

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh ostrovního fotovoltaického systému

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

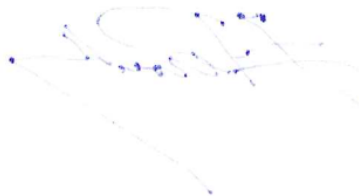
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Patrik FERBAS
Osobní číslo:	E19N0045P
Studijní program:	N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor:	Komerční elektrotechnika
Téma práce:	Návrh ostrovního fotovoltaického systému
Zadávací katedra:	Katedra materiálů a technologií

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s problematikou provozování a navrhování ostrovních systémů.
2. Popište modelový objekt a stanovte příslušný zátěžový profil.
3. Navrhněte ostrovní fotovoltaický systém pro modelový objekt.
4. Zhodnoťte možnosti získání dotací pro navrhovaný systém.



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

Seznam doporučené literatury:

1. po domluvě s vedoucím

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

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



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



Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh ostrovního fotovoltaického systému pro soběstačnost domácnosti žijící v rodinném domě. Pro výpočet výroby a spotřeby bude použit program PV Sol od firmy Valentine Software. Model projektovaného objektu byl využit stávající dům v oblasti Krušných hor. Spotřeba domácnosti byla po několika modelech specificky přizpůsobena pro funkčnost celého systému.

Klíčová slova

Fotovoltaický systém, ostrovní provoz, bezpečnost, matematický model, soběstačnost, solární energie, obnovitelné zdroje, PV Sol.

Abstract

The presented diploma thesis is focused on the design of an island photovoltaic system for self-sufficiency of a household living in a family house. The PV Sol program from Valentine Software will be used to calculate production and consumption. The model of the projected building was used by the existing house in the Ore Mountains. After several models, household consumption was specifically adjusted for the functionality of the entire system.

Key words

Photovoltaic system, island operation, safety, mathematical modelling, self-sufficiency, solar energy, renewable resources, PV Sol.

Prohlášení

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

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


.....
podpis

V Plzni dne 25.5.2021

Bc. Patrik Ferbas

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Milanu Bělíkovi Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu během celého studia.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 TEORETICKÝ ÚVOD.....	12
1.1 OSTROVNÍ PROVOZ.....	12
1.1.1 Systémový parametr.....	13
1.1.2 Lokální parametr	14
1.2 SOLÁRNÍ ENERGIE	14
1.2.1 Princip	16
1.2.2 Aplikace solárních panelů	17
1.2.3 Výpočet výkonu solárních panelů.....	20
1.2.4 Akumulace solární energie	22
1.2.5 Údržba solárních panelů	25
1.3 SIMULAČNÍ PROGRAM	26
1.3.1 Výpočetní systém programu.....	26
1.3.2 Seznámení s programem.....	30
2 VÝPOČET SPOTŘEBY A VÝROBY	32
2.1 SPOTŘEBA	32
2.2 VÝROBA.....	33
3 VYTVOŘENÍ MODELU	34
3.1 POPIS MODELU	34
3.2 MODEL SOLÁRNÍHO OSTROVNÍHO PROVOZU.....	34
3.2.1 Solární panely.....	36
3.2.2 Měníče	39
3.2.3 Baterie	40
4 VYHODNOCENÍ STABILITY.....	41
4.1 STABILITA	42
4.2 ZÁLOŽNÍ ZDROJE	43
4.3 JINÉ PROSTŘEDKY K DOSAŽENÍ SOBĚSTAČNOSTI	43

5 EKONOMICKÉ HLEDISKO	45
5.1 NÁKLADY.....	45
5.2 PODMÍNKY DOTACÍ.....	45
5.3 LEGISLATIVA ČR	46
5.4 NÁKLADY NA OSTROVNÍ PROVOZ	47
5.5 PŘÍNOSY	48
ZÁVĚR	49
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1
SEZNAM PŘÍLOH	2
PŘÍLOHA A – OSTROVNÍ PROVOZ VERZE 1	3
PŘÍLOHA B – OSTROVNÍ PROVOZ VERZE 2.....	4
PŘÍLOHA C – SPOTŘEBIČE	5

Úvod

V době, kdy pomalu dochází zásoby nerostných surovin, které jsou používány k výrobě elektrické energie, se velice často skloňuje slovní spojení obnovitelné zdroje. Mezi tyto zdroje patří i solární energie. Tato energie může být vyráběna na většině míst světa. V některých částech je implementace solárních panelů výhodnější než v dalších místech, ale na všech místech vyrobí energii úměrnou intenzitě záření. Solární energie se považuje za zelenou energii a je také z nějakých částí často dotována státem.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem fotovoltaického ostrovního systému. Tento systém by měl být navrhnout tak, aby bylo možné prohlásit, že je soběstačný a nezávislý na dodávce elektrické energie. Jelikož solární energie se vyrábí během dne je třeba také vyřešit ukládání energie do baterií. V bateriích poté musí být dostatek energie pro uživatele, kteří budou tento systém využívat po dobu, kdy intenzita záření bude menší, a tím se i zmenší vyrobená energie převážně ve večerních a brzkých hodinách dne.

Ve třetí kapitole nastane výpočet spotřeby rodinného domu, pro který budeme navrhovat ostrovní systém. Poté nastane výpočet výrobní kapacity solárních panelů a určení počtu panelů, které bude nutno do systému připojit, aby byla dosažena stoprocentní soběstačnost. Důležité je také určit správnou aplikaci solárních panelů tak, aby vyráběly nejvíce elektrické energie v době, kdy bude největší spotřeba. V zimních měsících je navíc Slunce níže než v létě, a tak se musí přizpůsobit i sklon panelů. Nejčastěji se solární panely instalují na střechy a na jižní stranu, jelikož přes tuto stranu Slunce přechází právě v zimních měsících od východu na západ. V této práci bude více možností instalace solárních panelů i měničů.

Dále se budu zabývat kapacitou baterií, aby nedošlo k blackoutu. Bateriový systém musí být navržen tak, aby bylo zaručeno, že během dne nebude docházet k výpadkům dodávky energie, a také k tomu, aby odběratel mohl spotřebovávat elektrickou energii i po západu Slunce.

Práce bude obsahovat také ocenění přístrojů, které budou nutné nainstalovat do systému. Nutné přístroje jsou panely, baterie, měniče a bateriový střídač. Dále bude nutná kabeláž k propojení celého systému. Do ceny nebude započítána práce, která může být využita od firmy k nainstalování celého systému.

Seznam symbolů a zkratek

f	–	frekvence (Hz)
P	–	výkon (W)
Q	–	jalový výkon (VAr)
U	–	napětí (V)
FV	–	fotovoltaický
VVN	–	velmi vysoké napětí
VN	–	vysoké napětí
NN	–	nízké napětí
U_{JM}	–	jmenovité napětí

1 Teoretický úvod

1.1 Ostrovní provoz

Ostrovní provoz je definován jako stabilní mimořádný provoz části elektrizační soustavy, která je galvanicky oddělena od zbytku soustavy. Tento provoz může vzniknout jako oddělení části soustavy důsledkem poruchy, do které může pracovat několik zdrojů elektrické energie. Nebo úmyslný ostrovní provoz za účelem soběstačnosti části soustavy. Ostrovní provoz je tedy schopnost elektroenergetického systému pokrývat spotřebu vyčleněné části systému, a to nezávisle na dodávce elektrické energie z nadřazené elektrizační soustavy. Tento provoz také musí zabezpečit udržení kvality elektrické energie po celou dobu odběru. V této práci se budeme snažit navrhnout takový ostrovní provoz, aby bylo možné zabezpečit dostatek elektrické energie pro rodinný dům. Jelikož solární energie se mění za různého počasí, bude nutné mít i záložní zdroj elektrické energie. [1]

Ostrovní provoz mohou nastat vlivem náhodné poruchy uvnitř elektrizační soustavy, jako plánovaný provoz bez přerušení dodávky odběratelům anebo plánovaný ostrovní provoz s přerušením dodávky elektrické energie. Také můžeme tyto provozování dělit podle velikosti oblasti, ve které bude vytvořen ostrovní provoz. Největší oblastí může být oblast VVN, která napájí rozsáhlé území, a to i velké městské části nebo její části. V této oblasti jsou zahrnuty také transformátory a distribuční stanice VN/NN. Další oblast je taková, která napájí pouze svou vlastní spotřebu výroby elektrické energie. Poté můžeme definovat oblast NN s jednou maximálně několika málo distribučními stanicemi. Tento provoz se také nazývá náhradní napájení. Poslední oblastí je opět oblast NN, která napájí pouze jednoho konkrétního odběratele jako takzvaný záskokový zdroj. Ostrovní provozování také můžeme dělit podle počtu a typu napájecích zdrojů na ty, které mají jeden zdroj nebo více, a tyto zdroje mohou mít synchronní nebo asynchronní generátory. [2]

Nástrojem pro předcházení odstávek elektrické energie je automatické vytvoření ostrovního provozu (AVO), který je na úrovni 123 kV a vzniká odpojením části distribuční soustavy od přenosové soustavy. Výkon tohoto provozu může být v řádu desítek až stovek MW a připojených odběratelů mohou být až stovky tisíc. Hlavním kritériem pro vznik tohoto provozu je, že v této oblasti musí být náhradní zdroj, který bude schopen pokrýt celkovou spotřebu oblasti. Také je důležité, aby byly zajištěny napěťové a kvalitativní poměry v ostrovní oblasti. Vhodné je mít mírný přebytek energie nad spotřebou, aby byl vždy dostatek pro všechny odběratele. Frekvence a bilanční tok hrají v přechodu do ostrovního

provozu velmi klíčovou roli, a to i v oblasti, která nebude ostrovním provozem. Při přechodu do ostrovního provozu totiž odpojíme nějakou zátěž ze systému, a to způsobí rozdíl frekvence. Proto se při plánování tohoto přechodu musí nahradit výkon pro automatiky frekvenčního odlehčování, aby nebyl narušen plán odlehčování celé elektrizační soustavy. [2]

Ostrovní provoz se vyznačuje velkými nároky na regulační schopnost. Tato regulační schopnost je velmi důležitá pro předcházení nouzových stavů (havárie, odstávky). Ostrovní provoz se vyznačuje tím, že se v průběhu připojování a odpojování značně mění frekvence a napětí. Pro hodnocení kvality dodávky elektrické energie se používají dva ukazatele – systémový a lokální.

1.1.1 Systémový parametr

Systémový parametr je frekvence, která je hlídána, aby v ostrovním provozu byla všude stejné tedy 50 Hz. Výkon, který odebíráme ze zdroje, je závislý na napětí a frekvenci ($f \approx P$). Frekvence by se měla pohybovat během většiny času (99,5 %) v rozmezí 49,5 – 50,5 Hz. Při změnách činných výkonů dochází ke změně frekvence. Při malých změnách frekvence se nedostatek elektrické energie reguluje na straně generátoru. Pokud dojde ke zvýšení nebo snížení výkonu zátěže nebo dojde-li k výpadku výkonu ze strany generátoru, bude výkonová bilance dorovnána zvýšením nebo snížením výkonů zdrojů, které jsou zařazeny do regulace frekvence. [1]

Při regulaci frekvence se používá následující rovnice, z které vyjde ΔP . Tento parametr pak udává, jak velký může být nedostatek nebo přebytek elektrické energie, aby byla možná regulace frekvence na straně generátoru. Pokud je tento parametr větší musí dojít k odpojování odběratelů od zdroje energie.

$$\frac{T_m \cdot S_{NG}}{f_n} \cdot \frac{df}{dt} = \Delta P \quad (1.1) \quad [1]$$

1.1.2 Lokální parametr

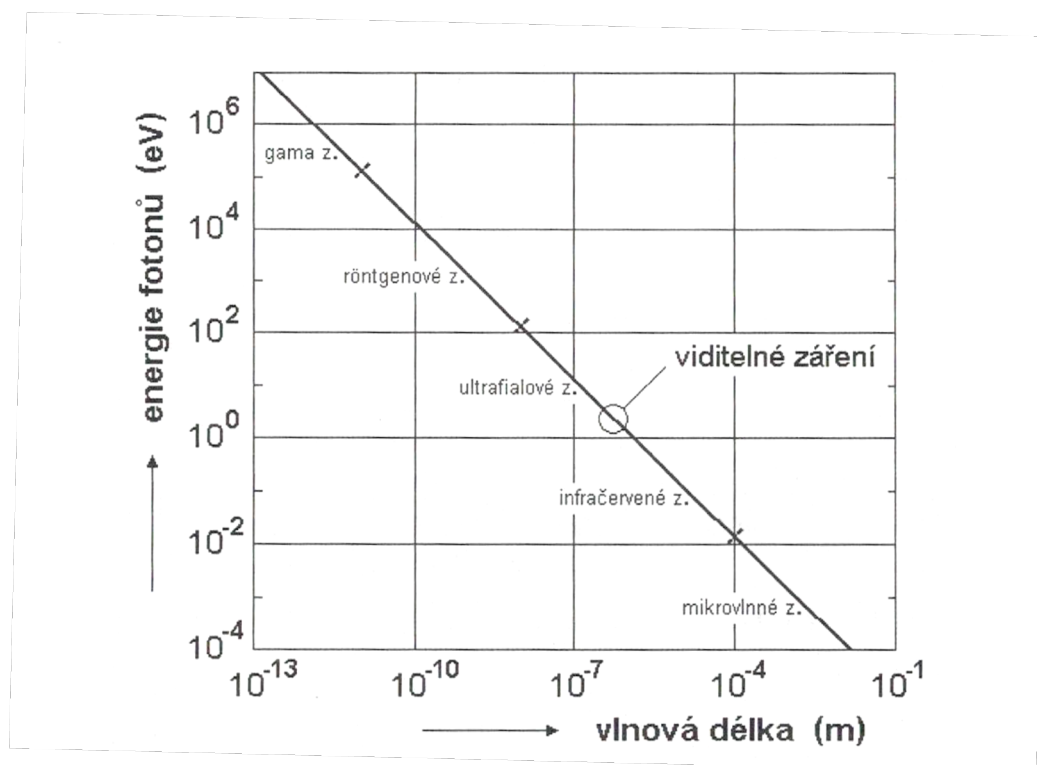
Lokální parametr je velikost napětí. Toto napětí je hlídáno v uzlech elektrické soustavy (transformátory, zdroje atd.). Pokles napětí není tak nebezpečný jako pokles frekvence. Změna napětí je úměrná změně jalového výkonu ($U \approx Q$). Vlivem připojování a odpojování zátěže vzniká úbytek napětí v síti. Úbytek napětí také vzniká v rozvodném systému, tento úbytek se musí předem vypočítat, aby u posledního odběratele úbytek napětí nepřekročil 10 %. Z důvodů spolehlivosti spotřebičů připojených k síti je potřeba, aby se průběh napětí u spotřebiče co nejvíce přibližoval svým tvarem sinusovému průběhu. Symetrie mezi fázemi znamená, že fáze mají stejnou velikost napětí v každé ze tří fází a fázový posun napětí v každé fázi o 120° elektrických. Na tvar průběhu napětí má vliv také rušení. Zdroje rušení se dělí na umělé například motory, spínače, elektroenergetické rozvody, výkonové polovodičové měniče, počítače, zářivky, obloukové pece atp. a přirozené zdroje rušení. Přirozené zdroje rušení mohou být například Slunce nebo atmosférické výboje. Toto rušení může způsobit změnu tvaru průběhu napětí. [3]

1.2 Solární energie

Sluneční energii řadíme mezi obnovitelné zdroje. Tuto energii můžeme využívat k ohřevu vody, vytápění i k výrobě elektrické energie. Na efektivním využití solární energie mají velký podíl zeměpisné podmínky. V České republice dopadne každý rok na zem přibližně 950 až 1 340 kilowatthodin (kWh) sluneční energie na metr čtvereční. Průměrně v České republice svítí slunce 1 330 až 1 800 hodin za rok. Pro využívání solární energie je ideální oblast jižní Moravy a nejméně vhodné jsou pak severní části Čech. Kromě zeměpisné polohy je též nutno zohledňovat konkrétní roční období. [4]

Světlo jsou příčné elektromagnetické vlny v úzké oblasti vlnových délek, a projevují se jako tok fotonů. Přirozené světlo je nepolarizované, to znamená, že vektory \vec{E} a \vec{B} jednotlivých vln chaoticky mění svou orientaci. Elektromagnetické vlny mohou mít velmi široké rozmezí vlnových délek od řádu 10^{-13} m až stovky metrů. Z tohoto rozmezí je viditelné světlo pouze v intervalu $\langle 380\text{nm}; 760\text{nm} \rangle$ a každé vlnové délce odpovídá určitá barva. Na obrázku 1.1 je znázorněna závislost energie fotonů na vlnové délce. Zde je vidět, že fotony viditelného světla mají energie v rozmezí $E = \langle 1,63 \text{ eV}; 3,27 \text{ eV} \rangle$, energie pro gama záření je v řádech MeV, ale naopak pro mikrovlnné záření je energie jen v řádech

tisícin eV. [5]



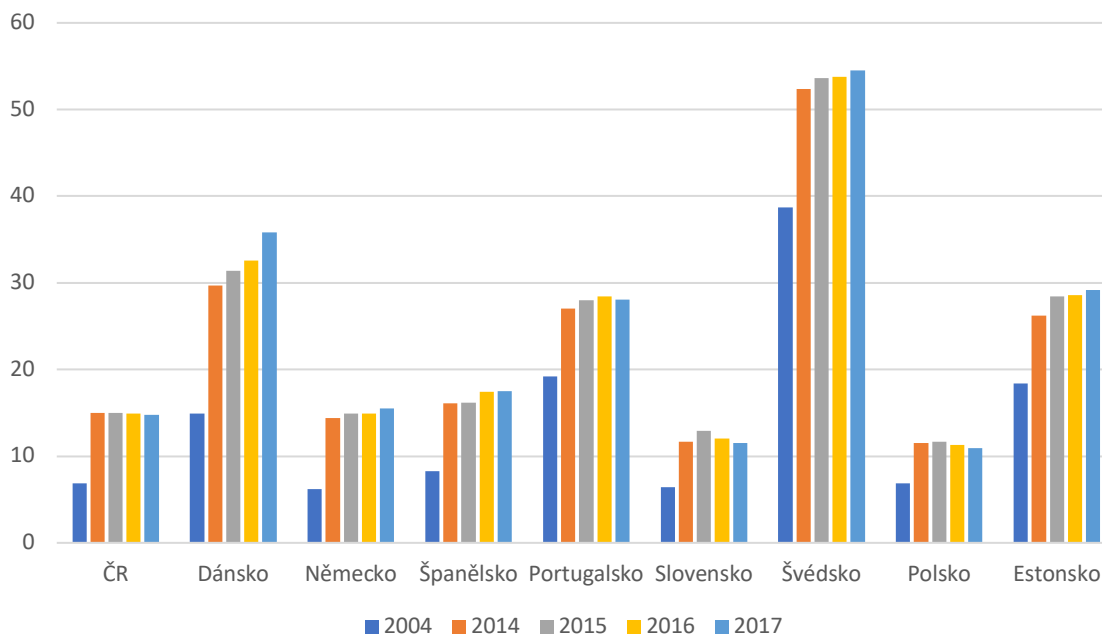
Obr. 1.1 Závislost energie na vlnové délce [5]

Pro porovnání následuje tabulka porovnání evropských států ve využívání obnovitelných zdrojů k výrobě elektrické energie. Následující tabulka 1.1 zobrazuje využití států Evropské unie obnovitelných zdrojů v procentech vůči celkové výrobě elektrické energie a porovnává také průběh v letech.

Tab. 1.1 – Porovnání evropských států ve využívání obnovitelných zdrojů (v %) [6]

	2004	2014	2015	2016	2017
ČR	6,9	15,0	15,0	14,9	14,8
Dánsko	14,9	29,7	31,4	32,6	35,8
Německo	6,2	14,4	14,9	14,9	15,5
Španělsko	8,3	16,1	16,2	17,4	17,5
Portugalsko	19,2	27,0	28,0	28,4	28,1
Slovensko	6,4	11,7	12,9	12,0	11,5
Švédsko	38,7	52,4	53,6	53,8	54,5
Polsko	6,9	11,5	11,7	11,3	10,9
Estonsko	18,4	26,2	28,4	28,6	29,2

Následuje ještě grafické znázornění využití obnovitelných zdrojů elektrické energie pro vybrané státy Evropské unie.



Obr.1.2 – Grafické znázornění využitelnosti obnovitelných zdrojů (v %) [6]

1.2.1 Princip

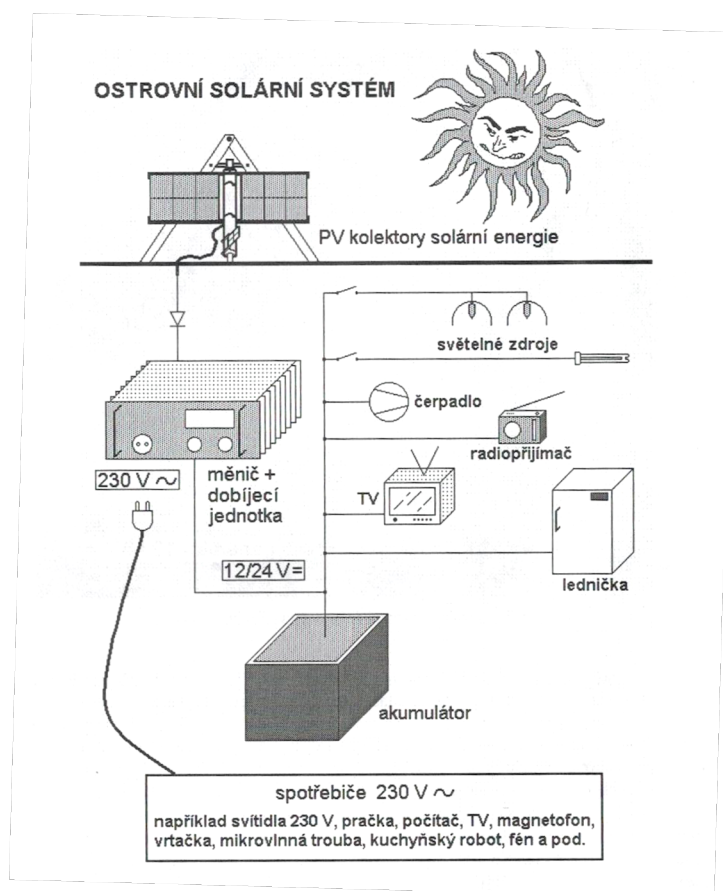
Fotovoltaický článek je polovodičová dioda. Jeho základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P, na které se při výrobě vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N. Obě vrstvy jsou odděleny přechodem P-N. Osvětlením článku vznikne v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev a v polovodiči se z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí, které dosahuje u křemíkových článků velikosti zhruba 0,5 V. Energie dopadajícího světla se v článku mění na elektrickou energii. Připojíme-li k článku pomocí vodičů spotřebič, začnou se kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne procházet elektrický proud. Je-li třeba větší napětí nebo proud, zapojují se jednotlivé články sériově či paralelně a sestavují se z nich fotovoltaické panely. Proud, který můžeme ze slunečního článku odebrat, je úměrný velikosti osvětlované plochy článku. Výkon křemíkových fotovoltaických článků o ploše 1 m² je 80–100 W, účinnost přeměny světelné energie na energii elektrickou závisí na struktuře materiálu a způsobu výroby článku (laboratorní nebo průmyslová): [7]

Tab. 1.2 – účinnost solárních panelů [7]

Křemíkový materiál	Laboratorní výroba (%)	Průmyslová výroba (%)
monokrystalický	24	14–17
polykrystalický	18	13–15
amorfní	13	5–7

1.2.2 Aplikace solárních panelů

Malé i velké fotovoltaické systémy mohou být konstruovány jako ostrovní nebo síťové. Ostrovní PV systémy jsou napojeny na rozvodnou síť a napájí jen malou oblast. Spotřeba je ale limitována pouze vyrobenou energií z fotovoltaického systému. Při návrhu takového systému je zapotřebí počítat s průměrnými hodnotami slunečního svitu v místě instalace. Na obrázku 1.3 je znázorněné schéma zapojení fotovoltaického systému. V tomto systému se nachází solární panely, měnič s dobíjecí jednotkou, akumulátor a spotřebiče. [5]



Obr. 1.3 Schéma fotovoltaického ostrovního systému [5]

Síťové PV systémy jsou připojeny na veřejnou rozvodnou síť. V době přebytku vlastního výkonu mohou dodávat elektrickou energii do sítě a v době nedostatku mohou ze sítě energii odebírat. Moderní měniče se samy automaticky sfázují se sítí a když dojde k poklesu napětí, tak se automaticky odpojí z bezpečnostních důvodů, aby do odstavené sítě nedodávaly elektrickou energii. [5]

1.2.2.1 PV systémy s pevným stojanem

Fotovoltaické panely se montují na střechy, fasády či pomocí konstrukce na vhodných místech. Snahou každého konstruktéra je maximální efektivita. Pokud je na možnost volit orientaci aplikace PV panelu, tak se zpravidla volí orientace k jihu a sklon podle zeměpisné šířky, aby v poledne dopadalo sluneční záření kolmo na panel. Pro maximalizaci využití solárních panelů je vhodné alespoň dvakrát do roka měnit sklon PV panelů na zimní a letní provoz. Při použití pevných stojanů se v průběhu dne mění plocha, na kterou dopadá sluneční svit. Pro porovnání bude následovat příklad výpočtu pro pevný stojan s měnící se plochou a poté výpočet pro pohyblivý kolektor. Pro plochu $S = 1 \text{ m}^2$, $I = 1100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a $\omega = \frac{2\pi}{T} = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. [5]

a) Pevný stojan

$$W = \int_{-21600 \text{ s}}^{21600 \text{ s}} I \cdot S_0 \cdot \cos \omega t \, dt = I \cdot S_0 \left[\frac{\sin \omega t}{\omega} \right]_{-21600 \text{ s}}^{21600 \text{ s}} = \frac{2 \cdot I \cdot S_0}{\omega} = 8,41 \text{ kWh} \quad (1.2) \quad [5]$$

b) Pohyblivý stojan

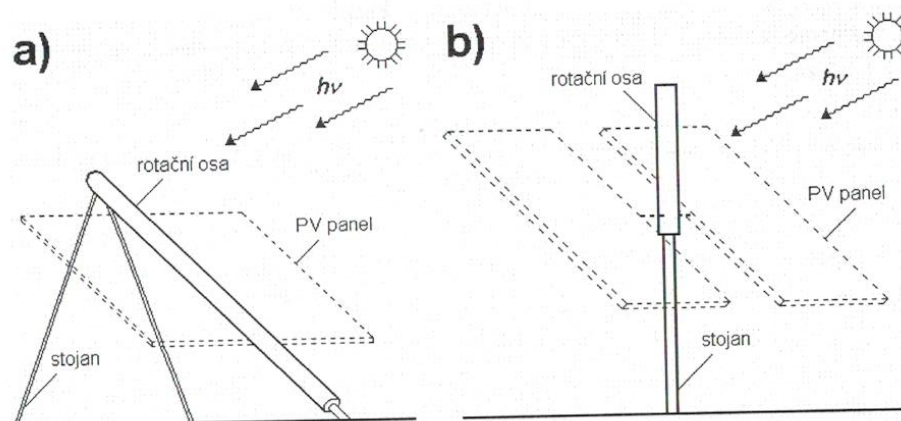
$$W = W = I \cdot S \cdot t = 13,2 \text{ kWh} \quad (1.3) \quad [5]$$

Z těchto vztahů je zřetelné, že vyrobená energie z pohyblivého stojanu je přibližně jeden a půl krát větší než u stojanu pevného. Kvůli této rozdílné vyrobené energii v průběhu dne se také pohyblivé systémy realizují.

1.2.2.2 PV systémy s pohyblivou konstrukcí

Smyslem pohyblivých systému je, aby po celou dobu dne dopadalo sluneční záření na panel kolmo. Jelikož na zemi dopadá na kolmou rovinu sluneční záření o intenzitě zhruba $I = 1100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a při účinnosti panelu přibližně 18–20 % je maximální výkon

$P_{\max} = 200 \text{ W}$. Při dopadu záření jiného, než je 90° , maximální výkon klesá. Existují nejrozličnější provedení pohyblivých systémů, ale mezi nejčastější patří provedení s polární osou. Méně běžnější je provedení se svislou osou, které se aplikuje spíše do míst s větší zeměpisnou šířkou. Na obrázku 1.4 jsou znázorněny dvě možnosti aplikace pohyblivých stojanů pro pohyb s polární osou (a) a se svislou osou (b). [5]



Obr. 1.4 Pohyblivé stojany a) s polární osou, b) se svislou osou [5]

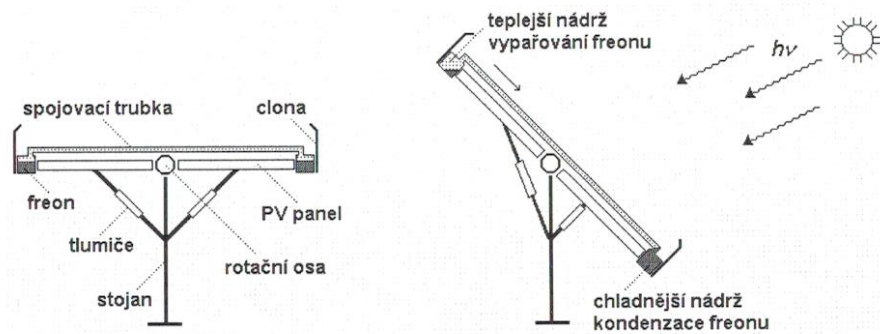
1.2.2.2.1 Sledovač na principu hodinových strojků

Tento typ sledovače může být založen na principu hodinového strojku nebo počítačem řízených krokových motorků s převodovkou. Hodinové sledovače dokáží být velice přesné, a to i za jakéhokoliv počasí, a dokonce i za tmy. Podobný typ sledovače řídí i astronomické dalekohledy, které také musí přesně sledovat otáčení oblohy. Při použití počítačem řízených krokových motorů může jeden počítač řídit více pohyblivých stojanů a tyto stojany může mít předem naprogramované na celý rok. Čím náročnější systém bude, tím bude i tento systém dražší a bude zde větší pravděpodobnost poruchy. [5]

1.2.2.2.2 Sledovače na principu vypařování a kondenzace freonu

Sledovače, které jsou založeny na principu vypařování a kondenzace freonu, jsou velmi jednoduché, ale přesnost je u tohoto typu ze všech nejhorší. Na obrázku 1.5 je znázorněno schéma tohoto sledovače. Systém stojanu musí být vyvážený a po obou stranách se nachází nádržky s freonem, které jsou vzájemně propojené trubkou a opatřené clonkami. Sluneční záření dopadá pouze na nádržky, která je od slunce vzdálenější a zahřívá ji. V této nádržce se freon vypařuje a jeho páry kondenzují v nádržce umístěné na straně stojanu, který je ke Slunci blíže. Tato strana se tímto jevem stává těžší a pouze tíhovou silou klesá níže. V tomto solárním systému se panely natáčejí směrem k Slunci a zmenšují úhel

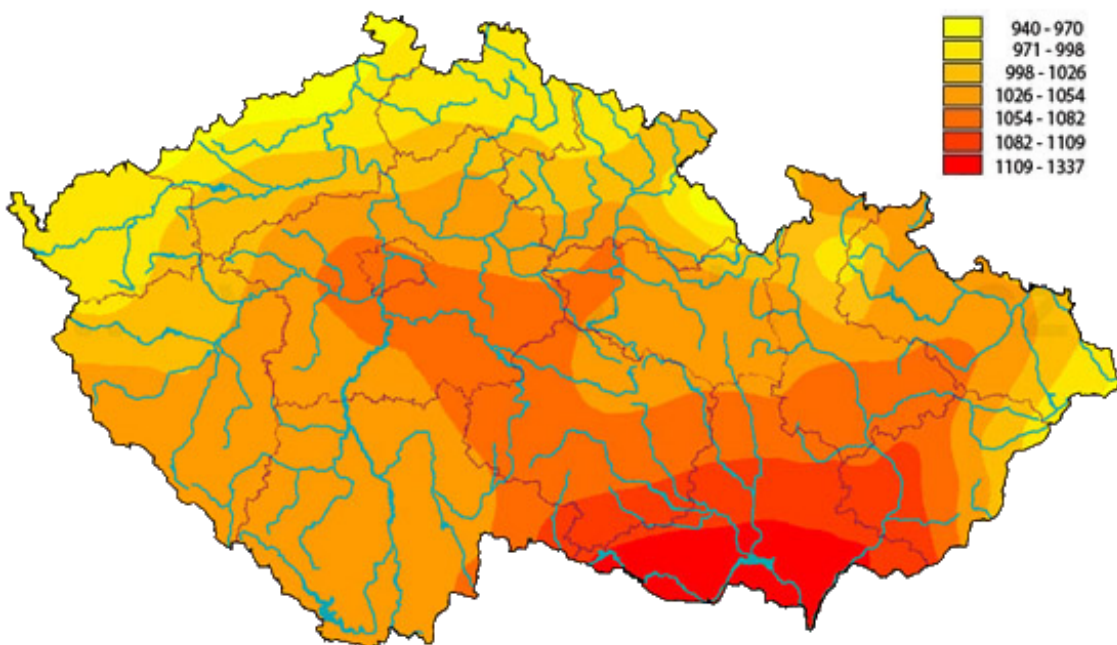
dopadu slunečního záření. [5]



Obr. 1.5 Schéma sledovače na principu vypařování a kondenzace freonu [5]

1.2.3 Výpočet výkonu solárních panelů

V této kapitole se seznámíme s teoretickým a reálným výkonem solárních panelů. Teoretický a reálný výkon se budou lišit z důvodu nestálosti počasí. Reálný výkon bude vypočten na podnebí v České republice, kde bude celý ostrovní provoz modelován. V následujícím obrázku 1.6 je zobrazená mapa České republiky s izokřivkami průměrné roční solární energie dopadající na povrch země skloněný k jihu pod úhlem odpovídajícím zeměpisné šířce. Za jasného červencového dne je maximální denní hodnota v České republice $6,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$. [5]



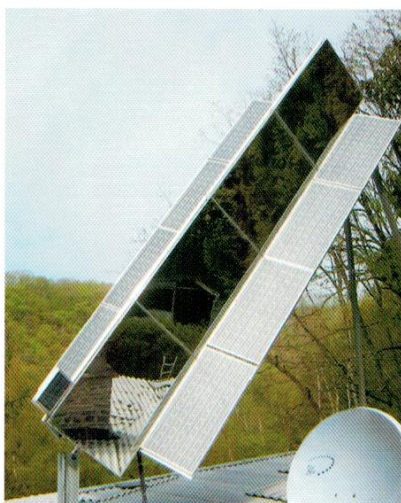
Obr. 1.6 Izokřivky průměrné roční sol. energie ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$) [14]

1.2.3.1 Možnosti navýšení výkonu

V předchozí kapitole 1.2.2 byly popsány sledovače Slunce, které umožňují zvýšení vyrobené energie až o 40 %. K dalšímu navýšení výkonu se často používá koncentrace záření. Koncentrace je vytvořena rovinnými zrcadly, která mohou být v uspořádání žlabovém nebo hřebenovém. V – žlabové systémy s koncentračním poměrem $c = 2 - 2,4$ může při běžných intenzitách přímého slunečního svitu docházet k přehřívání, a to způsobí hnědnutí EVA fólie na FV panelech. Toto hnědnutí snižuje transparentci a tím snižuje účinnost celého FV systému. Tuto nevýhodu odstraňuje hřebenový systém, kdy jsou vnější zrcadla úplně eliminována. Koncentrační poměr hřebenového systému $c = 1,6 - 1,7$, což je menší než u systému žlabového a tím hřebenový systém tvoří jen mírný koncentrát. Na obrázcích 1.7 a 1.8 jsou znázorněny oba typy koncentrátorů slunečního svitu. [5]



Obr. 1.7 Stojan se žlabovým koncentrátorem slunečního svitu [5]



Obr. 1.8 Stojan s hřebenovým koncentrátorem slunečního svitu [5]

1.2.4 Akumulace solární energie

Jelikož solární energie je vyráběna pouze za slunečního svitu, tzn. v noci se energie pouze spotřebovává. Proto je potřeba vyrobenou energii uchovávat pro provoz i po západu slunce.

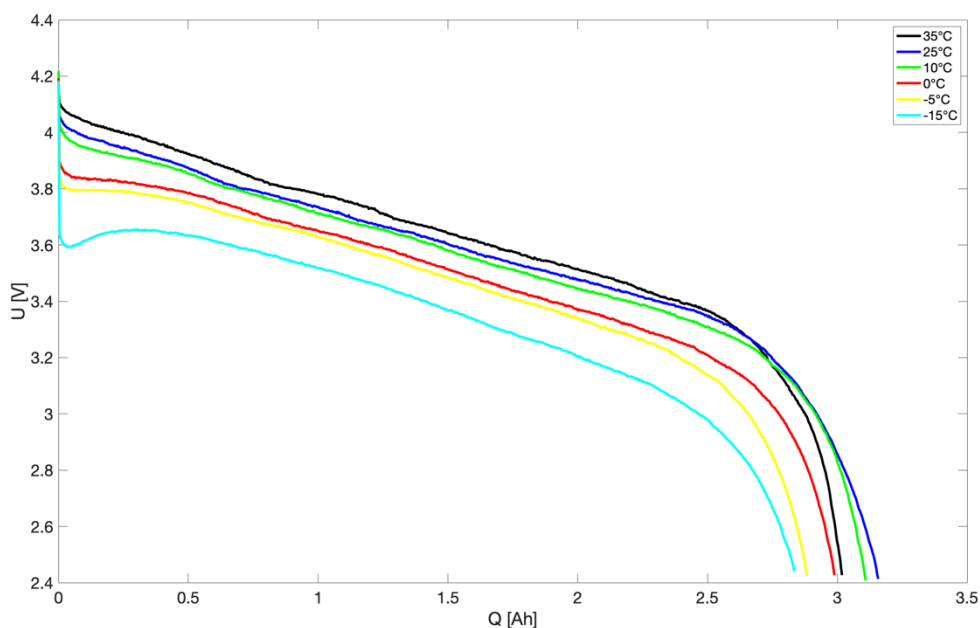
1. Velkokapacitní kondenzátory

Tato akumulace má jen malý význam, protože i velké kondenzátory jsou schopny uchovat pouze malé množství energie. Tento způsob uchování je vhodný pouze pro pohony drobných zařízení. Pro příklad si uvedeme výpočet uchované energie kondenzátoru s kapacitou $C = 1,2 \text{ F}$ pro napětí $U = 24 \text{ V}$. Poté po dosazení do známého vzorce dostaneme energii, kterou tento kondenzátor dokáže pojmout $W = \frac{1}{2}CU^2 \approx 345 \text{ J}$. [8]

2. Akumulátorové baterie

Tento typ baterií se vyrábí v různých velikostech a provedeních, které lze po vybití opět nabít. Při nabíjení se mění elektrická energie na chemickou energii a během vybíjení se akumulovaná energie mění zpět na elektrickou a dodává tuto elektrickou energii do obvodu, který je připojen k akumulátoru. Během nabíjení je záporná elektroda anodou, a naopak při vybíjení je katodou. Kladná elektroda je anodou při vybíjení a katodou při nabíjení.

Baterie jsou závislé na teplotě a vybíjecím proudu. Pro dokázání těchto závislostí budou následovat výsledky prezentovány kolegou Petrem Goranem v jeho diplomové práci na téma Identifikace matematického modelu trakční baterie. Na následujícím obrázku 1.9 je znázorněna závislost kapacity baterie na teplotě při vybíjení konstantním proudem 3,3 A. Kapacita byla největší při teplotě 25 °C, a naopak nejmenší při teplotě -15 °C. Při teplotě -15 °C je možné odebrat pouze náboj 2,8 Ah a při teplotě 25 °C je možný odebíraný náboj 3,2 Ah. Při všech teplotách dochází k ohřívání baterie. Tento ohřev se nejrychleji projeví uvnitř baterie a postupně prochází na povrch. [8]

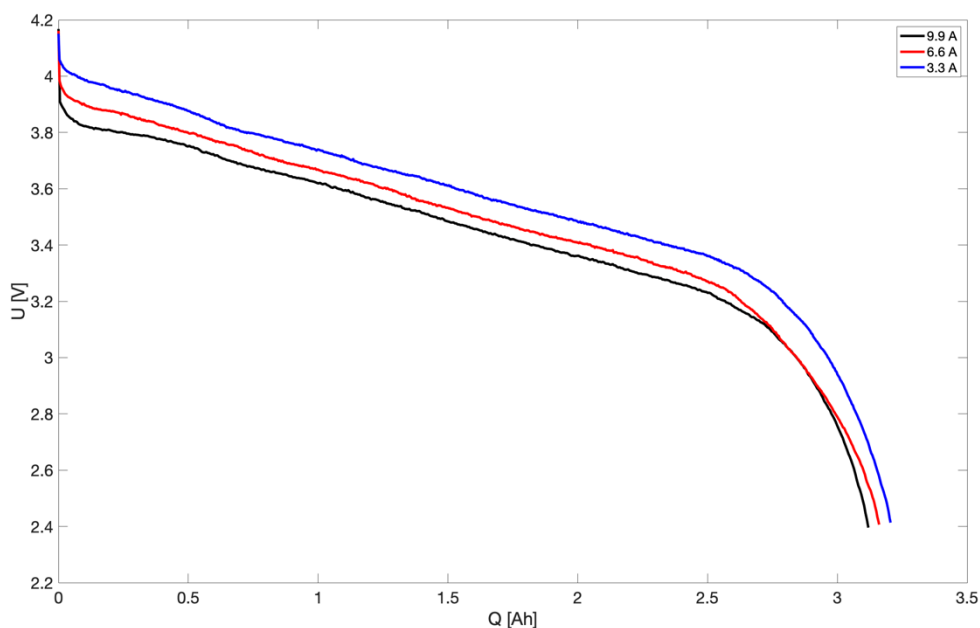


Obr 1.9 Závislost kapacity baterie na teplotě [8]

Na kapacitu baterie má také vliv velikost vybíjecího proudu. Tato závislost bude zobrazena v obrázku 1.10. Tato charakteristika je změřena při teplotě 25 °C. Větší vybíjecí proud vyvolá také větší oteplení článku. Z naměřených hodnot lze vyčíst snížení kapacity při zatěžování vyšším vybíjecím proudem. Toto má za následek vnitřní odpor baterie, který způsobuje tepelné ztráty, a tím snižuje kapacitu baterie. Tento jev popisuje Peukertův zákon:

$$IT = Q_C \left(\frac{Q_C}{IH} \right)^{k-1} \quad (1.4) \quad [8]$$

kde I = vybíjecí proud, QC = udávaná nominální kapacita, T = čas vybití při zatěžování proudem I, H = čas vybití při nominální hodnotě proudu a k je Peukertova konstanta, která je závislá na typu baterie pohybující se od 1 do 1,5. [8]



Obr 1.10 Závislost kapacity na vybíjecím proudu [8]

3. Přečerpávací elektrárna

Tento typ ukládání energie vyžaduje mít dvě vodní nádrže, přičemž jedna z nich musí být na vyvýšeném místě. Tyto dvě nádrže se propojí potrubím s turbínou a v době přebytku čerpáme vodu z dolní nádrže do horní. Tímto dosáhneme ke zvýšení potenciální energie vody o $\Delta W_p = mg \Delta h$. V době nedostatku energie se pak voda tuto energii předává turbíně a poté do elektrického generátoru. Velikost nádrží se pak dimenzuje podle velikosti solární elektrárny. [5]

4. Vodík

Při přebytku elektrické energie se v tomto případě přebytečná energie použije na výrobu vodíku pomocí elektrolýzy, kdy je potřeba k výrobě 1 kg vodíku energie cca $W_1 = 38$ kWh a k následné přeměně skupenství na kapalné je potřeba energie $W_2 = 10$ kWh. Vodík jako palivo má velkou výhodu ve vysoké výhřevnosti, která je 96 MJ/kg. Spalováním vodíku vzniká pouze vodní pára a oxidy dusíku. Nevznikají žádné oxidy uhlíku, síry ani jiné škodliviny. Kapalný i plynný vodík lze používat i ve spalovacích motorech speciálně upravených. [5]

1.2.5 Údržba solárních panelů

Pokud zanedbáme údržbu solárních panelů, které chceme, aby vytvořily potřebnou elektrickou energii, tak bude docházet ke ztrátě výkonů. Panely mohou být částečně čištěny deštěm a větrem, ale tyto způsoby čištění nezpůsobí vyčištění od všech znečištění na ploše panelů, a tak se dál budou usazovat další nečistoty. Znečištění by se mělo řešit u všech typů instalací, a to i u panelů nainstalovaných pod úhlem 65°. Nejvíce jsou však znečištěny moduly, které jsou právě instalovány pod menším úhlem sklonu, a tak nedochází k úplnému očištění přirozenou cestou. Sklon panelů není jediným faktorem, kdy je zapotřebí přídavného čištění, ale také umístění. Tím je myšleno, jestli se fotovoltaický systém nenachází například v průmyslové oblasti, oblasti se silným automobilovým provozem anebo v oblasti častého výskytu smogu, který na modulech usazuje částice prachu, mastnoty i různých chemikálií.

Ztráty zastíněním vlivem znečištění se začnou projevovat přibližně po roce provozu, poté již malá vrstva nečistot brání prostupu slunečního svitu. Pokud se údržba panelů zanedbává dlouhodobě, může to vést i k poškození povrchu panelu. Po delší době, kdy bude elektrárna v provozu za nevyhovujících podmínek, je možné, že se výkon panelu může snížit až o 13 % a během dalších let toto číslo může dále růst. V městských částech se doporučuje čištění panelů alespoň dvakrát ročně, ale v místech, kde je velký výskyt ptactva, velké automobilové dopravy nebo v průmyslových oblastech se doporučuje čištění častěji. V zimních měsících je také důležité odklízení sněhu z panelů, aby sluneční svit dopadal na panel.

Druhy čištění je hned několik. Například nejúčinnější metoda je čištění tlakovou vodou s přísadou vhodného čistícího prostředku. Také je možné použít například mop nebo kartáč na odstranění větších mechanických částic nebo ptacího trusu a následně očistit tlakovou vodou. K usazování nečistot právě brání čistící prostředky s povrchově aktivními přísadami. Pravidelnou údržbou lze prodloužit životnost a výkonnost celého fotovoltaického systému. [9]

1.2.5.1 Testování životnosti

Pro testování FV panelů se používá mezinárodní norma IEC 61215 a k testování autorizovaná pracoviště oprávněná k testování. Tato norma je velice přísná, jelikož FV panely budou po desítky let vystavovány povětrnostním vlivům, a tak musí odolávat střídání teplot, kyselým dešťům, vlhkosti, námraze, silám větru, sněhu ale i kontaktu s živočichy. Při testování se používá předem daný postup při certifikaci, který je předepsaný

touto normou. V tomto postupu se nachází vizuální kontroly, měření výkonu a zkoušky instalace. Měří se výkon při nízké intenzitě záření a při nominální teplotě. Dále se měří vliv venkovního prostředí, vliv námrazy atd. Také se zkouší 50 a 200 teplotních cyklů a 1000 hodin ohřevu parou. [5]

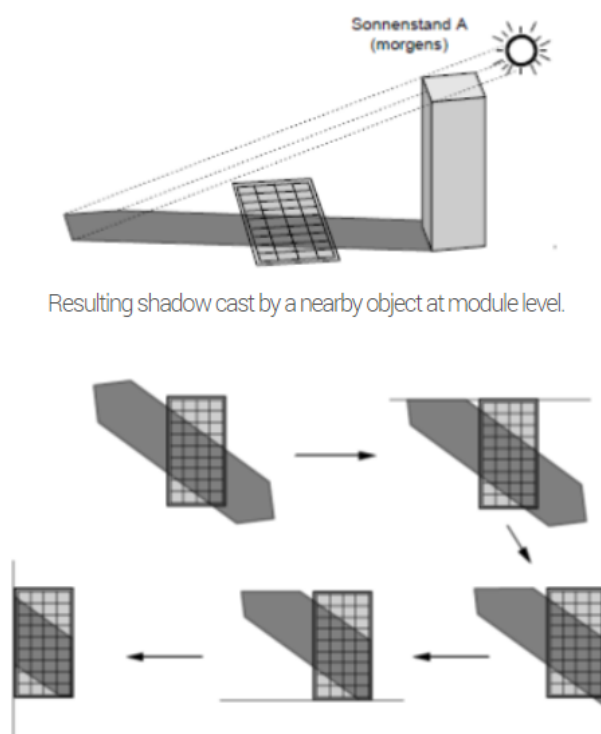
1.3 Simulační program

1.3.1 Výpočetní systém programu

PV Sol je program od firmy Valentin software a používá čtyři moduly.

1. Výpočty pro stíny blízkých objektů

Poměr velikosti stínu k ploše modulu udává stupeň stínu. V PV * SOL se vektory stínování x-y počítají na úrovni řetězce nebo buňky, aby byla zajištěna nejvyšší přesnost simulace. V oblasti zastíněného modulu se k FV buňkám dostává pouze rozptýlené záření. Ve stinné oblasti se k buňkám dostává úplné globální záření. [11]

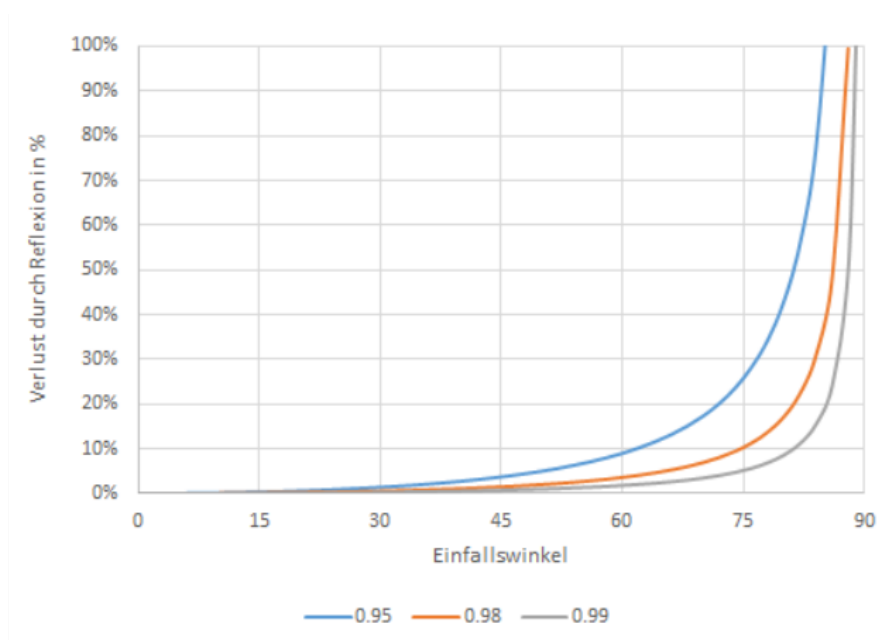


Obr 1.11 Zastínění solárního panelu [11]

2. Odraz záření na povrchu modulu

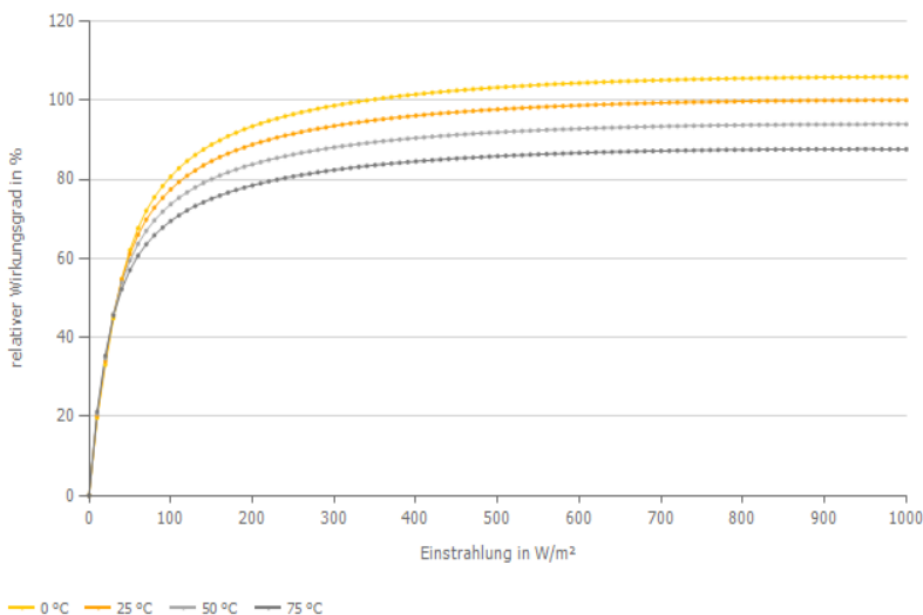
Záření na nakloněné rovině FV generátoru se odráží na povrchu modulu a vede k ztrátám záření. Složka přímého záření se odráží v závislosti na poloze Slunce a faktoru korekce úhlu modulu. Pro ztráty odrazem je v datech modulu specifikován faktor korekce úhlu b_0 , který udává, jak vysoký je odraz při úhlu dopadu 50° . [11]

$$E_{\text{Reflexionsverlust}} = b_0 \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta_{gen}} \right) \quad (1.5) \quad [11]$$



Obr 1.12 Ztráta záření v závislosti na úhlu korekce [11]

3. Výpočet teploty modulu



Obr 1.13 Typický průběh účinnosti modulu při různých teplotách modulu. [11]

V simulačním intervalu jedné hodiny se teplota modulu T_{Modul} staticky vypočítá z ozáření E , vztaženo k ozáření při STC ($E_{STC} = 1000 \text{ W / m}^2$), a teplotní posun v závislosti na typu instalace. Toto je popsáno následujícím vztahem. [11]

$$T_{Modul} = T_{amb} + DT \cdot \frac{E}{E_{STC}} \quad (1.6) \quad [11]$$

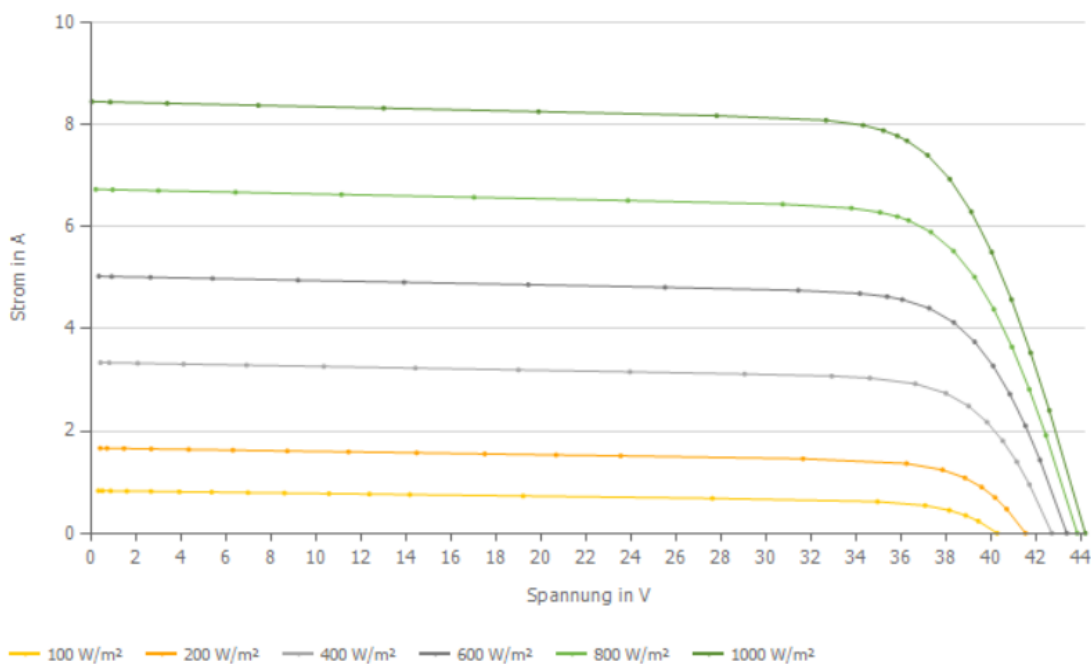
Tabulka č. 1.3 – Závislost typu instalace na teplotním posunu [11]

DT	Způsob instalace
29 K	Střešní paralelní, dobře ventilované
32 K	Integrované do střechy, zadní ventilace
43 K	Integrované do střechy, žádná ventilace
28 K	Namontováno do střechy
22 K	Namontováno do střechy s volným prostorem

4. Výpočet volt ampérové charakteristiky

Výkon záření FV modulu lze určit z ozáření na šikmé ploše FV generátoru a vypočítané teploty modulu. Pro každé ozáření a teplotu existuje libovolný počet provozních bodů, ve kterých lze FV modul provozovat. Tyto pracovní body popisují elektrickou charakteristiku modulu. Obrázek 4 ukazuje vlastnosti modulu s nominálním výkonem 280 W pro různé hodnoty ozáření a teplotou modulu 25 ° C. V zásadě lze modul provozovat v jakémkoli bodě na zobrazených charakteristických křivkách. Výstupní výkon závisí na součinu napětí a výsledného proudu.

Příklad: Modul je ozářen 1000 W / m², teplota modulu je 25 ° C. Výsledkem je horní charakteristická křivka z obrázku 4. Pokud je modul provozován na napětí 44 V, dodává proud 0 A, výkon modulu je 44 V · 0 A = 0 W. Modul je proto v klidovém režimu. Pokud je modul provozován na napětí 0 V (tj. Ve zkratu), může napájet více než 8 A, ale modul také neprodukuje žádný výkon, protože 0 V · 8,2 A = 0 W. [11]



Obr 1.14 VA charakteristika pro různé záření [11]

Vstupní parametry [11]

Klimatické data:

- T_{amb} - okolní teplota
- v_{wind} - rychlost větru
- Φ_{rel} - relativní vlhkost

Geometrické informace:

- Blízké objekty
- Geometrie fotovoltaického systému

PV module data

- Specifikace datového listu
- Možné další data z měření blikáčů
- IAM (modifikátor úhlu dopadu), reflexní chování modulu

1.3.2 Seznámení s programem

Zde si popíšeme jednotlivé funkce programu PV Sol, které nabízí. Nabízí různé možnosti solárních elektráren například připojené k síti, s bateriemi nebo bez atd. Nejprve začneme postupem vytvoření modelu.

1. Typ systému, klimatické podmínky a síť

V této záložce si projektant stanoví místo, kde se bude projekt nacházet a tím se i naimportují klimatické podmínky, jako jsou průměrná roční teplota a roční suma solárního záření. Dále se zde volí, jestli bude systém jedno nebo tři fázový a také časový krok simulace. Na výběr je hodinový krok, který je rychlejší, a minutový krok, který má přesnější výsledky. Nejdůležitější položkou je zvolit si druh zařízení. Na výběr jich je hned několik například fotovoltaický systém připojený do sítě, FV systém připojený do sítě se spotřebiči, s akumulátorovými systémy, a také ostrovní FV systémy. Tyto systémy nejsou připojené do sítě, ale je i varianta připojení přídavného generátoru.

2. Spotřeba

Zde si projektant a zákazník nadefinují celkovou spotřebu. Jsou zde předem nadefinované možnosti jako třeba spotřeba domácnosti, kanceláří, školy atd. Ale také si zde můžeme ručně nadefinovat spotřeby jednotlivých spotřebičů. Lze také nadefinovat přesný čas používání, a také období. Například že kávovar bude fungovat pouze od pondělí do pátku každý měsíc kromě listopadu. Po zadání všech spotřebičů program vypočítá roční spotřebu energie a také

hodinové špičkové zatížení systému. Vykreslí také graf, ve kterém je vidět měsíční spotřeba po celý rok složený ze všech zadaných spotřebičů.

3. 3D design

V tomto kroku si projektant musí přesně zakreslit lokalitu včetně ostatních objektů, jako je například les, komíny anebo sousední domy. Všechny tyto objekty mohou posléze vrhat stín na projektovaný objekt. V tomto kroku se také instalují solární panely a to tak, že se mohou instalovat na střechu anebo také na fasádu. Pro každou možnost je připraven jiný modul, který přidá panely na objekt. Posledním krokem je připojit solární panely k měniči energie, a tím se připojí do systému. Program poté ukáže, kolik je pokrytých oblastí střechy, kolik je nainstalovaných solárních panelů, kolik se použilo měničů, a hlavně jaký je instalovaný výkon v kWp.

4. Bateriový střídač a baterie

Pokud jsme zvolili v prvním kroku možnost s akumulátorovým systémem, tak následuje tento krok. Zde si zvolíme vhodný bateriový střídač a baterie tak, aby pokryly špičkové hodinové zatížení, a také aby byla přijatelná doba autonomie. Tyto parametry program ukazuje ihned po vybrání si baterií a střídače.

5. Finanční analýzy

V tomto kroku se můžou zadat ručně náklady na měniče, střídače a baterie a na konci simulace to vyhodnotí dobu návratu investic. Lze zadat také náklady na kabely, práce a palivo.

6. Výsledky

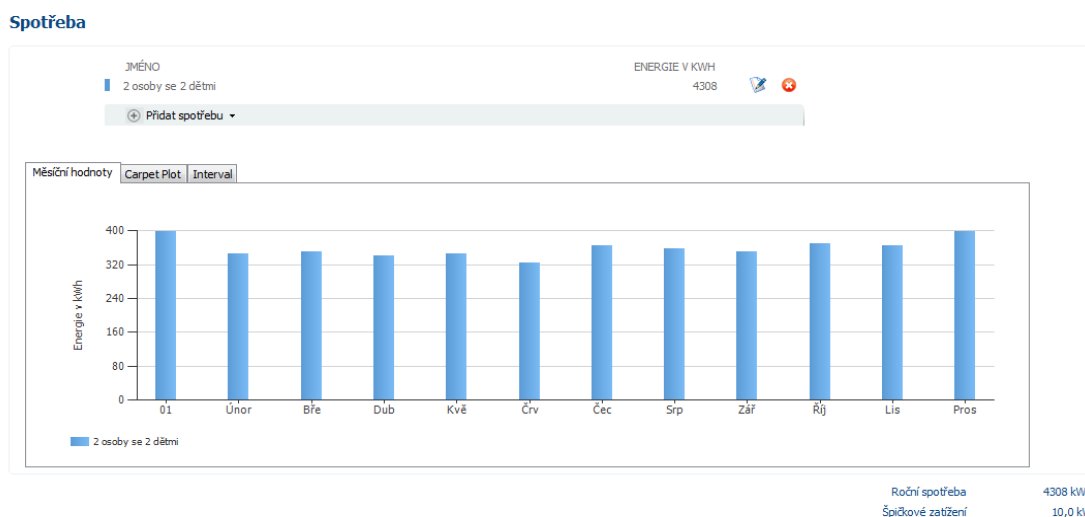
V posledním kroku se spustí simulace, která vyhodnotí fungování systému. Určí roční energetický výnos fotovoltaického systému, stupeň využití zařízení a podíl pokrytí solární energií. V ostrovních provozech bude toto číslo 100 %, ale zkoumá se také tok energie což znamená, kolik energie jde přímo do spotřebičů a kolik energie se uchová v bateriích. Baterie mají také ztráty a ty se zde taky vypočítají. Je zde několik grafů, které slouží pro vyhodnocení solárního systému jako například energetický výnos fotovoltaického systému, který zobrazuje kolik energie se využilo a kolik je zmařeno. Následuje také položka prezentace, která vytvoří dokumentaci pro zákazníka.

2 Výpočet spotřeby a výroby

V této kapitole se bude nacházet výpočet spotřeby a výroby solární energie pro tento ostrovní provoz. Jelikož cílem této práce je energetická soběstačnost, tak je zapotřebí, aby výroba byla rovna nebo větší než spotřeba elektrické energie.

2.1 Spotřeba

Nyní se budeme zabývat výpočtem spotřeby rodinného domku. Pro tento případ bylo zvolena rodina, kde žijí dva dospělí a dvě děti. Jejich spotřeba je vypočtena podle měsíců za kalendářní rok. Tato spotřeba byla získána z programu PV*Sol, kde jsou před definované možnosti rodin a spotřeb na základě naměřených hodnot v průběhu roku. Zatěžovací profil z naměřených hodnot pro domácnost se dvěma dospělými a dvěma dětmi vznikl na základě 525 600 hodnot. Tuto měsíční spotřebu znázorňuje obrázek číslo 2.1. Z tohoto obrázku vyplývá, že roční spotřeba elektrické energie pro domácnost, kde žijí čtyři osoby, bude $P_D = 4\,308\text{ kWh}$. Prvotní verze systému, které byly modelovány, jsou zobrazeny v přílohách A, B.



Obr. 2.1 Měsíční spotřeba rodiny

Do spotřeby rodiny by se měla započítat i elektrická energie, která je používána k ohřevu vody. Toto započítáváme z důvodu možnosti soběstačnosti a také počítáme, že ostrov nebude připojen k teplovodu. Tuto spotřebu můžeme vypočítat z následujícího vzorce pro množství energie. Tento výpočet je pro bojler o objemu 120 l. Voda na vstupu

bojleru je o teplotě 10 °C a na výstupu 55 °C. To znamená že rozdíl teplot je 45 °C.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 120 \cdot 4.18 \cdot 45 = 22\,572 \text{ kJ} \quad (2.1)$$

Z množství energie pak vychází je možné vyjádřit převodem množství elektrické energie, které je potřeba k jednomu ohřátí bojleru.

$$22\,572 \text{ kJ} = 6,27 \text{ kWh} \quad (2.2)$$

Při ohřívání bojleru dvakrát denně poté vychází roční spotřeba elektrické energie z následujícího výpočtu:

$$P_O = 6,27 \cdot 365 \cdot 2 = 4\,577,1 \text{ kWh} \quad (2.3)$$

Další položkou ve spotřebě elektrické energie bude energie vynaložena na vytápění domu. Energie na vytápění je přibližně $P_V = 12\,000 \text{ kWh/rok}$.

2.2 Výroba

Výroba elektrické energie je závislá na poloze, kde bude ostrovní provoz provozován. Tento ostrovní provoz bude polohován do České republiky. Celkovou výrobu také vypočítá program PV Sol. Tento program namodeluje solární energii, a když bude nedostatek elektrické energie, ve finálním grafu ukáže, kdy se bude muset odebírat z elektrického systému. Tomuto stavu se chceme vyhnout, tak musíme namodelovat takový systém, aby přes den vyrobil dostatek energie pro chod domácnosti. Vyrobenou energii také budeme muset ukládat do baterií. Celková výroba tedy musí být rovna součtu spotřeb pro provoz domácnosti, energie na vytápění a energie pro ohřev vody pro domácnost. Celková spotřeba je vyjádřena v rovnici 2.3:

$$P = P_D + P_O + P_V \quad (2.4)$$

3 Vytvoření modelu

3.1 Popis modelu

V této kapitole bude vytvořen model solárního ostrovního provozu. Tento provoz bude mít několik specifických požadavků. Prvním požadavkem bude poloha, která byla vybrána přímo pro tento výpočet. Lokalita byla vybrána v Krušných horách v městysu Kovářská v nadmořské výšce 815 metrů nad mořem. Za druhé to bude specifická spotřeba, a tedy i výroba pro domácnost, kde žijí dva dospělí a dvě děti. A třetím požadavkem je soběstačnost. Tuto soběstačnost dosáhneme dostatečným výkonem solárních panelů, a také velikostí baterií pro fungování domácnosti.

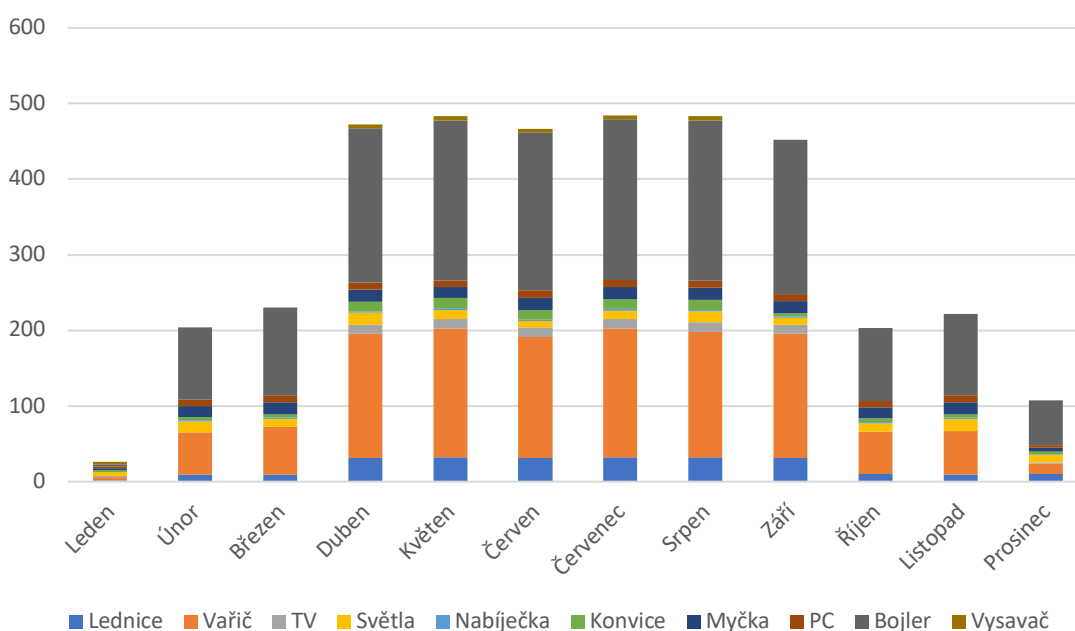
Výsledkem bude počet solárních panelů a k tomu i jejich poloha na střeše, celková roční výroba a spotřeba. Ekonomická část je tvořena ušetřenými financemi za výrobu energie, ale také náklady na montáž solární elektrárny a baterií.

V prvních pokusech bylo počítáno s obýváním domu po celý rok. Ve vytvořeném modelu vycházela soběstačnost pouze maximálně na 25 dní, a to s velice velkým množstvím solárních panelů i baterií. Tento předpoklad by byl velice finančně náročný a bylo by zapotřebí velký počet solárních panelů a k tomu i baterií. V letních měsících poté byl nevyužit potenciál slunečního svitu ani z 30 %, což znamená, že v zimě byl systém nadefinován dobře, ale v létě byl předimenzován. V následujícím pokusu byla upravena doba provozu tak, že se rozdělil zimní a letní provoz. Proto v následující kapitole dojde k úpravě spotřeby a s tím souvisejícím používání domu. Tento ostrovní provoz bude chata využívána o víkendech a v létě.

3.2 Model solárního ostrovního provozu

Spotřeba tohoto objektu byla stanovena sestavením jednotlivých spotřebičů. Obsahují tedy světla, počítač, vařič, myčku na nádobí, konvici, lednici s mrazákem, vysavač, toustovač, bojler pro ohřev teplé vody a televizor. Všechny spotřebiče jsou zadány i na hodiny přibližného využívání tak, aby byla zjištěna hodinová maximální spotřeba, která je 2 400 W. Všechny spotřebiče mají své využití zobrazeno v příloze C. Tato hodinová špičková spotřeba je důležitá znát z důvodu velikosti baterií, aby byly schopny dodat dostatek elektrické energie. Vytápění bude zprostředkováno pomocí kotle na dřevo, jelikož při využívání vytápění solární energií by bylo náročné na počet panelů a baterií, což by bylo

finančně náročné. Pro vytápění je také možnost využít tepelných kolektorů, které mohou ohřívat vodu a tu pak distribuovat do vytápění. K úpravě došlo i u ohřevu teplé užitkové vody, kde výpočet byl naznačen v předchozí kapitole, a to tak, že se zadaly časové intervaly, kdy byl bojler aktivní a se zadanou hodnotou příkonu byla vypočtena roční spotřeba na 3 840 kWh. Celý systém byl počítán jako jednofázový. Letní provoz je od dubna do září a v těchto měsících se počítá s každodenním využíváním. V těchto měsících je počítáno s ohřevem teplé užitkové vody, vařičem, lednicí, světel a spotřebičů. V zimním provozu je s těmito spotřebiči počítáno jen od pátečního odpoledne do neděle. Navíc v okrajových měsících z důvodu nejnižších intenzit slunečního svitu byl provoz v lednu a prosinci minimalizován pouze na svátky tedy od 23.12 do 3.1. V ostatní dny je ostrovní systém mimo provoz. Na následujícím obrázku je zobrazena spotřeba objektu v průběhu roku. Z grafu 3.1 je jasně vidět využívání objektu převážně v letních měsících. V lednu a prosinci je využívání menší z důvodu toho, že by nebyl dostatek elektrické energie a také z důvodu vysoké nadmořské výšky. Kvůli velké nadmořské výšce je v zimních měsících v těchto místech velká zima, a to by se odrazilo také na spotřebě paliva pro vytápění objektu. Proto se objekt v krajních měsících využívá pouze na svátky vánoční a oslavu příchodu nového roku.



Obr 3.1 Měsíční spotřeba pro ostrovní provoz

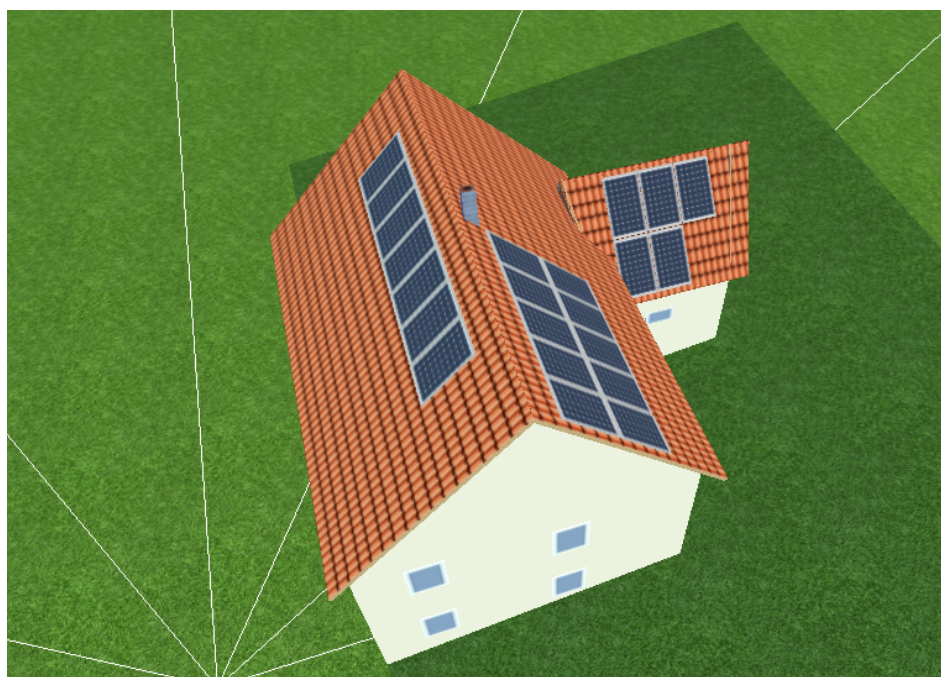
V této podkapitole se budou nacházet obrázky z programu PV Sol, které budou zobrazovat solární ostrovní provoz. Tím se rozumí rozmístění solárních panelů, kabeláž, aplikace baterií atd. Na obrázku 3.2 je zobrazen projektovaný objekt

již s nakonfigurovanými solárními panely. Tento objekt je také usazen do terénu podle reálné situace.

3.2.1 Solární panely

Solární panely jsou rozmístěny po třech plochách střechy objektu. Panely jsou instalovány souběžně se střechou a jsou dobře větrány ze zadu.

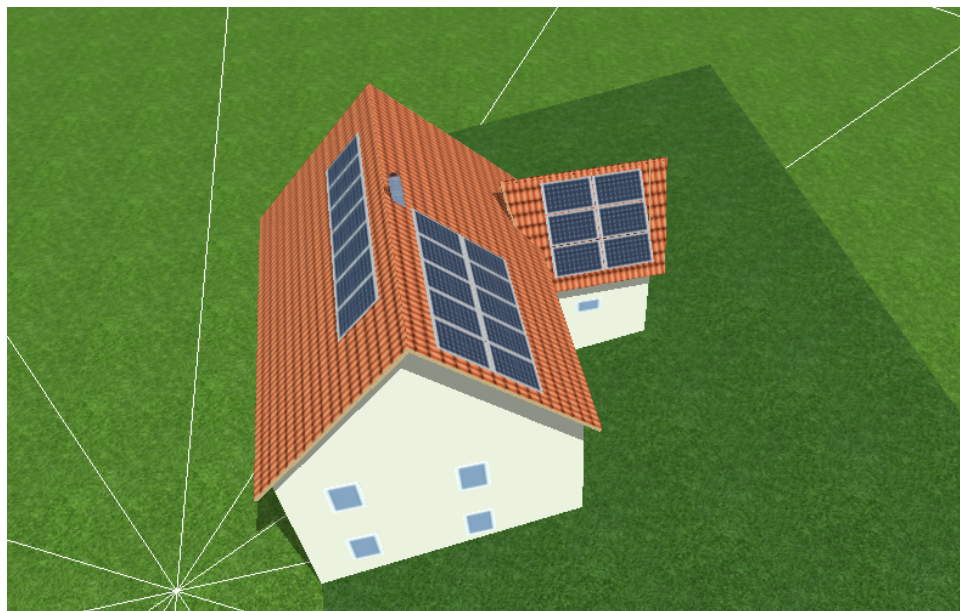
V první variantě je pět solárních panelů na jižní straně střechy menšího objektu a k tomu je na jeden měnič připojeno ještě sedm panelů na straně západní. Na druhém měniči je poté zapojeno deset solárních panelů, které jsou směřovány na stranu východní. Celkový instalovaný výkon je 6,71 kWp. Tento výkon se rozdělí na všechny tři strany tak, že na východní straně se nachází panely o instalovaném výkonu 3,05 kWp, na západní straně se nachází 2,13 kWp a na jižní straně je nainstalováno 1,53 kWp. Na stranách východní a západní je sklon dopadu 45° a na jižní straně je tento sklon 51° . Všechny solární panely jsou od firmy Heckert Solar NeMo a jsou to panely monokrystalické o výkonu 305 Wp.



Obr 3.2 Model solárních panelů varianta 1

Druhou variantou jsou panely od firmy Solar Energy S.A typu 290/60M. Tyto panely budou instalovány podobným způsobem jako v popisu první varianty, aby byl zajištěn podobný instalovaný výkon. Jediná odlišnost je přeorientování panelů na jižní straně, které nyní budou instalovány vodorovně podle obrázku 3.3. Tyto panely byly připojeny na jiné měniče, než bude popsáno v následující kapitole, kvůli odlišnému instalovanému výkonu,

který je 6,68 kWp. Tedy pak na východní straně je nainstalováno deset panelů o výkonu 2,9 kWp pod úhlem 45 °. Dále jižní strana bude pokryta šesti panely a výkon bude činit 1,74 kWp a panely jsou umístěny pod úhlem 51 °. Západní strana je pod úhlem 45 ° a celkem sedm panelů dodá 2,03 kWp. Měníče budou popsány v následující podkapitole.



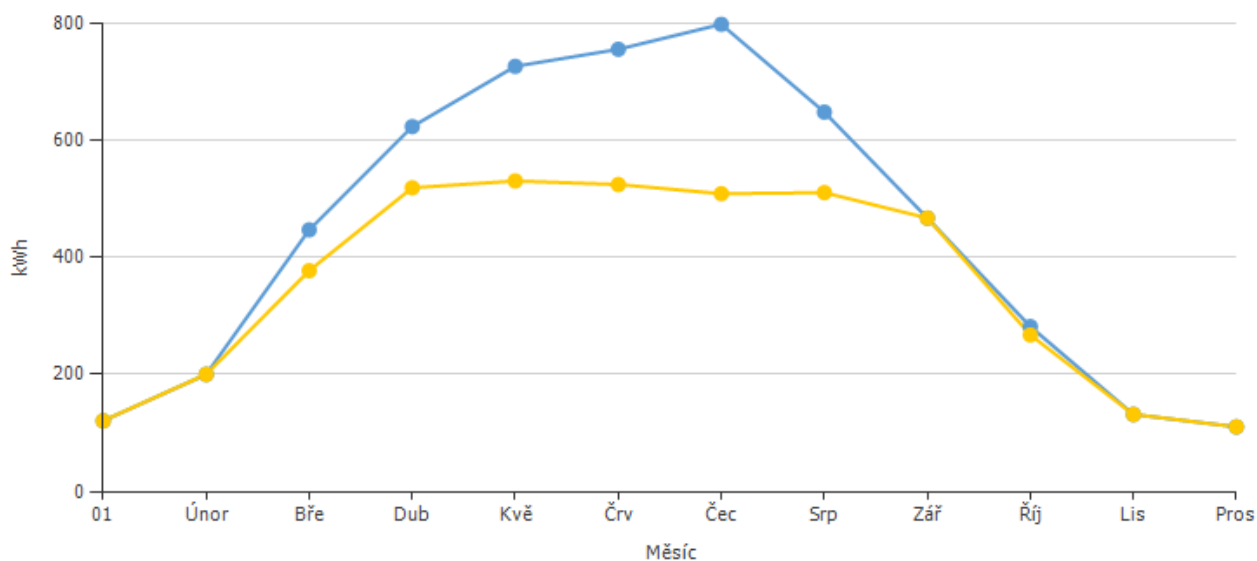
Obr. 3.3 Model solárních panelů varianta 2

Poslední možnost pokrytí solárních panelů byla vytvořena v pod programu Photo Plan, který umí nainstalovat solární panely na fotografii objektu. Pro tuto variantu byly vybrány opět panely od firmy Heckert Solar NeMo. Tyto panely byly nainstalovány na východní stranu střechy v plném počtu, který byl stanoven tak, aby pokryl spotřebu projektovaného objektu. Způsob instalace je opět instalace souběžně se střechou se zadním větráním. Pokrytí panelů zobrazuje obrázek 3.4. Panely byly aplikovány pouze na východní stranu z důvodu nové aplikace a možnosti porovnat výsledky z pokrytí jedné strany střechy a pokrytí třech stran. Panelů na východní straně je tedy dvacet dva s celkovým instalovaným výkonem 6,71 kWp.



Obr. 3.4 Aplikace solárních panelů na modelový objekt

Panely v poslední variantě jsou připojeny na jeden měnič Sunny Boy 6.0 – 1AV-41. Tento měnič obsahuje také dva MPP trackery, na obou trackerech je připojeno vždy jedenáct solárních panelů. Celkový výnos tohoto uspořádání je 4274 kWh za rok, účinnost systému byla stanovena na 72,2 % a využití solárního záření je na 86,6 %. V tomto uspořádání je ale vyšší degradace měniče, která je stanovena na 1 026 kWh. Na obrázku 3.4 je zobrazeno rozložení solárních panelů na konkrétní budově. V této variantě jsou vyšší ztráty při nabíjení a vybíjení. Tyto ztráty se ukáží i na spotřebě. Tuto skutečnost ukazuje také obrázek 3.5, který ukazuje poměr mezi využitou a využitelnou solární energií systému.



Obr. 3.5 Využití solárního potenciálu pro východní stranu

3.2.2 Měníče

První variantou řešení měničů je možnost využití dvou stejných měničů pro všechny solární panely tak, aby byl faktor využití do 120 % u každého měniče. Tato varianta byla kombinována s první variantou solárních panelů. Měníče, které jsou použity v této variantě, jsou od německé firmy SMA Solar Technology AG. Tato společnost je globálním specialistou na technologie fotovoltaických systémů a se svými partnery a zákazníky poskytuje soběstačný, decentralizovaný a obnovitelný zdroj elektrické energie. Pro Strany západní a jižní je využit měnič Sunny Boy 3.0 – 1AV-40 a pro východní stranu je použit měnič Sunny Boy 3.0 – 1AV-40. Na východní straně jsou panely rozděleny na dva stringy po pěti solárních panelů a na straně jižní a západní jsou rozděleny tak, že na jednom stringu je sedm panelů směřované na západ a na druhém stringu je pět panelů na jižní straně. Faktor dimenzování je pro stranu východní 100 % a pro dvě zbývající strany je tento faktor 120 %. Dále je v ostrovním systému použit od stejné firmy i střídač typu Sunny Island 4.4 M. Faktor využití slunečního záření je v tomto případě 80,9 % a účinnost celého systému je 72,3 %. Degradace měničů v tomto případě je stanovena na 1 021 kWh. Dále ztráty při dobití na začátku jsou 146 kWh, ztráty nabíjením a vybíjením jsou 417 kWh a ztráty v bateriích jsou 143 kWh. Všechny tyto hodnoty jsou ztráty za celý rok.

Druhou variantou je jeden měnič na každou světovou stranu střechy od firmy SMA Solar Technology AG. Zde tedy bude každá pokrytá strana mít svůj vlastní měnič. Na jižní straně je naistalován měnič Sunny Boy 1.5 – 1VL-40 a tento měnič je využit na 101,7 %. Na straně východní byl tentokrát využit jiný měnič, který by byl využit na méně procent. Proto byl použit měnič Sunny Boy 3000 TLST – 21 a využit je na 101,7 %. A na západní straně byl s faktorem dimenzování 106,7 % využit Sunny Boy 2.0 – 1VL-40. Celkový faktor dimenzování těchto měničů je 103,2 %. V této variantě je menší degradace měniče a to jen 944 kWh za rok. Další ztráty jsou 146 kWh pro dobití na začátku, 457 kWh ztráty při nabíjení a vybíjení a 128 kWh tvoří ztráty v bateriích.

Třetí varianta jsou měniče pro druhou možnost panelů od firmy Solar Energy S.A. Zde se nacházejí dva měniče od firmy SMA Solar Technology AG. Opět byly společně připojeny strany jižní a západní a zvlášť strana východní. Na východní straně byl použit stejný měnič, a to Sunny Boy 3.0 – 1AV-40 a na společném připojení jižní a západní strany byl použit měnič Sunny Boy 3.6 – 1AV-41. Odlišnost těchto dvou měničů je v dodávané energii. Na obou měničích jsou poté využity vždy dva MPP trackery. Tato zkratka je z anglického názvu maximum power point tracking, tedy sleduje maximální bod výkonu fotovoltaického panelu. Fotovoltaické panely mají nelineární voltampérovou

charakteristiku, a tak se díky MPP trackerům zatěžují podle toho, kolik je dodávané energie ze Slunce. Faktor dimenzování východní strany je 96,7 % a západní s jižní stranou jsou využity na 102,4 %. Celkový faktor dimenzování je pak 99,9 %. V případě těchto panelů je faktor využití záření 77,3 % a účinnost celého systému je stanoven na 73,7 %.

V následující tabulce 3.1 bude porovnání měničů v dodávaném stejnosměrném výkonu, jmenovitém napětí a noční spotřebě měniče.

Tab. 3.1 Porovnání měničů

	Sunny Boy 3.0 – 1AV-40	Sunny Boy 3.6 – 1AV-41	Sunny Boy 2.0 – 1VL-40	Sunny Boy 1.5 – 1VL-40	Sunny Boy 3000 TLTS-21	Sunny Boy 3.0 – 1AV-41	Sunny Boy 6.0 – 1AV-41
Max. výkon DC	5,5 kW	3,8 kW	2,15 kW	3 kW	3,2 kW	3,1 kW	6,18 kW
U_{JM} (DC)	365 V	365 V	360 V	360 V	365 V	365 V	365 V
Noční spotřeba	2 W	5 W	2 W	2 W	1 W	5 W	5 W
Cena	899 €	929 €	647 €	539 €	1 029 €	875 €	1 124 €
Rozměry (š/v/h)	435/470/176 mm		460/357/122 mm			435/470/176 mm	

3.2.3 Baterie

Baterie jsou Battery Modul Max.Storage Edition 29. Baterie jsou již od jiného výrobce, a to od firmy SolarMax. Bateriový systém zaručuje soběstačnost na 11,1 dní díky své kapacitě, které je 145,6 kWh nebo také 2800 Ah. Tato kapacita je díky bateriím, kterých je v ostrovním systému sedm. Výkon dodávaný střídačem, který je od firmy SMA Solar Technology AG a je typu Sunny Island 4.4 M, je 3 300 W. Tento bateriový střídač dokáže také na třicet minut dodávat střídavý výkon při 25 °C pouze 4 400 W. Tato hodnota dodávaného výkonu nám zaručí, že pokryje špičkové hodinové zatížení, které je 2 400 kW. Další nižší střídač v řadě dodával po třicet minut maximálně 3 000 kW, a to již simulace neproběhla do konce roku, jelikož trvalý výkon je menší, tak tento menší střídač nemohl

být použit. Tyto akumulátory jsou typu lithium-nikl-mangan-kobalt-oxid grafitové. Tyto baterie jsou v dnešní době nejpoužívanější hlavně díky své vysoké životnosti. Mají také vysokou hustotu energie vůči svému objemu, a tak se hodí i do přenosných zařízení. Tato hustota energie bývá kolem 200 Wh/kg nebo 530 Wh/l, což je třikrát více než starší typy jako je například nikl-metal hydridová akumulární baterie. Tato vysoká hustota poté způsobuje, že baterie mohou být vyráběny relativně malé s vysokou kapacitou. Tyto baterie se také mohou vyrábět v různých tvarech. Samovybití těchto akumulátorů je velmi nízké a to do 5 %. Výhodou je také životnost, která je určena na 500–1200 nabíjecích cyklů. Nevýhodou je to, že tyto baterie nejsou ekologické a je v dnešní době velice obtížná recyklace. Dále je také nevýhodou možnost výbuchu nebo vznícení při špatném používání. Těmto bateriím vadí vybití do úplné nuly a když se dostane pod určitou hodnotu napětí, tak je velice těžké baterii opět nabít. Když je baterie vybita úplně a je v tomto stavu ponechána delší dobu, může se stát, že baterie nepůjde nabít již vůbec. Velkou nevýhodou je i to, že stárnutí není určeno jen nabíjecími cykly, ale baterie stárne i když není používána. Stárnutí také urychlí vyšší vybíjecí i nabíjecí proud a vysoká teplota baterie. Proto se doporučuje udržovat baterie tohoto typu skladovat v 5–15 °C, udržovat hladinu nabití na 20–80 %, nevybíjet do nulové kapacity a nenechávat baterii zbytečně dlouho nabitou na 100 %.

Ztráty v bateriích jsou závislé na propojení stringů, tedy na počtu měničů. Pro první varianty, kdy jsou panely připojeny na dva stejné měniče vychází ztráty následovně. Ztráty při dobití jsou 146 kWh, ztráty při nabíjení a vybíjení jsou 417 kWh a ztráty baterií jsou vypočteny na 143 kWh. Pro variantu se třemi měniči jsou ztráty při dobití stejné, tedy 146 kWh, ztráty při nabíjení vybíjení jsou 457 kWh a ztráty v bateriích jsou 128 kWh.

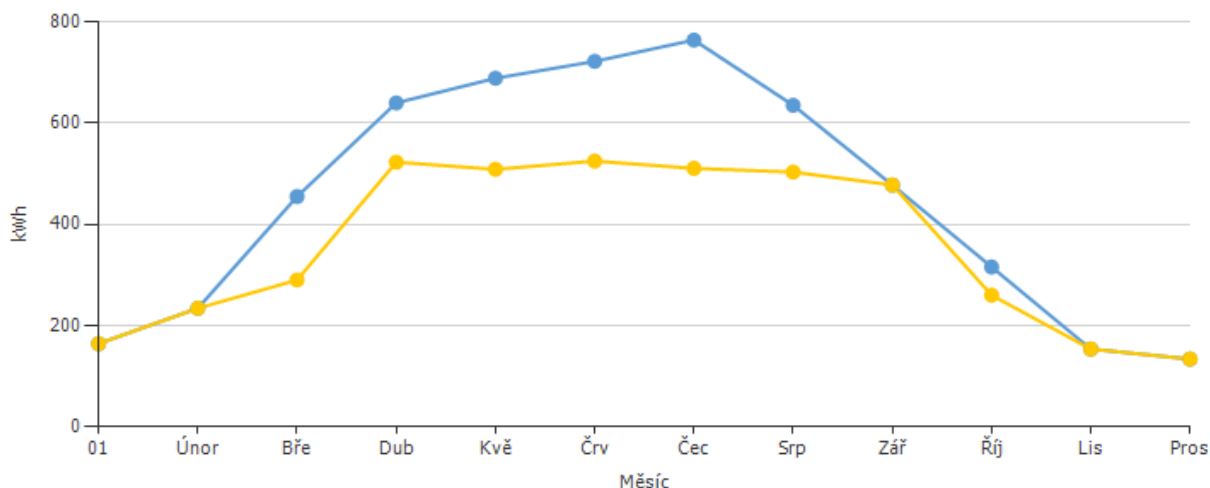
4 Vyhodnocení stability

V této kapitole se budeme zabírat stabilitou systému ostrovního provozu. Hlavní otázkou je, zda bude dostatek elektrické energie pro spotřebitele po celou dobu provozování. Důležité je kontrolovat každý měsíc zvlášť kvůli různé vyrobené elektrické energie v závislosti na poloze slunce a síle osvětlení.

4.1 Stabilita

Pojmem stabilita se myslí nepřetržitá dodávka elektrické energie a také velikost napětí a frekvence. Tyto parametry by měly být v definovaných mezích. U napětí to je $\pm 10\%$ a u frekvence by se neměla velikost odlišovat od standardních 50 Hz.

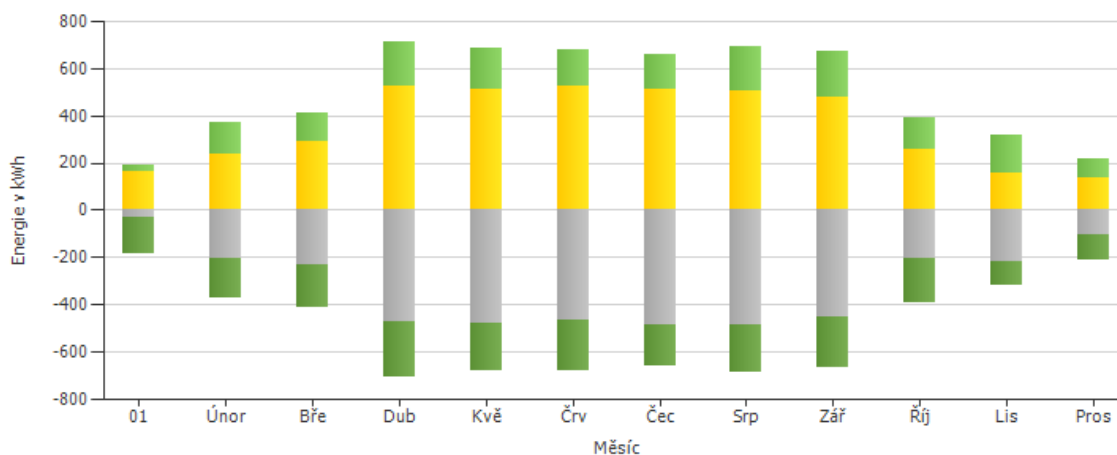
Stabilitou se také myslí, zda je dostatek elektrické energie během celého dne. To se dá vypočítat z instalovaného výkonu všech solárních panelů aplikovaných v ostrovním provozu při započítání využitelnosti panelů během dne. Nyní bude popisována situace, kde jsou použity solární panely od firmy Heckert – Solar typu NeMo 2.0 60 M s maximálním výkonem 305 W. Varianta měničů pro hodnocení byla vybrána ta, která obsahuje dva stejné měniče Sunny Boy 3.0 – 1AV-40. Toto obrázek 4.1, na kterém je zobrazeno, kolik vyrobené elektrické energie se spotřebuje. Modrá barva znázorňuje celkový výkon, který je fotovoltaický systém schopen vyrobit a žlutou barvou je znázorněno kolik této elektrické energie spotřebuje celý systém. Je tedy vidět, že krajní měsíce leden, únor, listopad a prosinec jsou na maximu své využitelnosti. Ale v ostatních měsících je jisté rezervy pro případné další spotřebiče, které mohou být připojeny do systému.



Obr 4.1 Využití solárního potenciálu systému

Dále je důležité nastínit, jak bude spotřeba elektrické energie pokryta. Toto ukazuje obrázek 4.2, ve kterém je zahrnuta spotřeba i výroba. Žlutou barvou v grafu je znázorněna využitá fotovoltaická energie vyrobená systémem a světle zelenou je zobrazena energie, která kryje nedostatek solární energie v době menší intenzity slunečního svitu. Tento nedostatek, především ve večerních hodinách, je pokryt využitím energie z baterií. Šedá

barva jde do mínusových hodnot z důvodu toho, že se jedná o spotřebu. A tmavě zelená je spotřeba, která vzniká při nabíjení baterií.



Obr 4.2 Prognóza výnosů se spotřebou

4.2 Záložní zdroje

Pokud dojde k výpadkům solární energie, je dobré mít i v tomto systému záložní zdroj. Tímto zdrojem může být například dieselagregát, nebo také připojení k elektrickému systému ČR. Připojením k tomuto systému ale porušíme požadovanou soběstačnost systému. Záložním zdrojem také může být například přečerpávací vodní elektrárna. Vzhledem k tomu, že zvolená oblast je ve velmi strmém kopci, tak je tato možnost reálně možná. Tato možnost by ale potřebovala vytvořit dvě propojené nádrže na vodu, kde do horní nádrže by se v době přebytku elektrické energie čerpala voda z dolní nádrže a v době nedostatku by byla spuštěna vodní turbína a ta by dorovnal nedostatek elektrické energie.

4.3 Jiné prostředky k dosažení soběstačnosti

Další možností, jak snížit spotřebu elektrické energie, a tím také dojít k větší soběstačnosti, může být například použití termokolektorů na ohřev teplé užitkové vody, popřípadě vody pro vytápění. V projektovaném systému byl navrhnout zásobníkový ohřivač vody s objemem 120 litrů. Při použití termokolektorů pro sběr tepla se většinou používají tyto zásobníky větší, a proto v příkladu bude uveden objem 250 litrů. Výpočet provedeme pro měsíc duben, kdy vychází celková vyrobená energie nejhůře z letních měsíců. Pro zimní

část roku tento systém bude vycházet hůře, ale to v tomto případě nevadí, jelikož je objekt využívám v zimě minimálně a vznikne přebytek vyrobené energie, tak bude moc být využita na zimní ohřev vody. Výpočet bude stanoven pro vakuový trubicový systém. Nejprve v rovnici 4.1 stanovíme potřebnou vyrobenou energii pro ohřev vody. Rozdíl teploty vody mezi přívodem a vývodem je 40 °C a měrné tepelná kapacita $c_p = 4\,186\text{ J/kg} \cdot \text{K}$.

$$Q_{SPOT} = m \cdot c_p \cdot \Delta t = 250 \cdot 4\,186 \cdot 40 = 41\,860\,000\text{ J} = 11,63\text{ kWh} \quad (4.1)$$

Další nutný výpočet bude stanovení účinnosti pro měsíc duben. Tu stanovíme v rovnici 4.2 a zde r značí reflexivitu a je 15 %, k vyjadřuje součinitel přestupu tepla kolektoru a v tomto případě je rovno $1,5\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, a I vyjadřuje dopadající záření na metr čtvereční a je rovný 564 W/m^2 .

$$\eta = (1 - r) - \frac{k \cdot (t_A - t_{OK})}{I} = (1 - 0,15) - \frac{1,5 \cdot (50 - 12,1)}{564} = 0,75 \quad (4.2)$$

Nyní odečteme z tabulek průměrnou energii dopadající na povrch v měsíci dubnu, která činí $Q_{DUB} = 7,54\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$. Tuto hodnotu vynásobíme relativní dobou svitu $\tau = 0,45$ a získáme denní průměrnou energii na čtvereční metr $Q_{DEN} = 3,39\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$. Nyní jen stačí denní hodnotu vynásobit účinností a získáme denní vyrobenou energii $Q_{VYROB} = 2,54\text{ kWh/m}^2$. A v rovnici 4.3 je uveden výpočet pro získání plochy potřebných tepelných kolektorů pro ohřev vody.

$$S_A = \frac{Q_{SPOT}}{Q_{VYROB}} = \frac{11,63}{2,54} = 4,58\text{ m}^2 \quad (4.2)$$

Při této ploše můžeme říci, když jeden kolektor má plochu $1,7\text{ m}^2$, že bude potřeba alespoň 3 kolektory.

5 Ekonomické hledisko

5.1 Náklady

Pořizovací náklady na solární elektrárny se liší podle dodavatele. V následující tabulce je srovnání vyrobené energie a pořizovací ceny v závislosti na velikosti domu. Také v tabulce bude možná maximální výše dotace na solární systém. Tyto fotovoltaické systémy jsou pouze na pokrytí části spotřeby a nejsou projektovány tak, aby pokryly celou spotřebu domácnosti.

Tab. 5.1 – Tabulka cen solárních elektráren [12]

	Malý dům	Střední dům	Velký dům
Užitná plocha	do 120 m ²	120–250 m ²	nad 250 m ²
Přibližná spotřeba roční	2 MWh	4 MWh	5 MWh
Výkon fotovoltaický	2,52 kWp	3,47 kWp	5,04 kWp
Roční výroba (kWh)	2500-3000	3400-3700	4800-5300
Akumulace	Ne	Ano	Ano
Cena	145 000 Kč	265 000 Kč	455 000 Kč
Státní dotace	60 000 Kč	105 000 Kč	155 000 Kč
Cena celkem	85 000 Kč	160 000 Kč	300 000 Kč

Jako příklad uvedu skupinu ČEZ, která nabízí různé typy fotovoltaických systémů podle akumulace energie. Varianty, které ČEZ nabízí, jsou akumulace energie do vody, baterií, anebo varianta s tepelným čerpadlem. Nyní uvedu specifikaci pro akumulaci do baterií. Pro obytný dům s plochou přibližně 150 m² a roční spotřebou 6 000-13 000 kWh. Cena tohoto projektu je od 184 000 Kč včetně státní dotace, ale tato cena se může v různých řešeních ještě měnit, pokud by bylo zapotřebí například více panelů nebo větších baterií. [12]

5.2 Podmínky dotací

Vyhlašovatel výzev, které mají podporovat přechod na obnovitelné zdroje, je ministerstvo životního prostředí. Toto ministerstvo vyhláší již po několikáté výzvu Zelená úsporám. V této výzvě jsou tři oblasti podpory. Oblast A pokrývá stávající rodinné

domy a za úkol má snížit jejich energetickou náročnost. Oblast B se zaměřuje na výstavbu nebo výkup rodinných domů s nízkou energetickou náročností. Oblast C se zaměřuje na efektivnost využívání zdrojů energie. Dotace je možné také čerpat na tepelná čerpadla. Tato dotační výzva podporuje také využívání tepla z odpadních vod, a i rozšíření stávajícího solárního systému. [13]

Požadované parametry, které jsou nutné splnit pro tuto výzvu, jsou měrná roční spotřeba tepla, průměrný součinitel prostupu tepla, měněné stavební prvky, procentní snížení měrné roční spotřeby tepla a zda bude mít systém řízené větrání. Všechny tyto požadavky jsou pak odstupňovány do kategorií, ze kterých se poté počítá výše dotace. Výše dotace je poté ještě navýšena o 10 % v Moravskoslezském, Ústeckém a Karlovarském kraji. [13]

Výše dotací se pohybuje v různých mezích pro různé aplikace. Například pro termické solární systémy je to od 35 000-50 000 Kč. Fotovoltaické systémy s akumulací se poté liší v celkové využití energii za rok. Výše dotací jsou zobrazeny v tabulce 5.2. [13]

Tab. 5.2 – Tabulka dotací pro fotovoltaické systémy [13]

Roční využitá energie.	Výše dotace
1 700 kWh/rok	70 000 Kč
3 000 kWh/rok	100 000 Kč
4 000 kWh/rok	150 000 Kč

Jelikož v podmínkách na dotaci je určeno, že je pouze pro rodinné domy, tak pro tento ostrovní systém nepřipadá dotace k úvaze, jelikož se jedná o rekreační dům. Kdyby byl projektovaný objekt změněn na trvale obývaný dům, mohla by celková výše dotace činit 165 000 Kč.

5.3 Legislativa ČR

V České republice se řídíme v oblasti výroby elektrické energie energetickým zákonem č. 458/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů. V tomto zákonu je podrobně popsáno, za jakých podmínek je výrobce elektrické energie oprávněn získat oprávnění k výrobě. Tato licence se pro výrobu uděluje maximálně na 25 let, ale pro obchodování se uděluje jen na 5 let. Dále je upřesněno, jaký výrobce energie musí mít toto oprávnění: „Licence se dále vyžaduje na výrobu elektřiny ve výrobnách elektřiny s instalovaným výkonem nad 10 kW určené pro vlastní spotřebu zákazníka, pokud je výroba elektřiny

propojena s přenosovou soustavou nebo s distribuční soustavou, nebo na výrobu elektřiny vyrobenou ve výrobnách elektřiny s instalovaným výkonem do 10 kW včetně, určené pro vlastní spotřebu zákazníka, pokud je ve stejném odběrném místě připojena jiná výrobná elektřiny držitele licence.“ (zákon 4 458/2000 Sb.) Podmínkou k udělení licence je také mimo jiné prokázání odborné způsobilosti. Tato podmínka se nevyžaduje u výrobců elektrické energie z obnovitelných zdrojů do instalovaného výkonu 20 kW. [10]

5.4 Náklady na ostrovní provoz

V případě tohoto projektu fotovoltaického ostrovního provozu není použit žádný dodavatel, a tak jsou ceny určeny pomocí internetového obchodu firmy SMA Solar Technology AG. V tomto e-shopu se uvádí ceny pro měniče i střídače. Vybranou variantou pro hodnocení ceny projektu je varianta se dvěma stejnými měniči, do kterých jsou připojeny solární panely NeMo. Tato varianta byla zvolena hlavně z důvodu ceny, kdy ve druhé variantě by bylo více měničů, a tím by se zvýšila i cena. Degradace měničů a faktor dimenzování jsou sice větší, ale systém je zcela funkční. Dalším důvodem pro zvolení této varianty jsou rozměry měničů, a proto budou instalovány jen dva stejné měniče.

Cena měniče Sunny Boy 3.0 – 1AV-40 je 899,0 € a střídač Sunny Island 4.4 M se prodává za cenu 2 329,0 €. Baterie jsou od jiného výrobce, a to od SolarMax. Přesnou cenu těchto baterií nebylo lehké dohledat, a tak cena baterií bude odvozena od jiných typů běžně se prodávajících na internetových obchodech. Prodávající se baterie s kapacitou 100 Ah jsou dostupné od 5 000 Kč bez DPH. Jelikož v tomto projektu ostrovního provozu je kapacita mnohem větší a to 2 800 Ah, bude cena odvozena poměrově. Cena baterií se tedy může vyšplhat na 140 000 Kč bez DPH. Do celkové projektu se musí připočítat také cena za solární panely. Panely připojené do systému jsou o instalovaném výkonu 305 W_p, a to od firmy Heckert Solar NeMo a tyto panely se prodávají za cenu 134 €. Ceny za panely tedy budou celkem bez daně v českých korunách za 73 700.

Celková cena projektu se tedy bude skládat ze všech těchto nákladů, a to tedy tak, že celkem tento projekt bude vyžadovat 316 875 Kč bez daně. Jelikož se nejedná o objekt k trvalému pobytu, bude muset následovat připočítání 21 % DPH. Cena po přičtení daně činí 383 418,75 Kč.

Společnost SMA Solar Technology AG, která v tomto projektu dodává měniče a bateriové střídače, garantuje záruční dobu pět let, ale tato doba jde rozšířit za poplatek. Společnost Heckert Solar NeMo dodávající solární panely pro své výrobky garantuje záruční

dobu po jedenáct let a jejich panely dokáží vyrobit navíc 4,99 Wp k předepsané štítkové hodnotě. Životnost baterií je dána cykly nabíjení a některé baterie zaručují 10 000 cyklů přitom, že běžná domácnost provede 250 cyklů/rok. Druhý parametr u životnosti baterií je stárnutí materiálu a tato životnost se odhaduje na patnáct let.

5.5 Přínosy

Celkové úspory jsou závislé na navrženém solárním systému. Pokud bude systém pokrývat celkovou spotřebu elektrické energie bude tato úspora největší. Průměrná cena jedné kilowatty elektrické energie byla v roce 2020 4,58 Kč. Tedy pro ostrovní fotovoltaický systém, kdy žádáme energetickou soběstačnost budou roční úspory rovny součinu ceny jedné kilowaty a celkovou spotřebou. Celková spotřeba projektovaného objektu je 3 840 kWh za rok. Z toho vyplývá, že roční úspora za elektrickou energii je 17 587,2 Kč.

Jako další přínos může být bráno to, že se objekt, na kterém je použit fotovoltaický ostrovní provoz, nepodílí na znečišťování planety, jelikož při výrobě elektrické energie pomocí solárních panelů nedochází k výrobě nežádoucích oxidů. Velké elektrárny jsou velkým znečišťovatelem, a to především elektrárny uhelné. Solární energií snižuje odběratel svou vlastní uhlíkovou stopu.

Závěr

V teoretickém úvodu bylo nastíněno, co je to ostrovní provoz a jaké jsou důležité parametry, které v tomto stavu sledujeme. Také bylo popsáno, jak se může systém do tohoto stavu dostat.

Výstupem této diplomové práce je plně funkční model fotovoltaického ostrovního provozu. Tento model je stoprocentně funkční po dobu celého roku při dodržení určené spotřeby, která byla upravena z denní spotřeby pro celou domácnost na spotřebu chaty využívané převážně v létě. Toto omezení bylo stanoveno tak, aby nebylo nutno využívat velké množství solárních panelů a také z důvodu, že by v letních měsících byl velký přebytek vyrobené elektrické energie. Tohoto omezení bylo docíleno mnoha iteracemi, kdy se po jednotlivých omezeních došlo až do tohoto stavu. Také bylo nutno snížit maximální hodinové zatížení, které je poté nutno pokrýt bateriovým systémem. Toto hodinové zatížení se podařilo snížit na 2,4 kW. Model je vytvořen v programu PV*SOL od firmy Valentine Software. Tato společnost má mnohem více programů například T*SOL, který by mohl být využit při rozšiřování tohoto projektu pro využití tepelných kolektorů pro ohřev teplé užitkové vody anebo pro vytápění.

Výsledná varianta byla zvolena se solárními panely od firmy Heckert Solar NeMo, které mají instalovaný výkon 305 Wp pro jeden solární panel a celkový instalovaný výkon všech dvaceti dvou panelů je 6,71 kWp. Tyto panely byly zvoleny z důvodu svého vysokého instalovaného výkonu, a tím ušetřením panelů pro instalaci. Toto uspořádání je připojeno na dva stejné měniče Sunny Boy 3.0 – 1AV-40. Tato varianta byla zvolena z důvodu ekonomického, jelikož více měničů by byly nákladnější na pořízení, a z prostorového, aby měniče nezabíraly mnoho místa v objektu. Celý systém je pak dimenzován na 111,8 %. Celková roční vyrobená energie této elektrárny je 4 273 kWh/rok. Dále bateriový systém dodává výkon 3 300 kW, dobu autonomie má po 11,1 dní a kapacita baterií je 2 800 Ah. V letních měsících je výroba vyšší než spotřeba, což umožňuje spotřebiteli využívat spotřebiče i mimo namodelované časy, nebo připojit i spotřebiče, které nebyly v projektu.

Následovalo popsání nákladů na tento ostrovní provoz. Tyto náklady byly vyčísleny na celkových 383 418,75 Kč s DPH. Dále bylo popsáno možné další rozšíření soběstačnosti. Tímto rozšířením je myšleno využití tepelných kolektorů pro sběr solární energie na ohřev vody pro vytápění nebo teplou užitkovou vodu. Dále by také mohlo být řešení využito pro ohřev vody tepelné čerpadlo, které značně ušetří nároky na výrobu elektrické energie.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Vývoj software pro hodnocení schopnosti přechodu města do ostrovního provozu, V. Mužík, Z. Vostracký, 2016
- [2] Energetika.tzb-info.cz [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/19683-blackout-a-ostrovní-provozy
- [3] Oenergetice.cz [online]. [cit. 2018-05]. Dostupné z: oenergetice.cz/elektrina/kvalita-elektrické-energie/
- [4] Eon.cz [online]. [cit. 2020-12]. Dostupné z: eon.cz/radce/chytra-domacnost/jak-vyuzivat-solarni-energii/co-je-solarni-energie-a-jak-ji-doma-vyuzit
- [5] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2
- [6] Ec.europa.eu [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9571695/8-12022019-AP-EN.pdf/b7d237c1-ccea-4adc-a0ba-45e13602b428
- [7] Cez.cz [online]. [cit. 2020-12]. Dostupné z: cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm
- [8] Identifikace matematického modelu trakční baterie, P. Goran, 2020
- [9] Solarnisystemynaohrevvody.cz [online]. [cit. 2021-4]. Dostupné z: solarnisystemynaohrevvody.cz/dalsi-clanky/297-cistení-solarních-kolektorů-a-panelů-od-necistot
- [10] Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)
- [11] Valentine-software.com [online]. [cit. 2020-11]. Dostupné z: help.valentine-software.com/pvsol/en/calculation/
- [12] Srovnejto.cz [online]. [cit. 2021-4]. Dostupné z: srovnejto.cz/blog/kolik-vas-bude-stat-domaci-solarni-elektrarna/
- [13] Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám, 2020
- [14] Isofenenergy.cz [online]. [citace 2021-5]. Dostupné z: isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx

Seznam příloh

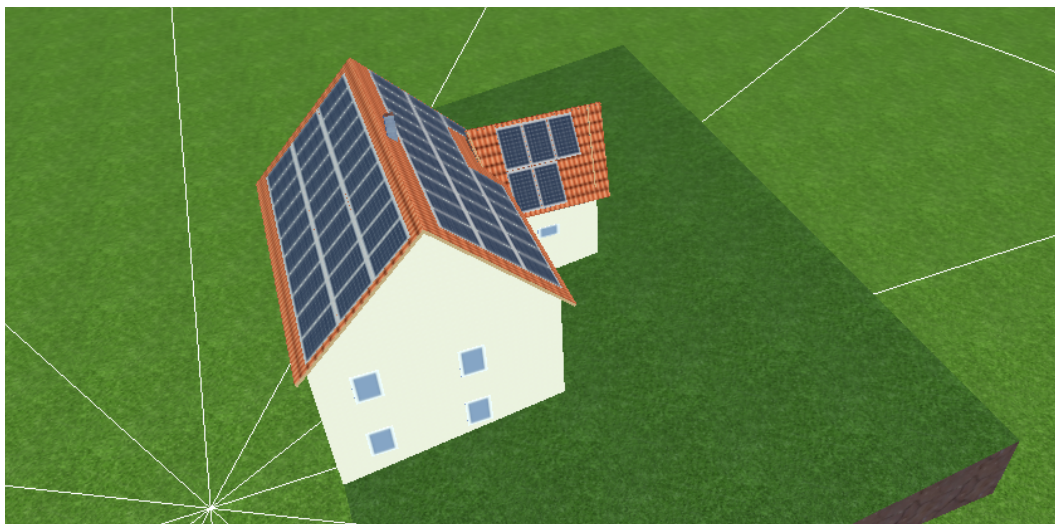
Příloha A – ostrovní provoz verze 1

Příloha B – ostrovní provoz verze 2

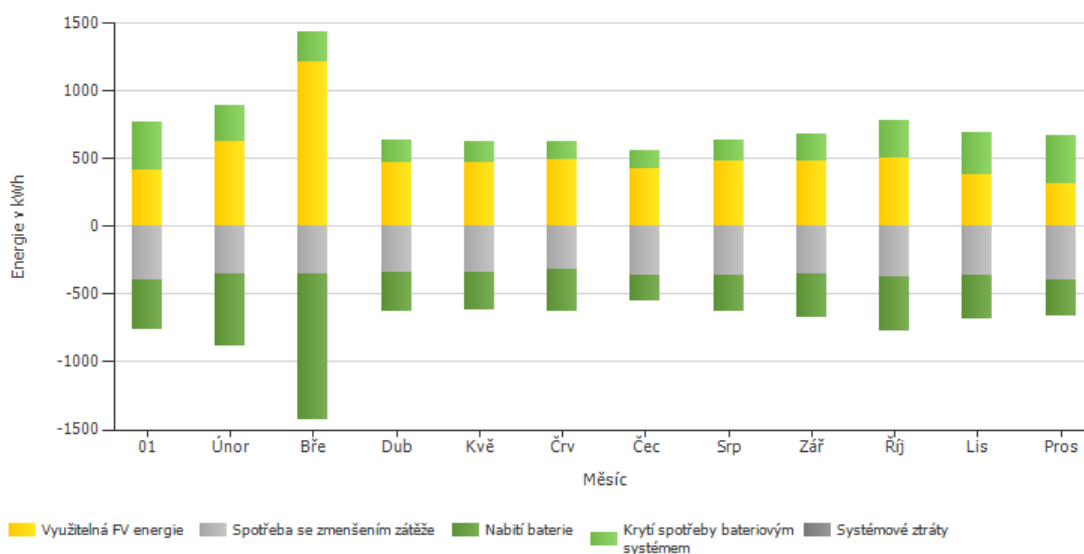
Příloha C – spotřebiče

Příloha A – ostrovní provoz verze 1

V této příloze se nachází ukázka prvotní verze ostrovního systému, kdy byla jako spotřeba použita definovaná spotřeba pro domácnost. Tento systém měl dobu autonomie po 47,9 dní a baterie měly kapacitu 16 kW. Účinnost systému byla pouhých 29 %, degradace měniče byla 8 531 kWh a ztráty při nabíjení a vybíjení činily 1 596 kWh.



Obr. A-1 Pokrytí solárních panelů verze 1



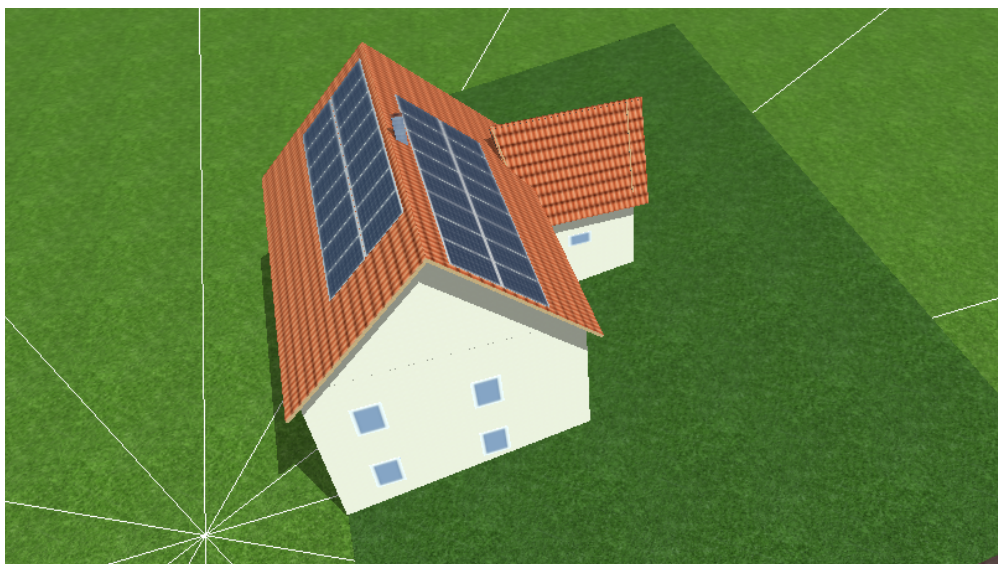
Obr. A-2 Pokrytí spotřeby pro verzi 1

Komponenty	Typ	Instalované prvky	Jednotková cena	Náklady na instalaci	Životnost	Počet
Moduly	NeMo 2.0 60 M 305	62	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	62
Střídače	Sunny Boy 2.5-1VL-40	3	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	3
Střídače	Sunny Boy 4.0-1AV-41	2	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	2
Střídače	Sunny Boy 1.5-1VL-40	1	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	1
Bateriové měniče	Sunny Island 8.0H	2	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	2
Baterie	Battery Modul MAX.Š..	34	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	34

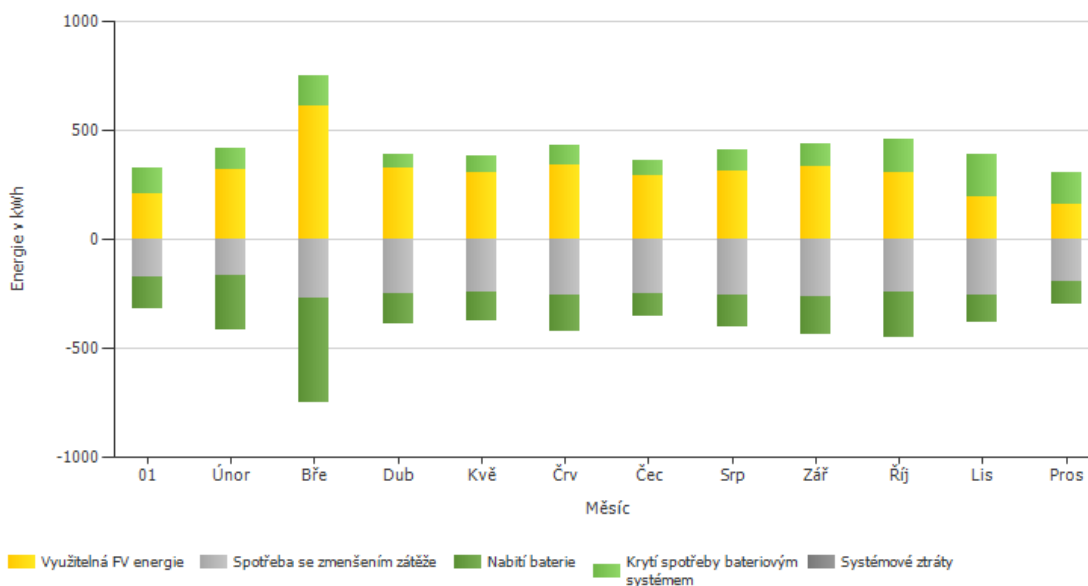
Obr. A-3 Kusovník použitých přístrojů

Příloha B – ostrovní provoz verze 2

V této příloze je zobrazen systém, který měl již samostatně namodelované spotřebiče. Jelikož byl systém v provozu celoročně, tak byla stále vysoká spotřeba a s tím spojená i doba autonomie byla 32,1 dní a baterie měli výkon 8 kW. Zvýšila se účinnost systému na 37,1 % a snížila se degradace měniče na 3 930 kWh a také ztráty při nabíjení a vybíjení na 823 kWh.



Obr. B-1 Pokrytí panelů verze 2



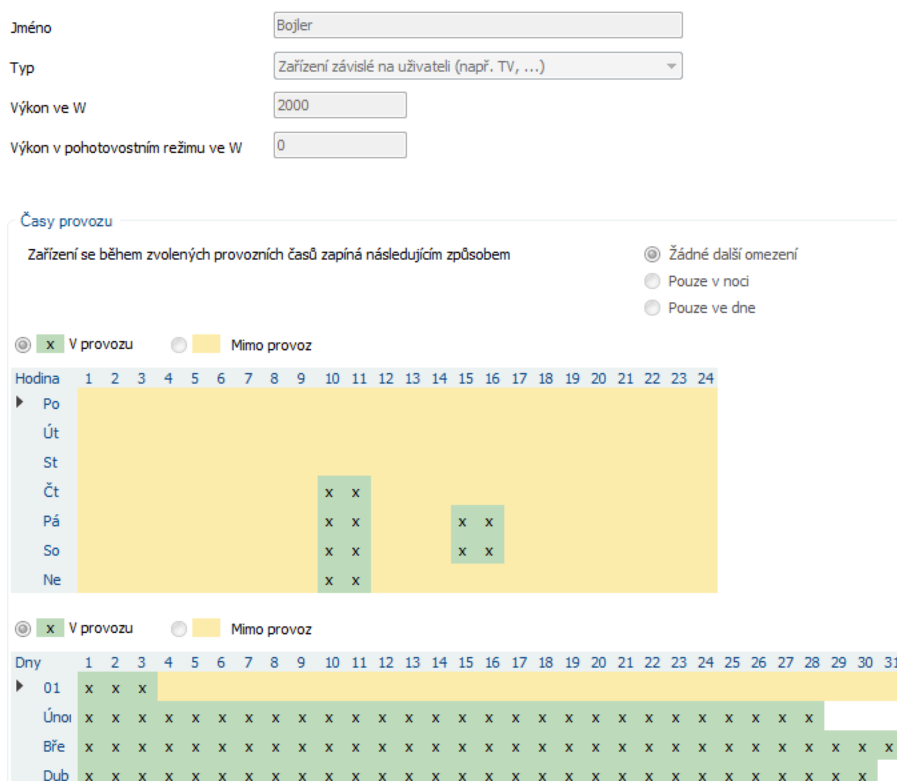
Obr. B-2 Pokrytí spotřeby pro verzi 2

Komponenty	Typ	Instalované prvky	Jednotková cena	Náklady nainstalaci	Životnost	Počet
Moduly	300 Wp - Si monocrys ...	32	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	32
Střídače	Sunny Boy 5000TL-21	2	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	2
Bateriové měniče	Sunny Island 8.0H	1	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	1
Baterie	Battery Modul MAX.St...	15	0,00 Kč	0,00 Kč	20,00	15

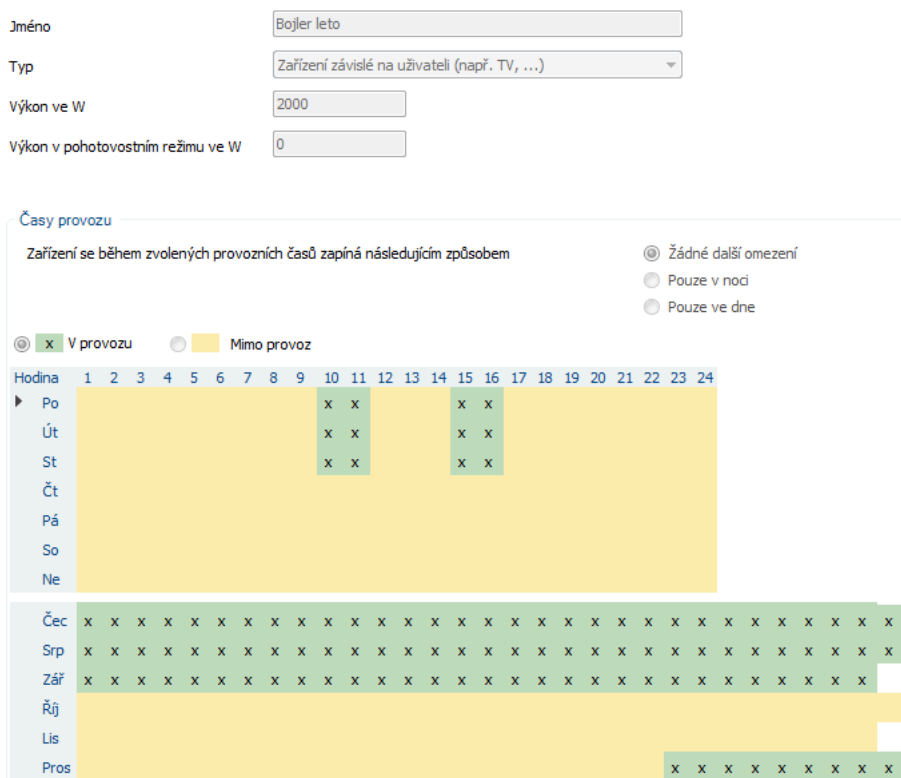
Obr. B-3 Kusovník použitých přístrojů

Příloha C – spotřebiče

V této příloze budou zobrazeny spotřebiče a jejich využívání během roku.



Obr. C-1 Využití bojleru v zimních měsících



Obr. C-2 Využití bojleru v letních měsících

Jméno

Typ

Výkon ve W

Výkon v pohotovostním režimu ve W

Časy provozu

Doba použití v min na použití

Všechny dny stejné

Hodina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Počet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

V provozu Mimo provoz

Dny	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
01	Mimo provoz																														
Úno																															
Bře	V provozu																														
Dub																															
Kvě	V provozu																														
Črv																															
Čec	V provozu																														
Srp																															
Zář	Mimo provoz																														
Říj																															

Obr. C-3 Využití vysavače

Jméno

Typ

Výkon ve W

Výkon v pohotovostním režimu ve W

Časy provozu

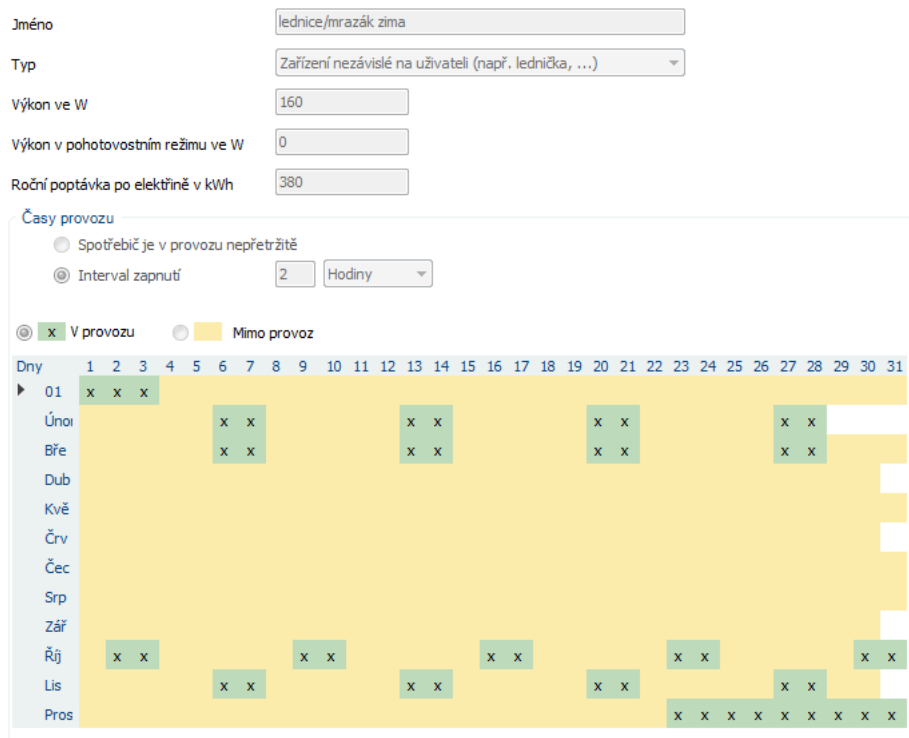
Zařízení se během zvolených provozních časů zapíná následujícím způsobem

Žádné další omezení
 Pouze v noci
 Pouze ve dne

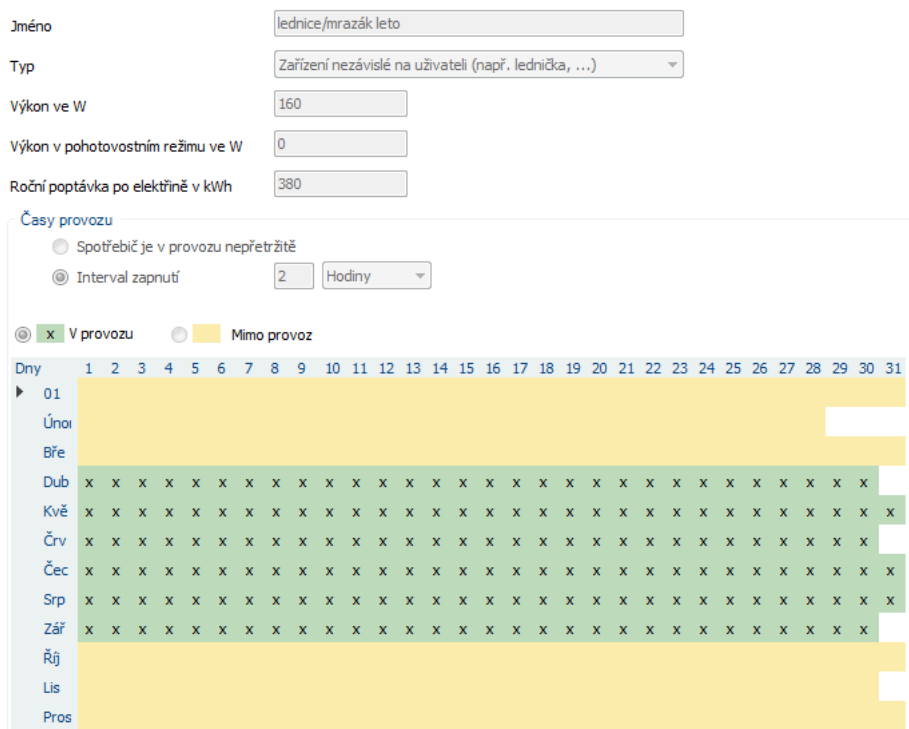
V provozu Mimo provoz

Hodina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Po	Mimo provoz																							
Út																								
St	Mimo provoz																							
Čt																								
Pá	Mimo provoz																							
So																								
Ne	Mimo provoz																							
Čec																								
Srp	V provozu																							
Zář																								
Říj	V provozu																							
Lis																								
Pros	Mimo provoz																							

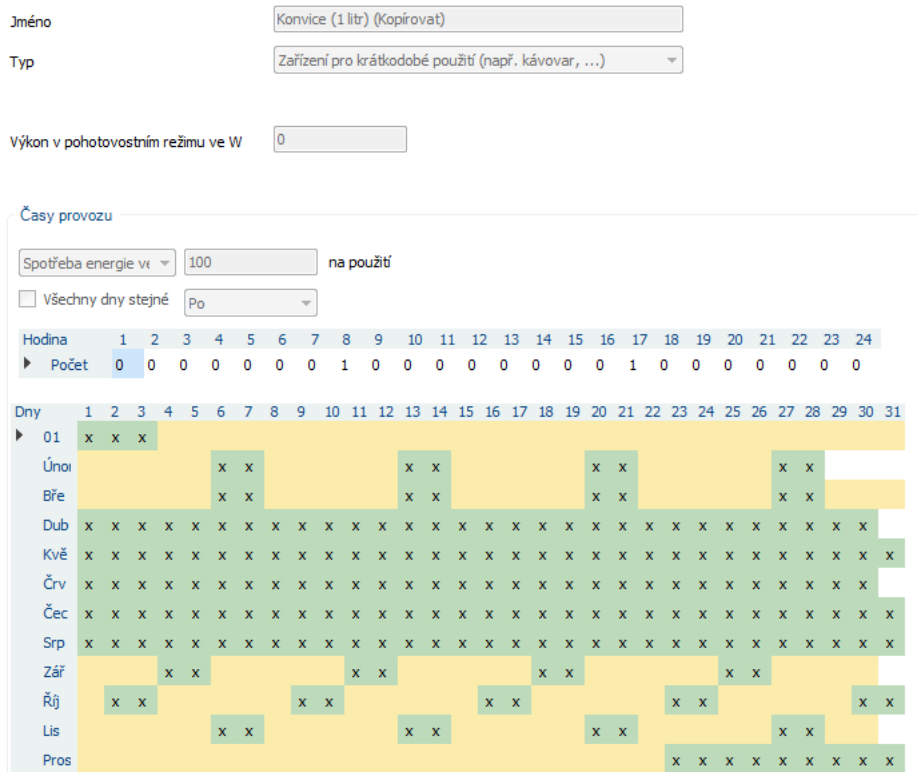
Obr. C-4 Využití myčky na nádobí



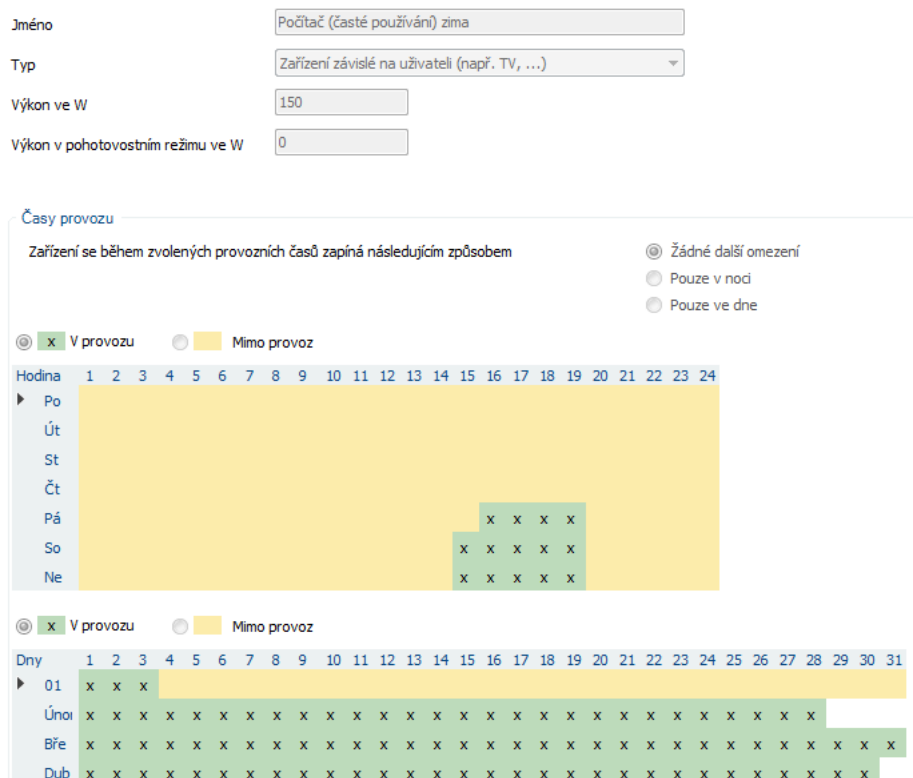
Obr. C-5 Využití lednice s mrazákem v zimních měsících



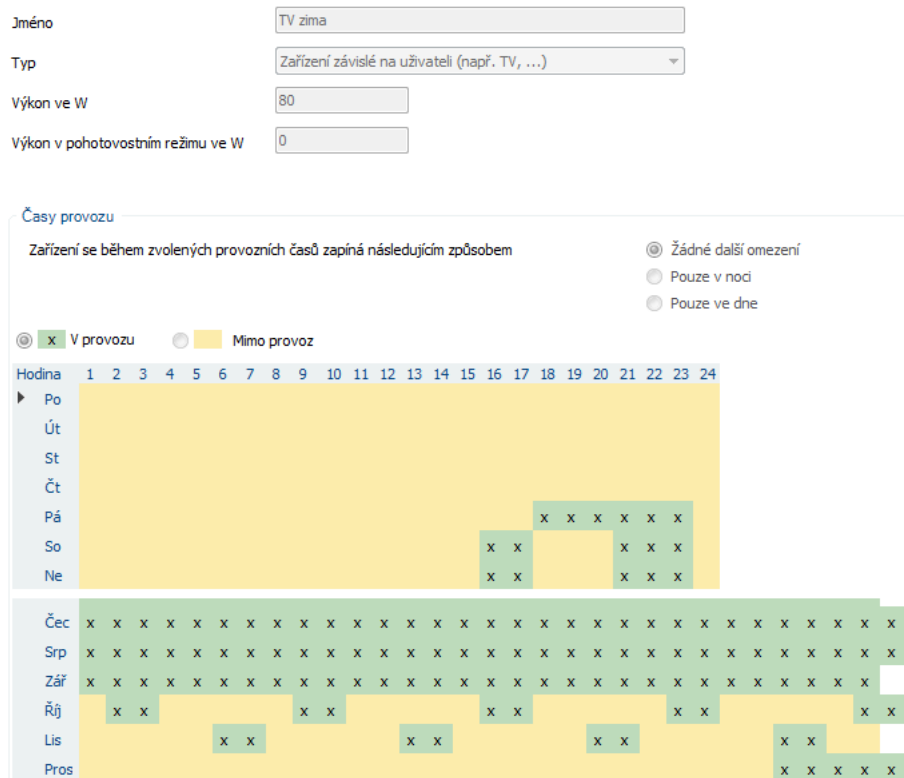
Obr. C-6 Využití lednice s mrazákem v letních měsících



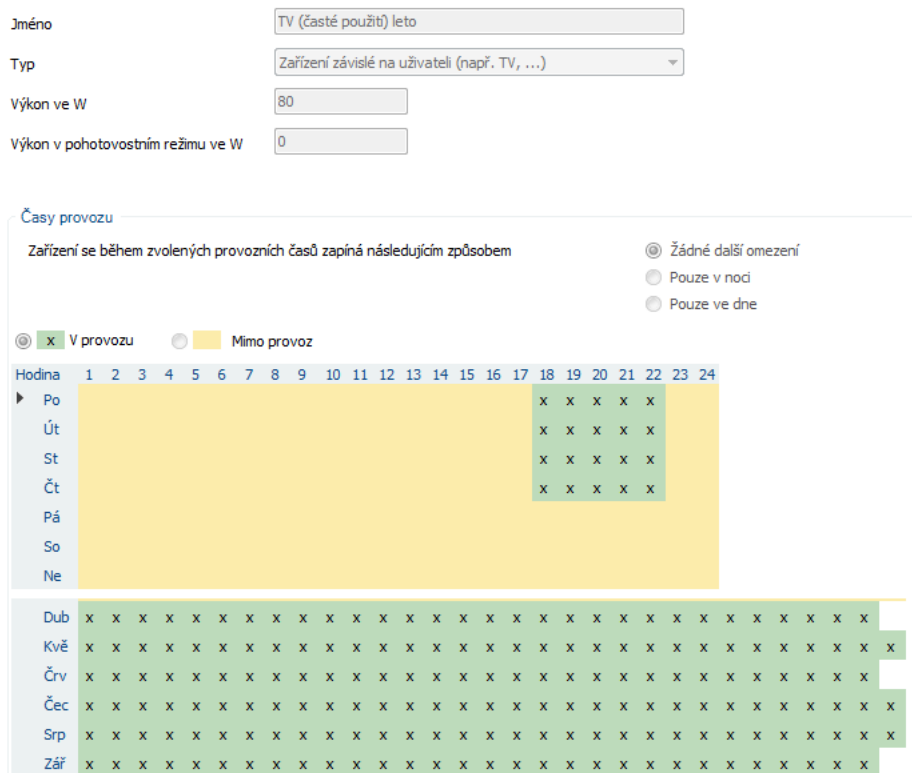
Obr. C-7 Využití konvice



Obr. C-8 Využití počítače v systému



Obr. C-9 Využití televize v zimních měsících



Obr. C-10 Využití televize v letních měsících

Jméno

Typ

Výkon ve W

Výkon v pohotovostním režimu ve W

Časy provozu

Zařízení se během zvolených provozních časů zapíná následujícím způsobem

Žádné další omezení
 Pouze v noci
 Pouze ve dne

V provozu Mimo provoz

Hodina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Po												x	x					x						
Út												x	x					x						
St												x	x					x						
Čt												x	x					x						
Pá																								
So																								
Ne																								
Dub	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kvě	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Črv	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Čec	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Srp	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zář	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Obr. C-11 Využití vaňče v letních měsících

Jméno

Typ

Výkon ve W

Výkon v pohotovostním režimu ve W

Časy provozu

Zařízení se během zvolených provozních časů zapíná následujícím způsobem

Žádné další omezení
 Pouze v noci
 Pouze ve dne

V provozu Mimo provoz

Hodina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24							
Po																															
Út																															
St																															
Čt																															
Pá																			x												
So												x	x					x													
Ne												x	x					x													
Dny	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
01	x	x	x																												
Úno	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Bře	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Dub	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Kvě	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Črv	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Obr. C-12 Využití vaňče v zimních měsících