akumulátoru pomocí řídícího systému budov.




**Obrázek 31 Schématický diagram zapojení solárního systému s akumulátorem**

## 6.2 Návrh uložení přebytků do akumulátoru elektromobilu

Při stále větším růstu elektromobility je pravděpodobné, že uživatelé vlastnící fotovoltaickou elektrárnu také vlastní nebo budou vlastnit elektromobil. Nabíjení ze sítě však ekologickou výhodu elektromobilů snižuje. Výrazné zlepšení by přineslo nabíjení elektromobilu ze solární energie, ideálně z přebytečné energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou. Díky velké kapacitě akumulátoru elektromobilu se dají výrazně snížit přetoky do sítě a zvýšit efektivita solárního systému.




**Obrázek 32 Schématický diagram zapojení nabíjení elektromobilu do solárního systému**

Omezení přetoků při použití elektromobilu velice závisí na typu, velikosti akumulátoru a způsobu nabíjení daného elektromobilu. Dnešní elektromobily disponují kapacitou akumulátoru zhruba 30 kWh až 100 kWh. Jedná se tedy o velkou kapacitu akumulátoru, která může být i desetkrát větší než typická kapacita akumulátoru připojeného k hybridnímu střídači. Další faktor, který ovlivňuje využití přetoků pro nabíjení elektromobilu je minimální nabíjecí proud. Maximální nabíjecí proud vychází

z udávaného maximálního výkonu nabíjení. Ovšem minimální nabíjecí proud výrobci elektromobilů většinou neuvádí a je těžké jej zjistit. Minimální nabíjecí proud je velice důležitý pro efektivní nabíjení, jelikož přetoky z FVE nemusí být vždy velké. Pokud bude mít proud pro nabíjení nízkou hodnotu a elektromobil vysokou hodnotu minimálního nabíjecího proudu, nebude možné elektromobil přetoky nabíjet. Pokud by se elektromobil dokázal nabíjet od malých proudů, byl by více vhodný pro použití pro ukládání přebytků energie.

Další důležitý faktor ovlivňující uložení přebytků, je čas, po který je elektromobil připojen k nabíjecí stanici a může se nabíjet z přebytků energie. V ideálním případě by elektromobil měl být připojený k nabíjecí stanici v čas, kdy je výroba energie největší, tedy od ranních do odpoledních hodin. To je ovšem v rozporu s tím, jak jsou lidé zvyklí elektromobil používat. V brzkých ranních hodinách odjíždí od svých domovů a přes den jejich elektromobil stojí na parkovišti pracoviště. Elektromobil je tedy napojen na nabíjecí stanici večer a přes noc, kdy FVE energii nevyrábí. Uložení přebytků do akumulátoru elektromobilu by tedy bylo vhodné u uživatelů, kteří jsou schopni mít svůj elektromobil napojen na nabíjecí stanici během dne u svého domu nebo u své práce.

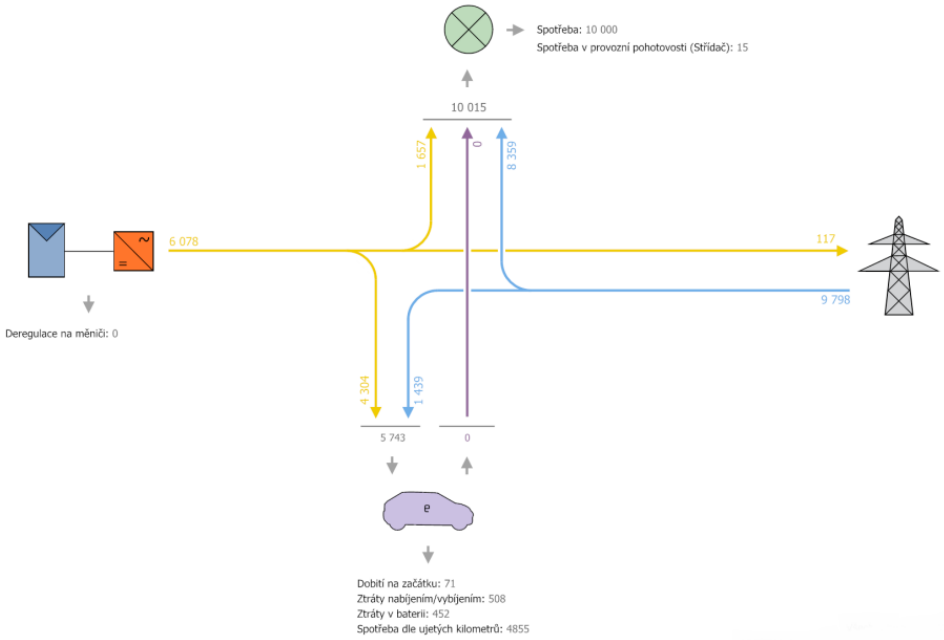
Pro simulaci byly použity tři elektromobily o různé velikosti kapacity akumulátorů a dvě různá časová období, po která je elektromobil připojený na nabíječce. První časový interval odpovídá režimu, kdy je uživatel přes den v práci a svůj elektromobil napojí na nabíjecí stanici k večeru a ráno svůj elektromobil zase odpojí. Druhý časový interval odpovídá režimu, kdy má uživatel elektromobil napojen na nabíjecí stanici v pracovní době tedy od rána do odpoledne. Pro simulaci byl vybrán typ nabíjení pomocí wallboxu o výkonu 11 kW. Tento wallbox je zapojen třífázově o maximálním fázovém proudu 16 A a jedná se o typický wallbox používaný v rodinných domech. Z nasimulovaných hodnot (tabulka 8 a 9) je patrné, že velice závisí na čase, kdy je elektromobil připojen na nabíjecí stanici. Pokud je vozidlo připojeno od večera do rána, kdy FVE negeneruje energii, elektromobil uloží velice málo energie a snížení přetoků do sítě je nízké. Na druhé straně v situaci, kdy je elektromobil připojen k nabíjecí stanici od rána do odpoledne, je jeho využití pro uložení přebytečné energie značné a přetoky do sítě se velice sníží. Spotřebovaná energie elektromobilem je významně závislá na velikosti akumulátoru elektromobilu. Čím větší akumulátor je, tím více energie je schopen uložit a tím menší jsou přetoky do sítě. Pokud tedy uživatel zvolí elektromobil s větší kapacitou akumulátoru, dostane nejen vyšší dojezd, ale také efektivněji využije svůj solární systém, sníží přetoky do sítě a ekologičtěji si nabije svůj elektromobil

**Tabulka 8 Závislost snížení přetoků do sítě na velikosti akumulátoru elektromobilu v čase 17:00 – 6:59**

| Model elektromobilu | Čas na nabíjecí stanici 17:00 – 6:59 | | |
|---|---|---|---|
| | Spotřebovaná energie elektromobilu z FVE (kWh/rok) | Spotřebovaná energie objektu z FVE (kWh/rok) | Přetoky energie do sítě (kWh/rok) |
| Audi e-tron (95 kWh) | 192 | 2362 | 3516 |
| Škoda ENYAQ iV (62 kWh) | 192 | 2362 | 3516 |
| BMW i3 (42,2 kWh) | 192 | 2362 | 3516 |

**Tabulka 9 Závislost snížení přetoků do sítě na velikosti akumulátoru elektromobilu v čase 7:00 – 16:59**

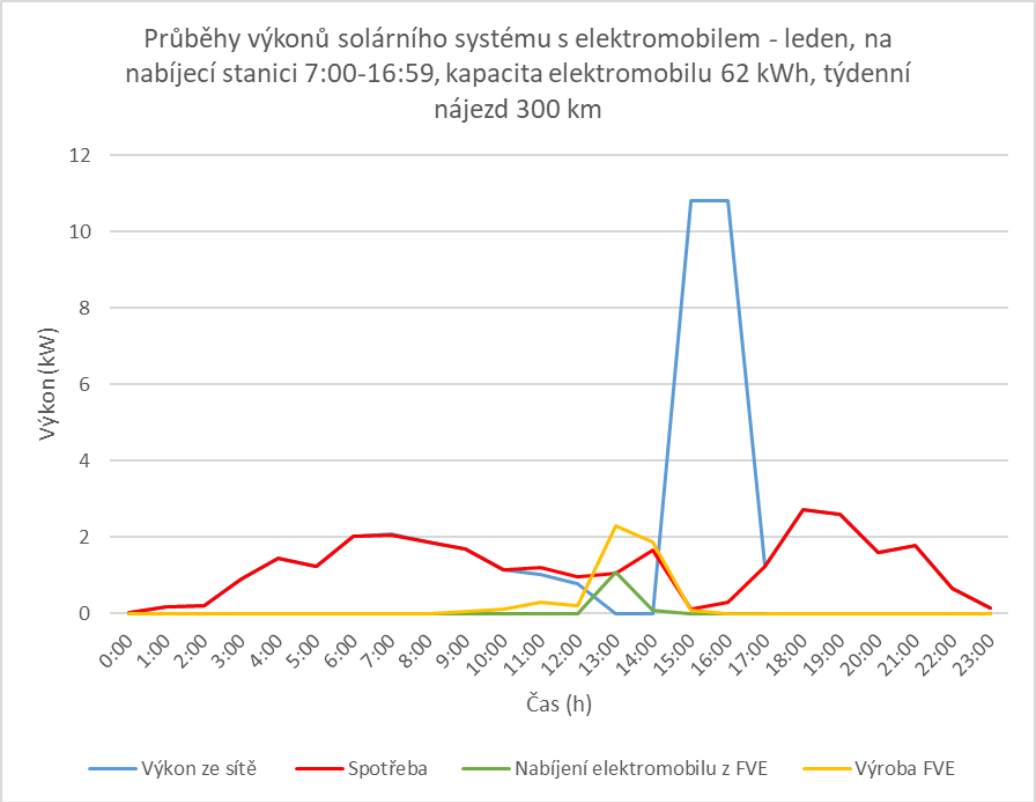
| Model elektromobilu | Čas na nabíjecí stanici 7:00 – 16:59 | | |
|---|---|---|---|
| | Spotřebovaná energie elektromobilu z FVE (kWh/rok) | Spotřebovaná energie objektu z FVE (kWh/rok) | Přetoky energie do sítě (kWh/rok) |
| Audi e-tron (95 kWh) | 4304 | 1657 | 117 |
| Škoda ENYAQ iV (62 kWh) | 3078 | 2101 | 898 |
| BMW i3 (42,2 kWh) | 2623 | 2144 | 1311 |




**Obrázek 33 Schématické znázornění toku energie za rok při použití elektromobilu Audi e-tron (95 kWh)**

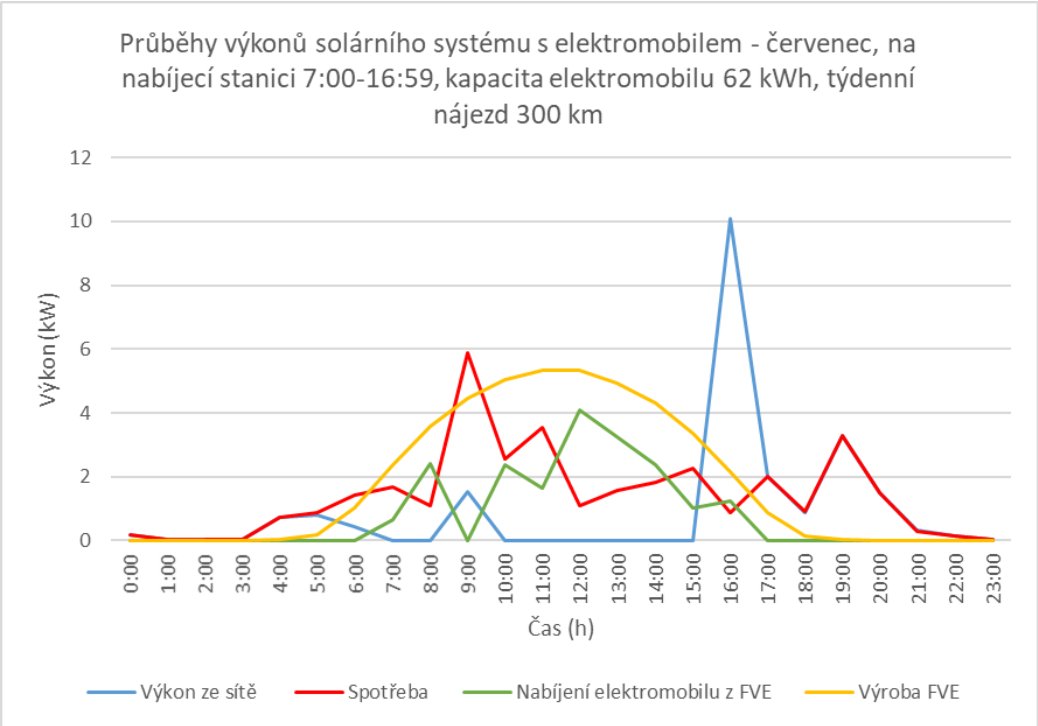
Obrázek 34 zobrazuje průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem. V této variantě je elektromobil připojen k nabíjecí stanici přes den a jedná se o zimní období. Přebytečná energie z FVE je nízká a množství energie pro nabíjení akumulátoru elektromobilu je malé. V tomto režimu je nastaveno, že se elektromobil odpojí od nabíjecí stanice v 17:00 a před odpojením se dobije energií ze sítě, což způsobí vysokou špičku odebíraného výkonu. Je nutné doplnit, že se jedná o ideální případ, kdy není zohledněna

hodnota hlavního jističe. Pokud by byl odběr objektu vysoký, nebylo by vždy možné nabíjet elektromobil maximálním výkonem. Také se jedná o ideální případ nabíjení, kdy je možné nabíjet elektromobil od nulových hodnot výkonu a není zohledněn minimální nabíjecí proud. Aby bylo možné dosáhnout maximálního možného výkonu nabíjení, je možné pomocí řídícího systému budovy vypnout některé spotřebiče objektu například tepelné čerpadlo a zvýšit příkon pro nabíjení elektromobilu.




**Obrázek 34 Průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem - leden, na nabíjecí stanici 7:00-16:59, kapacita elektromobilu 62 kWh, týdenní nájezd 300 km**

V letních měsících (obrázek 35) je větší množství energie pro nabíjení elektromobilu. Elektromobil se ale touto energií nedobije do plné kapacity a opět se elektromobil dobíjí v odpoledních hodinách ze sítě. Tabulka 10 zobrazuje množství energie dodané z FVE a ze sítě pro nabití elektromobilu. Hodnoty jsou ze simulace stejného dne jako hodnoty pro obrázek 35.

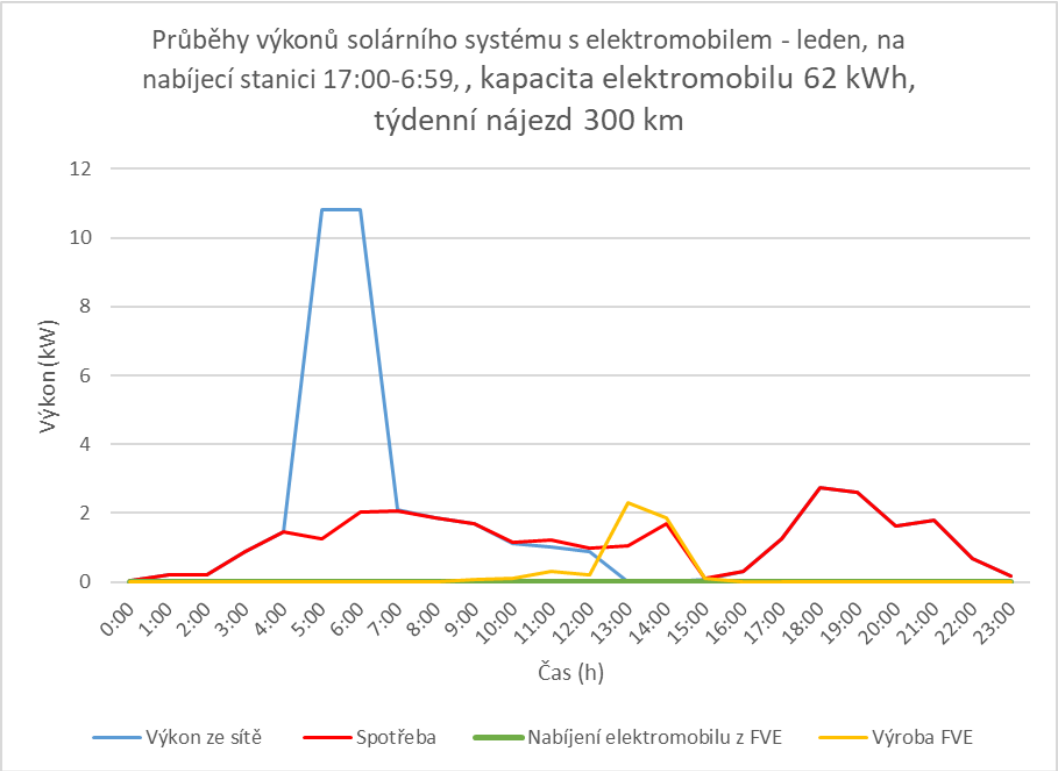



**Obrázek 35 Průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem - červenec, na nabíjecí stanici 7:00-16:59, kapacita elektromobilu 62 kWh, týdenní nájezd 300 km**

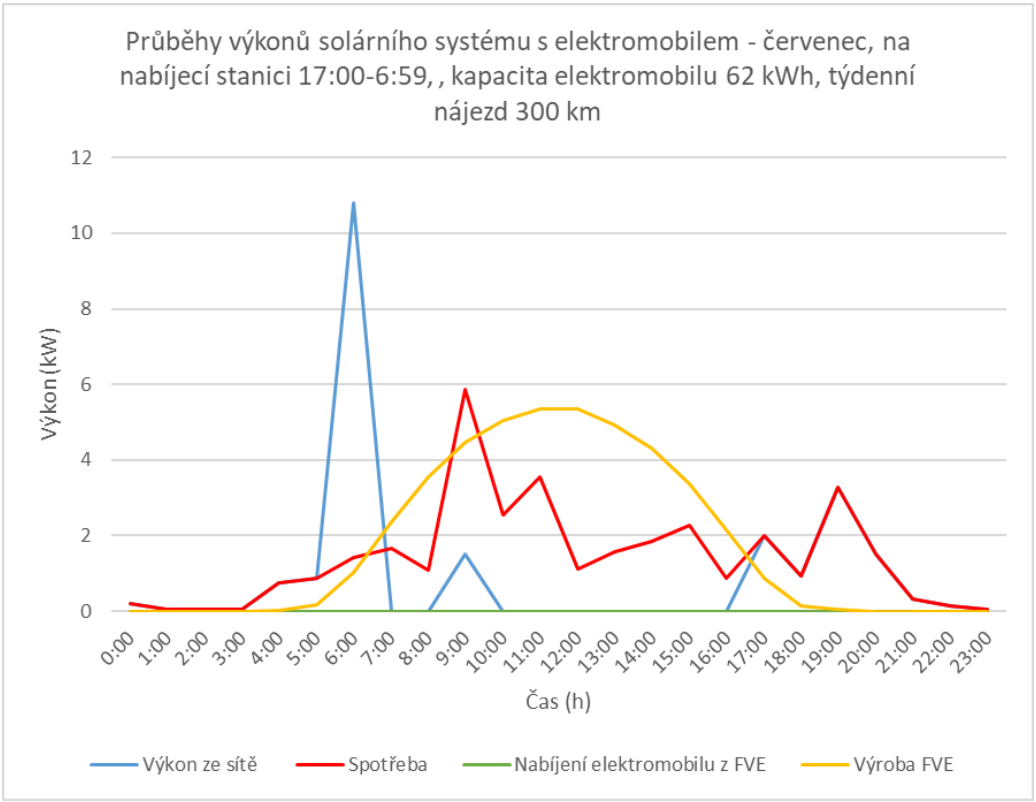
**Tabulka 10 Podíl energií za den z FVE a ze sítě pro nabití elektromobilu - červenec, na nabíjecí stanici 7:00 - 16:59, kapacita elektromobilu 62 kWh, týdenní nájezd 300 km**

| Celková energie (kWh) | Energie z FVE (kWh) | Energie ze sítě (kWh) |
|---|---|---|
| 29,9 | 19,1 (64 %) | 10,8 (36 %) |

Obrázky 36 a 37 zobrazují průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem, kdy je elektromobil připojen k nabíjecí stanici od večera do rána. Z grafů lze vyčíst, že se elektromobil nenabíjí z přebytečné energie z FVE, jelikož v této době není k nabíjecí stanici připojen. Také je zde výkonová špička ze sítě v době před odpojením elektromobilu z nabíjecí stanice pro jeho dobití do plné kapacity.




**Obrázek 36 Průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem - leden, na nabíjecí stanici 17:00-6:59, kapacita elektromobilu 62 kWh, týdenní nájezd 300 km**




**Obrázek 37 Průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem - červenec, na nabíjecí stanici 17:00-6:59, kapacita elektromobilu 62 kWh, týdenní nájezd 300 km**

Pro vytvoření integrace nabíjení elektromobilu z přebytků energie FVE do řídícího systému budov, je potřeba nabíjecí stanice, která je schopna řízení výkonu nabíjení při

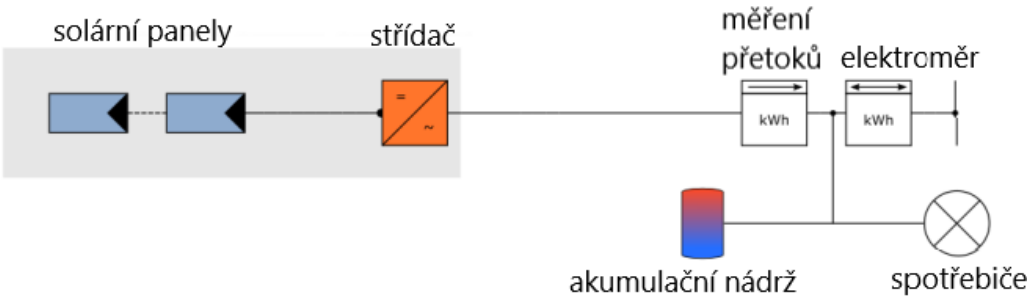
nabíjení elektromobilu. Některé nabíjecí stanice jsou omezeny jen na jednu hodnotu nabíjecího výkonu v průběhu nabíjení, což je v našem případě nedostatečné. Jednou z nabíjecích stanic, která řídí nabíjecí výkon v průběhu nabíjení je například wallbox Schneider EVB1A22P4ERI. Jedná se o nejvýkonnější typ wallboxu s maximálním nabíjecím výkonem 22 kW. Pro aplikaci je ale důležité, že je umožněno řízení nabíjecího proudu v rozmezí 8-32 A. Dalším důležitým parametrem je komunikace na rozhraní Modbus TCP/IP díky které lze wallbox integrovat do řídícího systému budov. Aby mohl wallbox řídit nabíjecí výkon, systém musí na vstupu do objektu obsahovat měřící zařízení, které reguluje nabíjecí proud v závislosti na nastavené maximální hodnotě hlavního jističe a aktuálním odebíraným proudem objektu. [23]

### 6.2.1 Způsoby nabíjení elektromobilu s použitím řídícího systému budov

Při nabíjení elektromobilu s použitím řídícího systému budov lze vytvořit mnoho způsobů, jak nabíjet elektromobil. Při připojení na nabíjecí stanici si uživatel může vybrat, zda chce elektromobil nabít co nejrychleji nebo z přebytků energie z FVE. Při rychlém nabíjení, si systém změří aktuální spotřebu objektu tedy spotřebovávaný proud a porovná s maximální hodnotou proudu hlavního jističe. Rozdíl těchto hodnot je maximální proud, kterým může wallbox nabíjet elektromobil. Pokud chce uživatel nabít elektromobil maximálním výkonem v době, kdy je spotřeba objektu příliš vysoká a omezuje výkon pro nabíjení, systém může pomocí KNX odepnout některé spotřebiče a zvýšit tak výkon, pro co nejrychlejší nabíjení. Během nabíjení elektromobilu maximálním nabíjecím výkonem systém zamezí sepnutí spotřebičů, které by nabíjecí výkon snížili. Pokud je zvolena druhá varianta nabíjení z přetoků z FVE, elektromobil je nabíjen pouze, pokud systém změří přetok do sítě. Tyto přetoky neboli proud, použije systém pro nabíjení. Pokud je ovšem nabíjecí proud nižší než minimální proud, kterým lze elektromobil nabít, nabíjení není možné uskutečnit, přebytečná energie putuje do sítě a není docíleno maximálního využití elektrické energie z FVE. Také lze nastavit variantu, kdy se elektromobil nabijí z přebytečné energie z FVE a pokud elektromobil není zcela nabit před koncem nastaveného času, systém vyhodnotí čas potřebný pro dobití elektromobilu a dobije elektromobil ze sítě viz obrázky 34, 35 36 a 37. Také lze nastavit maximální nabíjecí proud na konstantní hodnotu, a elektromobil se může nabíjet jak z výkonu FVE, tak ze sítě. Při nabíjení z přebytků FVE tak nebude docházet k výkonovým špičkám a nabíjení bude konstantní.

## 6.3 Návrh uložení přebytku do vody ohřívané odporovou zátěží

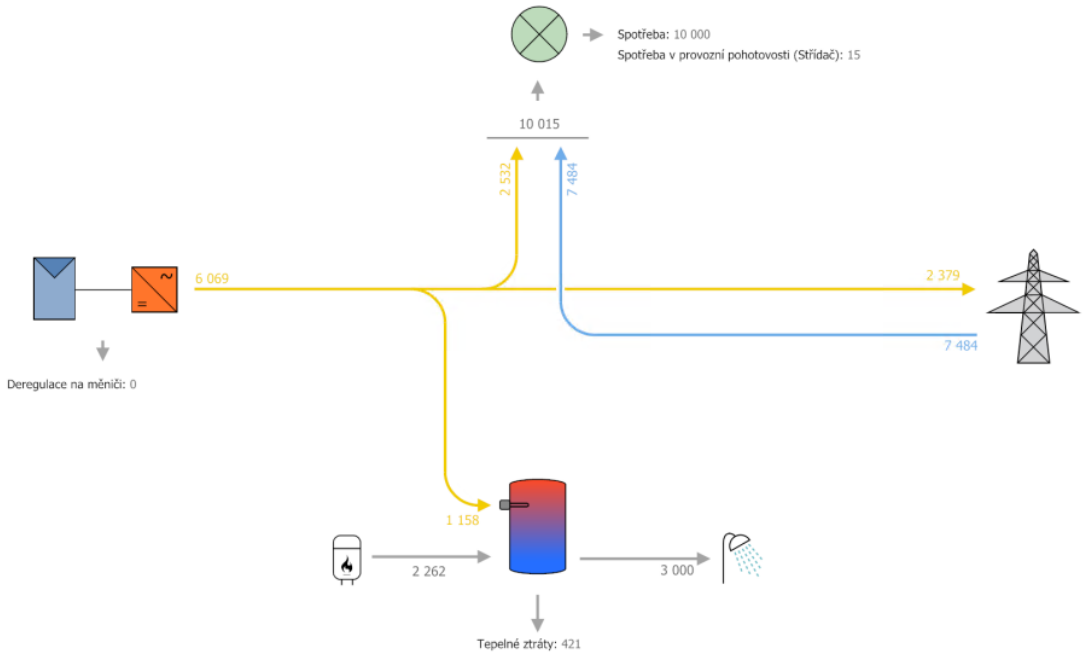
Pro využití přebytků energie z FVE není nutné investovat do drahého akumulátoru. Pokud je v objektu nádrž pro ohřev vody, ať domácí bojler nebo bazén, je možné využít přebytečnou energii tím, že se uloží do vody. Ohřev vody odporovou zátěží spotřebuje hodně energie, proto je využití přebytků energie z FVE efektivním řešení, které zároveň snižuje spotřebu ze sítě.




**Obrázek 38 Schématický diagram zapojení ohřevu vody odporovou zátěží do solárního systému**

Omezení přetoků při použití ohřevu vody závisí na velikosti akumulační nádrže neboli množství vody, která se v akumulační nádrži ohřívá. Čím více vody je možné ohřát, tím více tepelné energie do ní lze uložit. Pro co možná nejefektivnější využití ohřáté vody je důležité, aby se ohřátá voda co nejdříve spotřebovala. Je to kvůli tomu, že ohřátá voda podléhá tepelným ztrátám, ochlazuje se a tím ztrácí svojí energii, která je do ní naakumulována. Jelikož FVE vyrábí energii od rána do odpoledne, ohřátá voda má nejvíce energie z přebytků k večeru, kdy je kvůli večerní hygieně odběr teplé vody zvýšený a ohřátá voda se spotřebuje.

Pro simulaci byly použity tři velikosti akumulačních nádrží, které jsou dostupné a typicky používané v rodinných domech. Pro ohřev bylo použito odporové topné těleso s výkonem 2000 W a roční spotřeba energie pro ohřev vody 3000 kWh/rok. Minimální teplota vody je zajištěna regulací z jiného zdroje, například tepelného čerpadla nebo plynového kotle. Pomocí regulace ohřevu vody je možné udržovat minimální teplotu vody (40 °C) pomocí tepelného čerpadla. Přebytky energie jsou využívány pro ohřev vody do maximální teploty (70 °C nebo 80 °C) podle parametrů akumulační nádrže. Z nasimulovaných hodnot lze vidět, že při ohřevu vody z přebytků z FVE se přetoky energie do sítě snižují. Se zvětšujícím se objem vody v akumulační nádrži se přetoky do sítě snižují, nicméně při dvojnásobném objemu vody se přetoky sníží jen o pár procent. Uživatel tedy nemusí investovat do velké akumulační nádrže a postačí klasický rodinný bojler o objemu 100 l.

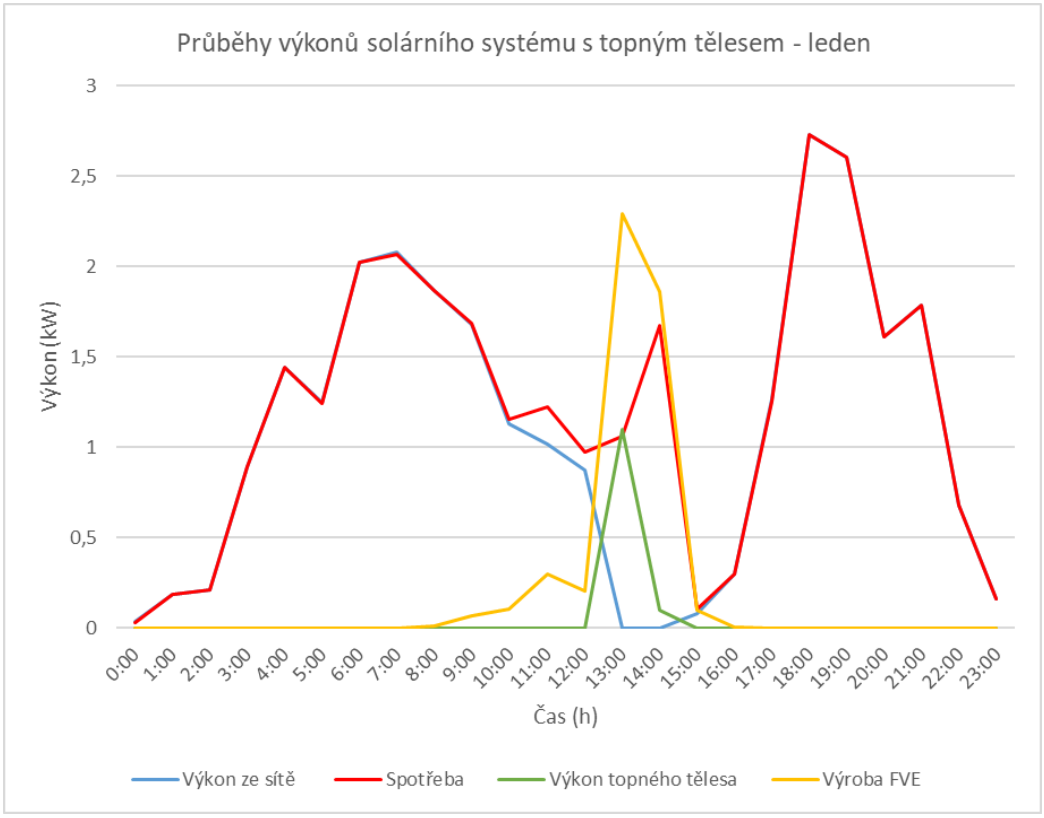



**Obrázek 39 Schématické znázornění toku energie za rok při použití akumulační nádrže 200 l**

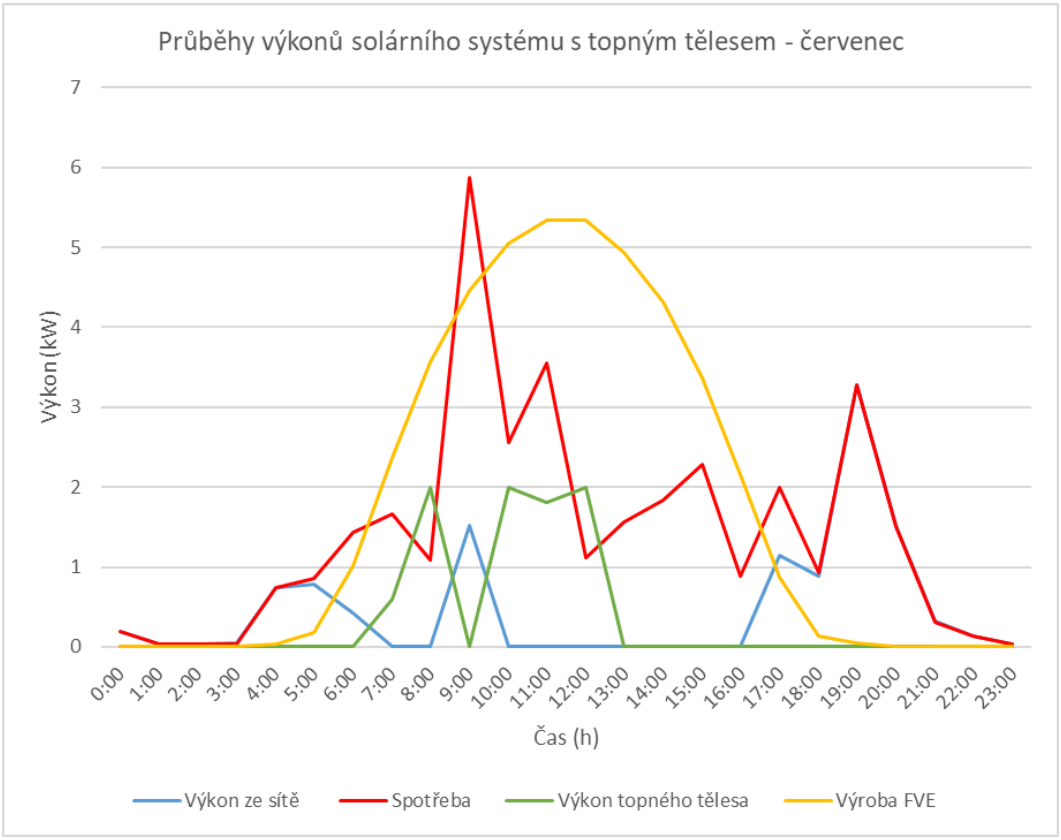
**Tabulka 11 Závislost snížení přetoků do sítě na velikosti akumulační nádrže**

| Objem akumulační nádrže (l) | Spotřebovaná energie akumulační nádrží z FVE (kWh/rok) | Spotřebovaná energie objektu z FVE (kWh/rok) | Přetoky energie do sítě (kWh/rok) |
|---|---|---|---|
| Bez akumulační nádrže | 0 | 2532 | 3538 |
| 100 | 921 | 2532 | 2616 |
| 150 | 1039 | 2532 | 2494 |
| 200 | 1158 | 2532 | 2379 |

Obrázky 40 a 41 zobrazují průběhy výkonů solárního systému s topným tělesem v letním a zimním období. V zimním období se do vody ohřáté odporovou zátěží nakumuluje malé množství energie, jelikož FVE vyrábí málo energie. V letním období vyrábí FVE energie více a topná spirála je napájena maximálním výkonem 2 kW. Po třech hodinách je voda ohřáta na maximální teplotu a topné těleso už dále vodu neohřívá




**Obrázek 40 Průběhy výkonů solárního systému s topným tělesem – leden**



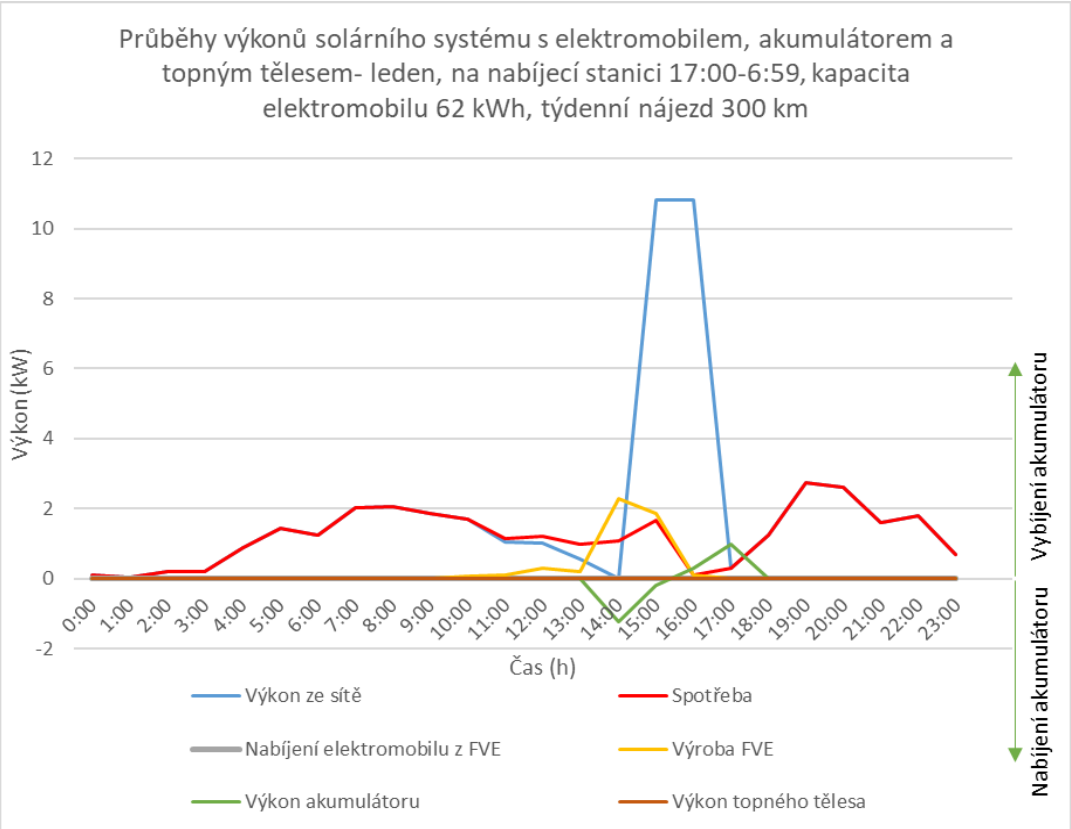

**Obrázek 41 Průběhy výkonů solárního systému s topným tělesem – červenec**

Pro vytvoření integrace ohřevu vody z přebytečné energie z FVE do řídícího systému budov je zapotřebí plynulé regulace pro odporové topné těleso. Pro tuto regulaci je výhodné použití polovodičového relé SSR například značky Carlo Gavazzi. Výhodou je, že relé nepotřebuje přídavné chlazení a lze jej ovládat přes PLC. SSR jsou připojeny na jednotlivé fáze k topnému tělesu a regulují výkon dodávaný do topného tělesa, které ohřívá vodu v akumulační nádrži. Další komponentou je měřící zařízení na výstupu z objektu (analyzátor sítě či chytrý elektroměr), které disponuje komunikačním protokolem a naměřené hodnoty posílá do PLC, které z naměřených hodnot vyhodnocuje tok energie a reguluje SSR spínající topné těleso.

## 6.4 Propojení navržených akumulačních řešení do řídícího systému budov

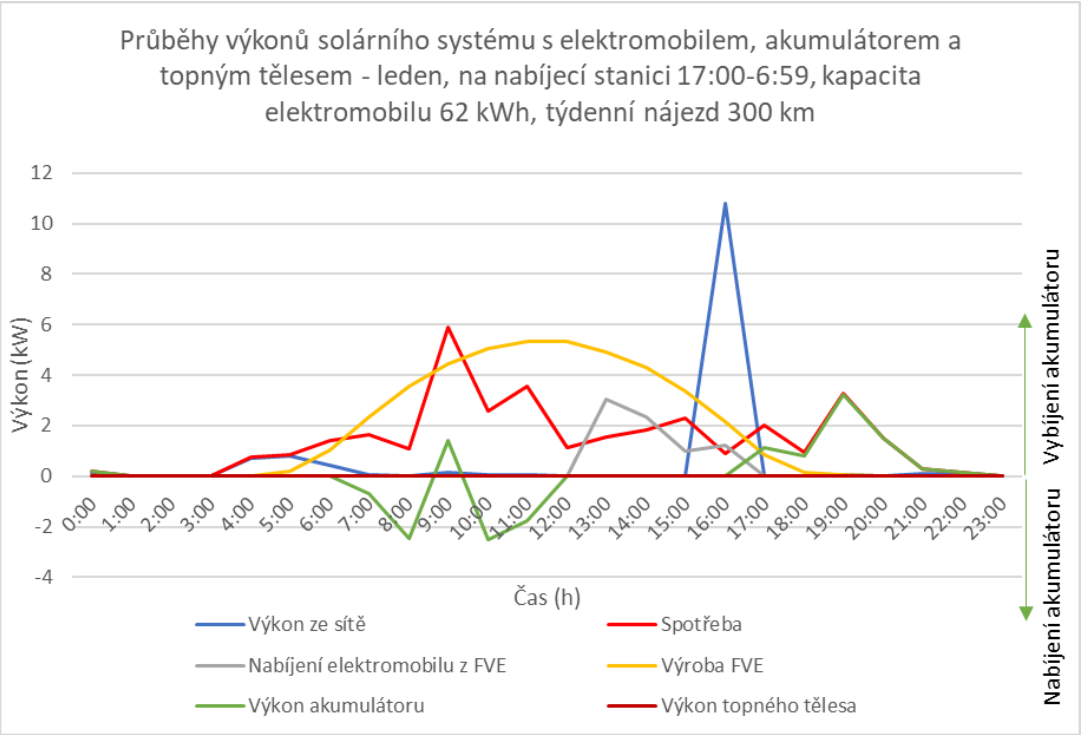
Každé z navržených řešení snižuje přetoky do sítě a zlepšuje využití a efektivitu fotovoltaického systému. Nicméně každé řešení je závislé na mnoha faktorech jako již zmíněný čas na nabíjecí stanici, minimální nabíjecí výkon u nabíjení elektromobilu nebo stavu nabití akumulátoru připojeného k hybridnímu střídači. Aby se co nejvíce eliminovaly přetoky do sitě, je vhodné jednotlivá řešení spojit do komplexního systému zahrnujícího všechny tyto typy akumulace. Například, pokud bude akumulátor připojený k hybridnímu střídači nabit na maximum, začne se energie akumulovat do akumulátoru elektromobilu (za předpokladu, že je připojen k nabíjecí stanici). Pokud i akumulátor elektromobilu dosáhl maximální kapacity, energie se uloží do vody ohřívané odporovou zátěží. Tímto způsobem se efektivně využije vyrobená energie z FVE a sníží se přetoky sítě.

Obrázek 42 popisuje nasimulované průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem, akumulátorem střídače a topným tělesem v zimním období. Elektromobil je připojený k nabíjecí stanici v příznivém čase 7:00-16:59. V zimním období FVE vyrábí málo energie a přebytečnou energii akumuluje pouze do akumulátoru. Další typy akumulace jsou v tomto případě nevyužité. Opět dochází k dobití elektromobilu ze sítě před odpojením z nabíjecí stanice.




**Obrázek 42 Průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem, akumulátorem a topným tělesem - leden, na nabíjecí stanici 7:00-16:59**

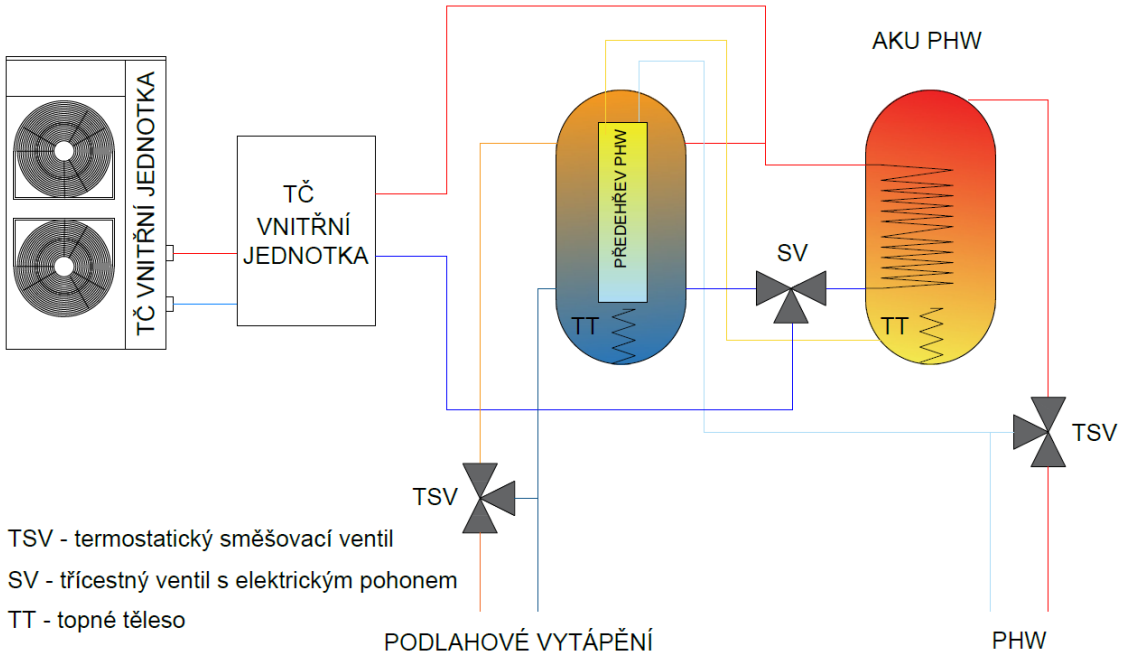
V letním období (obrázek 43) vznikají větší přebytky energie z FVE. Tyto přebytky jsou akumulovány nejdříve do akumulátoru připojeného ke střídači, a poté, co akumulátor dosáhne maximální kapacity, se energie akumuluje do elektromobilu. Akumulátor střídače také dodává energii přes den a pokrývá večerní spotřebu. Elektromobil není nabit z přebytků energie do maximální kapacity a opět se dobíjí před odpojením z nabíjecí stanice ze sítě. V tomto případě se přebytečná energie naakumulovala do akumulátoru střídače i do akumulátoru vozidla a nebylo potřeba uložit energii do vody ohřátě topným tělesem.




**Obrázek 43 Průběhy výkonů solárního systému s elektromobilem, akumulátorem a topným tělesem - červenec, na nabíjecí stanici 7:00-16:59**

## 6.5 Návrh uložení přebytku do podlahového vytápění

Další možností, jak uložit energii, je využití podlahového vytápění. Objekt, pro který je fotovoltaický systém navržen, bude disponovat podlahovým vytápěním a tepelným čerpadlem vzduch/voda. Tepelné čerpadlo ohřívá vodu, která je uložena v akumulačních nádržích a ohřátou vodou se poté vytápí objekt pomocí podlahového vytápění. Množství vody tekoucí do podlahového vytápění je regulováno pomocí ventilu s elektrickým pohonem. Kromě vytápění lze tepelným čerpadlem místnosti i ochlazovat. Trubkami podlahového vytápění proudí studená voda, která absorbuje teplo z místností a odvádí ho ven.




**Obrázek 44 Schéma otopné soustavy**

Pro integraci podlahového vytápění do řídícího systému budovy je vhodné osadit místnosti objektu termostaty, které podporují standart KNX. Pomocí termostatů systém monitoruje teplotu v místnostech objektu a na základě požadovaných a aktuálních teplot je schopen regulovat vytápění nebo chlazení. Díky tomu je systém schopen vytopit nebo ochladit budovu z přebytečné energie. PLC vyhodnocuje spínání elektrických pohonů podlahového topení. Pomocí řízeného otvírání motorických ventilů lze zvýšit nebo snížit teplotu v místnostech nad nebo pod požadovanou teplotu cca o 2 °C (dle nastaveného parametru) a tím také omezit chod tepelného čerpadla během noci.

## 6.6 Návrh kompletního řešení

Navržený systém pro zvolený objekt obsahuje všechny typy akumulací, které jsou zmíněny v předešlých kapitolách. Pro řízení systému je navrženo PLC od společnosti WAGO. Jedná se o procesorový modul PFC100; 2× Ethernet, RS-232/-485. PLC disponuje rychlým procesorem Cortex A8 a velkou datovou pamětí. Pro konektivitu je možné zvolit operační systém Linux nebo e!COCKPIT. V aplikaci e!COCKPIT lze programovat úkoly řízení systému nebo konfigurovat hardware. Ochrana PLC je zajištěna šifrováním a firewallem. Vybavení PLC je implementováno do kompaktního řešení a lze ho instalovat do rozvaděče. PLC je napájeno zdrojem 24 V DC. [22]

**Obrázek 45 PLC WAGO PFC100; 2× Ethernet, RS-232/-485 [22]**

K navrženému střídači GoodWe GW8K-ET je připojen SmartMeter firmy GoodWe, který měří přetoky do sítě. Pokud vznikají přetoky do sítě, střídač reguluje nabíjení a akumuluje přebytečnou energii do akumulátoru BYD Premium HVM 13.8.

Při stavu, kdy je kapacita akumulátoru nabita do maximální kapacity a stále je vyráběna přebytečná energie z FVE, PLC reguluje napájení dalších akumulačních prvků. Jedním z nich je akumulátor elektromobilu, pokud je vozidlo připojeno k nabíjecí stanici. Pro navržené řešení je zvolen již zmíněný wallbox Schneider EVB1A22P4ERI.

**Obrázek 46 Wallbox Schneider EVB1A22P4ERI [23]**

Na výstupu objektu jsou připojeny tři MTP pro každou fázi, které měří přetoky do sítě. MTP připojené k PLC jsou použity z důvodu rychlosti přenosu dat. Další komponentou systému jsou SSR relé Carlo Galvazzi, které regulují výkon pro ohřev akumulačních nádrží pro PHW a topení. Pro regulaci podlahového vytápění jsou navrženy motorické ventily SVB 230 – 230 V AC. Ventily jsou spínány pomocí relé 24 V DC Finder. Hodnoty teplot pro regulaci podlahového vytápění zajišťují KNX termostaty Schneider Electric Push-button 2-gang plus with room temperature control unit. KNX je

napájeno zdrojem Power supply, Schneider Electric Spacelogic KNX, REG-K/640 mA. Dalším prvkem KNX je aktor Schneider Electric SpaceLogic KNX Switch/Blind Master pro možné řízení zásuvek. Pro KNX je zvolen interface Schneider Electric SpaceLogic KNX IP Interface DIN Rail.

### 6.6.1 Projektová dokumentace

V příloze diplomové práce je uvedena kompletní projektová dokumentace pro navržené řešení. Dokumentace obsahuje technickou zprávu, výkresovou část a přehled komponent.

# 7 Zhodnocení navrženého řešení

Pro zadaný objekt, jsem vytvořil návrh fotovoltaické elektrárny s řídícím systémem budovy. Návrh jsem vytvořil v programu PV*SOL a AutoCad. Na základě výsledků simulací je navržena FVE ze solárních panelů, které mají vhodný sklon, orientaci a instalovaný výkon. Vybral jsem třífázový asymetrický střídač, který svými parametry vyhovuje spotřebě objektu a je vhodný pro připojení akumulátoru.

Dále jsem navrhnul řešení pro integraci FVE do řídícího systému budov pro maximální využití vyrobené elektrické energie. U každého z navržených řešení je uveden vliv jednotlivých parametrů ovlivňujících přetoky do sítě. Dále jsem navrhnul kompletní řešení pro všechna zařízení integrovaná do řídícího systému budovy.

Navržený řídící systém optimalizuje spotřebu pro co nejefektivnější využití vyrobené energie z FVE. Použití zvoleného akumulátoru snižuje přetoky do sítě na 21 % oproti 58 %, v případě, kdy není použito žádné akumulační zařízení. Další výhodou akumulátoru je možnost využití naakumulované energie při výpadku elektřiny pro částečné napájení spotřeby objektu. Uložení přebytečné energie do akumulátoru elektromobilu je velice závislé na době, kdy je elektromobil připojen na nabíjecí stanici. Proto je vhodné toto řešení implementovat na místech, kde se elektromobil nachází přes den například u rodinných domů, firem a podniků. Výhodou navrženého řešení je možnost nabíjení více způsoby, například z přebytků energie, co nejrychleji ze sítě nebo při konstantním výkonu jak ze sítě, tak z přebytečné energie. Řešení pro akumulaci energie do ohřevu vody má za výhodu řízeného způsobu ohřevu, kdy si uživatel ohřívá vodu na minimální teplotu pomocí tepelného čerpadla. Nad povolenou minimální teplotu je voda ohřívána z přebytků z FVE. Je tak zajištěn komfort uživatele a efektivní využití energie. Pro ohřev nebo ochlazení místností z přebytečné energie je navrženo řešení řízení podlahového vytápění. Řešení se skládá z KNX termostatů, díky nimž má systém aktuální informace o stavu teploty místností. Lze nastavit, aby systém místnosti ohříval nebo ochlazoval na teplotu nastavenou uživatelem.

Každé z navržených řešení snižuje přetoky do sítě. Při spojení všech řešení do řídícího systému budovy se vyrobená energie z FVE využije efektivněji, sníží se negativní vliv na DS, zmenší se spotřeba energie ze sítě a zvýší se komfort uživatele.

# 8 Závěr

Tématem předkládané diplomové práce je integrace FVE do řídícího systému budov. Toto téma spojuje oblasti energetiky, elektromobility a komunikačních technologií. Hlavním cílem diplomové práce je návrh fotovoltaické elektrárny a návrh možných řešení pro maximalizaci využití vyrobené energie z FVE. Pro dosažení tohoto cíle jsem se musel seznámit s oblastní fotovoltaických elektráren a systémů pro řízení budov. V teoretické části jsem se zaměřil na komponenty fotovoltaické elektrárny. Dále jsem popsal různé způsoby, jak uložit přebytečnou energii z FVE a jak tato řešení integrovat do řídícího systému budovy.

V praktické části jsem navrhnul fotovoltaickou elektrárnu pro konkrétní rodinný dům, který je právě ve fázi výstavby. Tento dům má poměrně vysokou spotřebu a bylo třeba zvolit vhodné komponenty a jejich použití, aby FVE efektivně vyráběla energii. Pro návrh FVE jsem se musel seznámit a porozumět programu PV*SOL, který umožňuje simulovat solární systémy. V tomto programu jsem vytvořit 3D model objektu a podle nasimulovaných hodnot zvolil výhodnou konfiguraci FVE.

Dále jsem se zaměřil na řešení, jak omezit přebytečnou energii vznikající z FVE a integrovat tato řešení do řídícího systému budovy. Navrhnul jsem řešení řídícího systému budovy pro způsoby využití přebytečné energie pomocí PLC WAGO a KNX. Navržené řešení efektivně využívá vyrobenou energii z FVE, snižuje vlivy na DS, zvyšuje úsporu energie a uživateli přináší více způsobů, jak ovládat jednotlivá zařízení podle jeho potřeb.

Pro navržený systém jsem vytvořil kompletní projektovou dokumentaci, kterou jsem zpracoval v programu AutoCAD a PV*SOL. Projektová dokumentace obsahuje technickou zprávu, výkresovou část a seznam komponent.

# Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. Fotovoltaické systémy: energetická příručka : pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-809-0628-151.

[2] Typy solárních panelů: co bychom o nich měli vědět? [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://www.elektrinazeslunce.cz/faq-typy-solarnich-panelu

[3] Different Types of Solar Panels: Which is the Best for You? [online]. In: [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://solarsena.com/different-types-of-solar-panels

[4] Solar Inverters: How do they work, their types and applications [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/productline/power-generation/solar-inverters-how-do-they-work-their-types-and-applications/articleshow/74669747.cms?from=mdr

[5] Monitoring systému [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: http://www.solarnistavebnice.cz/obsah.jsp?n=Monitoring-systemu&dyid=15

[6] Miloslava Tesařová, Studijní prezentace: Kvalita elektrické energie –připojovací podmínky zdrojů. Západočeská univerzita v Plzni Katedra elektroenergetiky.

[7] PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV - PŘÍLOHA 4: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY [online]. 2020 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf

[8] PROVOZNÍ INSTRUKCE [online]. 1. 1. 2018 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileotherexport/distribuce/distribucni_soustava/cezdistribuce_provozni-instrukce_0038r00_pozadavky-na-regulaci-vyroben.pdf

[9] Miroslav Tyrpekl. Návrh systému pro řízení akumulátorů (BMS). 2019. Diplomová práce.

[10] PV Forecast: Předpověď slunečního osvitu [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: http://wp2.pvforecast.cz/

[11] Základní popis funkce Wattouteru [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://solarcontrols.cz/cz/wattrouter_function.html

[12] GreenBono - Regulátor s plynulou regulací výkonu pro dokonalé využití přebytků fotovoltaické elektrárny [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: http://www.yorix.cz/cz/greenbono/greenbono.htm#pouziti

[13] Abdul RaufBhatti, ZainalSalam a Mohd Junaidi Bin AbdulAziz. Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review [online]. 2016 [cit. 2021-03-17]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115010618#!

[14] EV Charging Single Phase Inverter: World's First 2-in-1 EV Charger and Solar Inverter [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: https://www.solaredge.com/uk/products/ev-charger/#/

[15] Radomír Gálíček. "POWER-TO-GAS" TECHNOLOGIE PRO UKLÁDÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE. Bakalářská práce. VUT Brno.

[16] Jiří Vejvoda. Návrh inteligentního řízení budov. 2019. Diplomová práce. ZČU FEL.

[17] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2367-9

[18] Štepánka Blažková. Řízení pohybu robota UR3 pomocí protokolu Modbus. 2018. Diplomová práce. ZČU FAV.

[19] Datasheet HCM60X9 Mono 9BB 120 Cells Solar Panel 325W-345W. Dahsolar [online]. [cit. 2021-3-21]. Dostupné z: https://www.dahsolarpv.com/hcm60x9-mono-9bb-120-cells-solar-panel-325w-345w_p150.html

[20] NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM. Rodinné domy – zdroje energie [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/

[21] Datasheet ET Series Three Phase Hybrid Inverter (HV Battery). GoodWe [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.goodwe.com/Public/Uploads/productsen/pdf/GW_ET_Datasheet-EN.pdf¨

[21] Datasheet BATTERY-BOX PREMIUM HVS / HVM. Memondo [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.memodo.cz/media/pdf/2e/35/1b/byd_premium_datasheet_hvm_b1dc6304a18626b3d4f57d4029071e77.pdf

[22] Procesorový modul PFC100; 2× Ethernet, RS-232/-485. Wago [online]. [cit. 2021-5-22]. Dostupné z: https://www.wago.com/cz/procesorov%C3%BD-modul/procesorov%C3%BD-modul-pfc100/p/750-8102

[23] Nabíjecí stanice Smart Wallbox se zásuvkou T2S – 7,4/22kW-domovní zás. TE – RFID. Schneider Electric [online]. [cit. 2021-5-22]. Dostupné z: https://www.se.com/cz/cs/product/EVB1A22P4ERI/nab%C3%ADjec%C3%AD-stanice-smart-wallbox-se-z%C3%A1suvkou-t2s-%E2%80%93-7%2C4-22kw-domovn%C3%AD-z%C3%A1s.-te-%E2%80%93-rfid/

# Přílohy

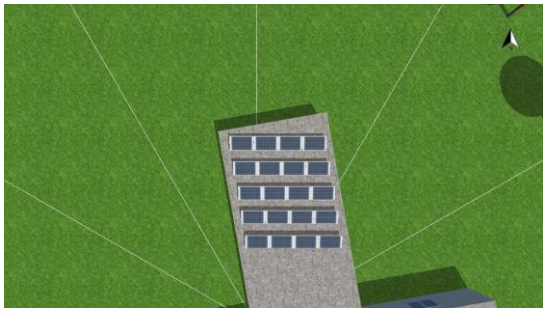
## Příloha 1 Projektová dokumentace

# PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

# FVE 6,6 kWp (s akumulací)

Projektová data

| | |
|---|---|
| Typ objektu | Rodinný dům |
| Zpracoval | Bc. Tomáš Tomek |
| Poloha | Západočeský kraj |



## Projekt sestává z :

E.1 Technická zpráva

## Výkresová část:

E.2 Přehledové schéma zapojení AC

E.3 Přehledové schéma zapojení DC

E.4 Zapojení solárních panelů

E.5 Zapojení rozvaděč 1. část

E.6 Zapojení rozvaděč 2. část

E.7 Zapojení rozvaděč 3. část

E.8 Zapojení karta č. 1 – Rozhraní KNX/EIB/TP1 – 753-646

E.9 Zapojení karta č. 2 – Měření třífázového výkonu – 750-493/000-001

E.10 Zapojení karta č. 3 – Analogové vstupy – 750-451

E.11 Zapojení karta č. 4 – Digitální výstupy – 750-150

## Příloha:

Seznam komponent

# E.1 Technická zpráva

## Obsah


1. Podklady pro vypracování PD
2. Základní údaje
3. Technická data
4. Údaje o technologické části


## 1. Podklady pro vypracování PD

- Připojovací podmínky distributora pro výrobny
- Pravidla provozování distribuční soustavy
- Půdorys objektu

## 2. Základní údaje

Rozvodná soustava NN:

Vnitřní rozvody: TN-S, 3+N+PE, stř. 50Hz, 400/230V
IT, DC – solární panely

## 3. Technická data

| | |
|---|---|
| Instalovaný výkon panelů | 6600 Wp |
| Název panelu | DAH Solar HCM60X9 |
| Výkon panelu | 330 Wp |
| Umístění | Konstrukce na rovné střeše |
| Název střídače | GoodWe GW8K-ET |
| Akumulátor | BYD Premium HVM 13.8 |
| Využitelná kapacita | 11 kWh |

## 4. Údaje o technologické části

Obecně:

Na střechu novostavby v Západočeském kraji bude instalován solární fotovoltaický systém o výkonu 6,6 kWp v kombinaci s akumulátorovým úložištěm o kapacitě 11 kWh. Dalšími prvky akumulace budou ohřev vody odporovým tělesem, akumulace energie do akumulátoru elektromobilu a podlahové vytápění.

Fotovoltaické panely:

Pro elektrárnu jsou použity fotovoltaické panely DAH Solar HCM60X9 330 Wp v počtu 20 ks.

Fotovoltaické panely tvoří dvě samostatné sekce (stringy) po 10 panelech zapojených na vstup střídače.

Střídač:
Fotovoltaické panely budou připojeny ke střídači GoodWe GW8K-ET, který bude umístěn v technické místnosti objektu. Při výpadku proudu přechází střídač automaticky do režimu ostrovního provozu. Vývod střídače síť bude jištěn jističem 3P/16/B v rozvaděči objektu. Vývod střídače back-up bude jištěn jističem 3P/16/B a proudovým chráničem FI 25. Pro světelný okruh bude použit samostatný proudový chránič. Ke střídači bude připojeno akumulátorové úložiště BYD Premium HVM 13.8 o využitelné kapacitě 11 kWh.

Měření přebytků výkonu z FVE:
Systém bude obsahovat regulaci přebytků, která umožní efektivní nakládaní s vyrobenou energií. V rozvaděči objektu budou umístěny MTP připojené ke střídači přes převodník GoodWe Smart Meter. Systém bude dále obsahovat MTP pro připojení k PLC k regulaci spínaní spotřebičů pro využití přebytečné energie

Chování výrobny v síti:

Výrobna je vybavena funkcemi Q(U), P(U), a P(f) dle přílohy 4 Pravidel provozování distribuční soustavy.

| **Řízení jalového výkonu Q(U)** | **Přizpůsobení činného výkonu P(U)** |
|---|---|
| X1- 0,94 | U1/Un- 109% |
| X2- 0,97 | U2/Un- 110% |
| X3- 1,05 | U3/Un- 111% |
| X4- 1,08 | čas. konstanta 5 s |
| čas. konstanta 5 s | |

**Snížení činného výkonu při nadfrekvenci P(f)**
Pokud se automaticky neodpojí, při 50 Hz snižovat okamžitý činný výkon gradientem 40% na Hz při 50,2 Hz < fs < 51,5 Hz
V rozsahu 47,5 Hz < fs < 50,2 Hz žádné omezení
Při fs<= 47,5 Hz a fs ≥ 51,5 Hz odpojení od sítě

Ovládání přijímačem HDO:

Elektrárna bude osazena regulací umožňující dálkové odpojení výrobny. HDO bude dálkově blokovat výrobnu FVE (0 % a 100 % jmenovitého výkonu).

Ostrovní provoz:

Mikrozdroj je schopen ostrovního provozu. Při výpadku proudu přechází střídač automaticky do režimu ostrovního provozu.

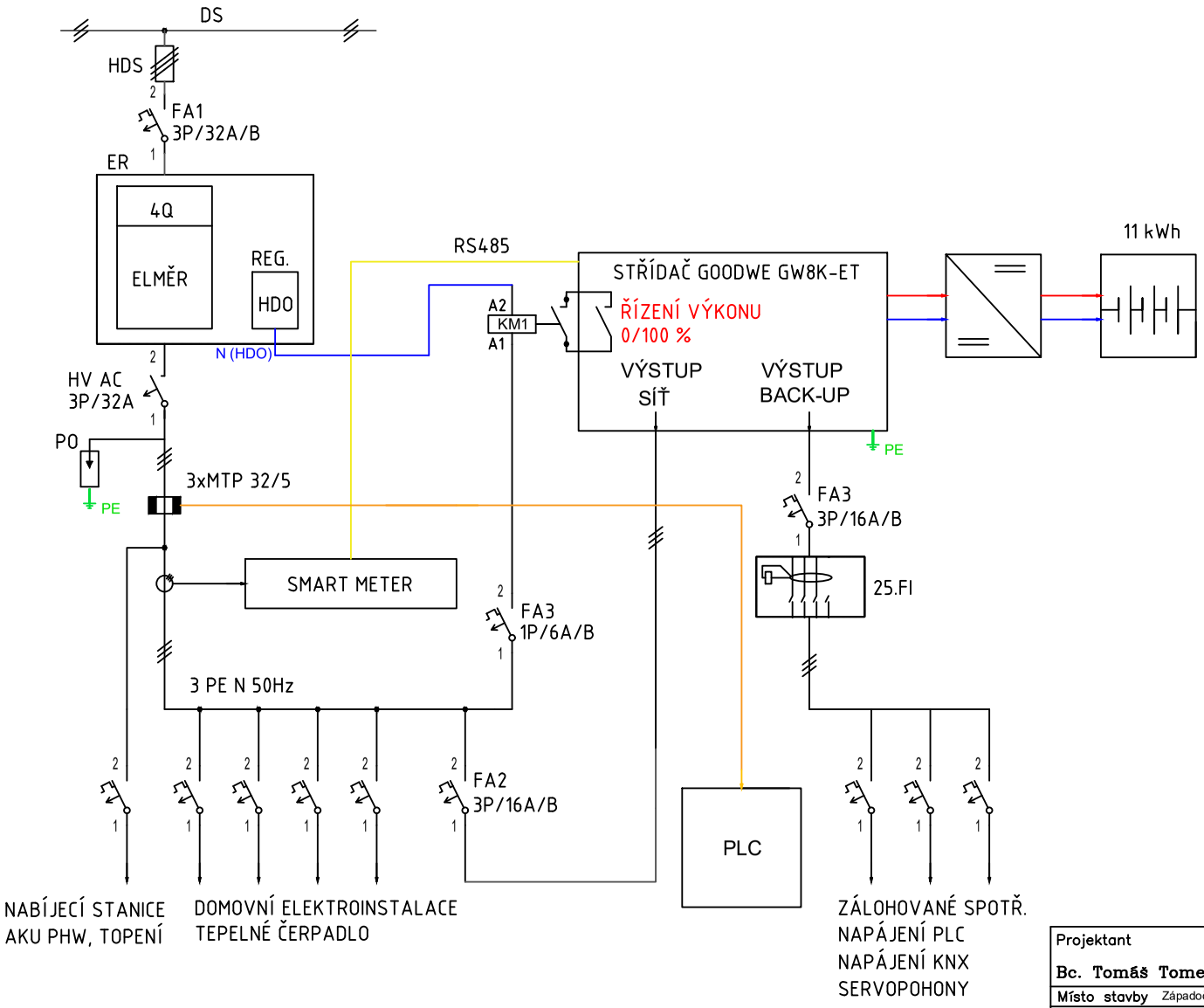
Ochrany bezpečného odpojení:
Výrobna je dle vyjádření ČEZ vybavena ochranami zabezpečující bezpečné odpojení zdroje od distribuční soustavy v případě výpadku DS dle PPDS příloha 4

Nastavení ochran střídače

| Parametr | Požadavek na vypnutí | Vypínací čas nastavený výrobcem střídače |
|---|---|---|
| nadpětí 1. stupeň | 230 V + 10 % (3 s) | 0,4 s |
| nadpětí 2. stupeň | 230 V + 15 % (1 s) | 0,2 s |
| nadpětí 3. stupeň | 230 V + 20 % (0,1 s) | 0,1 s |
| podpětí | 230 V - 15 % (1,5 s) | 0,2 s |
| nadfrekvence | 52 Hz (0,5 s) | 0,2 s |
| podfrekvence | 47,5 Hz (0,5 s) | 0,2 s |
| frekvence | >50,2 Hz | snižování výkonu gradient 40% |
| Připojení výrobny po chybovém napěťovém stavu | | po 20 minutách |

Ochrana před úderem blesku

Nosná konstrukce fotovoltaických panelů bude propojena s hliníkovou konstrukcí, která se vodivě spojí se stávající hromosvodovou soustavou. Na AC straně bude rozvaděč vybaven svodičem přepětí. Na DC straně budou svodiče přepětí pro každý string.




LEGENDA

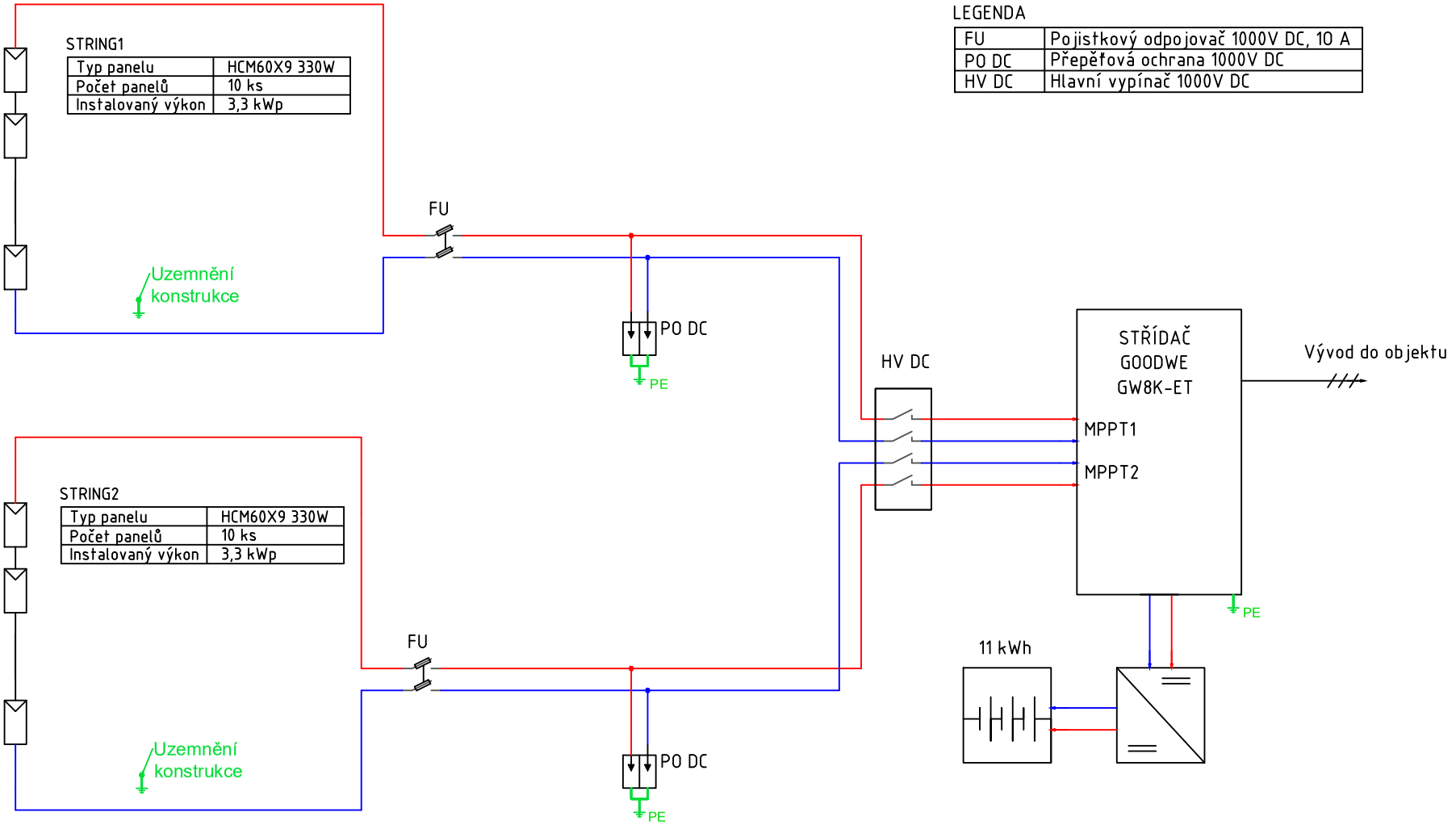
| | |
|---|---|
| HDS | Pojistková skříň |
| ER | Elektroměrový rozvaděč |
| PO | Přepěťová ochrana |
| KM1 | Řízení výkonu HDO |
| FA1 | Hlavní jistič |
| FA2 | Jistič vývod střídače síť |
| FA3 | Jistič řízení výkonu HDO |
| FA4 | Jistič vývodu střiače back-up |
| HV AC | Hlavní vypínač AC |

Projektant
Bc. Tomáš Tomek
Místo stavby Západočeský kraj

# NÁVRH ELEKTROINSTALACE

E.2

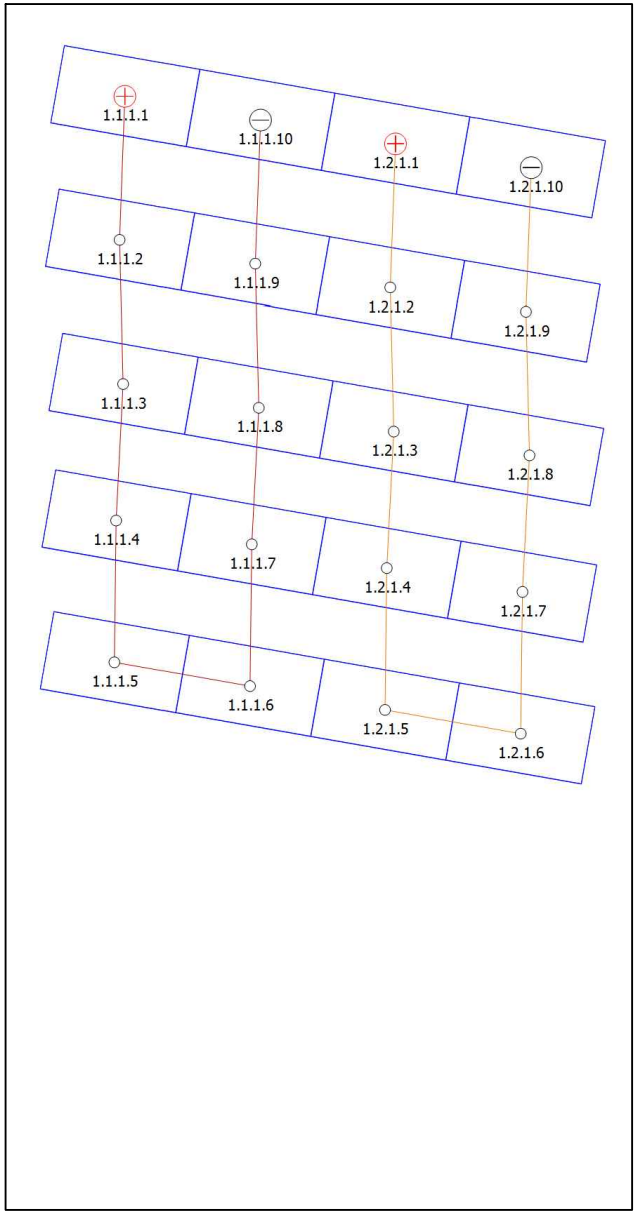
| | |
|---|---|
| Formát | A4 |
| Datum | 24.5.2021 |
| Stupeň | realizace |



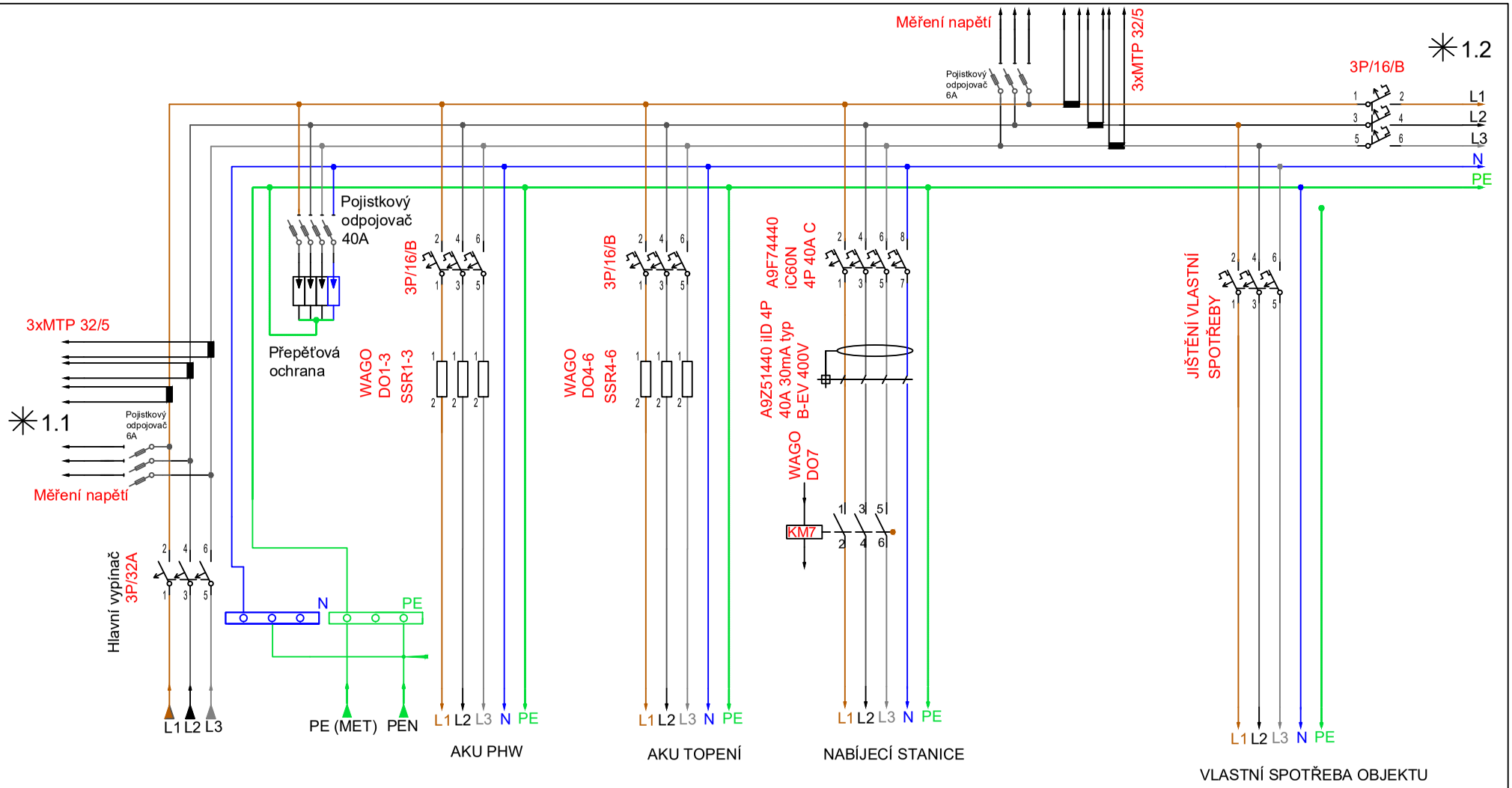

LEGENDA

| | |
|---|---|
| FU | Pojistkový odpojovač 1000V DC, 10 A |
| PO DC | Přepěťová ochrana 1000V DC |
| HV DC | Hlavní vypínač 1000V DC |

| | |
|---|---|
| Projektant | Bc. Tomáš Tomek |
| Místo stavby | Západočeský kraj |
| NÁVRH ELEKTROINSTALACE | |
| E.3 | |
| Formát | A4 |
| Datum | 24.5.2021 |
| Stupeň | realizace |



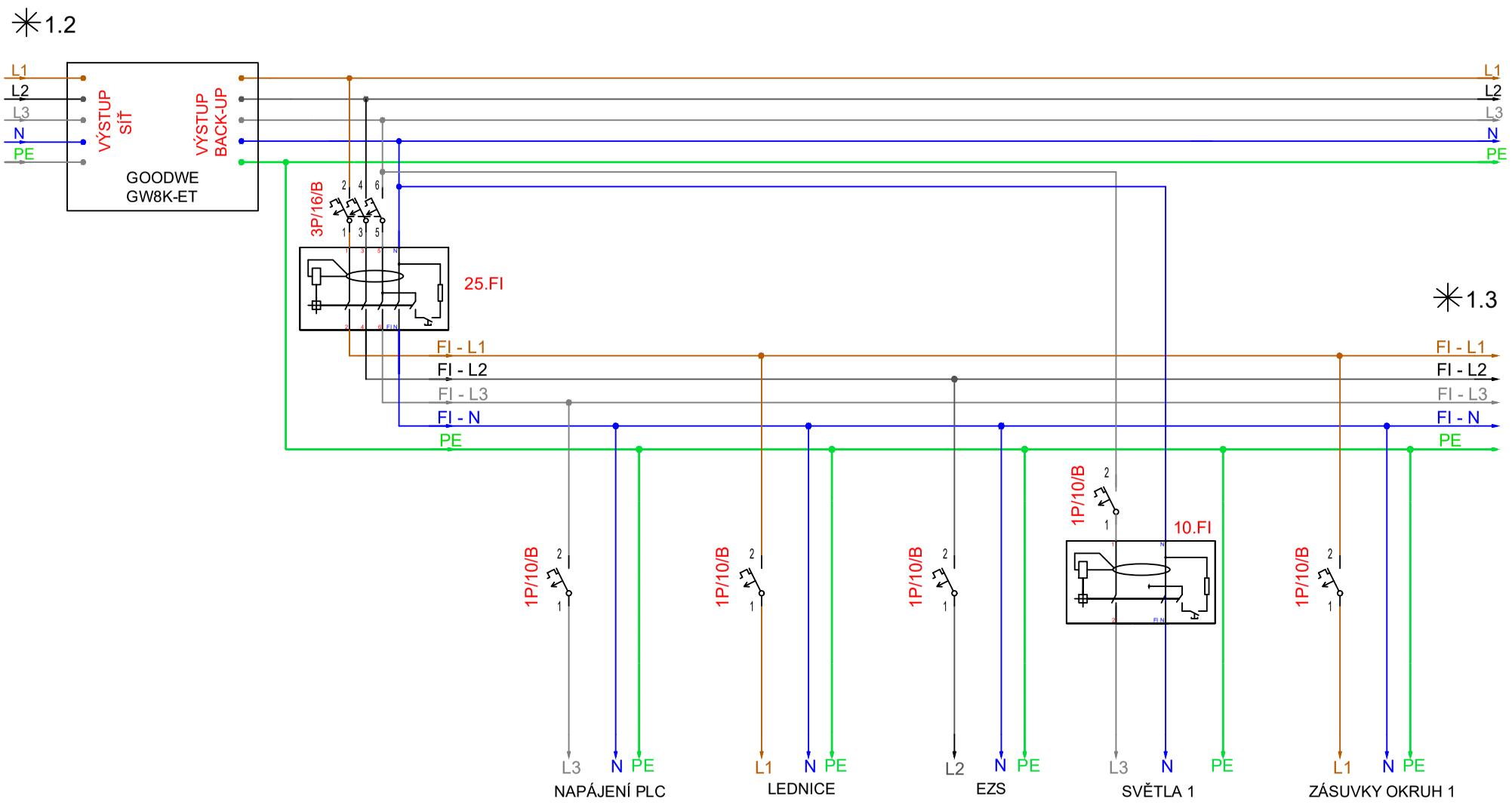

| | |
|---|---|
| Projektant | |
| **Bc. Tomáš Tomek** | |
| Místo stavby Západočeský kraj | |
| NÁVRH ELEKTROINSTALACE | E.4 |
| | Formát A4 |
| | Datum 24.5.2021 |
| | Stupeň realizace |




| | |
|---|---|
| Projektant | Bc. Tomáš Tomek |
| Místo stavby | Západočeský kraj |
| | NÁVRH ELEKTROINSTALACE |

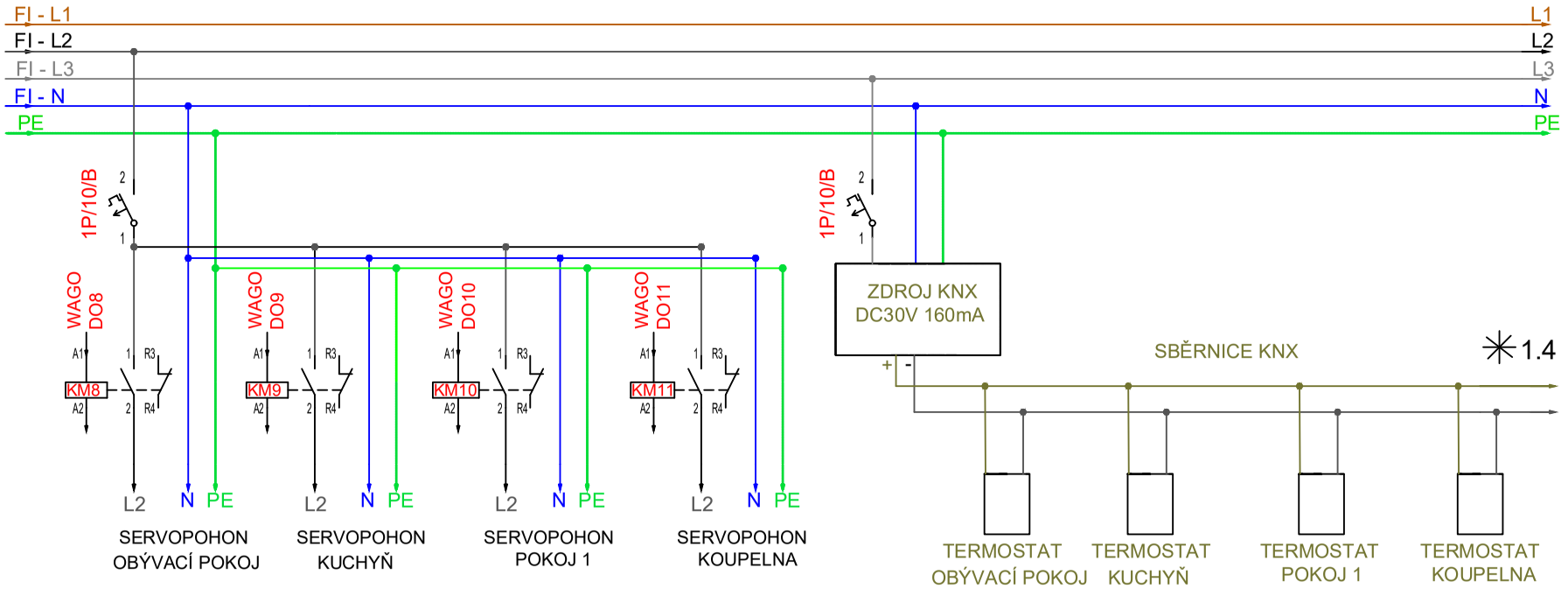
E.5

| | |
|---|---|
| Formát | A4 |
| Datum | 24.5.2021 |
| Stupeň | realizace |



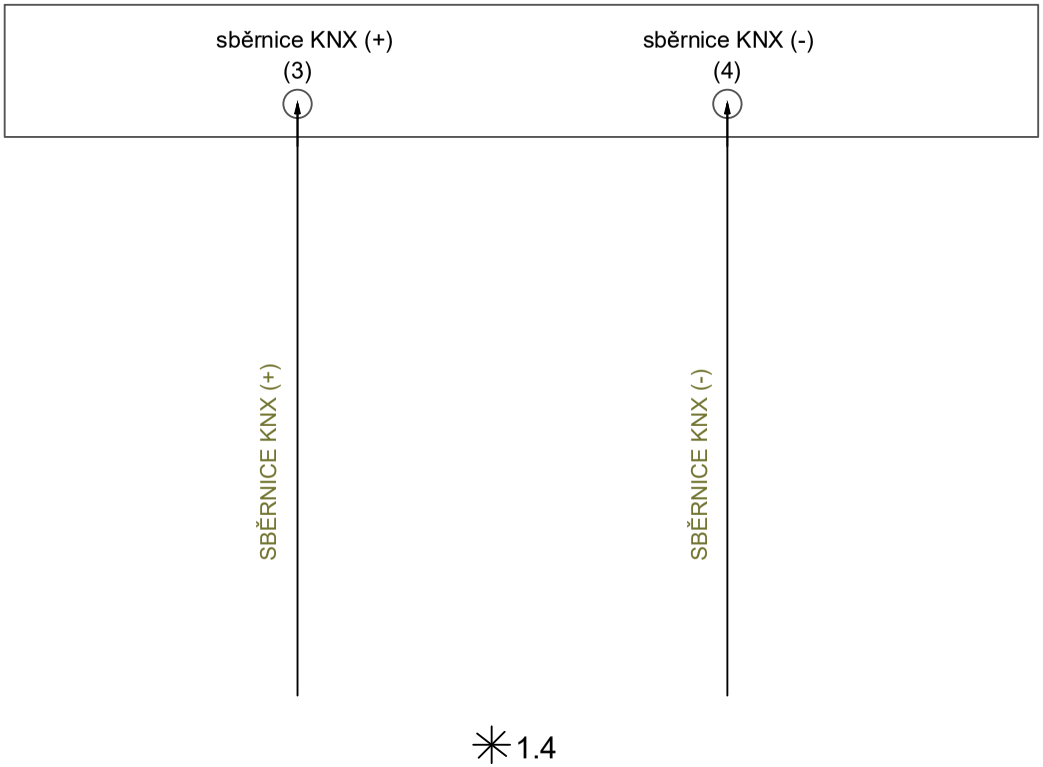

| | |
|---|---|
| Projektant | Bc. Tomáš Tomek |
| Místo stavby | Západočeský kraj |
| NÁVRH ELEKTROINSTALACE | |
| E.6 | |
| Formát | A4 |
| Datum | 24.5.2021 |
| Stupeň | realizace |

✳1.3



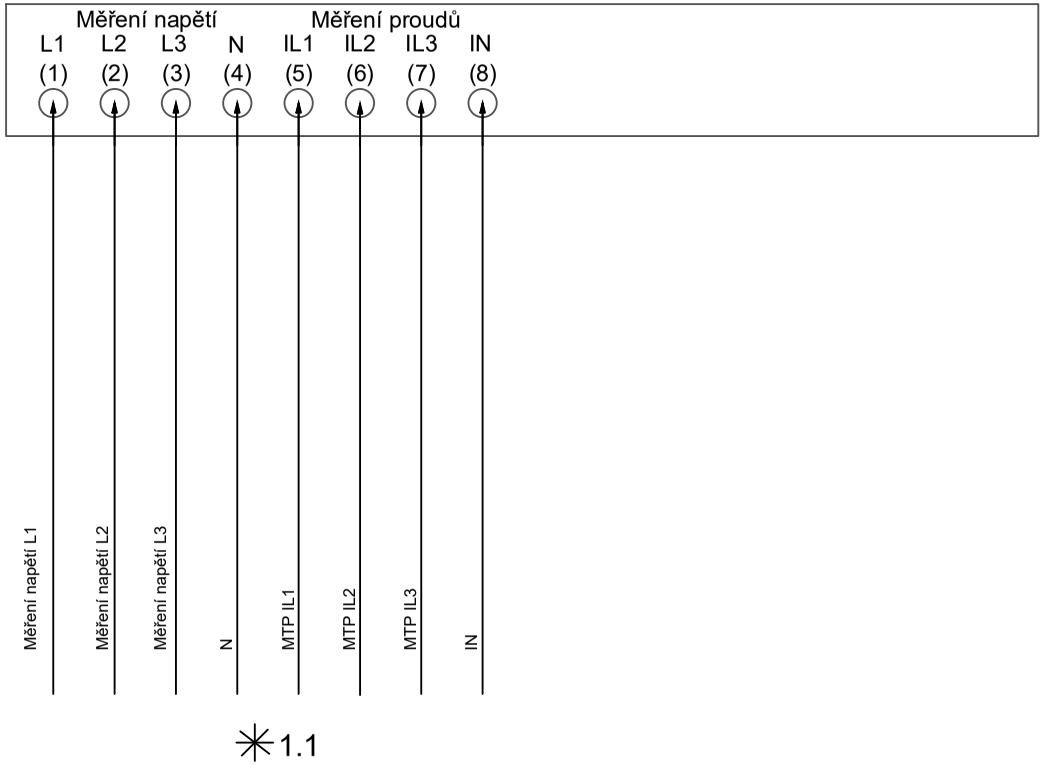

| | |
|---|---|
| Projektant | |
| Bc. Tomáš Tomek | |
| Místo stavby Západočeský kraj | |
| NÁVRH ELEKTROINSTALACE | E.7 |
| Formát | A4 |
| Datum | 24.5.2021 |
| Stupeň | realizace |

KARTA ČÍSLO 1; Rozhraní KNX/EIB/TP1 - 753-646



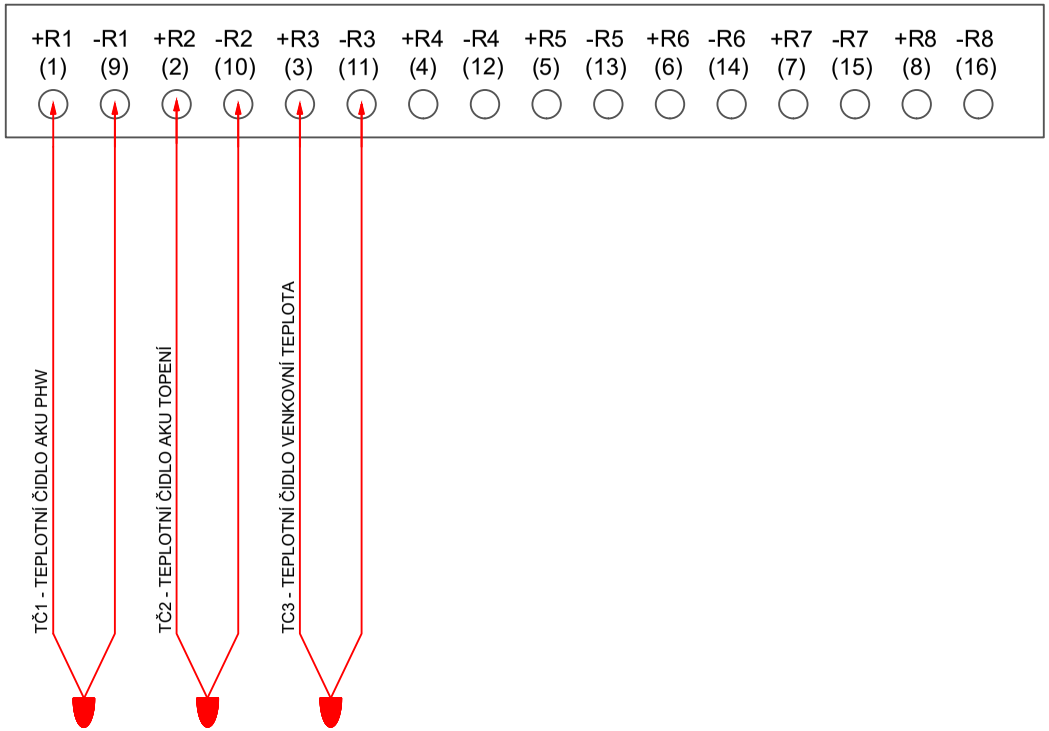

| | |
|---|---|
| Projektant | |
| Bc. Tomáš Tomek | |
| Místo stavby Západočeský kraj | |
| NÁVRH ELEKTROINSTALACE | E.8 |
| Formát | A4 |
| Datum | 24.5.2021 |
| Stupeň | realizace |

KARTA ČÍSLO 2; Měření třífázového výkonu; AC 480 V 5 A - 750-493/000-001



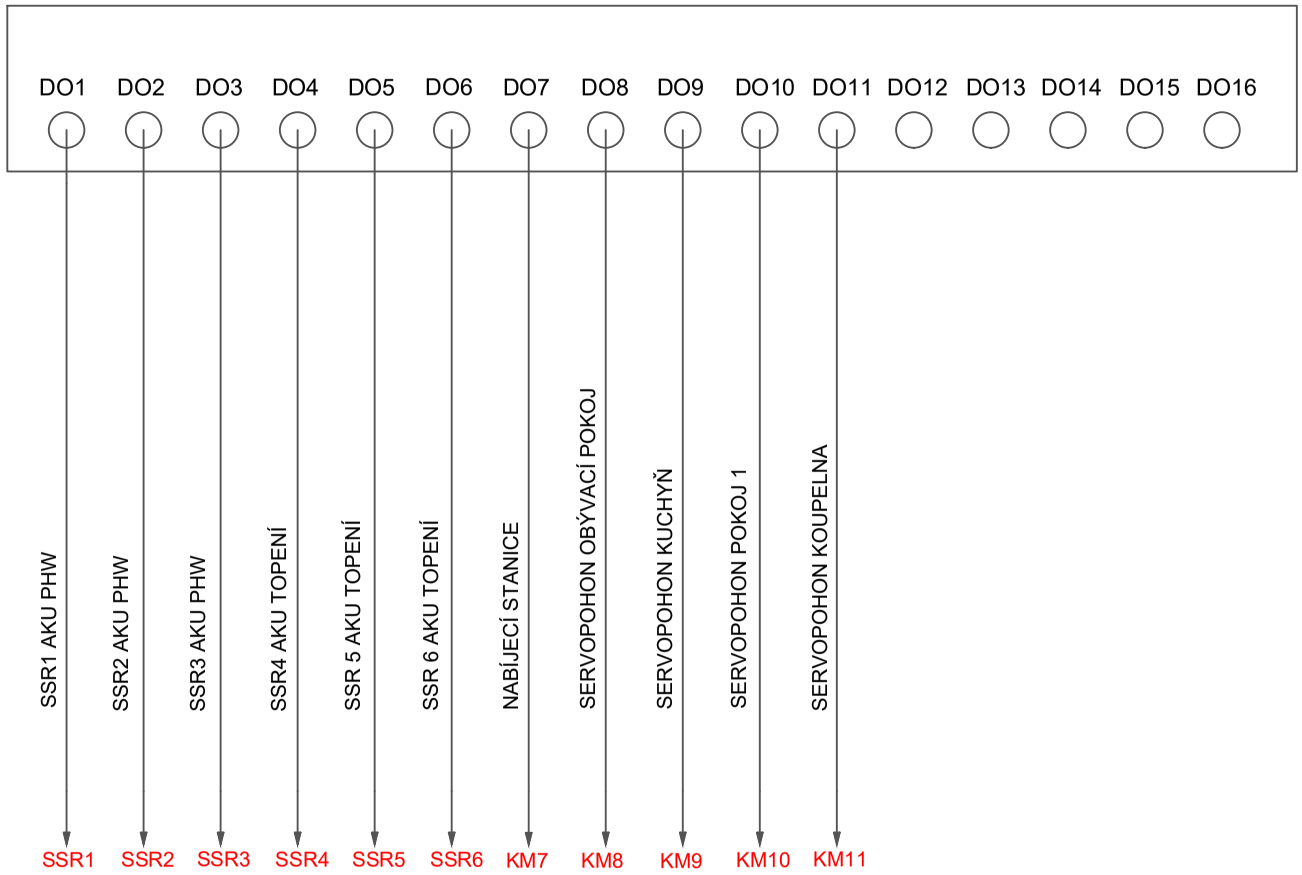

| | |
|---|---|
| Projektant | E.9 |
| Bc. Tomáš Tomek | |
| Místo stavby Západočeský kraj | |
| NÁVRH ELEKTROINSTALACE | Formát A4 |
| | Datum 24.5.2021 |
| | Stupeň realizace |

KARTA ČÍSLO 3; Analogové vstupy - 750-451




| | |
|---|---|
| Projektant | |
| Bc. Tomáš Tomek | |
| Místo stavby Západočeský kraj | |
| NÁVRH ELEKTROINSTALACE | E.10 |
| Formát | A4 |
| Datum | 24.5.2021 |
| Stupeň | realizace |

KARTA ČÍSLO 4; Digitální výstupy - 750-1504




| | |
|---|---|
| Projektant | |
| Bc. Tomáš Tomek | |
| Místo stavby Západočeský kraj | |
| NÁVRH ELEKTROINSTALACE | E.11 |
| Formát | A4 |
| Datum | 24.5.2021 |
| Stupeň | realizace |

# Příloha: Seznam komponent

| Název | počet kusů |
|---|---|
| FV panel 330W DAH solar HCM60X9 | 20 |
| Solární měnič GoodWe GW8K-ET | 1 |
| Konstrukce pro FV panely (sklon 45°) | 1 |
| Solární kabel, 6mm, 40m | 1 |
| Pojistkový odpojovač Schneider Electric - 10x38 1P 1000V DC | 4 |
| Pojistka OEZ 10A, 1000VDC 10x38mm | 4 |
| Přepěťová ochrana Schneider Electric – 2P/1000V/ DC | 2 |
| Hlavní vypínač Schneider Electric - 4P/1000V/DC | 1 |
| Baterie BYD B-Box Premium HVM 13.8 | 1 |
| GoodWe Smart Meter | 1 |
| Měř. transf. proudu Schneider Electric METSECT5MA020 | 6 |
| Hlavní vypínač Schneider Electric - 3P/32A/AC | 1 |
| Jistič Schneider Electric - 3P/16A/B | 4 |
| Jistič Schneider Electric  - 4P/40A/C | 1 |
| Jistič Schneider Electric - 1P/10A/B | 7 |
| Jistič Schneider Electric - 1P/6A/B | 1 |
| Proudový chránič Schneider Electric - 4P/40A /30mA /B EV | 1 |
| Proudový chránič Schneider Electric - 4P /25A/300mA /A | 1 |
| Proudový chránič Schneider Electric - 2P /10A/10mA /A | 1 |
| Pojistkový odpojovač Schneider Electric - 3P 10x38mm | 2 |
| Pojistkový odpojovač Schneider Electric 3P - 14x51mm | 1 |
| Pojistka 10x38mm gG 6A/500V | 6 |
| Pojistka keram 14x51 40A/500V | 3 |
| Stykač Schneider Electric LC1DT40BD TeSys 4P/AC/1 440V 40 A cívka 24 V DC | 1 |
| Stykač Schneider Electric 16A 2Z - cívka 220-240V 50Hz | 1 |
| Procesorový modul PFC100; 2× Ethernet, RS-232/-485 | 1 |
| Napájecí zdroj PLC 24 V DC | 1 |
| 8 analogových vstupů, 750-451 | 1 |
| Rozhraní KNX/EIB/TP1 753-646 | 1 |
| Měření třífázového výkonu; AC 480 V 5 A – 750-493/000-001 | 1 |
| 16 binárních výstupů 24V DC 0,5A 750-1504 | 1 |
| Teplotní čidlo Pt1000, 5m | 3 |
| Napájecí zdroj KNX Spacelogic KNX, REG-K/640 Ma | 1 |
| Nabíjecí stanice Smart Wallbox se zásuvkou T2S – 7,4/22kW | 1 |
| SSR Carlo Galvazzi 230 V AC/24 V DC | 6 |
| Motorický ventil SVB 230 - 230V AC | 4 |
| Relé 24 V DC Finder | 4 |
| KNX termostat Push-button 2-gang plus with room temperature control unit | 4 |
| Aktor spínání zásuvek SpaceLogic KNX Switch/Blind Master 8ch 10AX/16AC1 | 1 |
| Interface Schneider Electric SpaceLogic KNX IP Interface DIN Rail. | 1 |