

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra měření



Diplomová práce

Fotovoltaický systém jako lokální zdroj elektrické energie pro residenční bydlení

AUTOR

Bc. Vít Štampera

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. Petr Wolf, Ph.D.

PRAHA 2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student:	Bc. Vít Štambera
Studijní program:	Inteligentní budovy
Název tématu česky:	Fotovoltaický systém jako lokální zdroj elektrické energie pro residenční bydlení
Název tématu anglicky:	Photovoltaic System Used as Local Energy Source for Residential Living

Pokyny pro vypracování:

Popište základní komponenty a současný stav fotovoltaických instalací v České republice a ve světě, uveďte možnosti využití tohoto zdroje jako doplňkového lokálního energetického zdroje pro residenční bydlení.

Definujte typický časový profil spotřeby elektrické energie v domácnosti a popište uvažované spotřebiče (můžete použít jako vstupní data vlastní měření nebo data získaná z jiných zdrojů).

V prostředí Matlab vytvořte vhodný nástroj pro provedení celoroční simulace provozu fotovoltaického systému zohledňujícího výrobu energie a spotřebu domácnosti. Uvažujte řízené i neřízené spotřebiče, jako řízené spotřebiče použijte ohřev vody pomocí topné spirály a tepelného čerpadla. Vytvořte pro tento simulační nástroj grafické uživatelské rozhraní, popište jeho možnosti v porovnání s jinými komerčními produkty.

Navrhněte vhodné provedení fotovoltaického systému (výkon, sklon, azimut, technologie...) s ohledem na maximální roční lokální využití vyrobené energie. Zhodnoťte též ekonomickou stránku navrženého systému.

Na základě simulace ukažte, jak se projeví na lokálním využití energie fotovoltaického systému tzv. agregace odběrných míst (případ, kdy bude fotovoltaický systém připojen do více domácností současně).

Seznam odborné literatury:

- [1] Staněk, K.: Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada, 2012.
- [2] Homer Energy Modeling Software. National renewable Energy Laboratory. Training guide
- [3] Silvestre, S., Castaner, L.: Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice. Wiley, 2002.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Wolf, Ph.D. (UCEEB ČVUT)

Datum zadání diplomové práce: 1. února 2017

Platnost zadání do¹: 30. září 2018

Prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Řípka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 2. 2017

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Petru Wolfovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při vypracovávání a konzultacích mé diplomové práce. Poděkovat bych chtěl také panu Josefovi Mádlovi ze společnosti ČEZ za poskytnutí dat elektrické spotřeby a panu Ing. Bořivoji Šourkovi, Ph.D. za konzultaci týkající se ohřevu a spotřeby teplé vody. Mé díky patří také Bc. Zbyňku Bambuškovvi za rady využití při tvorbě simulace v prostředí MATLAB.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu během studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na možnosti využití lokálních fotovoltaických zdrojů pro residenční bydlení v České republice. Úvodem jsou probrány hlavní komponenty fotovoltaických instalací a aktuální stav tohoto odvětví v České republice a ve světě. Práce se dále zabývá odběrovými profily elektrické energie a související problematikou akumulace přebytků energie, konkrétně využitím přebytků pro ohřev vody. Na základě rozboru problematiky je vytvořen simulační nástroj fotovoltaického systému v prostředí MATLAB. Pomocí vytvořeného nástroje je následně proveden návrh fotovoltaického systému s důrazem na maximální využití vyrobené energie. Navržený systém je podroben ekonomickému zhodnocení, abychom zjistili, zdali je systém realizovatelný.

Klíčová slova

Fotovoltaický systém, Akumulace, Residenční bydlení, Ohřev vody, MATLAB, Simulace

Abstract

The diploma thesis focuses on the possibilities of using local photovoltaic sources for residential housing in the Czech Republic. The main components of photovoltaic installations and the current state of the branch in the Czech Republic and the world are discussed. The thesis also deals with the load profiles of electricity usage and related problematics of accumulation of energy surpluses, specifically by use of surpluses for water heating. On the basis of the problem analysis a simulation tool of photovoltaic system is created in MATLAB environment. The created tool is used to design a photovoltaic system with an emphasis on the maximum utilization of the produced energy. The proposed system is undergoing economic evaluation to determine whether the system is feasible.

Key words

Photovoltaic system, Accumulation, Residential housing, Water heating, MATLAB, Simulation

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	1
ÚVOD.....	3
1 ÚVOD DO FOTOVOLTAICKÝCH INSTALACÍ.....	4
1.1 Základní komponenty fotovoltaických instalací	4
1.1.1 Fotovoltaické (FV) články a panely	4
1.1.2 Střídač.....	5
1.1.3 Komponenty elektroinstalace fotovoltaického systému (FVS).....	6
1.1.4 Akumulační prvky.....	7
1.2 Současný stav fotovoltaiky v České republice a ve světě	7
1.2.1 Související legislativa v ČR	9
1.3 Možnosti lokálního využití energetického potenciálu.....	10
2 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	13
2.1 Definice elektrospotřebičů a spotřeby elektrické energie	13
2.2 Možnosti zjištění profilu spotřeby elektrické energie	14
2.3 Definice profilu spotřeby elektrické energie	15
2.4 Možnosti odběru elektrické energie z DS	19
3 TVORBA SIMULACE FVS V PROSTŘEDÍ MATLAB	21
3.1 MATLAB	21
3.2 Uvažované řízené spotřebiče.....	21
3.2.1 Elektrické topné těleso	21
3.2.2 Tepelné čerpadlo	21
3.3 Popis simulace.....	22
3.3.1 Grafické rozhraní simulace a jeho parametry/výsledky	23
3.3.2 Výpočet vyrobené elektrické energie FV zdroje	27
3.3.3 Výkon a spotřeba ohřívačů (řízených spotřebičů).....	28
3.3.4 Spotřeba teplé vody (TV).....	29
3.3.5 Spotřeba elektrické energie	31
3.3.6 Popis řízení simulace, vývojové diagramy.....	31
3.3.7 Srovnání s komerčními produkty	34
4 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	38
4.1 Výchozí parametry návrhu	38
4.1.1 Výkon FV zdroje.....	42

4.2	Optimalizace výchozího návrhu FV zdroje s využitím akumulačních prvků	45
4.2.1	Určení výkonu a výběr technologií	45
4.2.2	Výsledky simulace FVS s akumulační nádrží a el. topnými tělesy (Varianta 1)	47
4.2.3	Výsledky simulace FVS s akumulační nádrží a tepelným čerpadlem (Varianta 2).....	49
4.3	Ekonomické zhodnocení navržených systémů	52
4.3.1	Investiční náklady	53
4.3.2	Výpočet ekonomických ukazatelů.....	54
5	AGREGACE ODBĚRNÝCH MÍST.....	57
5.1	Předpoklady pro realizaci.....	57
5.2	Připojení FVS do více domácností.....	57
6	ZÁVĚR.....	60
	LITERATURA	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK.....	65
	SEZNAM GRAFŮ	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

Seznam symbolů a zkratek

a-Si	Amorfní křemík
CdTe	Kadmium telurid
CIGS	Kadmium Indium Galium Selen
COP	Coefficient of Performance – výkonový koeficient tepelného čerpadla
ČR	Česká republika
c	Měrná tepelná kapacita
CF	Cashflow – peněžní tok
c-Si	Krystalický křemík
DCF	Diskontovaný Cashflow
DS	Distribuční síť
EE	Elektrická energie
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
EVA	Ethylen vinyl acetát
f_e	Index exportu
f_s	Index soběstačnosti
f_u	Index využitelnosti
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
<i>FVE</i>	Fotovoltaika – výpočetní software
FVS	Fotovoltaický systém
G	Normalizovaná intenzita záření
Gh	Skutečná intenzita záření
G _{STC}	Intenzita záření za Standardních testovacích podmínek
GUI	Graphical user interface – grafické rozhraní
GUIDE	Graphical user interface development environment – grafické vývojové prostředí
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HOMER	Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources – FV program
IN	Investiční náklady
kT	Oteplovací konstanta panelu
LiFePO ₄	Lithium železo fosfát
LiIon	Lithium iont
LiPF ₆	Lithium hexafloro fosfát
m	Objemový průtok
MPP	Maximum power point – bod maximální výkonu
NPV	Net present value – čistá současná hodnota

NT	Nízký tarif
NZÚ	Nová zelená úsporám
P	Výkon fotovoltaického systému
P_{inst}	Instalovaný výkon fotovoltaického zdroje
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PVGIS	Photovoltaic geographical information system
Q_1	Teplo přijaté
Q_2	Teplo odevzdané
Q_z	Tepelná ztráty
r	Diskont
RD	Rodinný dům
STC	Standard test condition – Standardní testovací podmínky
t	Teplota vody
T	Normalizovaná teplota
T_m	Normalizovaná teplota modulu
T_{ok}	Teplota venkovního vzduchu (okolí)
TCO	Transparentní vodivý oxid
TČ	Tepelné čerpadlo
TDD	Typový diagram dodávky
T_s	Doba návratnosti
TV	Teplá voda
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
USA	United States of America – Spojené státy americké
V	Objem
VT	Vysoký tarif
η_{rel}	Relativní účinnost FV panelu
4Q	Čtyřkvadrantový elektroměr

Úvod

Dnešní doba je z energetického pohledu spojena především se vzrůstajícími požadavky na spotřebu elektrické energie. Značná část velkých energetických zdrojů je závislá na fosilních palivech, o kterých víme, že se jejich zásoba neustále zmenšuje. Rostoucí požadavky na spotřebu elektřiny tento trend ještě urychlují. Výstavba podobných zdrojů tedy nemá z dlouhodobého hlediska příliš velký smysl. Z tohoto důvodu dochází v posledních letech ke zvyšujícímu se zájmu o obnovitelné zdroje energie. V této souvislosti jsou do odvětví obnovitelných zdrojů investovány stále větší finanční prostředky a zavádí se různé podpůrné programy pro lepší začlenění do stávajících distribučních sítí. Největšího potenciálu z globálního hlediska momentálně dosahuje výroba elektřiny využívající slunečního záření, fotovoltaika. Nevýhodou fotovoltaických instalací je potřeba velké plochy pro zajištění dostatečného instalovaného výkonu umožňujícího náhradu současných zdrojů. Dalším problémem je větší míra akumulace vyrobené energie v případě jejího nevyužití a závislost na denním slunečním záření. Proto fotovoltaika aktuálně nachází uplatnění spíše jako doplňkový zdroj energie. S výhodou se však dá využít jako lokální zdroj instalovaný na vybrané budově, kde bude přímo docházet k využití vyrobené elektrické energie. Podle odhadů, jen v Evropě v případě osazení většiny budov ve městech fotovoltaickými panely, je možné dosáhnout až 40 % snížení odběru elektřiny z velkých zdrojů elektrické energie. Mezi tyto budovy patří též residenční objekty, tedy rodinné domy a jiné obytné budovy.

Právě aplikací fotovoltaického zdroje na residenční budovy se budeme zabývat v předkládané diplomové práci. Budou probrány jeho možnosti jakožto lokálního zdroje elektrické energie se zaměřením na co největší využití vlastní vyrobené energie v objektu. V souvislosti s tím si ukážeme možnosti akumulace přebytečné energie, která je především v residenčních oblastech důležitým tématem, protože vede ke značnému zefektivnění využití vlastní vyrobené energie. Zaměříme se zejména na akumulaci přebytků energie do teplé vody. Součástí práce je také konkrétní návrh fotovoltaického systému právě s akumulací přebytků tzv. do vody k jehož návrhu využijeme vlastní simulační nástroj vytvořený v prostředí MATLAB. Celý návrh bude uzpůsoben aktuálně platnému dotačnímu programu Nová zelená úsporám, s nímž máme možnost získat finanční dotaci podporující vybrané obnovitelné zdroje energie. Obsahem návrhu bude také porovnání konvenčního elektrického ohřevu vody a ohřevu s využitím tepelného čerpadla. Porovnání celého fotovoltaického systému s akumulací provedeme jak z energetického, tak z ekonomického hlediska, čímž si ukážeme možné výhody lokálního zdroje elektrické energie.

1 ÚVOD DO FOTOVOLTAICKÝCH INSTALACÍ

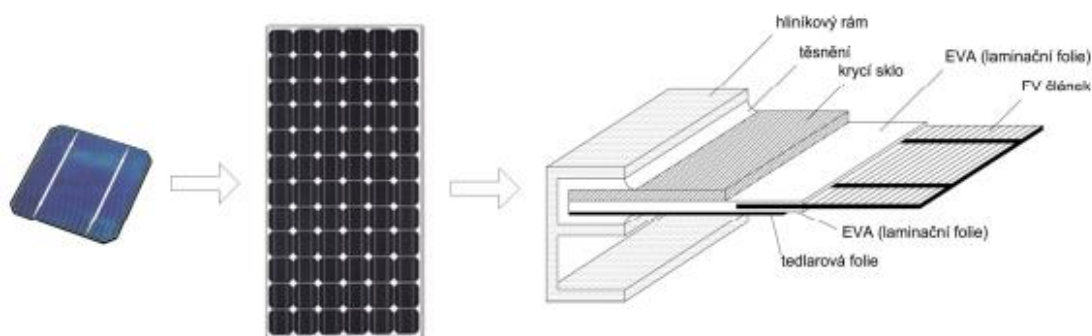
1.1 Základní komponenty fotovoltaických instalací

1.1.1 Fotovoltaické (FV) články a panely

Základním prvkem fotovoltaického systému je fotovoltaický článek. Samotný fotovoltaický článek nedosahuje příliš vysokých výkonů, a proto se články dále sériově a paralelně propojují, tak aby bylo dosaženo požadovaných parametrů výstupního napětí a proudu. Články jsou velice křehké a pro zajištění lepší manipulace, zvýšení odolnosti a usnadnění zapojení jsou již při výrobě montovány do FV panelů (modulů). FV panel může mít rozměr až 2 m². Výsledný FV generátor je tvořen sériově-paralelním elektrickým propojením FV panelů určitého výkonu.

Nejrozšířenějším typem FV článků jsou články z krystalického křemíku. U křemíkových článků je možno dosáhnout vysoké účinnosti generace volných nosičů dopadajícím slunečním zářením. Další značnou výhodou křemíkových článků a především křemíku, jsou velice dobře zvládnuté technologické procesy výroby, které vedly ke značnému snížení výrobních nákladů. V praxi jsou využívány dva typy krystalického křemíku, monokrystalický a multikrystalický (polykrystalický) křemík. Monokrystalické články dosahují o něco málo větší účinnosti, zhruba 16 – 25 %, kdežto multikrystalické články dosahují v praktických oblastech aplikace účinnosti zhruba 14 – 18 % [9]. Články z krystalického křemíku mají pracovní napětí okolo 0,5 – 0,6 V a proudovou hustotu několik desítek mA/cm². [2]

Z důvodu již zmíněné křehkosti jsou články/panely chráněny vysoce průhledným tvrzeným sklem, laminační folií EVA (ethylen-vinyl acetat) a Tedlarovou folií. Celý modul je opatřen hliníkovým rámem pro uchycení ke konstrukcím a na zadní straně je připravena svorkovnice s kabelovými vývody a ochrannými překlenovacími diodami (bypass diody). Konstrukci panelu můžeme vidět na následujícím obrázku. [2]

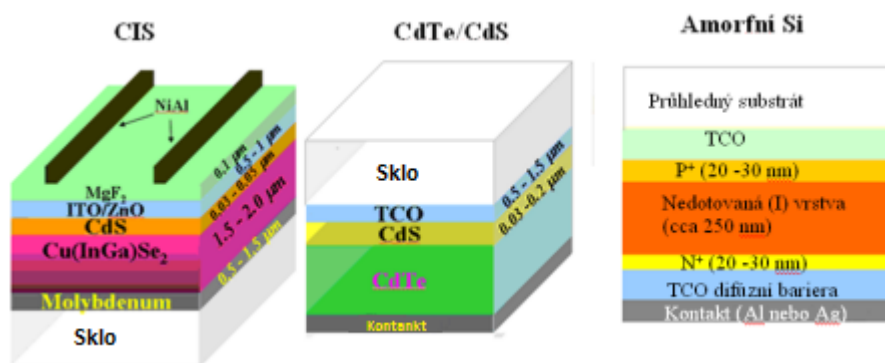


Obrázek 1-1 Konstrukce fotovoltaického panelu [3]

Další typ článků a modulů je založený na tenkovrstvé technologii. Tenkovrstvé články jsou nanášeny přímo na sklo nebo jinou podložku. Využívají se polovodičové materiály (nebo jejich kombinace) s vysokým absorpčním koeficientem, díky čemuž je možné dosáhnout výrazné úspory materiálu z důvodu malé tloušťky článků (několik μm). Mezi nejpoužívanější technologie patří články z amorfního křemíku, teluridu kadmia (CdTe) a sloučeniny Cu(In,Ga)S (Cu-In-Ga-Se₂). Značnou výhodou tenkovrstvých technologií oproti článkům z krystalického křemíku je možnost realizace na ohebných foliích, což usnadňuje instalaci např. na nerovných fasádách budov. Účinnost technologie se pohybuje mezi 7 % (a-Si) a 16,8 % (CdTe) [9]. Nižší účinnost některých technologií, vede ke

zvýšenému požadavku na celkovou osazenou plochu k dosažení stejného instalovaného výkonu jako u krystalického křemíku. [2]

Některé tenkovrstvé technologie (např. CdTe) jsou méně teplotně závislé než krystalické články a nedochází tak k výraznému poklesu účinnosti v období zvýšených venkovních teplot. Významnou součástí tenkovrstvých článků je transparentní vodivá vrstva oxidu zinečnatého (TCO). Složení těchto článků je na následujícím Obrázku 1-2.



Obrázek 1-2 Struktura tenkovrstvých článků [2]

1.1.2 Střídač

Střídač, někdy nazýván měnič nebo invertor, přeměňuje vyrobené stejnosměrné napětí fotovoltaického generátoru na střídavé napětí využívané v objektu nebo rozvodné síti. Střídač může zastávat mimo jiné i monitorovací a ochranné funkce. Některé systémy pracují stále se stejnosměrným napětím a střídač nevyžadují, ale tyto systémy nebudou v práci uvažovány.

V závislosti na instalovaném výkonu fotovoltaického systému se využívají 3 druhy zapojení střídačů. Modulové střídače jsou využívány výhradně u malých systémů a příliš se s nimi nesetkáváme. Každý modul má vlastní střídač. Dalším druhem je řetězcový střídač, který je připojen k několika modulům spojených do série (někdy paralelně). Posledním druhem je centrální střídač používaný pro vysoký počet modulů. V případě velkého fotovoltaického pole se využívá výkonných centrálních střídačů nebo větší množství řetězcových střídačů. Některé střídače jsou vybaveny transformátorem, který zajišťuje galvanické oddělení (oddělení stejnosměrné a střídavé strany). Pro systémy s tenkovrstvými panely je galvanické oddělení nutností. Bez galvanického oddělení dochází ke korozi vrstvy TCO tenkovrstvých modulů vlivem parazitních proudů a tím se značným způsobem snižuje celkový výkon. Nevýhodou střídače s transformátorem je o něco nižší výsledná účinnost střídače.

Mezi základní parametry střídačů patří jejich účinnost a sledování bodu maximálního výkonu. Účinnost udává, kolik energie se dostane ze stejnosměrného vstupu na střídavý výstup. Účinnost není konstantní a závisí na napětí a výkonu u vstupu střídače. Tyto parametry jsou ovlivněny klimatickými podmínkami místa provozu, proto se kromě maximální účinnosti udává také evropská účinnost, což je vážený průměr účinností v definovaných výkonových úrovních. Maximální účinnost se pohybuje mezi 90 – 98 %. Evropská účinnost je průměrem účinností při různých stupních zatížení střídače (měří se při 5, 10, 20, 30, 50, 100 % nominálního výkonu) a udává reálnější hodnoty vzhledem k provozním podmínkám střídače.

Rozsah sledování bodu maximálního výkonu udává rozsah napětí, ve kterém by měl střídač optimálně pracovat. V závislosti na klimatických podmínkách se napětí mění a je nutné, aby tyto změny střídač s dostatečnou přesností sledoval a nedocházelo k výkyvům napětí. Sledování bodu maximálního výkonu zajišťuje *MPP tracker*, který změnou vstupního odporu zajišťuje optimální chod střídače. U kvalitních střídačů hodnota účinnosti sledování MPP neklesá pod 99 %.

1.1.3 Komponenty elektroinstalace fotovoltaického systému (FVS)

Mezi elektroinstalační prvky patří především kabeláž, již zmíněný střídač (měnič pro stejnosměrné instalace) a ochranné jističe, svodiče a odpínače.

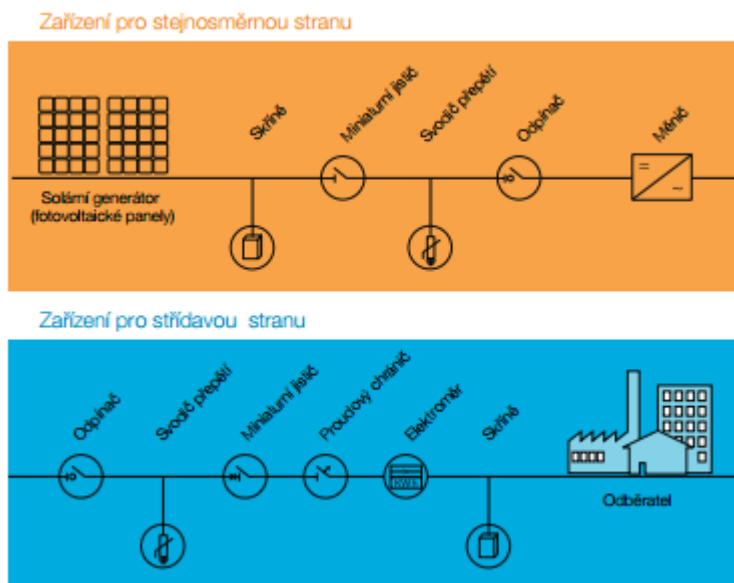
Základním požadavkem na kabeláž je odolnost vůči povětrnostním vlivům, UV záření a ozonu. Rozšířený teplotní rozsah od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ umožňuje provoz v extrémních klimatických podmínkách. U solárních kabelů se na izolaci žil i vnějšího pláště používají tzv. zesílené plasty (např. polyolefin), které zmíněným vlivům odolávají po celou dobu jejich předpokládané životnosti (cca. 25 let). Standardní průřez kabelů je 4mm^2 a více. S kabely úzce souvisí i propojovací koncovky, na které jsou kladeny, co se odolnosti týče, stejné požadavky.

Mezi ochranné prvky patří především napěťové svodiče, které slouží jako ochrana fotovoltaické elektrárny před přepětím (úder blesku). Dále to mohou být jističe, které zajišťují ochranu proti zkratu. U solárních elektráren se dále využívají speciální hromosvody. Co se týče ochranných prvků, pokud budeme do systému zařazovat přepětovou ochranu, nebo jistič, je samozřejmě nutné použít specializované přístroje určené pro solární systémy. Fotovoltaické panely mají na výstupu nízké stejnosměrné napětí a běžně používané jističe, nebo přepětové ochrany jsou určeny instalace v obvodech se střídavým napětím 230 V. Pro aplikaci ochranných prvků na stejnosměrnou a střídavou stranu je potřeba použít rozdílných zařízení (viz. Obrázek 1-3). [11]

U fotovoltaických instalací sloužících, primárně pro dodávku vyrobené elektrické energie do distribuční sítě, se instalují elektroměry měřící jak odběr, tak dodávku přímo mezi FV instalací a distribuční sítí. V případě instalace FV systému připojeného do objektu, kde probíhá spotřeba vyrobené elektrické energie je za FV instalován elektroměr měřící pouze výrobu a elektroměr měřící odběr a dodávku je v hlavní rozvodné skříni.

Neméně důležitou součástí je samotná nosná konstrukce. Provedení nosných konstrukcí se liší pro ploché/šikmé střechy případně pro instalaci na fasádě. Je potřeba zajistit vhodný sklon FV panelů, a především dostatečně pevné ukotvení.

Jako doplňkové zařízení může sloužit jednotka umožňující řízení zátěží dle aktuální energetické bilance. Řídicí jednotka (např. Wattrouter, GreenBono), je programovatelný regulátor vlastní spotřeby fotovoltaických elektráren. Po správné instalaci a nastavení regulátor optimalizuje využití přebytků vyrobených FVE. Měřící obvod měří v reálném čase proud ve všech fázích. Regulátor vyhodnocuje měřené proudy a je-li je zjištěna výroba FVE, spíná připojené spotřebiče dle priorit (např. ohřev teplé vody).



Obrázek 1-3 Schéma zapojení ochranných prvků [10]

1.1.4 Akumulační prvky

Mezi nejrozšířenější způsoby akumulace přebytečné elektrické energie vyrobené fotovoltaickou instalací patří ukládání do chemických akumulátorů a ukládání ve formě tepelné energie ohřevem vody v akumulacích nádržích.

Pro akumulaci elektrické energie z fotovoltaiky se nejčastěji používaly trakční chemické olověné akumulátory, dnes je již vytlačují Lithium-iontové (Li-Ion) a Lithium-železo-fosfátové (Li-Fe-PO₄) akumulátory. Olověné akumulátory mají oproti klasickým startovacím akumulátorům zesílené mřížky elektrod a nižší hustotu elektrolytu (1,24 g/cm³ trakční, 1,28 g/cm³ startovací), čímž se docílí vyšší odolnosti při opakovaném, tzv. cyklickém vybíjení. Elektrolytem je roztok kyseliny sírové. Životnost olověných akumulátorů se v závislosti na používání (cyklování nebo záložní systémy) pohybuje mezi 3 – 6 roky. Skutečná využitelná kapacita je asi 80 %, ale kvůli zachování delší životnosti se doporučuje akumulátor vybitý do 50 %. [12]

Lithiových baterií máme několik variant, ale v oblasti fotovoltaiky jsou nejpoužívanější právě 2 výše zmíněné typy. Na rozdíl od olověných akumulátorů jsou lithiové akumulátory s bezvodým elektrolytem, nejčastěji lithium hexafluorofosfátem (LiPF₆). Zásadním rozdílem oproti jiným typům akumulátorů je, že ionty lithia pouze interkalují do struktury záporné elektrody (interkalovat – vmístit se do mřížky materiálu bez chemické reakce se samotným materiálem). To znamená, že v podstatě neprobíhá chemická reakce a je tak dosaženo velmi dlouhé životnosti bez velkých změn ve výkonech akumulátoru. Dalším výrazným rozdílným znakem je větší jmenovité napětí článků. Pro Li-Ion jsou typické hodnoty 3,6 – 3,7 V a pro LiFePO₄ 3,8 V. Díky těmto parametrům dosahují lithiové akumulátory větší energetické hustoty. Nevýhodou je, že po prvním nabití akumulátor postupně v čase ztrácí kapacitu, i když není používán. Materiály uvnitř článku postupně samovolně degradují, což je nevratný proces. Výkony těchto akumulátorů také klesají se snižující se teplotou. [33]

Pro získání dostatečných akumulacích kapacit je zapotřebí větší množství akumulátorů, které se následně spojují do série, paralelně nebo sério-paralelně (platí i pro jednotlivé články). Sériovým zapojením získáme větší napětí, paralelním větší proud. Požadavek na větší množství akumulátorů pro zajištění dostatečné kapacity je ve FV systémech pro vlastní spotřebu v residenčních objektech značnou nevýhodou, a to především z důvodu vysokých investičních nákladů a delší doby návratnosti. Proto se akumulátory využívají především u administrativních a výrobních budov jako záložní zdroje elektrické energie. S neustále klesající cenou akumulátorů by však mělo začít docházet k hojnějšímu počtu aplikací v residenčních oblastech.

Akumulační nádrže teplé vody nacházejí v oblastech residenčních objektů většího uplatnění. Topné těleso nádrže lze s výhodou využít v kombinaci s řídicí jednotkou pro lokální využití přebytečné elektrické energie z FV jako řízenou zátěž a pomocí přebytků FV instalace ohřívat teplou vodu. Během dne si tak můžeme nahřát dostatek teplé vody do zásoby a nemusíme pro její ohřev odebírat elektrickou energii z distribuční sítě. Pro zajištění dostatečného akumulacího potenciálu je vhodné volit nádrže o větších objemech (několik stovek litrů), případně vodu v nádrži s využitím přebytků ohřívat na vyšší teplotu, než je požadovaná (např. 80 °C). Pro takové případy je však nutné mít nádrž s kvalitní tepelnou izolací k zajištění nízkých tepelných ztrát a na výstupu vody z nádrže umístit trojcestný směšovací ventil, aby nedošlo k překročení maximální výstupní teploty vody v odběrném místě.

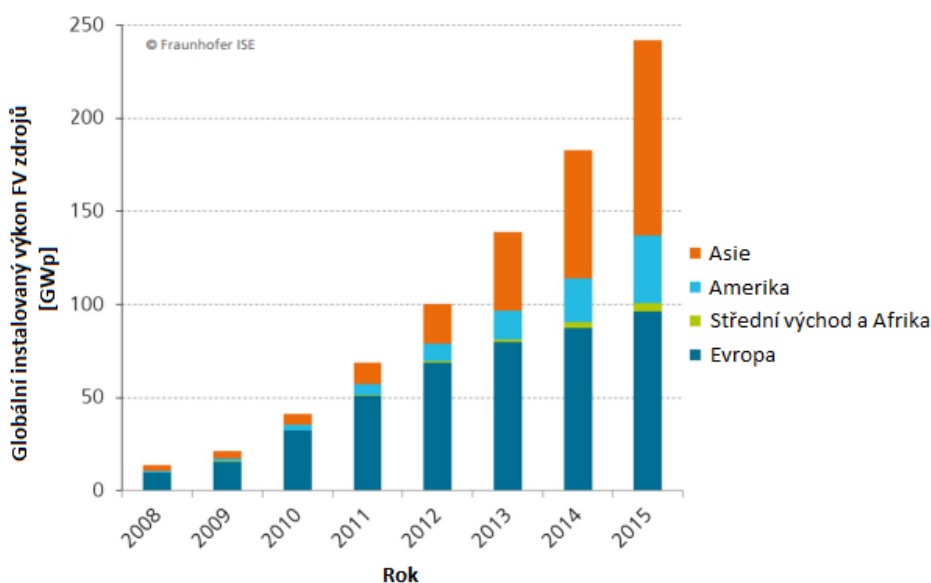
1.2 Současný stav fotovoltaiky v České republice a ve světě

Na začátek je třeba upozornit, že veškerá data týkající se celosvětových statistik jsou vztažena k roku 2015 a jsou obsahem studií zveřejněných v roce 2016. Novější studie nebyly v době psaní diplomové práce dostupné.

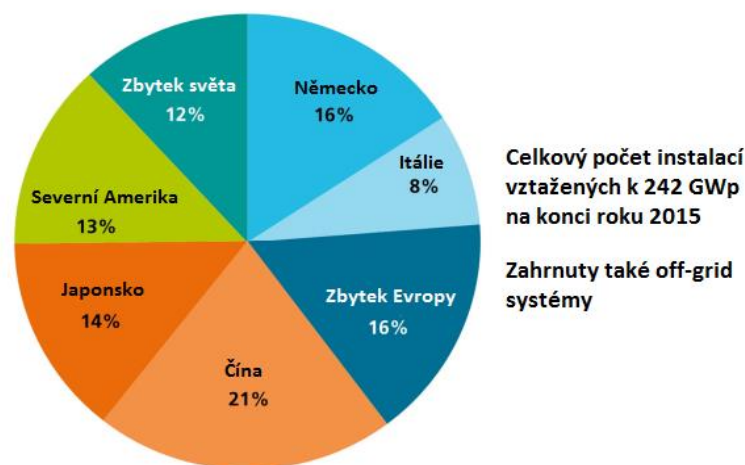
V posledních letech zažívá světová fotovoltaika značný růst instalovaného výkonu, kdy během čtyř let došlo téměř ke čtvrtinovému nárůstu výkonu oproti předešlému roku. Pravidelný ročníkový report, vydávaný sdružením REN21, které se zabývá celosvětovým vývojem obnovitelných zdrojů

energie uvádí, že v roce 2015 došlo k celosvětovému nárůstu instalovaného výkonu fotovoltaiky o 50 GW [5]. Institut Fraunhofer upozorňuje, že se hodnoty nárůstu celosvětového instalovaného výkonu liší podle různých analýz a pohybují se mezi 50 – 65 GW [13]. V dalších letech se předpokládá obdobný trend růstu. Značná část instalovaného výkonu (~75 %) se nachází na území Evropy a Asie (Obrázek 1-4 a 1-5). Zbývá čtvrtina instalovaného výkonu se nachází především v Americe. Největších ročních přírůstků zaznamenává Asie, v Evropě je růst velice pozvolný a např. v USA, kde je většina instalovaného výkonu v Severní Americe, se předpokládá oživení růstu z důvodu prodloužení podpory na výstavbu FVE. Ačkoliv zbylé části světa, co se týče instalovaného výkonu zaostávají, dochází k pozvolnému růstu a zvyšující se podpoře fotovoltaiky. Značný vliv na samotný růst má neustále klesající výrobní cena panelů, která se v roce 2015 dostala na hranici 0,5 USD/Watt (mono a multikrystalické technologie). V souvislosti s klesající cenou je většina instalací založena na tlustovrstvé technologii (Obrázek 1-6). [5]

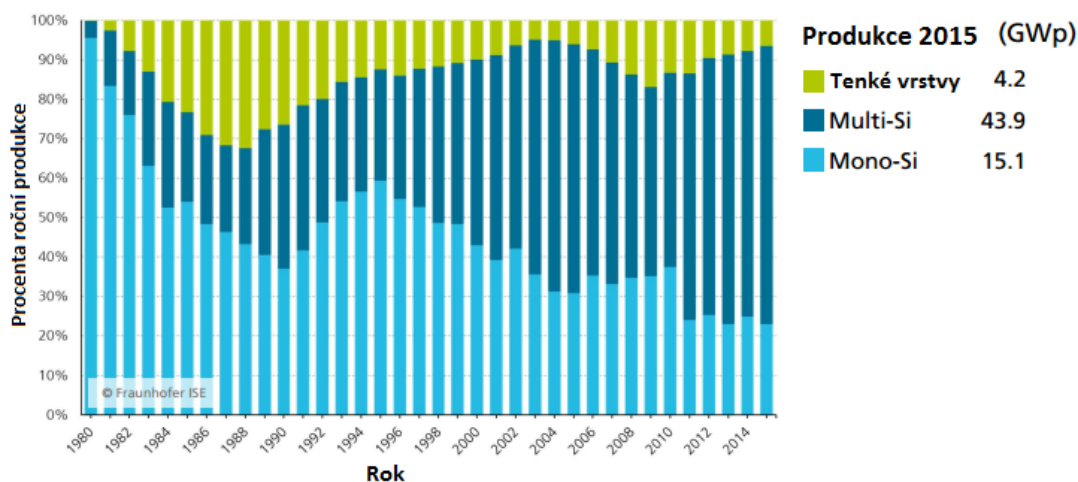
Největší solární elektrárna na světě se nachází v Číně na rozloze 27 km² a o instalovaném výkonu 850 MW.



Obrázek 1-4 Celosvětový růst instalovaného výkonu fotovoltaiky [13]



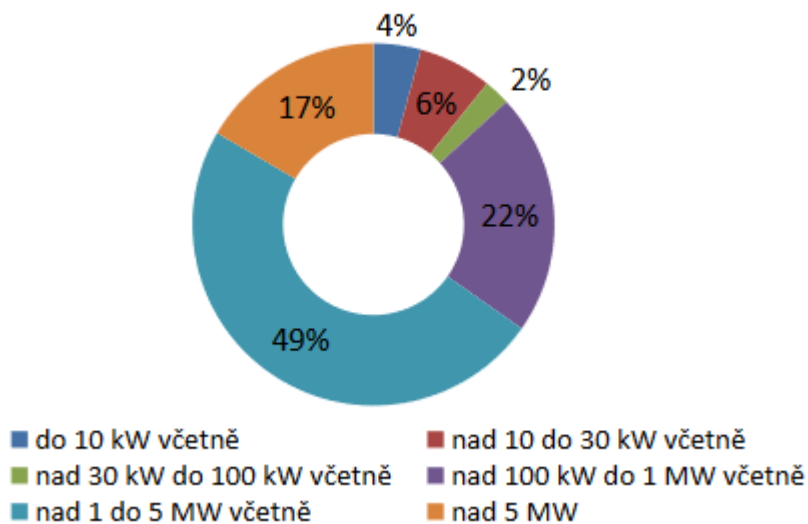
Obrázek 1-5 Rozložení instalovaného výkonu dle státu/regionu [13]



Obrázek 1-6 Celosvětová produkce článků/modulů podle technologie [13]

Instalovaný výkon fotovoltaiky v České republice je 2,07 GW, čímž se ČR v celosvětovém žebříčku řadí na 15. místo. V přepočtu výkonu na obyvatele je ČR třetí v EU. Z důvodu mizivé podpory fotovoltaiky došlo v letech 2014–2015 ke snížení počtu realizací nových projektů. V roce 2016 se růst fotovoltaiky výrazně zlepšil a jen společnost ČEZ připojila přes 400 nových FV instalací (z toho přes 170 s výkonem do 10 kW), což je čtyřnásobně více než v roce 2015 [6]. Celkem se v České republice za rok 2016 instalovalo téměř 1000 nových FV zdrojů. S největší pravděpodobností bude docházet k rozvoji fotovoltaiky především na střeších budov, tak jak je tomu i v jiných vyspělých státech s menším slunečním osvitem. Střešní instalace jsou určeny převážně k pokrytí nebo snížení vlastní spotřeby objektu a neslouží primárně k dodávce do DS.

Podíl kategorií FVE na výrobě elektřiny brutto



Obrázek 1-7 Podíl na výrobě elektřiny podle instalovaného výkonu [14]

1.2.1 Související legislativa v ČR

Základní pravidla, kterými se musejí řídit všichni provozovatelé a účastníci v rámci distribuční soustavy, jsou definována v Pravidlech provozování distribuční soustavy (PPDS). Jsou schvalovány Energetickým regulačním úřadem a navazují na Pravidla provozování přenosové soustavy.

Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS):

- stanovují minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k distribuční síti (DS)
- poskytují komplexní informace bez nutnosti pracovat s mnoha souvisejícími právními, technickými a dalšími podklady
- stanovují základní pravidla, zajišťující spolupráci a koordinaci mezi jednotlivými účastníky trhu s elektřinou

Pokud budeme chtít uvést do provozu FV systém fungující paralelně s DS, bude nás zajímat především příloha 4 PPDS, která stanovuje pravidla pro paralelní provoz se sítí provozovatele distribuční soustavy.

Následující legislativní postupy a podmínky podpory jsou zaměřeny především na fotovoltaické mikrozdroje na jejichž využití je diplomová práce zaměřena.

Novela energetického zákona č. 458/2000 Sb., provedená zákonem č. 131/2015 Sb., účinná od 1. 1. 2016, umožňuje provozovat za zákonem stanovených podmínek výrobu o instalovaném výkonu do 10 kW bez licence na výrobu elektřiny, pokud v odběrném místě není připojena jiná výrobná. Vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, umožňuje připojení mikrozdrojů k distribuční soustavě dvěma způsoby:

- **Standardní režim**, který umožňuje zpeněžit přetoky elektřiny do DS
- **Zjednodušený režim** pro připojování mikrozdrojů, který prodej přetoků neumožňuje

V případě připojení standardním režimem stačí v podstatě pouze žádost a následně uzavření smlouvy s provozovatelem DS. Může být vyžadováno vypracování studie připojitelnosti.

Pokud se zamýšlený provozovatel rozhodne pro připojení zjednodušeným způsobem musí splnit následující podmínky: [7]

- Výrobná je určena pro paralelní provoz s distribuční soustavou nízkého napětí
- Jmenovitý střídavý fázový proud nepřesahuje 16 A na fázi
- Celkový instalovaný výkon výrobní nepřesahuje 10 kW; celkovým instalovaným výkonem se v daném případě rozumí součet jmenovitých hodnot všech instalovaných panelů
- Zamezení přetoků elektřiny do sítě. Pokud bude k přetokům docházet, je provozovatel DS nucen naúčtovat provozovateli mikrozdroje pokutu

Na rozšířené možnosti podpory mikrozdrojů volně navazuje program „Nová zelená úsporám“, konkrétně oblast podpory C o efektivním využívání zdrojů energie. V rámci programu jsou poskytovány dotace na výměnu neekologického zdroje tepla, výměnu elektrického vytápění za systém s tepelným čerpadlem, instalaci solárních termických a fotovoltaických zdrojů a instalaci systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu. [8]

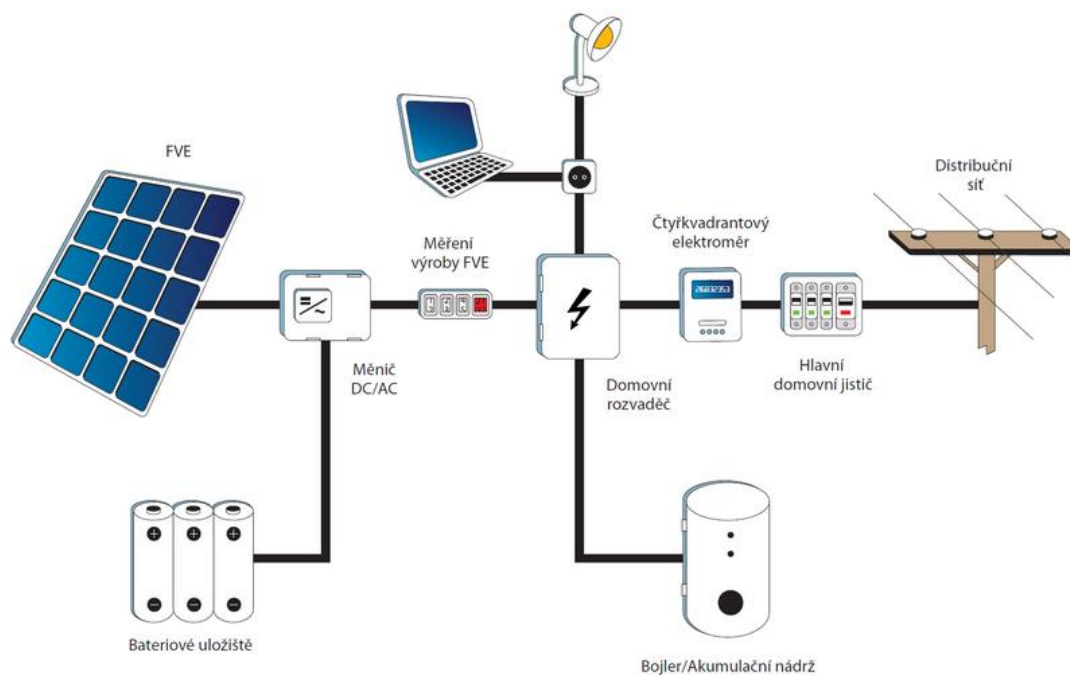
1.3 Možnosti lokálního využití energetického potenciálu

V případě instalace FV systému v rámci residenčního objektu (nejčastěji rodinný dům), pokud neuvažujeme čistě ostrovní systémy mimo DS, máme v podstatě dvě možnosti provozu. První možností je paralelní provoz FV instalace s DS a možnost prodeje přebytků elektrické energie do DS za dohodnutou cenu s distributorem. Druhou možností je instalace zařízení zamezující přetokům do DS. S využitím nových legislativních postupů (viz. kapitola 1.2.1) se zaměřím pouze na mikrozdroje (do 10 kW), čímž odpadá nutnost zřizování licence a potřeba stát se podnikatelem na trhu s elektřinou.

Snahou při provozu FV systému navrženým pro krytí vlastní spotřeby je dosažení co největší

lokální využitelnosti vyrobené elektrické energie. V případě provozu FV systému bez jakékoliv akumulace přebytků je možné dosažení vysokého procenta využitelnosti vlastní vyrobené energie pouze instalací o malém instalovaném výkonu (do 1 kWp). S rostoucím instalovaným výkonem stoupá množství elektrické energie dodané do DS. Ta je však v případě smlouvy s distributorem vykupována za minimální ceny, zhruba do 500 Kč/MWh v závislosti distributorovi.

Vlastní spotřebou je myšleno využití vyrobené elektrické energie z FV zdroje na pokrytí elektrické spotřeby používaných spotřebičů v domácnosti. Značnou nevýhodou FV zdrojů je jejich výroba v průběhu dne (nejvíce přes poledne), kdy většina obyvatel rodinných domů není přítomna a odběr elektrické energie je tak minimální. Z tohoto důvodu se instalují akumulární prvky (viz. Kapitola 1.1.4) do kterých se přebytečná energie v době přebytku přesměruje. V případě využití chemických akumulátorů je možné naakumulovanou energii znovu transformovat na elektrickou a využít ji tak v době kdy již budeme doma a začneme využívat elektrické spotřebiče. Tím snížíme odběr z DS a ušetříme za odebranou elektrickou energii. Ve variantě s akumulací nádrží naopak využijeme přebytečnou elektrickou energii k ohřevu vody, kterou bychom jinak ohřívali s využitím nakupované elektrické energie z DS. Samozřejmě je možné aplikovat kombinaci obou akumulacních variant a vhodným návrhem celého FV systému můžeme dosáhnout nulových přetoků do DS a vysokého pokrytí vlastní spotřeby objektu. Kvůli neustálému tlaku na vývoj nových chemických akumulátorů se postupně snižuje jejich cena a v několika dalších letech s největší pravděpodobností dojde k jejich výraznějšímu rozšíření i v oblastech residenčních objektů.



Obrázek 1-8 Schéma kombinovaného zapojení akumulace do baterií a do vody [15]

Neméně důležitým aspektem lokálního využití elektrické energie (EE) je způsob připojení FVE. Konkrétně tedy volba 1 fázové (1f) nebo 3 fázové (3f) výroby. Ačkoliv 1f střídače umožňují připojení FV zdrojů až do výkonu 5 kW, legislativně je tato hodnota omezena na 3,7 kW (příloha 4 PPDS, 16 A na fázi). Značnou výhodou 1f střídače je nižší pořizovací cena a obvykle vyšší účinnost při malých výkonech. 1 fázový střídač o výkonu 4,5 kW tento výkon skutečně do jedné fáze dodá, kdežto 3f střídač o výkonu 4,5 kW dodá do každé fáze 1,5 kW (výkon rovnoměrně rozdělí). Pokud bychom tedy měli na 1 fázi připojen spotřebič o výkonu 2 kW a 1f střídač dodával plný výkon, pokryje celou jeho spotřebu a do DS dodá 2,5 kW. Naopak v případě 3f střídače by došlo k pokrytí pouze 1,5 kW, zbylá energie by se odebírala z DS a z dalších 2 fází bez zátěže se dodá celkem 3 kW elektrické energie do DS.

V případě připojené FVE do DS je nutné mít instalován tzv. čtyřkvadrantový (4Q) elektroměr. Název je odvozen od 4 složek, které měří, tedy vyrobený/ spotřebovaný činný výkon a kladnou/ zápornou složku jalového výkonu. Jalový výkon není potřeba ve většině domácností uvažovat, takže nás zajímá především činná složka. Činný výkon může být měřen dvěma způsoby [39]:

1. Vyráběný výkon jednotlivých fází je sečten (pokud je na fázi spotřeba tak je výkon = 0), spotřebovaný výkon na fázích je taktéž sečten a pokud spotřeba přesahuje výrobu, odebíráme energii za poplatek z DS. V opačném případě energii prodáváme. Zásadním faktem je, že výkony jednotlivých fází jsou sčítány. Pokud tedy dodáváme pouze do jedné fáze a ze zbylých dvou odebíráme, nemá to na výsledek vliv, protože záleží pouze na celkové bilanci toků (výroba na 1. fázi = 3 kW, spotřeba na 2. fázi = 2 kW, spotřeba na 3. fázi = 1 kW, výsledek je 0).
2. Druhou možností je vyhodnocení každé fáze zvlášť. Při tomto způsobu vyhodnocení je tedy důležité, do jaké fáze je výkon dodáván a z které odebírán. Pro případ uvedený v předešlém odstavci tedy bude docházet ke zpoplatněnému odběru na fázi 2 a 3.

Z uvedených způsobů měření distributorem je tedy patrné, že možnost 2 je pro odběratele s lokální FVE značně nevýhodná, protože bude docházet k účtování poplatků za elektřinu i přesto že naše výroba byla dostatečná. V případě použití 3f systému bude tedy potřeba věnovat dostatek času vhodnému připojení spotřebičů na vybrané fáze, aby došlo k co největší optimalizaci výroby/spotřeby. O to více je vhodné uvažovat o pořízení regulátoru přebytků k zajištění co největší vlastní spotřeby, případně použití zmiňovaných akumulátorů, které by se v závislosti na přebytku/nedostatku některé fáze buď nabíjely, nebo vybíjely.

Při použití 1f systému je možné napojit veškeré spotřebiče na jednu fázi a zbylé 2 fáze vůbec nepoužívat nebo nechat připojené pouze k 3f spotřebičům. Vzhledem k tomu, že se v dnešní době již 3f spotřebiče v domácnostech příliš nevyskytují, nebylo by toto omezení nikterak velké, případně je možné zvolené spotřebiče nahradit 1 fázovými. Většina rodinných domů je vybavena hlavním 3f jističem, ale i ten je při troše snahy po dohodě s distributorem možné nahradit 1f jističem. Je však potřeba zvolit dostatečnou hodnotu, aby nedocházelo k výpadkům elektřiny z důvodu přetížení rozvodů.

2 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE

2.1 Definice elektrospotřebičů a spotřeby elektrické energie

Elektrickou energii využíváme v rámci residenčního objektu k provozu veškerých elektrospotřebičů, osvětlení, provozu domovních technologií a někdy i k vytápění a ohřevu teplé vody. V závislosti na skladbě a využití jednotlivých spotřebičů se následně liší celková roční spotřeba EE každé domácnosti. Celkovou roční spotřebu EE (v kWh nebo MWh) našeho objektu můžeme zjistit z ročního výpisu od distributora nebo z webových portálů naměřených dat, taktéž na stránkách patřičného distributora EE. Další možností je provést odhad na základě znalosti doby využívání a spotřeby jednotlivých spotřebičů. K měření elektrické spotřeby se využívá elektroměr (viz. kapitola 1.3). Základní měřené veličiny elektroměrem jsou efektivní hodnota napětí a proudu, činný výkon a jalový výkon. Při určování elektrické spotřeby je nejdůležitější veličinou činný výkon. Činný výkon je definován jako střední hodnota součinu okamžitých hodnot napětí a proudu. Jednotkou činného výkonu je watt (W). Integrací činného výkonu v čase získáme hodnotu činné energie v kWh, jenž je využívána pro vyjádření spotřeby EE.

Nás jako odběratele EE bude dále zajímat sazba, za kterou budeme energii odebírat. Sazby jsou pevně určeny Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) a každý distributor se jimi musí řídit. Rozdělení sazeb popisuje následující tabulka:

Tabulka 2-1 Třídy typových diagramů dodávek [17]

Typ zákazníka	Třída	Charakter odběru	Pevné ceny distribuce podle cenového rozhodnutí Úřadu
Odběratel kategorie C (podnikatel)	1	odběr bez tepelného využití elektřiny	C01d, C02d, C03d
	2	odběr s akumulacím spotřebičem odběr s hybridním vytápěním	C25d, C26d, C35d
	3	odběr s přímotopným systémem vytápění odběr s tepelným čerpadlem	C45d, C55d, C56d
Odběratel kategorie D (domácnost)	4	odběr bez tepelného využití elektřiny	D01d, D02d, D61d
	5	odběr s akumulacím spotřebičem	D25d, D26d
	6	odběr s hybridním vytápěním	D35d
	7	odběr s přímotopným systémem vytápění odběr s tepelným čerpadlem	D45d, D55d, D56d
Odběratel kategorie C (podnikatel)	8	odběr pro veřejné osvětlení	C62d

V dalších částech práce se budeme zabývat především kategorií D a třídami 4 a 5. Dle šetření Českého statistického úřadu [16] je průměrná roční spotřeba EE bez ohledu na užití 4 815 kWh pro rodinné domy a 2 141 kWh pro bytové domy. Na základě uvedeného šetření není bohužel možné určit roční spotřebu EE pouze pro provoz typických elektrospotřebičů odpovídajících třídě 4 dle Tabulky 2-1. Průměrnou spotřebu EE pro jednotlivé třídy je však možné zjistit ze statistických hodnot dostupných v dokumentaci k typovým diagramům dodávek (TDD) na stránkách Operátora trhu s elektřinou [18]. Více o TDD v další části práce. Odběr s tepelným využitím (ohřev vody) bude proveden samostatně v rámci simulace popsané v dalších kapitolách.

Vzhledem k tomu, že diplomová práce je zaměřena na všeobecnou problematiku FV zdrojů pro residenční bydlení, nikoliv jeden konkrétní případ, uvedu v Tabulce 2-2 typické užívané elektrospotřebiče v domácnostech ČR, které budou uvažovány jako základ elektrického profilu v dalších částech.

Tabulka 2-2 Typické spotřebiče a vybavenost domácností ČR [1, 16]

Spotřebič	Vybavenost české domácnosti dle ČSÚ [%]
vaření ¹	60
myčka	36
pračka	94
sušička	5
osvětlení	100
kombinovaná chladnička/mrazák	92
počítač	71
televize	98
ostatní spotřební elektronika ²	50
ostatní ³	25

¹ Sporák/vařič, mikrovlnná trouba, rychlovarná konvice

² Nabíječka, router, bezdrátový přístupový bod, tiskárna, DVD přehrávač, Hi-Fi, set top box

³ Klimatizace, vysavač

2.2 Možnosti zjištění profilu spotřeby elektrické energie

Profil spotřeby elektrické energie je soubor naměřených nebo jinak zjištěných dat EE v určitém časovém intervalu. Profily se mohou lišit časovým krokem měření a délkou intervalu celkového záznamu. Měření prováděná distributorem EE se dělí na průběhová měření typu A, B, M a neprůběhové měření C. Parametry jednotlivých měření jsou specifikovány vyhláškou č. 82/2011 Sb [20]. Průběhová měření jsou nejčastěji prováděna ve čtvrt hodinovém kroku. Pro představu uvedu hlavní rozdíly mezi vybranými měřeními.

Měření typu A:

- je průběhové měření s dálkovým denním přenosem údajů, a průběžným záznamem střední hodnoty činného a jalového výkonu za měřicí interval, záznam provádí přímo měřicí zařízení
- základní měřicí interval je 1 čtvrt hodina, zpracování a přenos dat probíhá 1x denně
- probíhá na předávacích místech mezi DS a PS s napětím nad 1 kV nebo odběrných místech z DS s napětím nad 52 kV

Měření typu B:

- průběhové měření s dálkovým jiným než denním přenosem údajů, měřicí interval 1 čtvrt hodina
- měření v předávacích místech DS s napětím do 1 kV nebo s výrobnou nad 10 kW
- měření v odběrných místech z DS s napětím do 1 kV a výrobnou nad 10 kW
- v předávacích a odběrných místech může být měřeno měřením typu A

Měření typu M:

- průběhové měření s dálkovým přenosem měřených údajů a průběžným záznamem činného výkonu za daný interval
- předávací a odběrná místa DS s napětím do 1 kV a výrobnou do 10 kW
- může být měřeno měřením typu B

Měření typu C:

- není průběhové měření a může být vybaveno dálkovým přenosem dat
- prováděno na všech místech, která nespádají do předešlých typů měření
- zpracování a přenos údajů prováděn alespoň jednou za rok

Poslední dělení měření je na přímé a nepřímé. O přímé měření se jedná, pokud elektřina prochází samotným elektroměrem. V případě nepřímého měření je použit elektroměr v zapojení s měřicími transformátory.

Z uvedených typů měření vyplývá, že většina domovních instalací je vybavena neprůběhovým měřením typu C. V případě instalace FVS v objektu se provádí průběhové měření typu A/B. Profily spotřeby EE je tedy možné získat pouze pro měření typu A/B/M, kde probíhá záznam průběžně. Nevýhodou těchto měření je malá přesnost zapisovaných dat (0, 1, 2 kW...), takže nezískáme dostatečný přehled o výkonových špičkách.

Elektroměr používaný v domovních instalacích (měření C) změřenou spotřebu elektřiny ukládá do registru. Data z registru jsou jednou ročně pracovníkem distributora odečteny a následně zpracovány v rámci fakturace. Žádná průběžná data není tedy možné získat a pro plánování/řízení sítě se využívají statistické metody, tzv. typové diagramy dodávek. Metoda typových diagramů dodávky elektřiny (metoda TDD) je náhradní postup pro stanovení velikosti hodinového odběru skupiny oprávněných zákazníků s měřením typu C, tj. nahrazuje průběhové měření u této skupiny průběhově neměřených odběrů [18]. TDD jsou tvořeny zvlášť pro každou třídu dle Tabulky 2-1.

V posledních letech se však začínají rozšiřovat tzv. inteligentní elektroměry. Inteligentní elektroměr umožňuje průběžné měření EE (interval 1 čtvrt hodina), které ukládá do vlastní paměti a data bez zásahu obsluhy zasílá do datového centra. Umožňují měření s přesností na 2 desetinná místa (setiny kWh) a také lze sledovat kvalitu dodávky – přepětí, podpětí, odchylky frekvence. Zaznamenané průběhy je následně možné sledovat přes portál naměřených dat distributora [19].

Poslední možností, jak průběh spotřeby získat je instalace vlastního elektroměru. Je však nutné, aby námi instalovaný elektroměr nijak neovlivňoval měření fakturačním elektroměrem distributora.

2.3 Definice profilu spotřeby elektrické energie

V následující části budou definovány konkrétní profily spotřeby EE, které budou využity při simulaci FVS. Provedu porovnání skutečných naměřených dat a statistického průběhu TDD, aby bylo patrné, jak se průběhy liší a jaká je jejich použitelnost v rámci diplomové práce.

Naměřená data elektrické spotřeby jsem získal od společnosti ČEZ. Jedná se o 5 profilů rodinných domů, ve kterých je instalováno měření typu C s využitím inteligentních elektroměrů. Z důvodu nutnosti zachování anonymity majitele, byly informace o poskytnutých profilech omezeny na minimum (sazba, hodnota hlavního jističe). Všechny dále uvedené profily spadají dle Tabulky 2-1 do kategorie D, třídy 4 (odběr bez tepelného využití). Jedná se o profily pro rok 2016. Rok 2016 byl přestupný a z důvodu lepší manipulace s daty v rámci simulace byl zanedbán přestupný den (29. únor). Na návaznost dat zanedbání konkrétního dne nemá vliv a spotřeba za daný den byla od celkové roční spotřeby odečtena.

Výčet profilů:

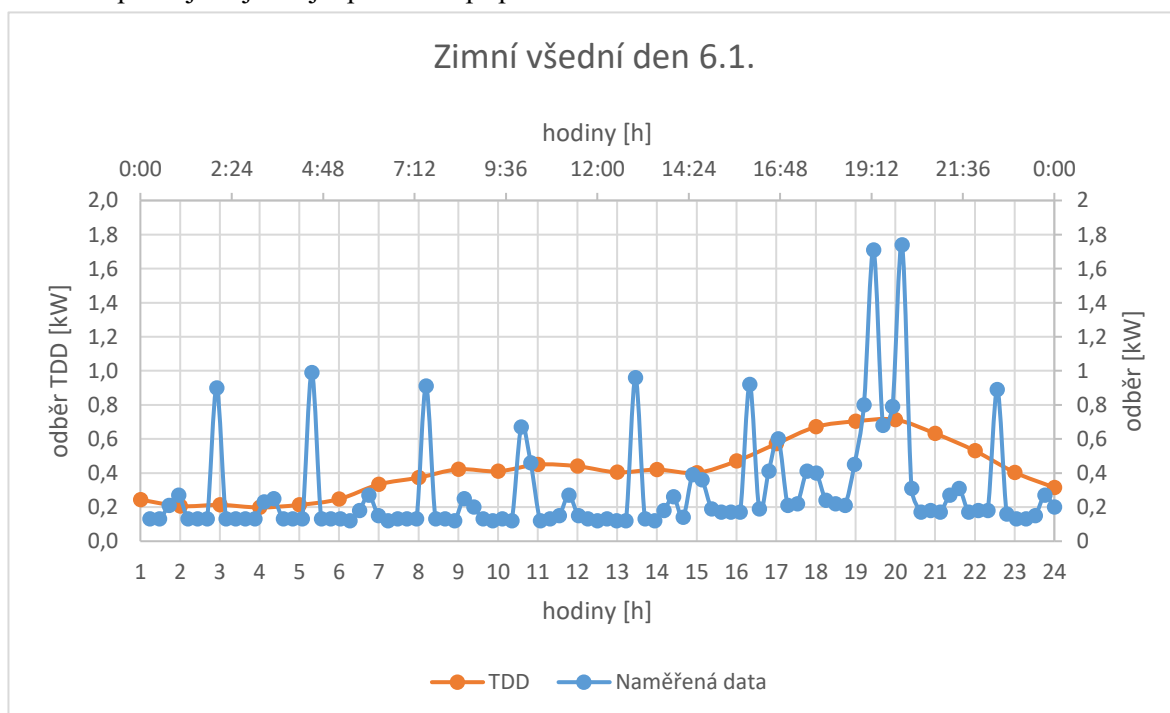
- Profil 1 – sazba D01, hlavní jistič 3x16A, roční spotřeba EE 3 296 kWh
- Profil 2 – sazba D02, hlavní jistič 3x25A, roční spotřeba EE 3 616 kWh
- Profil 3 – sazba D02, hlavní jistič 3x25A, roční spotřeba EE 2 492 kWh
- Profil 4 – sazba D02, hlavní jistič 3x25A, roční spotřeba EE 2 761 kWh
- Profil 5 – sazba D02, hlavní jistič 3x25A, roční spotřeba EE 2 866 kWh

Dále budeme pracovat především s Profilem 1, který bude porovnán s TDD. Normalizovaný TDD pro rok 2016 byl získán ze stránek OTE, a.s. [18]. Normalizovaný typový diagram dodávky (TDD_n) je 8 760 relativních hodnot průměrných hodinových odběrů v roce (8 784 hodnot v roce přestupném), vztažených k hodnotě ročního maxima průměrných hodinových odběrů, určeného z měření vzorků TDD. Průměrné hodinové odběry, použité ke stanovení TDD_n, jsou přepočteny na normální klimatické podmínky (teplota, svit, vítr, srážková činnost, ...). Hodnoty TDD_n se pohybují v rozmezí 0 až 1 a definují tvar diagramu zatížení dané skupiny konečných zákazníků za normálních klimatických podmínek [18].

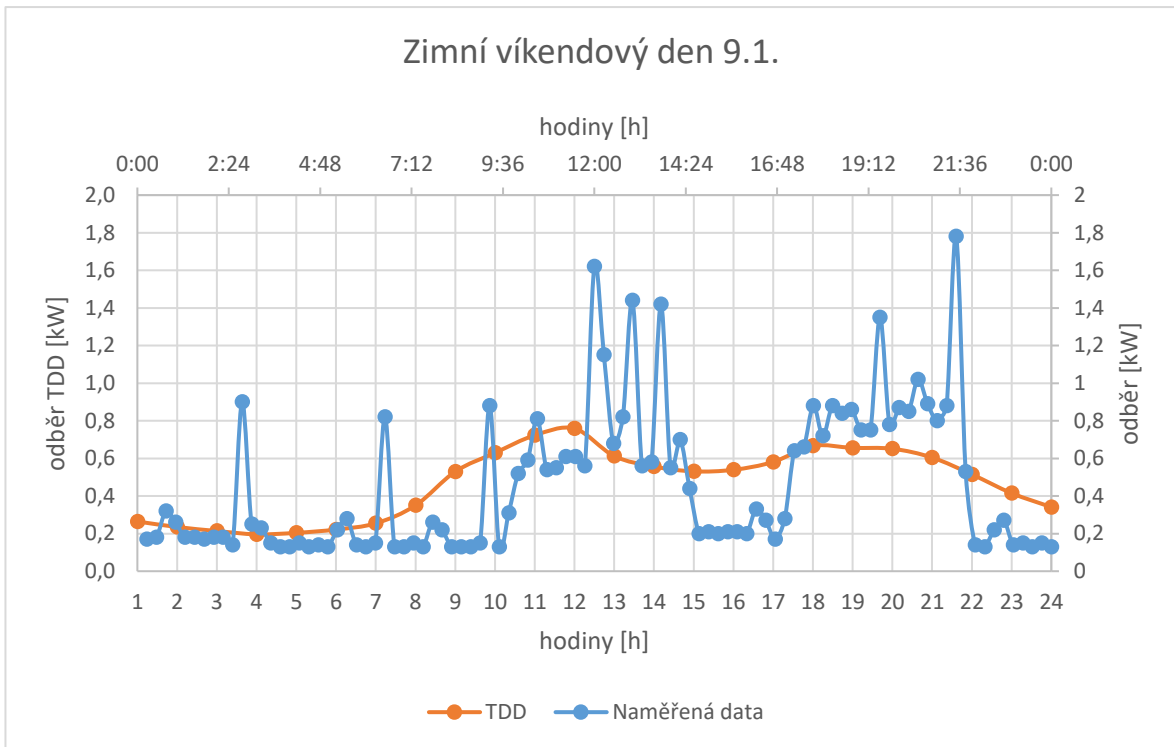
K vytvoření konkrétního profilu TDD je potřeba znát celkovou roční spotřebu EE. Pro vhodného srovnání využijí totožnou spotřebu jako v Profilem 1, tedy 3 296 kWh. Pro simulaci spotřebního diagramu se hodnota roční spotřeby podělí dobou využití maxima (celoroční suma určitého normalizovaného TDD). Následně po vynásobení jednotlivými hodinovými hodnotami normalizovaného TDD již získáme simulaci odběrového profilu odběrného místa. Odběrový profil bude odpovídat třídě 4, tedy TDD4.

$$profil_TDD = TDD4(h) \cdot \frac{EE(rok)}{\sum_{h=1}^{8760} TDD4(h)} \quad [kWh] \quad (1)$$

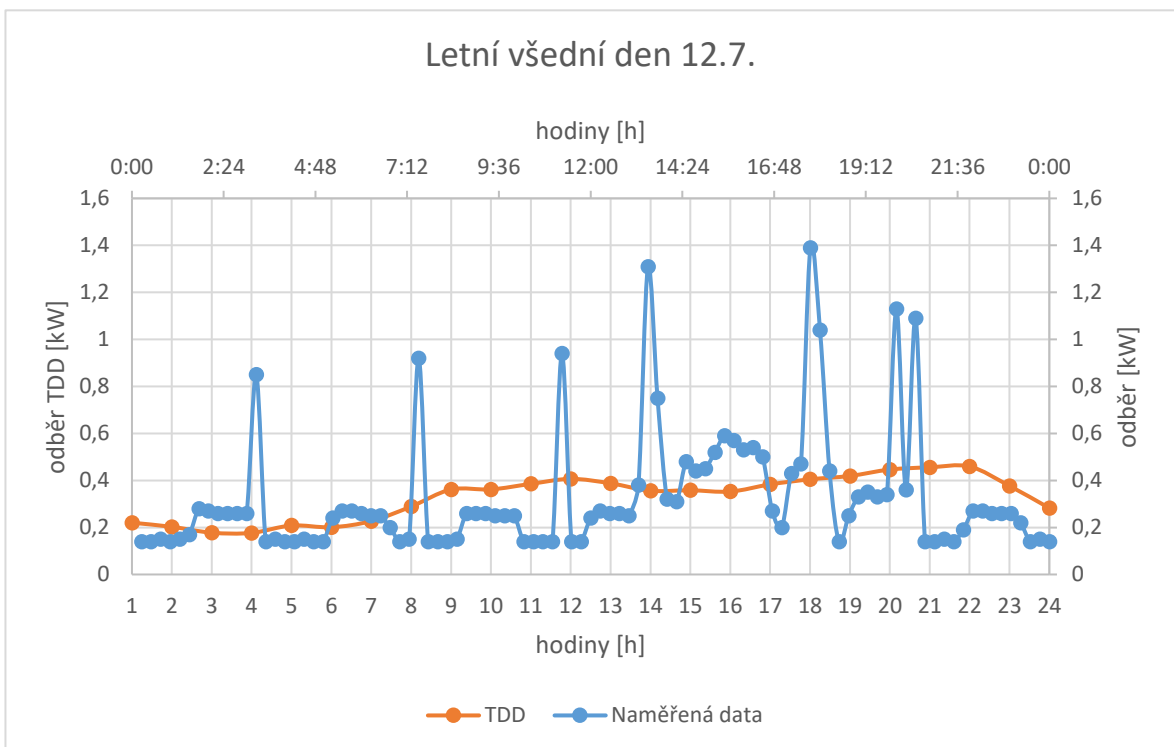
Na následujících Grafech (2-1 až 2-4) je porovnání spotřeby v zimním a letním všedním a víkendovém dni. Z grafů lze vyčíst rozdílné požadavky na spotřebu EE v závislosti na ročním období a pracovním/víkendovém dni. Obecně vzato, v zimním období je vyšší spotřeba EE než v letním období a ve všední den je odběrová špička především v podvečerních a večerních hodinách. Je to způsobeno návratem obyvatel z práce. Přes víkend je špička kolem poledne a poté opět na večer. Polední špička je nejčastěji způsobena přípravou oběda.



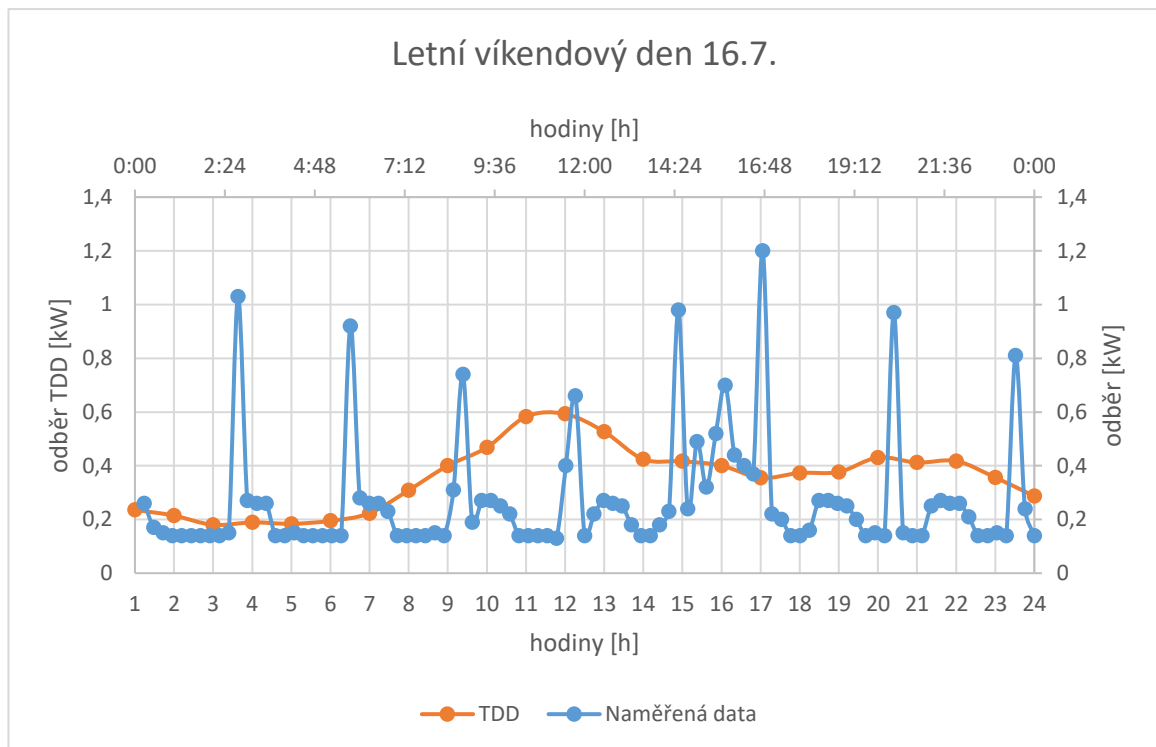
Graf 2-1 Srovnání Profilu 1 a TDD pro všední zimní den



Graf 2-2 Srovnání Profilu 1 a TDD pro víkendový zimní den



Graf 2-3 Srovnání Profilu 1 a TDD pro všední letní den

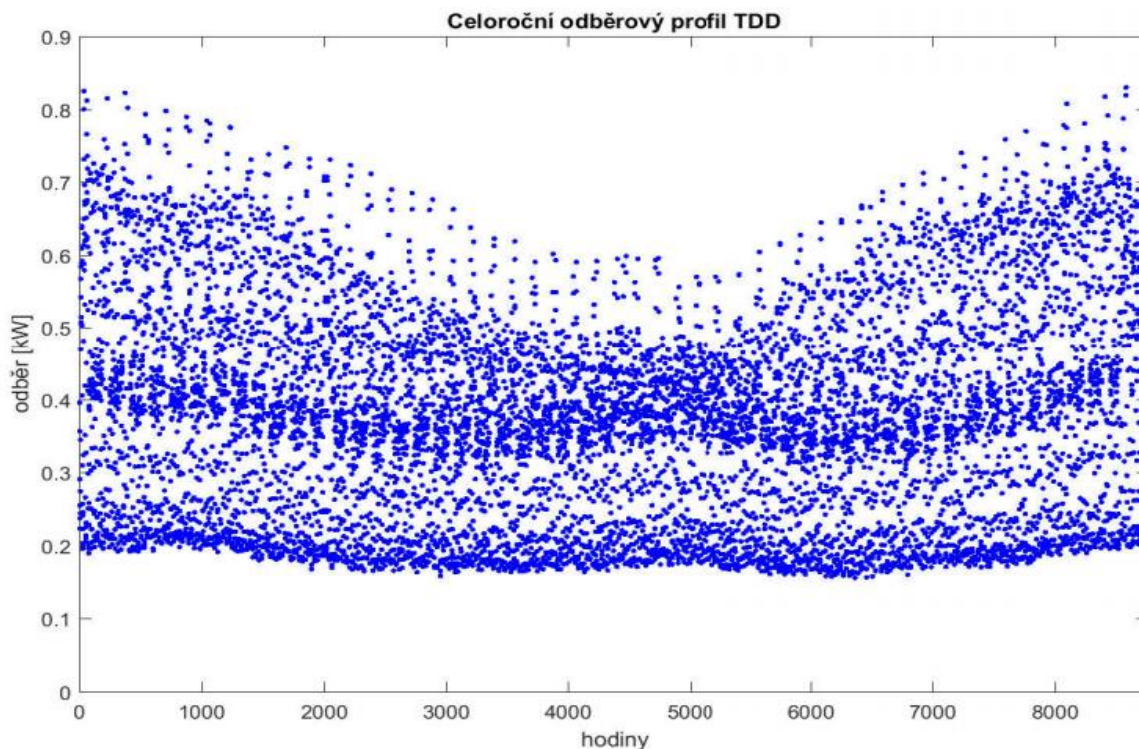


Graf 2-4 Srovnání Profilu 1 a TDD pro víkendový letní den

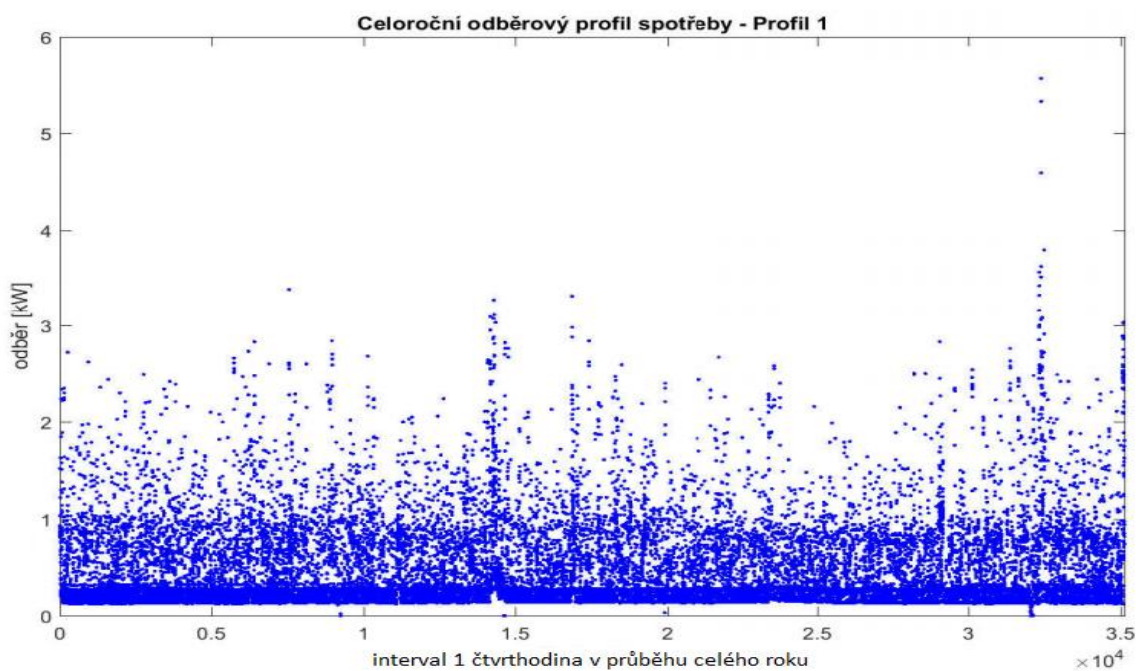
Z grafů je patrný zásadní rozdíl ve špičkových odběrech EE. Značný vliv na tvar profilu TDD má průměrování velkého množství domácností (minimálně 100) a hodinový krok, kterým jsou taktéž díky průměrování eliminovány odběrové špičky. Simulace prováděná v dalších částech diplomové práce pracuje s minutovým krokem. Z tohoto důvodu je vhodné mít zdroj dat s citlivostí měření nižší než 1 hodina, díky čemuž dojde k přesnějšímu vyhodnocení energetických toků. Je tedy patrné, že naměřená data získaných Profilů 1 – 5 jsou pro potřeby simulace vhodnější.

Nutno podotknout, že žádný ze získaných Profilů nekopíruje průběhy TDD, což je do značné míry ovlivněno specifickými návyky a skutečným vybavením domácnosti. Jako názorný příklad slouží právě srovnání Profilu 1 a TDD, kde vidíme pravidelně se opakující výkonové špičky o velikosti zhruba 1 kW, které mohou být způsobeny např. čerpadlem. K dosažení průběhu bez velkých výkyvů, jako v případě TDD, je skutečně možné dojít pouze průměrováním velkého vzorku dat. Pokud bychom získali data spotřeby měřené v minutovém kroku, zjistíme, že i průběhová měření typu C s inteligentním elektroměrem a intervalem 15 minut jsou poměrně nepřesná. S citlivějším krokem měření však rostou i požadavky na kapacitu úložiště a datový tok odesílaných dat.

Na posledních Grafech 2-5 a 2-6 jsou celoroční odběrové profily. TDD byl přepočten pro stejnou celoroční spotřebu jako má Profil 1 a i přesto vidíme, že výsledný průběh je naprosto odlišný. Podle hustoty bodů modré barvy zjistíme, že pro průběh TDD je značná část okamžitých hodnot odběru kolem 0,2 a 0,4 kW, maximální hodinový odběr je 0,85 kW. V případě Profilu 1 máme největší hustotu bodů taktéž kolem hranice 0,2 kW avšak maximální odběr je téměř 6 kW. Tyto rozdíly budou mít jednoznačně v rámci simulace vliv na vyhodnocení aktuálního přebytku/nedostatku EE z FV zdroje. Na Grafu 2-6 je patrných několik poklesů odběru na 0, což může být způsobené výpadkem proudu.



Graf 2-5 Celoroční odběrový profil EE pro TDD4 2016, roční spotřeba 3 296 kWh, interval 1 hodina



Graf 2-6 Celoroční odběrový profil EE pro Profil 1, roční spotřeba 3 296 kWh, časový interval měření 1 čtvrt hodina

2.4 Možnosti odběru elektrické energie z DS

V souvislosti s Tabulkou 2-1 je vhodné se podívat více na uvedené sazby za odběr EE z DS. Jestliže jsme standardní uživatel kategorie D, třídy 4, tedy bez tepelného využití elektřiny, nemáme příliš možností a po celý den odebíráme elektřinu za pevně stanovenou jednotnou cenu (např. 4 Kč/kWh).

Tento stav se týká většiny domácností v panelových domech.

Naopak pro zbylé třídy kategorie D je možno využít tzv. dvou tarifní sazby. Dvou tarifní sazba je rozdělena na nízký tarif (NT) a vysoký tarif (VT). Při aktivovaném nízkém tarifu platíme za odběr elektřiny méně než v případě vysokého tarifu. Dvou tarifní sazby jsou určeny pro domácnosti, které využívají elektřinu k vytápění nebo ohřevu teplé vody. V případě splnění podmínek konkrétní sazby, můžeme o její zavedení požádat. Doba platnosti nízkého a vysokého tarifu se liší u každé ze sazeb. Platnost nízkého tarifu se pohybuje v rozmezí 8 – 22 hodin denně. Pro zajištění spínání ohřivačů v čase NT je potřeba mít instalován systém Hromadného dálkového ovládání (HDO), který se řídí podle uvedených tarifů. Nespornou výhodou je, že v době nízkého tarifu odebírají elektřinu za sníženou cenu veškeré elektrospotřebiče, nikoliv pouze ohřivače. [35]

Jako příklad může posloužit domácnost, kde je využíváno tepelné čerpadlo pro vytápění. V daném případě můžeme dosáhnout na dobu platnosti nízkého tarifu až 22 hodiny denně, takže elektřinu s vysokým tarifem budeme odebírat pouze zbylé 2 hodiny. Takto je možné ušetřit značnou částku za odběr elektřiny. [36]

V rámci simulace a návrhu se budeme zabývat akumulacím ohřevem teplé vody (kategorie D, třída 5) a pro tento typ platí 8 hodinová sazba nízkého tarifu. Časy NT a VT jsou uvedeny na stránkách každého distributora a mohou se lišit podle lokality či podle aktuálního vytížení lokální distribuční sítě. Pro využívání dvou tarifního pásma je však nutné zajistit vypnutí ohřevu teplé vody z DS v době VT, takže ohřev vody bude zajištěn pouze v čase NT. Spotřeba EE podle tarifní sazby bude uvažována i ve vytvářené simulaci a ve výchozím vyhodnocení návrhu v kapitole 4, kde budou současně ukázány výhody a nevýhody řízení ohřevu přes HDO.

3 TVORBA SIMULACE FVS V PROSTŘEDÍ MATLAB

Třetí kapitola diplomové práce je zaměřena na popis vytvářeného simulačního nástroje FVS s využitím řízených spotřebičů (el. topná spirála a tepelné čerpadlo) pro ohřev teplé vody. Cílem modelu je vyhodnotit energetické toky v rámci FVS optimalizovaného pro vlastní spotřebu residenčního objektu s tepelným využitím přebytků elektrické energie.

3.1 MATLAB

Integrované prostředí MATLAB je programovací jazyk určený především pro vědeckotechnické účely, tvorbu různých simulací, aplikací a algoritmů. Pro tvorbu simulace byla využita verze R2015b se studentskou licencí ČVUT FEL. Samotná simulace je tvořena celkem ze 14 (16 pro simulaci s HDO) různě rozsáhlých funkcí, včetně grafického rozhraní. Veškerý kód funkcí je vytvořen autorem diplomové práce s využitím rozsáhlé dokumentace MATLABu. [21] Některé části kódu byly konzultovány na oficiálním komunitním diskuzním fóru provozovaném společností Mathworks.

K běhu simulace je doporučeno mít nainstalován MATLAB ve verzi alespoň R2013 nebo novější (odzkoušené verze). Návod pro spuštění simulace bude přiložen do archivu se všemi soubory simulace na datovém nosiči.

3.2 Uvažované řízené spotřebiče

Zvolené spotřebiče se do kategorie řízených řadí především kvůli jejich snadnému spínání v momentě potřeby umožnění přebytečné elektrické energie. V kombinaci s jejich využitím pro ohřev teplé vody je elektrická energie přeměněna na tepelnou a ta je předána vodě v akumulacním zásobníku.

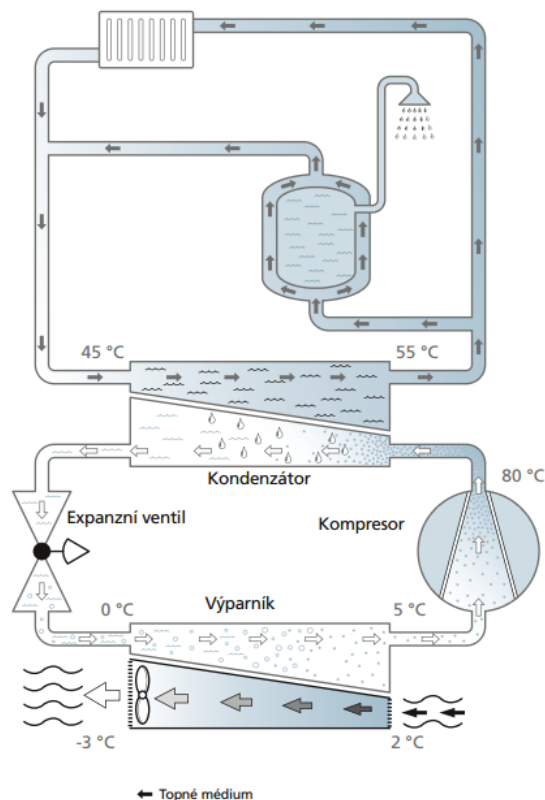
3.2.1 Elektrické topné těleso

Elektrické topné těleso se skládá z upevňovací příruby a topných tyčí upravených do požadovaného tvaru. Nejpoužívanější materiály tyčí jsou měď nebo nerezová ocel. Napájení tyčí je možné volit v rozsahu 110 – 500 V. Pro aplikace ohřevu teplé vody je nejčastěji používáno napětí 230 V (1 fázové zapojení) nebo 400 V (3 fázové zapojení). Výkony se pohybují od 500 W do 50 000 W (speciální použití např. v energetice). [22] Elektrická topná spirála je plynule říditelná zátěž v jejím plném výkonovém rozsahu. Např. pokud máme topnou spirálu o výkonu 2 kW, můžeme zde využít přebytky v rozsahu 1 – 2000 W.

3.2.2 Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla (TČ) jsou zařízení, která odebírají tepelnou energii z okolního prostředí a následně ji předávají teplonosnému mediu. V našem případě bude tímto mediem voda. Tepelná čerpadla se dělí podle způsobu získávání tepelné energie na čerpadla vzduch/voda, země/voda a voda/voda. Dále se budeme zabývat již jen tepelným čerpadlem vzduch/voda, které bude použito v diplomové práci.

Tepelné čerpadlo využívá přirozený směr proudění od teplého ke studenému v uzavřeném okruhu chladiva výparníkem, kompresorem, kondenzátorem a expanzním ventilem. Teplo čerpané z okolního vzduchu je poté využíváno k vytápění nebo ohřevu teplé vody.



Obrázek 3-1 Princip tepelného čerpadla [23]

Důležitým parametrem tepelného čerpadla je topný faktor – COP. Topný faktor představuje poměr využitelného tepelného výkonu k elektrickému příkonu kompresoru (jediné místo kde dochází ke spotřebě EE). Topný faktor je závislý na teplotním rozdílu mezi zdrojem tepla a spotřebičem tepla. [24] Podle využití TČ se topný faktor pohybuje mezi 2 – 6 [-]. Většina TČ vzduch/voda je provozována s nasáváním venkovního vzduchu, tedy za proměnných podmínek. Pro tyto případy jsou poskytovány výkonové křivky COP popisující závislost COP na teplotě vzduchu a teplotě výstupní vody. V diplomové práci se však těmito TČ nebudeme zabývat, ale zaměříme se na nově rozšiřující TČ určená výhradně pro ohřev teplé vody. Zvolená TČ sice umožňují provoz s venkovním nasáváním vzduchu, ale v naprosté většině praktických aplikací jsou používány s nasáváním zhruba konstantního vzduchu místnosti, ve které je TČ umístěno. U těchto TČ nejsou křivky uváděny, pouze konkrétní hodnota COP pro nastavenou teplotu výstupní vody (např. 55 °C), teplotu okolí a teplotu přiváděné studené vody.

Daný typ TČ je dodáván s integrovanou nádrží na teplou vodu. Topné výkony se pohybují od 1 do 2 kW. V ČR je možné tato TČ získat například od společností NIBE (Dražice), Buderus, Tatramat (Stiebel-eltron) nebo Viessmann. Součástí je i pomocné elektrické topné těleso pro případ poruchy nebo nedostačujícího výkonu TČ (např. při velké spotřebě teplé vody).

3.3 Popis simulace

Vytvářený simulační program pracuje s minutovým krokem simulace po dobu jednoho roku (nepřestupného). Minutový krok byl zvolen především pro přesné zjištění vyrobené EE FV zdrojem a energii dodanou (uloženou) do zásobníku teplé vody. Vstupní data, která nejsou v minutovém kroku, je potřeba pro tento krok upravit (interpolace, prováděno automaticky v rámci simulace).

Simulace zásobníku teplé vody byla provedena zjednodušenou formou, kdy stav nabití zásobníku je reprezentován střední teplotou vody a je uvažováno dokonalé promíchání vody v celém objemu zásobníku. Skutečný zásobník vody však takového stavu dosáhne jen velice obtížně, pokud

není oddělena část s přívodní studenou vodou (tzv. stratifikační zásobník).

Simulace s HDO a bez HDO se v zadávacím formuláři popsaném dále nijak neliší, ale spouští se ze samostatné složky, protože v případě HDO jsou do funkcí doplněny časy spínání.

3.3.1 Grafické rozhraní simulace a jeho parametry/výsledky

Grafické rozhraní na Obrázku 3-2 slouží k zadání všech požadovaných parametrů a načtení dat potřebných k provedení simulace. Rozhraní bylo vytvořeno s využitím prostředí GUIDE (graphical user interface development environment) v rámci MATLABu.

The screenshot shows a graphical user interface for simulation parameters, organized into several panels:

- Společné parametry simulace**
 - Parametry fotovoltaické instalace**: Instalovaný výkon FV [W], Účinnost konverze [%], Technologie panelu (c-Si).
 - Teplotní parametry vody**: Požadovaná teplota [°C], Minimální teplota [°C], Maximální teplota [°C].
 - Ostatní parametry**: Počáteční teplota simulace [°C], Teplota okolí nádrže [°C], Spotřeba teplé vody [l/os/den], Počet osob [-].
- Parametry simulace s tepelným čerpadlem**: Výkon pomocné topné spirály [W], Topný výkon COP pro požadovanou teplotu [-], Průměrná spotřeba TČ [W/hod], Maximální teplota výstupní vody TČ [°C], Objem nádrže s tepelným čerpadlem [litr], Tepelné ztráty nádrže [W/24hod], Teplota vody při zjišťování tepelných ztrát [°C], Teplota vzduchu při zjišťování tepelných ztrát [°C].
- Parametry simulace s topnou spirálou**: Výkon FV topné spirály [W], Výkon elektrické topné spirály [W], Objem nádrže [litr], Tepelné ztráty nádrže [W/24hod].
- Načtení dat**: Načtení dat osvitu (Gh), Načtení dat elektrické spotřeby, Načtení odběrové křivky vody, Načtení teploty vzduchu. Each item has a 'Načti' button.
- Spuštění simulace**: Two buttons: 'Výpočet s tepelným čerpadlem' and 'Výpočet s topnou spirálou', separated by 'nebo'.

Obrázek 3-2 Grafické rozhraní zadávacího formuláře parametrů simulace

Společné parametry simulace jsou totožné jak pro simulaci s tepelným čerpadlem, tak se samotnou topnou spirálou. V případě, že budeme chtít provést simulaci pouze s tepelným čerpadlem není nutné vyplňovat i parametry pro topnou spirálu (a opačně). Data je možné načíst z libovolného umístění v počítači, a to jak ze souboru .xls (Excel), .txt (textový soubor), .csv (tabulková data) nebo přímo z uložené matice MATLABu. Osobně doporučuji data nejdříve naimportovat a upravit přes MATLAB. Import dat je velice intuitivní a umožňuje přehledné vybrání požadovaných dat, včetně úpravy oddělovačů či jiných znaků.

Jako zdroj dat pro načítaná data osvitu (globálního horizontálního osvitu) pro vybraný sklon a orientaci FV zdroje a teplotní data venkovního vzduchu lze využít např. databázi programu Meteororm, z kterého je možné získat potřebná data v minutovém kroku po celý rok (525 600 hodnot). K získání minutových dat nestačí pouze free verze programu, ale je třeba vlastnit plnou verzi programu (data získána se studentskou licenci). Data elektrické spotřeby je možno získat ze stránek OTE, případně bude připraveno 5 profilů inteligentního měření získaných od společnosti ČEZ (viz. kapitola 2-3). O zdrojových možnostech odběrové křivky vody více dále v kapitole 3.3.4. Veškerá data bude možné načíst v minutovém, čtvrt hodinovém nebo hodinovém kroku. Křivka vody je vytvořena pro 1 den, zbylá načítaná data jsou celoroční průběhy. K simulaci bude přiloženo několik vzorových datových souborů (Příloha 3). Tabulky (3-1 až 3-3) s popisem jednotlivých parametrů jsou na další straně.

Tabulka 3-1 Upřesnění společných parametrů simulace

Parametr	Popis	Jednotka
Instalovaný výkon	Maximální nominální výkon simulované FV instalace	W
Účinnost konverze	Účinnost přeměny se započítáním ztrát střídače (Evropská účinnost, katalogová hodnota) a ztrát v kabelových rozvodech (standardně 0 – 5 %)	%
Technologie panelu	Možnost volit mezi c-Si, CdTe a Cl(G)S, rozdíly vysvětleny v kapitole 3.3.2	-
Požadovaná teplota vody	Teplota vody, kterou budeme chtít v nádrži udržovat	°C
Minimální teplota vody	Při poklesu pod danou teplotu dojde k sepnutí nuceného ohřevu, více v kapitole 3.3.6	°C
Maximální teplota vody	Maximální teplota, kterou je možné v nádrži udržovat. Dáno výrobcem, obvykle v rozsahu 70 – 90 °C	°C
Počáteční teplota simulace	Uvažovaná teplota vody v nádrži při spuštění simulace	°C
Teplota okolí nádrže	Teplota vzduchu v místnosti, kde je nádrž umístěna. Potřebné pro výpočet tepelných ztrát. Obvykle 15 – 20 °C	°C
Spotřeba teplé vody	Uvažovaná spotřeba teplé vody na jednoho člověka o teplotě 60 °C. Typické hodnoty v Tabulce 3-5	l
Počet osob	Uvažovaný počet osob v domácnosti. Důležité pro výpočet celkové spotřeby teplé vody	-

Tabulka 3-2 Upřesnění parametrů simulace s topnou spirálou

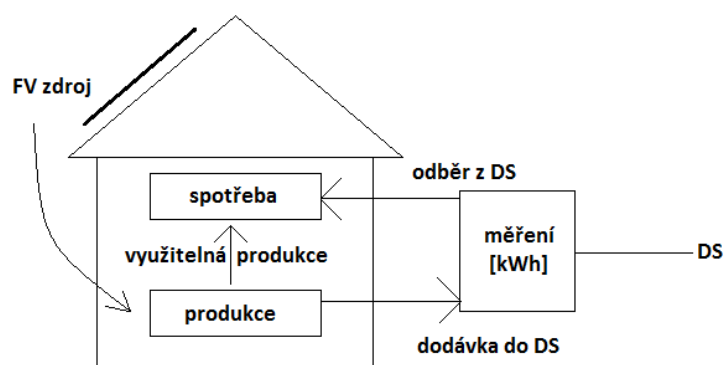
Parametr	Popis	Jednotka
Výkon FV topné spirály	Výkon elektrické topné spirály určené pro využití přebytků z FV	W
Výkon elektrické topné spirály	Výkon elektrické spirály určené pro nucený ohřev při poklesu pod minimální teplotu.	W
Objem nádrže	Objem zvolené nádrže teplé vody	l
Tepelné ztráty nádrže	Tepelné ztráty vybrané nádrže. Hodnota zjistitelná z katalogu výrobce. Někdy uváděno jako statické ztráty	W/24hod

Tabulka 3-3 Upřesnění parametrů simulace s tepelným čerpadlem

Parametr	Popis	Jednotka
Výkon pomocné topné spirály	Tepelný výkon elektrické spirály daný výrobcem vybraného tepelného čerpadla	W
Topný výkon COP pro požadovanou teplotu	Hodnota zjistitelná z katalogu produktu. Např. pro teplotu 55 °C má TČ COP 3.0	-
Průměrná spotřeba TČ	Hodnota zjistitelná z katalogu produktu. Typické hodnoty v rozsahu 200 – 700 W/hod. Spotřeba kompresoru	W/hod
Maximální teplota výstupní vody TČ	Hodnota zjistitelná z katalogu produktu, pohybuje se v rozmezí 55 – 65 °C	°C
Objem nádrže s tepelným čerpadlem	Objem pevně stanovený podle zvoleného produktu	l
Tepelné ztráty nádrže TČ	Tepelné ztráty způsobené rozdílnými teplotami vody v nádrži a okolní teplotě. Hodnota zjistitelná z katalogu	W/24hod
Teplota vody při zjišťování tepelných ztrát	Hodnota zjistitelná z katalogu produktu. Testovací podmínky jsou odlišné od samostatných nádrží na teplou vodu	°C
Teplota vzduchu při zjišťování tepelných ztrát	Hodnota zjistitelná z katalogu produktu. Testovací podmínky jsou odlišné od samostatných nádrží na teplou vodu	°C

Na Obrázku 3-4 je příklad grafického znázornění výstupů simulace. První graf ukazuje bilanci energetických toků, konkrétně tedy měsíční množství odebrané elektrické energie z distribuční sítě, dodané množství elektrické energie do distribuční sítě a jaké množství vyrobené elektrické energie z FV zdroje bylo využito. Suma odebrané a využití energie je celková měsíční spotřeba EE daného objektu. Na druhém grafu je znázorněna průměrná teplota teplé vody v nádrži. Na grafu je patrné navýšení teploty v letních měsících, kdy je výroba FV zdroje největší a je tedy nejvíce přebytků.

Pro podrobné porovnání energetické bilance slouží řada číselných ukazatelů včetně 3 procentuálních vyjádření indexů popsanych dále. Na dalším Obrázku 3-3 jsou znázorněny základní energetické toky.



Obrázek 3-3 Základní zobrazení energetických toků v objektu

Spotřebou [kWh], která bude využita při definici indexů, je myšlena veškerá spotřeba elektrické energie v budově, tedy EE využitá jak z DS, tak z FV zdroje. Využitelná produkce FV zdroje [kWh] je část produkce FV zdroje spotřebovaná v budově. Odběr z DS [kWh] je EE přicházející do budovy z veřejné sítě. Dodávka do DS [kWh] je EE nespotebovaná v budově a dodaná do veřejné sítě.

Index soběstačnosti je definován jako poměr využitelné produkce FV zdroje ku celkové spotřebě EE. Popisuje, do jaké míry je možné pokrýt spotřebu EE objektu z vlastního FV zdroje. Nabývá hodnot 0 – 100 %. Při hodnotě 100 % pracuje objekt zcela nezávisle na distribuční síti. Tohoto stavu je možné dosáhnout pouze s využitím akumulátorů. [1]

$$f_s = \text{index soběstačnosti} = \frac{\text{využitelná produkce FV zdroje}}{\text{spotřeba}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

Index využitelnosti definuje poměr využitelné produkce FV zdroje a celkové produkce FV zdroje. Popisuje tedy jaké množství vyrobené EE je skutečně využito. Stejně jako index soběstačnosti nabývá hodnot 0 – 100 %. Při 100 % je veškerá produkce využita v budově. [1]

$$f_u = \text{index využitelnosti} = \frac{\text{využitelná produkce FV zdroje}}{\text{produkce FV zdroje}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

Index exportu je definován jako poměr dodávky EE do DS ku produkci FV zdroje. Stejně jako předešlé indexy nabývá hodnot 0 – 100 %. Ve většině případů, kdy je FVS využit pro vlastní spotřebu, je snaha o minimalizaci hodnoty tohoto indexu, tedy dosažení co nejmenší dodávky do DS. [1]

$$f_e = \text{index exportu} = \frac{\text{dodávka}}{\text{produkce FV zdroje}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

Simulace TČ a samotné elektrické spirály mají každá vlastní okno zobrazení výsledků, takže je možné snadno porovnat i výsledné grafy a hodnoty. Samotný výpočet je velice rychlý a trvá pouze několik vteřin. Díky tomu není problém změnit pouze jeden parametr a dostat téměř okamžitý výsledek nové simulace.

Posledním zobrazovaným parametrem je množství odebrané EE z DS v rámci nízkého a vysokého tarifu s využitím HDO pro spínání ohřevu teplé vody. Časy tarifů není možné měnit, nastaveno přímo pro potřeby diplomové práce. V případě simulace bez HDO je využit jeden tarif.



Obrázek 3-4 Grafické rozhraní pro zobrazení výsledků simulace

3.3.2 Výpočet vyrobené elektrické energie FV zdroje

Základními potřebnými parametry pro výpočet výroby FV zdroje jsou jeho nominální výkon, účinnost konverze, data osvětlení a data teploty. Data osvětlení a teploty, jak již bylo zmíněno, je možné získat z programu Meteonorm (aktuálně verze 7). Jako zdroj naměřených dat slouží meteo stanice, která je nejbližší vybrané lokalitě. Data venkovní teploty jsou uvedena ve °C a data globálního horizontálního záření (G_h , intenzita záření) ve W/m^2 . V případě dat osvětlení je potřeba v programu nastavit ještě požadovaný sklon a azimut. V ČR je za optimální sklon považováno 30 – 35° s orientací na jih (Obrázek 3-5).

Nominální výkon je maximální okamžitý výkon (P_p), kterého může FV zdroj dosáhnout za standardních testovacích podmínek (STC). Standardní podmínky jsou intenzita záření $1000 W/m^2$ a teplota vzduchu 25 °C. Skutečný dodaný výkon do sítě je ovlivněn účinností konverze ze stejnosměrného napětí na střídavé (účinnost střídače a ztráty v kabelových rozvodech) a relativní účinností, která bere v potaz ztráty způsobené odlišnými klimatickými podmínkami oproti STC. Účinnost střídače je brána jako Evropská účinnost určená z účinností při různých stupních zatížení střídače (viz. kapitola 1.1.2).



Obrázek 3-5 Výnosnost energie dle sklonu a orientace [25]

Výpočet skutečného výkonu vychází z následujícího vzorce [1][26]:

$$P = \frac{G_h}{1000} \cdot P_{Wp} \cdot \eta_{rel}(G, T_m) [W] \quad (6)$$

kde:

Pskutečný vypočtený výkon

G_hskutečná intenzita záření v rovině panelu [W/m^2]

P_{Wp}nominální výkon [Wp]

$\eta_{rel}(G, T_m)$relativní účinnost závislá na normalizované intenzitě záření a normalizované teplotě modulu [-]

Normalizovaná intenzita záření G je vyjádřena následovně [1]:

$$G = \frac{G_h}{G_{STC}} [-] \quad (7)$$

G_{STC}intenzita záření v rovině panelu při STC, 1000 W/m²

Normalizovaná teplota a normalizovaná teplota modulu [26]:

$$T = T_{ok} \cdot kT \cdot G_h \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (8)$$

$$T_m = T - 25 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (9)$$

T.....normalizovaná teplota [°C]

T_{ok}teplota venkovního vzduchu [°C]

kT.....oteplovací konstanta panelu pro panely umístěné na budově, 0.05 °C/(W/m²)

Nyní s využitím předešlých vztahů je možné vyjádřit relativní účinnost modulu jako [1][26]:

$$\eta_{rel}(G, T_m) = 1 + k_1 \cdot \ln(G) + k_2 \ln(G)^2 + k_3 \cdot T_m + k_4 \cdot T_m \cdot \ln(G) + k_5 \cdot T_m \cdot \ln(G)^2 + k_6 \cdot T_m^2 \quad (10)$$

Koeficienty k_1 až k_6 jsou hodnoty zjištěné experimentálním měřením pro vybrané technologie (c-Si, CdTe, CI(G)S). Měření byla provedena v letech 2010 a 2015 Thomasem Huldem. V roce 2010 proběhlo měření všech 3 technologií, v roce 2015 pouze c-Si a CdTe. Koeficienty pro c-Si se příliš od prvního měření neliší, kdežto pro CdTe jsou odlišné, což je dle autora ovlivněno vývojem technologie. Pro výpočet byly použity koeficienty pro c-Si a CdTe zjištěné měřením z roku 2015, hodnoty pro CI(G)S jsou z roku 2010. [27][28][1]

Tabulka 3-4 Koeficienty Huldova modelu konverzní účinnosti

koeficient	c-Si	CdTe	CI(G)S
k_1	-0,017237	-0,046689	-0,005521
k_2	-0,040465	-0,072844	-0,038492
k_3	-0,004702	-0,002262	-0,003701
k_4	0,000149	0,000276	-0,000899
k_5	0,000170	0,000159	-0,001248
k_6	0,000005	-0,000006	0,000001

3.3.3 Výkon a spotřeba ohřivačů (řízených spotřebičů)

Využitelný výkon elektrické topné spirály je dán hodnou ze zadávacího formuláře. Pokud zadáme výkon topné spirály 2 kW, bude maximální využitelný výkon 2 kW. Na maximální výkon topná spirála poběží v případě poklesu teploty pod zadanou minimální hodnotu nebo pokud budeme mít velké množství přebytků EE. Spotřeba EE bude stejná jako aktuální výkon topné spirály. Principiálně to tedy znamená, že pokud odebereme 2 kW EE současně dodáme 2 kW tepelné energie.

V případě TČ opět záleží na hodnotách zadaných skrze formulář. Vyjdeme-li z principu TČ dle kapitoly 3.2.2, tak v případě zadané průměrné spotřeby TČ (kompresoru) 500 W a zadané hodnoty COP rovné 3, dostaneme tepelný výkon 1,5 kW při spotřebě EE 500 W. Spotřeba TČ se v průběhu provozu a v závislosti na aktuálních teplotních parametrech může mírně lišit, ale pro potřeby simulace je uvažován zjednodušený model s konstantní spotřebou EE.

Na závěr je dodávaná energie do vody [W] přepočtena na odpovídající hodnoty energie v Joulech [J]. Při výpočtovém kroku 1 minuta a využití vztahu $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$ jsou výkonové hodnoty ohřivačů ve W násobeny hodnotou 60.

3.3.4 Spotřeba teplé vody (TV)

Vlastní spotřeba energie na přípravu teplé vody nezávisí pouze na odebraném množství teplé vody. Důležitými parametry jsou také teplota studené vody přiváděné vodovodním řadem, požadovaná teplota připravované teplé vody, resp. výstupní teplota na odběrném místě, tepelné ztráty systému přípravy teplé vody a spotřeba tepla svázaná s tepelnou desinfekcí rozvodů. [29]

Teplota přiváděné studené vody se v průběhu roku pohybuje mezi 8 – 12 °C. V simulaci bude uvažována konstantní teplota 10 °C. Teplota teplé vody na výstupu z ohřivače nemá být nižší než 55 °C (ČSN 06 03 20: zařízení pro ohřívání teplé vody má být navrženo a vybaveno tak, aby teplota teplé vody v místě odběru ve stavebních pro bydlení trvale dosahovala hodnot 50 – 55 °C). V době odběrové špičky je povoleno krátkodobé poklesnutí teploty vody až na 45 °C. [30] Toto jsou však návrhové hodnoty platné pro velkodávatele, avšak v praxi si lidé mohou vlastní ohřivač nastavit dle svého uvážení. Pro většinu činností obvykle postačuje teplota na výstupu kolem 40 °C. [29]

K určení tepelných ztrát je nejprve potřeba znát spotřebu teplé vody [l/os.den]. Standardně udávané hodnoty spotřeby teplé vody na osobu a den jsou v následující Tabulce 3-5:

Tabulka 3-5 Měrná denní potřeba teplé vody [29]

Standard	60 °C	45 °C
	l/os.den	
Nízký	10 až 20	15 až 30
Střední	20 až 40	30 až 60
Vysoký	40 až 80	60 až 120

Pro aplikaci denní potřeby teplé vody je dále potřeba vytvořit odběrový profil teplé vody. K vytvoření hodinového odběrového profilu teplé vody lze využít normy ČSN 06 0320 (1) nebo ČSN EN 15316-3 (2). [31]

Norma 1 stanovuje rozložení odběrového profilu teplé vody následovně:

- od 5 do 17 hodin = 35 % z celkového množství TV
- od 17 do 20 hodin = 50 % z celkového množství TV
- od 20 do 24 hodin = 15 % z celkového množství TV

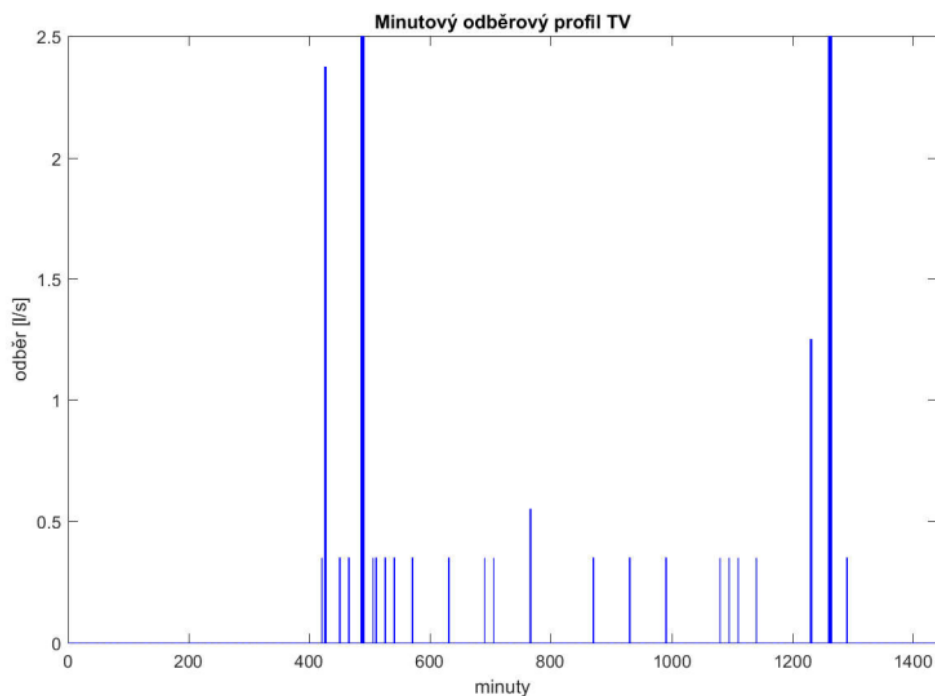
Norma 2 rozděluje odběr takto:

- od 6 do 9 hodin = 35 % z celkového množství TV
- od 9 do 19 hodin = 15 % z celkového množství TV
- od 19 do 22 hodin = 40 % z celkového množství TV
- od 22 do 24 hodin = 10 % z celkového množství TV

Zmíněné odběrové profily jsou všeobecně využívány při projektování potřeby teplé vody, ale hodinové hodnoty jsou v rámci tvořené simulace značně nepřesné. Požadavky vytvoření vhodného profilu spotřeby TV splňuje dokument MANDATE TO CEN 324 EN vydaný Evropskou komisí, který definuje několik cyklů odběru TV domácností pro přesně stanovený čas. V simulaci bude

využit cyklus simulující 24 jednotlivých odběrů TV v průběhu dne, kdy cyklování začíná v 7:00 a končí ve 21:30. [32]

Profil byl lehce upraven a jednotlivé odběry byly přizpůsobeny pro minutový krok. Malý odběr vody je simulován odtokem vody po dobu 1 minuty, odběr při sprše nebo mytí nádobí trvá 2 minuty a při koupání 5 minut. Výsledný profil byl konzultován s Ing. Bořivojem Šourkem, Ph.D. z Univerzitého centra energeticky efektivních budov (UCEEB). Tabulka s časovým rozložením odběrů viz. Příloha 2.



Graf 3-1 Minutový odběrový profil TV pro celkovou spotřebu 40l/os.den

Nyní když máme nadefinovány všechny potřebné parametry pro výpočet tepelných ztrát, můžeme uvést použité rovnice. Vzhledem k simulaci pouze zásobníku TV nejsou pro tepelné ztráty uvažovány ztráty v rozvodném potrubí. K výpočtu tepelných ztrát je třeba znát aktuální odběr TV. V simulaci je uvažován definovaný odběr pro 60 °C TV. Skutečný odběr je však závislý na aktuální teplotě TV v nádrži. Při teplotě nižší než 60 °C bude minutový odběr větší než definovaný a pro teplotu vyšší než 60 °C bude odběr logicky nižší. Výsledná teplota na výstupu např. z kohoutku je zajištěna smícháním TV se studenou. K výpočtu skutečného odběru je využita kalorimetrická rovnice.

$$Q_1 = Q_2 \quad (11)$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t) \quad (12)$$

$$m_1 = \frac{m_2 \cdot (t_2 - t)}{(t_1 - t)} \quad (13)$$

m_1skutečný průtok TV v l/min při aktuální teplotě

m_2průtok dle zadaného odběrového profilu pro TV o 60 °C

c_1 a c_2měrná tepelná kapacita vody 4 186 J/Kg.K

t_2teplota TV pro zadaný odběrový profil = 60 °C

t_1aktuální teplota TV v nádrži [°C]

tteplota studené vody = 10 °C

V případě odběru TV se začne nádrž automaticky doplňovat studenou vodou a dochází k poklesu teploty TV. Tepelné ztráty odběrem vody lze vyjádřit takto:

$$Q = c \cdot V \cdot (t_2 - t) \quad (14)$$

Q.....potřeba tepla pro přípravu TV v J/min

V.....objem nádrže v litrech

Dále je třeba vypočítat tepelné ztráty samotné nádrže. Tepelné ztráty nádrže ve W/den jsou zadány skrze zadávací formulář. Pro samostatné nádrže jsou ztráty zjišťovány při 65 °C, u TČ s integrovaným zásobníkem se tato teplota může lišit, a proto je zadávána zvlášť. Hodnota je zjistitelná z katalogu produktu. Tepelné ztráty pro zadanou teplotu je potřeba opět přepočítat na skutečnou teplotu TV v zásobníku.

$$Q_{z,nadrz} = Q_z \cdot \frac{t_1 - t_o}{t_z - t_o} \quad (15)$$

Q_{z,nadrz}.....tepelné ztráty nádrže pro aktuální teplotu TV [J]

Q_z.....zadané tepelné ztráty přepočtené na minutu a Joule

t_o.....teplota vzduchu v okolí nádrže [°C]

t_z.....teplota TV při zjištění tepelných ztrát [°C]

Jako poslední výpočet je proveden přepočet aktuální teploty TV s uvažováním rozdílu dodané energie z ohřivačů a ztracené energie tepelnými ztrátami. Pokud je hodnota kladná, teplota roste a opačně.

Do spotřeby energie na ohřev TV je možno zahrnout i desinfekci zásobníku kvůli šíření bakterie Legionella. Bakterie se množí v teplé vodě mezi 25 – 50 °C a poté je možné ji vdechnout například při sprchování. Jako prevence se může aplikovat periodická desinfekce vysokou dávkou chloru nebo periodické krátkodobé přehřívání TV na hodnotu nad 70 °C, kdy dojde k zahubení bakterií. Přehřívání zásobníku vody není v rámci simulace prováděno.

3.3.5 Spotřeba elektrické energie

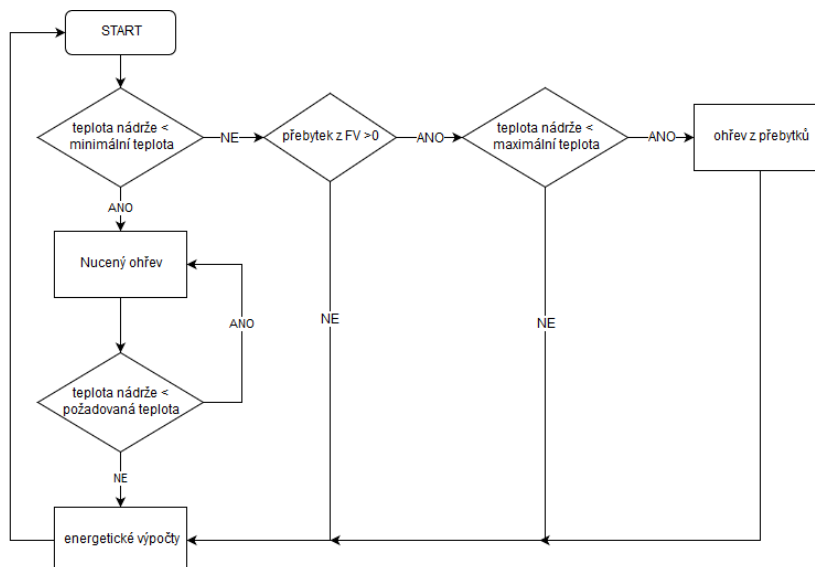
Celková spotřeba EE je dána předem definovaným profilem spotřeby EE (např. dle kapitoly 2.3) a dále spotřebou ohřivačů vody, která se mění v průběhu simulace podle požadavků na ohřev TV. Pokud se v zadávacím formuláři nedefinují pouze parametry vody, ostatní parametry a výkon topných komponent, získáme spotřebu EE na ohřev TV bez vlivu FVS. Bylo provedeno srovnání s hodnotou celoroční spotřeby elektřiny bojleru od společnosti Dražice o objemu 200 l, který má v katalogu uvedenou roční spotřebu EE 4 403 kWh. Po zadání parametrů co nejvíce totožných s údaji uvedenými v katalogu, vyhodnotila simulace spotřebu EE za rok jako 4 660 kWh, což je hodnota odlišná od katalogové o 6 %. Odchylka může být způsobena neuvedením přesných hodnot tepelných ztrát bojleru, ale pouze třídy energetické účinnosti („C“) a zátěžového profilu spotřeby TV „XL“. Z tohoto pohledu bych simulaci považoval za poměrně přesnou.

3.3.6 Popis řízení simulace, vývojové diagramy

Prvním krokem po zadání veškerých potřebných parametrů a dat skrze GUI dojde k načtení těchto dat do hlavní funkce „SIMULACE_spirala“ nebo „SIMULACE_tepelneCerpadlo“. Parametry, které jsou neměnné, jsou nadefinovány přímo v kódu funkce. Dojde k automatické úpravě vstupních dat na minutový krok (např. z 15minutového intervalu profilu EE).

Všechny výpočty probíhají v rámci jednoho hlavního cyklu, z kterého jsou volány ostatní pomocné funkce. Nejdříve je vypočtena aktuální produkce FV zdroje dle kapitoly 3.3.2. Poté se od vyrobené EE odečte spotřeba zadaná v profilu EE a dojde k vyhodnocení odběru z DS (záporná hodnota) nebo přebytku (kladná hodnota, dodávka do DS).

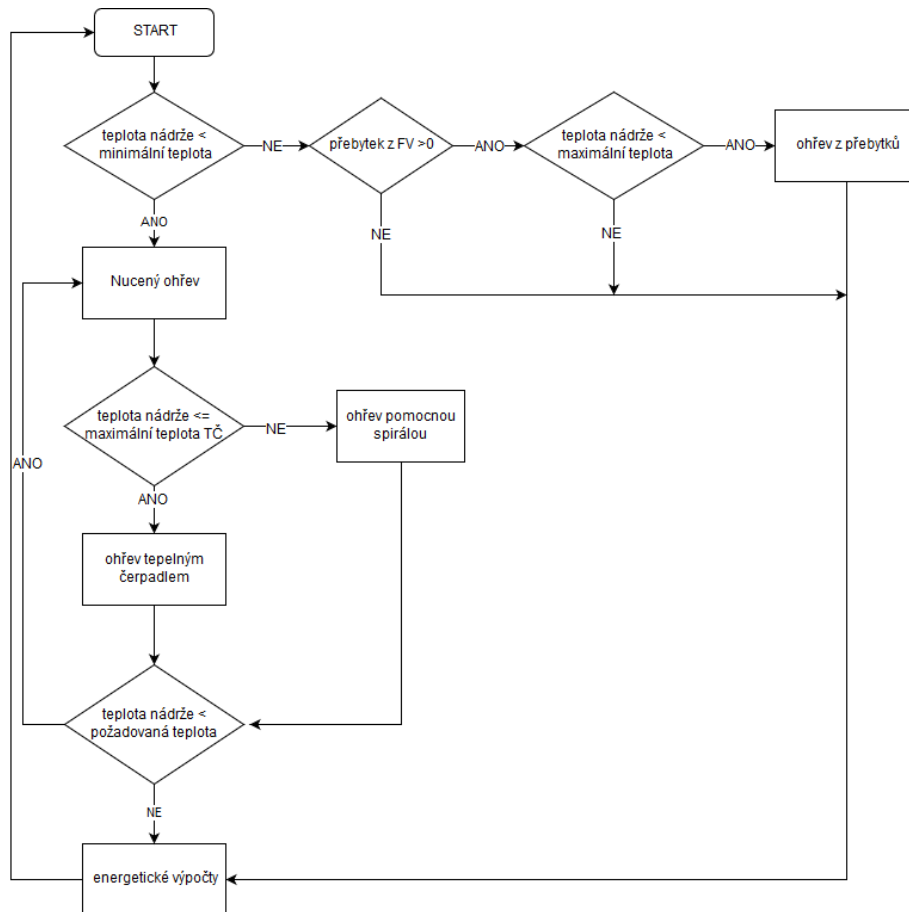
V následujících částech bude popsáno řízení ohřevu vody bez využití signálu HDO. Dalším krokem je vyhodnocení aktuální teploty vody v nádrži a určení, zda je potřeba sepnout nucený ohřev TV při poklesu pod zadanou minimální teplotu nebo zda je možné začít akumulovat přebytky EE do zásobníku TV. Základní přehled o vyhodnocovaných podmínkách poskytuje následující diagram (Obrázek 3-6) shodný jak pro ohřev el. spirálou, tak tepelným čerpadlem. Nucený ohřev znamená sepnutí ohříváče nezávisle na množství přebytků a dochází tedy k čerpání EE z DS. Pro nucený ohřev je uvažována také teplotní hystereze. Velikost hystereze je dána rozdílem minimální a požadované teploty vody. Jakmile teplota vody poklesne pod minimální hodnotu, sepne nucený ohřev, který vypne až po dosažení požadované teploty. Jestliže se teplota pohybuje mezi minimální a požadovanou teplotou bez poklesu pod minimální hodnotu, nucený ohřev nesezne. V momentě, kdy dojde k náhlému většímu odběru teplé vody, může teplota rychle poklesnout a došlo by tak k teplotnímu diskomfortu z důvodu nedostatečně nabitého zásobníku. Z tohoto důvodu je potřeba nastavit rozumnou hranici, aby k daným stavům nedocházelo příliš často, viz. kapitola 3.3.4.



Obrázek 3-6 Diagram ohřevu TV, bez HDO

V simulaci bez tepelného čerpadla jsou uvažovány 2 topné elektrické spirály. Jedna slouží primárně k nucenému ohřevu TV při poklesu pod minimální teplotu (spirála 1) a druhá k umoření přebytků z FV zdroje (spirála 2). Pokud dojde k vyhodnocení nuceného ohřevu, sepne spirála 1 na plný výkon a nezávisle na FV zdroji odebírá v případě potřeby EE z DS. Může nastat stav, kdy je sepnut nucený ohřev a současně FV zdroj začne generovat přebytky. Přebytky jsou primárně využity ke snížení odběru z DS (odběr spirály 1) a pokud je dostatek přebytečné EE na pokrytí spotřeby spirály 1, začnou se přebytky využívat i spirálou 2 (FV spirála). Pokud není vyhodnocena podmínka nuceného ohřevu a jsou generovány přebytky EE, jsou využity pouze spirálou 2 a spirála 1 zůstává nečinná. V případě potřeby umoření většího množství přebytků je možné zvolit (instalovat) FV spirálu s větším výkonem.

Řízení s tepelným čerpadlem je složitější než pouze s elektrickou spirálou. Na dalším diagramu (Obrázek 3-7) bude schéma základního řízení a schéma využití přebytků bude zobrazeno na samostatném diagramu (Obrázek 3-8).

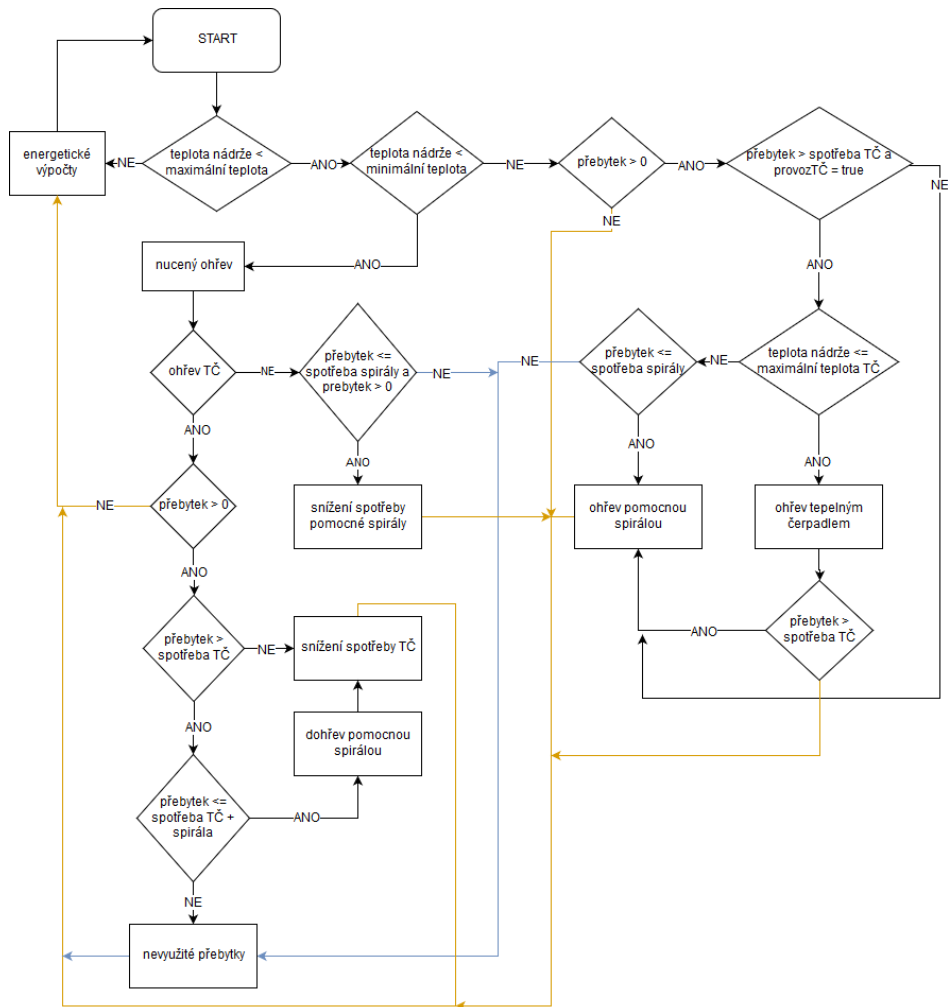


Obrázek 3-7 Diagram ohřevu TV s tepelným čerpadlem, bez HDO

Z diagramu je patrné, že nucený ohřev je prováděn především tepelným čerpadlem. Pokud nastane situace, že maximální teplota výstupní vody TČ bude nižší než nastavená požadovaná teplota TV, bude tepelné čerpadlo ohřívat vodu do svého maxima a následně se ohřev přepne na pomocnou topnou spirálu. TČ bude vypnuto, aby nedošlo k jeho poškození zvýšenou teplotou vratné vody.

Další diagram se týká využití přebytků a jejich rozdělení mezi TČ a topnou spirálu. Při nuceném ohřevu jsou přebytky využity nejdříve na snížení spotřeby TČ a poté spíná i pomocná topná spirála. V případě, že je při nuceném ohřevu sepnuta pomocná spirála, sníží se odběr u ní.

Jednou z podmínek pro běh TČ při ohřevu z přebytků a vypnutém nuceném ohřevu je dostatečné množství přebytků na jeho sepnutí po dobu 5ti předešlých minut. Tím je zabráněno častému spínání při proměnlivé výrobě FV zdroje. Jako příklad poslouží situace, kdy FV zdroj začne vyrábět a po dobu 3 minut generuje dostatek energie pro běh TČ. Ve 4 minutě však dojde ke snížení přebytku dostačujícího na provoz TČ (např. kvůli zastínění mrakem nebo zvýšenému odběru uživatelské EE) a TČ by vyplo. Za další 2 minuty by však opět sepnulo a takovýmto cyklováním provozu by docházelo k nadměrné zátěži kompresoru a snižování jeho životnosti. Popsaná podmínka je v diagramu označena jako „provozTČ = true“. Při splnění těchto požadavků sepne TČ z přebytků a vše co přesahuje spotřebu TČ je následně využito v pomocné spirále (do jejího maximálního výkonu). V opačném případě, tedy nesplnění podmínek pro běh TČ, jsou přebytky využívány pouze pomocnou spirálou. Topný faktor COP tepelného čerpadla je závislý na aktuální teplotě TV vody v nádrži. Provoz TČ nad požadovanou teplotou je počítán se sníženým COP (o 10 %). Při překročení maximální teploty TČ dojde k jeho vypnutí, aby se zabránilo poruše. S teplotami do požadované teploty TV je TČ v provozu s topným faktorem zadaným skrze formulář.



Obrázek 3-8 Diagram využití přebytků při provozu tepelného čerpadla, bez HDO

Jediným rozdílem při řízení ohřevu se signálem HDO je vyhodnocení dodatečné podmínky nízkého tarifu v rámci nuceného ohřevu. Jestliže bude vyhodnoceno, že nastal čas nízkého tarifu, nucený ohřev sepne. V opačném případě bude ohřev vypnutý (zajištění požadavku dvou tarifní sazby) i při poklesu pod minimální nastavenou teplotu.

3.3.7 Srovnání s komerčními produkty

Základním popudem k vytvoření vlastního simulačního nástroje byla možnost plné kontroly nad výpočtem a možnost změny, jak je daná simulace na pozadí vyhodnocována. To v případě využívání již hotového software není možné. Ačkoliv je ke každému programu poskytována dokumentace (návod), většinou nejsou popsány jednotlivé výpočetní kroky (pokud se nejedná o opensource) a uživatel se musí spokojit s tím co program umí. Na trhu se simulačním software pro fotovoltaiku příliš komplexních programů není. Mezi nejrozšířenější patří PV*SOL, PVsyst nebo HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources). V neposlední řadě byl v polovině roku 2016 vydán ryze český software spadající do programové skupiny DEKSOFT, jehož název je FVE (Fotovoltaika). Program FVE se používá výhradně přes internetový prohlížeč, ostatní zmíněné programy se instalují na počítač. Všechny programy umožňují časově omezené vyzkoušení plné verze.

Programy PV*SOL a PVsyst poskytují podrobnou simulaci systému jak ongrid, tak offgrid (ostrovní systém nepřipojený do DS). Mají vlastní databázi fotovoltaických produktů (FV panely, střídače, baterie...) a umožňují podrobné nastavení orientace panelů (včetně zastínění), nadefinování ztrát celého systému a načtení klimatických dat pro zvolenou lokalitu. Nevýhodou především pro

potřeby zvoleného tématu DP je absence možnosti využití přebytků pro přípravu TV, takže simulace je možno provést pouze v kombinaci s bateriemi.

Na podobném principu funguje i program HOMER. Ten však na rozdíl od předešlých 2 programů umožňuje simulaci i jiných obnovitelných zdrojů EE (větrná a vodní energie). Současně je možné vyhodnotit i ekonomické aspekty zadané simulace, kdy je započítána cena nákupu EE z DS, údržba systému, provozní náklady a vstupní investiční náklady. Lze nastavit ceny vysokého a nízkého tarifu nebo kolik energie je možné maximálně odebrat z DS. Lze simulovat i ohřev vody, ale značným omezením je nemožnost čistě elektrického ohřevu. Je nutné nejdříve nastavit ohřivač např. na plyn a až poté lze připojit elektrický ohřivač vody z přebytků elektrické energie. Z uvedeného důvodu je tedy i pro možnost srovnání program nevhodný.

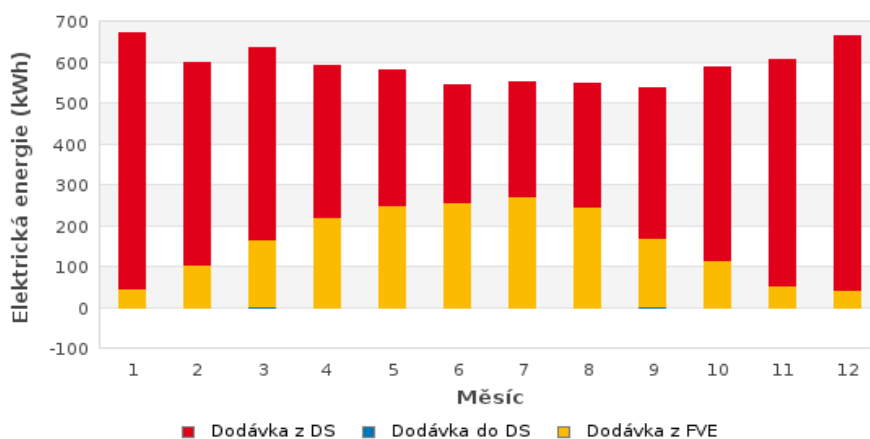
Nakonec se tedy dostáváme k českému programu FVE. Kromě možnosti ukládání přebytků do baterií jako jediný provádí kompletní simulaci využívání přebytků pro ohřev teplé vody. Je zde možnost volby přednastavených profilů odběru vody podle norem (viz. kapitola 3.3.4), vytvoření vlastního odběrového profilu nebo načtení profilu ze souboru csv. Dále je možnost volby ohřevu teplé vody ve dvou samostatných zásobnících (předehřev z FV a dohřívání z DS) nebo v jednom stratifikačním zásobníku. Zásobník je simulován třemi samostatnými vrstvami, kde dochází k různému přestupu tepla. Především v tomto bodě bude docházet k rozdílům energetických veličin v porovnání s vlastní vytvořenou simulací. Dalším rozdílem je možnost nadefinování výšky topné spirály v zásobníku (FV spirála zvlášť a spirála pro udržování minimální teploty zvlášť). Výpočtový krok simulace je nastaven na 10 minut. Bylo provedeno srovnání výsledků vlastní simulace a simulace programu FVE pro tyto zadané parametry:

- Instalovaný výkon FV 2 kWp (orientace na jih, sklon 35°, Praha) a účinnost střídače 95,1 %
- Roční spotřeba EE 3,5 MWh, profil dle TDD4
- Spotřeba vody 40 l/os a den, 4 osoby, profil dle kapitoly 3.3.4 norma 1
- 200 l zásobník, výkon FV spirály 2 kW, výkon síťové spirály 2 kW, ztráty 1,7 kWh
- Minimální a požadovaná teplota 55 °C, maximální 85 °C

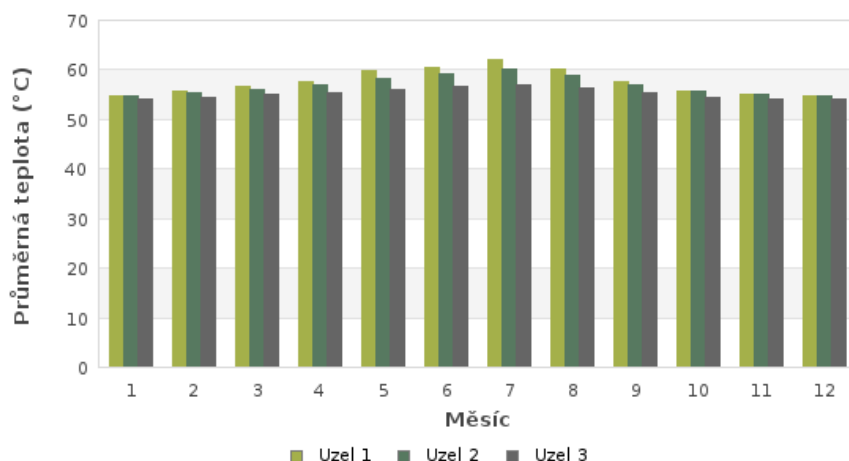
Výsledky simulací jsou na následujících Obrázcích 3-9, 3-10 a Grafech 3-2 a 3-3.

Výsledky výpočtu		
Celková roční spotřeba TV	58,4	m ³
Celková spotřeba elektrické energie	7 107,5	kWh
Celková využitelná produkce elektrické energie z FVE v budově	1 937,1	kWh
Celková produkce elektrické energie dodaná do distribuční soustavy	0,0	kWh
Celkové množství elektrické energie dodané z distribuční soustavy	5 170,4	kWh
Procento využití celkové produkce FVE pro krytí spotřeby v budově	100,0	%
Procento pokrytí vlastní spotřeby pomocí FVE	27,3	%

Obrázek 3-9 Číselné výsledky energetických hodnot programu FVE



Graf 3-2 Grafické znázornění energetických toků z programu FVE



Graf 3-3 Graf průměrné teploty vody v nádrži z programu FVE

Vyhodnocená data z vlastní simulace:



Obrázek 3-10 Výsledky simulace vlastního nástroje pro zadané parametry, bez HDO

Rozdíly ve vyhodnocených výsledcích jsou dány rozdílnými, a především asi také přesnějšími metodami výpočtu a modelu zásobníku použitých programem *FVE*. Výpočet výkonu FV generátoru je v programu *FVE* počítán z katalogových hodnot konkrétního typu FV panelu, kdežto ve vlastní simulaci je využíván model s experimentálně zjištěnými koeficienty. Meteorologická data vycházejí z rozdílných databází (IWEC pro *FVE*, GEBA pro *Meteonorm*). V neposlední řadě jsou výsledky ovlivněny i rozdílným krokem výpočtu, kde *FVE* využívá 10minutový krok a vlastní simulace 1minutový krok, který by měl teoreticky poskytovat přesnější hodnoty energetické bilance. Všechny tyto rozdíly se projeví ve výsledné energetické bilanci obou simulací. Pro zajištění totožně zadaných

parametrů simulace byla z vlastní simulace vypuštěna hystereze mezi minimální a požadovanou teplotou vody (v simulaci *FVE* není tento parametr uvažován). Hodnota indexu soběstačnosti, která odpovídá kolonce procento pokrytí vlastní spotřeby FVE se v absolutních číslech liší zhruba o 10,8 %. Rozdíl odběru z DS je 7,7 %, celková spotřeba se liší o 4 % a využitelná produkce z FV o 7,1 %.

Na závěr bylo provedeno porovnání s online nástrojem PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) [26], který slouží k odhadu vyrobené EE z FV systému pro zadanou lokalitu. Výsledný rozdíl ve vyrobené EE byl 3,5 %. Výpočetní model použitý ve vlastní simulaci vychází z modelu nástroje PVGIS a odlišnosti ve výsledku jsou pravděpodobně způsobeny použitím jiných koeficientů nebo klimatických dat. Především zdroj klimatických dat má na výsledky simulace značný vliv, protože vyhodnocená data různých klimatických databází se mohou lišit až o 10 %. [45]

S přihlédnutím k výše zmíněným faktům týkajících se přesnosti vyhodnocení lze výsledky vlastní simulace považovat za poměrně vhodné a použitelné v dalších výpočtech.

4 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Ve čtvrté kapitole bude již proveden samostatný návrh konkrétního FVS, k jehož výpočtu se využije vytvořený simulační nástroj. Cílem bude systém navrhnout tak, aby došlo k co největšímu využití vyrobené EE a současně byly splněny podmínky dotačního programu Nová zelená úsporám. Podmínky využití dotace při tepelném využívání přebytků EE (akumulace do vody, kategorie C.3.4.) jsou stanoveny následovně:

Tabulka 4-1 Požadavky pro splnění dotačního programu NZÚ, kategorie C.3.4. (* minimální možný objem akumulací nádrže)

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.4
Celkový využitelný energetický zisk ze systému	Q [kWh.rok ⁻¹]	≥ 1 700
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	Povinná
Minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulací nádrže	[l.kW _p ⁻¹]	80/120 l*
Akumulace přebytků energie do akumulátorů	-	Možná
Minimální měrná kapacita akumulátorů	[kWh.kW _p ⁻¹]	-

*Pokud bude výpočtem dokázáno, že pro splnění podmínek postačuje 120 l zásobník

V případě splnění těchto podmínek je možné ihned při realizaci projektu získat jednorázovou dotaci ve výši 55 000 Kč. Více o dotačním programu NZÚ v [8].

4.1 Výchozí parametry návrhu

Výchozí návrh bude sloužit k dalšímu porovnání variant s akumulací energie do vody a současně k předběžnému určení požadovaného výkonu FV zdroje. V následujícím návrhu budeme uvažovat, že jsme 4členná rodina žijící v rodinném domě (RD) ve městě Buštěhrad, okres Kladno. Na začátek je potřeba stanovit celkovou roční spotřebu EE uvažovaného RD. K tomu nám s výhodou poslouží Profil 1 definovaný v kapitole 2.3., jenž budeme považovat za skutečný profil našeho domu. Celková roční spotřeba EE zvoleného profilu je 3 296 kWh. Dále budeme předpokládat, že RD je vybaven standardním elektrickým bojlerem s jednou topnou spirálou pro přípravu teplé vody. Spotřeba bojleru bude vypočtena s využitím simulačního nástroje. Parametry bojleru a ohřevu jsou [34]:

Tabulka 4-2 Výchozí parametry návrhu pro ohřev vody bojlerem (hystereze 3 K)

Parametr	Hodnota	Jednotka
Objem nádrže	200	l
Výkon topné spirály	2000	kW
Tepelné ztráty	2800	Wh/den
Spotřeba teplé vody	40	l/os.den
Požadovaná teplota vody	55	°C
Minimální teplota vody	52	°C

Využíváním elektřiny pro akumulací ohřev teplé vody máme možnost požádat o provoz s dvou tarifní sazbou. Pro zvolenou lokalitu je distributorem ČEZ distribuce a časy spínání NT pro rok 2017 jsou stanoveny od 00:00 do 06:00 a od 19:00 do 21:00 každý den (varianta AKU8V1), v ostatní časy

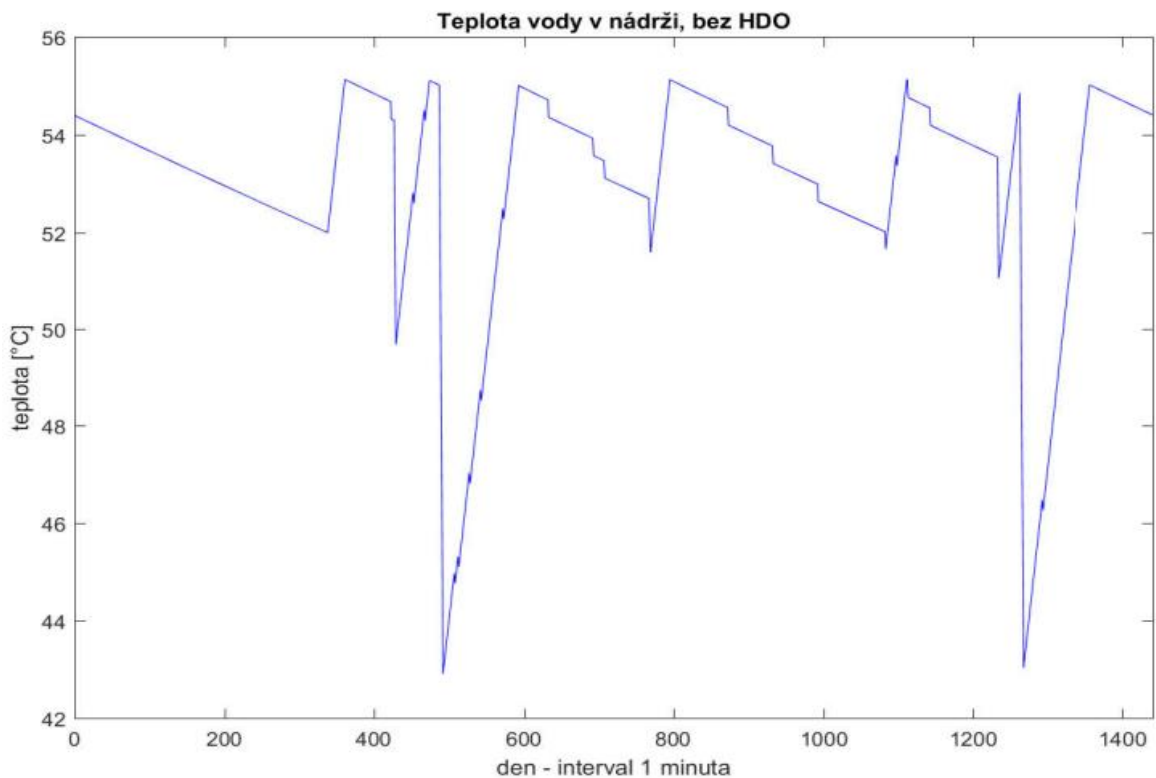
je odběr ve VT. [36][37]

Nyní provedeme srovnání ohřevu vody s připojením na HDO a využitím dvou tarifní sazby a ohřev bez řízení signálem HDO. Výchozí Profil 1 je osazen jističem o hodnotě 3x16 A a sazbou D01. Jelikož jsme přidali i ohřev vody, zvýšíme hodnotu jističe na 3x25A a přejdeme na sazbu D02, která je určena pro větší domácí odběratele než původní sazba (nižší sazba za kWh). Pro zhodnocení celkových ročních nákladů na odběr elektrické energie využijeme oficiální cenový kalkulátor ERÚ. [38] V případě systému HDO budeme využívat produkt D-Akumulace 8 – Comfort se sazbou D25d (dvou tarifní), pro systém bez HDO se bude jednat o produkt D-Standard – Comfort a zmíněnou sazbu D02d.

Spotřeba bojleru se zadanými parametry, teplotou místnosti 15 °C a bez řízení HDO byla simulací vyhodnocena jako 4 267 kWh/rok. Celková roční spotřeba EE RD je tedy 7 563 kWh. Počáteční teplota simulace byla nastavena na 15 °C čehož je možné dosáhnout po napuštění bojleru a vyčkání na vyrovnání teploty s okolní teplotou bojleru. Nízkou počáteční teplotou je současně simulován první ohřev bojleru, který je většinou nejdelší a může trvat v závislosti na objemu bojleru až 10 hodin. Na Obrázku 4-1 vidíme průběh odběru elektriny, a především průměrnou teplotu jejíž hodnota je 53 °C. Co nás ale momentálně zajímá především z pohledu tepelného komfortu, je Graf 4-1. Na tomto grafu je průběh teploty v nádrži během jednoho dne. I v největších odběrových špičkách dosahuje minimální teplota teplé vody v nádrži hranice 43 °C, což dle kapitoly 3.3.4 plně postačuje k zajištění tepelného komfortu většiny odběrů teplé vody. Současně je zajištěn ekonomický provoz bojleru bez nutnosti ohřívání vody na vyšší teplotu. Během dne dojde celkem k 7 sepnutí nuceného ohřevu. V intervalu 0 – 380 minut pomalu dochází k chladnutí vody vlivem tepelných ztrát až do poklesu pod minimální hodnotu, kdy sepne nucený ohřev.



Obrázek 4-1 Výsledky simulace výchozího návrhu pro ohřev bez řízení se signálem HDO

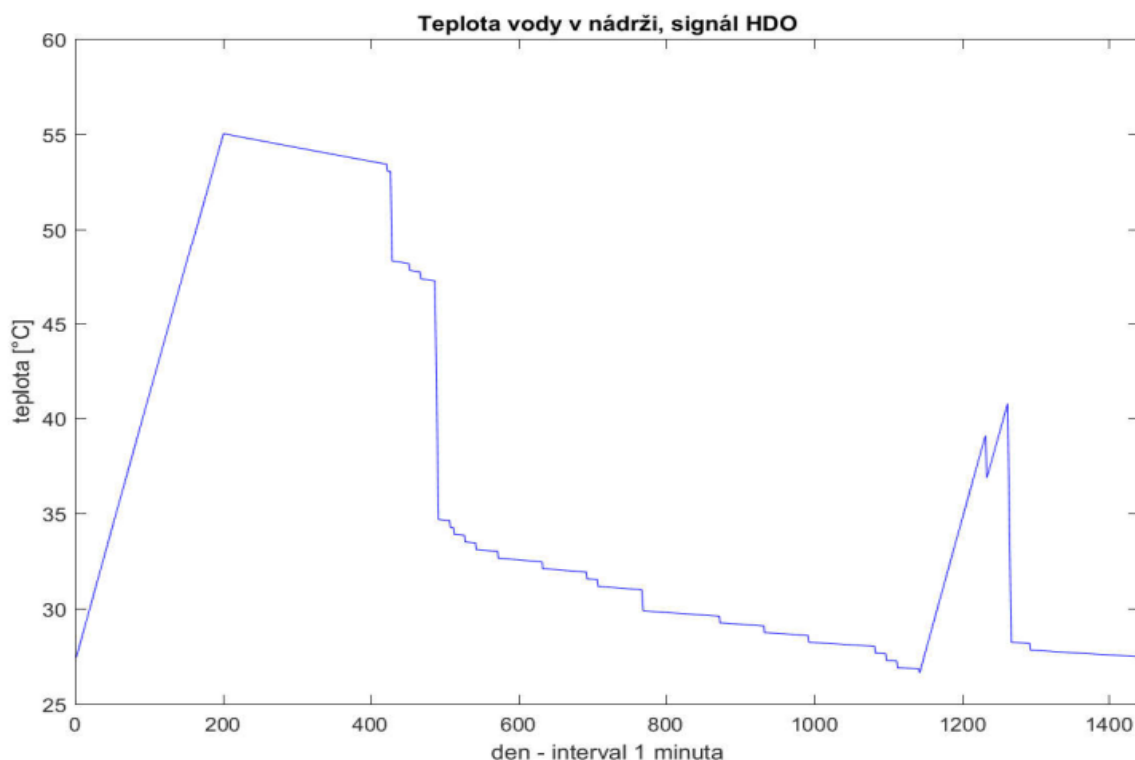


Graf 4-1 Celodenní průběh teploty v bojleru dle výchozích parametrů zadání, bez HDO

Na dalším Obrázku 4-2 můžeme vidět vyhodnocenou simulaci pro výchozí návrh, ale tentokrát se signálem HDO dle definovaných časů.



Obrázek 4-2 Výsledky simulace výchozího návrhu pro ohřev se signálem HDO



Graf 4-2 Celodenní průběh teploty v bojleru dle výchozích parametrů zadání, řízení HDO

Hned na první pohled je patrný rozdíl. Spotřeba EE z DS na ohřev vody je 3 884 kWh a tím pádem je i celková spotřeba nižší. V nízkém tarifu bylo spotřebováno 4 726 kWh a ve vysokém tarifu 2 454 kWh. Další zásadní rozdíl je v dosažené průměrné teplotě. Ta je pouze 36 °C. Je to způsobeno právě blokací ohřevu v čase VT. Na Grafu 4-2 vidíme, že v době špičky dojde k poklesu teploty až na 26 °C, což v podstatě znamená, že ve špičkách čerpáme pouze vlažnou vodu přímo z bojleru. Pro dosažení alespoň základního tepelného komfortu by bylo potřeba nastavit vyšší požadovanou teplotu na hodnotu 65 – 70 °C, případně použít nádrž s větším objemem nebo kombinaci obojího. Daný stav však současně povede k větším tepelným ztrátám a větší spotřebě EE. Stálá vysoká teplota pohybující se mezi 65 – 70 °C může vést ke zvýšené korozi a rychlejší degradaci bojleru.

Nespornou výhodou systému s řízením HDO je však nižší platba za elektřinu. Porovnání nákladů spojených s nákupem elektřiny je v následující Tabulce 4-3:

Tabulka 4-3 Roční náklady na odběr elektřiny. (*sazba za jistič, cena za činnosti zúčtování OTE, pevná cena za měsíc)

Náklady na odběr elektřiny - výchozí stav						
Položka	Výchozí návrh s HDO			Výchozí návrh bez HDO		
	Počet jednotek	Cena za jednotku [Kč]	Celkem	Počet jednotek	Cena za jednotku [Kč]	Celkem
Spotřeba EE v NT [kWh]	4 726	1,9	8 979,40	-	-	-
Spotřeba EE ve VT [kWh]	2 454	4,54	11 141,16	7 563	4,01	30 327,63
Stálá měsíční platba*	12	223,7	2 684,40	12	185	2 220,00
Suma			22 804,96			32 547,63

Výsledný rozdíl v ročních nákladech za odběr elektřiny z DS činí 9 743 Kč. V tomto ohledu je dvou tarifní sazba se systémem HDO jednoznačně výhodnější varianta. Přesunutím využívání některých spotřebičů do času NT by bylo možné dosáhnout další úspory. Bohužel nižší náklady jsou vykoupeny výrazným omezením ve využívání teplé vody a současný bojler je z tohoto pohledu pro definovanou odběrovou zátěž nevyhovující. Náplní práce však není optimalizovat ohřev teplé vody pro dvou tarifní sazbu, ale navrhnout vhodnou variantu akumulací nádrže se zaměřením na dostatečný potenciál pro uložení tepelných přebytků z FVS (možný zvýšený tepelný komfort budiž příjemným bonusem). Výše ukázané srovnání systému s HDO a bez HDO mělo sloužit jako upřesnění možností dvou tarifní sazby a požadavků s tím spojených. Varianta s HDO se určitě především z pohledu ekonomického jeví jako zajímavá, ale pro zvolené požadavky na odběr teplé vody poněkud problémová a vyžadující hlubší zaměření na danou problematiku. V navazujících částech práce tedy systém s řízením ohřevu vody přes HDO nebudeme uvažovat. Za výchozí stav pro další výpočty stanovme variantu bez HDO. Souhrn výsledných parametrů používaných dále je v následující tabulce:

Tabulka 4-4 Výsledné hodnoty výchozího návrhu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Celková roční spotřeba EE	7 563	kWh
Roční spotřeba EE na ohřev vody	4 267	kWh
Sazba D02	4,01	Kč
Roční náklady na odběr EE	32 547	Kč

4.1.1 Výkon FV zdroje

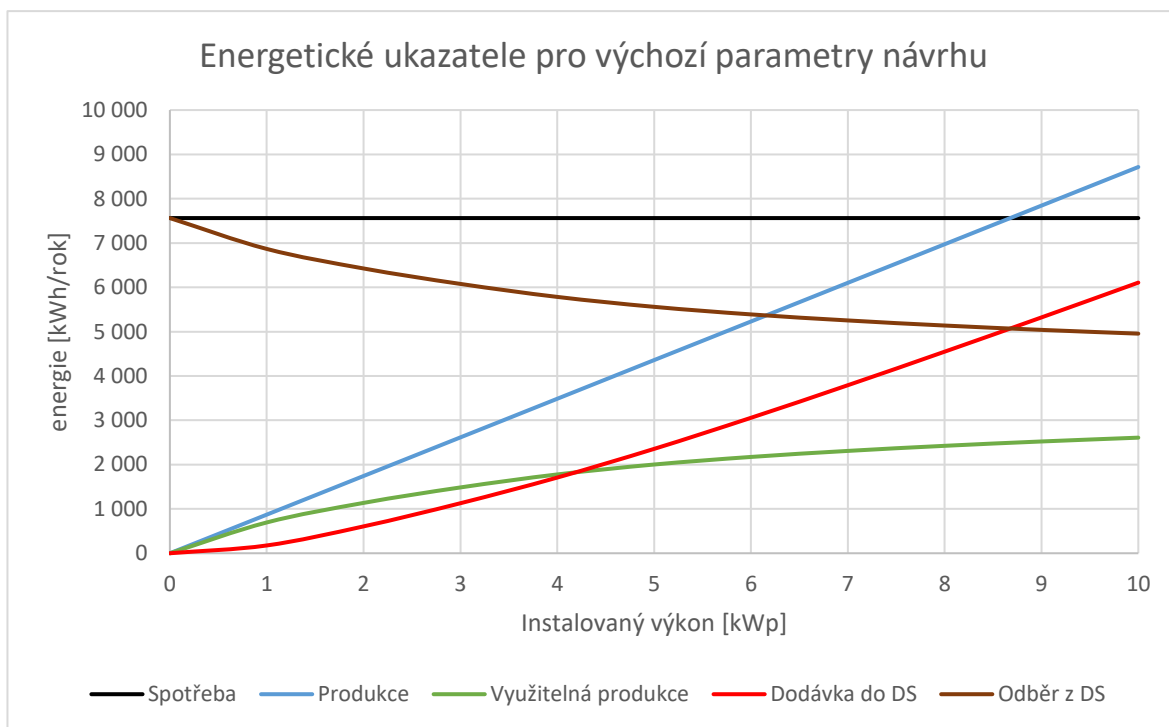
Dalším krokem bude určení optimálního výkonu FV zdroje pro definovanou spotřebu. Cílem je optimalizace FV zdroje, tak aby produkce kryla co největší část spotřeby RD a současně jsme dodávali co nejméně do DS. Pro systémy bez akumulace přebytků je tedy určení velikosti instalovaného výkonu FV zdroje zásadní. Pro lepší představu o změně jednotlivých energetických ukazatelů definovaných v kapitole 3.3.1 v závislosti na rostoucím instalovaném výkonu FV zdroje nám poslouží Graf 4-3. K vyhodnocení veličin uvedených v grafu je nejprve potřeba nadefinovat parametry FV zdroje, které jsou uvedeny v Tabulce 4-5. Optimální sklon a orientace FV panelů pro Buštěhrad byla vyhodnocena s využitím online nástroje PVGIS. Vstupní data osvitů a teploty byla získána z programu Meteonorm 7, který pro vybranou oblast Buštěhradu provedl interpolaci dat z několika nejbližších meteorostanic (např. Letiště Václava Havla). Maximální instalovaný výkon byl zvolen 10 kWp z důvodu splnění podmínek NZÚ.

Tabulka 4-5 Výchozí parametry FV systému

Parametr	Hodnota	Jednotka
Výkon FV	1 až 10	kW
Sklon FV	32	°
Orientace FV	0 (jih)	°
Technologie FV	c-Si	-
Účinnost střídače	96	%
Ztráty v rozvodech	3	%

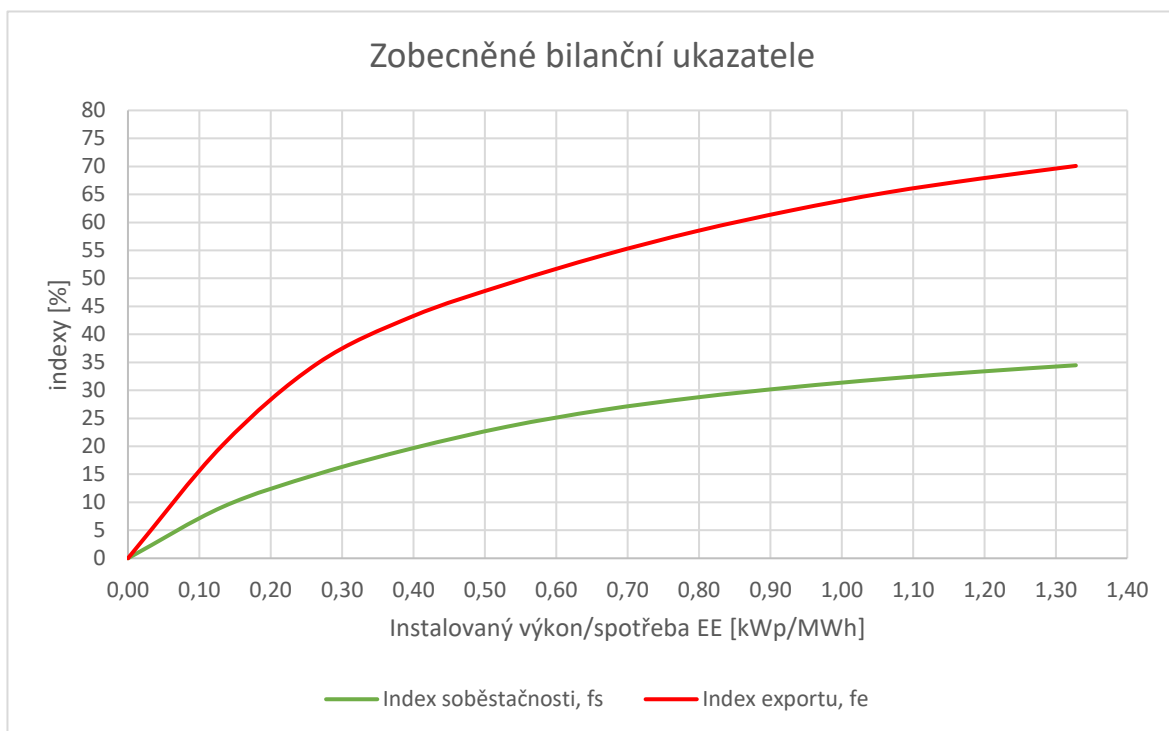
Popišme si nyní průběhy ve zmiňovaném Grafu 4-3. Je patrné, že spotřeba EE (černá čára) je nezávislá na instalovaném výkonu FV zdroje a je tedy konstantní. Veškerou vyrobenou produkci je možné využít (zelená čára) skutečně jen při malých instalovaných výkonech, v tomto případě 70 Wp. Pokud bychom využili statistický profil TDD4 byla by hranice 400 Wp (zde vidíme vliv průměrování profilů spotřeby EE). Zhruba od 5 kWp je růst využitelné produkce velice pozvolný. Dodávka do DS

logicky s instalovaným výkonem roste a odběr zase klesá. Odběr však zhruba od 4 kWp klesá pozvolněji. Tento průběh je doplňkem využitelné produkce a jejich součet pro daný instalovaný výkon dá celkovou spotřebu elektrické energie.



Graf 4-3 Energetické veličiny v závislosti na instalovaném výkonu FV zdroje, parametry dle Tab. 4-5

V dalším postupu provedeme zobecnění výsledků Grafu 4-3 a energetické veličiny nahradíme bilančními ukazateli, konkrétně tedy indexem soběstačnosti a indexem exportu. Dalším zobecněním bude vydělení instalovaného výkonu [kWp] celkovou spotřebou EE [MWh]. Touto úpravou obdržíme průběhy zobrazené na Grafu 4-4.



Graf 4-4 Bilanční ukazatele v závislosti na poměru instalovaného výkonu a roční spotřeby RD

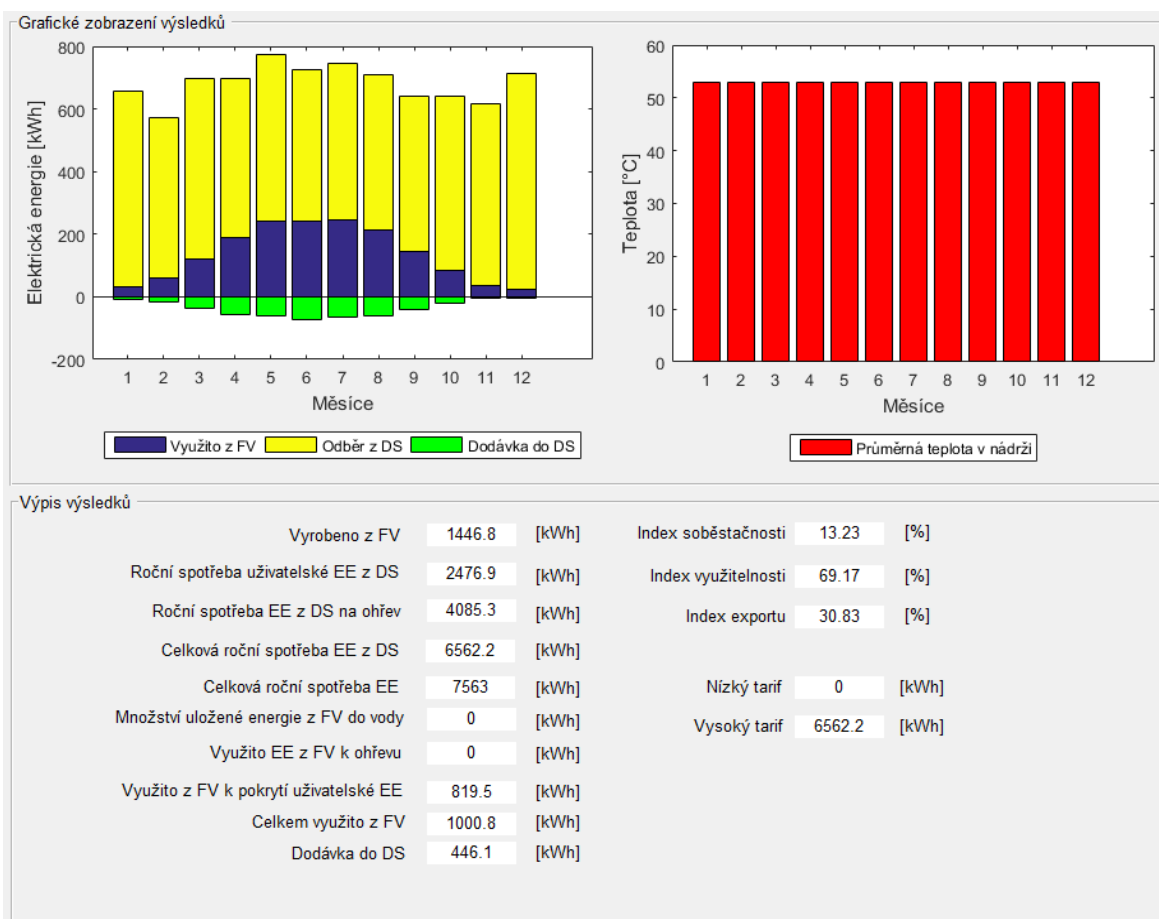
Nyní vytvořený Graf 4-4 využijeme k návrhu FV zdroje pro modelový rodinný dům. Nejdříve si stanovíme, že do distribuční sítě nechceme dodávat více jak 30 % vyrobené energie a tedy alespoň 70 % využít pro vlastní spotřebu. Index exportu (f_e) protíná limit 30 % (osa y) v hodnotě osy x = 0,22. Instalovaný výkon následně vypočteme jako

$$P_{inst} = 0,22 \cdot \text{spotřeba} = 0,22 \cdot 7,563 = 1,66 \text{ [kWp]} \quad (16)$$

Zvolenému exportnímu limitu tedy odpovídá instalovaný výkon 1,66 kWp. Dále je vhodné vědět do jaké míry bude navržený zdroj schopen pokrýt spotřebu domu. Index soběstačnosti protíná hodnotu osy x 0,22 na hodnotě $f_s = 13 \%$. To představuje využitelnou produkci dle (2)

$$\text{využ. produkce} = f_s \cdot \text{spotřeba} = 0,13 \cdot 7,563 = 0,98 \text{ [MWh]} \quad (17)$$

Zadáním zjištěného instalovaného výkonu FV zdroje do simulačního nástroje dostaneme skutečně index soběstačnosti f_s o hodnotě 13,23 % a využitelnou produkci FV 1,0 MWh. Bohužel pro splnění dotačního programu NZÚ je potřeba využít alespoň 1,7 MWh/rok, čehož s aktuálním výkonem není možné dosáhnout ani s akumulací, protože po započítání veškerých ztrát je celková výroba FV zdroje 1,45 MWh/rok. Výkon bude tudíž potřeba ještě optimalizovat. Konkrétní návrh včetně akumulačních prvků provedeme v další podkapitole.



Obrázek 4-3 Výsledky simulace pro vypočítaný instalovaný výkon 1,7 kWp, bez akumulace

Rozdíl celkové využití energie z FV a využití energie k pokrytí uživatelské EE je energie využitá ke snížení odběru ohřevu z DS. Tato spotřeba není standardně zahrnuta v uživatelské spotřebě, ale v ostatní pomocné spotřebě energie.

4.2 Optimalizace výchozího návrhu FV zdroje s využitím akumulčních prvků

V předešlé části jsme si ukázali, jakým způsobem můžeme určit vhodný instalovaný výkon FV zdroje, tak aby splňoval naše požadavky ohledně využití vyrobené elektrické energie. Nyní již provedeme optimalizaci návrhu pro zajištění dostatečné vlastní spotřeby a současně pro splnění dotačních podmínek programu NZÚ.

Cílem není navrhnout takový systém, kterým pokryjeme většinu spotřeby EE, ale najít kompromis mezi vhodným výkonem FV zdroje, souvisejícími investičními náklady a dostatečnou vlastní spotřebou. V rámci simulačního nástroje nám míru vlastní spotřeby udává index využitelnosti. Pro začátek si stanovme, že budeme spokojeni při dosažení indexu využitelnosti co nejbližší 100 % a současně tedy do DS nedodáme při troše štěstí žádnou vyrobenou EE. Počítáme s připojením FVS do DS, kdy připojení do DS bude provedeno standardním režimem (možnost přetoků do DS). Avšak právě z důvodu minimálních výkupních cen (do 0,5 Kč/kWh) navrhne FVS tak, aby pokud možno k žádným přetokům nedocházelo.

Se zaměřením na kategorii podpory C.3.4. je potřeba pro využití přebytků instalovat akumulční nádrž. Ačkoliv ve výchozím stavu již nádrž máme, její využití pro akumulaci přebytků se zdá být nevhodné, protože neumožňuje instalaci dodatečné topné spirály, a především má na svůj objem poměrně vysoké tepelné ztráty. V závislosti na zvoleném instalovaném výkonu proto vybereme vhodný objem nové nádrže. Provedeme návrh dvou variant, Varianta 1 s akumulční nádrží a 2 elektrickými topnými tělesy a Varianta 2 s akumulční nádrží a integrovaným tepelným čerpadlem určeným pro ohřev teplé vody. U varianty 1 je oproti výchozímu stavu předpoklad nižší spotřeby EE na ohřev především kvůli menším tepelným ztrátám. Varianta 2 by měla být díky principu tepelného čerpadla taktéž úspornější na spotřebu EE, a to dle prospektů jednotlivých výrobců až o 75 %. Současně v obou variantách očekáváme úspory na energii díky FV zdroji. Na závěr kapitoly provedeme ekonomické srovnání obou navržených variant a zhodnotíme jejich výhody/nevýhody.

4.2.1 Určení výkonu a výběr technologií

Pro určení optimálního výkonu je potřeba zvolit také vhodný sklon a orientaci. Potřebný sklon a orientaci pro vybranou oblast máme již zjištěnou z výchozího návrhu. Zvolený sklon je 32° s orientací na jih (azimut). S těmito parametry nyní budeme hledat potřebný výkon, tak abychom splnili požadavek alespoň 1 700 kWh/rok využití energie a současně nedodali žádné nebo minimum přebytků do DS. Postup zjištění výkonu uvedený v předešlé podkapitole je sice vhodný pro předběžný odhad výkonu, ale pro vyhodnocení námi hledaného výkonu poněkud zdlouhavý.

Objem výchozího zásobníku berme jako minimální možný (zachování alespoň stávajícího komfortu teplé vody) a o menším proto nebudeme uvažovat. Pokud chceme splnit minimální podmínku 80 l měrného objemu zásobníku teplé vody na kW instalovaného výkonu FV zdroje, tak při využití objemu (V) stávajícího zásobníku nám vyjde minimální potřebný instalovaný výkon jako

$$P_{inst} = \frac{V}{80} = \frac{200}{80} = 2,5 \text{ [kWp]} \quad (18)$$

FVS tedy budeme navrhovat s instalovaným výkonem 2,5 kWp a tomuto výkonu přizpůsobíme potřebné parametry a komponenty. Zvolený výkon samozřejmě není ten jediný správný a vždy bude záležet na konkrétních požadavcích nebo způsobech využívání, pro které se systém navrhne tzv. na míru.

Nyní, když máme určený výkon zamýšleného FV zdroje, je potřeba vybrat vhodný střídač. Vzhledem k výkonu nám bude postačovat 1f střídač. Mezi aktuálně nejpoužívanější střídače patří produkty firem Fronius, Solax a SMA. Všichni výrobci mají produkt o výkonu 2,5 kW vhodný pro náš systém, ale my si nakonec vybereme střída SMA Sunny boy 2.5 z důvodu o něco nižší pořizovací

ceny. Parametry vybraného střídače jsou následující [41]:

Tabulka 4-6 Základní parametry střídače Sunny Boy 2.5

Sunny Boy 2.5		
Vstup (DC)	Hodnota	Jednotka
Max. DC výkon	2650	W
Max. vstupní napětí	600	V
Max. vstupní proud	10	A
Výstup (AC)		
Nominální výkon (230 V, 50 Hz)	2500	W
Max. zdánlivý výkon	2500	VA
Nominální napětí	220 / 230 / 240	V
Jmenovitá frekvence/napětí	50 / 230	Hz / V
Max. výstupní proud	11	A
Max. účinnost / Evropská účinnost	97,2 / 96,7	%

Posledním důležitým prvkem FVS jsou samotné panely. Na trhu je poměrně velké množství výrobců (cca. 30), ale ne všechny produkty je u nás možné koupit. Výkony panelů se pohybují zhruba mezi 40 – 300 W. Kvalita jednotlivých výrobců je různá a proto je pro laika poměrně těžké zvolit správný model. Po konzultaci s několika zástupci firem v segmentu fotovoltaiky mi byly jako kvalitní a oblíbené značky v ČR doporučeny produkty firem AEG, AUO Benq, Axitec a Canadian Solar. Nakonec pro náš FVS vybereme polykrystalické panely od Německého výrobce Axitec o výkonu 250 Wp. [42]

Tabulka 4-7 Parametry vybraného panelu při STC (1000 W/m², 25 °C, AM 1.5)

Axitec 250 Wp		
Parametry	Hodnota	Jednotka
Nominální napětí	30,7	V
Nominální proud	8,18	A
Napětí naprázdno	37,8	V
Zkratový proud I _{sc}	8,71	A
Účinnost	15,35	%
Ostatní		
Rozměry	1645 x 990 x 38	mm
Váha	19,5	kg
Nominální teplota článku	45	°C
Max. systémové napětí	1000	V

Celkový výkon 2,5 kWp dostaneme sériovým zapojením 10 panelů. Nyní při znalosti potřebných parametrů můžeme určit celkovou roční produkci FVS. S uvažováním ohmických ztrát v kabelových rozvodech 3 %, Evropské účinnosti střídače 96,7 % a polykrystalické technologii panelů dostaneme roční výrobu FVS 2 195,4 kWh.

4.2.2 Výsledky simulace FVS s akumulací nádrží a el. topnými tělesy (Varianta 1)

Řekli jsme si, že současný neúsporný zásobník nahradíme novým, úspornějším. K tomu využijeme produkty společnosti Regulus, jež má v nabídce akumulací zásobníky teplé vody o objemu 200 až 3000 l. [40] Vybrané zásobníky mimo jiné umožňují připojení 2 elektrických topných těles, což byl jeden z našich požadavků. Pro využívání přebytků nainstalujeme topnou spirálu o výkonu 2 kW. Aplikací simulačního nástroje nakonec zjistíme, že 100 % využití přebytků dosáhneme s akumulací nádrží o objemu 300 l. Zvýšeným objemem současně zajistíme i zvýšený komfort využitelný například pro častější využívání vany. Potřebné tepelné ztráty nádrže s označením ROBC 300 byly zjištěny z produktového listu. Souhrnné parametry simulace Varianty 1 jsou v následující tabulce:

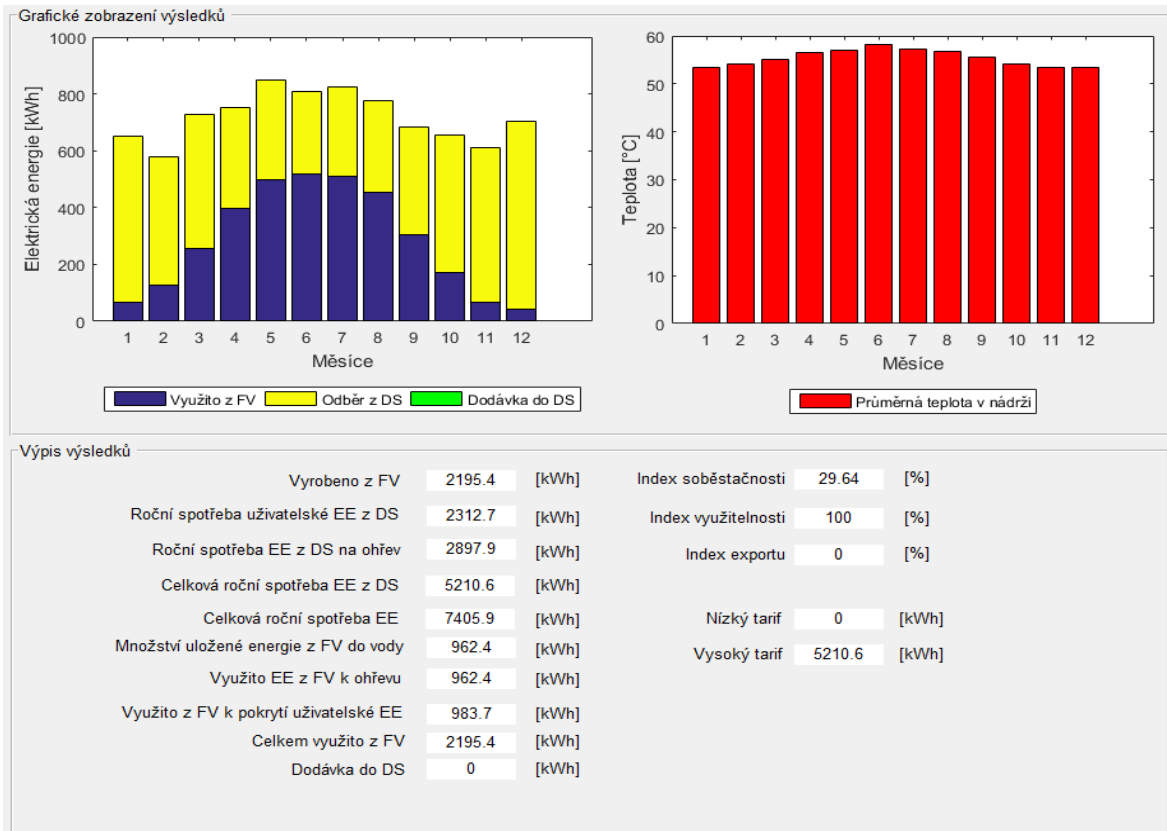
Tabulka 4-8 Parametry simulace FVS Varianta1, sklon 32°, orientace na jih

Varianta 1		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Výkon FV zdroje	2500	W
Účinnost konverze	93,7	%
Technologie panelu	c-Si	-
Objem nádrže	300	l
Tepelné ztráty	2136	Wh/den
Výkon topné spirály pro udržování minimální teploty	2000	W
Výkon FV spirály	2000	W
Požadovaná teplota vody	55	°C
Minimální teplota vody	52	°C
Maximální teplota vody	80	°C
Počáteční teplota simulace	15	°C
Teplota okolí nádrže	15	°C
Spotřeba teplé vody	40	l/os.den
Počet osob	4	-

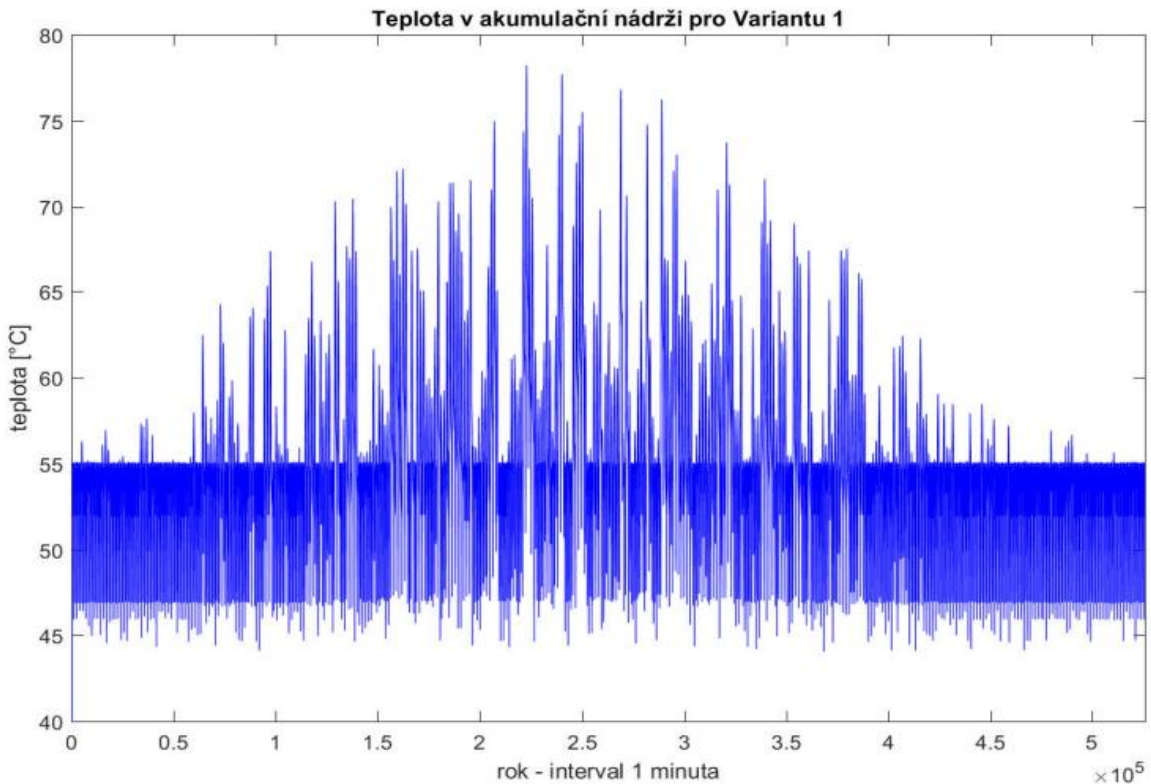
Ze zadaných parametrů je patrné, že nově zvolená nádrž má výrazně nižší tepelné ztráty i přesto že má větší objem (ztráty rostou s objemem). Je to dáno především lepší a tlustší vrstvou tepelné izolace, která byla použita na akumulací nádrží. V katalogu produktu jsou ztráty uvedeny formou tzv. statických ztrát, což je hodinová hodnota ztrát zjištěná při teplotě vody 65 °C. Snížení tepelných ztrát vede i k celkové úspoře odebrané EE z DS. Po dosazení parametrů vybrané nádrže do výchozího návrhu dostaneme roční spotřebu EE na ohřev vody 4072,4 kWh což je o 195 kWh méně než s původní nádrží. Dále je u nové nádrže v katalogu uvedena maximální přípustná teplota vody 95 °C. V simulaci je přesto nastavena maximální teplota na 80 °C, protože i ta je dostačující na maximální využití přebytků. Současně přehřívání vody na takto vysokou teplotu s pomocí přebytků slouží jako ochrana proti Legionelle a především v letních měsících není potřeba spínat nucené přehřívání, které čerpá EE z DS. V naší simulaci sice prevence proti Legionelle přehříváním vody není řešena, ale ve skutečné aplikaci k těmto stavům bude zajisté docházet.

Na dalším Obrázku (4-4) je výstup simulace pro Variantu 1. S uvedenými parametry jsme dosáhli nulového exportu do sítě, což je potěšující, avšak otázkou zůstává, zda je toto v reálné aplikaci možné dosáhnout. Celkový odběr z DS je 5 210,9 kWh, takže se podařilo tuto spotřebu EE z DS snížit o 2 353 kWh (31 %) oproti výchozímu stavu. Uvedená hodnota je vyšší než celková využitá energie z FV, protože ohřev vody z přebytků vedl ke snížení četnosti nebo doby nuceného ohřevu z DS (ohřátí vody na požadovanou teplotu oddaluje pokles pod minimální teplotu). Díky FV

spirále sloužící k umožnění přebytků jsme využili 43,8 % celkové vyrobené EE, která by jinak byla exportována do DS. Index soběstačnosti jsme navýšili o 16,4 %.



Obrázek 4-4 Výstup simulace FVS pro parametry dle Tabulky 4-8



Graf 4-5 Celoroční průběh teploty v akumulační nádrži pro Variantu 1, využití přebytků FV zdroje pro ohřev teplé vody

Z Grafu 4-5 vidíme značný nárůst teploty vody v nádrži především v letních měsících. Současně díky nárůstu teploty nedochází k tak častým propadům teploty na hranici 45 °C, což opět vede ke zvýšení tepelného komfortu. Tento stav byl očekáván. Graf vzrůstající teploty v podstatě kopíruje typické průběhy výroby FV zdrojů s orientací na jih, kdy převážně na začátku a na konci roku je výroba nízká a v letních měsících největší.

Dále se podíváme na změnu finančních nákladů spojených s platbou za odběr elektrické energie z DS. Vzhledem k nižšímu odběru z DS je patrné, že budou náklady nižší. Sazba za jistič zůstane stejná.

Tabulka 4-9 Roční náklady na odběr elektřiny Varianta 1

Náklady na odběr elektřiny – Varianta 1			
Položka	Počet jednotek	Cena za jednotku [Kč]	Celkem
Spotřeba EE v NT [kWh]	-	-	-
Spotřeba EE ve VT [kWh]	5 210	4,01	20 892,10
Stálá měsíční platba	12	185	2 220,00
Suma			23 112,10

Srovnáme-li roční náklady s výchozím stavem, dostaneme roční úsporu ve výši 9 434 Kč.

4.2.3 Výsledky simulace FVS s akumulací nádrží a tepelným čerpadlem (Varianta 2)

V posledních letech se začínají rozšiřovat produkty různých výrobců v kombinaci integrovaného zásobníku a tepelného čerpadla (vzduch-voda) určeného přímo k ohřevu teplé vody, nikoliv k vytápění. Topný výkon většiny těchto TČ se pohybuje v rozmezí 1,5 – 1,8 kW a objem zásobníku 220 – 300 l. Všechny produkty jsou navíc vybaveny pomocnou elektrickou topnou patronou pro případ poruchy nebo nedostačujícího výkonu tepelného čerpadla. Vzhledem k objemu zvoleného zásobníku ve Variantě 1 se budeme zaměřovat především na produkty s objemem blízkým 300 l. Tento požadavek splňuje většina výrobců. Rozdíly v tepelných čerpadlech jednotlivých výrobců nejsou příliš velké a výkonovými parametry jsou velice podobné. Pomocná elektrická tělesa mají výkon 1,5 nebo 2 kW. Rozdíl však nastává v maximální teplotní hranici dodávané teplé vody tepelným čerpadlem. Všechna TČ mají standardně nastavenou teplotu dodávané vody na 55 °C, ale maximální možná teplota je nastavena na 60 nebo 65 °C (dle výrobce). Současně je omezena i maximální teplota v nádrži, která je většinou nastavena na totožnou hranici jako maximální teplota tepelného čerpadla. Co z toho plyne pro nás? Jak bylo možné vidět na Grafu 4-5, v letních měsících v době velkých přebytků se voda standardně ohřívala na vysoké teploty, aby došlo k umoření všech přebytků. Je tak patrné, že akumulací potenciál nádrží s tepelným čerpadlem bude právě kvůli nižší teplotě menší. Tento nedostatek je však na druhou stranu, díky principu TČ, vykoupěn nižší spotřebou EE.

Zmíněná tepelná čerpadla jsou primárně určena pro provoz ve vnitřní místnosti za stálých podmínek. Umožňují sice napojení přívodu na venkovní vzduch, ale v praxi se tak děje jen zřídka. Pro provoz budou uvažovány stejné podmínky jako ve Variantě 1. Dalším bonusem je, že TČ jsou připravena na připojení k FVS pro optimalizaci využití EE. Ve výsledku to znamená, že pro napájení nebude využit standardní napájecí kabel do 230 V zásuvky, ale bude provedeno připojení přímo do řídicí jednotky TČ (případně přes jiný regulátor).

Teď již k výběru konkrétního modelu. Porovnáním jednotlivých TČ (Buderus, Tatramat, Viessman) v simulačním nástroji nám jako nejvhodnější model pro naše potřeby vyšel model Logatherm WPT 270 od společnosti Buderus. S využitím uvedeného TČ bylo dosaženo největšího využití přebytků. Parametry vybraného TČ a simulačních podmínek Varianty 2 jsou v následující

Tabulce 4-10. Průměrný příkon byl vypočten z maximálního tepelného výkonu vydělením faktoru COP pro teplotu 55 °C.

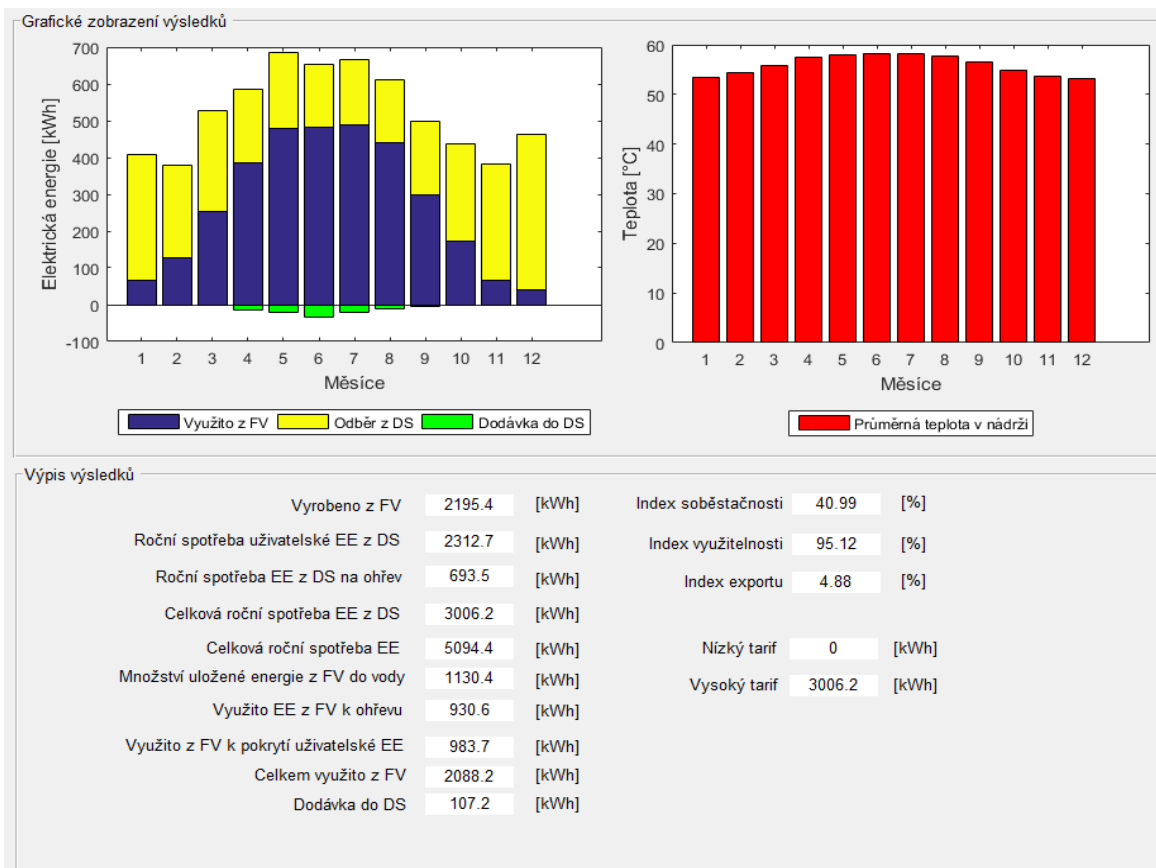
Tabulka 4-10 Parametry simulace FVS Varianta1, sklon 32°, orientace na jih, parametry TČ dostupné z [43]

Varianta 2		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Výkon FV zdroje	2500	W
Účinnost konverze	93,7	%
Technologie panelu	c-Si	-
Tepelný výkon TČ	1,7	kW
COP pro 55 °C	3,2	-
Max. příkon TČ	600	W
Průměrný příkon TČ	530	W
Tepelný výkon el. vložky	2000	W
Objem nádrže	270	l
Tepelné ztráty nádrže	1300	Wh/den
Teplota vody při měření ztrát	54	°C
Teplota vzduchu při měření ztrát	15	°C
Max. teplota TČ	60	°C
Max. teplota nádrže	70	°C
Požadovaná teplota vody	55	°C
Minimální teplota vody	52	°C
Počáteční teplota simulace	15	°C
Teplota okolí nádrže	15	°C
Spotřeba teplé vody	40	l/os.den
Počet osob	4	-

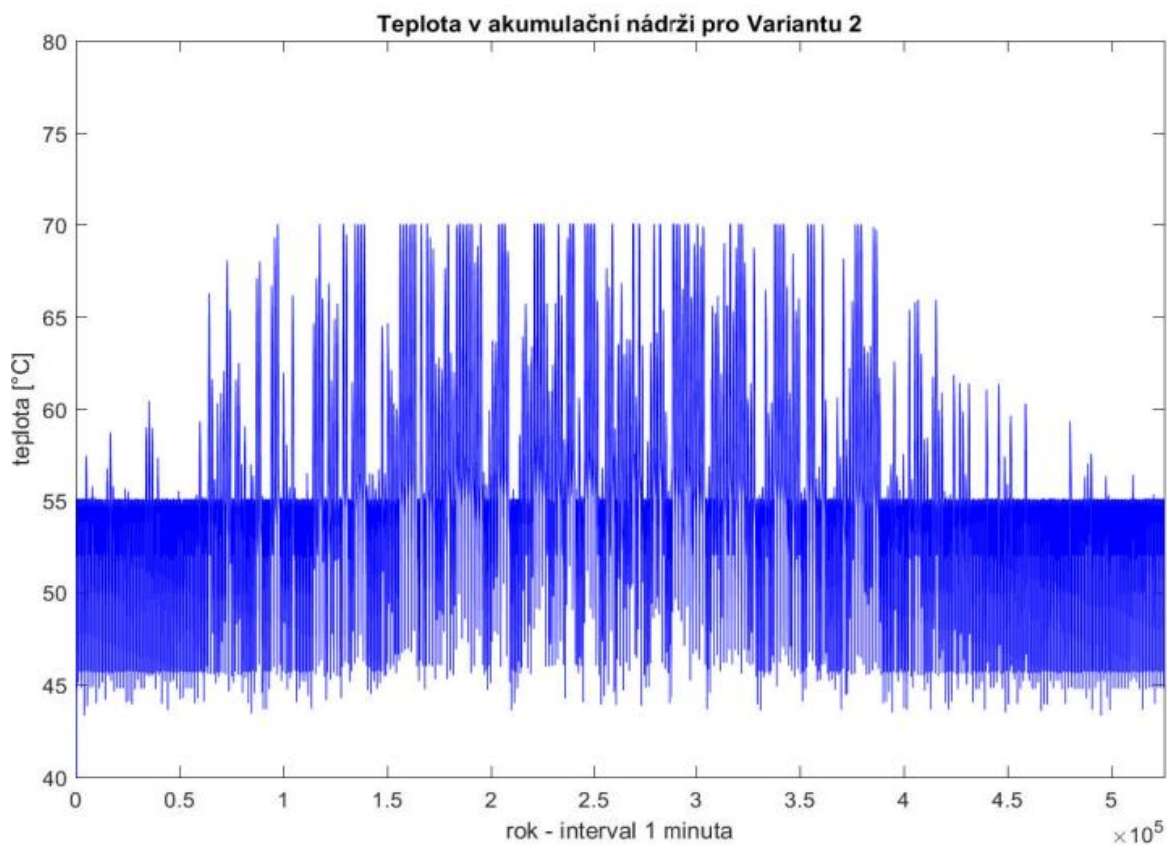
Tepelné čerpadlo v průběhu provozu mění jeho spotřebu v závislosti na teplotě dodávané vody a teplotě vzduchu. Jelikož tyto hodnoty nejsou nijak blíže specifikovány a simulace umožňuje pouze zjednodušenou formu uvažování spotřeby, bude dále využíván vypočtený průměrný příkon TČ. Při provozu TČ nad 55 °C dojde ke snížení topného faktoru o 10 % a při teplotě vody v nádrži nad 60 °C se TČ vypne a ohřev bude zajišťovat pouze elektrické těleso. Ostatní parametry jsou totožné s Variantou 1.

Na Obrázku 4-5 máme výstup simulace pro Variantu 2. Bylo dosaženo výrazné úspory odběru z DS. Celkový odběr z DS je 3 006 kWh, což je o 2 204 kWh méně než ve Variantě 1 a dokonce o 3 556 kWh méně než ve výchozím stavu. Současně však došlo k nárůstu přebytků dodaných do DS. Vzhledem k nižším akumulacím schopnostem Varianty 2 (menší objem a maximální teplota nádrže) se přetoky do DS daly očekávat. Rozdíl je také v uložené energii do vody, která je ovlivněna právě topným faktorem. Do vody jsme uložily o 21 % více tepelné energie, než jsme na její vytvoření spotřebovaly. Tato hodnota zhruba odpovídá faktoru přeměny 1,21. Výsledný poměr je do značné míry ovlivněn využíváním elektrické patrony pro ohřev vody z přebytků, která energii dodává v poměru 1:1. Je to dáno jednak maximální teplotou TČ 60 °C, a hlavně podmínkou alespoň 5minutové hodnoty přebytků vyšší, než je spotřeba TČ. Bez splnění této podmínky TČ nesepe a přebytky jsou využity pouze spirálou. Průměrná teplota se od Varianty 1 příliš neliší, pouze v letních měsících je vidět mírný rozdíl způsobený nižší maximální teplotou Varianty 2.

Na další straně máme průběh teploty vody v průběhu celého roku a celkové zobrazení výsledků.



Obrázek 4-5 Výstup simulace FVS pro parametry dle Tabulky 4-10



Graf 4-6 Celoroční průběh teploty v akumulární nádrži pro Variantu 2, využití přebytků FV zdroje pro ohřev teplé vody

Z Grafu 4-6 vidíme, že v zimních měsících a odběrových špičkách dojde k poklesu teploty vody i pod 45 °C. Příčinou je nižší topný výkon TČ (1,7 kW) oproti hlavní elektrické patroně Varianty 1 (2 kW). Ve většině případů nejspíše ani daný pokles teploty nepocítíme.

Nyní se opět podíváme na náklady spojené s odběrem elektřiny. Vzhledem k nižší spotřebě budou náklady logicky opět menší. Protože nejsme omezeni zákazem dodávání přebytků do DS, můžeme využít výkupu přebytků od distributora. Aktuální výše výkupní ceny pro ČEZ distribuci je zhruba 0,3 Kč/kWh (odhad na základě příspěvků uživatelů na diskuzním fóru TZB-info, kteří vlastní FVS).

Tabulka 4-11 Roční náklady na odběr elektřiny Varianta 2

Náklady na odběr elektřiny – Varianta 2			
Položka	Počet jednotek	Cena za jednotku [Kč]	Celkem
Spotřeba EE v NT [kWh]	-	-	-
Spotřeba EE ve VT [kWh]	3 006	4,01	12 054,06
Sazba za jistič	12	185	2 220,00
Výkup přebytků [kWh]	107	0,3	-32,1
Suma			14 241,96

Celkem v porovnání s výchozím stavem ušetříme ročně za elektřinu 18 305 Kč a oproti první variantě 8 870 Kč.

4.3 Ekonomické zhodnocení navržených systémů

K ekonomickému zhodnocení navržených variant využijeme 2 ukazatele hodnocení investic. Prvním bude doba návratnosti a druhým čistá současná hodnota (NPV).

Doba návratnosti jednoduše říká, za jak dlouho se nám vrátí současná investice. Většinou je udávána v letech a často je využívána při vyhodnocování úspor. Rozlišujeme prostou a diskontovanou dobu návratnosti. Největší nevýhodou prosté doby návratnosti je, že zanedbává efekty po době návratnosti a zanedbává fakt, že peníze můžeme vložit do jiných investičních příležitostí. Standardně se prostá doba návratnosti počítá dle následujícího vzorce [44]:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (19)$$

kde: IN.....investiční náklady

CF.....roční peněžní toky (Cash flow)

Diskontovaná doba návratnosti je obdobné kritérium jako prostá doba návratnosti, ale s tím rozdílem, že není založena na prostém peněžním toku, nýbrž na peněžním toku diskontovaném. Diskontem (r) vyjadřujeme možnost zhodnocení peněz v jiném investičním projektu.

$$T_s = \frac{IN}{DCF} \quad DCF = \frac{CF}{(1+r)^t} \quad (20)$$

kde: DCF.....diskontované peněžní toky

t.....rok ve kterém se DCF počítá

Uvedené vzorce však neumožňují počítat s rozdílným CF v jednotlivých letech, proto ve

vyhodnocení výpočet trochu upravíme a budeme počítat s CF pro daný rok.

NPV je kritérium, které zohledňuje časovou hodnotu peněz a výsledkem je absolutní hodnota investice. Budoucí náklady a výnosy se sníží o diskontní sazbu (mají nižší hodnotu v budoucnosti než v současnosti). Čistá současná hodnota je v dnešní době jedním z nejhodnějších kritérií. Je v ní zahrnuta celá doba životnosti projektu, i možnost investování do jiného stejně rizikového projektu. Výpočet se provede podle vzorce:

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1+r)^t} \quad (21)$$

kde: t.....životnost investice

Dále si určíme zpřesňující ukazatele ekonomického hodnocení. Mezi tyto ukazatele zařadíme degradaci FV panelů a tím jejich sníženou výrobu, diskontní sazbu vyjadřující možnost zhodnocení peněz jiným způsobem a předpokládaný růst cen silové elektřiny. V každém roce dojde k poklesu výnosů o hodnotu degradace (vyrobím méně, ušetřím méně) a současně k nárůstu o hodnotu růstu ceny elektřiny. Varianta 2 vykazuje prodej přebytků. Vzhledem k minimálnímu vlivu na výsledek budeme výkupní cenu považovat za konstantní.

Tabulka 4-12 Zpřesňující parametry ekonomického hodnocení

Parametr	Hodnota	Jednotka
Degradace výkonu panelu	0,6	%/rok
Růst ceny elektřiny	3	%/rok
Diskontní míra	2	%

Pro vybraný panel je garantovaná účinnost 85 % z nominální hodnoty po 25 letech, čemuž odpovídá uvedený pokles (většinou lineární) v Tabulce 4-12. Růst ceny elektřiny byl odhadnut na základě vývoje v posledních letech. Jelikož jako domácnost nemáme příliš možností kam investovat a zhodnotit tak vložené peníze, byla uvažována diskontní míra 2 % (zhodnocení na spořicímu účtu, akcie...).

Dalším důležitým parametrem pro potřebné hodnocení je předpokládaná životnost projektu. FV panely mají garantovanou minimální životnost 25 let. Limitujícím faktorem budou střídače a akumulární nádrže (tepelné čerpadlo). Zde je uváděna životnost kolem 20 let. Pro ekonomické hodnocení budeme tedy uvažovat životnost projektu 20 let.

4.3.1 Investiční náklady

V této kapitole si shrneme veškeré investiční náklady spojené s realizací FVS s tepelným využitím přebytků. Veškeré ceny produktů jsou uvedeny včetně DPH. Ceny montáží nádrží byly odhadnuty na základě cen uvedených na stránkách různých dodavatelů.

Tabulka 4-13 Investiční výdaje spojené s pořízením akumulární nádrže, Varianta 1

Položka	Počet [ks]	Cena za kus [Kč]	Cena [Kč]
Zásobník ROBC 300	1	21 284	21 284
Příruba pro el. topné těleso (dodatečné)	1	1 682	1 682
Topné těleso 2 kW	2	2 396	4 792
Montáž a zapojení	1	2 700	2 700
Celkem			30 458

Tabulka 4-14 Investiční výdaje spojené s pořízením tepelného čerpadla, Varianta 2

Položka	Počet [ks]	Cena za kus [Kč]	Cena [Kč]
Logatherm WPT270.3 AS	1	55 454	55 454
Montáž a zapojení	1	2 700	2 700
Celkem			58 154

Tabulka 4-15 Investiční výdaje spojené s pořízením FVS¹

Položka	Počet [ks]	Cena za kus [Kč]	Cena [Kč]
FV panely Axitec 250 Wp	10	4 780	47 800
Střídač Sunny Boy 2.5 (1f)	1	23 473	23 473
Sada nosných konstrukcí pro FV panely	1	11 250	11 250
Sada přepěťové ochrany	1	5 000	5 000
Kabeláž, konektory, elektroměr, rozvaděč	1	7 500	7 500
Regulátor pro optimalizaci vlastní spotřeby	1	9 500	9 500
Vypracování projektu a projektové dokumentace	1	10 000	10 000
Montáž a nastavení ²	1	24 400	24 400
Celkem			138 923

¹ Orientační údaje vycházející z cen e-shopů a odhadnuté spotřeby materiálu

² 20 % z ceny + 1 500 za nastavení regulátoru

Vhodným navržením Varianty 1 a 2 jsme splnily potřebné požadavky programu NZÚ a máme nárok na dotaci ve výši 55 000 Kč. Dotace bude připsána hned na začátku realizace projektu a díky tomu se nám sníží celkové investiční náklady obou Variant. Celkové náklady můžeme vidět v další tabulce.

Tabulka 4-16 Celkové investiční náklady pro Variantu 1 a 2

Položka	Varianta 1	Varianta 2
Investiční náklady – akumulace [Kč]	30 458	58 154
Investiční náklady – FVS [Kč]	138 923	
Dotace NZÚ kategorie C.3.4 [Kč]	55 000	
Celkem [Kč]	114 381	142 077

4.3.2 Výpočet ekonomických ukazatelů

Než se vrhneme na samotný výpočet shrneme si veškeré potřebné parametry a určíme provozní náklady. Celou investici pokryjeme z vlastních prostředků, odpadne tedy splácení půjčky. Ročním výnosem pro nás budou ušetřené peníze za odběr EE v porovnání s výchozím návrhem. Pro zajištění bezproblémového chodu bude každý rok prováděna pravidelná údržba, která se nám promítne do ročních nákladů. Její hodnota bude stanovena na 1,5 % z celkových investiční nákladů.

Tabulka 4-17 Shrnující roční náklady a výnosy

Položka	Varianta 1	Varianta 2
Roční výnos [Kč]	9 434	18 305
Roční náklady na údržbu [Kč]	1 715	2 131

V dalších tabulkách již bude provedeno zhodnocení peněžních toků jednotlivých investic. Začneme od roku 0, což bude rok realizace projektu a nebudou z něj plynout žádné výnosy. Výnosy a roční náklady se projeví až od roku 1, kdy bude projekt uveden do provozu. Roční výnos máme ovlivněn zpřesňujícími parametry dle Tabulky 4-12. Roční náklady považujeme za konstantní. V poslední části tabulek je zobrazen čistý cashflow (peněžní tok), diskontovaný cashflow zatížený diskontem (míra zhodnocení investice v případě vložení peněz do jiného ziskového projektu) a změna NPV.

Omezujícím prvkem investičního záměru z pohledu životnosti jsou akumulací prvky a FV střídač. V případě jejich poruchy a nutné opravy nebo výměny, by se tato položka projevila v ročních nákladech daného roku a ovlivnila výslednou rentabilitu projektu. V případě Varianty 2 bude pravděpodobně cenová zátěž za poruchu vyšší kvůli použitému tepelnému čerpadlu. Pokud k poruše nedojde a zařízení bude sloužit po celou dobu předpokládané životnosti budeme s největší pravděpodobností požadovat, abychom během této životnosti ušetřily na nový potřebný prvek nebo alespoň byly v plusových číslech, tzn., že se nám investice zaplatí. Celkovou návratnost nám pozitivně ovlivní výše získané dotace, která má v současné době nahrazovat podporu formou výkupních cen elektřiny z obnovitelných zdrojů. Zmíněné výkupní ceny stále klesají, a proto se rentabilita nových projektů výrazně snižuje.

Tabulka 4-18 Peněžní toky pro Variantu 1 po dobu uvažované životnosti

Rok	Roční výnos [Kč]	Roční náklady [Kč]	CF [Kč]	DCF [Kč]	NPV
0	0	114 381	-114 381	-114 381	
1	9 434	1 715	7 719	7 568	-106 813
2	9 659	1 715	7 944	7 635	-99 178
3	9 889	1 715	8 174	7 702	-91 476
4	10 124	1 715	8 409	7 769	-83 707
5	10 366	1 715	8 651	7 835	-75 872
6	10 612	1 715	8 897	7 901	-67 971
7	10 865	1 715	9 150	7 966	-60 005
8	11 124	1 715	9 409	8 030	-51 975
9	11 389	1 715	9 674	8 095	-43 880
10	11 660	1 715	9 945	8 159	-35 722
11	11 938	1 715	10 223	8 222	-27 500
12	12 222	1 715	10 507	8 285	-19 215
13	12 514	1 715	10 799	8 348	-10 867
14	12 812	1 715	11 097	8 410	-2 457
15	13 117	1 715	11 402	8 472	6 015
16	13 429	1 715	11 714	8 533	14 548
17	13 749	1 715	12 034	8 594	23 142
18	14 077	1 715	12 362	8 655	31 797
19	14 412	1 715	12 697	8 716	40 513
20	14 755	1 715	13 040	8 776	49 288

Tabulka 4-19 Peněžní toky pro Variantu 2 po dobu uvažované životnosti

Rok	Roční výnos [Kč]	Roční náklady [Kč]	CF [Kč]	DCF [Kč]	NPV [Kč]
0	0	142 077	-142 077	-142 077	
1	18 305	2 131	16 174	15 857	-126 220
2	18 741	2 131	16 610	16 284	-109 936
3	19 187	2 131	17 056	16 722	-93 214
4	19 644	2 131	17 513	17 170	-76 044
5	20 112	2 131	17 981	17 629	-58 415
6	20 591	2 131	18 460	18 099	-40 316
7	21 082	2 131	18 951	18 579	-21 737
8	21 584	2 131	19 453	19 072	-2 665
9	22 098	2 131	19 967	19 576	16 911
10	22 625	2 131	20 494	20 092	37 002
11	23 164	2 131	21 033	20 620	57 623
12	23 715	2 131	21 584	21 161	78 784
13	24 280	2 131	22 149	21 715	100 499
14	24 859	2 131	22 728	22 282	122 781
15	25 451	2 131	23 320	22 862	145 643
16	26 057	2 131	23 926	23 457	169 100
17	26 678	2 131	24 547	24 065	193 165
18	27 313	2 131	25 182	24 688	217 854
19	27 964	2 131	25 833	25 326	243 180
20	28 630	2 131	26 499	25 979	269 159

Tabulka 4-20 Výsledky hodnotících ekonomických kritérií

Položka	Varianta 1	Varianta 2	Jednotka
Čistá současná hodnota NPV ¹	49 288	269 159	Kč
Doba návratnosti – nediskontovaná	12,4	7,9	rok
Doba návratnosti – diskontovaná	14,5	8,1	rok

¹ rozdíl celkového DCF a investičních nákladů

Z vyhodnocených výsledků vidíme, že Varianta 2 je jednoznačně lepší investicí a v průběhu životnosti projektu se nám několikanásobně zaplatí. Vyšší investiční náklady se nám velice pozitivně projeví na ušetřené energii, od které se odvíjí roční výnosy ve formě nižších plateb za elektřinu. Varianta 1 je také zisková, ale z pohledu ekonomických aspektů asi nemá příliš cenu nad její realizací přemýšlet. Navržené FVS s akumulací by se vyplatilo realizovat i bez dotačního programu. Výsledné hodnoty ekonomického hodnocení lze výrazně ovlivnit nastavenou mírou diskontu, kdy Varianta 1 začíná být ekonomicky nevýhodná s diskontem ve výši 9 %. Otázkou však zůstává, zda v osobním finančním sektoru nalezneme možnosti, kde s takovou mírou ziskovosti investovat.

5 AGREGACE ODBĚRNÝCH MÍST

V závěrečné kapitole se budeme věnovat možnosti využití lokálního FV zdroje připojeného do více domácností. V praxi tak může být provedeno připojení několika samostatných rodinných domů, řadových domů nebo bytových jednotek v panelovém domě. Především řadové a panelové domy poskytují možnost instalace na společnou střechu, kdy odpadá potřeba realizace rozsáhlých rozvodů. Základním podnětem pro realizaci může být snaha o snížení nákladů za odběr elektřiny.

5.1 Předpoklady pro realizaci

V současné době se podobné projekty prakticky nerealizují, ale právě satelitní městečka, ve kterých se často zmíněné řadové domky vyskytují, mohou být pro dané účely vhodně využita. Ve všech případech však bude záležet na dohodě mezi majiteli nemovitosti. Ideálním příkladem může posloužit následující snímek z města Buštěhrad. Nacházejí se zde řadové domky s plochými střechami, na kterých je možno provést instalaci FVS s libovolnou orientací a sklonem bez jakéhokoliv stínění od okolních budov. Z předešlé kapitoly již však víme, že největší výroby dosáhneme s orientací na jih a sklonem 32°.



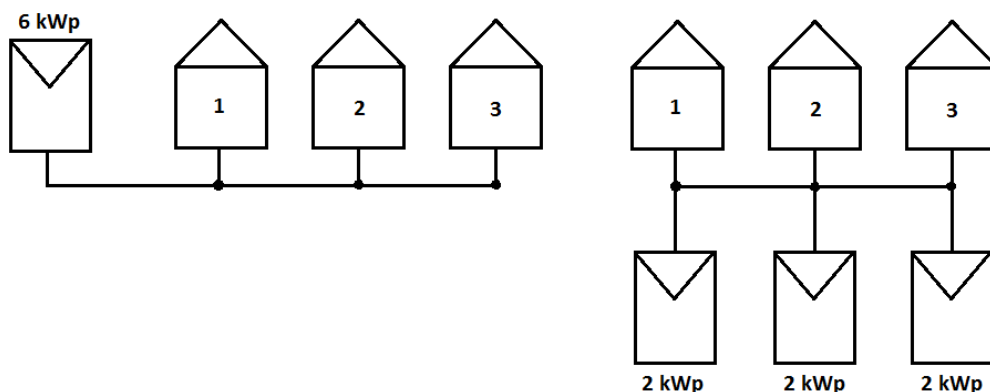
Obrázek 5-1 Řadové domky s plochou střechou jsou ideálním prostorem pro realizaci FVS

Co se od podobného zapojení FVS očekává? Především vyšší míra využitelnosti vyrobené EE. Ve výchozím návrhu předešlé kapitoly jsme si na Grafu 4-3 ukázali, jakým způsobem se mění využitelnost vyrobené EE v závislosti na instalovaném výkonu. Z kapitoly 4.1.1 vyplývá, že pro FVS bez akumulace, je dostatečné míry využitelnosti vlastní vyrobené EE možné dosáhnout pouze pro nízké instalované výkony, řádově ve stovkách W. S rostoucím výkonem je většina výroby dodána do DS a nevyužita tak pro vlastní spotřebu. Na druhou stranu s nízkým instalovaným výkonem toho moc neušetříme. Právě připojení do více odběrných míst by mohlo zvýšit potenciál využití pro vlastní spotřebu. Vlastní spotřeba jednoho objektu zůstane stejná, ale využitelná produkce celého systému, do kterého se počítají všechny připojené domácnosti, vzroste.

5.2 Připojení FVS do více domácností

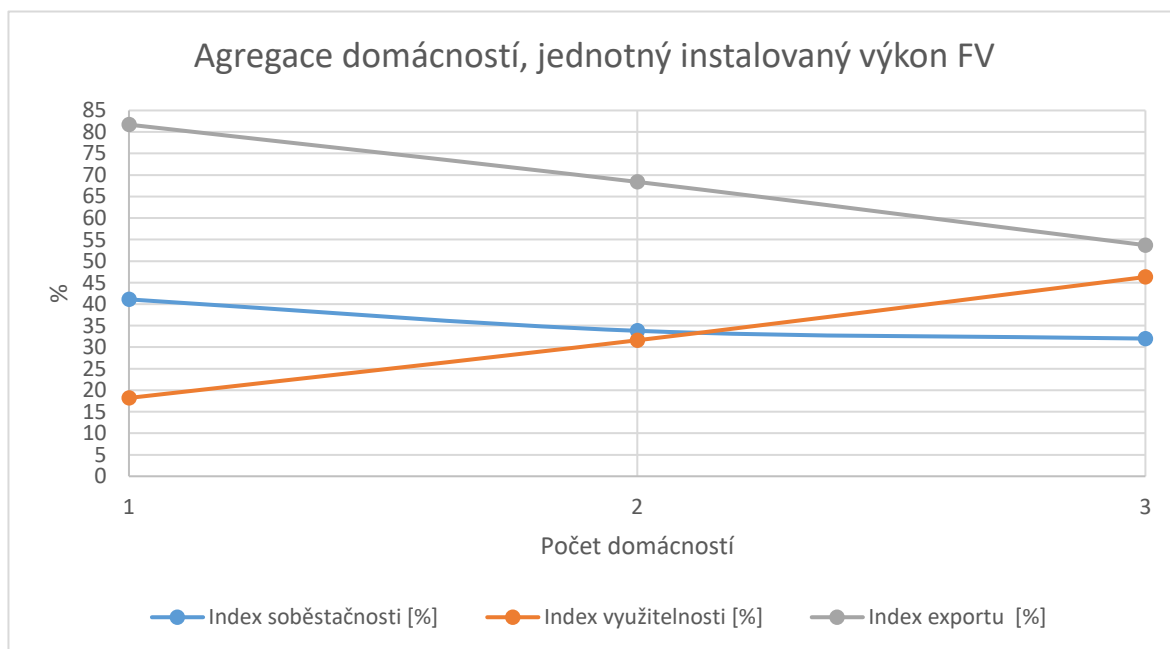
K simulaci více odběrných míst nám s výhodou poslouží profily elektrické spotřeby definované v kapitole 2.3. Konkrétně se bude jednat o Profily 3,4 a 5, čímž budeme simulovat 3 samostatné

domácnosti s přibližně stejnou roční spotřebou, avšak rozdílným průběhem spotřeby. K porovnání agregace využijeme index soběstačnosti, využitelnosti a exportu. Budeme uvažovat 2 případy FVS připojeného k domácnostem. První FVS bude systém o instalovaném výkonu 6 kWp a k němu budou postupně připojovány jednotlivé domácnosti. V druhém případě s každou domácností vzroste instalovaný výkon FV zdroje o 2 kWp, tzn. 1 domácnost – 2 kWp, 2 domácnosti – 4 kWp atd. Základní přehled o teoretickém zapojení uvedených FVS nám dá následující Obrázek 5-2.

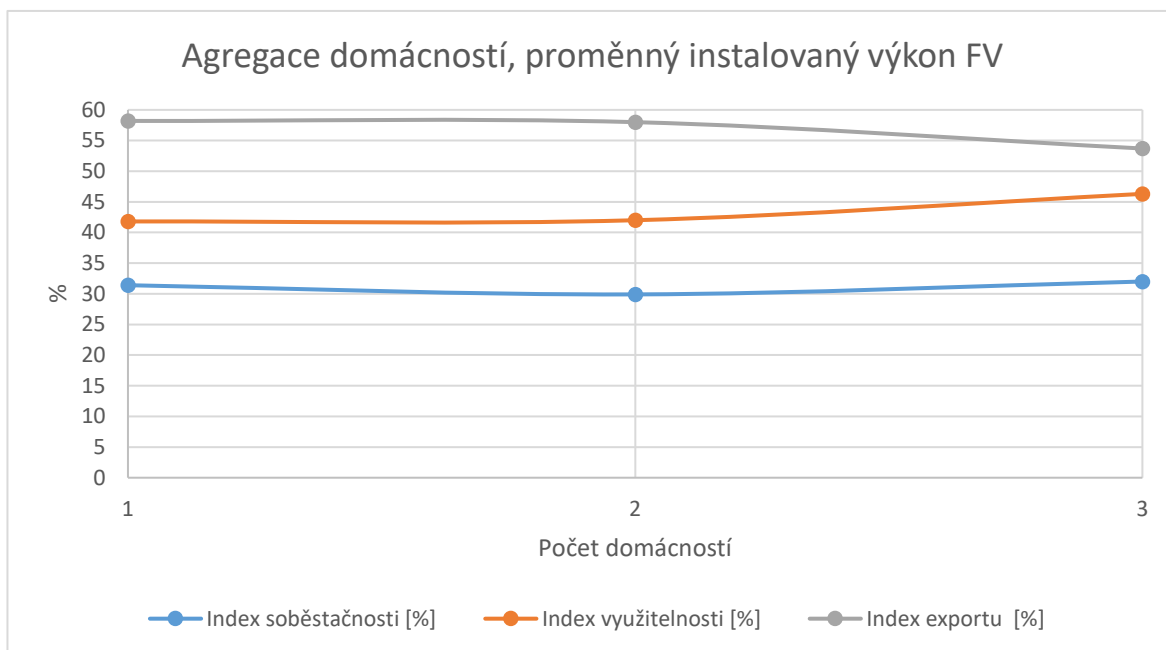


Obrázek 5-2 Základní schéma FVS pro případy agregace odběrných míst (připojení do více domácností)

Vyhodnocení potřebných indexů provedeme vlastním simulačním nástrojem. Stačí zadat instalovaný výkon FV zdroje, účinnost a zvolit typ technologie, zbylé parametry zadáme nulové. Potřebná data osvitů, spotřeby EE a venkovní teploty jsou připravena k načtení. Na Grafech 5-1 a 5-2 máme vyhodnocené indexy pro zmíněné případy zapojení FVS.



Graf 5-1 Agregace odběrných míst (3 domácnosti) s jednotným instalovaným výkonem FV zdroje 6 kWp



Graf 5-2 Agregace odběrných míst (3 domácnosti) s postupným zvyšováním instalované výkonu FV zdroje (2 kWp/domácnost)

Průběhy indexů na Grafu 5-1 jsou poměrně jasné. S rostoucí spotřebou (více připojených domácností) klesá export EE do DS a roste využitelnost vyrobené energie. Index soběstačnosti mírně klesá, protože FVS je schopen z konstantní vyrobené energie pokrýt pouze určitou část celkové rostoucí spotřeby. Dá se předpokládat, že s dalšími připojenými domácnostmi se budou průběhy indexů ustalovat a nebude docházet k příliš velké změně.

Naopak indexy, pro případ FVS s rostoucím instalovaným výkonem v závislosti na počtu připojených domácností, jsou téměř konstantní. Změna nastala pouze po připojení 3 domácnosti (Profil 5), která má trochu jiné návyky využívání EE a došlo ke zvýšení využité a současně ke snížení exportované EE. Taková změna může nastat např. při vyšším pravidelném odběru EE během dopoledne, kdy naopak většina domácností má sníženou spotřebu.

Variatna s konstantním instalovaným výkonem je vhodná pouze pro určitý počet připojených domácností. S rostoucím počtem domácností bude sice potenciál FV zdroje využit více, ale ve výsledku dojde k pokrytí pouze malé části spotřeby každé domácnosti. Druhým způsobem jsme schopni zajistit téměř konstantní míru pokrytí spotřeby. Samozřejmě bude záležet na zvoleném výkonu FV zdroje a spotřebě jednotlivých domácností. Pro jednu domácnost může být výkon příliš velký, pro druhou zase příliš malý. Vhodně navrženým systémem jsme schopni zajistit dostatečné pokrytí spotřeby několika domácností, bohužel však bez dosažení větší míry využitelnosti. V obou případech lze podle indexu exportu vidět značnou míru přebytků dodaných do DS. Opět se tedy nabízí možnost aplikace některé z metod akumulace. Chemické akumulátory lze navrhnout třeba se zaměřením na pokrytí večerní špičky. Je možné navrhnout také akumulaci přebytků do vody, kdy můžou mít domácnosti jeden společný dostatečně velký zásobník teplé vody (např. 600 l pro 3 domácnosti) s pomocným elektrickým tělesem napojeným na FVS.

6 ZÁVĚR

V první kapitole diplomové práce jsme stručně probrali většinu zásadních komponent FVS, které se používají v aplikacích na residenčních objektech. Probrali jsme jejich základní parametry, používané technologie a možnosti využití. Dále jsme se věnovali aktuálnímu vývoji FV instalací ve světě a v ČR. V souvislosti s vývojem v ČR došlo k rozboru legislativy týkající se tématu diplomové práce. Závěrem kapitoly jsme uvedli skutečné možnosti lokálního využití energie vyrobené FV zdrojem, z čehož je patrné, že výsledky samotné simulace je potřeba s ohledem na zmíněné informace brát s rezervou. K 100 % využití vyrobené energie bude s největší pravděpodobností docházet jen zřídka i v případě dobře navrženého systému. Vzhledem k tomu, že v ČR je upřednostňováno měření čtyřkvadrantovým elektroměrem každé fáze zvlášť je skutečně žádoucí věnovat dostatek času vhodnému zapojení a optimalizaci využití vyrobené energie.

V rámci druhé kapitoly jsme se zabývali spotřebou elektrické energie a problematikou jejího měření. Popsali jsme si odběrové sazby související s platbou za odběr elektřiny a uvedli možnosti využití nízkého a vysokého tarifu. Hlavním výstupem kapitoly jsou profily spotřeby průběhového měření a jejich srovnání s hojně používaným statistickým průběhem TDD. Vybrali jsme jeden konkrétní průběh a ten je nadále použit jako referenční profil elektrické spotřeby při samotném návrhu FVS.

Zásadní kapitola, v pořadí třetí, pro realizaci DP podrobně popisuje vytvoření vlastního simulačního nástroje FVS s využitím přebytků pro ohřev teplé vody. Simulační nástroj byl navržen v prostředí MATLAB a není možné ho tedy spustit mimo dané prostředí. Byly popsány jednotlivé vstupní a výstupní parametry včetně výpočtů na základě kterých jsou vyhodnoceny. Simulační nástroj je ovládán pomocí grafického rozhraní, které současně slouží k zobrazení výstupů. V dostatečné míře jsme probrali teorii potřebnou pro provedení konkrétních výpočtů. Řízení simulace je popsáno pomocí vývojových diagramů usnadňujících přehled v navrženém algoritmu. Samotný algoritmus simulace je hojně komentován, takže případné bližší pochopení některých částí kódu je možné získat touto cestou. Archiv se všemi funkcemi je přílohou DP. Dohromady jsme provedli srovnání s dostupnými komerčními produkty na základě čehož jsme usoudili, že navržený simulační nástroj je použitelný pro další výpočty.

Čtvrtou kapitolou jsme demonstrovali návrh FVS pro residenční objekt s ohledem na splnění podmínek dotačního programu NZÚ. Navržené Varianty spadají do kategorie C.3.4., tedy tepelné využití přebytků EE. Výchozím návrhem jsme stanovili celkovou spotřebu uvažované domácnosti, jež byla 7,5 MWh/rok. Pro vypočtenou spotřebu jsme navrhli FVS s akumulací přebytků do vody. Porovnali jsme mezi sebou navrženou Variantu 1, s klasickou elektrickou topnou patronou a Variantu 2 s tepelným čerpadlem. V obou případech jsme dosáhli znatelných energetických úspor, které se pozitivně projeví i v ekonomické stránce návrhu a během předpokládané životnosti projektu dojde k jejich bezproblémovému zaplacení. V případě Varianty 2 však úspory byly znatelně lepší a je tudíž vhodné v případě realizace volit tuto variantu. Můžeme říci, že správně navržený FVS s tepelným čerpadlem je vhodnou kombinací pro energetické a související ekonomické úspory. Závěrem kapitoly je však nutné opět zmínit využitelnost energie v praxi, která se s největší pravděpodobností bude od simulace lišit.

V závěrečné kapitole jsme podkryli možnosti využití FVS pro více residenčních objektů. Opět jsme si ukázali, že při správném návrhu a konceptuálním řešení jsme schopni zajistit určitou energetickou samostatnost uvažovaných domácností. Bohužel jsem ale nedosáhl očekávaných výsledků vyšší míry využitelnosti vyrobené energie. Ve variantě s konstantním výkonem využitelnost FVS sice s počtem domácností roste, ale současně klesá přínos pro jednotlivé domácnosti. Zásadním předpokladem při realizaci podobných projektů je dostatečná domluva mezi majiteli jednotlivých domácností a případná domluva na spolufinancování celého systému. Jedním z řešení by mohla být i výstavba nových RD s již navrženým FVS a budoucí majitelé by tyto domy kupovali již se zavedeným a vhodně rozděleným FV zdrojem.

Literatura

- [1] STANĚK, Kamil. *Fotovoltaika pro budovy*. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
- [2] BENDA, Vítězslav, Petr WOLF a Kamil STANĚK. *Fotovoltaické systémy, Učební texty k semináři*: [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_04_1104.pdf
- [3] WOLF, Petr. *Modelování fotovoltaických článků a panelů v podmínkách nerovnoměrného rozložení teploty a intenzity záření* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/19221> Disertační práce. ČVUT. Vedoucí práce Prof. Vítězslav Benda.
- [4] CZECH RE AGENCY, O.P.S. *Fotovoltaický střídač - účinnost není vše: Důležitější je maximální výnos energie*. [online]. 20.4.2009. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [5] REN21. *Renewables 2016 Global Status Report* [online]. [cit. 2017-02-19]. ISBN 978-3-9818107-0-7. Dostupné z: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>
- [6] SOLÁRNÍ NOVINKY. *ČEZ Distribuce potvrzuje rostoucí zájem o připojování nových fotovoltaických elektráren* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2017011003/cez-distribuce-potvrzuje-rostouci-zajem-o-pripojovani-novych-fotovoltaickych-elektren#.WJ8ySn9MbI8>
- [7] NEČAS, Filip. *Připojení fotovoltaické elektrárny do 10 kW do sítě* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.fbadvokati.cz/novinky/energetika/pripojeni-fotovoltaicke-elektreny-do-site>
- [8] NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM. *Podmínky oblasti podpory C* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>
- [9] IEA-PVPS. *TRENDS 2016: IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS* [online]. [cit. 2017-03-24]. ISBN 978-3-906042-45-9. Dostupné z: <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=92>
- [10] ABB. *Přístroje nízkého napětí: Prvky ABB pro fotovoltaiku* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/763c3cd19ae397c2c1257643002ed96a/ABB%20pristroje%20pro%20fotovoltaiku.pdf>
- [11] DERAMAX. *Složení fotovoltaické elektrárny - 2.díl ze seriálu článků* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://www.deramax.cz/2-slozeni-fotovoltaicke-elektreny-2-dil-ze-serialu-clanku>
- [12] PAVLŮ, Michal. *Degradační mechanismy u olověných akumulátorů*. 2012. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
- [13] FRAUNHOFER. *PHOTOVOLTAICS REPORT 2016* [online]. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html?wcmmode=disabled>
- [14] ERU. *Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2015* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/rocni-zpravy-o-provozu>
- [15] PŘEMĚŘENÍ. *Instalace fotovoltaických elektráren* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/cs/sluzby/fotovoltaicke-elektreny/instalace-fotovoltaickych-elektren/>
- [16] ČSÚ. *Spotřeba paliv a energií v domácnostech (Energo 2015)* [online]. Český statistický úřad [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energiiv-domacnostech>

- [17] ERÚ. *Příloha č. 4 k vyhlášce č. 541/2005 Sb.* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/o-nas/o-skupine-eon/energeticka-legislativa>
- [18] Operátor trhu s elektřinou. *OTE, a.s.* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/>
- [19] ČEZ. *Inteligentní měření* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/vyzkum-a-vyvoj.html>
- [20] ERÚ. *Vyhláška č. 82/2011 Sb.* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/informacni-centrum/pravni-predpisy>
- [21] *MATLAB, dokumentace* [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/matlab/>
- [22] *THERMIS MĚŘÍCÍ A REGULÁČNÍ TECHNIKA* [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.thermis.cz/produkt/149-topna-telesa-pro-ohrev-kapalin/>
- [23] NIBE. *Tepelná čerpadla vzduch-voda* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.nibe.cz/cs/ke-stazeni/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [24] BUDERUS. *Projekční podklady k tepelným čerpadlům* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.buderus.cz/dokumenty/projekcni-podklady/>
- [25] TZB-INFO. *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [26] PVGIS. *Photovoltaic Geographical Information System* [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [27] HULD, Thomas a Ana M. GRACIA AMILLO. *Estimating PV Module Performance over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum* [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: www.mdpi.com/1996-1073/8/6/5159/pdf
- [28] Huld, T.; Gottschalg, R.; Beyer, H.; Topic, M. Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging. *Solar Energy* 2010, 84, 324–338
- [29] EKOWATT. *Spotřeba tepla na ohřev teplé vody* [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/37-spotreba-tepla-na-ohrev-teple-vody.html>
- [30] VŠB-TUO. *Podpora výuky TZB pro fakultu FBI: Teplá voda v objektu* [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/3.html>
- [31] VAVŘIČKA, Roman. *Potřeba tepla pro přípravu teplé vody* [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/9395-potreba-tepla-pro-pripravu-teple-vody>
- [32] EUROPEAN COMMISSION. *M/324 Mandate to CEN and CENELEC for the elaboration and adoption of measurement standards for household appliances: Water-heaters, hot water storage appliances and water heating systems* [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.welcome>
- [33] TZB-INFO. *Lithiové akumulátory: Přehled základních typů a jejich vlastností* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/13612-lithiove-akumulatory>
- [34] MORA. *Katalog produktu EOM 200 PKT* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.mora.cz/data/katalog-soubor/1635/mora-bojlery-2016-eom-200pkt.pdf>
- [35] CENYENERGIE. *Dvoutarifní sazba* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/dvoutarifni-sazba/#/promo-ele>

- [36] ČEZ. *Časy spínání VT a NT pro průběhová měření (nn, vn, vvn)* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/spinani-hdo/casy-spinani.html>
- [37] ČEZ. *Ceník* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/elektrina/comfort/cenik.html>
- [38] ERÚ. *Cenový kalkulator* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://kalkulator.eru.cz/>
- [39] ALVAT. *Regulátor přebytků elektrické energie z fotovoltaické elektrárny v režimu "zelený bonus"* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: http://www.alvat.cz/sites/default/files/pdf/products/regulator_fve/regulator_prebytku_fve.pdf
- [40] REGULUS. *Akumulace, zásobníky, výměníky* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/akumulacni-nadrze-zasobniky-vymeniky>
- [41] SMA. *SUNNY BOY 1.5 / 2.5* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-boy-15-25.html>
- [42] Datasheet Axitec. *Solarinvest (e-shop)* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: [http://www.eshop-solar.cz/user/related_files/datovy_list_axitec_250wp_\(1\).pdf](http://www.eshop-solar.cz/user/related_files/datovy_list_axitec_250wp_(1).pdf)
- [43] Technický katalog Buderus pro tepelná čerpadla. *Buderus* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.buderus.cz/dokumenty/katalog.html>
- [44] Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC. *TZB-INFO* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [45] SOLARGIS. *Meteonorm vs Solargis* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://solargis.com/support/knowledge-base/compare/meteororm-vs-solargis/>

Seznam obrázků

Obrázek 1-1	Konstrukce fotovoltaického panelu [3]	4
Obrázek 1-2	Struktura tenkovrstvých článků [2]	5
Obrázek 1-3	Schéma zapojení ochranných prvků [10]	6
Obrázek 1-4	Celosvětový růst instalovaného výkonu fotovoltaiky [13].....	8
Obrázek 1-5	Rozložení instalovaného výkonu dle státu/regionu [13]	8
Obrázek 1-6	Celosvětová produkce článků/modulů podle technologie [13]	9
Obrázek 1-7	Podíl na výrobě elektřiny podle instalovaného výkonu [14].....	9
Obrázek 1-8	Schéma kombinovaného zapojení akumulace do baterií a do vody [15]	11
Obrázek 3-1	Princip tepelného čerpadla [23].....	22
Obrázek 3-2	Grafické rozhraní zadávacího formuláře parametrů simulace.....	23
Obrázek 3-3	Základní zobrazení energetických toků v objektu.....	25
Obrázek 3-4	Grafické rozhraní pro zobrazení výsledků simulace	26
Obrázek 3-5	Výnosnost energie dle sklonu a orientace [25].....	27
Obrázek 3-6	Diagram ohřevu TV, bez HDO	32
Obrázek 3-7	Diagram ohřevu TV s tepelným čerpadlem, bez HDO	33
Obrázek 3-8	Diagram využití přebytků při provozu tepelného čerpadla, bez HDO	34
Obrázek 3-9	Číselné výsledky energetických hodnot programu FVE	35
Obrázek 3-10	Výsledky simulace vlastního nástroje pro zadané parametry, bez HDO.....	36
Obrázek 4-1	Výsledky simulace výchozího návrhu pro ohřev bez řízení se signálem HDO	39
Obrázek 4-2	Výsledky simulace výchozího návrhu pro ohřev se signálem HDO	40
Obrázek 4-3	Výsledky simulace pro vypočítaný instalovaný výkon 1,7 kWp, bez akumulace.....	44
Obrázek 4-4	Výstup simulace FVS pro parametry dle Tabulky 4-8	48
Obrázek 4-5	Výstup simulace FVS pro parametry dle Tabulky 4-10	51
Obrázek 5-1	Řadové domky s plochou střechou jsou ideálním prostorem pro realizaci FVS	57
Obrázek 5-2	Základní schéma FVS pro případy agregace odběrných míst (připojení do více domácností)	58

Seznam tabulek

Tabulka 2-1	Třídy typových diagramů dodávek [17]	13
Tabulka 2-2	Typické spotřebiče a vybavenost domácností ČR [1, 16].....	14
Tabulka 3-1	Upřesnění společných parametrů simulace.....	24
Tabulka 3-2	Upřesnění parametrů simulace s topnou spirálou	24
Tabulka 3-3	Upřesnění parametrů simulace s tepelným čerpadlem.....	25
Tabulka 3-4	Koeficienty Huldova modelu konverzní účinnosti	28
Tabulka 3-5	Měrná denní potřeba teplé vody [29].....	29
Tabulka 4-1	Požadavky pro splnění dotačního programu NZÚ, kategorie C.3.4. (* minimální možný objem akumulční nádrže)	38
Tabulka 4-2	Výchozí parametry návrhu pro ohřev vody bojlerem (hystereze 3 K)	38
Tabulka 4-3	Roční náklady na odběr elektřiny. (*sazba za jistič, cena za činnosti zúčtování OTE, pevná cena za měsíc).....	41
Tabulka 4-4	Výsledné hodnoty výchozího návrhu.....	42
Tabulka 4-5	Výchozí parametry FV systému.....	42
Tabulka 4-6	Základní parametry střídače Sunny Boy 2.5	46
Tabulka 4-7	Parametry vybraného panelu při STC (1000 W/m ² , 25 °C, AM 1.5)	46
Tabulka 4-8	Parametry simulace FVS Varianta1, sklon 32°, orientace na jih	47
Tabulka 4-9	Roční náklady na odběr elektřiny Varianta 1.....	49
Tabulka 4-10	Parametry simulace FVS Varianta1, sklon 32°, orientace na jih, parametry TČ dostupné z [43].....	50
Tabulka 4-11	Roční náklady na odběr elektřiny Varianta 2.....	52
Tabulka 4-12	Zpřesňující parametry ekonomického hodnocení	53
Tabulka 4-13	Investiční výdaje spojené s pořízením akumulční nádrže, Varianta 1	53
Tabulka 4-14	Investiční výdaje spojené s pořízením tepelného čerpadla, Varianta 2	54
Tabulka 4-15	Investiční výdaje spojené s pořízením FVS ¹	54
Tabulka 4-16	Celkové investiční náklady pro Variantu 1 a 2	54
Tabulka 4-17	Shrnující roční náklady a výnosy.....	54
Tabulka 4-18	Peněžní toky pro Variantu 1 po dobu uvažované životnosti.....	55
Tabulka 4-19	Peněžní toky pro Variantu 2 po dobu uvažované životnosti.....	56
Tabulka 4-20	Výsledky hodnotících ekonomických kritérií	56

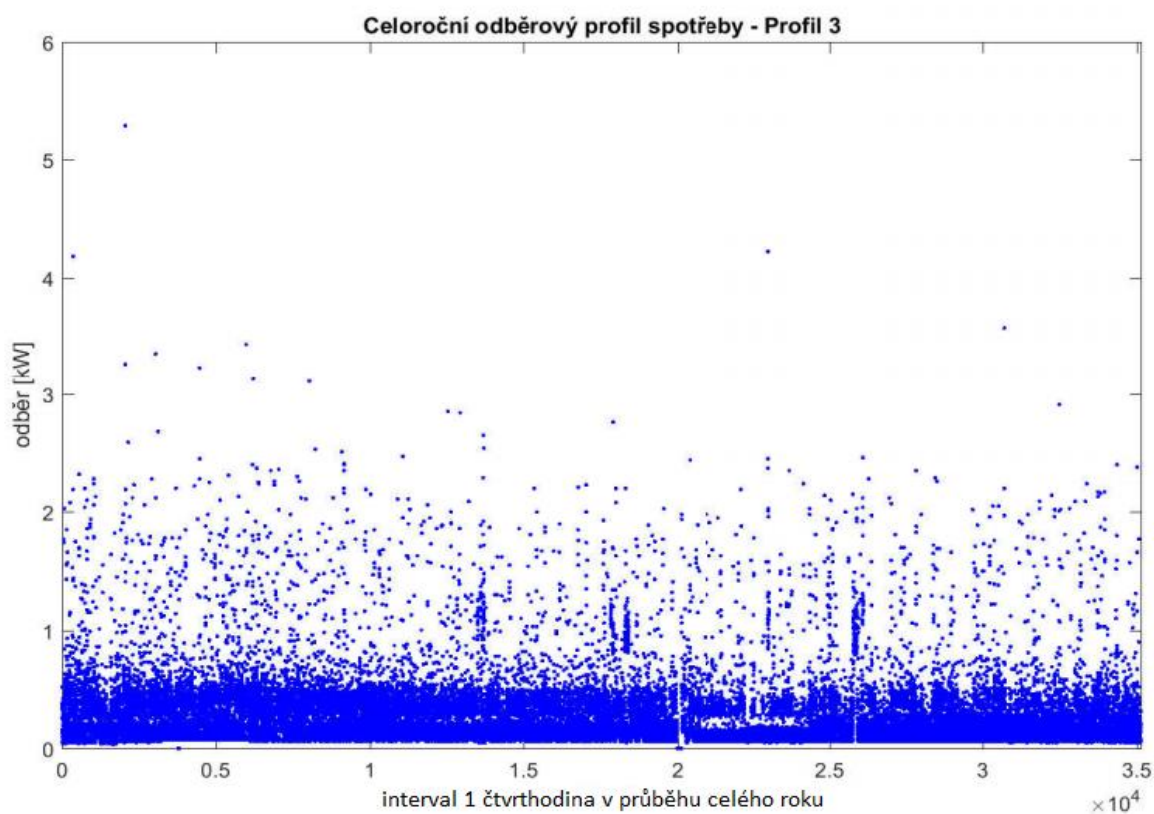
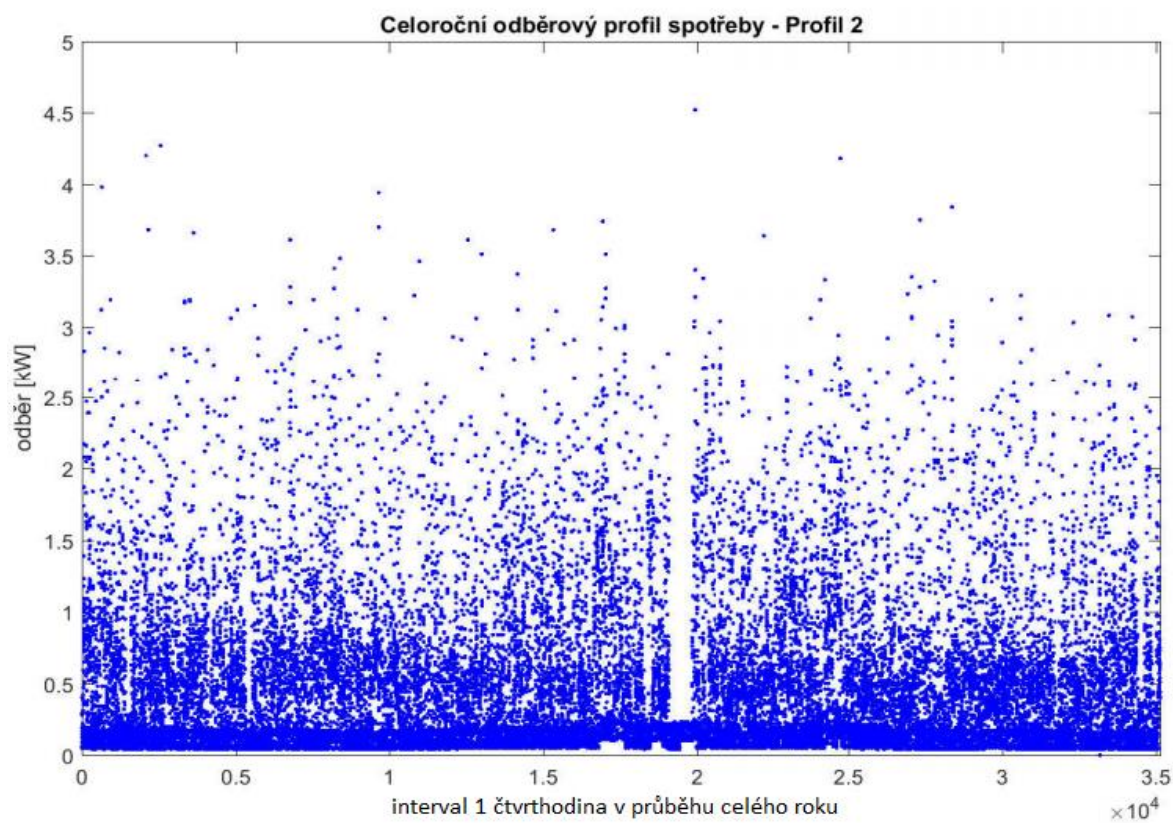
Seznam grafů

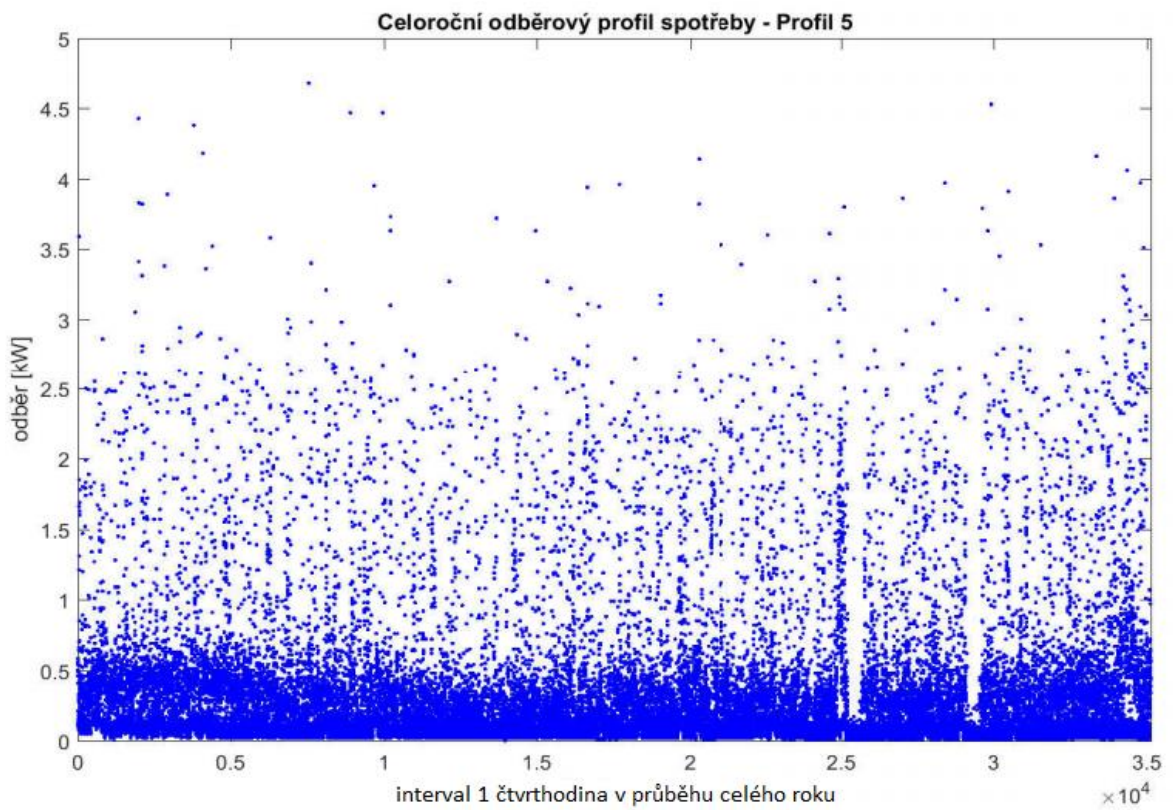
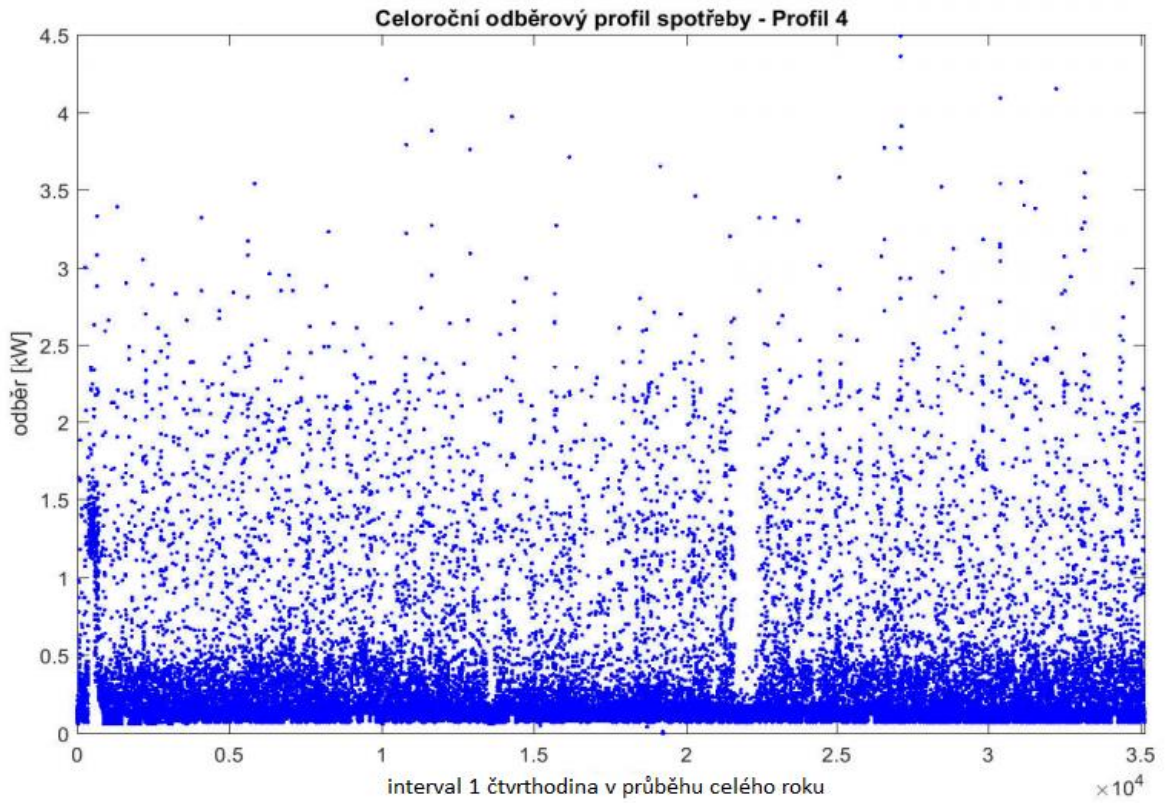
Graf 2-1 Srovnání Profilu 1 a TDD pro všední zimní den	16
Graf 2-2 Srovnání Profilu 1 a TDD pro víkendový zimní den.....	17
Graf 2-3 Srovnání Profilu 1 a TDD pro všední letní den	17
Graf 2-4 Srovnání Profilu 1 a TDD pro víkendový letní den.....	18
Graf 2-6 Celoroční odběrový profil EE pro Profil 1, roční spotřeba 3 296 kWh, časový interval měření 1 čtvrt hodina.....	19
Graf 2-5 Celoroční odběrový profil EE pro TDD4 2016, roční spotřeba 3 296 kWh, interval 1 hodina.....	19
Graf 3-1 Minutový odběrový profil TV pro celkovou spotřebu 40l/os.den	30
Graf 3-2 Grafické znázornění energetických toků z programu FVE	35
Graf 3-3 Graf průměrné teploty vody v nádrži z programu FVE.....	36
Graf 4-1 Celodenní průběh teploty v bojleru dle výchozích parametrů zadání, bez HDO	40
Graf 4-2 Celodenní průběh teploty v bojleru dle výchozích parametrů zadání, řízení HDO.....	41
Graf 4-3 Energetické veličiny v závislosti na instalovaném výkonu FV zdroje, parametry dle Tab. 4-5	43
Graf 4-4 Bilanční ukazatele v závislosti na poměru instalovaného výkonu a roční spotřeby RD ..	43
Graf 4-5 Celoroční průběh teploty v akumulární nádrži pro Variantu 1, využití přebytků FV zdroje pro ohřev teplé vody.....	48
Graf 4-6 Celoroční průběh teploty v akumulární nádrži pro Variantu 2, využití přebytků FV zdroje pro ohřev teplé vody.....	51
Graf 5-1 Agregace odběrných míst (3 domácnosti) s jednotným instalovaným výkonem FV zdroje 6 kWp	58
Graf 5-2 Agregace odběrných míst (3 domácnosti) s postupným zvyšováním instalované výkonu FV zdroje (2 kWp/domácnost).....	59

Seznam příloh

Příloha 1: Roční profily elektrické spotřeby pro Profil 2 – 5	68
Příloha 2: Denní cyklování odběru vody	70
Příloha 3: Obsah CD	71

Příloha 1: Roční profily elektrické spotřeby pro Profil 2 – 5





Příloha 2: Denní cyklování odběru teplé vody, zdroj [32]

EU reference tapping cycle nr. 3						
	<i>hr.min start</i>	<i>energy (kWh)</i>	<i>type</i>	<i>ΔT desired(K), to be achieved during draw-off</i>	<i>min. ΔT (K), =start of counting useful energy</i>	<i>flow rate, S=specific rate, R= 2/3 * S</i>
1	07.00	0,105	small		15	S
2	07.05	1,400	shower		30	S
3	07.30	0,105	small		15	S
4	07.45	0,105	small		15	S
5	08.05	3,605	bath	30	0	S
6	08.25	0,105	small		15	S
7	08.30	0,105	small		15	S
8	08.45	0,105	small		15	S
9	09.00	0,105	small		15	S
10	09.30	0,105	small		15	S
11	10.30	0,105	floor	30	0	S
12	11.30	0,105	small		15	S
13	11.45	0,105	small		15	S
14	12.45	0,315	dishwash	45	0	R
15	14.30	0,105	small		15	S
16	15.30	0,105	small		15	S
17	16.30	0,105	small		15	S
18	18.00	0,105	small		15	S
19	18.15	0,105	clean		30	R
20	18.30	0,105	clean		30	R
21	19.00	0,105	small		15	S
22	20.30	0,735	dishwash	45	0	R
23	21.00	3,605	bath	30	0	S
24	21.30	0,105	small		15	S
total		11,655				

Příloha 3: Obsah CD

DP_Stampera.pdf – Kompletní text diplomové práce ve formátu pdf

Simulace.zip – Archiv obsahující veškeré funkce simulace, návod na ovládání simulace a zdrojová data profilů a veličin ve formátu .mat (MATLAB matice)